

**Aus dem  
Institut für Veterinär-Anatomie  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin**

---

**Computertomographisch gestützte Morphometrie der  
Wirbelsäule des Göttingen Minipig® zur Erstellung eines  
anatomischen Katalogs im Sinne der 3R**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin  
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Ines Christine Wetzel, geb. Knauer  
Tierärztin aus Erlabrunn

Berlin 2016

Journal-Nr.: 3859

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek  
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Johanna Plendl  
Zweiter Gutachter: Priv.-Doz. Dr. med. Stefan Markus Niehues, MHBA  
Dritter Gutachter: Prof. Dr. med. vet. Karl-Heinz Lahrmann

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):  
miniature pigs, spine, computed tomography, anatomy, morphometrics,  
data collection, animal welfare, animal testing alternatives, replacement*

Tag der Promotion: 06.07.2016

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der  
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im  
Internet über <<http://dnb.ddb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-86387-765-1

**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2016**

Dissertation, Freie Universität Berlin

**D 188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2016

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

[verlag@menschundbuch.de](mailto:verlag@menschundbuch.de) – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

*Für Teo*

*Meine Herkunft und Zukunft*



## Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung und Zielsetzung.....</b>	<b>6</b>
<b>2 Literatur.....</b>	<b>9</b>
<b>2.1 Großtiermodelle in der Wirbelsäulenforschung.....</b>	<b>9</b>
<b>2.2 Das Schwein in der medizinischen Forschung.....</b>	<b>11</b>
<b>2.3 Das Göttingen Minipig in der medizinischen Forschung.....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Warum Minipig? .....	13
2.3.2 Entwicklung des Göttingen Minipig .....	13
2.3.3 Einsatzgebiete des Göttingen Minipig in der medizinischen Forschung.....	15
2.3.4 Einsatz des Göttingen Minipig in der Wirbelsäulenforschung.....	16
<b>2.4 Bisher vorliegende Literatur .....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Das Konzept der 3R .....</b>	<b>18</b>
2.5.1 Die Entwicklung des Tierschutzgedankens.....	18
2.5.2 Das Prinzip der 3R .....	19
2.5.3 Praktische Umsetzung der 3R .....	20
2.5.4 Die Computertomographie als nicht-invasive Methode im Sinne der 3R.....	25
2.5.5 Die Verankerung des Tierschutzes in der Gesetzgebung .....	26
<b>3 Tiere, Material und Methoden.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Untersuchte Tiere .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Computertomographische Datenerhebung.....</b>	<b>29</b>
<b>3.3 Auswertung des Datenmaterials .....</b>	<b>29</b>
3.3.1 Verwendete Software .....	29
3.3.2 Festlegung der Untersuchungsparameter.....	30
3.3.3 Messung der Untersuchungsparameter.....	38
3.3.4 Statistische Auswertung .....	51
<b>4 Ergebnisse.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1 Allgemeines .....</b>	<b>53</b>
4.1.1 Gesundheitsstatus der untersuchten Tiere .....	53
4.1.2 Gesamtzahl Wirbel .....	55
4.1.3 Schluss der Epiphysenfugen.....	56
4.1.4 Gesamtlänge der Wirbelsäule.....	58
4.1.5 Dorsoventrale Krümmungen der Wirbelsäule.....	59

4.1.6	Anomalien .....	60
<b>4.2</b>	<b>Methodenvalidierung .....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Validierung der Messmethodik im kraniokaudalen Verlauf der Wirbelsäule .....	62
4.2.2	Gruppen- und Methodenstatistik nach Altersgruppen .....	65
4.2.3	Gruppen- und Methodenstatistik ermittelter Parameter bzw. Verhältnisse .....	66
<b>4.3</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule .....</b>	<b>69</b>
<b>4.4</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Gruppe 1 - Gruppe 2 .....</b>	<b>70</b>
4.4.1	Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse .....	70
4.4.2	Vergleichbarkeit der Wirbel .....	71
4.4.3	Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule .....	72
<b>4.5</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Gruppe 2 - Gruppe 3 .....</b>	<b>74</b>
4.5.1	Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse .....	74
4.5.2	Vergleichbarkeit der Wirbel .....	75
4.5.3	Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule .....	76
<b>4.6</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Gruppe 1 - Gruppe 3 .....</b>	<b>78</b>
4.6.1	Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse .....	78
4.6.2	Vergleichbarkeit der Wirbel .....	79
4.6.3	Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule .....	80
<b>4.7</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein - Mensch .....</b>	<b>82</b>
4.7.1	Absolute Werte .....	82
4.7.2	Vergleich der ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse .....	83
<b>4.8</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein .....</b>	<b>85</b>
4.8.1	Absolute Vergleichbarkeit .....	86
4.8.2	Relative Vergleichbarkeit .....	89
<b>4.9</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Göttingen Minipig - Mensch .....</b>	<b>90</b>
4.9.1	Absolute Vergleichbarkeit .....	91
4.9.2	Relative Vergleichbarkeit .....	93
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>94</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>94</b>
<b>5.2</b>	<b>Altersstatus .....</b>	<b>96</b>
<b>5.3</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich der 3 Altersklassen .....</b>	<b>99</b>
5.3.1	Gruppe 1 - Gruppe 2 (12-17 Monate) .....	99
5.3.2	Gruppe 2 - Gruppe 3 (17-21 Monate) .....	100
5.3.3	Gruppe 1 - Gruppe 3 (12-21 Monate) .....	101

<b>5.4</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Interspezies-Vergleich .....</b>	<b>102</b>
5.4.1	Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein.....	102
5.4.2	Vergleich Göttingen Minipig - Mensch .....	104
<b>5.5</b>	<b>Anomalien .....</b>	<b>105</b>
<b>6</b>	<b>Empfehlungen für den Einsatz des Göttingen Minipig in der Wirbelsäulenforschung</b>	<b>106</b>
<b>6.1</b>	<b>CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Parameter und Verhältnisse .....</b>	<b>106</b>
6.1.1	Vergleich Gruppe 1 (12 Monate) - Gruppe 2 (17 Monate) .....	106
6.1.2	Vergleich Gruppe 2 (17 Monate) - Gruppe 3 (21 Monate) .....	106
6.1.3	Vergleich Gruppe 1 (12 Monate) - Gruppe 3 (21 Monate) .....	107
6.1.4	Betrachtung der Abschnitte der Wirbelsäule.....	108
6.1.5	Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein.....	109
6.1.6	Vergleich Göttingen Minipig - Mensch .....	110
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>111</b>
<b>8</b>	<b>Summary.....</b>	<b>113</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>115</b>
9.1	Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein - Mensch: Absolute Werte.....	115
9.2	Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein - Mensch: Untersuchte Parameter bzw. Verhältnisse.....	141
<b>10</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>163</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>177</b>
<b>12</b>	<b>Selbständigkeitserklärung.....</b>	<b>178</b>

## Abkürzungsverzeichnis

3R	Replacement, Reduction, Refinement
AEUV	Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union
BfR	Bundesinstitut für Risikobewertung
BKK	Betriebskrankenkasse
BMD	bone mineral density
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BSE	Bovine spongiforme Enzephalopathie
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
C1	1. Cervikalwirbel (Atlas)
ca.	circa
CT	Computertomographie
CVM	Cervical Vertebral Maturation
div.	divers (-e, -es, -er, -en)
ECr	Extremitas cranialis
e.g.	exempli gratia
e.V.	eingetragener Verein
EG	Europäische Gemeinschaft
et al.	et alii, et aliae
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EURL-ECVAM	European Union Reference Laboratory for Alternatives to Animal Testing-European Centre for the Validation of Alternative Methods
f-MRT	funktionelle Magnetresonanztomographie
GMP	Göttingen Minipig®
Gr.	Gruppe
HS	Hausschwein
HWS	Halswirbelsäule
i.m.	intramuskulär
inkl.	inklusive

i.v.	intravenös
L1	1. Lumbalwirbel
LWS	Lendenwirbelsäule
m.H.	mit Hilfe
max.	Maximum
min.	Minimum
o.g.	oben genannt (-e, -es, -er, -en)
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
RL	Richtlinie
SD	Standard Deviation
sog.	sogenannt (-e, -es, -er, -en)
SPF	specific pathogen free
T1	1. Thorakalwirbel
u.a.	unter anderem
v.Chr.	vor Christus
VO	Verordnung
ZEBET	Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden zum Tierversuch

weitere Abkürzungen siehe Seite 32/33

*“Humane science is a prerequisite for good science, and is best achieved in relation to laboratory animal procedures by the vigorous promotion and application of the Three Rs. The Three Rs should serve as a unifying concept, a challenge, and an opportunity for reaping benefits of every kind - scientific, economic and humanitarian.” (Balls 2007)*

---

## 1 Einleitung und Zielsetzung

Erkrankungen der Wirbelsäule und des muskuloskelettalen Systems stellen in Deutschland und weltweit eine der häufigsten Ursachen für Arbeits- und Erwerbsunfähigkeit dar (Raspe 2012; Woolf et al. 2012; Fuchs et al. 2013). Laut den Ergebnissen der Deutschen Rückenschmerzstudie 2003/2006 sahen sich bereits 85% der Bevölkerung Deutschlands mit dem Thema Rückenschmerz konfrontiert (Schmidt et al. 2007).

Die Kosten für eine Arbeitsunfähigkeit aufgrund von Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems und Bindegewebes beliefen sich nach Angaben der BKK im Jahr 2008 auf rund 9 Milliarden Euro und betrug damit ca. ein Drittel der durch Arbeitsunfähigkeit verursachten Gesamtkosten des Gesundheitssystems (BKK Bundesverband 2008). Die Folgekosten dieser Diagnose für die Rentenversicherung lagen 2008 in Form einer Erwerbsunfähigkeit bzw. Frührente bereits auf dem zweiten Rang (BKK Bundesverband 2008). So wurde anlässlich der Bedeutsamkeit der Thematik im Gesundheitsreport der BKK 2013 das Schwerpunktthema „Muskel- und Skeletterkrankungen“ gewählt. Im Jahr 2012 stellten demnach Erkrankungen der Wirbelsäule und des Rückens mit großem Abstand die häufigste Ursache für eine Arbeitsunfähigkeit dar und verursachten die meisten Krankengeldtage (Bungard 2013). Zu denselben Ergebnissen kommt die Gesundheitsberichterstattung des Bundes, nach welcher „Rückenschmerzen“ bzw. Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems in den Jahren 2009/2010 die längsten Arbeitsunfähigkeitszeiten nach sich zogen (Wieland 2010; Badura et al. 2011; Krämer und Nolting 2011; Raspe 2012). Dies gilt entsprechend für das Jahr 2012 (Badura et al. 2014). Im Langzeittrend konnte seit 2005 ebenfalls ein Anstieg der Fehlzeiten um rund ein Drittel aufgrund der Diagnose einer Muskel- oder Skeletterkrankung beobachtet werden (Bungard 2013).

Die Häufigkeit der Erkrankungen steigt dabei erwartungsgemäß mit zunehmendem Alter und liegt bei den über 64-Jährigen bereits bei einem Anteil von 70,5% (Bungard 2013). Bei einem Altenquotient<sup>1</sup> der Bevölkerung von 34 im Jahr 2010, voraussichtlich 39 im Jahr 2020, bereits 53 im Jahr 2030 und 62 im Jahr 2040 (Statistisches Bundesamt 2009), wird dies enorme Auswirkungen auf das Gesundheitssystem haben. Ein entsprechend großes Interesse besteht daher in der Optimierung der Diagnose, Therapie und vor allem Prävention von Erkrankungen des muskuloskelettalen Systems sowie im Besonderen der Wirbelsäule.

Im Jahr 2010 wurde in 38% der Fälle stationärer Behandlungen mit der Hauptdiagnose einer „spezifischen Wirbelsäulenerkrankung“ eine Operation im Bereich der Wirbelsäule

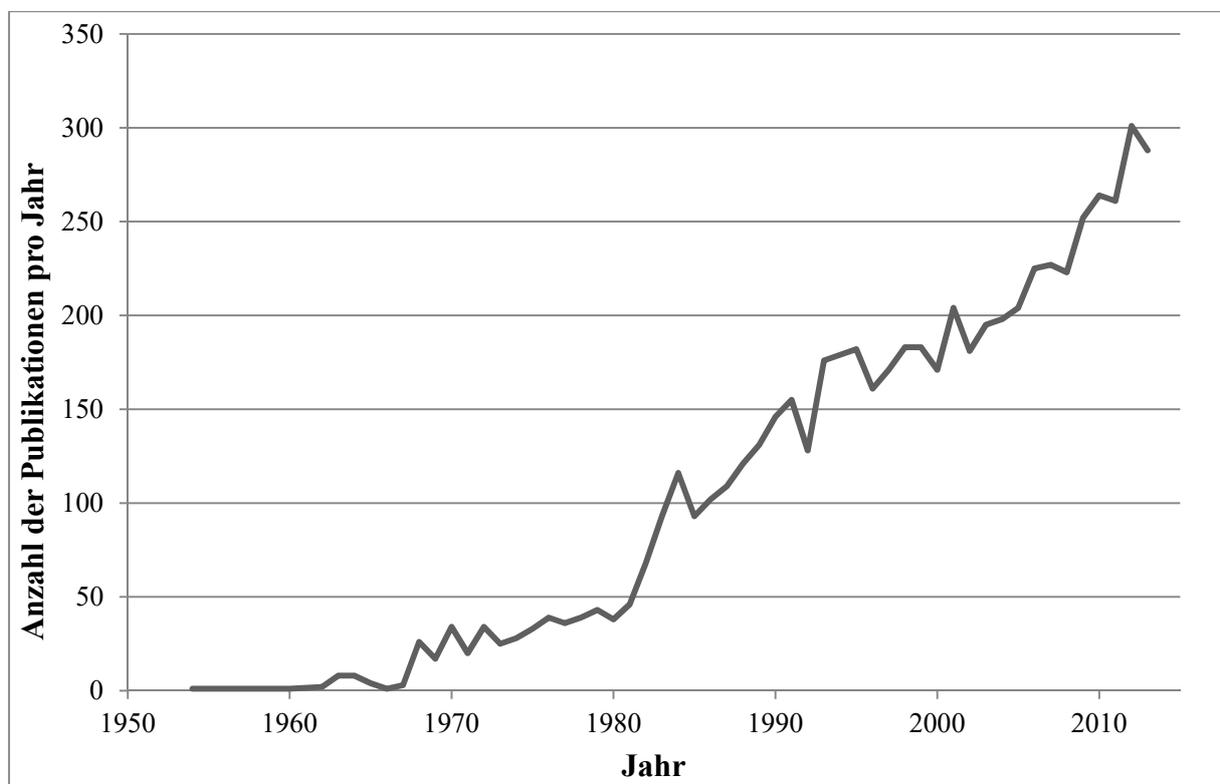
---

<sup>1</sup> Altenquotient: über 65-Jährige je 100 Personen von 15 bis 64 Jahren (Statistisches Bundesamt 2009)

durchgeführt (Raspe 2012). Dabei ist in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme an operativen Eingriffen, beispielsweise an den Bandscheiben, zu verzeichnen (Klauber 2015). Hierfür sind neben genauen Kenntnissen der anatomischen, histologischen und biomechanischen Gegebenheiten geeignete Materialien, Geräte und Methoden erforderlich. Da es zur Erforschung, Verifizierung und Validierung dieser, zum Beispiel im Rahmen der chirurgischen Forschung, häufig an humanen Probanden mangelt, werden insbesondere geeignete Modelltiere benötigt.

Unter diesen nimmt das Hausschwein aufgrund seiner anatomisch und physiologisch großen Äquivalenz zum Menschen eine herausragende Position ein (Beglinger et al. 1975; Bollen und Ellegaard 1997; Hughes 1986; Bollen und Ellegaard 1997; Larsen und Rolin 2004; Kim et al. 2013). So stellt das Schwein im Jahr 2012 mit 58% das in Versuchen am häufigsten eingesetzte Großtiere in Deutschland dar (BMEL 2013).

In den letzten Jahren hat man sich jedoch aus ökonomischen und praktischen Gründen vermehrt dem Modelltier Minipig, speziell des im europäischen Raum am häufigsten eingesetzten Göttingen Minipig, zugewandt. Dies zeigt sich unter anderem im deutlichen Anstieg von Publikationen zu diesem Thema (siehe Abbildung 1).



**Abbildung 1: Anzahl Publikationen mit dem Versuchstier „Minipig“;  
Pubmed term (((minipig) OR miniature pig) OR miniswine) OR micropig, Stand 10.11.2014**

Sowohl für die human- als auch veterinärmedizinische Grundlagenforschung existieren jedoch bisher keine Daten, welche sich mit der Morphometrie der Wirbelsäule des Göttingen Minipig sowie deren Vergleich mit der Wirbelsäule von Hausschwein und Mensch zur Beurteilung einer Eignung als Modelltier beschäftigen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es daher, die bedeutendsten morphometrischen Parameter der Wirbelsäule des Menschen zu identifizieren und diese im Anschluss für die Wirbelsäule des Göttingen Minipig 3 verschiedener Altersgruppen zu bestimmen. Hierfür werden die Prinzipien der 3R<sup>2</sup> nach Russell und Burch (Russell und Burch 1959) für einen ethischen Umgang mit Versuchstieren, u.a. durch den Einsatz der Computertomographie als nicht-invasivem Untersuchungsverfahren, angewendet. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse soll ein anatomischer Katalog erstellt werden und ein Vergleich der 3 Altersgruppen stattfinden. Zusätzlich werden die ermittelten Daten des Göttingen Minipig Literaturdaten von Hausschwein und Mensch gegenübergestellt.

---

<sup>2</sup> 3R: Replacement, Reduction and Refinement (Russell und Burch 1959)

## 2 Literatur

### 2.1 Großtiermodelle in der Wirbelsäulenforschung

Beim Einsatz von Großtieren als Modelltier für den Menschen im Bereich des Bewegungsapparates stellt sich grundlegend die Frage, inwieweit Anatomie und biomechanische Belastungen der Wirbelsäule von Quadrupeden und Bipeden vergleichbar sind. Untersuchungen von Smit zeigen, dass die Kräfteverteilung sowohl bei horizontalem, als auch bei aufrechtem Gang entlang der Längsachse der Wirbelsäule erfolgt und Quadrupeden somit ein geeignetes Modell darstellen (Smit 2002). Die stärkere axiale Belastung der Wirbelsäule von Quadrupeden resultiert jedoch in einer höheren Knochendichte, was sowohl bei der Interpretation der Ergebnisse als auch für Untersuchungen zur Biomechanik der Wirbelsäule berücksichtigt werden muss (Smit 2002).

Eine Vielzahl von internationalen Arbeiten hat sich mit der generellen Eignung unterschiedlicher Quadrupeden-Spezies als Modelltier für die Forschung im Bereich der Wirbelsäule beschäftigt. Vor allem die Großtiermodelle Rind, Schwein, Schaf, Ziege, Kalb und Pavian, aber auch der Rothirsch wurden mit absteigender Häufigkeit untersucht (Wilke et al. 1997a; Wilke et al. 1997b; Yingling et al. 1999; Kumar et al. 2000; Kumar et al. 2002; McLain et al. 2002; Smit 2002; Bozkus et al. 2005; Kettler et al. 2007; O'Connell et al. 2007; Alini et al. 2008; Wilke 2008; Busscher et al. 2010b; Sheng et al. 2010; Showalter et al. 2012) (siehe Abbildung 2).

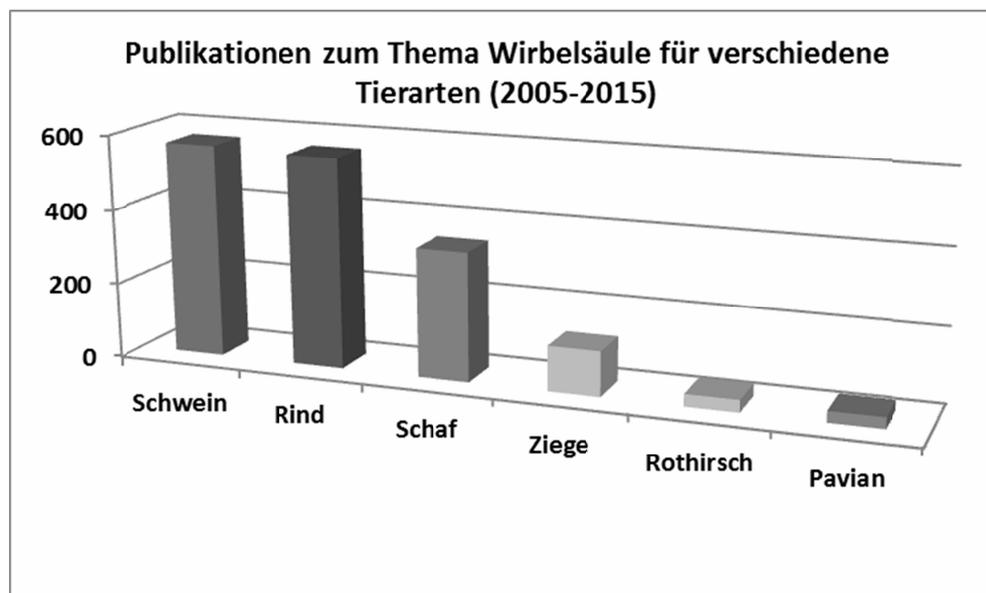


Abbildung 2: Anzahl Publikationen zum Thema Wirbelsäule für verschiedene Tierarten in den letzten 10 Jahren, pubmed, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>, Stand 03.03.2015

Selbiges gilt für die Morphometrie der Wirbelsäule (Cotterill et al. 1986; Tominaga et al. 1995, Kumar et al. 2000; Kandziora et al. 2001; Bozkus et al. 2005, Dath et al. 2007). So finden sich für das Modelltier Rind bzw. Kalb vor allem Arbeiten auf dem Gebiet der Bandscheiben-Forschung (O'Connell et al. 2007; Showalter et al. 2012; Growney Kalaf et al. 2014; Sitte et al. 2014). Das Schaf hingegen dient häufig als Modelltier im Bereich knöcherner Strukturen, ist hierbei allerdings in seiner Eignung- die Vergleichbarkeit von Knochendichte und biomechanischen Gegebenheiten betreffend- dem Schwein unterlegen (Aerssens et al. 1998). In einer morphometrischen Arbeit zum Themenkomplex Bandscheibe zeigte sich jedoch die höchste Ähnlichkeit des Schafes gegenüber dem Menschen im Vergleich weiterer untersuchter Großtierarten (Rind, Schaf, Pavian) (O'Connell et al. 2007). Andere Autoren sprechen dem Schwein ebenfalls eine gute Eignung als Modelltier zu (Lundin et al. 1998; Lundin et al. 2000; Holm et al. 2004).

Des weiteren werden Schwein, Yucatan-Minischwein, Schaf, Ziege und Kalb als Modelltier für die präklinische Testung von Wirbelsäulen-Implantaten eingesetzt (McLain et al. 2002; Kettler et al. 2007). Dem Schwein wird hierfür die beste Eignung als Modelltier bescheinigt, allerdings wurde die Praktikabilität der Tierart aufgrund dessen Zuwachs, Größe und Verhalten als suboptimal eingestuft (Pearce et al. 2007).

Im Zuge der BSE<sup>3</sup>-Problematik mit ihrem Höchststand in den 1990er Jahren haben sich einige Autoren zusätzlich dem Rothirsch als möglichen Ersatz für bovine und ovine Modelltiere der Wirbelsäule zugewandt (Kumar et al. 2000; Kumar et al. 2002; Seel und Davies 2007; Wang et al. 2010). Dieser zeigt eine teilweise Eignung als Modelltier für die untere thorakale und obere lumbale Region der Wirbelsäule sowie eine dem Menschen ähnliche Knochenmineraldichte (Kumar et al. 2000; Kumar et al. 2002; Wang et al. 2010).

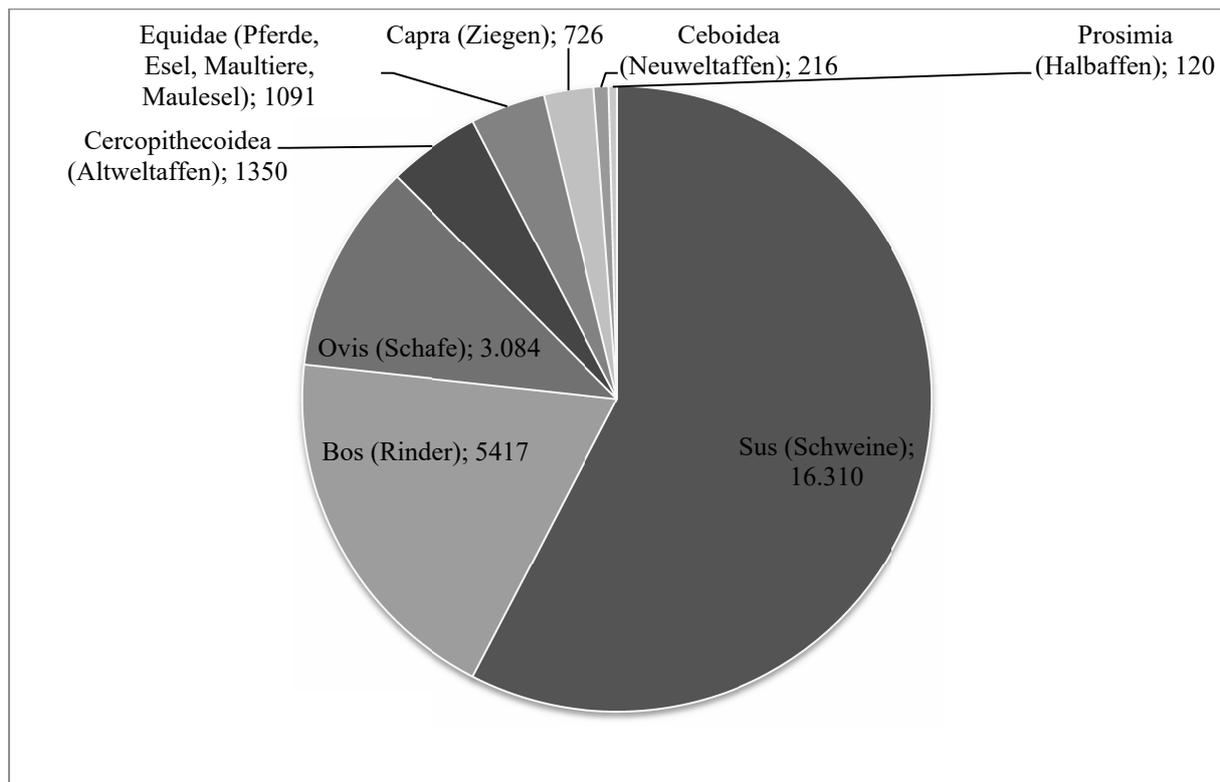
Für den Pavian finden sich trotz seiner sehr nahen evolutionären Verwandtschaft zum Menschen und der damit einhergehenden erwartungsgemäß besten Eignung als Modelltier vergleichsweise wenige Arbeiten. Dies ist sehr wahrscheinlich auf ethische Beweggründe zurückzuführen.

---

<sup>3</sup> BSE: Bovine spongiforme Enzephalopathie

## 2.2 Das Schwein in der medizinischen Forschung

Betrachtet man die vom BMEL<sup>4</sup> veröffentlichten Versuchstierzahlen des Jahres 2012 für Deutschland, sind Schweine die mit Abstand am häufigsten eingesetzten Großtiere in der Forschung (siehe Abbildung 3).



**Abbildung 3: Versuchstierzahlen der Bundesrepublik Deutschland 2012 (BMEL 2013)**

Der häufige Einsatz des Schweins als Modelltier für den Menschen liegt in dessen großer biologischer Ähnlichkeit mit dem Menschen begründet. Diese zeigt sich in der ganzen Bandbreite der Anatomie und Physiologie- unter anderem an den Organsystemen Haut (Schook und Tumbleson 1996; Bollen et al. 2010), Gastrointestinaltrakt (Miller und Ullrey 1987; Swindle et al. 1988), dem kardiovaskulären System (Hughes 1986; Swindle et al. 1988) sowie den Organen Niere (Swindle et al. 1988), Leber (Swindle et al. 1988) und Pankreas (Swindle et al. 1988). Insbesondere für Fragestellungen auf den Gebieten der Toxikologie bzw. Pharmakokinetik (Nair et al. 1993; Bollen et al. 2010), der Immunologie, z. Bsp. im Rahmen der Erforschung neuer Impfstoffe (Exner 2004), der kardiovaskulären Forschung (Hughes 1986; Swindle et al. 1988; Exner 2004; Müller 2010; Killingsworth et al. 2013; Crisostomo et al. 2014), der chirurgischen Forschung- unter anderem zu den Themen

<sup>4</sup> BMEL: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Wundheilung (Sullivan et al. 2001; Gaines et al. 2013), Traumatologie (Oxland et al. 1991; Mohr et al. 2013), Transplantationschirurgie (Exner 2004; Cooper et al. 2013; Ezzelarab und Cooper 2013) und Gewebeersatz durch sog. "Tissue Engineering" (Booth et al. 2002; Bannasch et al. 2003), Osteosynthese (Exner 2004; Sardenberg et al. 2011; Weimann et al. 2013) oder Notfallchirurgie (Exner 2004) sowie für endokrinologische und metabolische Fragestellungen wie Osteoporose (Exner 2004; Lee et al. 2011; Hirsch et al. 2013) und Diabetes mellitus (Exner 2004; Aigner et al. 2010; Wolf et al. 2014) wird das Schwein als Modelltier genutzt. Auf dem Gebiet der Xenotransplantation wird das Hausschwein derzeit als aussichtsreichster Spender angesehen (Exner 2004).

Das skelettale System betreffend, finden sich die meisten Arbeiten zum Schädel, mit Fokus auf den Kiefer, zu den Extremitäten und zur Wirbelsäule. Arbeiten im Bereich der Wirbelsäule des Schweines befassen sich insbesondere mit Anatomie, Morphometrie und biomechanischen Eigenschaften, vor allem in Hinblick auf die chirurgische Forschung sowie der Forschung auf dem Gebiet der Bandscheiben (O'Connell et al. 2007, Showalter et al. 2012). Häufig wird das Schwein als geeignetes Modelltier für die präklinische Testung von Implantaten, beispielsweise von Pedikelschrauben und Implantaten zur Wirbelkörperfusion eingesetzt (Kettler et al. 2007; Fekete et al. 2011; Tai et al. 2014). In diesem Zusammenhang dient das Schwein auch häufig als Modelltier für biomechanische Studien der Wirbelsäule (Schmidt et al. 2005; Busscher et al. 2010a; Wilke et al. 2011).

Aufgrund der großen Ähnlichkeit zwischen porcinem und humanem Knochen, welche die Anatomie und Morphologie (z. Bsp. lamellare Knochenstruktur) sowie Knochenheilung und -umbau betreffen, eignet sich dieser hervorragend als Modell zur Entwicklung von Implantaten, beispielsweise im orthopädischen und dentalen Bereich (Pearce et al. 2007). In Bezug auf Anatomie, Morphometrie und Biomechanik wird dem Schwein insbesondere in den thorakalen und lumbalen Abschnitten der Wirbelsäule die größte Bedeutung zugemessen. Gleichzeitig wird für in vivo Versuche eine Konzentration auf adulte Tiere empfohlen, da das Schwein eine steile Wachstumskurve aufweist. Aufgründessen, sowie den hohen Kosten der Haltung und des schwierigen Handlings, wird der Einsatz des Schweins als Modelltier in diesem Bereich jedoch kritisch betrachtet (Pearce et al. 2007; Sheng et al. 2010).

Um die vielfältigen Vorteile des Schweins als Modelltier für den Menschen zu nutzen, dabei aber die o.g. Problematik zu minimieren, ist die Verwendung eines Miniaturschweines für den Einsatz in der Forschung zu empfehlen.

## 2.3 Das Göttingen Minipig in der medizinischen Forschung

### 2.3.1 Warum Minipig?

Nachdem die besondere Eignung des Schweines als Modelltier für die Humanmedizin belegt, dessen Praktikabilität als Labortier jedoch umstritten war und parallel dazu die Nachfrage nach Tieren für die Forschung weiterhin stieg, wurde 1949 in Minnesota, USA, mit der Zucht sogenannter Miniaturschweine begonnen (El-Nabi 1975; Glodek 1981; Bollen et al. 2010). Ziel stellte eine gegenüber dem Hausschwein kleinere und leichtere Rasse dar, welche sich durch einfacheres Handling sowie eine kostengünstigere Haltung auszeichnet (El-Nabi 1975). Gleichzeitig sollten die Tiere ein ruhiges und ausgeglichenes Temperament, eine geringe Scheu vor dem Menschen sowie eine gute Fruchtbarkeit besitzen (El-Nabi 1975). Des Weiteren sollte mit einem gegenüber dem Hausschwein weniger steilen und früher abgeschlossenen Wachstumsverlauf ein adultes Tier unter Zeit- und Kostenersparnis dem Einsatz in der Forschung zur Verfügung gestellt werden (Beglinger et al. 1975). So erreicht das Minischwein bereits im Alter von spätestens 2 Jahren sein Endgewicht, während dies beim Hausschwein erst in einem Alter von 2,5 bis 4,2 Jahren beobachtet wird (Glodek 1981; Bollen und Ellegaard 1997; Köhn et al. 2007; Schuleri et al. 2008).

### 2.3.2 Entwicklung des Göttingen Minipig

Nach Beginn der Zucht der Minnesota Miniature Pig (siehe Abbildung 4) in den USA wurde man in den 1960er Jahren auch in Deutschland auf die Zucht des Miniaturschweines aufmerksam. Die Entstehung des Göttingen Minipig an der namensgebenden Universität Göttingen geht auf die Kreuzung des Minnesota Miniature Pig mit dem Vietnamesischen Hängebauchschwein (siehe Abbildung 4) ab 1960/61 zurück (Glodek 1981). Ziel des durch Herrn Professor Fritz Haring und Frau Professor Ruth Gruhn initiierten Zuchtprogrammes war die Vereinigung des Phänotyps und ruhigen Temperaments des Minnesota Miniature Pig mit der Kleinwüchsigkeit und Fruchtbarkeit des Vietnamesischen Hängebauchschweines (El-Nabi 1975; Glodek 1981). Aufgrund der hohen Nachfrage an hellhäutigen Tieren, vor allem für den Einsatz in der dermatologischen Forschung, wurden zusätzlich Tiere der deutschen Landrasse (siehe Abbildung 4) eingekreuzt, was zur „weißen Linie“ des Göttingen Minipig führte (Glodek 1981). Die wichtigsten Zuchtziele stellten Gewicht, Temperament, Fruchtbarkeit, Farbe und Form der Tiere dar (El-Nabi 1975). Seit 1969 werden die Tiere auch unter SPF<sup>5</sup>-Bedingungen gehalten und vertrieben (El-Nabi 1975). Heute (Stand Okt. 2015) existieren Populationen in Deutschland, Dänemark, Japan und den USA, wobei die züchterische Aufsicht weiterhin bei der Universität Göttingen liegt (Simianer und Köhn 2010; Ellegaard 2014). Seit ihrer Lizenzierung 1992 durch die Universität Göttingen wird die Zucht für den internationalen Raum von Ellegaard Göttingen Minipig in Dänemark betrieben (Simianer und Köhn 2010). Subunternehmen existieren in den USA und Japan (Simianer und Köhn 2010; Ellegaard 2014). Hauptaugenmerk der züchterischen Entwicklung liegt dabei auf

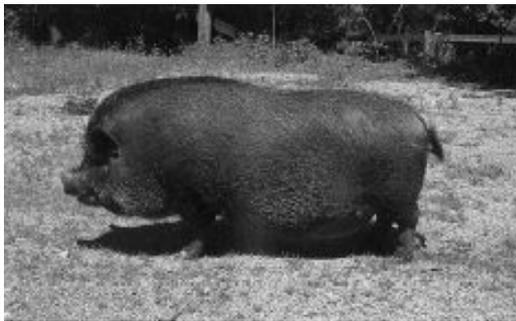
---

<sup>5</sup> SPF: specific pathogen free

dem Erhalt der Reinheit und Gesundheit der (Sub)Populationen durch Vermeidung von Inzucht und züchterische Selektion sowie weiterhin der Förderung erwünschter Zuchtziele wie der geringen Körpergröße und einem ausgeglichenen Temperament der Tiere (Simianer und Köhn 2010). Das Göttingen Minipig ist heute das meistgenutzte Miniaturschwein in der biomedizinischen Forschung (Nunoya et al. 2007).



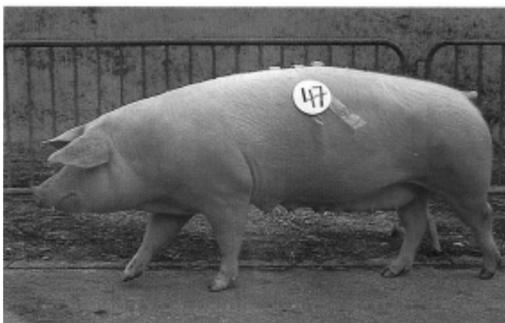
**Minnesota Miniature Pig (Mettler 2015)**



**Vietnamesisches Hängebauchschwein (Sambraus 2001)**



**Göttingen Minipig (Sambraus 2001)**



**Deutsche Landrasse (Sambraus 2001)**



**Abbildung 4: Schweinerassen, welche zur Zucht des Göttingen Minipig eingesetzt wurden**

### 2.3.3 Einsatzgebiete des Göttingen Minipig in der medizinischen Forschung

Da das Minipig der Optimierung des Modelltiers Hausschwein dient, werden beide Rassen dementsprechend auf identischen Forschungsgebieten genutzt. Wesentliche Bereiche der biomedizinischen Forschung, in welchen das Göttingen Minipig als Modelltier dient, sind (El-Nabi 1975; Glodek 1981):

- Experimentelle Chirurgie (Tests von Implantaten jeglicher Art, Bandscheibenforschung, Knochenregeneration, Gelenkchirurgie, Wundheilung, Gefäßprothetik, Organtransplantation einschl. Hauttransplantation)
- Innere Medizin (Kardiologie und Kreislaufforschung, Immunologie, Gastroenterologie, Nephrologie, Endokrinologie, Metabolismus)
- Dermatologie
- Zahnheilkunde
- Neurophysiologie
- Arzneimittelforschung
- Reproduktionsmedizin
- Ernährungsphysiologie
- Wachstumsphysiologie.

Insbesondere dem Einsatz in der kardiovaskulären Forschung kommt eine herausragende Bedeutung zu (Maratea et al. 2006; Schuleri et al. 2008; Müller 2010; Laursen et al. 2011). Des Weiteren ist die Nutzung des Göttingen Minipig als Modelltier für endokrinologische und metabolische Erkrankungen wie Diabetes mellitus (Larsen et al. 2002; Rolandsson et al. 2002; Larsen und Rolin 2004) und Osteoporose (Fröhlke 2009; Bartels 2011; Kim et al. 2013) von großem Interesse. Auch für toxikologische und pharmakologische Untersuchungen, beispielsweise im Rahmen präklinischer Studien von Arzneimitteln, dient das Göttingen Minipig häufig als Modelltier (Graw et al. 1975; Svendsen 2006; Stubhan 2008; Suenderhauf et al. 2014).

In Bezug auf das skeletale System wird das präadulte bis adulte Göttingen Minipig von mehreren Autoren hinsichtlich der Zusammensetzung, Struktur, Dichte und Umbaurate der Knochen als hervorragend geeignetes Modell für den Menschen genannt (Inui et al. 2004). Arbeiten liegen zum Schädel, der Wirbelsäule und den Gliedmaßen vor. Hinsichtlich des Schädels sind vor allem Ober- und Unterkiefer sowie Kiefergelenk Gegenstand des Interesses. Häufig untersuchte Fragestellungen sind die Optimierung des Heilungsverlaufs bei sog. Sinuslifts bzw. Sinusaugmentationen des Oberkiefers in der Kieferchirurgie (Gruber et al. 2008; Busenlechner et al. 2009), die Untersuchung der Regeneration von sog. critical size defects (Rupprecht et al. 2003; Niehues et al. 2009; Ruehe et al. 2009) - auch im Hinblick auf Tissue Engineering (Gröger et al. 2003; Warnke et al. 2006) - die Blutgefäßversorgung des Unterkiefers (Saka et al. 2002a; Saka et al. 2002b), sowie der Einsatz von osteoinduktiven Implantaten zur Defektversorgung des Unterkiefers (Henkel et al. 2004; Reuther et al. 2004; Savić 2009). Gliedmaßen und Wirbelsäule des Göttingen Minipig stehen im Fokus der Osteoporoseforschung. Deren Schwerpunkte liegen auf der Erforschung der Pathogenese,

Diagnose und Therapie der Erkrankung sowie der Suche nach einem geeigneten Modelltier (Blake und Fogelman 2007; Bartels 2011; Fröhlke 2009; Kim et al. 2013; Hirsch et al. 2013). Dabei ist insbesondere die chirurgische Therapie traumatischer Veränderungen, z. Bsp. mit Hilfe osteoinduktiver Implantate, von großem Interesse. Weitere Studien widmen sich der Pathophysiologie des Kniegelenks und beschäftigen sich mit der Erforschung von Knorpeldefekten (Gotterbarm et al. 2008; Gronloh 2009; Jung et al. 2009). Das Hüftgelenk wird u.a. zur Entwicklung von Hüftendoprothesen oder der Mikrodialyse als analytischem Verfahren für Untersuchungen des Metabolismus von Knochengewebe herangezogen (Thomsen et al. 1997; Bøgehøj et al. 2011).

#### 2.3.4 Einsatz des Göttingen Minipig in der Wirbelsäulenforschung

In bisherigen Studien hat sich das Göttingen Minischwein als gut geeignetes Modelltier für Untersuchungen des skelettalen Systems erwiesen. Da große Ähnlichkeiten des Knochenstoffwechsels zwischen Mensch und Schwein bestehen, unter anderem aufgrund seiner omnivoren Ernährung und des dem Menschen ähnlichen asaisonal polyöstrischen Fortpflanzungszyklus (Turner 2001; Aurich und Engelhardt 2010), welcher sich insbesondere bei weiblichen Individuen hormonell stark auf das skelettale System auswirkt, wird dieses bevorzugt als Modelltier für die Osteoporoseforschung eingesetzt (Inui et al. 2004; Fröhlke 2009; Bartels 2011). Auch in der chirurgischen Forschung, beispielsweise der Entwicklung von Implantationsverfahren, findet das Göttingen Minipig als Modelltier Einsatz (Büchter et al. 2005). Lokalisationen von bevorzugtem Interesse sind die großen Röhrenknochen (Femur, Tibia) sowie die Wirbelsäule (LWS) (Tsutsumi et al. 2004; Jung et al. 2009; Bartels 2011). Mehrere Arbeiten dokumentieren zusätzlich einen dem Menschen ähnlichen Knochenaufbau sowie eine vergleichbare Wachstums- und Regenerationsgeschwindigkeit der Knochen (Turner 2001; Inui et al. 2004; Tsutsumi et al. 2004). Hinsichtlich der Wirbelsäule wird das Göttingen Minipig insbesondere in folgenden Forschungsgebieten eingesetzt (Quelle: pubmed):

- Rückenmarkserkrankungen und -verletzungen
- Stammzelltherapie
- Einsatz neuartiger Implantate
- Bandscheibenforschung
- Osteoporoseforschung
- Einfluss von Kortikosteroidtherapie auf den Knochenstoffwechsel

Insbesondere für die Therapie osteoporotisch oder traumatisch bedingter Frakturen wird anatomisches und morphometrisches Wissen benötigt. Hierfür liegen derzeit kaum Erkenntnisse für das Göttingen Minipig vor. Aufgrund des steigenden Einsatzes des Göttingen Minipig in der chirurgischen Forschung soll im Rahmen dieser Arbeit ein Katalog der bedeutendsten morphometrischen Parameter der Wirbelsäule des Göttingen Minipig erstellt werden.

## 2.4 Bisher vorliegende Literatur

Der anatomischen und morphometrischen Untersuchung der Wirbelsäule des Hausschweines sowie dem Vergleich mit dem Menschen haben sich bereits eine Vielzahl von Autoren gewidmet (siehe Tabelle 1). Die verschiedenen Untersuchungsparameter wurden hierbei röntgenologisch, photographisch, mit Hilfe von Messschiebern oder computertomographisch ermittelt. Während sich ein Großteil der Arbeiten mit ausgewählten Wirbelkörpern bzw. Abschnitten der Wirbelsäule beschäftigt, teils auch parallel bei mehreren Spezies, liegen nur einzelne Vergleiche der kompletten Wirbelsäule des Hausschweines mit der des Menschen vor. Die Auswahl der Untersuchungsparameter der vorliegenden Arbeit orientiert sich an den Literaturdaten in Tabelle 1. Für das Göttingen Minipig lagen nach eingehender Literaturrecherche keine Arbeiten, welche die Wirbelsäule hinsichtlich ihrer Anatomie sowie Morphometrie charakterisieren, vor.

**Tabelle 1: Übersicht Literaturrecherche für Hausschwein, Mensch und weitere Spezies**  
(\* in die vorliegende Arbeit einbezogene Studien)

Hausschwein	Hausschwein - Mensch	Mensch und weitere Spezies, inkl. Hausschwein
<ul style="list-style-type: none"> <li>•(Dath et al. 2007)<sup>1</sup></li> <li>•(Oxland et al. 1991)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•(Bozkus et al. 2005)<sup>1</sup></li> <li>•(Yingling et al. 1999)<sup>1</sup></li> <li>•(Busscher et al. 2010b)<sup>1</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•(Cotterill et al. 1986)<sup>1</sup></li> <li>•(Ebraheim et al. 1997)</li> <li>•(Francis 1955)</li> <li>•(Kandziora et al. 2001)<sup>1</sup></li> <li>•(Karaikovic et al. 1997)<sup>1</sup></li> <li>•(Kettler et al. 2007)</li> <li>•(Kumar et al. 2000)</li> <li>•(McLain et al. 2002)</li> <li>•(Nissan und Gilad 1986)<sup>1</sup></li> <li>•(O'Connell et al. 2007)</li> <li>•(Pait et al. 1996)<sup>1</sup></li> <li>•(Panjabi 1998)</li> <li>•(Panjabi et al. 1991a)<sup>1</sup></li> <li>•(Panjabi et al. 1991b)<sup>1</sup></li> <li>•(Panjabi et al. 1992)<sup>1</sup></li> <li>•(Panjabi et al. 1993)</li> <li>•(Sheng et al. 2010)</li> <li>•(Tominaga et al. 1995)<sup>1</sup></li> <li>•(Zindrick et al. 1987)</li> <li>•(Wilke et al. 1997b)</li> <li>•(Berry et al. 1987)<sup>1</sup></li> </ul>

## 2.5 Das Konzept der 3R

### 2.5.1 Die Entwicklung des Tierschutzgedankens

Der Wert des Lebens wird sowohl in den großen Weltreligionen als auch der Ethik als etwas Heiliges, Unantastbares betrachtet. Albert Schweitzer formuliert in seiner Lehre der Ehrfurcht vor dem Leben: „*Ich bin Leben, das leben will, inmitten von Leben, das leben will.*“ (Schweitzer 2008). Gleichzeitig drückte er damit die Gleichstellung aller Lebewesen, unabhängig von ihrer Spezies, aus. Welchen Wert jedoch das Leben des Tieres in seiner Verwendung als Nutztier, Haustier und Begleiter des Menschen in der Gesellschaft einnimmt, wird seit jeher stark diskutiert.

Bereits die Bibel weist dem Tier einen Stellenwert in der Welt zu:

*„Und Gott sprach: Lasset uns Menschen machen, ein Bild, das uns gleich sei, die da herrschen über die Fische im Meer und über die Vögel unter dem Himmel und über das Vieh und über alle Tiere des Feldes und über alles Gewürm, das auf Erden kriecht.“* (Genesis 1:26).

Die älteste heute bekannte tierschutzrechtliche Gesetzgebung geht auf den Codex Hammurabi zurück, welcher im 18. Jahrhundert v. Chr. von König Hammurabi von Babylon erlassen wurde und in welchem unter anderem der Umgang mit Nutztieren geregelt ist. Allerdings wird Tierschutz hierbei nicht im eigentlichen Interesse des Tieres vertreten, sondern im Sinne der Schadensvermeidung menschlicher Besitztümer (Hackbarth und Lückert 2002). In der Antike wurden die Stellung des Tieres und dessen damit verbundene Rechte aufgrund des herrschenden anthropozentrischen Weltbildes kontrovers diskutiert. Die ersten historisch belegten Vivisektionen wurden um ca. 300 v. Chr. von Erasistratos von Alexandria, einem der bedeutendsten Anatomen der Antike, durchgeführt (Bulger 1987). Ein damit verbundener ethischer Konflikt existierte nicht, denn die Fähigkeit des Tieres zu Schmerzempfinden war umstritten bzw. wurde weitgehend negiert. Der Mensch wurde als dem Tier übergeordnetes Wesen betrachtet, da man dem Tier das Vorhandensein einer Seele absprach (Bulger 1987). Eine Vorstellung des Tieres „als Maschine“ vertrat Descartes noch im 17. Jahrhundert (Bulger 1987; Wild 2006). Dies änderte sich erst Anfang des 18. Jahrhunderts mit einer Anerkennung der Fähigkeit zu Schmerzen und Leiden beim Tier als fühlendes Wesen (Bulger 1987). Zu Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der Tierschutzgedanke im Zuge des aufkommenden Philanthropismus durch den Ethiker Jeremy Bentham aufgegriffen, welcher in der Fähigkeit zur Schmerzempfindung des Tieres die Verpflichtung des Menschen in einem ethischen Umgang diesem gegenüber sieht.

*“It may one day come to be recognised that the number of the legs, the villosity of the skin, or the termination of the os sacrum are reasons equally insufficient for abandoning a sensitive being to the same fate. What else is it that should trace the insuperable line? Is it the faculty of reason or perhaps the faculty of discourse? But a full-grown horse or dog is beyond comparison a more rational, as well as more conversable animal, than an infant of a day or a week or even a month old. But suppose they were otherwise, what would it avail? The question is not, Can they reason?, nor Can they talk? but, Can they suffer?”* (Bentham 1823)

Mit Veröffentlichung der Evolutionstheorie von Charles Darwin im Jahr 1859, welche anfangs auf keine große Akzeptanz in der Wissenschaft stieß, wurde schließlich der Grundstein für das Verständnis einer verwandtschaftlichen Beziehung zwischen Mensch und Tier gelegt (Darwin 1859). Im Laufe des 19. Jahrhunderts bildeten sich daraufhin zahlreiche Organisationen mit dem Interesse des Tierschutzes, wobei dem Vereinigten Königreich hierbei eine Vorreiterrolle zukam. Das Interesse breitete sich zügig in Europa aus und in Deutschland existierten nach Großbritannien bald die mitgliederstärksten Tierschutzvereine Europas (Martin 1989; Dirscherl 2012). Auf den utilitaristischen Ansatz von Bentham und den vom britischen Psychologen Richard Ryder in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts formulierten Speziesismus aufbauend, entwickelte der australische Philosoph Peter Singer das Gleichheitsprinzip. Dieses verurteilt den Speziesismus als eine Ideologie der Diskriminierung, Unterdrückung und Ausbeutung, analog zu Sexismus und Rassismus:

*„So wenig wir berechtigt sind, die vorhandenen Interessen von Wesen deshalb geringer zu schätzen, weil sie zu einer anderen Rasse gehören oder weil sie weniger intelligent sind, so wenig sind wir berechtigt, die vorhandenen Interessen von Wesen deshalb geringer zu schätzen, weil sie zu einer anderen biologischen Gattung gehören.“* (Singer 2011; Kaplan 2014)

Sein 1975 erschienenes und sehr umstrittenes Werk „Animal Liberation“ trug unter anderem zum Entstehen der modernen Tierrechtsbewegung bei (Singer 1975). Auch im Zuge des dadurch in der Öffentlichkeit immer stärkeren Interesses am Tierschutz beschäftigte sich die Wissenschaft mit der Verbesserung der Bedingungen der eingesetzten Tiere.

### 2.5.2 Das Prinzip der 3R

Das Prinzip der **3R - Replacement, Reduction and Refinement** - wurde von dem englischen Zoologen **Prof. William Moy Stratten Russell** und dem englischen Mikrobiologen **Rex Leonard Burch** formuliert (Russell und Burch 1959). Initiiert wurde die Zusammenarbeit von Russell und Burch 1954 durch ein Projekt der Universities Federation for Animal Welfare nach einer Idee von Charles Hume. Ziel stellte eine großangelegte Studie über den Status quo der Bedingungen von Tieren in der Forschung dar (Russell 2005; Irsch 2007). Die Auswertung ihrer mehrjährigen Untersuchungen sowie Vorschläge zur Verbesserung der Situation trugen sie schließlich 1959 in ihrem Werk „The principles of humane experimental technique“ zusammen (Russell und Burch 1959). Anfangs wurde diesem jedoch wenig Aufmerksamkeit zuteil (Flecknell 2002; Balls 2009; Balls et al. 2009). Erst in den 70er und 80er Jahren fand ihr Werk zunehmend Beachtung und dient heute international als Grundlage vieler Gesetzgebungen (Irsch 2007; Hartung 2010).

Der schwierige Prozess in der Frage nach einem ethischen Umgang mit Versuchstieren sowie die Auslegung und Bestimmung des Begriffes „human“ werden von Russell und Burch in „The concept of inhumanity“ kritisch diskutiert (Russell und Burch 1959). Da eine Definition des Begriffes „human“ international vor dem Hintergrund verschiedener Ethnien und Kulturen, Religionen und Staatsformen kaum eine allgemeine Gültigkeit finden wird, lag der

Schwerpunkt von Russell und Burch in der Definition rein wissenschaftlicher und objektiv beurteilbarer Ziele (Balls 2007).

Als Kern ihrer Arbeit formulierten sie 3 Hauptziele des humanen Umgangs mit sog. Labortieren (Russell und Burch 1959; Balls 2010):

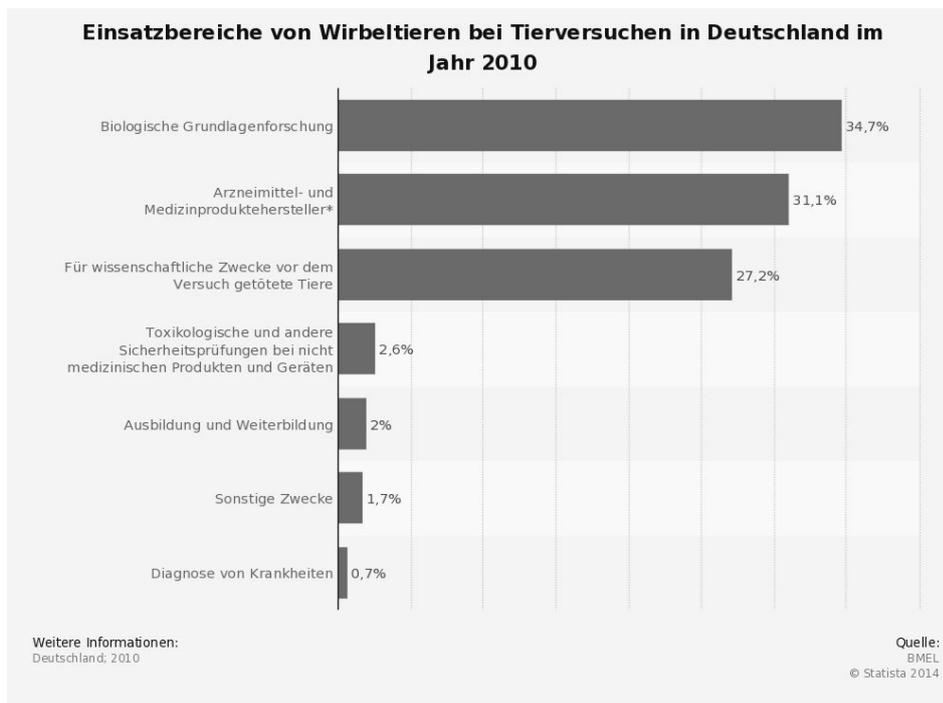
- **Replacement (Ersatz von Versuchstieren)** “any scientific method employing non-sentient material, which may in the history of experimentation replace methods which use conscious living vertebrates”
- **Reduction (Reduzierung der Zahl eingesetzter Tiere)** “reduction in the numbers of animals used to obtain information of given amount and precision”
- **Refinement (Verbesserung der Versuchsbedingungen)** “decreasing the incidence or severity of inhumane procedures applied to those animals which still have to be used, when replacement is not (yet) possible, and every device of theory and practice to reduce the number of animals to a minimum has been employed”

Sowohl national als auch international wurden diese Ziele mittlerweile in die Gesetzgebung integriert.

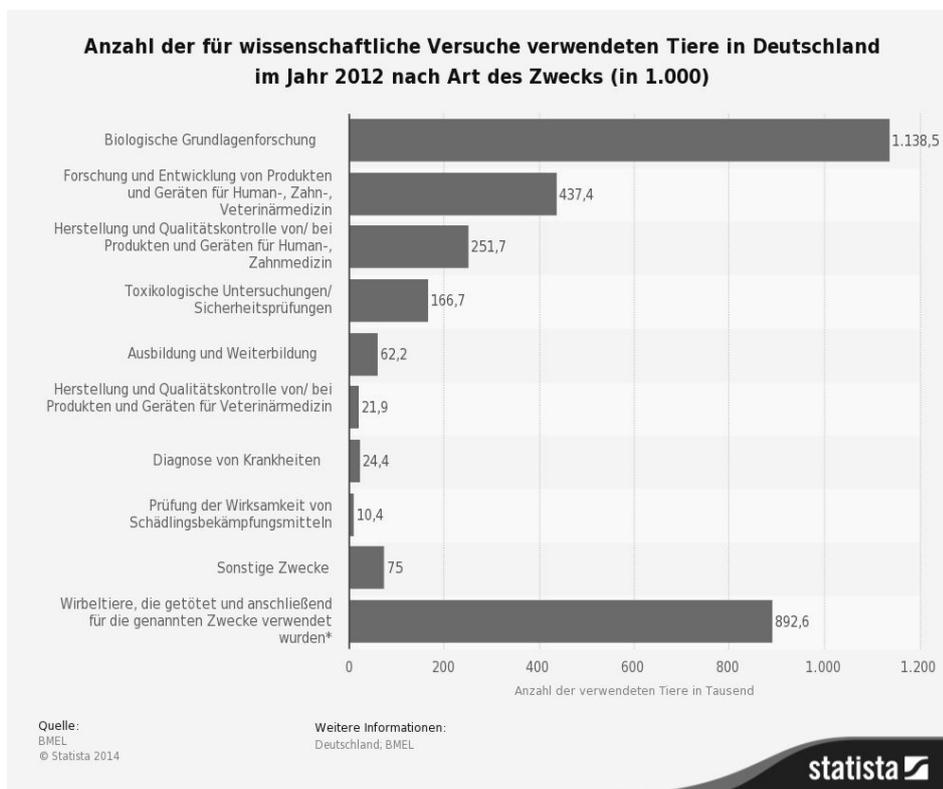
### 2.5.3 Praktische Umsetzung der 3R

Das Thema „Tierversuch“ stellt auch heute einen stark emotional diskutierten Gegenstand des öffentlichen Interesses dar. So äußerten sich in einer Befragung der Bevölkerung im Auftrag der Europäischen Kommission zur ethischen Vertretbarkeit von Tierversuchen an Hunden und Affen zur Erforschung menschlicher Gesundheitsprobleme 37% der Befragten dafür, 43% dagegen (European Commission, zitiert nach Statista 2010). In einer weiteren Umfrage aus dem Jahr 2003 sprachen sich 63% der Befragten für eine größtmögliche Einschränkung von Tierversuchen aus (TNS Emnid, zitiert nach Statista 2003). Entsprechend besteht ein großer Bedarf an Auseinandersetzung mit der Thematik seitens der Wissenschaft.

Laut Tierschutzgesetz handelt es sich bei einem Tierversuch per definitionem um Versuche an lebenden Tieren. Zu Forschungszwecken vor Beginn des Versuches getötete Tiere fallen demnach nicht unter diesen Begriff (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014). Knapp ein Drittel der zu wissenschaftlichen Zwecken verwendeten Tiere im Jahr 2010 gelten daher nicht als „Tierversuch“ (siehe Abbildung 5). Dieser Anteil ist im Jahr 2012 noch einmal um etwa 2% gestiegen (siehe Abbildung 6).



**Abbildung 5: Einsatzbereiche von Wirbeltieren bei Tierversuchen in Deutschland 2010; (BMEL, zitiert nach Statista 2012)**



**Abbildung 6: Anzahl der für wissenschaftliche Versuche verwendeten Tiere in Deutschland im Jahr 2012 nach Art des Zwecks (in 1.000); (BMEL, zitiert nach Statista 2013)**

Häufigste Untersuchungsgebiete für zu wissenschaftlichen Zwecken eingesetzte Tiere sind hierbei die biologische Grundlagenforschung sowie die Arzneimittel-, Medizinprodukte- und -geräteforschung, -entwicklung und -herstellung. Sicherlich auch aufgrund des großen öffentlichen Interesses hat die Beschäftigung mit Versuchsmethoden im Sinne einer Umsetzung der 3R nach Russell und Burch in den letzten Jahren stark zugenommen (Greeve et al. 2004; Daneshian et al. 2011). In den Richtlinien der OECD<sup>6</sup> sind heute beispielsweise konkrete international standardisierte sogenannte alternative Testmethoden zur Überprüfung der Toxizität von Chemikalien vorhanden. Auf europäischer Ebene ist die EURL-ECVAM<sup>7</sup> seit 2011 mit der Optimierung von tierschutzgerechten Prüfmethoden im Bereich der Toxikologie betraut. Innerhalb Deutschlands befasst sich seit 1989 die ZEBET<sup>8</sup> des BfR<sup>9</sup> mit der Entwicklung, Validierung und Zulassung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden, insbesondere toxikologischer Testverfahren im Sinne der 3R.

Aktuell werden unter anderem folgende Möglichkeiten zur Umsetzung der 3R diskutiert (Exner 2004; Tierärztliche Vereinigung für Tierschutz e.V. 2004; Boo und Knight 2008; Daneshian et al. 2011):

## Replacement

- Verbesserung der Verfügbarkeit und Nutzung bereits bekannter Literaturdaten
- in silico-Tests<sup>10</sup> (Nutzung von Computermodellen, Patientensimulatoren etc.)
- Nutzung phylogenetisch niederer Arten, früher Entwicklungsstadien von Wirbeltieren, Mikroorganismen und Pflanzen
- in vitro Testverfahren
  - Zellkulturen (Zelllinien, Stammzellen, humane Hepatozyten)
  - „organs-on-chips“
  - Hautmodelle
  - humane Blutzellen
  - in vitro assays mit Bakterien, Hefen, Protozoen, Säugetier- oder humanen Zellkulturen
  - Cytochrom P450-Systeme
  - Microarrays für Gentests (Gen-Chips)
- Einsatz humaner Probanden (z. Bsp. Microdosing, staggered dosing, fMRT<sup>11</sup>)

---

<sup>6</sup> OECD: Organisation for Economic Co-operation and Development

<sup>7</sup> EURL-ECVAM: European Union Reference Laboratory for Alternatives to Animal Testing-European Centre for the Validation of Alternative Methods

<sup>8</sup> ZEBET: Zentralstelle zur Erfassung und Bewertung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden zum Tierversuch

<sup>9</sup> BfR: Bundesinstitut für Risikobewertung

<sup>10</sup> in silico: computergestützte Simulation

## Reduction

### *intra-experimentelle Reduzierung*

- optimiertes Versuchsdesign zur Vermeidung von Wiederholungen etc.
- Auswertung bereits vorhandener Daten zur Anpassung der Probenmenge
- statistische Signifikanz der Ergebnisse durch ausreichenden Probenumfang
- Einsatz von Metaanalysen<sup>12</sup>
- Vorversuche ohne Tiere
- standardisierte Versuchsprotokolle
- Nutzung bereits vorhandener Daten für weitere Fragestellungen

### *supra-experimentelle Reduzierung*

- Weiterbildung beteiligter Personen, z. Bsp. in Versuchsplanung, Statistik, Handling der Versuchstiere
- Verknüpfung ähnlicher Versuche von Institution (en)

### *extra-experimentelle Reduzierung*

- Good Manufacturing Practice (Qualitätssicherung der Produktionsabläufe und -umgebung in der Herstellung von Arzneimitteln und Wirkstoffen)
- Good Laboratory Practice (Qualitätssicherungssystem des organisatorischen Ablaufs und der Rahmenbedingungen nicht-klinischer gesundheits- und umweltrelevanter Sicherheitsprüfungen sowie Aufzeichnung, Archivierung und Berichterstattung der Prüfungen)

## Refinement

- Einsatz von Anästhesie und Analgesie vor, während und nach dem Versuch
- Leidensbegrenzung durch Erkennen moribunder Tiere
- tierschutzgerechte Tötungsmethoden
- technische Verbesserung der Messmethoden
- nicht-invasive Untersuchungsmethoden (CT, MRT, Sonographie, telemetrische Geräte, Untersuchung von Fäzes statt Blut etc.)
- an Umgebung adaptierte Tiere
- trainierte Tiere (für regelmäßige Blutabnahmen)
- optimierte Haltungsbedingungen (Sozialpartner, Environmental Enrichment etc.)
- Fach- und Sachkunde des Pflegepersonals

---

<sup>11</sup> fMRT: funktionelle Magnetresonanztomographie

<sup>12</sup> Metaanalyse: zusammenfassende quantitative Analyse von Primärstudien (Alldinger 2005)

Zwischenzeitlich wurde von verschiedenen Autoren vorgeschlagen, das Konzept um folgende “Rs” zu erweitern (Banks 1995; Cussler 1999; Pereira und Tettamanti 2005; Boo und Knight 2008):

#### **Re-use bzw. Recycling (Wiederverwertung bereits existierender Daten)**

- Reduzierung der Gesamtzahl eingesetzter Tiere (m.H. longitudinaler Studien<sup>13</sup>, Verwendung bereits vorhandener Versuchsergebnisse in neuen Studien)

#### **Rehabilitation (Rehabilitierung eingesetzter Tiere)**

- Nachsorge und Weitervermittlung eingesetzter Tiere

#### **Re-assessment (Überprüfung der Notwendigkeit eines Versuchsvorhabens)**

- Überprüfung, ob ein Testverfahren noch wissenschaftlich notwendig ist, bzw. ersetzt oder abgeschafft werden kann

#### **Responsibility (Verantwortung des Menschen zu tierschutzgerechten Bedingungen gegenüber eingesetzten Tieren)**

- Möglichkeit der Tiere zu Sozialkontakten untereinander
- Environmental Enrichment
- Einsatz von Anästhesie und Analgesie
- Bildung der Öffentlichkeit zum Thema Tierschutz

Eine Konvergenz der beschriebenen Kategorien ist dabei sowohl unvermeidbar als auch angestrebt. Ziel der Umsetzung der Prinzipien nach Russell und Burch sowie weiterer Autoren soll es sein, während eines Versuchsvorhabens einer größtmöglichen Anzahl der o.g. Kategorien gerecht zu werden, mit der Umsetzung des Punktes Replacement als höchstem Ziel.

---

<sup>13</sup> Longitudinalstudie: auf verschiedene Zeitpunkte bezogene Informationen müssen möglichst dieselben oder repräsentativ ausgewählte Probanden betreffen (Springer Gabler 2015)

### 2.5.4 Die Computertomographie als nicht-invasive Methode im Sinne der 3R

Der erste Prototyp eines Computertomographen wurde 1969 durch den englischen Elektrotechniker Sir Godfrey Newbold Hounsfield entwickelt. Hierfür erhielt er 1979 zusammen mit Allan M. Cormack den „Nobelpreis für Physiologie oder Medizin“ (Bautz und Kalender 2005; Nobelprize.org 2015). Als frühe Modelle dienten ihm unter anderem Schweine; 1971 wurde die erste Untersuchung an einem Menschen durchgeführt (Exner 2004; Bautz und Kalender 2005). Mit Hilfe dieser Technik war es erstmals möglich, unter Inanspruchnahme einer nichtinvasiven Methode ein zweidimensionales, ab den 90er Jahren auch ein dreidimensionales anatomisches Bild innerhalb kürzester Zeit zu erzeugen. Heute stellt die Computertomographie eines der wichtigsten bildgebenden diagnostischen Verfahren dar und hat die Radiologie nachhaltig verändert (Bautz und Kalender 2005).

Vorteile der Computertomographie im Sinne der 3R liegen unter anderem in der Schnelligkeit der Methode, der (internationalen) Vergleichbarkeit der Bilder aufgrund standardisierter Aufnahmetechniken, der (Wieder-) Verwendung der Daten für vielfältigste anatomische und physiologische Fragestellungen und insbesondere dem nicht-invasiven Charakter. Infolgedessen kann sowohl die Anzahl initial eingesetzter Tiere reduziert, als auch die Notwendigkeit einer Euthanasie nach Versuchsende umgangen werden (Niehues 2014). Eine zusammenfassende Darstellung der Vorteile der Computertomographie zur Umsetzung der 3R gibt Abbildung 7.

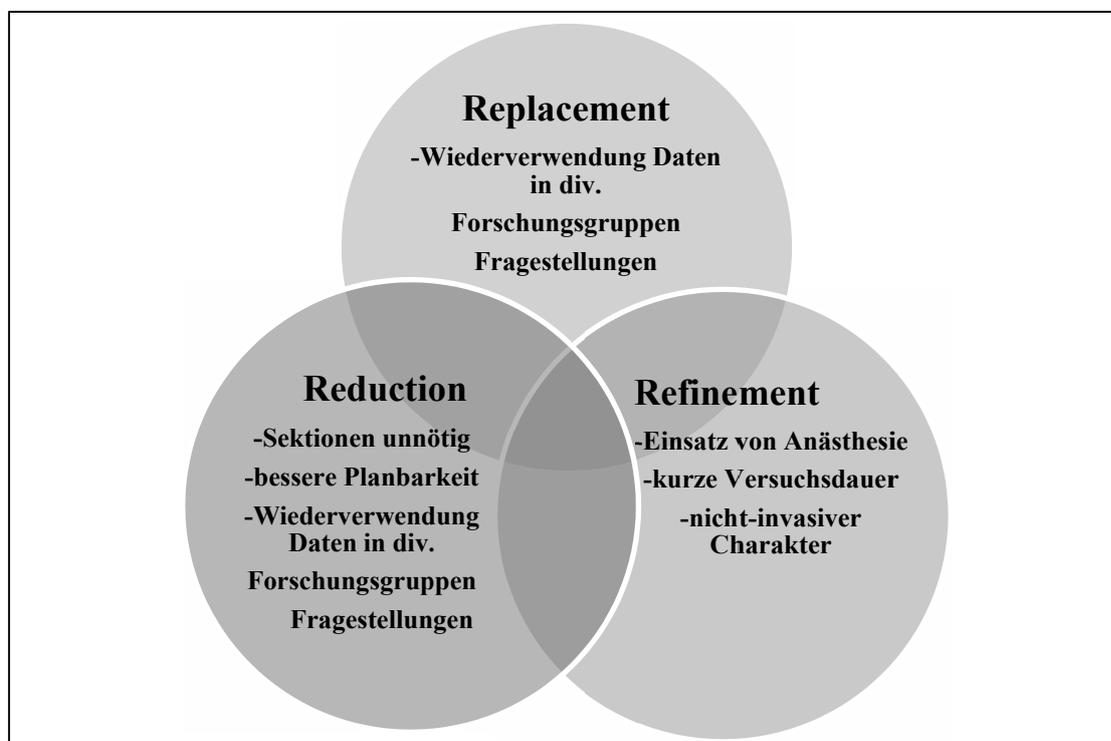


Abbildung 7: Einsatz der Computertomographie im Sinne der 3R

### 2.5.5 Die Verankerung des Tierschutzes in der Gesetzgebung

Rechtlich wurde das neue Verständnis der Stellung des Tieres zu Beginn des 19. Jahrhunderts mit dem ersten Tierschutzgesetz Europas, welches 1822 im Vereinigten Königreich in Kraft trat, umgesetzt (Tusche 1994). Auch den Einsatz von Versuchstieren betreffend erfolgte hier 1876 die erste gesetzliche Grundlage im europäischen Raum, welche neben einer Kontrolle der Experimentatoren den Umgang mit schmerzverbundenen Versuchen regelte (Wells 2011).

Im deutschsprachigen Raum trat das erste Tierschutzgesetz, unter Ablösung des Reichsstrafgesetzbuches von 1871, im Jahr 1933 in Deutschland in Kraft (Radkau und Uekötter 2003; Dirscherl 2012). In der Schweiz wurde das erste Tierschutzgesetz 1978 verabschiedet (Steiger 2008) und in Österreich wird der Tierschutz seit 2004 auf Bundesebene geregelt. Zuvor war dieser in Österreich Landessache (Dr. Ulrich Herzog 2011). In den USA wird der Tierschutz seit 1966 durch den Animal Welfare Act kontrolliert, welcher sich seit 1976 auch mit den Belangen von Tieren für Forschungszwecke befasst (Schultz 1981; Rollin 1990). Im deutschen Tierschutzgesetz befasst sich der gesamte fünfte Abschnitt mit dem Thema „Tierversuche“ (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2014). Seit 2002 ist der Tierschutz zusätzlich in Artikel 20a des Grundgesetzes verankert und damit zum Staatsziel geworden (Bundesrepublik Deutschland 2012).

Auf EU-Ebene wird der Umgang mit Tieren für den Einsatz in der Wissenschaft heute durch die RL 2010/63/EU, welche auf Grundlage des Art. 13, AEUV<sup>14</sup> basiert, geregelt. Diese greift im Vergleich zu ihrem Vorgänger erstmals konkret das Prinzip der 3R auf (Binder 2010). Sowohl auf nationaler, als auch auf EU-Ebene existieren heute eine Vielzahl von Richtlinien, Verordnungen und in nationales Recht übernommene Gesetze, welche den Einsatz von Tieren in der Wissenschaft betreffen (siehe Abbildung 8).

---

<sup>14</sup> AEUV: Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union

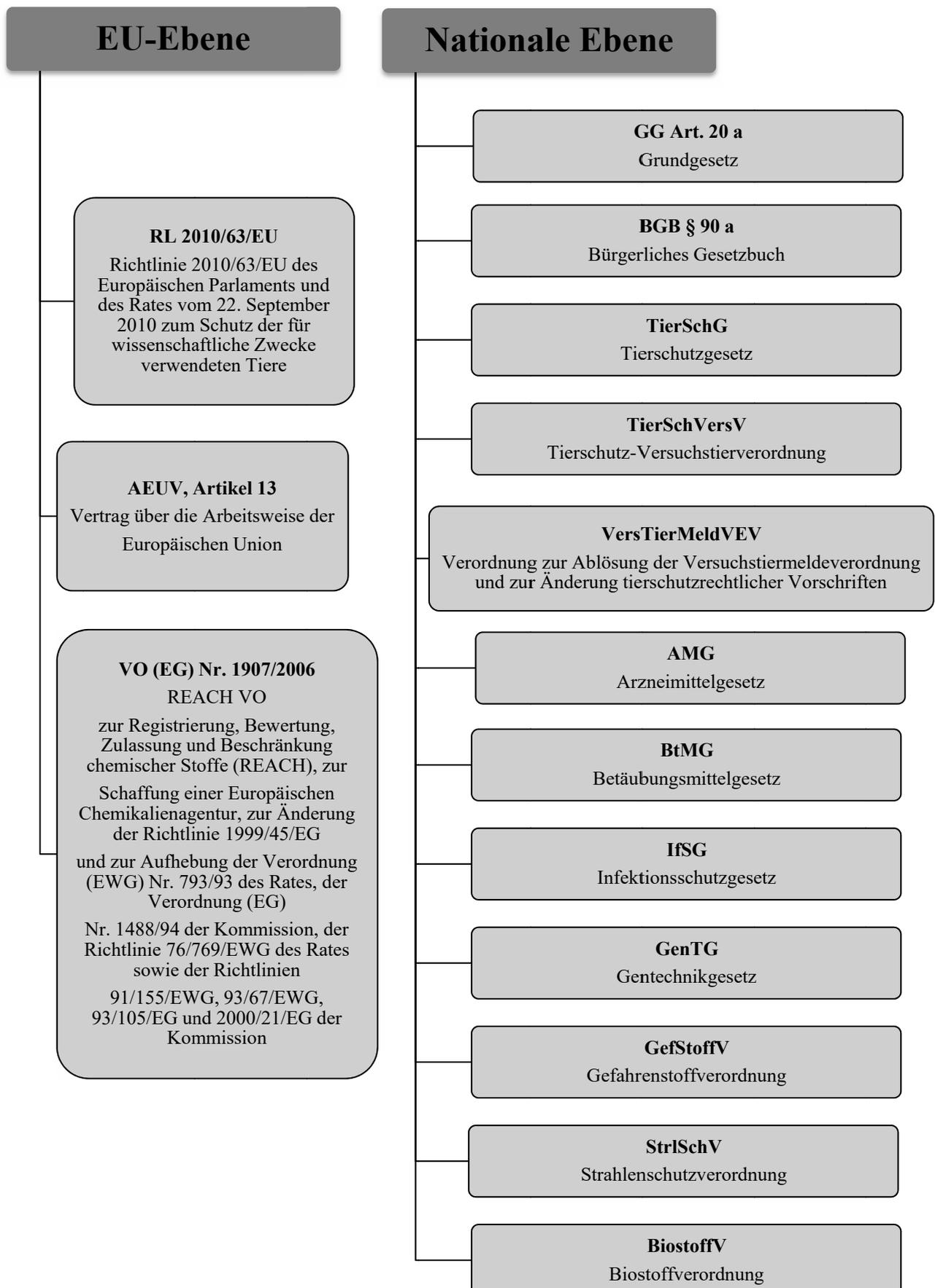


Abbildung 8: Gesetzliche Regelungen zum Einsatz von Tieren zu wissenschaftlichen Zwecken

### 3 Tiere, Material und Methoden

#### 3.1 Untersuchte Tiere

Im Sinne der Umsetzung der Punkte **Replacement** und **Reduction** sowie als Beitrag zum Punkt **Refinement** wurde für die vorliegende Arbeit das im Rahmen der Dissertation von **Frau Dr. Christine Müller** generierte Bildmaterial verwendet. Bei diesem handelt es sich um Daten einer Gruppe von 17 weiblichen Göttingen Minipigs, welche von Ellegaard Göttingen Minipig, Dalmose, Dänemark, bezogen wurden (Müller 2010).

Alle Untersuchungen wurden durch das Landesamt für Gesundheit und Soziales Berlin genehmigt und in der Forschungseinrichtung für experimentelle Chirurgie der Medizinischen Fakultät am Charité Campus Virchow Klinikum der Humboldt-Universität zu Berlin durchgeführt (Müller 2010).

Nach Einteilung der Tiere in 3 verschiedene Altersgruppen erfolgte die Untersuchung von 5 Tieren im Alter von je **12 Monaten (Gruppe 1=präadult)** sowie 12 weiterer Tiere im Alter von je **17 Monaten (Gruppe 2=spät präadult)** bzw. **21 Monaten (Gruppe 3=adult)**. Bei den Tieren der Gruppe 2 und 3 handelt es sich mit Ausnahme von 2 Tieren, für welche das Bildmaterial für nur einen Alterszeitpunkt zur Verfügung stand, um identische Tiere zu verschiedenen Alterszeitpunkten (Müller 2010). Für die vorliegende Arbeit wurden das Datenmaterial einer **Gesamtzahl von 17 Tieren** genutzt, wobei 1 Tier der Gruppe 1 aufgrund von Anomalien der Halswirbelsäule getrennt ausgewertet wurde (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Übersicht Gruppeneinteilung der untersuchten Tiere (Müller 2010)**

Gruppe	Anzahl Tiere	Alter (Monate)	Gewicht (kg)	Status
1	5	12 ± 1	28,6 ± 2,2	Präadult
2	11	17 ± 1	28,3 ± 2,9	Spät präadult
3	11	21 ± 1	34,7 ± 4,3	Adult

Die Einordnung der untersuchten Tiere in einen Alters- bzw. Entwicklungsstatus orientiert sich aufgrund differierender Literaturangaben für das Göttingen Minipig (Beglinger et al. 1975; El-Nabi 1975; Glodek 1981; Köhn et al. 2007; Bollen et al. 2010) an den Einteilungskriterien der Deutschen Landrasse (Müller 2010). Demnach werden Individuen ab dem Absetzalter bis zum Erreichen des maximalen Körpergewichts als präadult (Gruppe 1 und Gruppe 2) sowie Tiere nach Erreichen des maximalen Körpergewichts als adult (Gruppe 3) bezeichnet (Müller 2010).

Zur computertomographischen Untersuchung wurden die Tiere anästhesiert und infundiert (i.v., Ionosteril™, Fresenius, Bad Homburg v.d.H., Germany) (Müller 2010). Im Anschluss an eine Prämedikation mit Atropin (0,5 ml/Tier i.m., Atropinum sulfuricum, 1 mg/ml, Eifelfango, Bad Neuenahr-Ahrweiler, Germany) erfolgte eine Anästhesie mit Ketamin (27 mg/kg i.m., Ursotamin™, 100mg/ml, Serumwerk Bernburg, Germany), Xylazin (3,5mg/kg i.m., Rompun™ TS, 20mg/ml, Bayer Vital GmbH, Leverkusen, Germany) und Azaperon (3ml/Tier i.m., Stresnil™, 40mg/ml, Janssen Animal Health, Neuss, Germany) (Müller 2010).

### 3.2 Computertomographische Datenerhebung

Die Generierung des Datenpools erfolgte mit Hilfe eines 64-Zeilen-Mehrschicht-CT (Light Speed 64®, GE Medical Systems, Milwaukee, USA). Die Einstellungen am Gerät betragen dabei 120 kV und Auto mA (noise index 15, 300-500 mA) bei einem Rotationsvorschub von 55 mm und einer Kollimation von 64x0,625 mm sowie einer Gesamtschichtdicke von 55 mm (Pitch=1) (Müller 2010). Die Rotationszeit betrug 0,4 s bei einer Scandauer von ca. 3 s und einer Länge von 30 cm entlang der z-Achse. Das Bildarchiv wurde von **Herrn Priv. Doz. Dr. med. Stefan M. Niehues, MHBA**, Klinik und Hochschulambulanz für Radiologie am **Campus Benjamin Franklin der Charité-Universitätsmedizin Berlin** angelegt und für die vorliegende Arbeit freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

### 3.3 Auswertung des Datenmaterials

Die generierten Daten wurden an der **Klinik und Hochschulambulanz für Radiologie am Campus Benjamin Franklin der Charité-Universitätsmedizin Berlin** ausgewertet.

Dabei wurde durchgehend Datenmaterial in **Bauchlage der Tiere** verwendet.

#### 3.3.1 Verwendete Software

Die Auswertung des Bildmaterials erfolgt mit Hilfe von **Visage® 7.1.4. Client, Visage Imaging®, Berlin, Deutschland**. Dazu werden die Modi der Multiplanaren Rekonstruktion bei einer Schichtdicke von 1,2 mm sowie der 3D- Darstellung angewendet.

Eine weitere Bildbearbeitung erfolgt mit **Picasa 3™, Google Inc., Mountain View, USA** und **Microsoft Paint 2010, Microsoft Windows 2010, Microsoft Corporation, Redmond, USA**.

### 3.3.2 Festlegung der Untersuchungsparameter

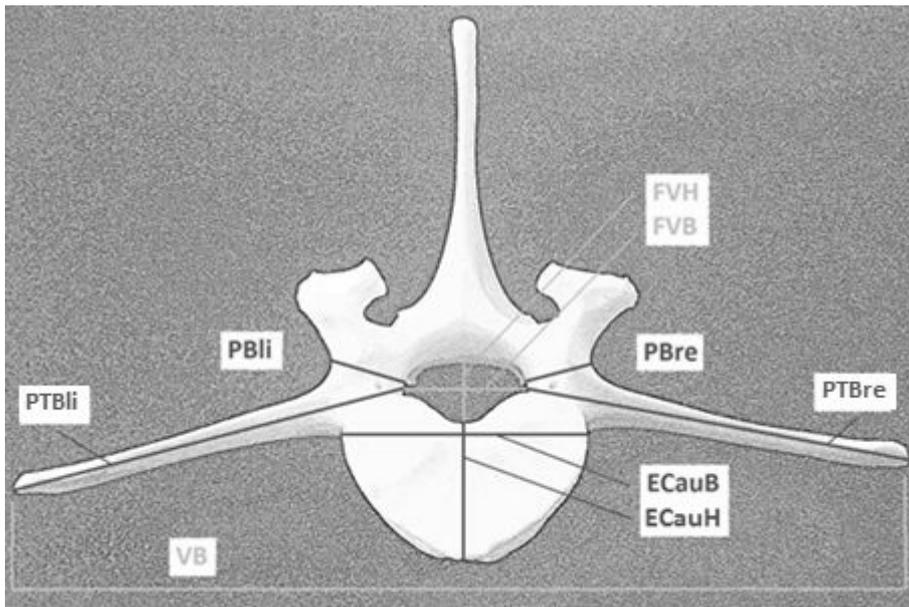
Nach eingehender Literaturrecherche unter Identifikation der am häufigsten untersuchten morphometrischen Parameter der Wirbelsäule des Menschen wurden die Untersuchungsparameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse der Wirbelsäule des Göttingen Minipig für die vorliegende Arbeit festgelegt (siehe Tabelle 3 sowie Abbildung 9 - Abbildung 19).

Die zu untersuchenden **Parameter** wurden für jeden Wirbel von C1 bis L5/6 **transversal** bzw. **horizontal** in der Ebene des **höchsten Wertes** bzw. der größten Ausdehnung des jeweiligen Parameters erhoben. Die Ermittlung des Parameters Dens Höhe (DH) erfolgte somit transversal im kaudalen Bereich von C1. Die Werte der **Sagittalebene** wurden **median** ermittelt. Die **dorsoventralen Krümmungen** der Wirbelsäule wurden zwischen der kranialen und kaudalen Endplatte des zu untersuchenden Abschnitts der Wirbelsäule in der **Sagittalebene median** ermittelt.

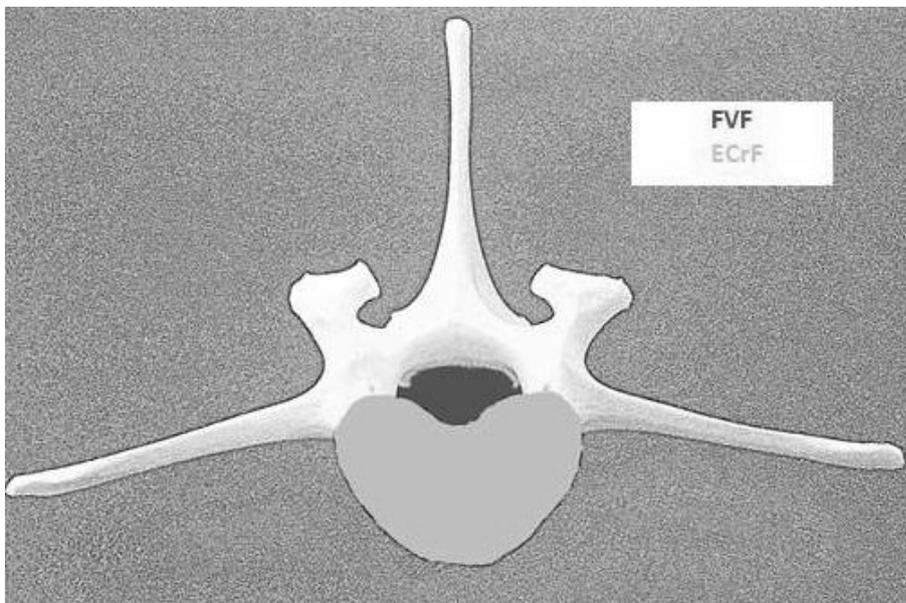
**Tabelle 3: Übersicht Untersuchungsparameter**

Abkürzung	Bedeutung
<b>CL</b>	Cervikale Lordose (C3-C7)
<b>CVk</b>	Columna vertebralis Länge komplett (C3-L5/6)
<b>CVLc</b>	Corpus vertebrae Länge central
<b>CVLd</b>	Corpus vertebrae Länge dorsal
<b>CVLv</b>	Corpus vertebrae Länge ventral
<b>DB</b>	Dens Breite
<b>DH</b>	Dens Höhe
<b>DIH</b>	Discus intervertebralis Höhe
<b>DILc</b>	Discus intervertebralis Länge central
<b>DILc/ECrB</b>	Discus intervertebralis Länge central/Extremitas cranialis Breite
<b>DILd</b>	Discus intervertebralis Länge dorsal
<b>DILv</b>	Discus intervertebralis Länge ventral
<b>DL</b>	Dens Länge
<b>ECauB</b>	Extremitas caudalis Breite
<b>ECauB/ECauH</b>	Extremitas caudalis Breite/Extremitas caudalis Höhe
<b>ECauF</b>	Extremitas caudalis Fläche
<b>ECauH</b>	Extremitas caudalis Höhe
<b>ECr</b>	Extremitas cranialis
<b>ECrB</b>	Extremitas cranialis Breite
<b>ECrB/ECrH</b>	Extremitas cranialis Breite/Extremitas cranialis Höhe
<b>ECrF</b>	Extremitas cranialis Fläche
<b>ECrH</b>	Extremitas cranialis Höhe
<b>FVB</b>	Foramen vertebrae Breite
<b>FVB/ECrB</b>	Foramen vertebrae Breite/Extremitas cranialis Breite

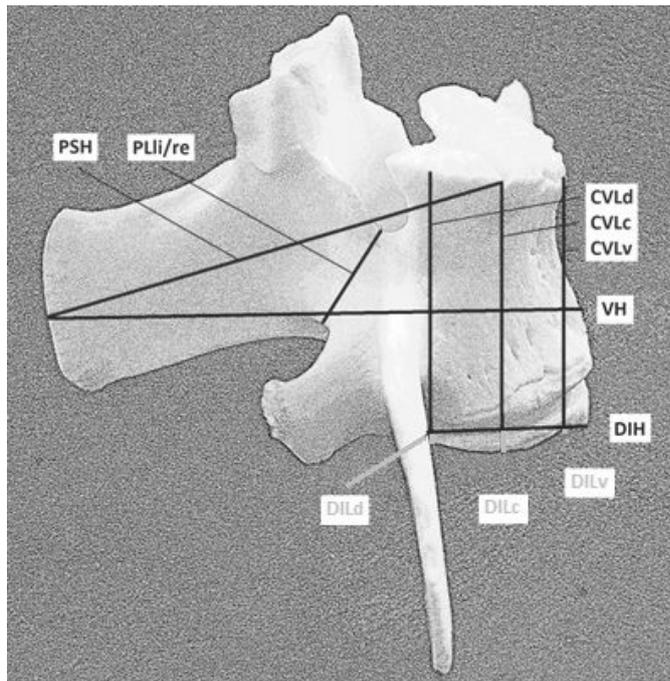
<b>FVB/FVH</b>	Foramen vertebrale Breite/Foramen vertebrale Höhe
<b>FVF</b>	Foramen vertebrale Fläche
<b>FVH</b>	Foramen vertebrale Höhe
<b>FVH/ECrH</b>	Foramen vertebrale Höhe/Extremitas cranialis Höhe
<b>LL</b>	Lumbale Lordose (L1-L5/6)
<b>PBli</b>	Pedikel Breite links
<b>PBre</b>	Pedikel Breite rechts
<b>PL/CVLC</b>	$(PLli+PLre)/2/CVLC$
<b>PLli</b>	Pedikel Länge links
<b>PLli/PBli</b>	Pedikel Länge links/Pedikel Breite links
<b>PLre</b>	Pedikel Länge rechts
<b>PLre/PBre</b>	Pedikel Länge rechts/Pedikel Breite rechts
<b>PSH</b>	Processus spinosus Höhe
<b>PSH/ECrH</b>	Processus spinosus Höhe/Extremitas cranialis Höhe
<b>PTB/PSH</b>	$(PTBli/PTBre)/2/PSH$
<b>PTBli</b>	Processus transversus Breite links
<b>PTBre</b>	Processus transversus Breite rechts
<b>PTLli</b>	Processus transversus Länge links
<b>PTLre</b>	Processus transversus Länge rechts
<b>PWli</b>	Pedikel Winkel links
<b>PWre</b>	Pedikel Winkel rechts
<b>TK</b>	Thorakale Kyphose (T1-T13/14)
<b>VB</b>	Vertebra Breite
<b>VB/ECrB</b>	Vertebra Breite/Extremitas cranialis Breite
<b>VH</b>	Vertebra Höhe
<b>VL</b>	Vertebra Länge



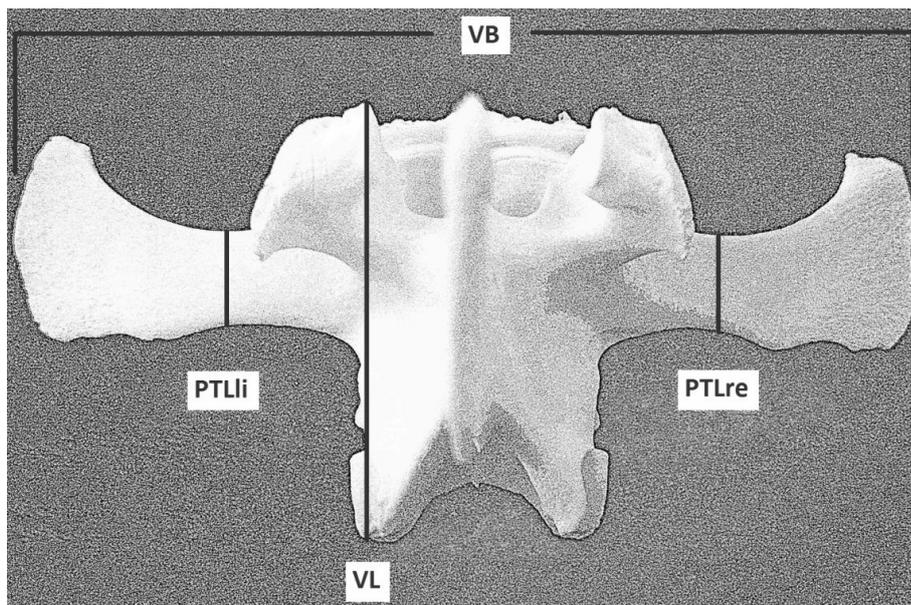
**Abbildung 9: Untersuchte Parameter am Beispiel eines Lendenwirbels, Ansicht von kranial (a)**  
**ECauB**=Extremitas caudalis Breite, **ECauH**=Extremitas caudalis Höhe, **FVB**=Foramen vertebrale Breite, **FVH**=Foramen vertebrale Höhe, **PBli**=Pedikel Breite links, **PBre**=Pedikel Breite rechts, **PTbli**=Processus transversus Breite links, **PTBre**=Processus transversus Breite rechts, **VB**=Vertebra Breite



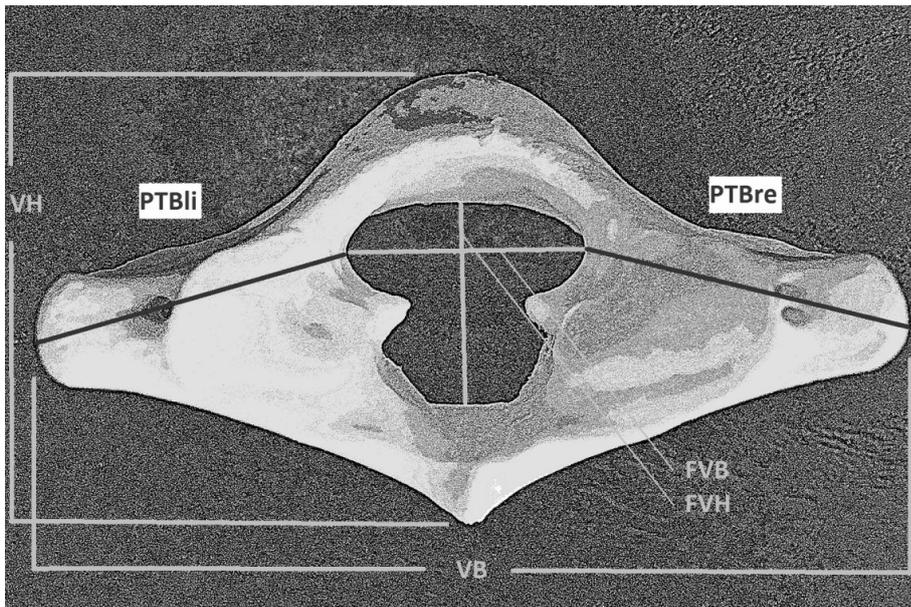
**Abbildung 10: Untersuchte Parameter am Beispiel eines Lendenwirbels, Ansicht von kranial (b)**  
**ECrF**=Extremitas cranialis Fläche, **FVF**=Foramen vertebrale Fläche



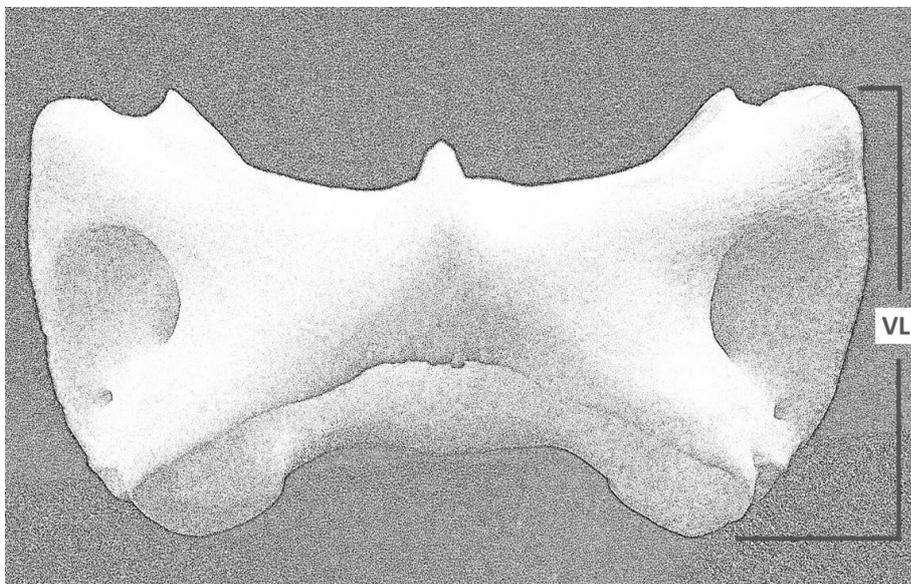
**Abbildung 11: Untersuchte Parameter am Beispiel eines Lendenwirbels, Ansicht von lateral**  
 CVLc=Corpus vertebrae Länge central, CVLd=Corpus vertebrae Länge dorsal, CVLv=Corpus vertebrae Länge ventral, DIH=Discus intervertebralis Höhe, DILc=Discus intervertebralis Länge central, DILd=Discus intervertebralis Länge dorsal, DILv=Discus intervertebralis Länge ventral, PLli/re=Pedikel Länge links/rechts, PSH=Processus spinosus Höhe, VH=Vertebra Höhe



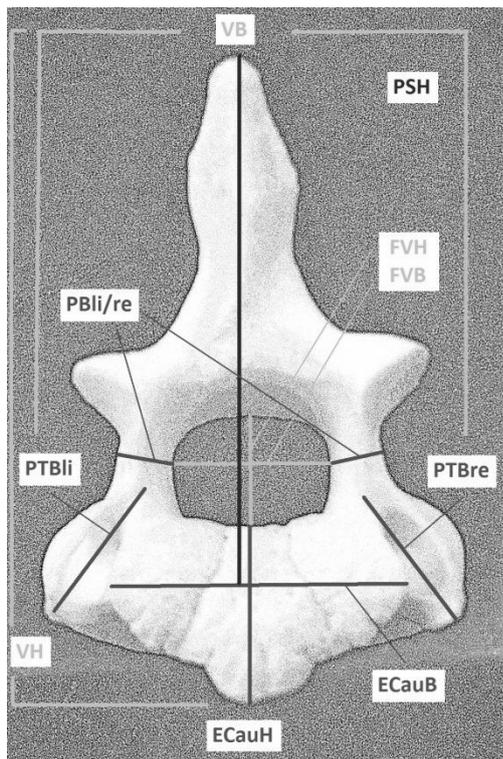
**Abbildung 12: Untersuchte Parameter am Beispiel eines Lendenwirbels, Ansicht von dorsal**  
 PTLli=Processus transversus Länge links, PTLre=Processus transversus Länge rechts, VB=Vertebra Breite, VL=Vertebra Länge



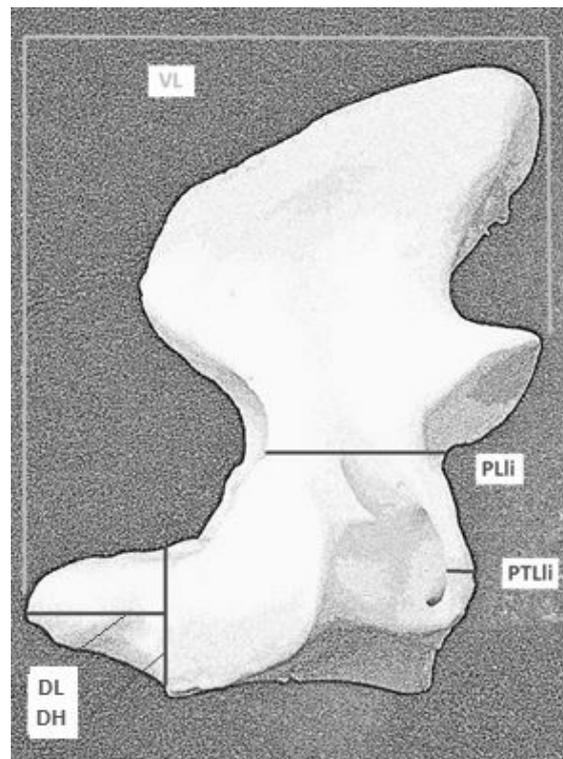
**Abbildung 13: Untersuchte Parameter am Beispiel des Atlas, Ansicht von kaudal**  
**FVB=Foramen vertebrale Breite, FVH=Foramen vertebrale Höhe, PTBli=Processus transversus**  
**Breite links, PTBre=Processus transversus Breite rechts, VB=Vertebra Breite, VH=Vertebra Höhe**



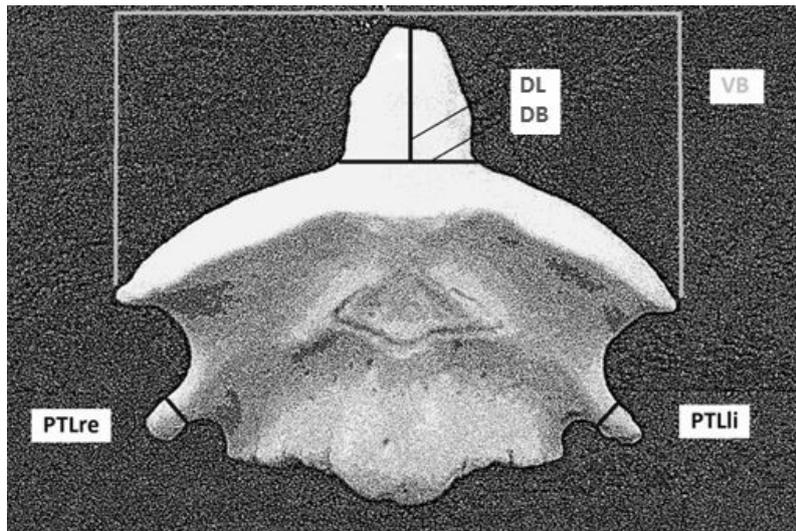
**Abbildung 14: Untersuchte Parameter am Beispiel des Atlas, Ansicht von ventral**  
**VL=Vertebra Länge**



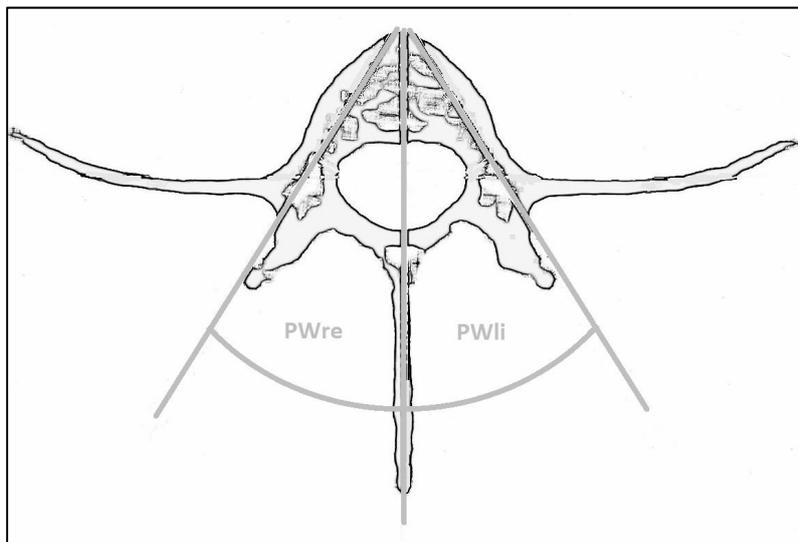
**Abbildung 15: Untersuchte Parameter am Beispiel des Axis, Ansicht von kaudal**  
**ECauB**=Extremitas caudalis Breite,  
**ECauH**=Extremitas caudalis Höhe,  
**FVB**=Foramen vertebrale Breite,  
**FVH**=Foramen vertebrale Höhe,  
**PBli/re**=Pedikel Breite links/rechts,  
**PTBli**=Processus transversus Breite links,  
**PTBre**=Processus transversus Breite rechts,  
**PSH**=Processus spinosus Höhe,  
**VB**=Vertebra Breite, **VH**=Vertebra Höhe



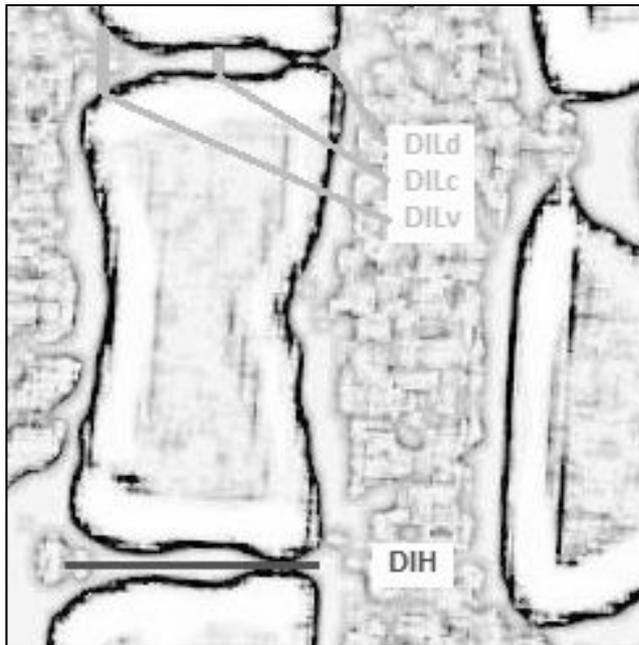
**Abbildung 16: Untersuchte Parameter am Beispiel des Axis, Ansicht von lateral**  
**DH**=Dens Höhe, **DL**=Dens Länge,  
**PLli**=Pedikel Länge links, **PTLli**=Processus transversus Länge links, **VL**=Vertebra Länge



**Abbildung 17: Untersuchte Parameter am Beispiel des Axis, Ansicht von ventral**  
**DB**=Dens Breite, **DL**=Dens Länge, **PTLli**=Processus transversus Länge links,  
**PTLre**=Processus transversus Länge rechts, **VB**=Vertebra Breite



**Abbildung 18: Untersuchte Parameter am Beispiel eines Brustwirbels, Ansicht von kranial**  
**PWli**=Pedikel Winkel links, **PWre**=Pedikel Winkel rechts



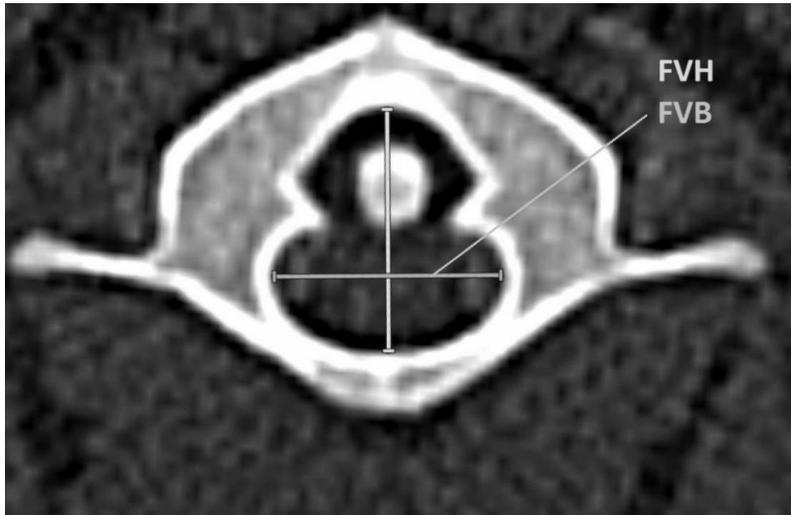
**Abbildung 19: Untersuchte Parameter am Beispiel der LWS, Ansicht von lateral**  
**DIH**=Discus intervertebralis Höhe, **DILc**=Discus intervertebralis Länge central,  
**DILd**=Discus intervertebralis Länge dorsal, **DILv**=Discus intervertebralis Länge ventral

### 3.3.3 Messung der Untersuchungsparameter

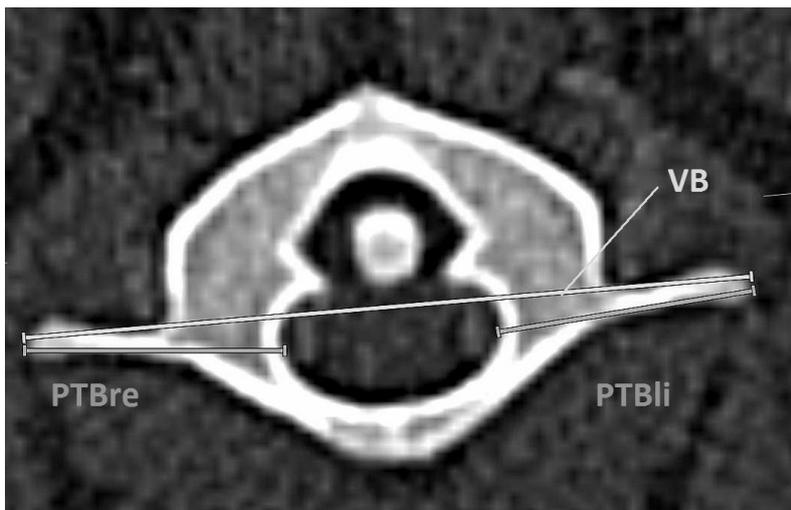
Die folgenden Abbildungen (siehe Abbildung 20 bis Abbildung 55) zeigen die durchgeführten **Messungen** farblich **dick** (gelb, grün, rot) sowie **Hilfslinien** der verwendeten Auswertungssoftware farblich **dünn** (rot, grün, blau). Die exemplarischen Aufnahmen wurden an Tier 2 der Gruppe 2 (17 Monate) angefertigt.

#### 3.3.3.1 Halswirbelsäule

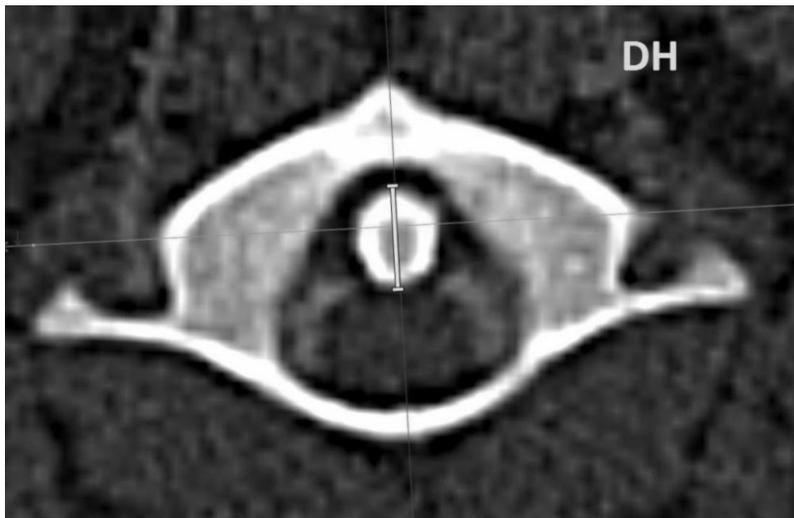
##### 3.3.3.1.1 C1 (Atlas)



**Abbildung 20: Ermittelte Parameter, C1, transversal**  
 FVB=Foramen vertebrale Breite, FVH=Foramen vertebrale Höhe

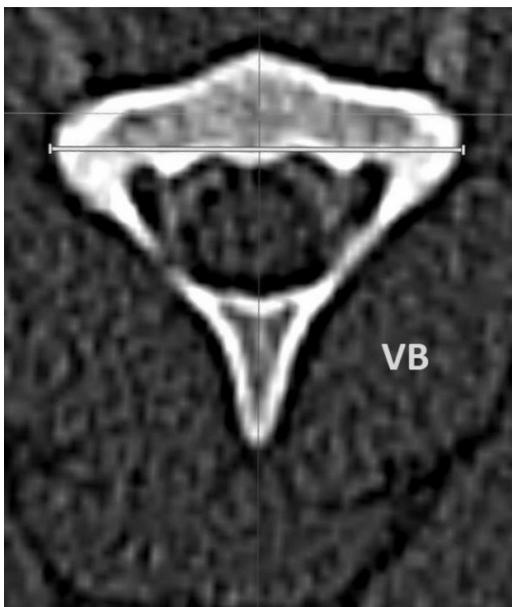


**Abbildung 21: Ermittelte Parameter, C1, transversal**  
 PTBli=Processus transversus Breite links, PTBre=Processus transversus Breite rechts,  
 VB=Vertebra Breite

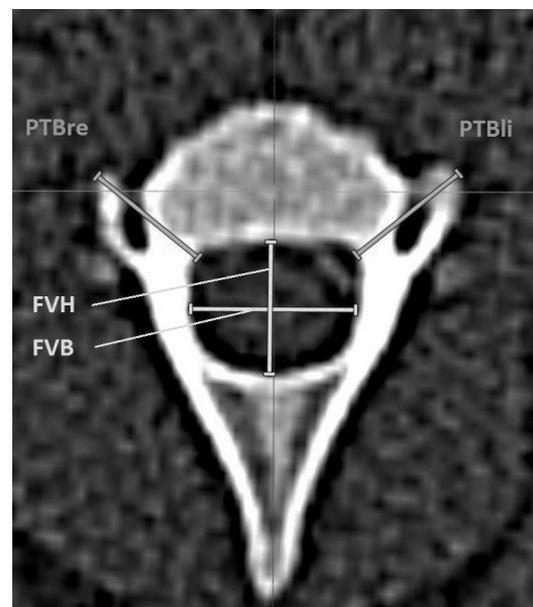


**Abbildung 22: Ermittelte Parameter, C1, transversal**  
 DH=Dens Höhe

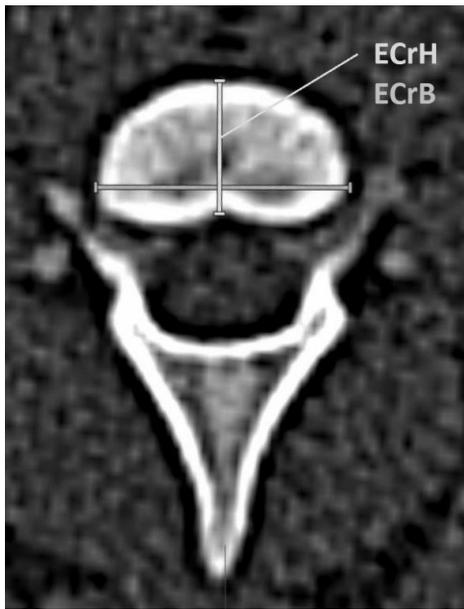
### 3.3.3.1.2 C2 (Axis)



**Abbildung 23: Ermittelte Parameter, C2, transversal**  
 VB=Vertebra Breite

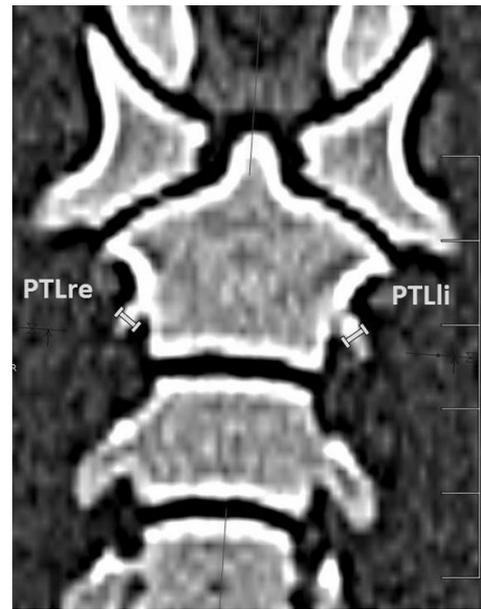


**Abbildung 24: Ermittelte Parameter, C2, transversal**  
 FVB=Foramen vertebrale Breite,  
 FVH=Foramen vertebrale Höhe,  
 PTBli=Processus transversus Breite links,  
 PTBre=Processus transversus Breite rechts



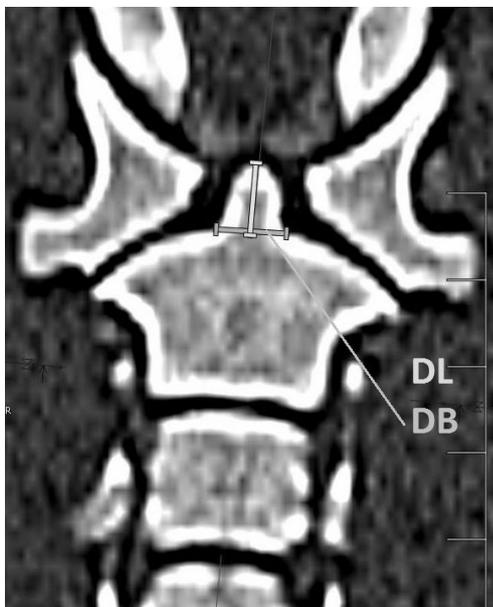
**Abbildung 25: Ermittelte Parameter, C2, transversal**

**ECrB**=Extremitas cranialis Breite,  
**ECrH**=Extremitas cranialis Höhe



**Abbildung 26: Ermittelte Parameter, C2, horizontal**

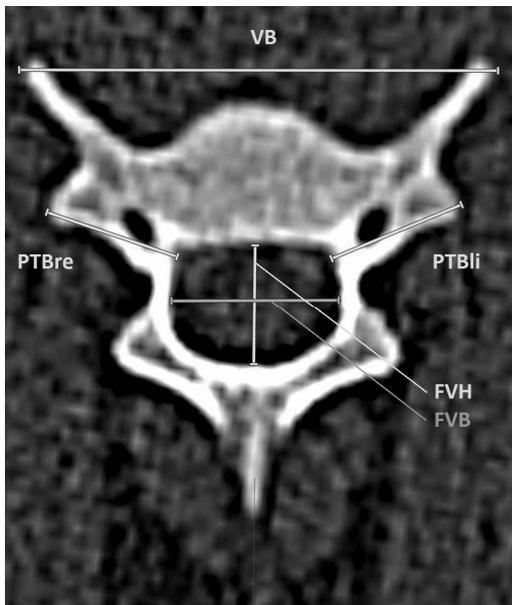
**PTLli**=Processus transversus Länge links,  
**PTLre**=Processus transversus Länge rechts



**Abbildung 27: Ermittelte Parameter, C2, horizontal**

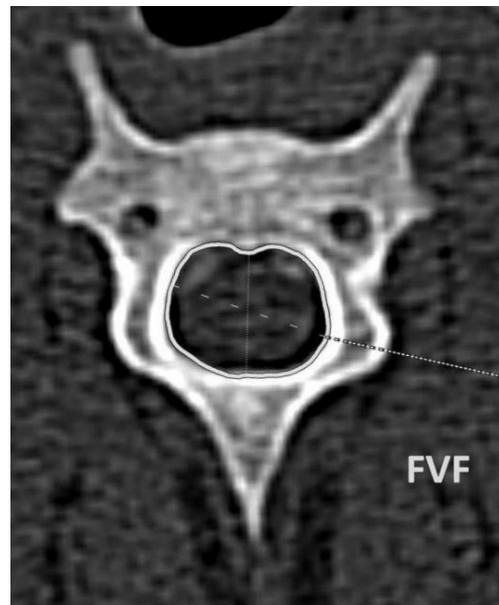
**DB**=Dens Breite, **DL**=Dens Länge

## 3.3.3.1.3 Beispiel C3



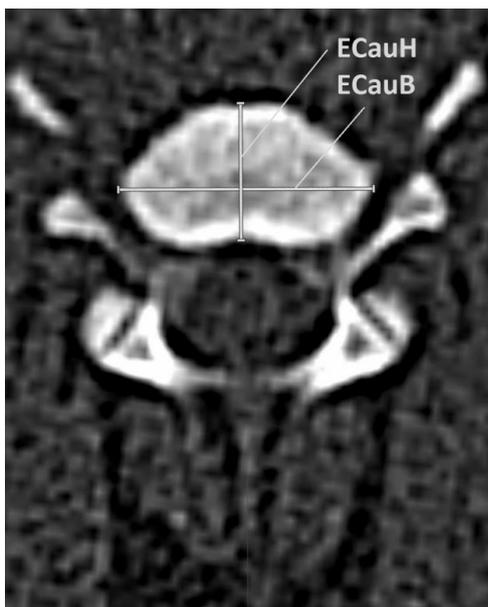
**Abbildung 28: Ermittelte Parameter, C3, transversal**

**FVB**=Foramen vertebrale Breite,  
**FVH**=Foramen vertebrale Höhe,  
**PTBli**=Processus transversus Breite links,  
**PTBre**=Processus transversus Breite rechts,  
**VB**=Vertebra Breite



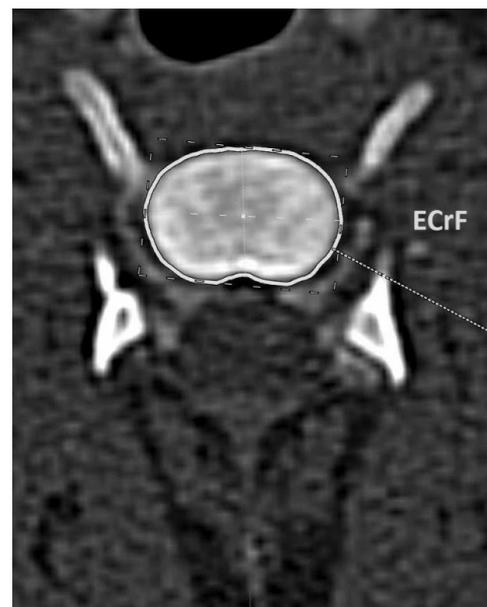
**Abbildung 29: Ermittelte Parameter, C3, transversal**

**FVF**=Foramen vertebrale Fläche



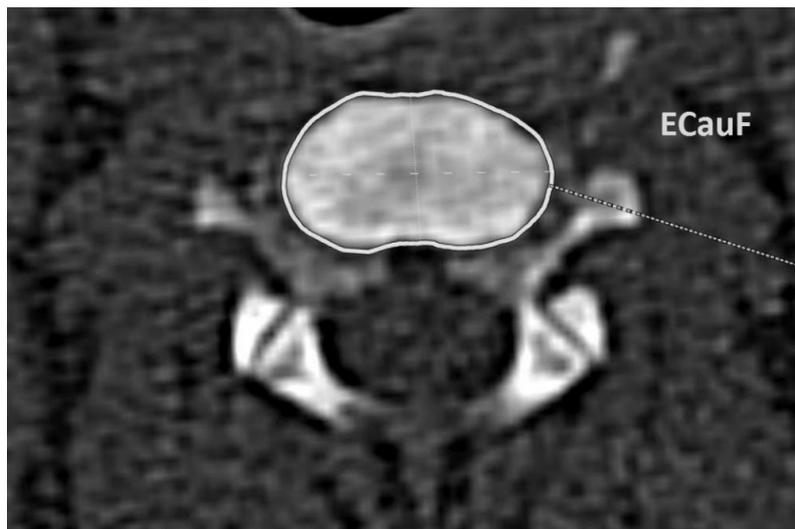
**Abbildung 30: Ermittelte Parameter, C3, transversal**

**ECauB**=Extremitas caudalis Breite,  
**ECauH**=Extremitas caudalis Höhe

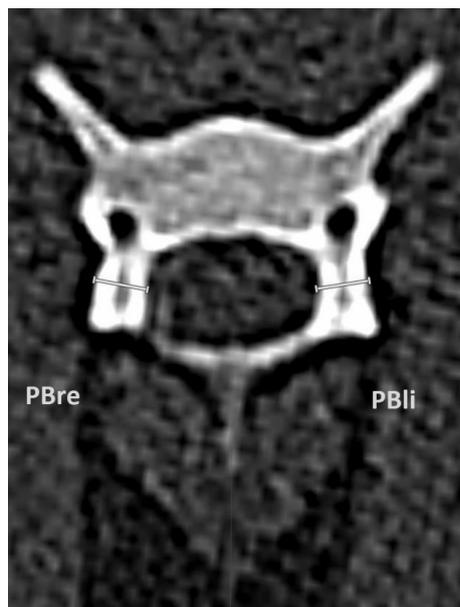


**Abbildung 31: Ermittelte Parameter, C3, transversal**

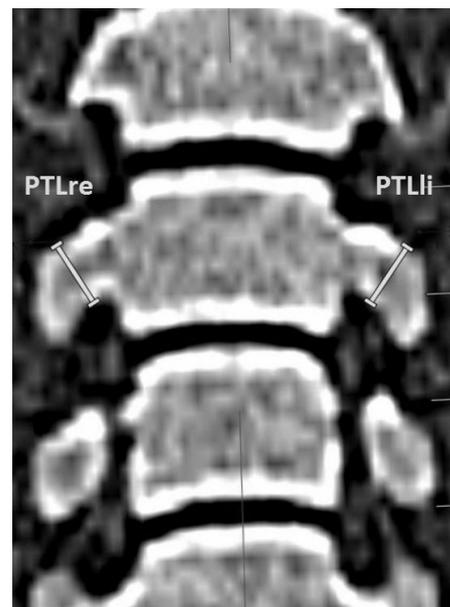
**ECrF**=Extremitas cranialis Fläche



**Abbildung 32: Ermittelte Parameter, C3, transversal**  
**ECauF**=Extremitas caudalis Fläche



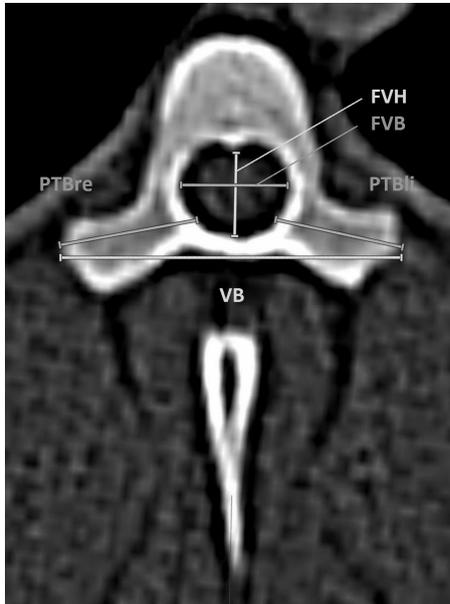
**Abbildung 33: Ermittelte Parameter, C3, transversal**  
**PBli**=Pedikel Breite links,  
**PBre**=Pedikel Breite rechts



**Abbildung 34: Ermittelte Parameter, C3, horizontal**  
**PTLli**=Processus transversus Länge links  
**PTLre**=Processus transversus Länge rechts

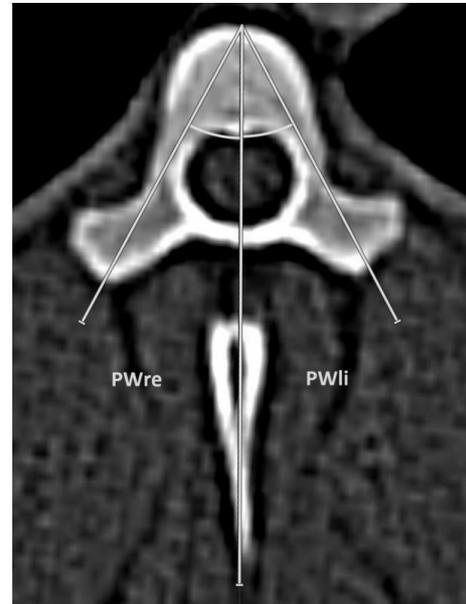
### 3.3.3.2 Brustwirbelsäule

#### 3.3.3.2.1 Beispiel T6



**Abbildung 35: Ermittelte Parameter, T6, transversal**

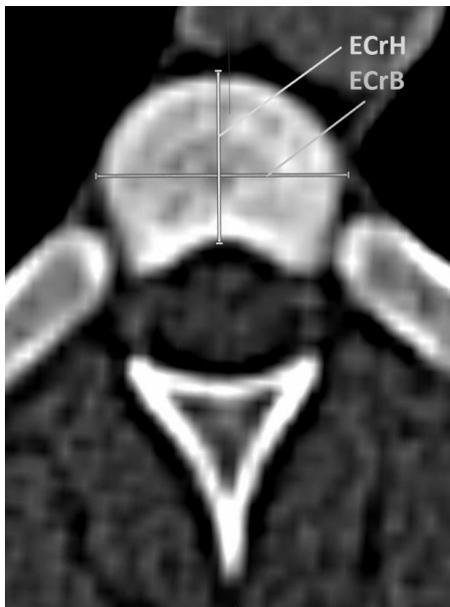
**FVB**=Foramen vertebrale Breite,  
**FVH**=Foramen vertebrale Höhe,  
**PTBli**=Processus transversus Breite links,  
**PTBre**=Processus transversus Breite rechts,  
**VB**=Vertebra Breite



**Abbildung 36: Ermittelte Parameter, T6, transversal**

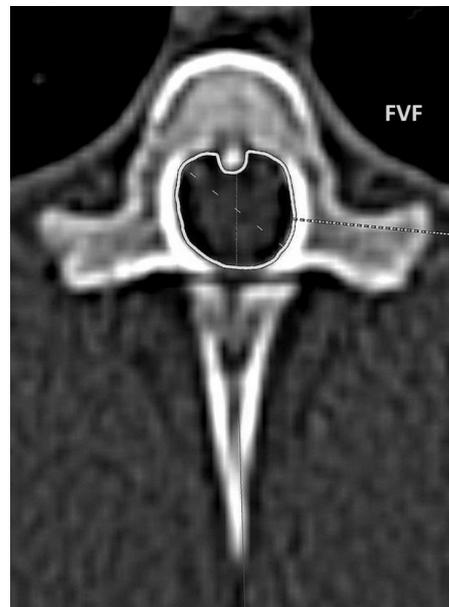
**PWli**=Pedikel Winkel links,  
**PWre**=Pedikel Winkel rechts

## 3.3.3.2.2 Beispiel T9



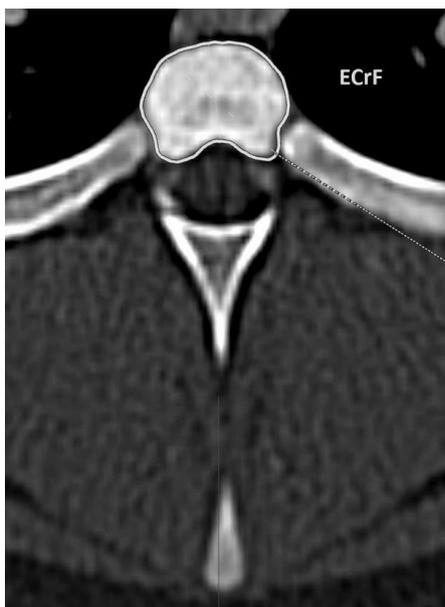
**Abbildung 37: Ermittelte Parameter, T9, transversal**

**ECrB=Extremitas cranialis Breite,  
ECrH=Extremitas cranialis Höhe**



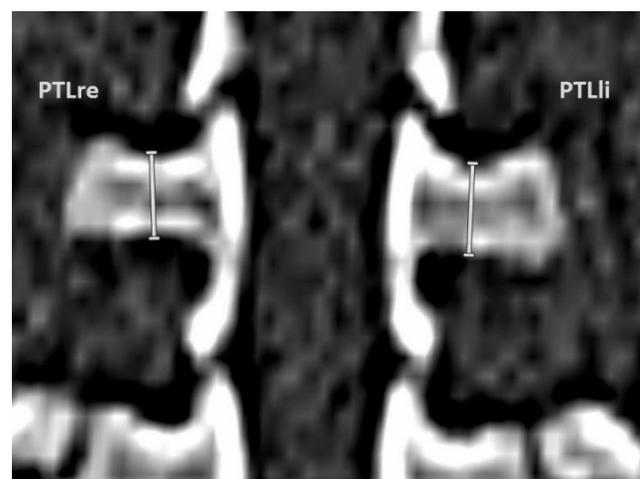
**Abbildung 38: Ermittelte Parameter, T9, transversal**

**FVF=Foramen vertebrale Fläche**



**Abbildung 39: Ermittelte Parameter, T9, transversal**

**ECrF=Extremitas cranialis Fläche**

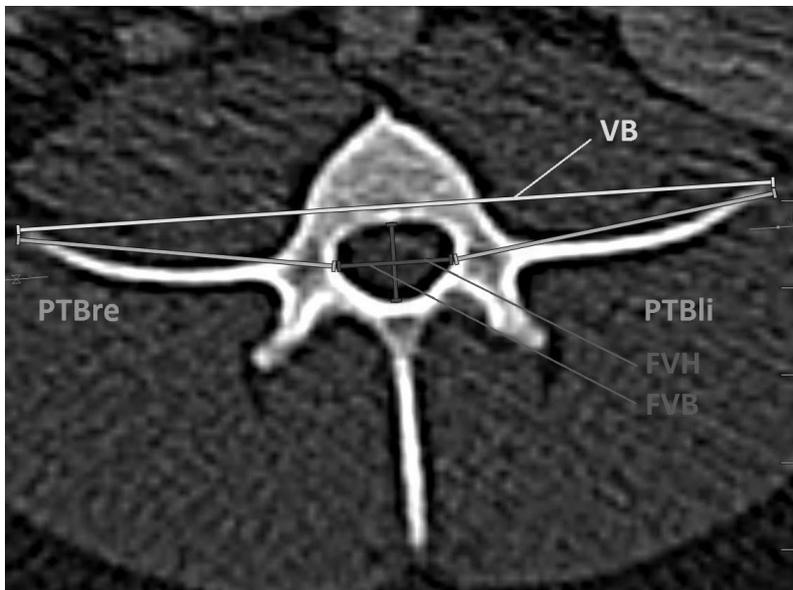


**Abbildung 40: Ermittelte Parameter, T9, horizontal**

**PTLli=Processus transversus Länge links,  
PTLre=Processus transversus Länge rechts**

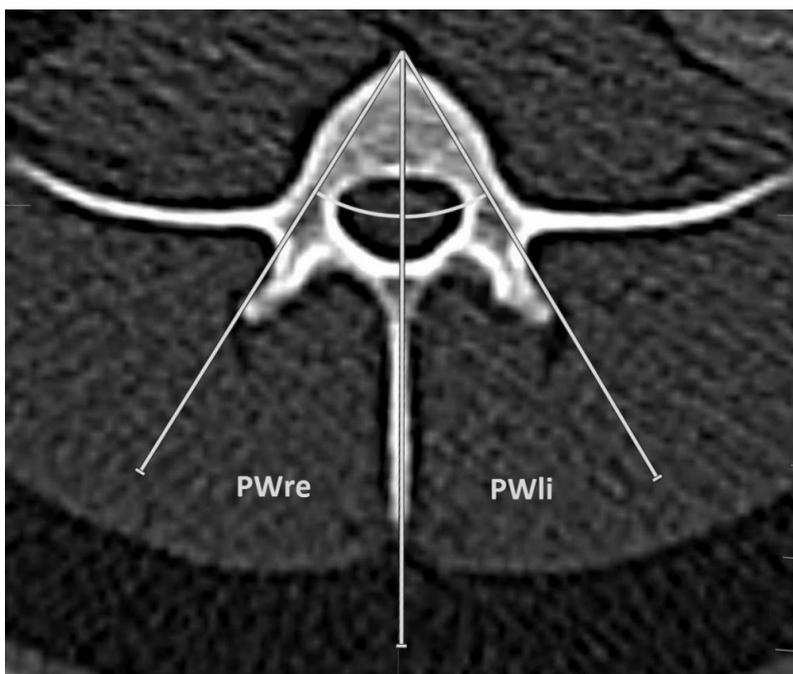
### 3.3.3.3 Lendenwirbelsäule

#### 3.3.3.3.1 Beispiel L3



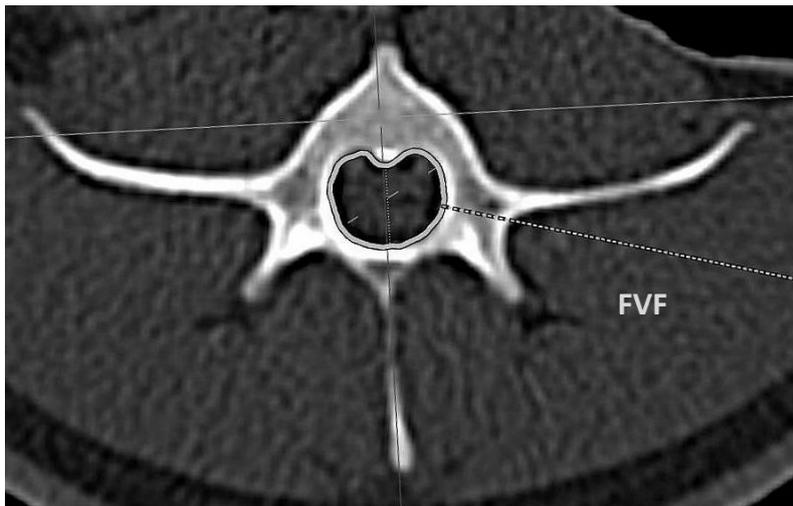
**Abbildung 41: Ermittelte Parameter, L3, transversal**

**FVB**=Foramen vertebrale Breite, **FVH**=Foramen vertebrale Höhe, **PTBli**=Processus transversus Breite links, **PTBre**=Processus transversus Breite rechts, **VB**=Vertebra Breite

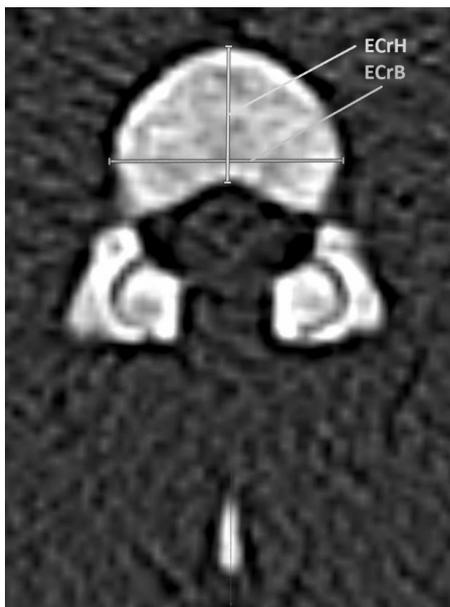


**Abbildung 42: Ermittelte Parameter, L3, transversal**

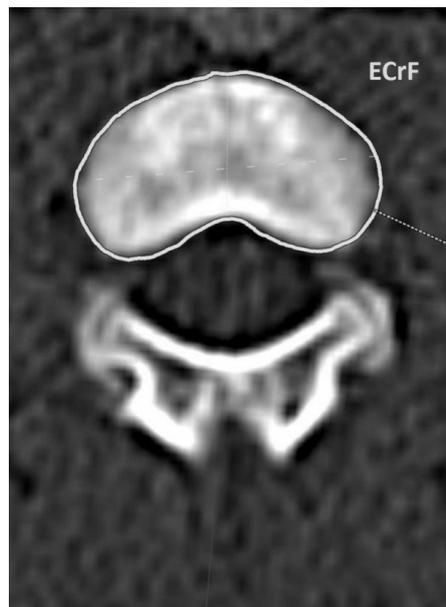
**PWli**=Pedikel Winkel links, **PWre**=Pedikel Winkel rechts



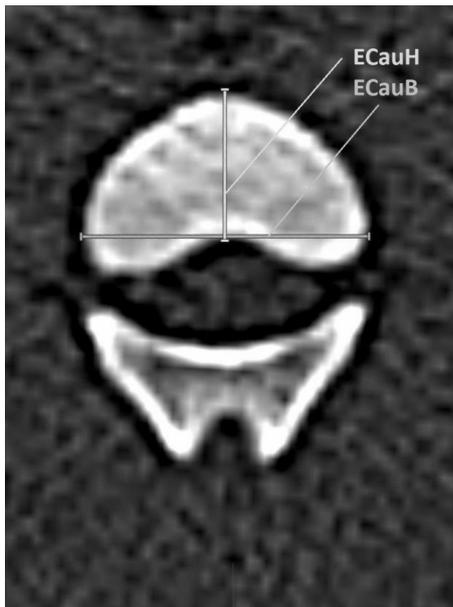
**Abbildung 43: Ermittelte Parameter, L3, transversal**  
 FVF=Foramen vertebrale Fläche



**Abbildung 44: Ermittelte Parameter, L3, transversal**  
 ECrB=Extremitas cranialis Breite,  
 ECrH=Extremitas cranialis Höhe

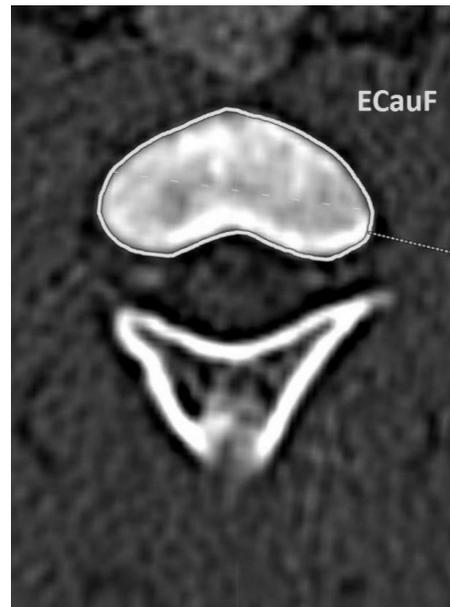


**Abbildung 45: Ermittelte Parameter, L3, transversal**  
 ECrF= Extremitas cranialis Fläche



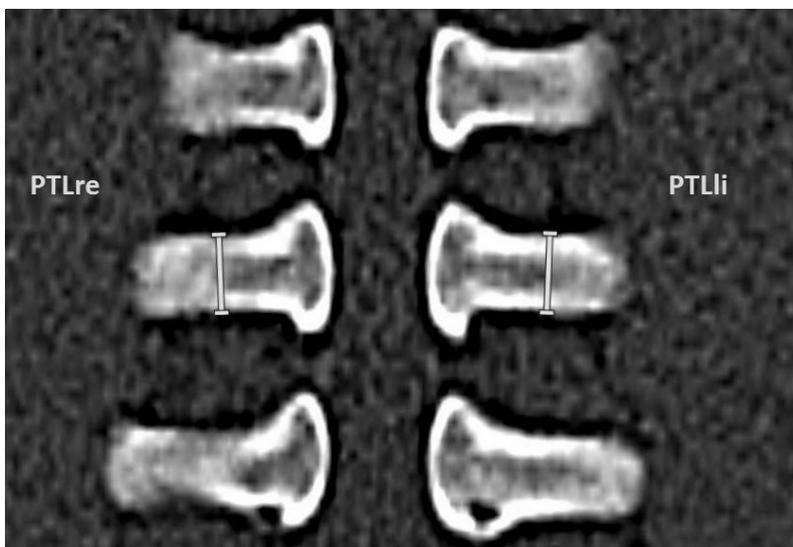
**Abbildung 46: Ermittelte Parameter, L3, transversal**

**ECauB**=Extremitas caudalis Breite,  
**ECauH**=Extremitas caudalis Höhe



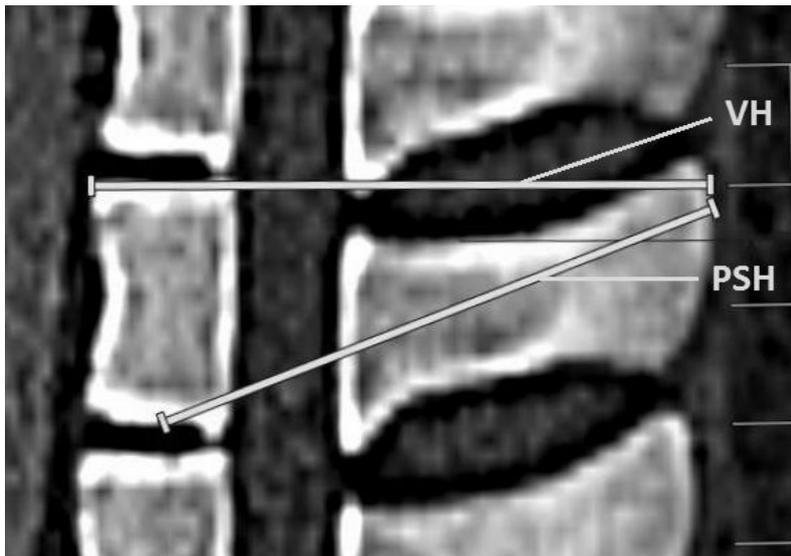
**Abbildung 47: Ermittelte Parameter, L3, transversal**

**ECauF**=Extremitas caudalis Fläche

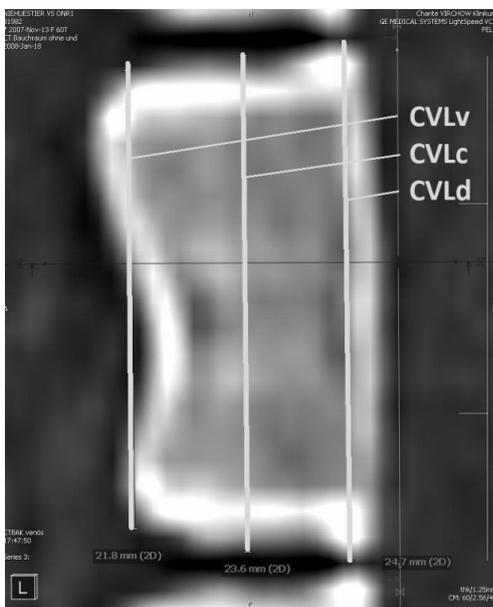


**Abbildung 48: Ermittelte Parameter, L2-L4, horizontal**

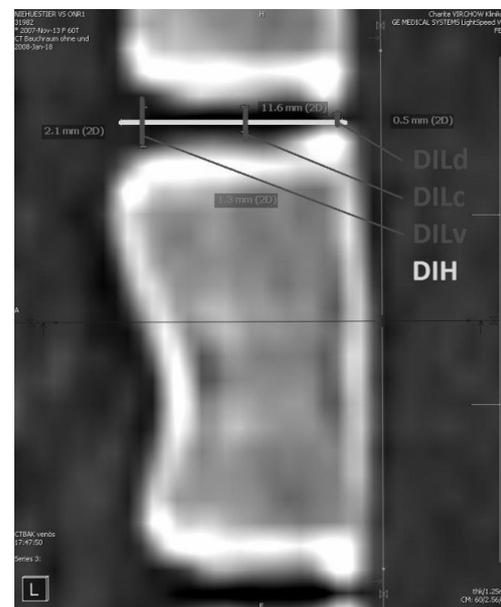
**PTLli**=Processus transversus Länge links, **PTLre**=Processus transversus Länge rechts



**Abbildung 49: Ermittelte Parameter, L3, sagittal**  
 PSH=Processus spinosus Höhe, VH=Vertebra Höhe



**Abbildung 50: Ermittelte Parameter, L3, sagittal**  
 CVLc=Corpus vertebrae Länge central,  
 CVLd=Corpus vertebrae Länge dorsal,  
 CVLv=Corpus vertebrae Länge ventral



**Abbildung 51: Ermittelte Parameter, L3, sagittal**  
 DIH=Discus intervertebralis Höhe,  
 DILc=Discus intervertebralis Länge central,  
 DILd=Discus intervertebralis Länge dorsal,  
 DILv=Discus intervertebralis Länge ventral

### 3.3.3.4 Krümmungen der Wirbelsäule

Zur Beurteilung der dorsoventralen Krümmungen der Wirbelsäule werden die Winkel zwischen kranialer und kaudaler Endplatte der Wirbel des betreffenden Abschnitts der Wirbelsäule folgendermaßen gemessen:

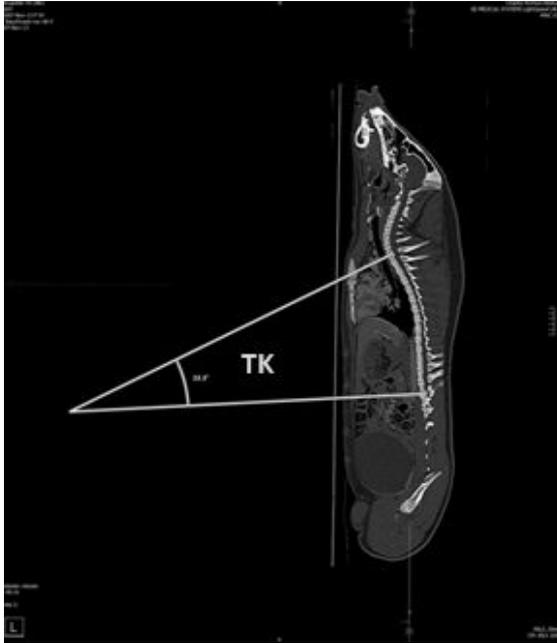
- **Cervikale Lordose:** kraniale Endplatte 3. HW - kaudale Endplatte 7. HW
- **Thorakale Kyphose:** kraniale Endplatte 1. BW - kaudale Endplatte 13./14. HW
- **Lumbale Lordose:** kraniale Endplatte 1. LW - kaudale Endplatte 5./6. LW

#### 3.3.3.4.1 Cervikale Lordose (C3-C6)

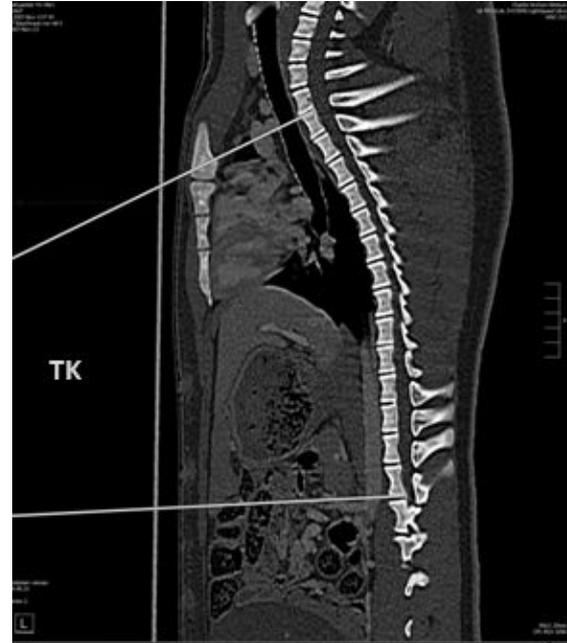


**Abbildung 52: Cervikale Lordose, sagittal**  
CL=Cervikale Lordose

## 3.3.3.4.2 Thorakale Kyphose (T1-T13/14)

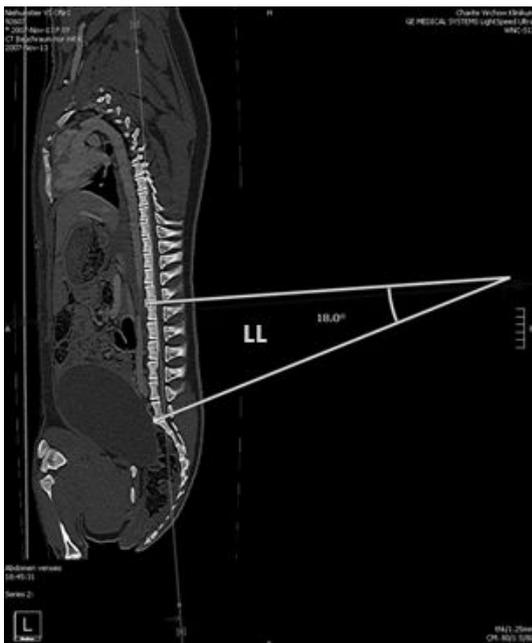


**Abbildung 53: Thorakale Kyphose, sagittal**  
TK=Thorakale Kyphose



**Abbildung 54: Thorakale Kyphose, sagittal**  
TK=Thorakale Kyphose

## 3.3.3.4.3 Lumbale Lordose (L1-L5/6)



**Abbildung 55: Lumbale Lordose, sagittal**  
LL=Lumbale Lordose

### 3.3.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte auf Basis der Empfehlungen von **Herrn Univ.-Professor Dr. med. vet. Marcus G. Doherr**, PhD, Dipl. ECVPH, Leiter des Instituts für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie des Fachbereichs Veterinärmedizin, FU Berlin.

Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe der Software **IBM® SPSS® Statistics Version 21, New York, USA** sowie **Microsoft Excel 2010, Microsoft Windows 2010, Microsoft Corporation, Redmond, USA** und **OriginPro®8.5.0, OriginLab® Corporation, Northampton, USA** aufbereitet.

Zur **Validierung der Messmethodik** wurden in jeder Untersuchungsgruppe mehrere Tiere wiederholt ausgewertet (je Tier 3 Messungen an 3 verschiedenen Tagen). Dies betraf 2 Tiere der Gruppe 1 (12 Monate) sowie je 3 Tiere der Gruppen 2 (17 Monate) und 3 (21 Monate). Anschließend wurde der **Variationskoeffizient v** (in %) zur Beurteilung der Messmethodik bestimmt. Dieser beschreibt die Streuung eines Merkmals unabhängig von der Skalierung und berechnet sich folgendermaßen aus dem Mittelwert  $\bar{X}$  und der Standardabweichung S:

$$v = \frac{S * 100}{\bar{X}}$$

(Eckstein 2006; Elpelt et al. 2012)

Zur statistischen **Auswertung der Untersuchungsparameter** wurde zunächst für alle 3 Altersgruppen je ein **Test auf Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov-Test)** der erhobenen Daten durchgeführt. Dessen positives Ergebnis stellt die Voraussetzung zur Durchführung der nachfolgenden t-Tests dar. Anschließend wurde zum Vergleich von Gruppe 1 (12 Monate) mit Gruppe 2 (17 Monate) bzw. 3 (21 Monate) jeweils ein **t-Test für unverbundene Stichproben** durchgeführt. Für den Vergleich von Gruppe 2 (17 Monate) mit Gruppe 3 (21 Monate) wurde ein **t-Test für verbundene Stichproben** durchgeführt, da es sich um identische Tiere, welche zu verschiedenen Alterszeitpunkten untersucht wurden, handelt. Der t-Wert<sup>15</sup>, benannt nach dem Prüfmaß t, berechnet sich dabei aus den Stichprobenmittelwerten  $\bar{X}_1$  und  $\bar{X}_2$  der zu vergleichenden Gruppen, den empirischen Varianzen  $S_1^2$  und  $S_2^2$  sowie der Anzahl der Fälle in den beiden Gruppen  $N_1$  und  $N_2$  zu:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{N_1} + \frac{S_2^2}{N_2}}}$$

(Brosius 2013)

---

<sup>15</sup> t: test

Die hier zu untersuchende Nullhypothese besagt, dass der Unterschied zwischen den beiden Mittelwerten der Stichproben in der Grundgesamtheit gleich Null ist und somit kein signifikanter Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden untersuchten Gruppen vorliegt. Als Signifikanzniveau (=Irrtumswahrscheinlichkeit) wurde  $p^{16}=0,05$  gewählt. Entsprechend wird bei einer errechneten Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p<0,05$  die Nullhypothese verworfen und die Alternativhypothese bestätigt (die Stichproben unterscheiden sich signifikant).

Für alle untersuchten Parameter sowie aus diesen gebildeten Verhältnissen wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit berechnet und für  $p<0,05$  als „**Nicht vergleichbar**“ (NV) bzw. für  $p>0,05$  als „**Vergleichbar**“ (V) definiert.

Die Auswertung der t-Tests sowie der Vergleich mit Literaturdaten von Hausschwein und Mensch erfolgt im Anschluss.

---

<sup>16</sup> p: probability, Signifikanzwert; gibt die Irrtumswahrscheinlichkeit, mit welcher eine Hypothese bezogen auf die Grundgesamtheit unter einem zuvor festgelegten Signifikanzniveau liegt, an (bei  $p<0,05$ : die Irrtumswahrscheinlichkeit liegt bei  $<5\%$ )

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeines

#### 4.1.1 Gesundheitsstatus der untersuchten Tiere

Bei Tier 18 der Gruppe 1 fallen **Anomalien** im Bereich der Halswirbelsäule sowie oberen Brustwirbelsäule auf (siehe Kapitel 4.1.6 und Kapitel 5.5). Dieses Tier wird daher **von der statistischen Auswertung ausgeschlossen**. Alle weiteren Tiere zeigen anhand der computertomographischen Untersuchungen keine Hinweise auf eine Anomalie bzw. Erkrankung des Bewegungsapparates (siehe Abbildung 56 - Abbildung 60).

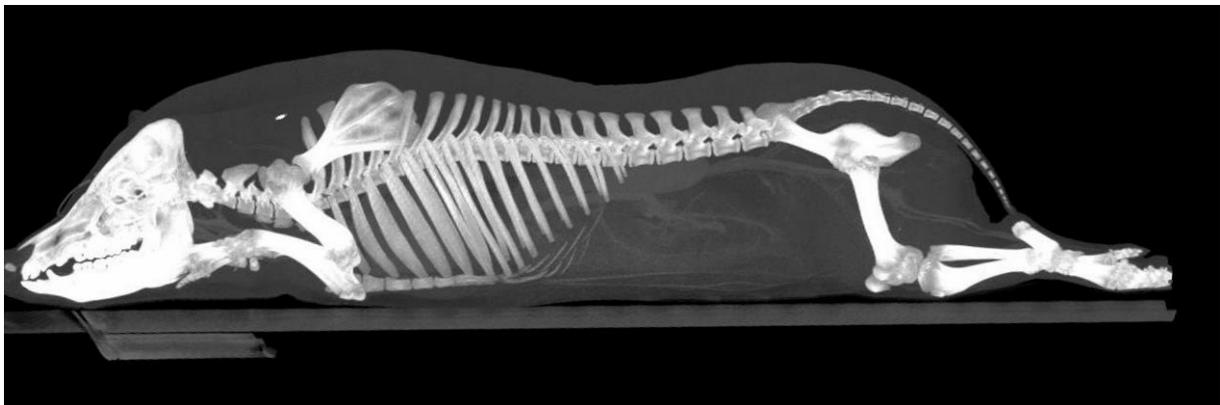


Abbildung 56: Tier 12, komplett, sagittal



Abbildung 57: Tier 12, HWS, horizontal

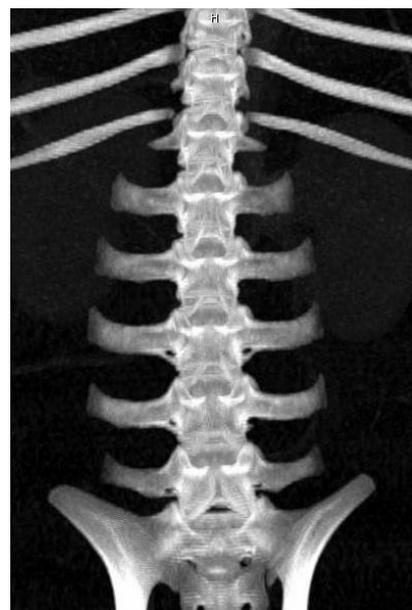
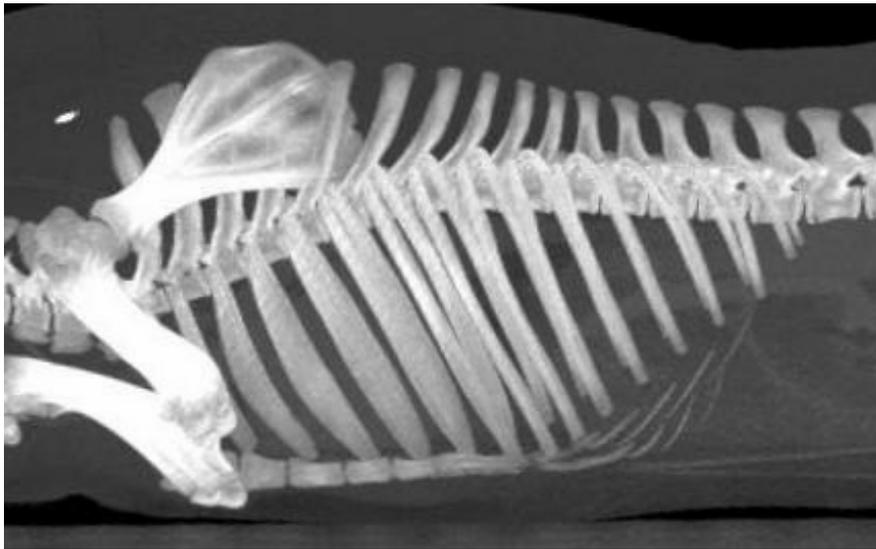
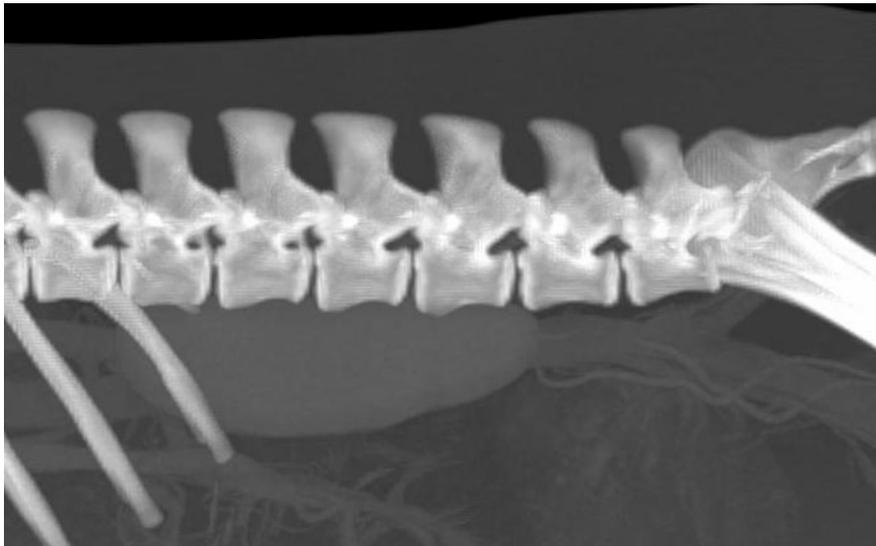


Abbildung 58: Tier 12, LWS, horizontal



**Abbildung 59: Tier 12, BWS, sagittal**



**Abbildung 60: Tier 12, LWS, sagittal**

#### 4.1.2 Gesamtzahl Wirbel

Alle Tiere weisen die bei fast allen Säugetieren, inklusive des Menschen, üblichen **7 Halswirbel** auf.

Die **Brustwirbelsäule** zeigt bei 13 von 16 Tieren eine Anzahl von **14** Brustwirbeln, während 3 Tiere eine Anzahl von **13** Brustwirbeln aufweisen.

Die **Lendenwirbelsäule** umfasst bei 8 der untersuchten Tiere eine Anzahl von **5**, bei weiteren 8 Tieren eine Anzahl von **6** Lendenwirbeln (siehe Abbildung 61).

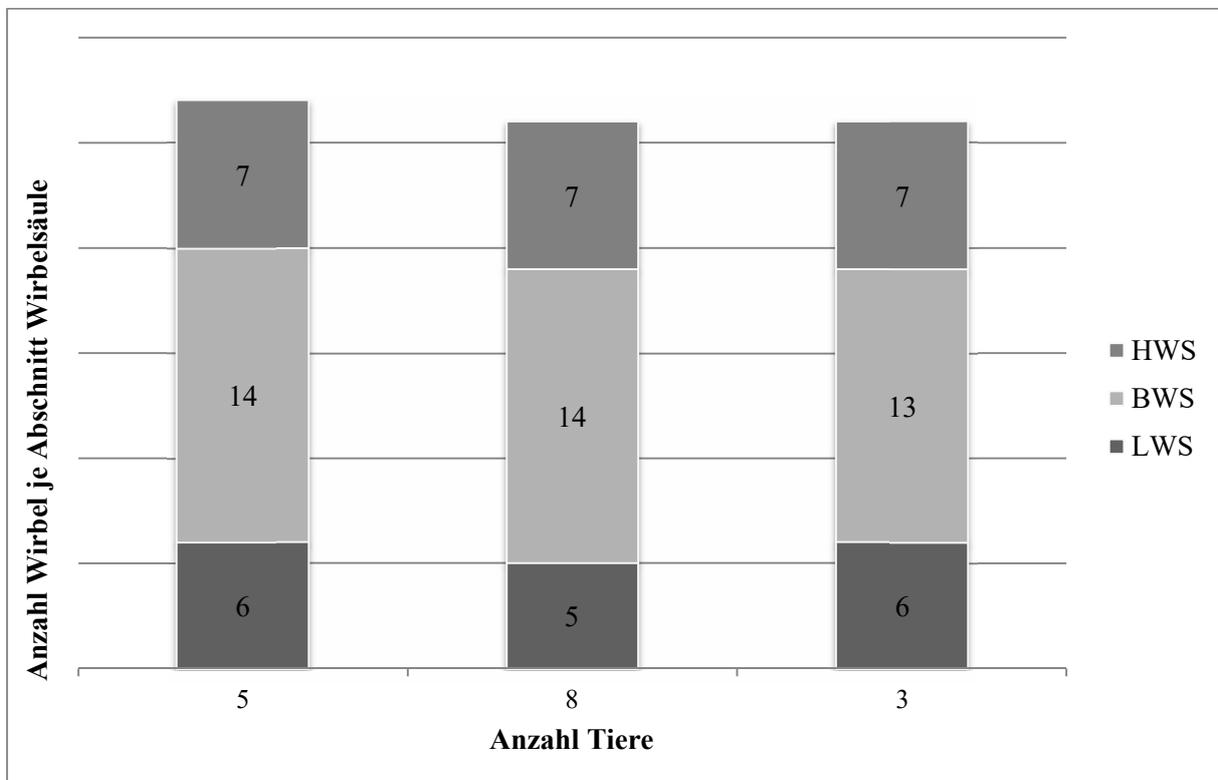


Abbildung 61: Anzahl Wirbel je Wirbelsäulenabschnitt

#### 4.1.3 Schluss der Epiphysenfugen

Zur Bestimmung der **Skelettreife** und damit des **Altersstatus** kann unter anderem der **Schluss der Epiphysenfugen** herangezogen werden. Die Ossifikation der Wirbelkörper erfolgt bei den Haussäugetieren rein enchondral. Ausgehend von 3 primären Ossifikationszentren schreitet die Verknöcherung in alle Richtungen fort. Zusätzlich existieren sekundäre bzw. akzessorische Ossifikationszentren, zu welchen die sich an den Enden der Wirbelkörper befindlichen Epiphysen bzw. Epiphysenplatten zählen. Diese sind beim Schwein 6-8 Wochen postnatal erkennbar und verschmelzen erst in einem Alter von 4-7 Jahren mit dem restlichen Wirbelkörper (Rüsse und Sinowatz 2010). Die Verknöcherung erfolgt hier ebenfalls enchondral, von den Epiphysenkernen ausgehend in Richtung Peripherie (Schnorr und Kressin 2006). Im Zuge dessen kann die Verknöcherung bzw. der Schluss der Epiphysenfugen als Indikator zur Bestimmung der Altersgruppenzugehörigkeit dienen. Dazu wurden Aufnahmen der Sagittalebene der untersuchten Tiere ausgewertet.

In Abbildung 62 bis Abbildung 64 sind die offenen Epiphysenfugen exemplarisch gelb markiert (siehe Pfeile). Betroffene Lokalisationen finden sich bei dem untersuchten Tier in der **HWS** (C2-C6), **unteren BWS** und **LWS** am Corpus vertebrae kranial und/oder kaudal.



Abbildung 62: Tier 13, Gr.1, HWS, sagittal

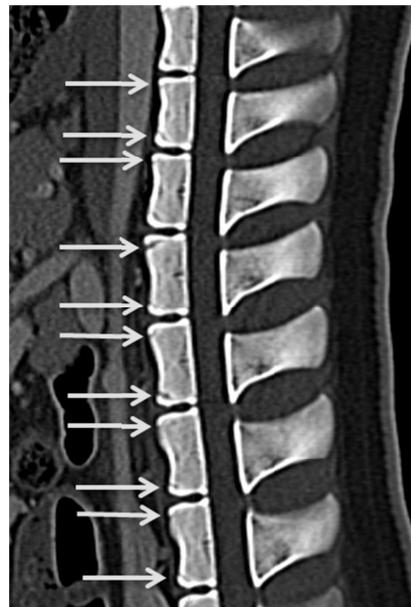


Abbildung 63: Tier 13, Gr.1, BWS, sagittal

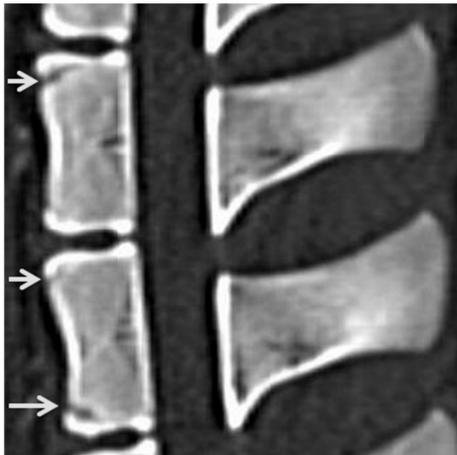


Abbildung 64: Tier 13, Gr.1, LWS, sagittal

Die Anzahl sowie Verteilung **geschlossener Epiphysenfugen** der Wirbelsäule sind in Abbildung 65 für jede Altersgruppe graphisch dargestellt. Im Alter von **12 Monaten** (blau) zeigen sich **74%** aller Epiphysenfugen geschlossen, im Alter von **17 Monaten** (rot) betrifft dies **87%** aller Epiphysenfugen sowie im Alter von **21 Monaten** (grün) **94%** aller Epiphysenfugen. Der Schluss der Epiphysenfugen findet somit insbesondere im Zeitraum zwischen 12 und 17 Lebensmonaten statt und erfolgt von kranial nach kaudal.

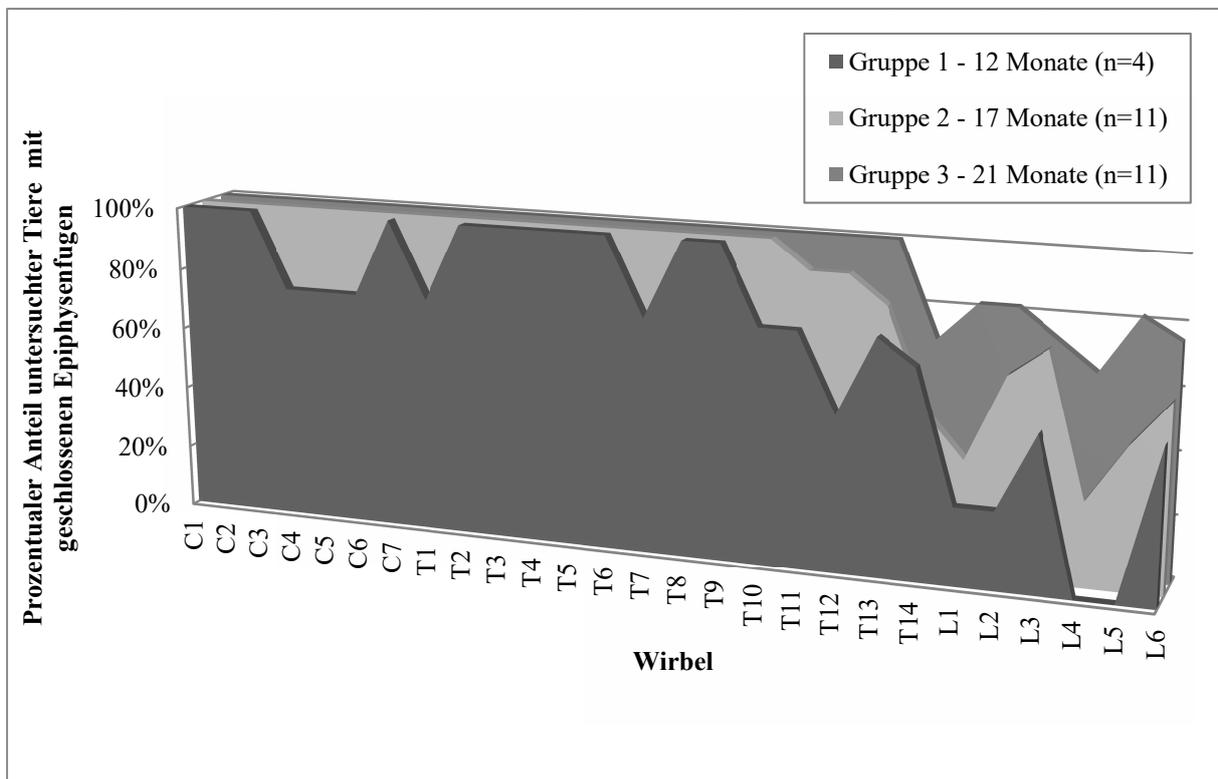


Abbildung 65: Geschlossene Epiphysenfugen für jeden Wirbel nach Untersuchungsgruppen

#### 4.1.4 Gesamtlänge der Wirbelsäule

In Abbildung 66 ist die **Gesamtlänge der Wirbelsäule** für alle 3 Altersgruppen der untersuchten Göttingen Minipigs (blau) sowie Hausschwein (rot) und Mensch (grün) farblich dargestellt. Die Gesamtlänge der Wirbelsäule wurde hierzu auf Grundlage der ermittelten Parameter CVLc und DILc berechnet:

**Gesamtlänge Wirbelsäule=CVLc von C3 bis L5/6+DILc von C3 bis L5/L6 (in mm)**

Die Daten für das Hausschwein sowie den Menschen wurden der Literatur entnommen (Busscher et al. 2010b).

Aus Abbildung 66 ist eine erwartungsgemäß **ansteigende Gesamtlänge** der Wirbelsäule der untersuchten Tiere **mit zunehmendem Alter** ersichtlich. Dabei ist ein um 0,7% höherer Zuwachs zwischen Altersgruppe 2 und Altersgruppe 3 ( $\Delta 22\text{mm}=4,3\%$ ) gegenüber Altersgruppe 1 und Altersgruppe 2 ( $\Delta 18\text{mm}=3,7\%$ ) erkennbar. Während Hausschwein und Mensch adult eine nahezu identische Gesamtlänge der Wirbelsäule aufweisen, ist diese bei Gruppe 3 (adult) der untersuchten Göttingen Minipigs um 7% kürzer gegenüber Hausschwein bzw. Mensch.

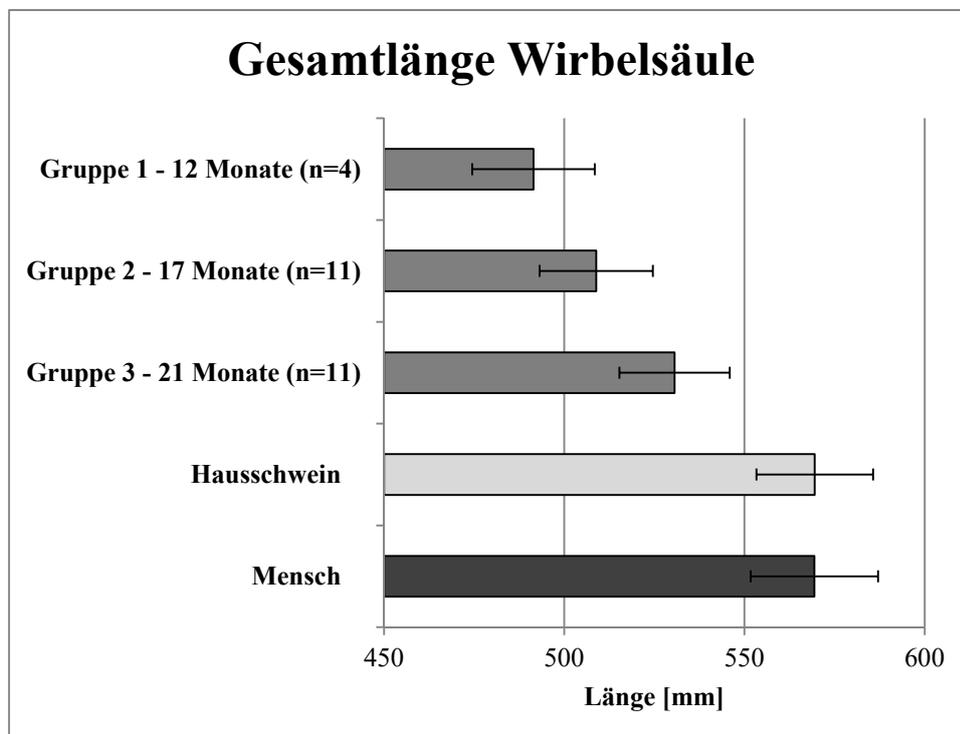


Abbildung 66: Gesamtlänge der Wirbelsäule im Vergleich; <sup>(1)</sup> Literatur: (Busscher et al. 2010b)

#### 4.1.5 Dorsoventrale Krümmungen der Wirbelsäule

In Abbildung 67 sind die dorsoventralen Krümmungen der Wirbelsäule für alle 3 Altersgruppen der untersuchten Göttingen Minipigs sowie Hausschwein und Mensch farbig dargestellt. Die Daten für das Hausschwein sowie den Menschen wurden der Literatur entnommen (Busscher et al. 2010b).

Aus Abbildung 67 ist ein Anstieg der **cervikalen Lordose** (blau) mit zunehmendem Alter der untersuchten Tiere ersichtlich. Die Krümmungen der **thorakalen Kyphose** (rot) sowie **lumbalen Lordose** (grün) bleiben hingegen für alle 3 Altersgruppen konstant. Die **cervikale Lordose** der Göttingen Minipigs der Gruppen 2 und 3 ( $39^\circ$ ) ist hierbei in etwa mit der des Hausschweines ( $44^\circ$ ) vergleichbar. Für den Menschen hingegen zeigt sich ein Winkel von lediglich  $20^\circ$ . Für die **thorakale Lordose** zeigt sich weder eine Analogie der untersuchten Tiere aller 3 Altersgruppen ( $26-27^\circ$ ) mit dem Hausschwein ( $16^\circ$ ) noch dem Menschen ( $35^\circ$ ). Im Bereich der **lumbalen Lordose** zeigt das Hausschwein ( $8^\circ$ ) ebenfalls eine gegenüber den untersuchten Göttingen Minipigs aller 3 Altersgruppen ( $12-13^\circ$ ) geringere dorsoventrale Krümmung der Wirbelsäule, der Mensch hingegen eine deutlich stärkere Krümmung von  $29^\circ$ .

Gleichzeitig muss auf eine deutlich höhere Streuung der Standardabweichung der Literaturdaten, insbesondere des Menschen, gegenüber der im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Daten hingewiesen werden (siehe Abbildung 67). Dies ist der starken Streuung in Alter sowie Körpergröße der Daten für den Menschen geschuldet (siehe Kapitel 5.1).

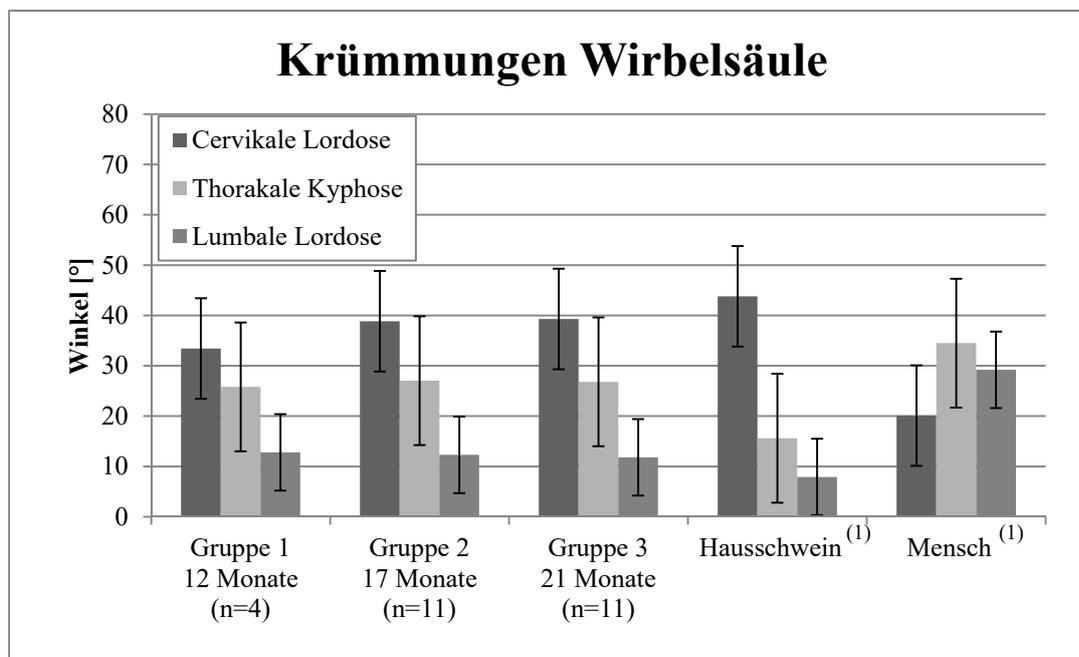


Abbildung 67: Krümmungen der Wirbelsäule, (<sup>1</sup>) Literatur: (Busscher et al. 2010b)

#### 4.1.6 Anomalien

Bei einem der untersuchten Tiere der Gruppe 1 (12 Monate) zeigten sich in der computertomographischen Auswertung des Bildmaterials Anomalien in Form von **Fischwirbelbildungen** der **Halswirbelsäule** sowie **oberen Brustwirbelsäule**. Hierbei handelt es sich um bikonkave Verformungen an den Endplatten der Wirbelkörper. In Abbildung 68 bis Abbildung 71 sind diese sagittal, horizontal und transversal dargestellt. So sind in Abbildung 68 und Abbildung 69 eine konkave Verformung der Extremitas caudalis des Wirbels C2, bikonkave Verformungen der kranialen und kaudalen Endplatten der Wirbel C3 bis T1 sowie eine konkave Verformung der Extremitas cranialis des Wirbels T2 erkennbar. In Abbildung 70 und Abbildung 71 sind diese Anomalien horizontal für die Wirbel C2 bis C5 bzw. transversal für den Wirbel C3 dargestellt.

Das Tier wurde daraufhin von der statistischen Auswertung ausgeschlossen.



**Abbildung 68: Fischwirbelbildungen an C2-T2, Tier 18, sagittal, median**



**Abbildung 69: Fischwirbelbildungen an C2-T2, Tier 18, sagittal, median**



**Abbildung 70: Fischwirbelbildungen C2-C5, Tier 18, horizontal, Höhe der Querfortsätze**



**Abbildung 71: zentrale konkave Verformung der ECr von C3, Tier 18, transversal, Mitte der Wirbellänge**

## 4.2 Methodenvalidierung

Zur Validierung der Messmethodik erfolgten wiederholte Untersuchungen an insgesamt 5 Tieren. Hierfür wurden 2 Tiere der Gruppe 1 (12 Monate), sowie 3 Tiere der Gruppe 2 (17 Monate) und 3 Tiere der Gruppe 3 (21 Monate) 3-malig unter identischen Bedingungen ausgewertet.

Die Beurteilung erfolgt für:

- **Validierung der Messmethodik im kraniokaudalen Verlauf** (siehe Kapitel 4.2.1)
- **Gruppen- und Methodenstatistik nach Altersgruppen** (siehe Kapitel 4.2.2)
- **Gruppen- und Methodenstatistik ermittelter Parameter bzw. Verhältnisse** (siehe Kapitel 4.2.3)

Die Messgenauigkeit der verwendeten Software (Visage® 7.1.4. Client, Visage Imaging®) beträgt für Entfernungsmessungen  $\pm 2$  Pixel sowie für Winkelmessungen bei einer Schenkellänge von 100 Pixel  $\pm 1,1$ .

### 4.2.1 Validierung der Messmethodik im kraniokaudalen Verlauf der Wirbelsäule

Hiermit soll **repräsentativ an 2 Parametern (VB und DILd)** die Streuung der Messwerte der **repetitiv untersuchten Tiere von Gruppe 3 (n=3)** denen der **gesamten Untersuchungsgruppe 3 (n=11)** gegenübergestellt werden. Die Streuung der Messwerte wird dabei für jeden untersuchten Wirbel über den Verlauf der Wirbelsäule beobachtet.

In Abbildung 72 sind am Beispiel der **Breite des Wirbels (VB)** für Gruppe 3 (21 Monate) die Messwerte der 3 Tiere, welche **repetitiv** untersucht wurden (Tier 1, Tier 5, Tier 9) als einzelne Datenpunkte **farbig** (rot, blau, grün) dargestellt. Mit Hilfe der Boxplots (**schwarz**) werden die Messwerte innerhalb der **gesamten Gruppe 3 (n=11)**, welche einmalig erhoben wurden, dargestellt.

Hierbei zeigt sich für die **repetitiv untersuchten Tiere** eine Streuung der Messwerte von **min. 0,00%** (T11) bis **max. 5,81%** (T11), was sich in einer annähernden Deckungsgleichheit der einzelnen Datenpunkte äußert. Die Messwerte der **gesamten Gruppe 3** weisen eine deutlich stärkere Streuung von **min. 2,31%** (C1) bis **max. 12,46%** (T13) auf. Dabei sind die niedrigsten Werte in der HWS und oberen BWS zu verzeichnen. Im kaudalen Verlauf findet ein Anstieg der Streuung mit einem Maximum für den Wirbel T13 statt. Im Verlauf der LWS ist anschließend eine Abnahme der Streuung mit einem Niveau auf Höhe der HWS für den Wirbel L6 zu verzeichnen (absolute Werte siehe Kapitel 4.7.1 und Kapitel 9.1). Die Streuung der Messwerte des Parameters VB variiert somit abhängig von der Lokalisation in der Wirbelsäule. Eine Zunahme der Streuung von kranial bis auf ein Maximum im kaudalen Bereich beschreibt ein unterschiedlich starkes Wachstum des Merkmals in den verschiedenen Abschnitten der Wirbelsäule. Dies bestätigt die anhand des Schlusses der Epiphysenfugen in

Kapitel 4.1.3 getroffene Aussage eines in kaudale Richtung erfolgenden Wachstumsverlaufes und kann als stellvertretend für weitere Parameter betrachtet werden.

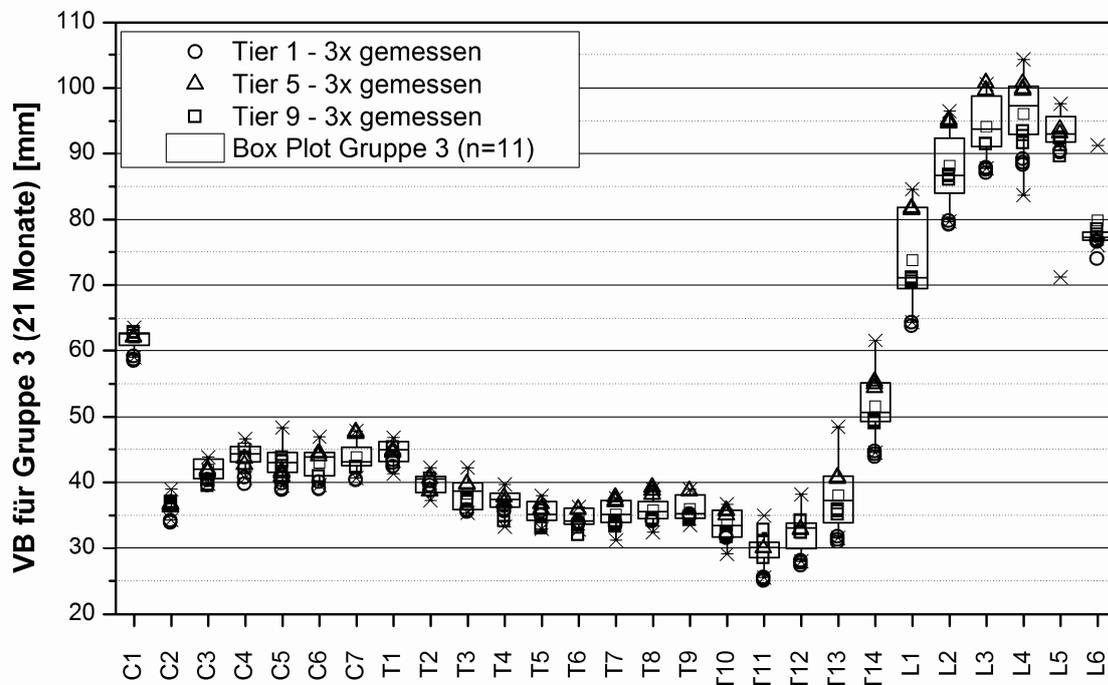


Abbildung 72: Methodvalidierung am Beispiel VB (Vertebra Breite) für Gruppe 3

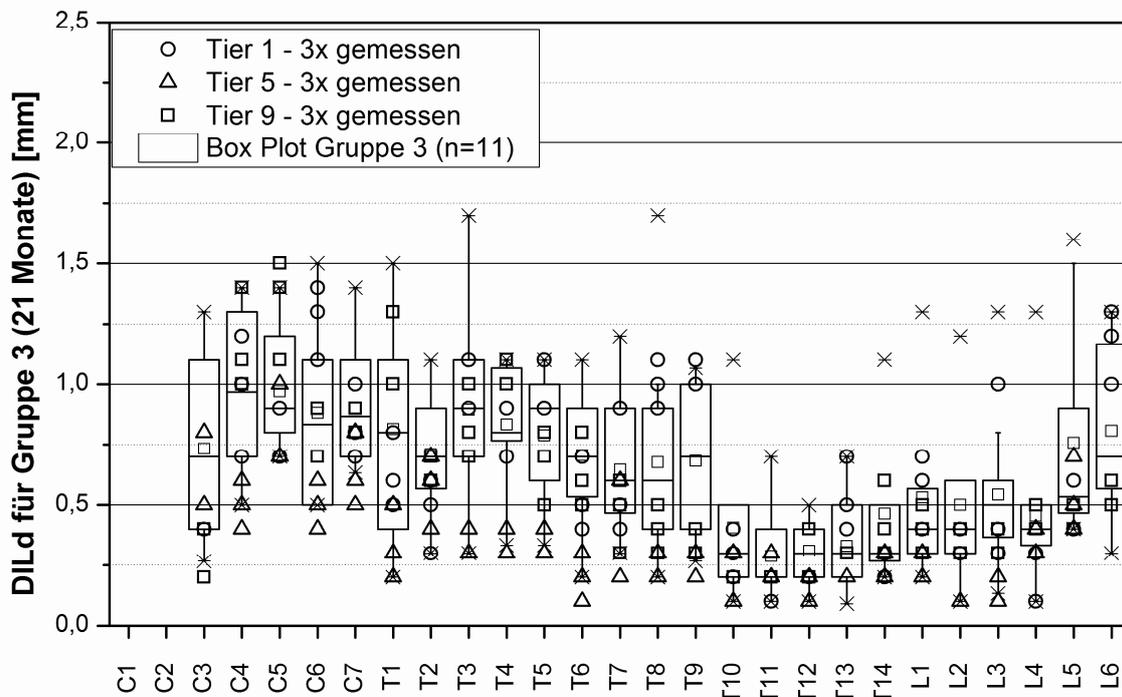
Analog VB wurde die Messmethodik für den Parameter **Länge der Bandscheibe dorsal (DILd)** untersucht (siehe Abbildung 73).

Hier zeigt sich eine gegenüber VB deutlich höhere Streuung der Messwerte über den gesamten Verlauf der untersuchten Wirbelsäule. Dies betrifft sowohl die repetitiv untersuchten Tiere (farbig) als auch die gesamte Gruppe 3 (Boxplots, n=11). Besonders deutlich wird dies im Bereich der Halswirbelsäule, der oberen Brustwirbelsäule sowie anhand der Wirbel L5 und L6. Die stärkere Streuung der Messwerte des Parameters DILd ist dabei auf die unterschiedlich hohen Streubereiche bzw. Spannweiten der Messwerte beider Parameter zurückzuführen. Während der Streubereich für VB bei 30 mm-96 mm liegt und die Spannweite somit einen Wert von 66 beträgt, umfassen diese für DILd lediglich einen Bereich von 0,3 mm-1 mm bzw. einen Wert von 0,7.

Die Streuung der einzelnen Messwerte liegt für die repetitiv untersuchten Tiere der Gruppe 3 bei min. 0,00% (T10-T13, L2) und max. 56,57% (T10) sowie für die gesamte Gruppe 3 bei min. 23,53% (T1) und max. 75,82% (T11).

Anhand der Parameter VB und DILd wird eine deutlich geringere Streuung der Messwerte der repetitiv gemessenen Tiere gegenüber den Messwerten der gesamten Gruppe deutlich.

Dies kann ebenfalls für alle weiteren untersuchten Parameter festgestellt werden. Die hohen maximalen Streuungen der Messwerte beschränken sich auf die Parameter der Bandscheibe (DILv, DILc, DILd) und resultieren aus äußerst kleinen Spannweiten dieser Parameter. Dies muss bei der Beurteilung der Messmethodik berücksichtigt werden. Unter **Ausschluss der Parameter DILv, DILc und DILd** liegt der **Mittelwert der Streuung aller Messwerte** der repetitiv gemessenen Tiere der Gruppe 3 bei **1,70%**. Anhand dieses Wertes sowie der Betrachtung der Streuungen der einzelnen Parameter und Verhältnisse (siehe Kapitel 9.1 und Kapitel 9.2) kann somit eine **gute Messmethodik** bestätigt werden. Da die beiden dargestellten Parameter stellvertretend für weitere Parameter bzw. aus diesen errechnete Verhältnisse stehen, wurde zur weiterführenden Untersuchung der Messmethodik der Variationskoeffizient<sup>17</sup> bestimmt und nach Altersgruppen (siehe Kapitel 4.2.2) sowie Parametern bzw. Verhältnissen (siehe Kapitel 4.2.3) ausgewertet.



**Abbildung 73: Methodvalidierung am Beispiel DILd (Discus intervertebralis Länge dorsal) für Gruppe 3**

<sup>17</sup> Variationskoeffizient: Quotient aus Standardabweichung  $s$  und Mittelwert  $x$ :  $v = \frac{s}{x} * 100$

#### 4.2.2 Gruppen- und Methodenstatistik nach Altersgruppen

Zur weiteren Untersuchung der Messmethodik wurde der **Variationskoeffizient** für die Gesamtheit aller ermittelten Werte gebildet. Dieser soll dem Vergleich der Streuung der Messwerte jeder **Altersgruppe** (Gruppe 2/3: n=11, Gruppe 1: n=4) mit den **repetitiv gemessenen Tieren** (Gruppe 2/3: n=3, Gruppe 1: n=2) der jeweiligen Altersgruppe dienen.

Dabei wurde zwischen den Messwerten aller Tiere **der gesamten Altersgruppe** (=Gruppenstatistik), welche in Abbildung 74 **rot** dargestellt sind, sowie den Messwerten der **repetitiv gemessenen Tiere** je Gruppe (=Methodenstatistik), welche in selbiger Graphik **blau** dargestellt sind, unterschieden.

Hierbei wird ein gegenüber der **Gruppenstatistik** (7,7-9%) deutlich niedrigerer Variationskoeffizient der **Methodenstatistik** (2,7%) ersichtlich. Anhand der Methodenstatistik wird somit eine adäquate Messmethodik bestätigt. Während das Alter der Tiere bei den repetitiv gemessenen Tieren keinen Einfluss auf den Variationskoeffizienten zeigt, kann für die Gruppenstatistik eine leichte Zunahme dessen mit steigendem Alter beobachtet werden. Dies ist auf einen größeren Streubereich bzw. eine höhere Spannweite der Messwerte zurückzuführen, welche ein Indiz für einen unterschiedlich starken Wachstumsverlauf der untersuchten Tiere mit zunehmendem Alter darstellen (Glodek 1981).

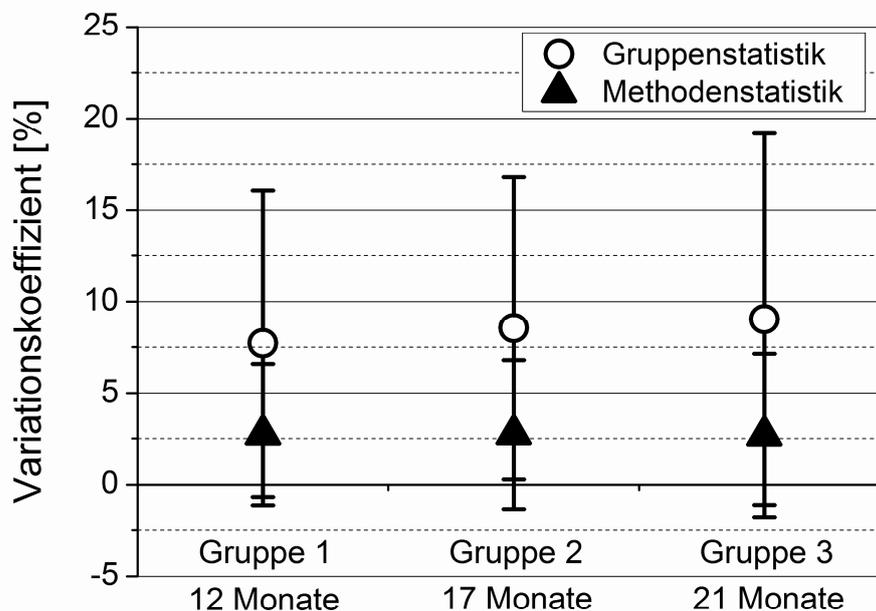


Abbildung 74: Methodenvalidierung nach Altersgruppen (Variationskoeffizient in %)

#### 4.2.3 Gruppen- und Methodenstatistik ermittelter Parameter bzw. Verhältnisse

Analog Kapitel 4.2.2 wurde mit den **gemessenen Parametern** (siehe Abbildung 75) sowie den aus diesen **errechneten Verhältnissen** (siehe Abbildung 76) verfahren. Hiermit soll untersucht werden, inwieweit diese hinsichtlich ihres Streuverhaltens für die repetitiv gemessenen Tiere sowie die gesamte Altersgruppe variieren.

Hierbei zeigt sich ein gegenüber der **Gruppenstatistik** (rot) bis zu 4-fach **niedrigerer Variationskoeffizient** der **Methodenstatistik** (blau) für alle 3 Altersgruppen, womit eine **adäquate Messmethodik** konstatiert wird. Dies betrifft sowohl die gemessenen **Parameter** (**Methodenstatistik min. 0,6-max. 17,7%; Gruppenstatistik min. 2,5-max. 47%**) als auch die daraus errechneten **Verhältnisse** (**Methodenstatistik min. 1,4-max. 8,5%; Gruppenstatistik min. 3,7-max. 20,5%**).

Im Vergleich der 3 Altersgruppen miteinander fällt ein Einfluss des Alters auf die Parameter DIL<sub>v</sub>, DIL<sub>c</sub> und DIL<sub>d</sub> sowie die Verhältnisse FVH/ECrH, DIL<sub>c</sub>/ECrB, PSH/ECrH, PLre/PBre und PLli/PBli auf. Dabei weisen die Relationen der Pedikel (PLre/PBre, PLli/PBli) insbesondere in den Altersgruppen 2 und 3 ein verstärktes Wachstum auf.

Die höchsten Variationskoeffizienten und eine damit einhergehende hohe Variabilität in deren Wachstum finden sich für folgende Parameter bzw. Verhältnisse der **Gruppenstatistik**:

- **Foramen vertebrale Fläche (FVF)** mit **8-10%**
- **Processus transversus Länge (PTLli, PTLre)** mit **11%**
- **Pedikel Breite und Länge (PBli, PBre und PLli, PLre)** mit **8-9%** bzw. **9%**
- **Discus intervertebralis Länge (DIL<sub>v</sub>, DIL<sub>c</sub>, DIL<sub>d</sub>)** mit bis zu **47%**
- **DIL<sub>c</sub>/ECrB > 10%** für alle Altersgruppen
- **FVH/ECrH, PLre/PBre und PLli/PBli > 10%** für Gruppe 2 und Gruppe 3

Wie bereits in Kapitel 4.2.1 beschrieben, sind die hohen Variationskoeffizienten für die Länge der Bandscheibe auf den sehr kleinen Streubereich bzw. die geringe Spannweite der Messwerte zurückzuführen.

Die **Methodenstatistik** umfasst Variationskoeffizienten mit einem Wert von **<5%** für die Parameter bzw. Verhältnisse aller 3 Altersgruppen, mit Ausnahme der Parameter **DIL<sub>v</sub>, DIL<sub>c</sub>** und **DIL<sub>d</sub>** sowie des Verhältnisses **DIL<sub>c</sub>/ECrB**. Diese weisen analog der Gruppenstatistik die höchsten Variationskoeffizienten (**min. 8-max. 18%**) auf.

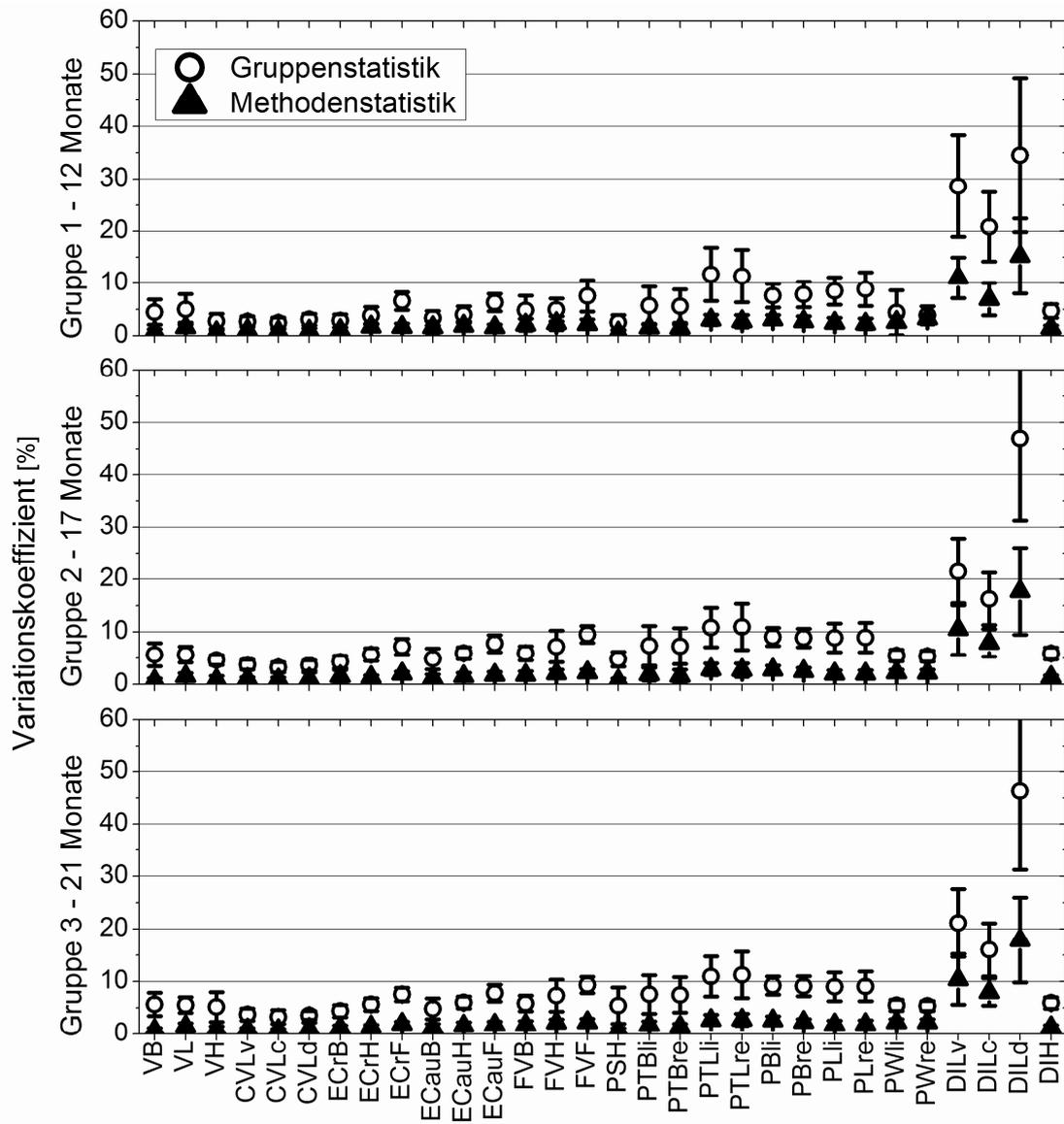


Abbildung 75: Methodenvalidierung gemessener Parameter nach Altersgruppen

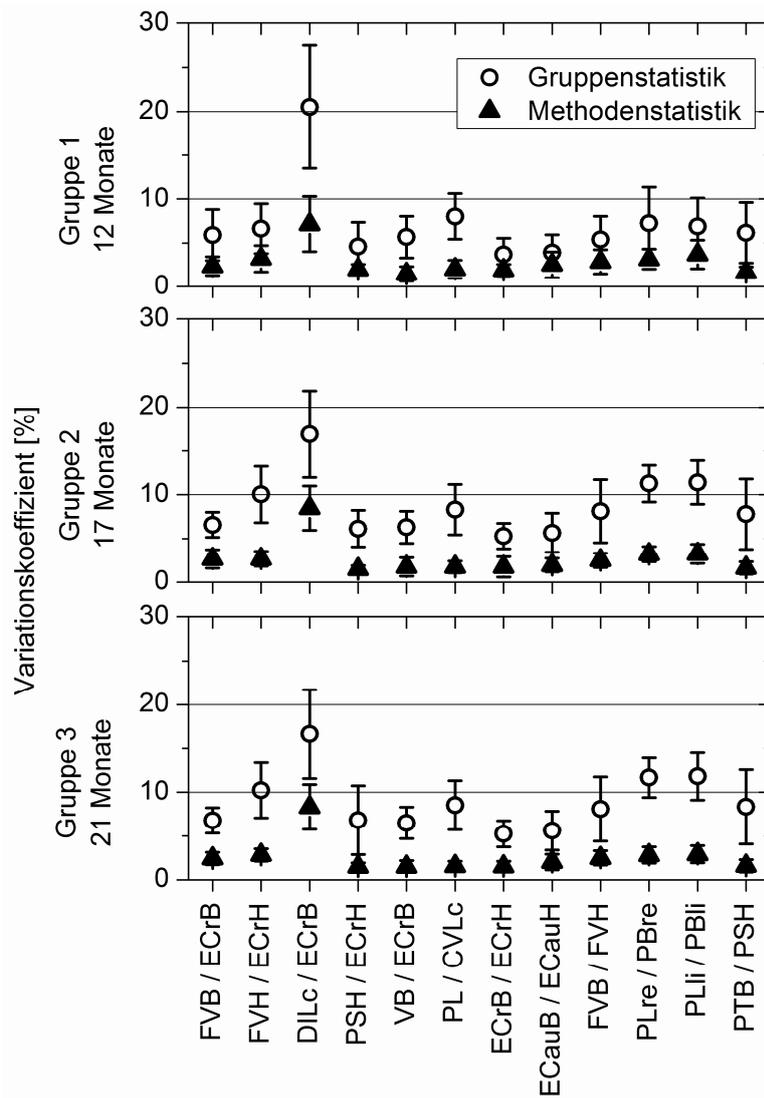


Abbildung 76: Methodenvalidierung errechneter Verhältnisse nach Altersgruppen

### 4.3 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule

Als **Kernziele der vorliegenden Arbeit** wurden ein **Datenkatalog** der ermittelten Daten des Göttingen Minipig angelegt sowie ein **Interspezies-Vergleich** mit Hausschwein und Mensch angestellt.

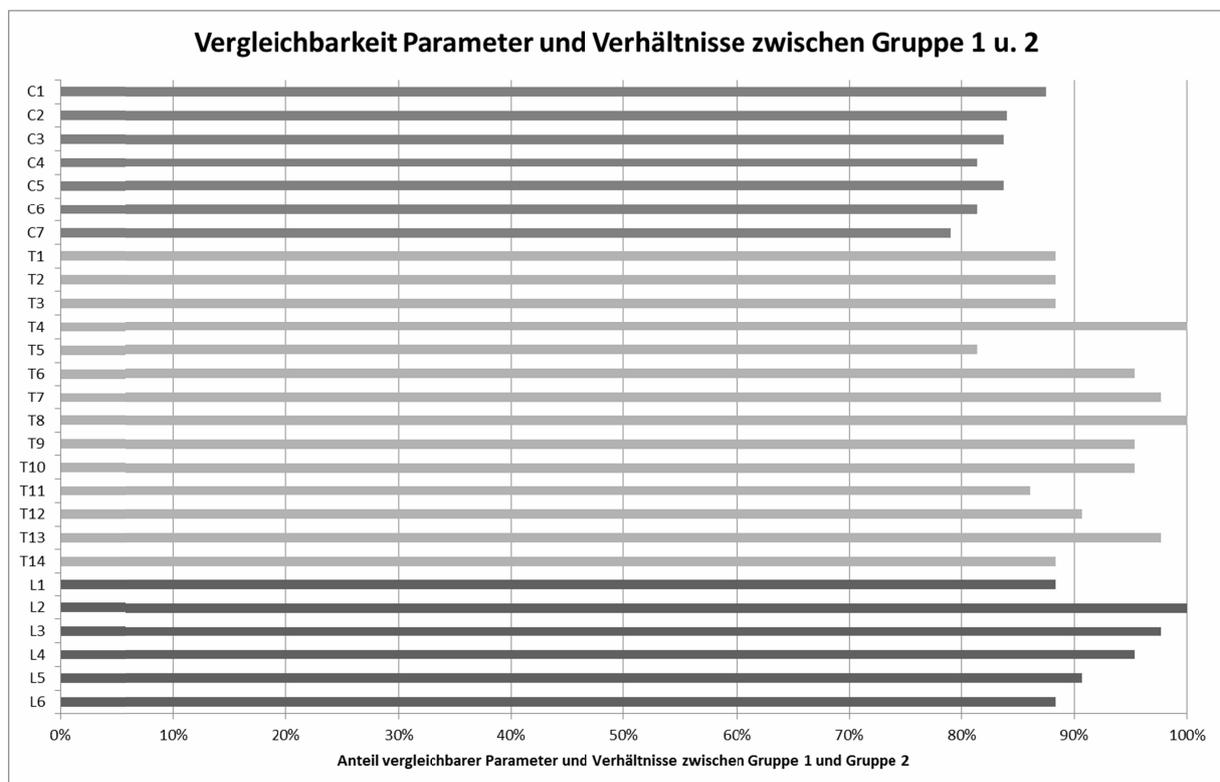
Eine **tabellarische** Darstellung der Untersuchungsergebnisse **nach Wirbeln** findet sich in den **Kapiteln 4.7.1** und **Kapitel 9.1**; eine **graphische** Darstellung der ermittelten Werte **nach Parametern bzw. Verhältnissen** geben **Kapitel 4.7.2** und **Kapitel 9.2**.



#### 4.4.2 Vergleichbarkeit der Wirbel

In Abbildung 77 wird der prozentuale Anteil aller „Vergleichbar“ ( $p > 0,05$ ) definierten Parameter je Wirbel zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 für die gesamte Wirbelsäule (C1-L5/6) dargestellt.

Hier zeigt sich für die **gesamte Wirbelsäule**, mit Ausnahme des Wirbels C7, eine Vergleichbarkeit beider Altersgruppen in **>80%** der gemessenen Parameter. Für den Wirbel C7 sind **79%** der Parameter vergleichbar. Die stärksten Übereinstimmungen finden sich dabei für **T4, T6 bis T10, T12, T13** und **L2 bis L5**. Für diese Wirbel kann eine Vergleichbarkeit von **>90%** aller Parameter beobachtet werden. Eine maximale Vergleichbarkeit von **100%** aller Parameter ist für die Wirbel **T4, T8** und **L2** ersichtlich.



**Abbildung 77: Prozentualer Anteil der Vergleichbarkeit aller Parameter für jeden Wirbel zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2**

#### 4.4.3 Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule

Im Anschluss wird die Wirbelsäule entsprechend ihrer Topographie zur weiteren Beurteilung in **Abschnitte** unterteilt:

- **Halswirbelsäule** (HWS: C3-C7)
- **Obere Brustwirbelsäule** (Obere BWS: T1-T7)
- **Untere Brustwirbelsäule** (Untere BWS: T8-T13/14)
- **Lendenwirbelsäule** (LWS: L1-L5/6)

Anhand der gebildeten Abschnitte wird die prozentuale Vergleichbarkeit der untersuchten Parameter bzw. Verhältnisse zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 betrachtet. Eine Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter von  $\leq 50\%$  infolge einer hohen Anzahl signifikanter Unterschiede zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 zeigt sich in den Wirbelsäulenabschnitten (siehe Abbildung 78):

- **HWS** für die Parameter **CVLc**, **FVB**, **DILc**
- **Obere BWS** für keinen Parameter
- **Untere BWS** für den Parameter **CVLc**
- **LWS** für den Parameter **CVLc**

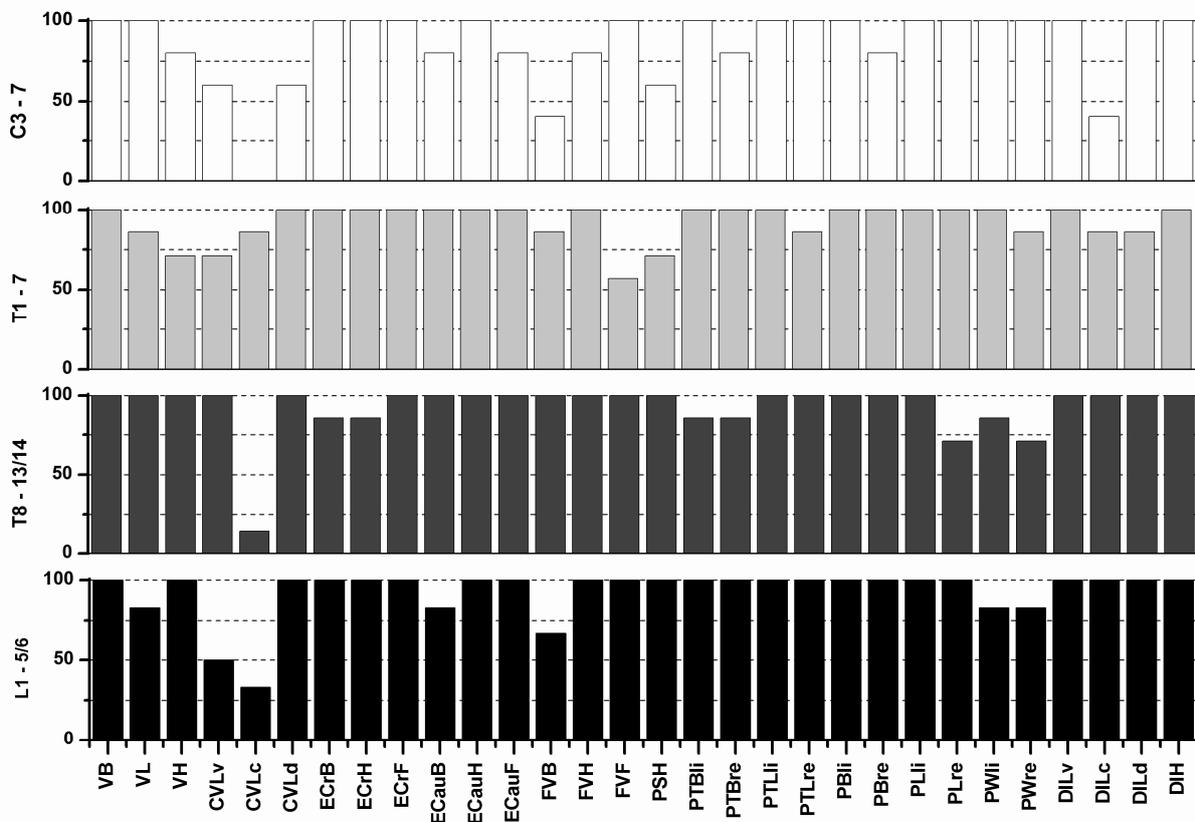


Abbildung 78: Prozentuale Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule (y-Achse) nach Parametern (x-Achse) zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2

Eine **Vergleichbarkeit der gebildeten Verhältnisse** von  $\leq 50\%$  aufgrund einer hohen Anzahl **signifikanter Unterschiede** zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 zeigt sich im Wirbelsäulenabschnitt (siehe Abbildung 79):

- **HWS** für die Verhältnisse **FVB/ECrB**, **DILc/ECrB** sowie **FVB/FVH**

Für alle weiteren gebildeten Verhältnisse kann eine Vergleichbarkeit von  $>50\%$  zwischen den beiden Altersgruppen in allen Abschnitten der Wirbelsäule beobachtet werden.

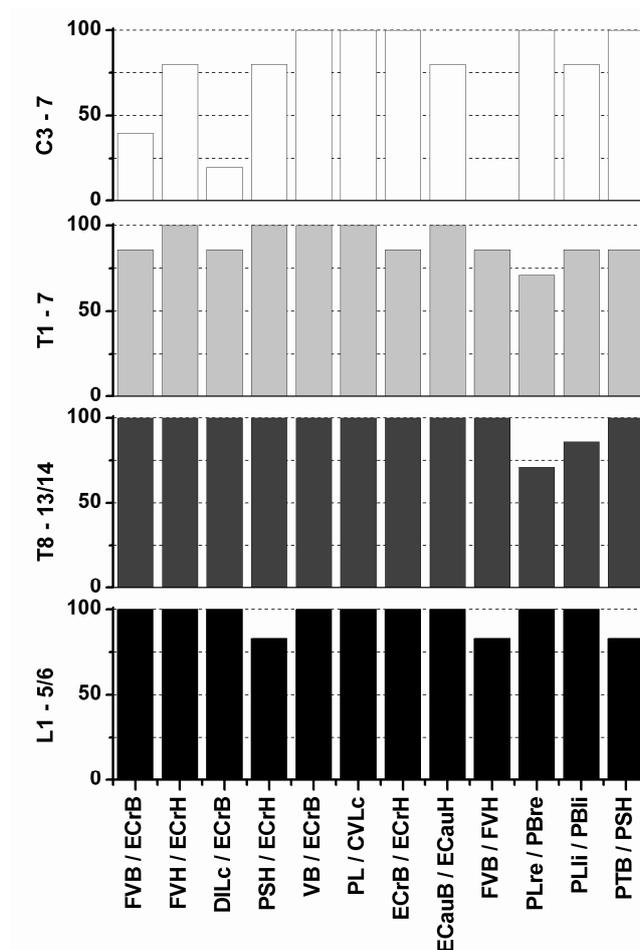


Abbildung 79: Prozentuale Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule (y-Achse) nach gebildeten Verhältnissen (x-Achse) zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2

#### 4.5 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Gruppe 2 - Gruppe 3

Die ermittelten Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse wurden analog Kapitel 4.4, jedoch mit Hilfe eines **t-Tests für verbundene Stichproben** ausgewertet, da es sich um identische Tiere handelt, welche zu verschiedenen Alterszeitpunkten untersucht wurden.

##### 4.5.1 Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse

Zum Vergleich aller ermittelter Parameter sowie den aus diesen gebildeten Verhältnissen zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 wurde die Irrtumswahrscheinlichkeit berechnet und für **p<0,05** als „Nicht vergleichbar“ (NV) bzw. für **p>0,05** als „Vergleichbar“ (V) definiert (siehe Tabelle 5).

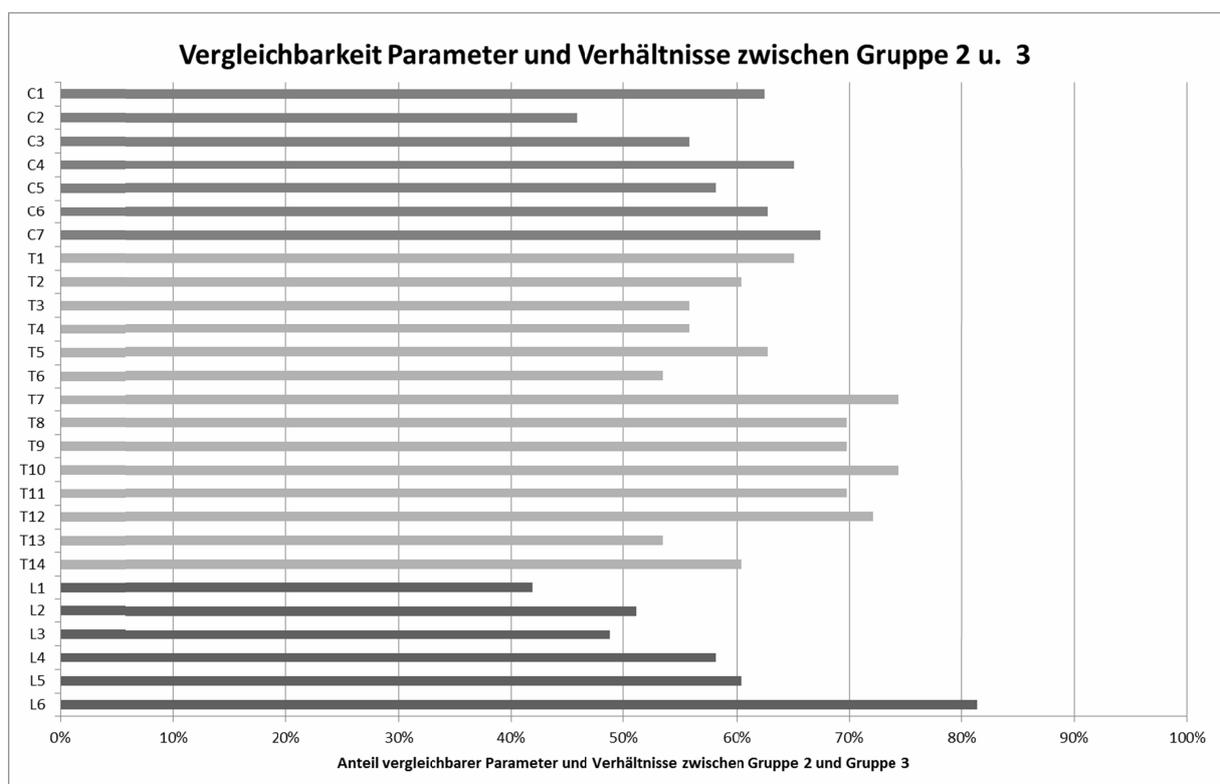
**Tabelle 5: t-Test verbundene Stichprobe für Gruppe 2 (17 Monate) und Gruppe 3 (21 Monate); NV=nicht vergleichbar (p<0,05), V=vergleichbar (p>0,05)**

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	L1	L2	L3	L4	L5	L6
VB	NV	V	NV	V	NV	V	NV	V	V	V	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	V									
VL	V	NV	V	NV	V	NV	V	V	NV	V	V	V	NV	V	NV	NV	V	NV	NV								
VH	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV									
CVLv	NV	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	NV	V																	
CVLc	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV																
CVLd	NV	V	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV												
ECrB			NV	V	NV	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	NV	NV	V	V	V	V	V	NV	V	NV	V	V	V	V	
ECrH			NV	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	NV	V	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	
ECrF			NV	NV	NV	NV	NV	V	V	NV	V	V	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	V	
ECauB		V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	NV	NV	V	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	NV	NV	V	NV	
ECauH		V	NV	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	V									
ECauF		V	NV	V	V	V	V	NV	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	
FVB	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	
FVH	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
FVF	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	NV	V	V	
PSH		NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV																
PTbli	NV	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	V	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	V	V	V	NV	V	NV	NV	NV	NV	V	
PTBre	NV	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	V	NV	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	NV	NV	NV	V	
PTLli		NV	NV	V	NV	V	NV	NV	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	NV	NV	NV	V	V	NV	V	
PTLre		NV	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	NV	NV	V	V	NV	V	V	
PBli		NV	V	V	V	V	V	NV	NV	V	NV	NV	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	V	NV	V	V	V	V	
PBre		V	V	V	V	V	V	V	NV	V	NV	NV	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	V	NV	V	V	V	V	
PLli		NV	V	NV	NV	NV	V	NV	NV	NV	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	NV	NV	NV	NV	V	NV	V	
PLre		V	NV	V	NV	V	V	V	V	V	V	NV	NV	NV	NV	NV	NV	NV	V								
PWli		NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	
PWre		V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
DILv			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	
DILc			V	V	V	V	V	V	NV	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	
DILd			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
DIH			NV	V	V	NV	V	V	V	V	NV	NV	V	V	NV	NV	NV	V	NV	V	NV	V	NV	NV	NV	V	
FVB / ECrB			NV	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
FVH / ECrH			V	NV	NV	NV	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	V	V	NV	NV	NV	NV	V	
DILc / ECrB			V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
PSH / ECrH			V	V	V	V	V	NV	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
VB / ECrB			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	NV	NV	NV	
PL / CVLc		V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
ECrB / ECrH			V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	NV	V	
ECauB / ECauH			V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	
FVB / FVH			V	NV	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
PLre / PBre			V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	NV	V	V	
PLli / PBli			V	V	NV	V	V	V	V	NV	NV	NV	V	V	V	V	NV	V	NV	V	V	V	V	V	V	NV	
PTB / PSH			V	V	V	V	V	V	NV	V	V	V	NV	V	V	NV	V	V	V	V	NV	V	V	V	V	V	

#### 4.5.2 Vergleichbarkeit der Wirbel

Zur Vergleichbarkeit aller Wirbel wird in Abbildung 80 der prozentuale Anteil aller „Vergleichbar“ ( $p > 0,05$ ) definierten Parameter für die gesamte Wirbelsäule (C1-L5/6) dargestellt.

Zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 sind demnach **>50%** aller Parameter vergleichbar. Eine Ausnahme hiervon stellen die Wirbel **C2**, **L1** und **L3** dar, welche eine Vergleichbarkeit von **46%**, **42%** bzw. **49%** aller gemessenen Parameter aufweisen. Für den Wirbel **L6** wird mit **>80%** der maximale Wert der Untersuchung beobachtet.



**Abbildung 80: Prozentualer Anteil der Vergleichbarkeit aller Parameter für jeden Wirbel zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3**

#### 4.5.3 Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule

Analog Kapitel 4.4.3 wurden alle Parameter bzw. Verhältnisse auf ihre Vergleichbarkeit in den verschiedenen Abschnitten der Wirbelsäule untersucht. Eine hohe Anzahl **signifikanter Unterschiede** und eine hieraus resultierende **Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter** von  $\leq 50\%$  zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 zeigt sich in der (siehe Abbildung 81):

- **HWS** der Parameter **VB, VL, VH, CVLv, CVLc, CVLd, ECrB, ECrH, ECrF, PSH, PTBli, PTBre, PTLi, PLli** und **PLre**
- **Obere BWS** der Parameter **VB, VL, VH, CVLv, CVLc, CVLd, ECrB, ECrH, ECauH, ECauF, PSH, PTBre, PBli, PBre, PLli** und **PLre**
- **Untere BWS** der Parameter **VH, CVLv, CVLc, CVLd, ECrH, ECrF, ECauH, ECauF, PSH, PTBli** und **DIH**
- **LWS** der Parameter **VB, VL, VH, CVLv, CVLc, CVLd, ECrH, ECrF, ECauB, ECauH, ECauF, PSH, PTBli, PTBre, PTLi, PLli, PLre** und **DIH**

**Signifikante Unterschiede** können insbesondere für die Dimensionen des **gesamten Wirbels**, des **Wirbelkörpers** (Corpus vertebrae) und des **Dornfortsatzes** (Processus spinosus) beobachtet werden. **Hohe Vergleichbarkeiten** in allen Abschnitten der Wirbelsäule weisen hingegen die Dimensionen des **Spinalkanals** (Foramen vertebrale), der **Pedikelwinkel** sowie die **Länge der Bandscheiben** (Discus intervertebralis Länge) auf.

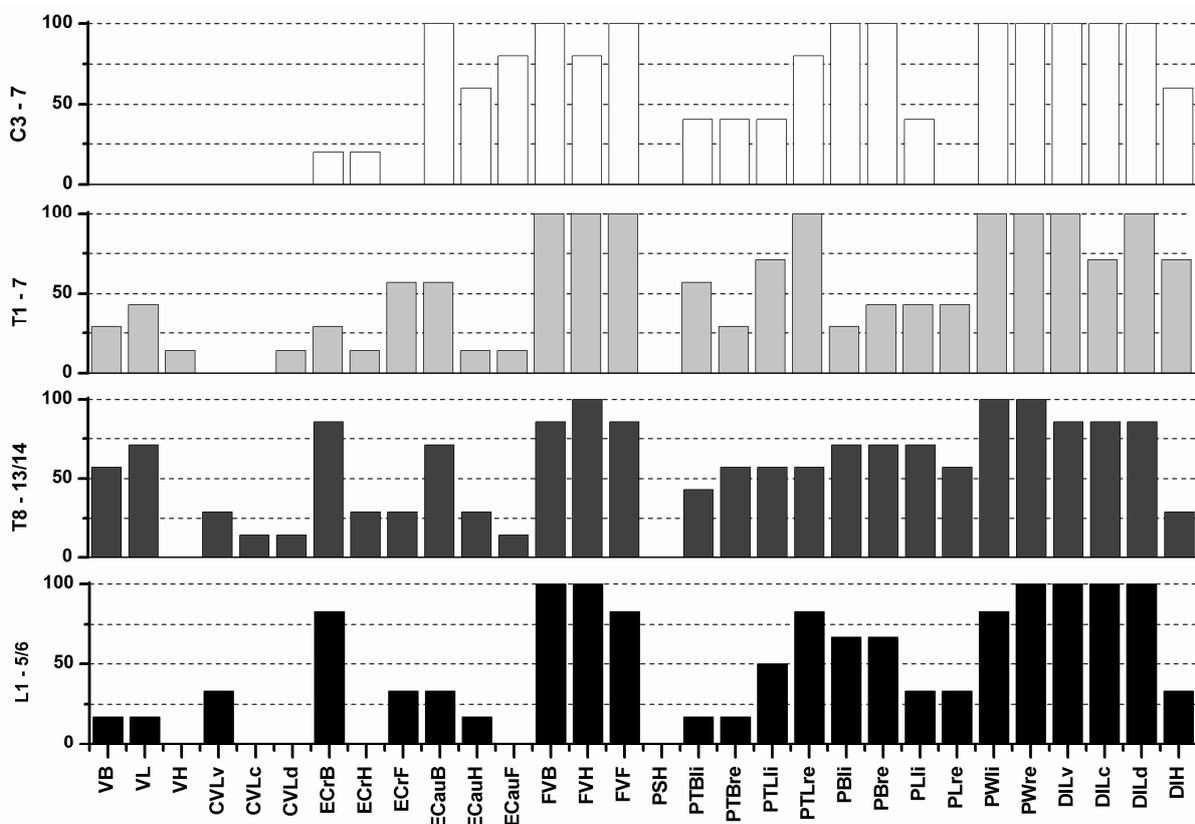


Abbildung 81: Prozentuale Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule (y-Achse) nach Parametern (x-Achse) zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3

Eine **Vergleichbarkeit der gebildeten Verhältnisse** von  $\leq 50\%$  aufgrund einer großen Anzahl **signifikanter Unterschiede** zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 zeigt sich in den Wirbelsäulenabschnitten (Abbildung 82):

- **HWS** für das Verhältnis **FVH/ECrH**
- **Obere BWS** für keines der gebildeten Verhältnisse
- **Untere BWS** für keines der gebildeten Verhältnisse
- **LWS** für die Verhältnisse **FVH/ECrH** und **VB/ECrB**

Eine hohe Anzahl an Verhältnissen, welche sich zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3 zu **100%** vergleichbar zeigen, weisen hingegen die **Halswirbelsäule** und die **untere Brustwirbelsäule** auf.

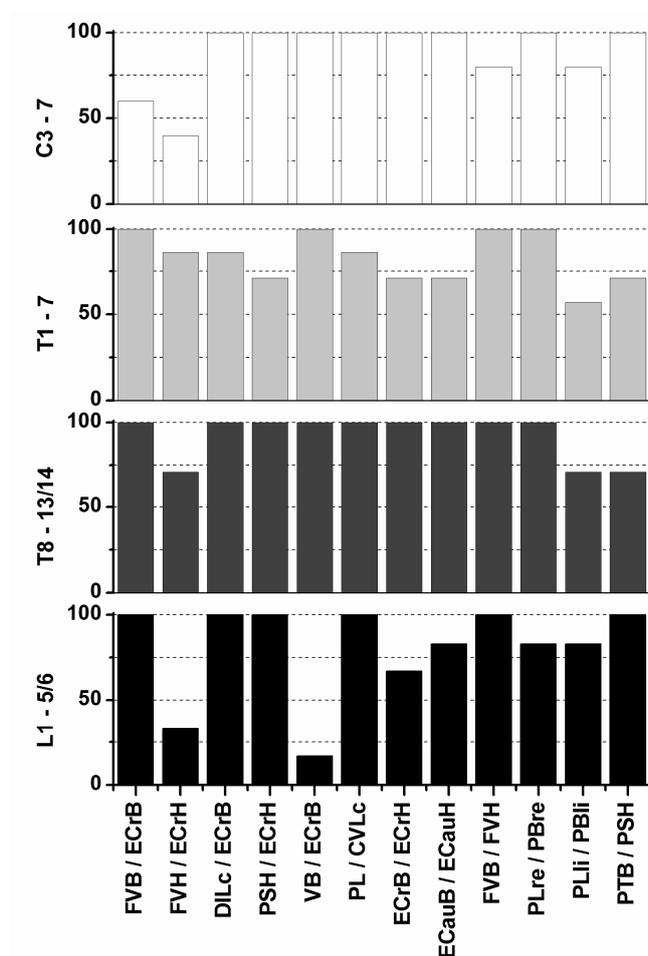


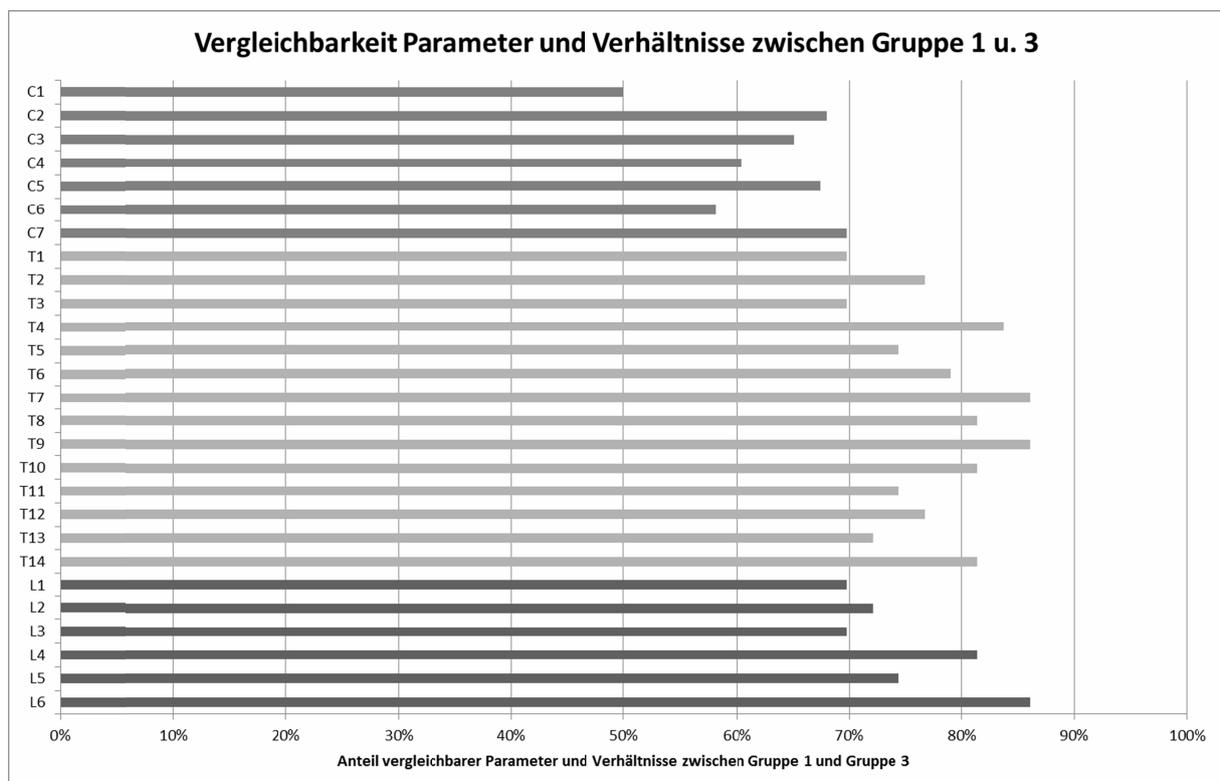
Abbildung 82: Prozentuale Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule (y-Achse) nach gebildeten Verhältnissen (x-Achse) zwischen Gruppe 2 und Gruppe 3



#### 4.6.2 Vergleichbarkeit der Wirbel

In Abbildung 83 wird der prozentuale Anteil aller „Vergleichbar“ ( $p > 0,05$ ) definierten Parameter je Wirbel für die gesamte Wirbelsäule (C1-L5/6) dargestellt.

Für den gesamten Untersuchungszeitraum zeigt sich eine **Vergleichbarkeit** von  $\geq 70\%$  aller Parameter in der gesamten **Brust- und Lendenwirbelsäule** sowie **C7**. Im Bereich der **Halswirbelsäule** ist eine Vergleichbarkeit aller Parameter von  $>60\%$  für die Wirbel **C2 bis C5**, **58%** für **C6** sowie **50%** für **C1** ersichtlich.



**Abbildung 83: Prozentualer Anteil der Vergleichbarkeit aller Parameter für jeden Wirbel zwischen Gruppe 1 und Gruppe 3**

#### 4.6.3 Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule

Analog Kapitel 4.4.3 wurden alle Parameter bzw. Verhältnisse auf ihre Vergleichbarkeit in den verschiedenen Abschnitten der Wirbelsäule untersucht. Eine **Vergleichbarkeit der ermittelten Parameter** von  $\leq 50\%$  infolge einer hohen Anzahl signifikanter Unterschiede zwischen Gruppe 1 und Gruppe 3 zeigt sich in den Wirbelsäulenabschnitten (siehe Abbildung 84):

- **HWS** für die Parameter **VB, VL, VH, CVLv, CVLc, CVLd, FVB, FVH** und **PSH**
- **Obere BWS** für die Parameter **VH, CVLv, CVLc, CVLd, FVF** und **PSH**
- **Untere BWS** für die Parameter **VH, CVLv, CVLc, CVLd, ECrH** und **PSH**
- **LWS** für die Parameter **VL, VH, CVLv, CVLc, CVLd, ECrH, ECauH** und **FVB**

**Signifikante Unterschiede** zwischen den Altersgruppen finden sich insbesondere in der **Halswirbelsäule** und betreffen die Dimensionen des **gesamten Wirbels**, des **Wirbelkörpers** (Corpus vertebrae), des **Spinalkanals** (Foramen vertebrale) und des **Dornfortsatzes** (Processus spinosus). Die Dimensionen des **Wirbelkörpers** weisen darüber hinaus in **allen weiteren Abschnitten der Wirbelsäule** signifikante Unterschiede auf. Dies lässt sich, exklusive der LWS, ebenfalls für den **Dornfortsatz** beobachten. In der **unteren BWS** und **LWS** fallen weiterhin geringe Vergleichbarkeiten der **Höhe der kranialen Deckplatte** (ECrH) sowie in der LWS zusätzlich in der Höhe der **kaudalen Deckplatte** (ECauH) auf.

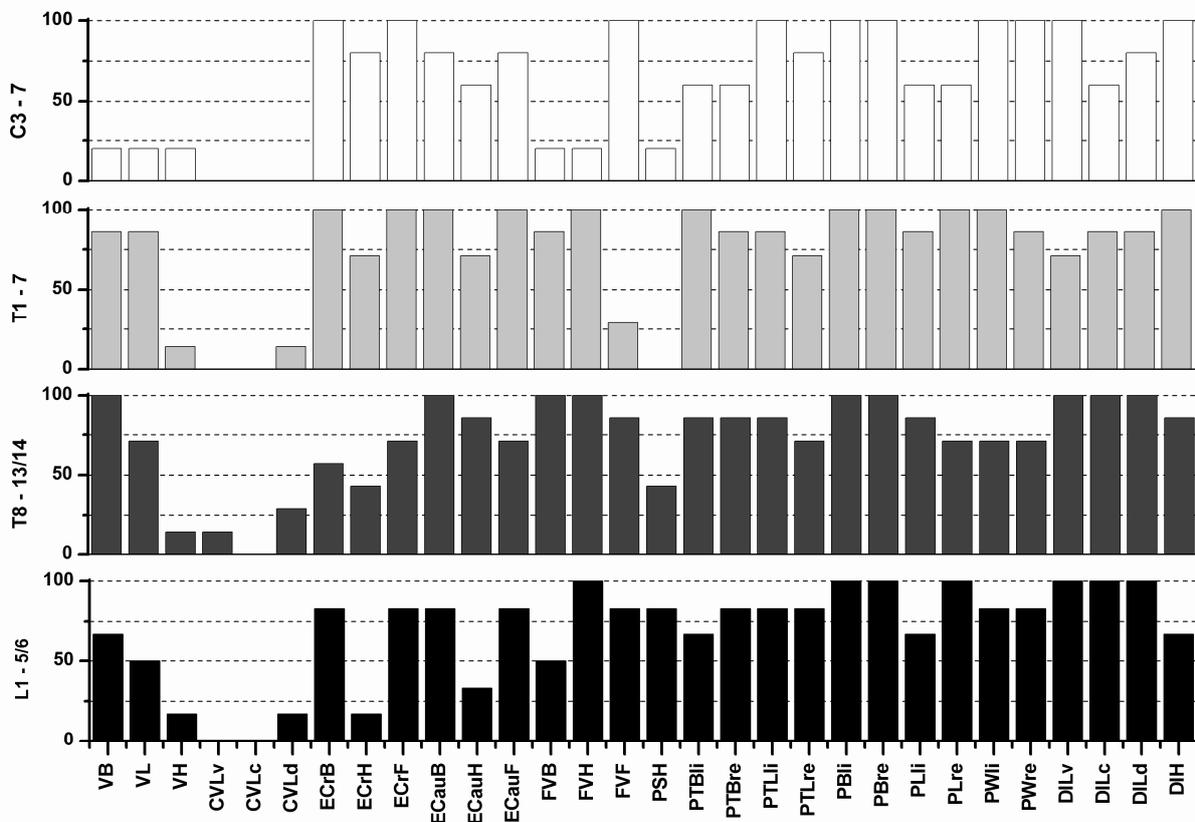
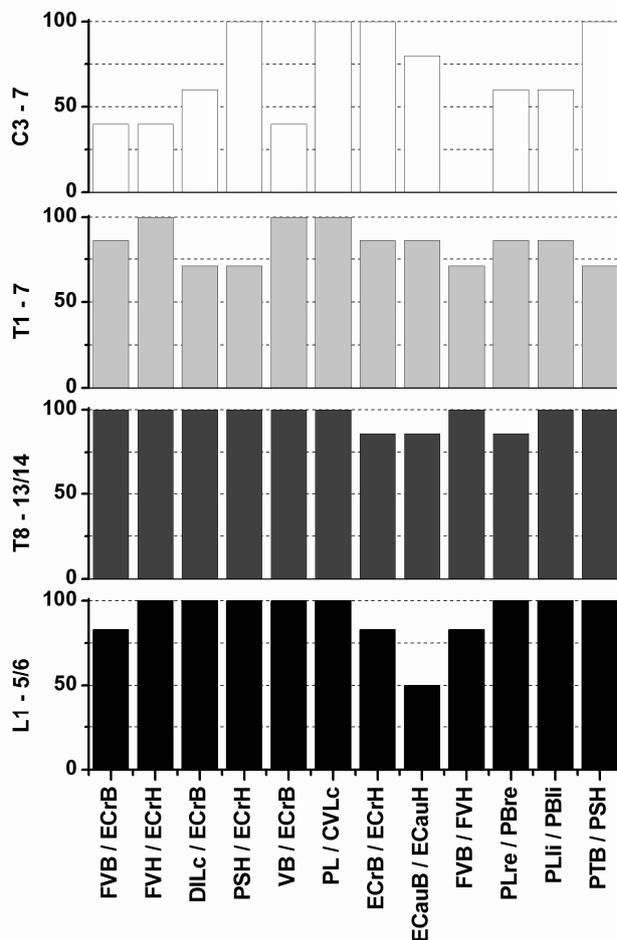


Abbildung 84: Prozentuale Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule (y-Achse) nach Parametern (x-Achse) zwischen Gruppe 1 und Gruppe 3

Eine **Vergleichbarkeit der gebildeten Verhältnisse** von  $\leq 50\%$  infolge einer hohen Anzahl **signifikanter Unterschiede** zwischen Gruppe 1 und Gruppe 3 zeigt sich in den Wirbelsäulenabschnitten (siehe Abbildung 85):

- **HWS** der gebildeten Verhältnissen **FVB/ECrB**, **FVH/ECrH**, **VB/ECrB** und **FVB/FVH**
- **Obere BWS** bei keinem der gebildeten Verhältnisse
- **Untere BWS** bei keinem der gebildeten Verhältnisse
- **LWS** des gebildeten Verhältnisses **ECauB/ECauH**

Die geringste Anzahl an vergleichbaren Verhältnissen ist dabei in der Halswirbelsäule zu beobachten.



**Abbildung 85: Prozentuale Vergleichbarkeit der Abschnitte der Wirbelsäule (y-Achse) nach gebildeten Verhältnissen (x-Achse) zwischen Gruppe 1 und Gruppe 3**

#### 4.7 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein - Mensch

Die gemäß der definierten Kernziele der vorliegenden Arbeit ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse werden einem **qualitativen Interspezies-Vergleich** unter Einbeziehung von Literaturdaten (siehe Tabelle 1) unterzogen. Die inkludierten Daten werden graphisch durch Boxplots (Göttingen Minipig) sowie als Datenpunkte (Hausschwein, Mensch) dargestellt.

##### 4.7.1 Absolute Werte

Die im Rahmen dieser Arbeit erhobenen **Mittelwerte inklusive Standardabweichung** aller untersuchten Parameter sowie die aus diesen errechneten Verhältnisse wurden **für jeden untersuchten Wirbel** tabellarisch erfasst. Parallel hierzu wurden die ermittelten Daten den Literaturdaten von Hausschwein und Mensch, soweit vorhanden, gegenübergestellt. Tabelle 7 stellt dies exemplarisch für den ersten Halswirbel (C1) dar.

Die Daten aller weiteren Wirbel (C2 bis L5/6) finden sich im Anhang (siehe Kapitel 9.1).

**Tabelle 7: C1- Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur:** <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007

C1 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	58 ± 1,6	59,6 ± 1	62 ± 1,4	85,2 <sup>(6)</sup>	
VL [mm]	29,3 ± 1,6	30,7 ± 1,8	31,5 ± 1,9		
VH [mm]	34,4 ± 1,4	36,2 ± 1,5	37,3 ± 1,8	50 <sup>(6)</sup>	
FVB [mm]	17,2 ± 0,6	17,8 ± 0,7	17,9 ± 0,7	31 <sup>(6)</sup>	
FVH [mm]	18,6 ± 0,6	19,2 ± 0,9	19,2 ± 0,6	35,5 <sup>(6)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	2,32 ± 0,07	2,46 ± 0,16	2,49 ± 0,16		
PTBli [mm]	20,7 ± 1	20,7 ± 1,2	22,2 ± 0,9		
PTBre [mm]	20,5 ± 0,9	20,8 ± 1,2	22,2 ± 0,9		
FVB / FVH [-]	0,92 ± 0,05	0,92 ± 0,04	0,93 ± 0,03		

#### 4.7.2 Vergleich der ermittelten Parameter bzw. Verhältnisse

Zum Vergleich der 3 Altersgruppen des **Göttingen Minipig (farbig)** mit den Literaturdaten von **Hausschwein (grau)** und **Mensch (schwarz)** wird jeder Parameter bzw. jedes Verhältnis graphisch dargestellt.

Abbildung 86 zeigt exemplarisch den Parameter **Wirbelkörper Länge zentral** (Corpus vertebrae Länge central).

Aus der Graphik wird ein kongruenter Verlauf des genannten Parameters für das Göttingen Minipig und das Hausschwein über die gesamte Wirbelsäule mit Ausnahme der HWS deutlich. Dies betrifft ebenfalls die obere BWS sowie LWS aller 3 Spezies. Gleichzeitig sind für den Menschen gegenüber dem Göttingen Minipig und Hausschwein niedrigere Werte in der HWS bei parallelem Verlauf des Parameters erkennbar. In der unteren BWS fallen hierbei sehr hohe Werte des Parameters im Vergleich zu den anderen Spezies auf. Insgesamt ist für alle 3 Spezies eine Zunahme der Länge des Wirbelkörpers von kraniale in kaudale Richtung, mit einer leichten Stagnation der Werte um T4 bis T6, zu beobachten. Auffällig hoch zeigen sich die Werte des zweiten Halswirbels (C2), welche zur Auswertung ausschließlich für das Göttingen Minipig vorlagen.

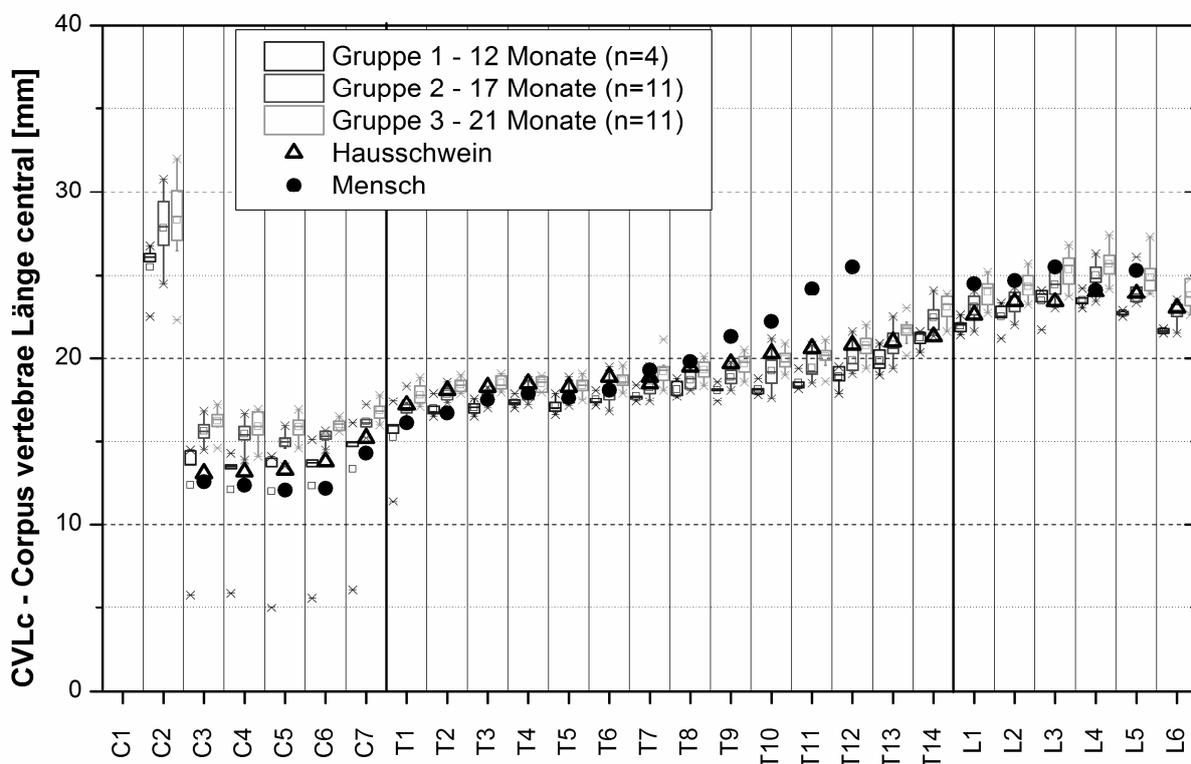


Abbildung 86: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel der Corpus vertebrae Länge central (CVLc)

Unter Einbeziehung der Ergebnisse des Kapitels 4.8 kann eine **absolute Vergleichbarkeit**<sup>18</sup> zwischen dem Göttingen Minipig aller Altersgruppen und dem Hausschwein aufgrund einer maximalen Abweichung der absoluten Messwerte um  $\pm 10\%$  in den Abschnitten **obere BWS** sowie **LWS** festgestellt werden. Dies gilt ebenfalls für den Vergleich des Göttingen Minipig mit dem Menschen, mit einer Einschränkung für Gruppe 3 in der oberen BWS sowie Gruppe 1 in der LWS. Eine durch einen konstanten Quotienten ( $\pm 10\%$ ) gekennzeichnete **relative Vergleichbarkeit**<sup>19</sup> zeigt sich hingegen zwischen dem Göttingen Minipig aller Altersgruppen und dem Hausschwein für die **gesamte Wirbelsäule** sowie zwischen allen 3 Spezies für die **Hals-, obere Brust- und Lendenwirbelsäule**. Die Länge des Wirbelkörpers zentral kann aufgrund der vorliegenden Daten somit in der oberen Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule des Göttingen Minipig als am stärksten geeignet als Modell für den Menschen lokalisiert werden. Die geringste Vergleichbarkeit hingegen besteht in der unteren Brustwirbelsäule, sowohl in Bezug auf die absolute als auch die relative Vergleichbarkeit.

Die graphische Auswertung aller weiteren Parameter und Verhältnisse befindet sich im Anhang (siehe Kapitel 9.2). Je nach Verfügbarkeit wurden dabei für einzelne Parameter die Studiendaten mehrerer Autoren verwendet, was zu einer Darstellung mehrerer Datenpunkte führt.

---

<sup>18</sup> **Absolute Vergleichbarkeit:** Differenz der absoluten Messwerte zwischen Göttingen Minipig und Hausschwein  $\pm 10\%$

<sup>19</sup> **Relative Vergleichbarkeit :** Quotient der absoluten Messwerte von Göttingen Minipig und Hausschwein im jeweils betrachteten Abschnitt der Wirbelsäule  $\pm 10\%$

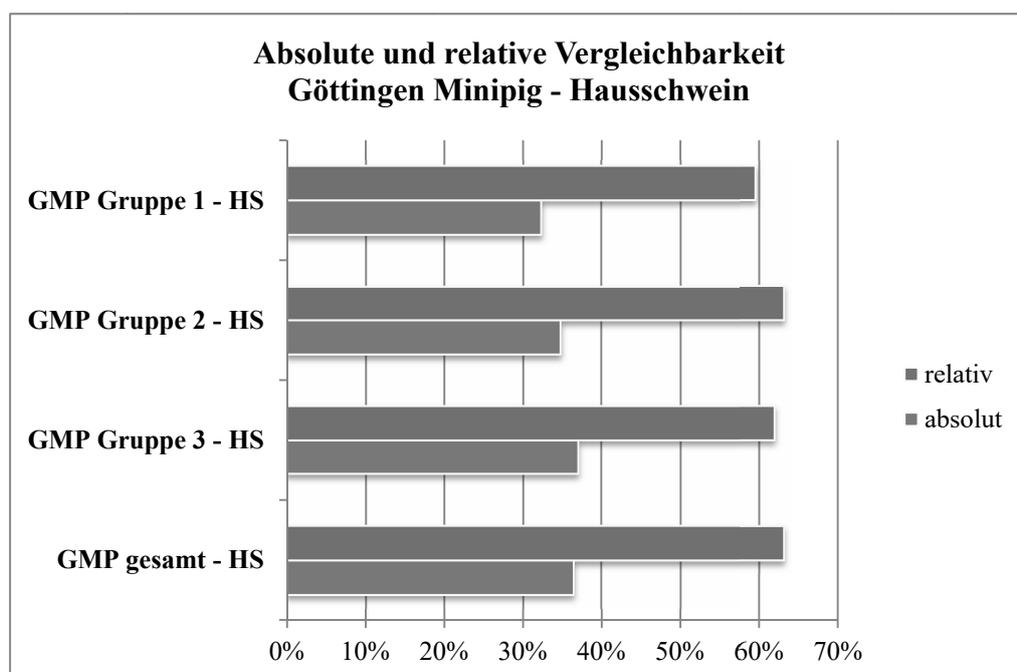
#### 4.8 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein

Zum weiteren Vergleich wurden die ermittelten Daten aller 3 Altersgruppen der Göttingen Minipigs zu den Literaturdaten für das Hausschwein in ein Verhältnis gesetzt (der Berechnung zugrunde liegende Daten siehe Kapitel 9.1). Dies wurde zur Betrachtung einer **absoluten Vergleichbarkeit** aufgrund der Kongruenz absoluter Werte  $\pm 10\%$  (siehe Kapitel 4.8.1) sowie einer **relativen Vergleichbarkeit** aufgrund eines konstanten Quotienten zwischen den untersuchten Spezies  $\pm 10\%$  (siehe Kapitel 4.8.2) für jeden Parameter bzw. jedes Verhältnis in jedem Abschnitt der Wirbelsäule durchgeführt.

In Abbildung 87 ist eine Zusammenfassung der **absoluten Vergleichbarkeit** (blau) sowie der **relativen Vergleichbarkeit** (rot) zwischen dem Göttingen Minipig aller Altersgruppen mit dem Hausschwein dargestellt.

Aus dieser wird eine mit zunehmendem Alter der untersuchten Tiere geringfügig steigende **absolute Vergleichbarkeit** (Gruppe 1 < Gruppe 2 < Gruppe 3) deutlich, welche im Alter von 21 Monaten (Gruppe 3) **37%** beträgt. Die **relative Vergleichbarkeit** der Daten von Göttingen Minipig und Hausschwein zeigt sich mit **63%** am höchsten im Alter von 17 Monaten (Gruppe 2).

Die Daten für das Göttingen Minipig gesamt wurden aus dem Mittelwert aller 3 Altersgruppen gebildet.



**Abbildung 87: Absolute und relative Vergleichbarkeit (in %); GMP=Göttingen Minipig, HS=Hausschwein**



Im Folgenden wird zur genaueren Betrachtung der **einzelnen Parameter bzw. Verhältnisse** die jeweilige Höhe der absoluten Vergleichbarkeit für jeden Abschnitt der Wirbelsäule dargestellt.

Da sich in Abbildung 87 lediglich ein geringer Einfluss des Alters der untersuchten Tiere auf die Vergleichbarkeit beider Spezies zeigt, wird hierzu die Gruppe **Göttingen Minipig** gesamt dem **Hausschwein** gegenübergestellt. Betrachtet man Abbildung 88, wird die **größte Anzahl** Parameter mit einer **hohen absoluten Vergleichbarkeit** für die **obere und untere BWS** ersichtlich. Insbesondere die **Länge des Wirbelkörpers** (CVLv, CVLc, CVLd), die **kraniale Deckplatte** (ECrF) und die **kaudale Deckplatte** (ECauB, ECauF) zeigen in beiden Abschnitten der Wirbelsäule eine Vergleichbarkeit von **>50% bis 100%**. Dies spiegelt sich ebenfalls in den errechneten Verhältnissen wider. Für die **obere BWS** fällt zusätzlich eine absolute Vergleichbarkeit von **100%** für die Parameter **ECrH** sowie **FVB** auf, während dies in der **unteren BWS** zusätzlich den Parameter **ECrB** betrifft. Die **LWS** zeigt eine absolute Vergleichbarkeit von **100%** für den Parameter **CVLc** sowie von **>50%** für das Verhältnis **VB/ECrB**. In der **HWS** kann eine absolute Vergleichbarkeit von **100%** für den Parameter **CVLv** beobachtet werden.

Für die Parameter **VH, FVF, PTBli, PTBre, PTLre, PWli, PWre, DIH** sowie das Verhältnis **PTB/PSH** konnte aufgrund fehlender Literaturdaten für das Hausschwein kein Vergleich durchgeführt werden.

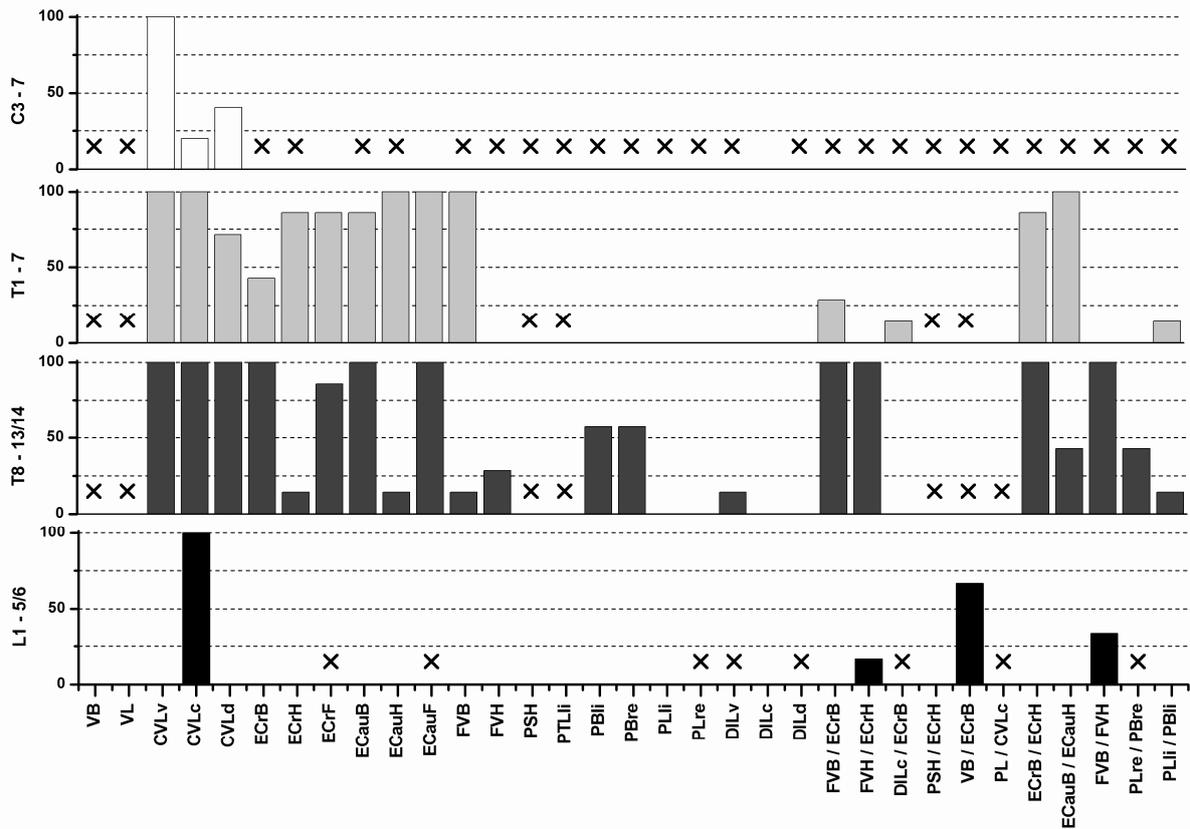


Abbildung 88: Absolute Vergleichbarkeit Göttingen Minipig-Hausschwein (in %); x=kein Vergleich aufgrund fehlender Literaturdaten möglich



#### 4.9 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich Göttingen Minipig - Mensch

Zum Vergleich des Göttingen Minipig mit dem Menschen wurde analog Kapitel 4.8 verfahren.

In Abbildung 89 ist eine Zusammenfassung der **absoluten Vergleichbarkeit** (blau) sowie der **relativen Vergleichbarkeit** (rot) zwischen dem Göttingen Minipig aller Altersgruppen mit dem Menschen dargestellt.

Während die **absolute Vergleichbarkeit** zwischen dem Göttingen Minipig und dem Menschen hierbei über den gesamten Untersuchungszeitraum einen konstanten Wert von **15%** zeigt, weist die **relative Vergleichbarkeit** den höchsten Wert von **40%** im Alter von 17 Monaten (Gruppe 2) der untersuchten Tiere auf. Der Einfluss des Alters ist hierbei sowohl auf die absolute als auch die relative Vergleichbarkeit gering.

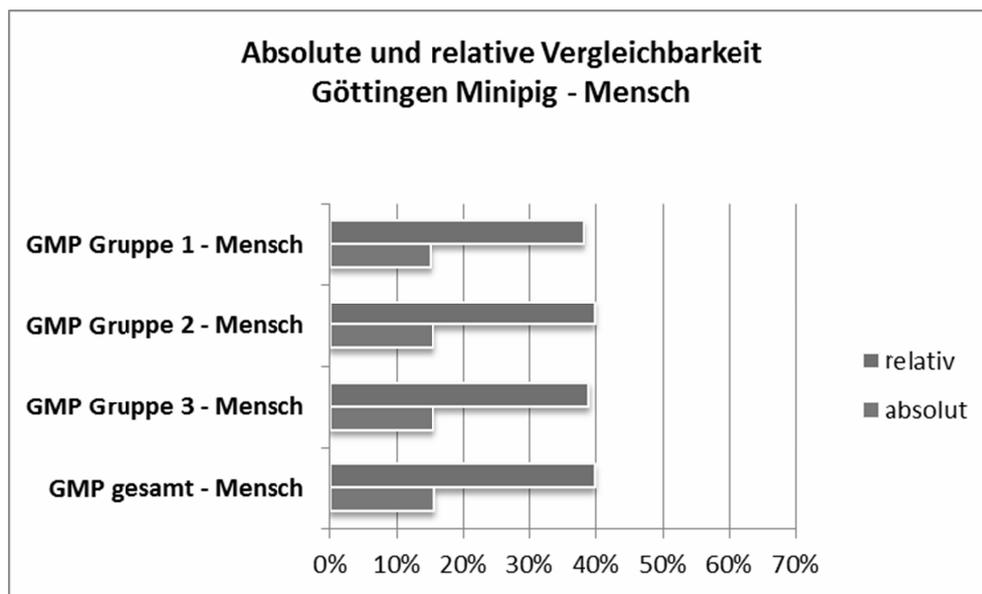


Abbildung 89: Absolute und relative Vergleichbarkeit (in %); GMP=Göttingen Minipig



Im Folgenden wird zur genaueren Betrachtung der **einzelnen Parameter bzw. Verhältnisse** die jeweilige Höhe der absoluten Vergleichbarkeit für jeden Abschnitt der Wirbelsäule dargestellt. Da sich in Abbildung 89 lediglich ein geringer Einfluss des Alters der untersuchten Tiere auf die Vergleichbarkeit beider Spezies zeigt, wird im Folgenden die Gruppe Göttingen Minipig gesamt dem Menschen gegenübergestellt.

Bei Betrachtung von Abbildung 90 fällt für die einzelnen Parameter sowie gebildeten Verhältnisse die **größte Anzahl an Parametern bzw. Verhältnissen** mit einer **geringen absoluten Vergleichbarkeit** in der HWS auf. In diesem Abschnitt der Wirbelsäule beträgt die absolute Vergleichbarkeit aller Parameter bzw. Verhältnisse eine Wert von  $<50\%$ , mit Ausnahme der Verhältnisse **PLre/PBre** mit  $>50\%$  sowie **PLli/PBli** mit  $>75\%$ . Für die **obere BWS** und **LWS** findet sich eine absolute Vergleichbarkeit der **Länge des Wirbelkörpers** (CVLv, CVLc, CVLd) von  $>50\%$  bis  $100\%$ . Der Parameter **CVLd** weist ebenfalls eine absolute Vergleichbarkeit von  $>50\%$  in der **unteren BWS** auf. Des Weiteren zeigen sich in der **unteren BWS** eine absolute Vergleichbarkeit von  $>75\%$  des Parameters **PSH** sowie von  $>50\%$  des Verhältnisses **PLli/PBli**. Für die **LWS** fällt weiterhin eine Vergleichbarkeit von  $>50\%$  des Verhältnisses **FVB/ECrB** auf.

Für die Parameter PTBli, PTBre, PTLli, PTLre sowie die Verhältnisse PL/CVLc und PTB/PSH konnte aufgrund fehlender Literaturdaten kein Vergleich durchgeführt werden.

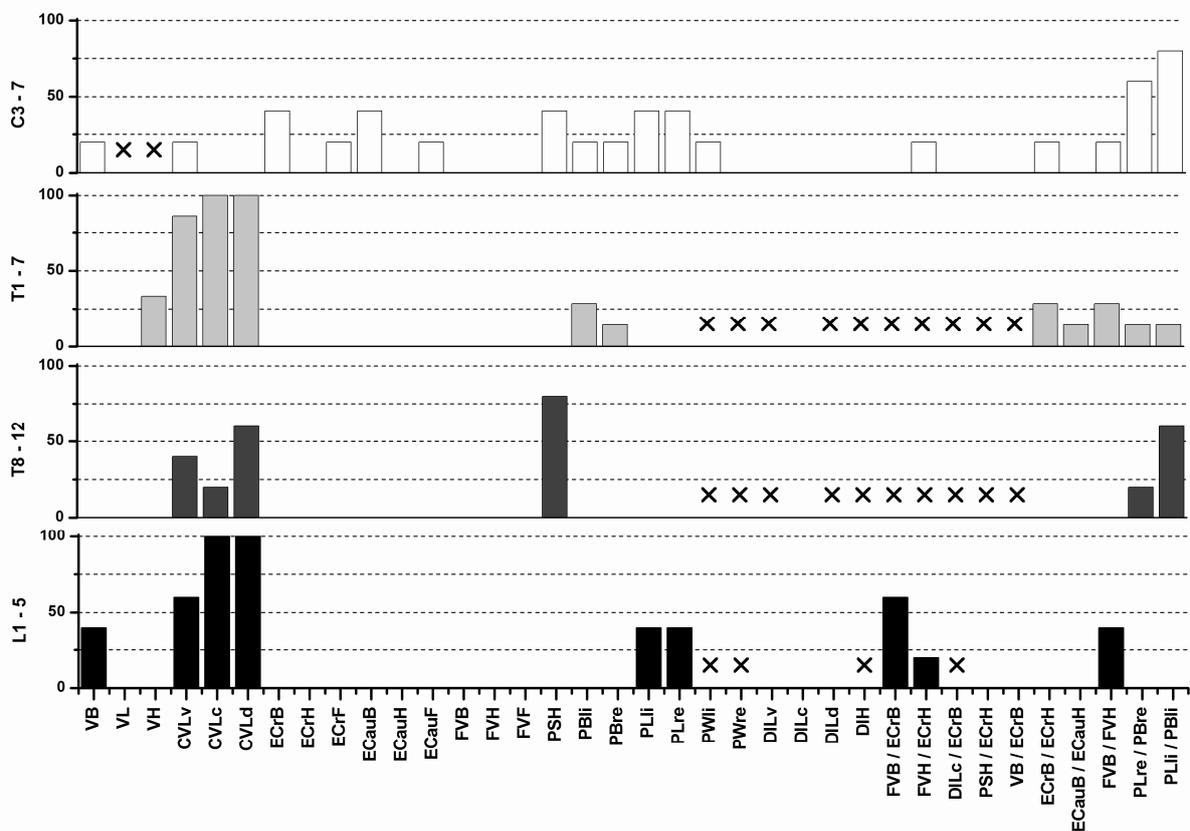


Abbildung 90: Absolute Vergleichbarkeit Göttingen Minipig-Mensch (in %); x=kein Vergleich aufgrund fehlender Literaturdaten möglich



## 5 Diskussion

### 5.1 Allgemeines

Der genutzte **Stichprobenumfang** der vorliegenden Arbeit ist mit einer Anzahl von 5 bzw. 11 Göttingen Minipigs je Untersuchungsgruppe gering, eine Repräsentativität der Ergebnisse kann somit nicht hinreichend gewährleistet werden. Im Sinne eines Vorversuches sowie als Beitrag zu den Prinzipien der 3R dient die Untersuchung der Morphometrie der Wirbelsäule des Göttingen Minipig insbesondere einer Umsetzung der Punkte Refinement und Reduction. Die Untersuchungsergebnisse sollen dabei eine Lücke im dringend benötigten Wissensstand einer hochaktuellen medizinischen Thematik am Beispiel eines sich immer stärker im Fokus der Forschung befindlichen Modelltieres schließen.

Im Hinblick auf die Versuchsdurchführung soll darauf hingewiesen werden, dass die ausgewerteten Daten auf ausschließlich in **Bauchlage** untersuchten Tieren basieren. Diese entspricht jedoch der physiologischen Lage eines Quadrupeden. Aufgrund eines verringerten Muskeltonus infolge der Relaxation der anästhesierten Tiere sind geringe Einflüsse auf lagerungsassoziierte Parameter wie Bandscheibe oder Krümmungen der Wirbelsäule möglich. Gleichzeitig können die Nachteile einer für Quadrupeden unphysiologischen Rückenlage, welche sich in einer Hyperextension bzw. Reklination der Halswirbelsäule sowie einer negativen Beeinflussung des Herzkreislaufsystems äußern, somit vermieden werden (Müller 2010). Von einer lagerungsbedingten Beeinflussung der untersuchten skelettalen Parameter kann infolge ihrer Eigenschaft als mineralisierte Strukturen abgesehen werden.

Bei den untersuchten Tieren handelt es sich, wie in der Versuchstierhaltung üblich, um Individuen weiblichen Geschlechts. Untersuchungen zur Futterverwertung des Göttingen Minipig zeigen dabei einen Einfluss des Geschlechts auf die **Gewichtszunahme**. Bei einer ad libitum Fütterung konnte eine signifikant höhere Gewichtszunahme weiblicher Tiere, inklusive einer höheren Zunahme der Rückenfettdicke, gegenüber männlichen Individuen festgestellt werden (Bollen et al. 2005). Die untersuchten Tiere der vorliegenden Arbeit wurden daher zur Prävention einer Obesitas-induzierten Beeinflussung der skelettalen Strukturen mit einem Diätfutter bei restriktiver Fütterung versorgt (Müller 2010). Weiterhin weist das weibliche Göttingen Minipig, analog den meisten Säugetieren und im Gegensatz zum Menschen, kein altersbedingtes Sistieren der Ovarialfunktion auf (Bartels 2011). Eine Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse infolge dem Menschen äquivalenter postmenopausaler osteoporotischer Veränderungen kann daher, sowie aufgrund des Alters der untersuchten Tiere, ausgeschlossen werden. Von der Existenz einer laktationsassoziierten Osteoporose kann aufgrund des nulliparen Reproduktionsstatus der untersuchten Tiere ebenfalls abgesehen werden (Spencer 1979).

Bei dem verwendeten Terminus „Vergleichbarkeit“ handelt es sich um die Angabe der Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$ , welche mit Hilfe eines **t-Tests für unverbundene Stichproben** (Gruppe 1 mit Gruppe 2/3) bzw. eines **t-Tests für verbundene Stichproben** (Gruppe 2 mit Gruppe 3) ermittelt wurde. Hierbei wurde  $p < 0,05$  als „Nicht vergleichbar“ (NV) bzw.  $p > 0,05$  als „Vergleichbar“ (V) definiert. Weiterhin werden die Bezeichnungen absolute und relative

Vergleichbarkeit für die Vergleiche Göttingen Minipig-Hausschwein und Göttingen Minipig-Mensch verwendet. Bei diesen Termini handelt es sich um eine Differenz des absoluten Wertes von max.  $\pm 10\%$  bzw. Quotienten aus Göttingen Minipig/Mensch  $\pm 10\%$ . Für alle weiteren Vergleiche der Untersuchungsergebnisse wird der Begriff Analogie verwendet.

Die **Mindestanzahl der Wirbel** je Wirbelsäulenabschnitt des Göttingen Minipig ist der des Hausschweines identisch. Das Hausschwein weist darüber hinaus eine variable Anzahl von maximal 16 Brustwirbeln respektive 7 Lendenwirbeln auf (Aurich et al. 2012). Die Wirbelsäule des Menschen umfasst, neben einer dem Göttingen Minipig und Hausschwein identischen Mindestanzahl an Hals- und Lendenwirbeln, eine konstante Anzahl von 12 Brustwirbeln (Netter 2011). In diesem Zusammenhang wird eine anatomisch größere Analogie der Wirbelsäule des Göttingen Minipig mit dem Menschen deutlich (siehe Tabelle 12). Insbesondere im lumbosakralen Übergang kann dies für künftige Forschungsvorhaben von Bedeutung sein. Diese Lokalisation stellt einen Schwerpunkt der Dorsopathien des Menschen dar und steht somit im Fokus von Untersuchungen zur Biomechanik der Wirbelsäule (Jäger 2003).

**Tabelle 12: Anzahl Wirbel je Abschnitt der Wirbelsäule Göttingen Minipig-Hausschwein-Mensch**

Anzahl Wirbel	Göttingen Minipig	Hausschwein <sup>20</sup>	Mensch <sup>21</sup>
Halswirbelsäule	7	7	7
Brustwirbelsäule	13-14	13-16	12
Lendenwirbelsäule	5-6	5-7	5

Die dorsoventralen **Krümmungen der Wirbelsäule** weisen eine Analogie der **cervikalen Lordose** zwischen Göttingen Minipig und Hausschwein auf. Dies kann mit der übereinstimmenden Eigenschaft beider Spezies als Quadrupeden sowie deren hohem taxonomischen Verwandtschaftsgrad begründet werden. Eine Abhängigkeit der Krümmung der Wirbelsäule vom Alter des Göttingen Minipig kann dabei weder für die Lordosen noch die Kyphose festgestellt werden. Das Göttingen Minipig kann somit hinsichtlich der cervikalen Lordose bereits ab einem Alter von 12 Monaten als Äquivalent für das Hausschwein betrachtet werden und als Modell für den Menschen dienen. Eine Analogie zwischen Göttingen Minipig und Mensch ist für keine Altersgruppe und keinen Abschnitt der Wirbelsäule erkennbar. Dies wurde ebenfalls für den Vergleich der dorsoventralen Krümmungen der Wirbelsäule von Hausschwein und Mensch festgestellt (Busscher et al.

<sup>20</sup> Quelle: Aurich et al. 2012

<sup>21</sup> Quelle: Netter 2011

2010b). Die Unterschiede zwischen den Spezies hinsichtlich der dorsoventralen Krümmungen der Wirbelsäule können auf den aufrechten Gang des Menschen gegenüber den Quadrupeden Göttingen Minipig und Hausschwein zurückgeführt werden. Zusätzlich kann zerstörtes oder fehlendes Weichteilgewebe zu einer Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse führen (Busscher et al. 2010b). Da die vorliegende Arbeit jedoch in vivo vorgenommen wurden, kann ein intaktes Untersuchungsgut gewährleistet werden.

Ein weiteres Merkmal, welches für den Vergleich der Wirbelsäule zwischen den genannten Spezies nicht außer Acht gelassen werden sollte, ist die **Knochendichte**. Mehrere Autoren attestieren dem Schwein und Minischwein in ihrer Eigenschaft als Quadrupeden eine höhere Knochendichte im Vergleich zum Menschen (Glodek 1981, Smit 2002, Inui et al. 2004, Pearce et al. 2007). Dies sollte bei der Erprobung neuer chirurgischer Techniken und Implantate berücksichtigt werden.

## 5.2 Altersstatus

Die Einordnung des konkreten Alters des Göttingen Minipig in einen Status, u.a. zur Festlegung von Untersuchungsgruppen, wird in der Literatur kritisch diskutiert und sehr unterschiedlich bewertet. Dabei werden unter anderem die Einteilung nach Körpermasse sowie Zeitpunkte des Schlusses der Epiphysenfugen als Indikatoren genannt (Beglinger et al. 1975; El-Nabi 1975; Glodek 1981; Dallek et al. 1995; Tsutsumi et al. 2004; Köhn et al. 2007; Bollen et al. 2010). Betrachtet man die Entwicklung des **Körpergewichts** der untersuchten Tiere, kann trotz eines Altersunterschiedes von ca. 6 Monaten eine nahezu identische Körpermasse der Tiere in Gruppe 2 (17 Monate) gegenüber Gruppe 1 (12 Monate) beobachtet werden. Kausal hierfür kommt neben einer nicht erfolgten Zunahme des Körpergewichts ein großer Streubereich des Merkmals innerhalb jeder Altersgruppe in Frage. Diese kann sowohl haltungsbedingt durch Unterschiede in der Höhe der Futteraufnahme infolge der Ausbildung einer Rangordnung sowie genetisch bedingt aufgrund eines hohen Inzuchtkoeffizienten sein (Müller 2010). Bei einer Betrachtung der prozentualen Standardabweichung vom Mittelwert des Körpergewichts der jeweiligen Gruppe ist ein Wert von bis zu 12,5% für Gruppe 3 ersichtlich (siehe Tabelle 13).

**Tabelle 13: Körpergewicht nach Altersgruppen**

Altersgruppe	1 (12 Monate)	2 (17 Monate)	3 (21 Monate)
<b>Gewicht ± SD (kg)</b>	28,6 ± 2,2	28,3 ± 2,9	34,7 ± 4,3
<b>SD (%)</b>	7,8	10,1	12,5

In der Literatur wird ebenfalls auf eine starke Streuung in der Entwicklung der Körpermasse verwiesen und eine damit einhergehende Eignung dieser zur Einteilung in einen Altersstatus kritisch betrachtet (Glodek 1981). So wird ein Erreichen des adulten Gewichts zwischen 2 bis 5 Jahren genannt (Glodek 1981; Bollen und Ellegaard 1997; Köhn et al. 2007; Schuleri et al. 2008). Weiterhin wird eine lineare Gewichtszunahme des Göttingen Minipig bis zum 500. Lebenstag mit einer anschließenden Abflachung dieser bis zum Erreichen des adulten Gewichts beschrieben. Im Gegensatz hierzu weist das Hausschwein einen sigmoidalen Verlauf der Wachstumskurve auf, wobei kein geschlechtsbezogener Unterschied festgestellt werden konnte (Köhn et al. 2007). Insbesondere für die chirurgische Forschung könnte sich ein linearer Wachstumsverlauf des Göttingen Minipig von Vorteil erweisen. Bei den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Tieren tritt die stärkste Zunahme des Körpergewichts zwischen 17 und 21 Lebensmonaten auf. Dies kann hauptsächlich einer Zunahme des Körperfettanteils zugeschrieben werden (Glodek 1981). Aufgrund des gewählten Untersuchungszeitraumes soll somit zur Einordnung in einen Altersstatus auf weitere Merkmale wie den Schluss der Epiphysenfugen, das Längenwachstum der Wirbelsäule, die Entwicklung weiterer Untersuchungsparameter sowie den Reifezustand des Blutgefäßsystems der untersuchten Tiere verwiesen werden.

Ein **Schluss der Epiphysenfugen** der untersuchten Tiere erfolgt hauptsächlich zwischen 12 Lebensmonaten und 17 Lebensmonaten (siehe Kapitel 4.1.3). In der Literatur werden für den zweiten Lendenwirbel im Alter von 21-25 Monaten ein maximales Längenwachstum sowie ein anschließend beginnender Schluss der Epiphysenfuge genannt (Tsutsumi et al. 2004). Ein analog dem Hausschwein endgültiger Schluss konnte im 42. Lebensmonat des Göttingen Minipig beobachtet werden (Swindle 1998; Tsutsumi et al. 2004). Gleichzeitig wird auf ein stagnierendes Längenwachstum bzw. eine sinkende Wachstumsgeschwindigkeit des untersuchten Wirbels nach dem Schluss der Epiphysenfuge hingewiesen (Tsutsumi et al. 2004). Möglicherweise können hieraus Rückschlüsse auf das Wachstum von Hals- und Brustwirbeln gezogen werden. Da in den eigenen Untersuchungen bereits im Alter von 17 Monaten ein Schluss der Epiphysenfugen aller Hals- und Brustwirbel bis einschließlich des Wirbels T9 sowie im Alter von 21 Monaten bis einschließlich des Wirbels T12 beobachtet werden konnte, ist für diese Wirbel eine Einordnung in den Adultstatus vorstellbar. Somit wäre das Göttingen Minipig bereits ab einem Alter von 17 Monaten in den kranialen Abschnitten der Wirbelsäule als Modelltier für den adulten Menschen geeignet. Weitere Autoren bezeichnen das Göttingen Minipig aufgrund seines dem Menschen vergleichbaren Wachstumsverlaufs als geeignetes Modelltier bezüglich dieser Thematik für das Os femoris. Für dieses soll beim Göttingen Minipig ein Epiphysenfugenschluss im Alter von 3,5 Jahren bzw. 42 Monaten erfolgen (Dallek et al. 1995, Tsutsumi et al. 2004). Über den endgültigen Schluss der Epiphysenfugen aller untersuchten Wirbel kann aufgrund des gewählten Untersuchungszeitraumes anhand der eigenen Untersuchungen keine Aussage getroffen werden.

In einer vorangegangenen Arbeit konnte für die untersuchten Tiere dieser Arbeit ein beendetes Wachstum des **Blutgefäßsystems** im Alter von 17 Monaten festgestellt werden. Dies äußert sich in stabilen Gesamtlängen und Innendurchmessern der untersuchten

Blutgefäße. Bezüglich dieses Organsystems kann somit bereits ab einem Alter von 17 Monaten von einem adulten Tier gesprochen werden (Müller 2010).

Ein weiterer, die Entwicklung des Wachstums charakterisierender Parameter, das **Längenwachstum der Wirbelsäule**, zeigt eine kontinuierliche Zunahme mit fortschreitendem Alter (siehe Abbildung 66). Da es sich bei dem Längenwachstum um einen berechneten Parameter (CVLc von C3 bis L5/6 + DILc von C3 bis L5/L6) handelt, sollten die zugrunde liegenden Messwerte das Untersuchungsergebnis widerspiegeln. Die Länge der Bandscheibe zentral weist dementsprechend einen deutlichen Anstieg in der Höhe des Messwertes mit zunehmendem Alter auf (siehe Abbildung 96 und Kapitel 9.1). Gleichzeitig kann für CVLc keine Vergleichbarkeit zwischen den Altersgruppen der untersuchten Göttingen Minipigs festgestellt werden (siehe Tabelle 6). Für die Länge der Bandscheibe zentral hingegen ist ein Abfall der Höhe des Messwertes, allem voran im Bereich der Halswirbelsäule, mit zunehmendem Alter der untersuchten Tiere erkennbar (siehe Abbildung 119). Sowohl für das Hausschwein als auch den Menschen werden eine Umstrukturierung im Kollagengehalt des Anulus fibrosus sowie insbesondere eine Abnahme des Glykosaminoglykan- und damit Wassergehaltes des Nucleus pulposus beobachtet (Cho et al. 2011). Diese Entwicklung kann beim Hausschwein bereits ab einem Alter von 7-9 Monaten festgestellt werden (Cho et al. 2011). Ein Volumenverlust der Bandscheibe, welcher zu einer Abnahme der Länge der Bandscheibe führt, ist infolge dessen für das Göttingen Minipig mit zunehmendem Alter ebenfalls zu erwarten. Das Längenwachstum der Wirbelsäule basiert somit erwartungsgemäß auf einer Zunahme der Länge des Wirbelkörpers, ausgehend von den kranialen und kaudalen Epiphysenfugen (Rohen et al. 2012). Ein mit 0,7% vernachlässigbar stärkeres Längenwachstum der Wirbelsäule findet analog zum Anstieg des Körpergewichts zwischen dem 17. und 21. Lebensmonat der untersuchten Tiere statt. Anhand dieses Merkmals kann daher kein endgültiger Adultstatus im gesamten Untersuchungszeitraum festgelegt werden. Zur abschließenden Beurteilung der Einordnung der Tiere in einen zu späteren Alterszeitpunkten verwiesen werden.

### 5.3 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Vergleich der 3 Altersklassen

#### 5.3.1 Gruppe 1 - Gruppe 2 (12-17 Monate)

Bei Betrachtung der untersuchten Altersklassen lässt sich im Zeitraum von **12 bis 17 Monaten** insbesondere ein **Längenwachstum** der Wirbelsäule des Göttingen Minipig, basierend auf einer Zunahme der Länge des Wirbelkörpers, beobachten. Ein ebenfalls in diesen Zeitraum fallendes Längenwachstum von Blutgefäßen kann somit als Anpassung der versorgenden Strukturen interpretiert werden (Müller 2010). Die **Halswirbelsäule** ist in diesem Zeitraum dem **stärksten Wachstum** unterworfen. Dies lässt eine Nutzung des Wirbelsäulenabschnitts als Modell des sich im Wachstum befindenden und somit juvenilen Menschen zu. Insbesondere der Erforschung sowie konservativen und chirurgischen Therapie angeborener und erworbener Erkrankungen der Halswirbelsäule von Kindern und Jugendlichen kann dies von Nutzen sein. In diesem Zusammenhang können u.a. der ossäre Schiefhals infolge von Halswirbelanomalien, das Klippel-Feil-Syndrom<sup>22</sup>, Pathologien der Halswirbelsäule im Zusammenhang mit Morbus Down sowie traumatische Verletzungen der juvenilen bzw. adoleszenten Halswirbelsäule genannt werden (Schanz 1928; Weber et al. 2006; Mokov et al. 2010). Im Gegensatz hierzu weisen die **untere Brust- und Lendenwirbelsäule** des Göttingen Minipig lediglich geringe wachstumsbedingte morphometrische Veränderungen im untersuchten Zeitraum auf. Infolgedessen ist eine künftige Relevanz der genannten Abschnitte der Wirbelsäule für Fragestellungen auf Basis eines **geringen Wachstums** der beteiligten Wirbel vorstellbar. Somit können die kaudalen Abschnitte der Wirbelsäule des Göttingen Minipig im genannten Untersuchungszeitraum eine Verwendung als Modell für den adulten Menschen finden. In der Brust- und Lendenwirbelsäule des Menschen sind dabei u.a. die Erprobung neuer Implantate und chirurgischer Techniken sowie die Erforschung orthopädischer Erkrankungen wie dem Morbus Bechterew von großem Interesse (Upasani et al. 2009; Kim et al. 2015; Nakajima et al. 2015; Phan et al. 2015; Tarhan et al. 2015). Die genannten Abschnitte der Wirbelsäule des Göttingen Minipig sind in diesem Zeitraum jedoch nur aufgrund der geringen wachstumsbedingten morphometrischen Veränderungen als Modell für den adulten Menschen zu betrachten; dies ist keinesfalls mit einer Einteilung der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule des Göttingen Minipig in einen Adultstatus gleichzusetzen. Ein ebenfalls in diese Zeitspanne fallender Schluss der Epiphysenfugen betrifft die gesamte **Hals- sowie obere Brustwirbelsäule**. Dieser bestätigt eine Eignung des Göttingen Minipig als Modell für den **adulten** Menschen in den genannten Abschnitten der Wirbelsäule ab einem Alter von **17 Monaten**. Ein mit 17 Monaten ausgereiftes und als adult zu bezeichnendes Blutgefäßsystem (Müller 2010) unterstreicht diese Darstellung. Infolge dessen kann eine Verkürzung des Haltungszeitraumes aufgrund des Einsatzes jüngerer Tiere stattfinden, wodurch eine Kostenoptimierung zukünftiger Versuchsvorhabens ermöglicht wird.

---

<sup>22</sup> Klippel-Feil-Syndrom: angeborene knöcherne Verwachsung von Halswirbeln (Pschyrembel 2007)

### 5.3.2 Gruppe 2 - Gruppe 3 (17-21 Monate)

In einem Alter von **17 bis 21 Monaten** tritt ein gegenüber dem vorherigen Untersuchungszeitraum deutlich stärkeres **Wachstum** der untersuchten Parameter **in allen Abschnitten** der Wirbelsäule des Göttingen Minipigs auf. Gleichzeitig lässt sich eine starke Zunahme des **Körpergewichts** der untersuchten Tiere beobachten. Untersuchungen am vierten Lendenwirbel des weiblichen Göttingen Minipigs dokumentieren eine Zunahme des Querdurchmessers des Spinalkanals bis zu einem Alter von 25 Monaten (Inui et al. 2004). Auch im Rahmen dieser Arbeit lassen sich im Alter von 17 bis 21 Monaten **starke morphometrische Veränderungen** der **Lendenwirbelsäule** des Göttingen Minipig beobachten. Hieraus ergibt sich ein möglicher Einsatz der Lendenwirbelsäule des Göttingen Minipig für Vorhaben mit Anspruch auf ein (**hohes**) **Wachstum** der Wirbelsäule, wie es im juvenilen Organismus der Fall ist. Dies kann beispielsweise im Rahmen der chirurgischen Forschung, Pharmakologie und Toxikologie medikamentöser Therapien von knochenassoziierten Tumoren, kongenitaler Erkrankungen wie der Osteogenesis imperfecta<sup>23</sup> sowie endokrinologischer Erkrankungen wie der Rachitis Anwendung finden. In diesem Zusammenhang können chirurgische Techniken wie die ventrale Derotationsspondylodese zur operativen Korrektur einer Skoliose, der Mehrsegment-Laminotomie zur Therapie spinaler Fehlbildungen bzw. Tumoren oder die Biphosphonattherapie der Osteogenesis imperfecta genannt werden ( Gloger 2005; Franić und Kovac 2006; Richter et al. 2010; Hoyer-Kuhn et al. 2015; Matussek et al. 2015). Den **geringsten** wachstumsbedingten **Änderungen** ist in diesem Zeitraum die **untere Brustwirbelsäule** unterworfen, was zu einer größtmöglichen Eignung dieses Wirbelsäulenabschnitts für Fragestellungen auf Basis eines **geringen Wachstums**, beispielsweise auf dem Gebiet der chirurgischen Forschung, führt. Ein **Adultstatus** der Wirbelsäule des Göttingen Minipig lässt sich anhand des Epiphysenfugenschlusses im Alter von **21 Monaten bis** auf Höhe des **12. Brustwirbels** definieren. Der 4. Lendenwirbel des weiblichen Göttingen Minipig weist ein abgeschlossenes Größenwachstum im Alter von 25 Monaten auf (Inui et al. 2004). Im Gegensatz hierzu kann ein Anstieg der BMD<sup>24</sup> dieses Wirbels bis zu einem Alter von 30 Monaten beobachtet werden. Für den Menschen wurde ein Anstieg der BMD der gesamten Lendenwirbelsäule bis zum Erreichen der peak bone mass<sup>25</sup> nach Abschluss des Größenwachstums beobachtet (Inui et al. 2004). Aufgrund dessen wird für das weibliche Göttingen Minipig ebenfalls ein abgeschlossenes Größenwachstums und somit ein Adultstatus der gesamten Lendenwirbelsäule vor Erreichen der peak bone mass im Alter von 30 Monaten angenommen (Inui et al. 2004). In zukünftigen Versuchsvorhaben sollte jedoch, in Abhängigkeit von der Fragestellung, ein Einfluss der BMD nach dem beendeten skelettalen Wachstum berücksichtigt werden.

---

<sup>23</sup> Osteogenesis imperfecta: sog. Glasknochenkrankheit ( Pschyrembel 2007)

<sup>24</sup> BMD: bone mineral density

<sup>25</sup> peak bone mass: maximale bone mineral density

### 5.3.3 Gruppe 1 - Gruppe 3 (12-21 Monate)

Die **Halswirbelsäule** der untersuchten Tiere ist im gesamten Untersuchungszeitraum vom **12. bis 21. Lebensmonat** den **stärksten** wachstumsbedingten morphometrischen **Veränderungen** unterworfen. Ab einem Alter von 17 Monaten ist eine Einordnung der Halswirbelsäule in den Adultstatus vorstellbar. Für den Menschen wird eine Korrelation zwischen Reife der Halswirbel und Skelettreife beschrieben. Diese Methode der sog. Cervical Vertebral Maturation (CVM) bedient sich der röntgenologischen Analyse der Halswirbelform als Indikator für die Skelettreife und dient als Entscheidungsgrundlage für kieferorthopädische Behandlungen des juvenilen Menschen (Wong et al. 2009). Die Existenz eines derartigen Zusammenhanges für das Göttingen Minipig wurde in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht; die hohen morphometrischen Veränderungen, welche im Laufe des Wachstums insbesondere die Halswirbelsäule betreffen, können jedoch für zukünftige Arbeiten im Hinblick auf die Einordnung des Göttingen Minipig in einen Altersstatus von großem Interesse sein. Die **untere Brustwirbelsäule** ist dem **geringsten Wandel** im gesamten Untersuchungszeitraum unterworfen. Weiterhin kann ein Adultstatus der Hals- und Brustwirbelsäule inklusive des Wirbels T9 im Alter von 17 Monaten sowie inklusive des Wirbels T12 im Alter von 21 Monaten anhand des Epiphysenfugenschlusses definiert werden. Im Gegensatz hierzu ist eine Einordnung der Lendenwirbelsäule in den Adultstatus aufgrund des gewählten Untersuchungszeitraumes im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Unter Einbeziehung der inhomogenen Entwicklung der Körpermasse sowie der untersuchten Merkmale sollte sich die Einordnung des Göttingen Minipig in einen Altersstatus an dem zu untersuchenden Organsystem orientieren.

## 5.4 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Interspezies-Vergleich

### 5.4.1 Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein

Die dem Vergleich der Spezies zugrunde liegenden Daten des Hausschweines wurden der Literatur entnommen (siehe Tabelle 1). Hierbei muss berücksichtigt werden, dass es sich bei dem Terminus „Hausschwein“ um Tiere der folgenden Rassen handelt:

- Domestic Landrace (Busscher et al. 2010b)
- New Hampshire (Bozkus et al. 2005)
- (Large White x Landrace) x Duroc (Dath et al. 2007).

Des Weiteren muss darauf hingewiesen werden, dass die verwendeten Daten von Individuen beiderlei Geschlechts mit einem Alter von 4 bis 24 Monaten stammen, welche auf verschiedenen Untersuchungsmethoden basieren (Yingling et al. 1999; Bozkus et al. 2005; Dath et al. 2007; Busscher et al. 2010b).

Bei einem Vergleich mit der Spezies Hausschwein kann für das Göttingen Minipig in einem Alter von 21 Monaten eine maximale absolute Vergleichbarkeit von 37% aller untersuchten Parameter festgestellt werden. Dies betrifft insbesondere die **obere und untere Brustwirbelsäule**. Beide Abschnitte der Wirbelsäule sind beim Menschen aufgrund ihrer Morphologie in Form eines engen Spinalkanals von T3 bis T9 von großem Interesse für die medizinische Forschung, insbesondere im Zusammenhang mit der Diagnose und (chirurgischen) Therapie von Erkrankungen der Wirbelsäule (Panjabi et al. 1991b). Infolge der hohen Vergleichbarkeit der gesamten Brustwirbelsäule sowie aufgrund seiner höheren Praktikabilität zeigt sich das Göttingen Minipig in diesen Lokalisationen somit dem Modelltier Hausschwein überlegen. In einem Alter von 17 Monaten weisen die untersuchten Tiere mit  $63\pm 10\%$  die höchste relative Vergleichbarkeit der untersuchten Parameter bzw. Verhältnisse mit dem Hausschwein auf. Dies kann vor allem für die **untere Brustwirbelsäule** und **Lendenwirbelsäule** beobachtet werden. Insbesondere die **Länge des Wirbelkörpers**, die **kraniale Deckplatte**, die **kaudale Deckplatte** und der **Spinalkanal** weisen dabei eine hohe Vergleichbarkeit zwischen den Spezies auf. Diese Merkmale sind von höchstem Interesse für operative Verfahren an den Bandscheiben sowie sog. Repositionsspondylodesen, welche in den letzten Jahren vermehrt eingesetzt werden (Niethard et al. 2013). Des Weiteren weist die **Halswirbelsäule** eine Vergleichbarkeit von 100% zwischen den beiden Spezies für die **Länge des Wirbelkörpers ventral** auf. In biomechanischen Studien konnte zusätzlich eine große Ähnlichkeit der biomechanischen Eigenschaften der ersten beiden Halswirbel zwischen Hausschwein und Mensch nachgewiesen werden (Wilke et al. 2011).

Die vorliegende Arbeit schließt somit die Lücke einer Übertragbarkeit der Morphometrie der Wirbelsäule zwischen Göttingen Minipig und Mensch. Hinsichtlich der Erforschung neuer Operationstechniken an der Halswirbelsäule, beispielsweise der zunehmenden Bedeutung von intervertebralen Spondylodesen mit Hilfe von Spongiosa-augmentierten Cages, könnte das Göttingen Minipig somit das Hausschwein ersetzen und neben dem Schaf als Modell für die Halswirbelsäule des Menschen dienen (Kandziora et al. 2002). Aufgrund einer unzureichenden Datenlage für das Hausschwein kann eine vollständige Beurteilung der

Vergleichbarkeit der Halswirbelsäule von Göttingen Minipig und Hausschwein an dieser Stelle jedoch nicht stattfinden.

#### 5.4.2 Vergleich Göttingen Minipig - Mensch

Für den angestellten Vergleich wurden die Daten vom Mensch der Literatur entnommen (siehe Tabelle 1). Es muss darauf hingewiesen werden, dass hierfür Probanden beiderlei Geschlechts in einem Alter von 19 bis 85 Jahren, mit einem Gewicht von 54 bis 85 kg sowie einer Körpergröße von 148 bis 192 cm (soweit angegeben) unter Anwendung verschiedener Untersuchungsmethoden einbezogen wurden (Cotterill et al. 1986; Nissan und Gilad 1986; Berry et al. 1987; Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1991b; Panjabi et al. 1992; Tominaga et al. 1995; Pait et al. 1996; Karaikovic et al. 1997; Kandziora et al. 2001; Bozkus et al. 2005; Busscher et al. 2010b).

Der Vergleich des Göttingen Minipig mit dem Menschen zeigt eine absolute Vergleichbarkeit der Daten von  $15\pm 10\%$ , unabhängig vom Alter der untersuchten Tiere. Das Maximum der relativen Vergleichbarkeit der Daten von  $40\pm 10\%$  weisen die untersuchten Tiere in einem Alter von 17 Monaten auf. Insgesamt ist jedoch nur ein geringer Einfluss des Alters auf Ergebnisse des Vergleichs erkennbar. Damit kann eine Nutzung des Göttingen Minipig als Modelltier ab einem Alter von 12 Monaten empfohlen werden. Den Ansprüchen an eine Optimierung des Versuchsvorhabens durch Kostenreduktion infolge eines kürzeren Haltungszeitraumes kann somit entsprochen werden (Beglinger et al. 1975). Bei einer Betrachtung der untersuchten Parameter bzw. Verhältnisse ergibt sich die **größtmögliche Nutzung** des Göttingen Minipig als Modelltier für den Menschen in Bezug auf die **Brust- und Lendenwirbelsäule**. Dem Hausschwein wird ebenfalls die größtmögliche Eignung der unteren Brust- und Lendenwirbelsäule als Modell für die Wirbelsäule des Menschen attestiert (Sheng et al. 2010). In beiden Abschnitten der Wirbelsäule liegt für die Breite des Wirbels, die Länge des Wirbelkörpers, die Extremitas cranialis und den Spinalkanal eine hohe Vergleichbarkeit der untersuchten Göttingen Minipigs mit dem Menschen vor. Diese Ergebnisse werden durch eine ebenfalls hohe Vergleichbarkeit der identischen Parameter von Hausschwein und Mensch gestützt (Busscher et al. 2010b). Weiterhin weist das Göttingen Minipig, analog dem Hausschwein, eine große Vergleichbarkeit der Höhe der Bandscheiben der Halswirbel mit dem Menschen auf (Busscher et al. 2010b). Aufgrund der hohen Vergleichbarkeit und infolge der größeren Praktikabilität zeigt sich das Göttingen Minipig für diese Parameter und in den genannten Abschnitten der Wirbelsäule als Modelltier für den Menschen dem Hausschwein überlegen.

## 5.5 Anomalien

Die Anomalien des von der statistischen Auswertung separierten Tieres Nr. 18 zeigen eine **Fischwirbelbildung** im Bereich des zweiten Halswirbels bis zweiten Brustwirbels (C2-T2). Hierbei kommt es zu einer bikonkaven Verformung an den Endplatten der Wirbelkörper, beispielsweise als Folge einer Osteomalazie, was beim Menschen vielfach im Bereich ganzer Wirbelsäulenabschnitte auftritt (Engelhardt 2014). Bei Jungtieren liegen die für diese und andere Fehlbildungen des Skeletts häufigsten Ursachen in Störungen des Mineralstoffwechsels, welche sich in Erkrankungen wie Rachitis, Osteodystrophia fibrosa oder juveniler Osteoporose manifestieren. Diese Erkrankungen können dabei sowohl kongenital als auch erworben sein. In der Literatur werden für das Schwein vereinzelt vorkommende Fälle des Morbus Möller-Barlow genannt, einer Form der Osteoporose beim Jungtier, welche durch einen alimentären Ascorbinsäuremangel<sup>26</sup> bedingt ist (Dämmrich 1967). Eine Aussage hinsichtlich der Pathogenese bzw. Ätiologie der Anomalien des hier untersuchten Tieres kann aufgrund der vorliegenden Informationen nicht getroffen werden.

Für das Blutgefäßsystem einzelner untersuchter Tiere sind **Variabilitäten** der Vena subclavia, der Vena renalis und der Arteria renalis sowie **venöse Inselbildungen** der Vena cava caudalis, der Vena iliaca communis sinistra und der Vena linguofacialis sinistra dokumentiert. Bei dieser Form einer embryonalen Hemmungsmisbildung handelt es sich um eine Anastomose eines sich im vorherigen Verlauf aufzweigenden venösen Gefäßes (Müller 2010). Eine Koinzidenz dieser Spezifität mit einer Anomalie der Halswirbelsäule kann für das von der statistischen Auswertung separierte Tier nicht beobachtet werden.

---

<sup>26</sup> Ascorbinsäure: Vitamin C

## 6 Empfehlungen für den Einsatz des Göttingen Minipig in der Wirbelsäulenforschung

Kapitel 6 soll als Entscheidungsgrundlage für den Einsatz des Göttingen Minipig in der Wirbelsäulenforschung dienen. Hierfür können das **Alter** der Tiere (siehe Kapitel 6.1.1 bis 6.1.3), die **Lokalisationen** in der Wirbelsäule (siehe Kapitel 6.1.4) sowie die Eignung des Göttingen Minipig als Modelltier gegenüber dem **Hausschwein** (siehe Kapitel 6.1.5) bzw. **Menschen** (siehe Kapitel 6.1.6) in die Erwägungen zur Umsetzung eines zukünftigen Versuchsvorhabens einbezogen werden.

### 6.1 CT-gestützte Morphometrie der Wirbelsäule: Parameter und Verhältnisse

#### 6.1.1 Vergleich Gruppe 1 (12 Monate) - Gruppe 2 (17 Monate)

Beide Gruppen weisen trotz eines Altersunterschiedes von ca. 6 Monaten eine **Vergleichbarkeit von >80% aller untersuchten Parameter** für jeden Wirbel mit Ausnahme von C7 auf. Für einzelne Wirbel der gesamten BWS und LWS kann dabei eine Vergleichbarkeit von bis zu 100% aller Parameter beobachtet werden. Insbesondere die **untere BWS** und **LWS** sind somit dem **geringsten Wachstum** im untersuchten Zeitraum unterworfen. Die **stärksten** wachstumsbedingten **Veränderungen** erfolgen in der **HWS**. Diese manifestierten sich insbesondere in einer Zunahme der **Länge des Wirbelkörpers zentral** und der **Breite des Spinalkanals** sowie einer Abnahme der **Länge der Bandscheibe zentral**.

Bei Betrachtung der untersuchten Parameter fällt für alle weiteren Abschnitte der Wirbelsäule, mit Ausnahme der oberen BWS, ebenfalls eine geringe Vergleichbarkeit der **Länge des Wirbelkörpers zentral** infolge des Wachstums auf. Dies verdeutlicht das Längenwachstum der Wirbelsäule im untersuchten Zeitraum. Während alle weiteren untersuchten Parameter ebenfalls ein Wachstum aufweisen, können für die **Länge der Bandscheibe zentral und dorsal** eine Abnahme des Messwertes mit fortschreitendem Alter verzeichnet werden. Die errechneten Verhältnisse spiegeln die wachstumsbedingten Veränderungen der HWS wider. Dies betrifft insbesondere die **Breite des Spinalkanals** bzw. die **Länge der Bandscheibe zentral** im Vergleich zur **Breite der kranialen Deckplatte**. Am stärksten sind dabei die **Relationen des Spinalkanals** betroffen.

#### 6.1.2 Vergleich Gruppe 2 (17 Monate) - Gruppe 3 (21 Monate)

Gegenüber dem zuvor betrachteten Zeitraum fällt eine deutlich geringere **Vergleichbarkeit von lediglich >50% aller Parameter** exklusive der Wirbel C2, L1 und L3 auf. In einem Alter von 17-21 Monaten findet somit ein deutlich **stärkeres Wachstum** der Wirbel statt, was in einer Größen- und Längenzunahme dieser sowie der gesamten Wirbelsäule resultiert. Insbesondere die **LWS** ist hiervon betroffen. Eine hohe Vergleichbarkeit der untersuchten

Parameter und ein damit einhergehendes **geringes Wachstum** zeigt sich analog des vorangegangenen Untersuchungszeitraumes für die **untere BWS** (T7-T12) sowie den Wirbel **L6**.

Bei Betrachtung der einzelnen Parameter fallen insbesondere für die **Dimensionen des gesamten Wirbels** sowie den **Wirbelkörper**, die **Deckplatten**, den **Dornfortsatz**, die **Querfortsätze**, die **Pedikel** und die **Höhe der Bandscheibe** geringe Vergleichbarkeiten und damit wachstumsbedingte Veränderungen in allen Abschnitten der Wirbelsäule auf. Die geringsten Veränderungen lassen sich für den **Spinalkanal** sowie die **Länge der Bandscheiben** beobachten. Anhand der gebildeten Verhältnisse kann die größte Anzahl geringer Vergleichbarkeiten ( $\leq 50\%$ ) und damit ein **Wachstum** der betreffenden einbezogenen Parameter in der **HWS** und **LWS** beobachtet werden. Dies betrifft jene Verhältnisse, welche die **kraniale Deckplatte**, den **Spinalkanal** und die **Breite des Wirbels** beinhalten. Parallel zeigt sich jedoch für HWS und untere BWS die höchste Anzahl an Verhältnissen mit einer Vergleichbarkeit von 100%. Während für einige Parameter kein signifikantes Wachstum im Untersuchungszeitraum erfolgt, findet gleichzeitig das stärkste Wachstum anderer Parameter in der HWS statt.

### 6.1.3 Vergleich Gruppe 1 (12 Monate) - Gruppe 3 (21 Monate)

Über den Verlauf des gesamten Untersuchungszeitraumes ergibt sich eine **Vergleichbarkeit von  $\geq 50\%$  aller Parameter** der **HWS** sowie  **$\geq 70\%$  aller Parameter** der **gesamten BWS** und **LWS** sowie des Wirbels **C7**. Die höchsten Vergleichbarkeiten weisen die Wirbel **T4**, **T7**, **T9** und **L6** auf. An diesen Wirbeln finden somit die geringsten wachstumsbedingten Änderungen im gesamten Untersuchungszeitraum statt, was einen bevorzugten Einsatz der genannten Wirbel für Fragestellungen auf Basis einer konstanten Wirbelgröße indiziert.

Das **stärkste Wachstum**, charakterisiert durch die größte Anzahl an Parametern mit einer geringen Vergleichbarkeit, findet über den gesamten Untersuchungszeitraum in der **HWS** statt. Im Gegensatz hierzu kann in der **unteren BWS** die höchste Anzahl vergleichbarer Parameter bzw. die höchste prozentuale Vergleichbarkeit aller Parameter beobachtet werden. Dies führt zu der Annahme, dass der genannte Abschnitt der Wirbelsäule dem **geringsten** Einfluss des Alters auf das **Wachstum** unterliegt. Als Parameter mit den höchsten wachstumsbedingten Änderungen können die **Dimensionen des gesamten Wirbels**, des **Wirbelkörpers**, des **Spinalkanals**, des **Dornfortsatzes** sowie der **Deckplatten** genannt werden. Ein geringes Wachstum und eine damit verbundene Eignung für die chirurgische Forschung weisen die **Querfortsätze**, die **Pedikel** sowie die **Bandscheiben** auf. Auffällig ist weiterhin eine hohe Anzahl an Verhältnissen mit einer geringen Vergleichbarkeit in der HWS, was ein gegenüber allen weiteren Abschnitten der Wirbelsäule besonders stark ausgeprägtes Wachstum im Untersuchungszeitraum bestätigt. Insbesondere die Relationen des Spinalkanals sowie der Deckplatten weisen starke wachstumsbedingte Änderungen auf.

#### 6.1.4 Betrachtung der Abschnitte der Wirbelsäule

Tabelle 14 zeigt eine Zusammenfassung der Parameter und Verhältnisse mit einer **Vergleichbarkeit von  $\leq 50\%$**  zwischen den untersuchten Altersgruppen in den jeweiligen **Abschnitten der Wirbelsäule**. Je nach Fragestellung ergibt sich somit eine Eignung der **Halswirbelsäule** mit dem stärksten und der **unteren Brustwirbelsäule** mit dem geringsten Wachstum als Relevanz für zukünftige Versuchsvorhaben.

**Tabelle 14: Parameter bzw. Verhältnisse mit einer Vergleichbarkeit  $\leq 50\%$**

Vergleichbarkeit $\leq 50\%$		HWS	obere BWS	untere BWS	LWS
Vergleich Gruppe 1- Gruppe 2	Parameter	CVLc DILc FVB	-	CVLc	CVLc
	Verhältnisse	DILc/ECrB FVB/ECrB FVB/FVH	-	-	-
Vergleich Gruppe 2- Gruppe 3	Parameter	CVLc CVLd CVLv ECrB ECrF ECrH PLli PLre PSH PTBli PTBre PTLli VB VH VL	CVLc CVLd CVLv ECauF ECauH ECrB ECrH PBli PBre PLli PLre PSH PTBre VH VL	CVLc CVLd CVLv DIH ECauF ECauH ECrF ECrH PSH PTBli VH	CVLc CVLd CVLv DIH ECauB ECauF ECauH ECrF ECrH PLli PLre PSH PTBli PTBre PTLli VB VH VL
	Verhältnisse	FVH/ECrH	-	-	FVH/ECrH VB/ECrB
Vergleich Gruppe 1- Gruppe 3	Parameter	CVLc CVLd CVLv FVB FVH PSH VB VH VL	CVLc CVLd CVLv FVF PSH VH	CVLc CVLd CVLv ECrH PSH VH	CVLc CVLd CVLv ECauH ECrH FVB VH VL
	Verhältnisse	FVB/ECrB FVB/FVH FVH/ECrH VB/ECrB	-	-	ECauB/ECauH

### 6.1.5 Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein

Bei dem Vergleich der absoluten Werte aller Daten kann eine maximale **absolute Vergleichbarkeit von 37%** in einem Alter von 21 Monaten der untersuchten Göttingen Minipigs beobachtet werden. Damit entsprechen in diesem Alter  $37\pm 10\%$  aller Daten der untersuchten Tiere den absoluten Werten des Hausschweines. Eine hohe absolute Vergleichbarkeit der untersuchten Parameter bzw. Verhältnisse kann für die **obere und untere Brustwirbelsäule** beobachtet werden. Ein Ersatz des Modelltieres Hausschwein durch das Göttingen Minipig ist somit in diesen Abschnitten der Wirbelsäule möglich. Dies betrifft insbesondere die **Länge des Wirbelkörpers**, die **kraniale Deckplatte**, die **kaudale Deckplatte** sowie die Breite des **Spinalkanals**. Eine geringe absolute Vergleichbarkeit der Parameter bzw. Verhältnisse liegt für die **Lendenwirbelsäule** von Göttingen Minipig und Hausschwein vor. Die **Halswirbelsäule** weist hingegen eine Vergleichbarkeit von 100% für die **Länge des Wirbelkörpers ventral** zwischen den beiden Spezies auf. Es soll drauf hingewiesen werden, dass die Halswirbelsäule aufgrund fehlender Literaturdaten für das Hausschwein nur für einzelne Parameter beurteilt werden kann.

Die **relative Vergleichbarkeit** der Daten zeigt sich hingegen am höchsten im Alter von 17 Monaten. In diesem Alter weichen **63%** aller untersuchten Daten um maximal  $\pm 10\%$  vom Mittelwert ab. Bei Betrachtung der Parameter bzw. Verhältnisse kann eine durch die Zugehörigkeit zur selben Art bedingte hohe relative Vergleichbarkeit beobachtet werden. Dies betrifft analog der absoluten Vergleichbarkeit insbesondere die **Länge des Wirbelkörpers**, die **kraniale und kaudale Deckplatte** sowie den **Spinalkanal** und findet sich vor allem in der **unteren Brustwirbelsäule** und **Lendenwirbelsäule**.

### 6.1.6 Vergleich Göttingen Minipig - Mensch

Die **absolute Vergleichbarkeit** aller untersuchten Parameter bzw. Verhältnisse zwischen dem Göttingen Minipig und dem Menschen bleibt über den gesamten Untersuchungszeitraum konstant bei **15%**. Somit entsprechen, **unabhängig vom Alter des Tieres**, 15% aller absoluten Werte des Göttingen Minipig dem absoluten Wert des Menschen, mit einer maximalen Abweichung von  $\pm 10\%$ . Gründe hierfür können in der großen Streubreite der humanen Vergleichsgruppe liegen. Damit ergibt sich eine mögliche Nutzung des Göttingen Minipig als Modelltier für den Menschen bereits ab einem Alter von 12 Monaten. Eine Kostenoptimierung des Versuchsaufbaus wäre somit durch einen kürzeren Haltungszeitraum der Versuchstiere möglich. Diese Aussage ist jedoch im Hinblick auf fehlende humane Rohdaten für den angestellten Vergleich kritisch zu betrachten. Infolge der höchsten absoluten Vergleichbarkeit der untersuchten Parameter bzw. Verhältnisse ergibt sich die **größtmögliche Nutzung** des Göttingen Minipig als Modelltier für den Menschen in Bezug auf die **obere Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule**. Insbesondere die **Länge des Wirbelkörpers** weist eine hohe absolute Vergleichbarkeit zwischen den Spezies auf. Bei einer Thematisierung des **Dornfortsatzes** sowie des **Verhältnisses der Pedikellänge zur Pedikelbreite** kann insbesondere die **untere Brustwirbelsäule** des Göttingen Minipig als geeignetes Modell herangezogen werden. Eine Eignung der **Lendenwirbelsäule** ergibt sich insbesondere für das **Verhältnis der Breite des Spinalkanals zur Breite der kranialen Deckplatte**. Die größte Anzahl absolut vergleichbarer Parameter bzw. Verhältnisse weist die **Halswirbelsäule** auf, jedoch bei einer lediglich geringen Vergleichbarkeit. Als in diesem Abschnitt der Wirbelsäule besonders geeignetes Modell kann das Verhältnis der **Pedikellänge zur Pedikelbreite** genannt werden.

Anhand der **relativen Vergleichbarkeit** zwischen Göttingen Minipig und Mensch kann im Alter von **17 Monaten** der Tiere bei **40%** aller Daten eine Abweichung von maximal  $\pm 10\%$  vom Mittelwert beobachtet werden. Eine hohe Anzahl relativ vergleichbarer Parameter bzw. Verhältnisse lässt sich für die **untere Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule** beobachten. Beide Abschnitte der Wirbelsäule zeigen somit eine Eignung als Modell. Dies betrifft insbesondere Parameter bzw. Verhältnisse, welche die **Dimensionen des gesamten Wirbels**, die **Länge des Wirbelkörpers**, die **Breite des Spinalkanals** sowie die **kraniale und kaudale Deckplatte** beinhalten.

## 7 Zusammenfassung

### **Computertomographisch gestützte Morphometrie der Wirbelsäule des Göttingen Minipig® zur Erstellung eines anatomischen Katalogs im Sinne der 3R**

Erkrankungen der Wirbelsäule und des muskuloskelettalen Systems stellen in Deutschland und weltweit eine der häufigsten Ursachen für Arbeits- und Erwerbsunfähigkeit dar. Da es zur Erforschung häufig an Präparaten humanen Ursprungs mangelt, werden besonders geeignete Modelltiere benötigt. Unter diesen nimmt das Hausschwein aufgrund seiner u.a. anatomisch und physiologisch großen Ähnlichkeit zum Menschen eine herausragende Position ein. In den letzten Jahren hat man sich jedoch aus Gründen der Praktikabilität und Kosten vermehrt dem Modelltier Minipig, speziell dem **Göttingen Minipig®**, zugewandt. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die in humanmedizinischen Studien am häufigsten eruierten anatomischen und morphometrischen Parameter der Wirbelsäule zu identifizieren und für das Göttingen Minipig® zu ermitteln. Anhand dieser wurde ein anatomischer Katalog erstellt sowie eine Gegenüberstellung mit Literaturdaten von Hausschwein und Mensch durchgeführt. Hierfür wurden die Prinzipien der **3R** nach Russell und Burch für einen ethischen Umgang mit Versuchstieren, u.a. durch den Einsatz der Computertomographie als Beitrag zu einem **Refinement**, angewendet.

Im Sinne einer Umsetzung der Punkte **Replacement** und **Reduction** wurde für die vorliegende Arbeit ein existenter Datenpool von 17 weiblichen Göttingen Minipigs® im Alter von 12, 17 und 21 Monaten analysiert.

Hinsichtlich der **Anzahl der Wirbel** je Wirbelsäulenabschnitt weist das Göttingen Minipig® eine gegenüber dem Hausschwein anatomisch größere Analogie mit dem Menschen auf. Die Einordnung des Göttingen Minipig® in einen konkreten **Altersstatus** wird u.a. anhand der Einteilung nach Körpermasse sowie Zeitpunkten des Schlusses der Epiphysenfugen kritisch diskutiert. Die untersuchten Tiere weisen zwischen 17 und 21 Lebensmonaten die stärkste Zunahme des **Körpergewichts** auf. Ein **Schluss der Epiphysenfugen** erfolgt hingegen hauptsächlich zwischen 12 und 17 Lebensmonaten. In einem Alter von 17 Monaten kann dabei ein Schluss bis einschließlich des Wirbels T9 sowie im Alter von 21 Monaten bis einschließlich des Wirbels T12 festgestellt werden. Aufgrund dessen ist für diese Wirbel eine Einordnung in den Adultstatus zu den genannten Zeitpunkten vorstellbar.

Bei einem Vergleich der untersuchten Altersklassen lässt sich im Alter von **12 bis 17 Monaten** insbesondere ein Längenwachstum der Wirbelsäule des Göttingen Minipig® beobachten. Die Halswirbelsäule ist in diesem Zeitraum den stärksten morphometrischen Modifikationen unterworfen. Im Gegensatz hierzu weisen die untere Brust- und Lendenwirbelsäule lediglich geringe wachstumsbedingte Veränderungen im untersuchten Zeitraum auf. In der Altersgruppe **17 bis 21 Monate** kann das stärkste Wachstum in der Wirbelsäule des Göttingen Minipig® für den gesamten Untersuchungszeitraum von 12-21 Monaten festgestellt werden. Dies betrifft alle Abschnitte der Wirbelsäule. Starke morphometrische Veränderungen lassen sich dabei insbesondere in der Lendenwirbelsäule

beobachten. Den geringsten wachstumsbedingten Änderungen ist in diesem Zeitraum die untere Brustwirbelsäule unterworfen. Über den gesamten Untersuchungszeitraum von **12 bis 21 Lebensmonaten** lässt sich das stärkste Wachstum für die Halswirbelsäule der untersuchten Tiere beobachten. Die geringsten wachstumsbedingten Veränderungen weist hingegen die untere Brustwirbelsäule auf. In Abhängigkeit von der Fragestellung können diese Abschnitte der Wirbelsäule somit von besonderem Interesse für zukünftige Forschungsvorhaben sein.

Bei einem **Vergleich** mit der Spezies **Hausschwein** kann für das **Göttingen Minipig®** in einem Alter von 21 Monaten insbesondere eine **absolute Vergleichbarkeit** der oberen und unteren Brustwirbelsäule festgestellt werden. In einem Alter von 17 Monaten weisen die relevanten Strukturen der untersuchten Tiere die höchste **relative Vergleichbarkeit** mit der unteren Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule des Hausschweines auf. Der **Vergleich des Göttingen Minipig®** mit dem **Menschen** zeigt eine Unabhängigkeit der **absolute Vergleichbarkeit** der Daten vom Alter der untersuchten Tiere. Das Maximum der **relativen Vergleichbarkeit** der Daten weisen die untersuchten Tiere in einem Alter von 17 Monaten auf. Insgesamt ist jedoch nur ein geringer Einfluss des Alters auf die Ergebnisse des Vergleichs erkennbar. Damit kann eine Nutzung des Göttingen Minipig® als Modelltier für den Menschen bereits ab einem Alter von 12 Monaten empfohlen werden. Den Ansprüchen an eine Optimierung des Versuchsvorhabens durch Kostenreduktion infolge eines kürzeren Haltungszeitraumes kann somit gerecht werden. Die größtmögliche Eignung ergibt sich dabei für die Brust- und Lendenwirbelsäule.

Anhand der inhomogenen Entwicklung der untersuchten Merkmale zeigt sich die Komplexität der Thematik, insbesondere der Einordnung des Göttingen Minipig® in einen Altersstatus. Im Sinne einer Umsetzung der Prinzipien der 3R nach Russell und Burch sollte sich als Fazit für zukünftige Versuchsplanungen eine **Einteilung** des Göttingen Minipig® in **Altersgruppen** an dem zu **untersuchenden Organsystem** orientieren. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können dabei als morphometrische Grundlage auf dem Gebiet der Wirbelsäule dienen. Hierfür können sowohl die Vergleiche nach Alter, Abschnitt der Wirbelsäule und Spezies als auch ein erstmals für das Göttingen Minipig® systematisch erstellter Katalog der häufigsten anatomischen Dimensionen der Wirbelsäule einen wichtigen Beitrag für zukünftige Forschungsvorhaben leisten.

## 8 Summary

### **Morphometric studies of the spine of the Göttingen Minipig® using computer tomography as a contribution to the principles of the 3R**

Diseases of the spine and musculoskeletal disorders represent the most frequent causes for incapacitation for work and disability. Due to the lack of human specimens, appropriate animal models are required for spinal research. The pig has unique position as an animal model, due to the fact that its anatomy and physiology are very similar to those of human beings. In recent years, the importance of the minipig, especially the **Göttingen Minipig®**, as an animal model has greatly increased. The small size, low body weight and quiet character are advantages in keeping and handling this breed. The aim of the present thesis is to identify those human anatomical and morphometric parameters that are most frequently referred in spinal research, and investigate them in the spine of the Göttingen Minipig®. These data are used to create a systematic, morphometric database and compared with porcine and human literature. According to the principles of the **3R** by Russell and Burch, non-invasive computer tomography is used as a contribution to the concept of **refinement** with respect to ethical responsibility towards laboratory animals.

In keeping with the concepts of **replacement** and **reduction**, an existing data pool of 17 female Göttingen Minipigs® at the age of 12, 17 and 21 months was analysed.

In terms of the **number of vertebrae** in every section of the spine, the Göttingen Minipig® shows a higher comparability to the human spine than to the porcine one. It is controversial to classify the Göttingen Minipig® in **age groups** divided by **weight** and **epiphyseal closure**. In my own investigations, a peak in weight gain can be observed at the age of 17 to 21 months, whereas most epiphyseal closures can be detected at the age of 12 to 17 months. At the age of 17 months, epiphyseal closure can be observed up to vertebra T9, whereas at the age of 21 months, epiphyseal plates are closed up to vertebra T12. Therefore, concerned vertebrae can be considered anatomically mature at these points in time.

When **comparing** the **study groups** of the Göttingen Minipig®, at the age of **12 to 17 months**, longitudinal growth of the spine can be detected. The cervical spine recorded the highest growth during this time period. In contrast, the lower thoracic and lumbar spine present only slight morphometric modifications. At the age of **17 to 21 months**, a growth spurt takes place in every section of the spine, particularly in the lumbar spine. The lowest morphometric changes are seen in the lower thoracic spine. During the entire investigation period, most morphometric changes due to growth are seen in the cervical spine at an age of **12 to 21 months**. In contrast, little morphometric modifications take place in the lower thoracic spine.

The 21-month-old Göttingen Minipigs® higher and lower thoracic spine shows the best **absolute comparability** to the porcine spine. At the age of 17 months, the examined animals exhibit the best **relative comparability** in the lower thoracic and lumbar spine. In contrast, the impact of age cannot be ascertained with regard to absolute comparability when

comparing Göttingen Minipig® and human spine. Best relative comparability to human spine can be detected for the 17-month-old Göttingen Minipig® spine. Altogether, age does only seem to have a small impact on the results of the comparison. Therefore, utilisation of the Göttingen Minipig® as an animal model can be suggested from the age of 12 months, which entails a reduction in costs as the animals are younger. Based on these findings, the thoracic and lumbar spine of the Göttingen Minipig® are most suitable as an animal model for the human spine.

The complex nature of the purpose of this study, particularly with regard to age classification, can be recognised in the inhomogeneous development of the examined and analysed parameters. According to the principles of the 3R, a prospective classification in age groups should be based on the organ system to be examined. The present results can serve as a morphometric database for the design of future studies of the spine. Therefore, the quantitative database provided in this thesis can present an important contribution to future research.

## 9 Anhang

### 9.1 Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein - Mensch: Absolute Werte

**Tabelle 15: C2 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

C2 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	35,1 ± 2,3	36,5 ± 1,3	37,1 ± 1,2	52,6 <sup>(2)</sup> ; 58,4 <sup>(6)</sup>	
VL [mm]	27,3 ± 0,6	29,3 ± 2,3	29,3 ± 1,4		
VH [mm]	45,9 ± 1,1	47,2 ± 2,5	48,9 ± 2,7	54,8 <sup>(6)</sup>	
CVLv [mm]	18,5 ± 0,9	21,1 ± 1,4	21,7 ± 1,6		
CVLc [mm]	26,2 ± 0,3	27,8 ± 1,9	28,3 ± 2,5		
CVLd [mm]	23,5 ± 2,7	26,2 ± 1,5	27,3 ± 1,4		
LD [mm]	7,8 ± 0,2	8,1 ± 0,4	8,9 ± 0,1	16,9 <sup>(6)</sup>	
BD [mm]	7,8 ± 0,7	8,4 ± 0,8	8,7 ± 0,8	11,5 <sup>(6)</sup>	
HD [mm]	8,9 ± 0,1	9,2 ± 0,6	9,9 ± 0,6		
ECauB [mm]	22,3 ± 0,5	22 ± 0,7	22,5 ± 0,8	17,5 <sup>(2)</sup>	
ECauH [mm]	12,4 ± 0,8	12,3 ± 0,7	12,7 ± 0,8	15,6 <sup>(2)</sup>	
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,3 ± 0,14	2,27 ± 0,11	2,37 ± 0,16	1,944 <sup>(2)</sup>	
FVB [mm]	12,1 ± 0,5	13,2 ± 0,6	13,4 ± 0,7	24,5 <sup>(2)</sup> ; 25,6 <sup>(6)</sup>	
FVH [mm]	10,6 ± 0,6	10,8 ± 0,8	10,6 ± 0,6	21 <sup>(2)</sup> ; 18,7 <sup>(6)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,2 ± 0,13	1,37 ± 0,14	1,41 ± 0,12	3,745 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	46,2 ± 0,6	45,7 ± 1,5	47,6 ± 1,5	33,7 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	11,5 ± 0,3	11,8 ± 1,2	12,5 ± 1,1		
PTBre [mm]	11,6 ± 0,5	11,6 ± 1,1	12,4 ± 1,2		
PTLli [mm]	2,5 ± 0,5	2,7 ± 0,3	3 ± 0,4		
PTLre [mm]	2,5 ± 0,7	2,7 ± 0,3	3 ± 0,4		
PBli [mm]	4,7 ± 0,3	4,7 ± 0,5	5,1 ± 0,6	8,3 <sup>(2)</sup> ; 9 <sup>(6)</sup>	
PBre [mm]	4,8 ± 0,4	4,8 ± 0,6	4,9 ± 0,7	7,7 <sup>(2)</sup>	
PLli [mm]	8,7 ± 0,8	8,1 ± 0,9	8,6 ± 0,9	11,1 <sup>(2)</sup>	
PLre [mm]	8,5 ± 0,8	8,3 ± 0,8	8,6 ± 0,8	9,4 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	27,5 ± 2	29 ± 2	27,6 ± 1,7	30 <sup>(5)</sup>	
PWre [°]	28 ± 1,7	28,1 ± 1,7	27,4 ± 1,5	33 <sup>(5)</sup>	
PL / CVLc [-]	0,33 ± 0,03	0,3 ± 0,03	0,31 ± 0,03		
ECauB / ECauH [-]	1,81 ± 0,11	1,79 ± 0,08	1,78 ± 0,07	1,12 <sup>(2)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,15 ± 0,06	1,23 ± 0,06	1,27 ± 0,07	1,17 <sup>(2)</sup> ; 1,37 <sup>(6)</sup>	
PLre / PBre [-]	1,79 ± 0,15	1,77 ± 0,22	1,76 ± 0,23	1,22 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	1,85 ± 0,15	1,75 ± 0,25	1,73 ± 0,25	1,34 <sup>(2)</sup>	

**Tabelle 16: C3 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

C3 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	38,2 ± 1	39,8 ± 2	41,9 ± 1,4	50,3 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	20,1 ± 0,5	20,1 ± 1,5	21,1 ± 1,5		
VH [mm]	34,8 ± 1,5	34,6 ± 2	35,4 ± 2,2		
CVLv [mm]	15 ± 0,7	16 ± 0,7	16,7 ± 0,9	14,2 <sup>(1)</sup> ; 15,3 <sup>(4)</sup>	14,9 <sup>(1)</sup>
CVLc [mm]	14 ± 0,4	15,6 ± 0,6	16,2 ± 0,6	12,6 <sup>(1)</sup>	13,1 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	16,1 ± 0,1	16,7 ± 0,7	17,6 ± 0,7	15,1 <sup>(1)</sup> ; 11,6 <sup>(2)</sup> ; 15,4 <sup>(4)</sup>	14,6 <sup>(1)</sup>
ECrB [mm]	20,1 ± 0,5	19,5 ± 0,5	20,1 ± 0,6	15,8 <sup>(2)</sup> ; 20,1 <sup>(4)</sup>	
ECrH [mm]	12,5 ± 0,6	12,5 ± 0,7	13 ± 0,6	15 <sup>(2)</sup> ; 17,7 <sup>(4)</sup>	
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,18 ± 0,17	2,13 ± 0,1	2,29 ± 0,15	1,694 <sup>(2)</sup>	5,353 <sup>(11)</sup>
ECauB [mm]	23,7 ± 0,3	23,6 ± 1	23,9 ± 0,8	17,2 <sup>(2)</sup> ; 20,6 <sup>(4)</sup>	
ECauH [mm]	12,6 ± 0,5	12,9 ± 0,7	13,7 ± 1	15,6 <sup>(2)</sup> ; 17,6 <sup>(4)</sup>	
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,47 ± 0,14	2,48 ± 0,16	2,58 ± 0,13	1,907 <sup>(2)</sup>	6,49 <sup>(11)</sup>
FVB [mm]	12,5 ± 0,1	13,7 ± 0,7	13,7 ± 0,3	22,9 <sup>(2)</sup> ; 24,6 <sup>(4)</sup>	
FVH [mm]	11 ± 0,3	10,2 ± 0,5	10 ± 0,7	16,2 <sup>(2)</sup> ; 16,5 <sup>(4)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,28 ± 0,05	1,32 ± 0,12	1,35 ± 0,12	2,487 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	29,6 ± 1,1	28,6 ± 1,7	29,3 ± 1,7	29,6 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13,2 ± 0,5	13,5 ± 0,7	14 ± 0,9		
PTBre [mm]	13,5 ± 0,5	13,6 ± 0,9	14,2 ± 0,9		
PTLli [mm]	5,6 ± 0,6	5,4 ± 0,3	5,7 ± 0,5		
PTLre [mm]	5,7 ± 0,7	5,4 ± 0,2	5,7 ± 0,5		
PBli [mm]	7 ± 0,5	7,2 ± 0,5	6,9 ± 0,7	5,4 <sup>(2)</sup> ; 5 <sup>(4)</sup>	
PBre [mm]	7 ± 0,5	7,1 ± 0,6	7 ± 0,5	5,8 <sup>(2)</sup>	
PLli [mm]	7,1 ± 0,7	8,3 ± 0,7	8,7 ± 0,9	7,2 <sup>(2)</sup> ; 7,4 <sup>(4)</sup>	
PLre [mm]	7,3 ± 0,7	8,1 ± 0,7	8,7 ± 0,9	7,6 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	31,6 ± 1,2	32,5 ± 1,6	31,9 ± 1,3	44 <sup>(5)</sup>	
PWre [°]	30,8 ± 1,2	31,9 ± 1,4	31,4 ± 1,3	43 <sup>(5)</sup>	
DILv [mm]	1,4 ± 0,5	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,3	5,4 <sup>(4)</sup>	
DILc [mm]	2,7 ± 0,7	1,9 ± 0,2	2 ± 0,4	6,1 <sup>(1)</sup> ; 4 <sup>(3)</sup> ; 5,9 <sup>(4)</sup>	3,6 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	0,6 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,7 ± 0,3	3,9 <sup>(4)</sup>	
DIH [mm]	11,7 ± 0,8	11,8 ± 0,5	12,1 ± 0,5	17,9 <sup>(3)</sup>	
FVB / ECrB [-]	0,62 ± 0,02	0,7 ± 0,03	0,68 ± 0,02	1,45 <sup>(2)</sup> ; 1,22 <sup>(4)</sup>	
FVH / ECrH [-]	0,88 ± 0,04	0,82 ± 0,06	0,77 ± 0,06	1,08 <sup>(2)</sup> ; 0,93 <sup>(4)</sup>	
DILc / ECrB [-]	0,13 ± 0,03	0,1 ± 0,01	0,1 ± 0,02	0,29 <sup>(4)</sup>	
PSH / ECrH [-]	2,37 ± 0,07	2,29 ± 0,14	2,25 ± 0,13	1,97 <sup>(2)</sup>	
VB / ECrB [-]	1,91 ± 0,08	2,04 ± 0,11	2,08 ± 0,11	3,18 <sup>(2)</sup>	
PL / CVLc [-]	0,51 ± 0,04	0,53 ± 0,04	0,53 ± 0,05		
ECrB / ECrH [-]	1,61 ± 0,06	1,57 ± 0,09	1,55 ± 0,05	1,05 <sup>(2)</sup> ; 1,14 <sup>(4)</sup>	
ECauB / ECauH [-]	1,87 ± 0,08	1,83 ± 0,1	1,76 ± 0,14	1,1 <sup>(2)</sup> ; 1,17 <sup>(4)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,13 ± 0,02	1,35 ± 0,1	1,37 ± 0,09	1,41 <sup>(2)</sup> ; 1,49 <sup>(4)</sup>	
PLre / PBre [-]	1,04 ± 0,09	1,15 ± 0,1	1,25 ± 0,16	1,31 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	1,02 ± 0,07	1,16 ± 0,11	1,27 ± 0,2	1,33 <sup>(2)</sup> ; 1,48 <sup>(4)</sup>	
PTB / PSH [-]	0,45 ± 0,03	0,48 ± 0,04	0,48 ± 0,05		

**Tabelle 17: C4 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

C4 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	39,8 ± 1,9	42,2 ± 2	43,9 ± 1,8	48,5 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	18,8 ± 1	19,8 ± 1,2	21 ± 1,2		
VH [mm]	38,6 ± 0,6	39,1 ± 2,1	40,4 ± 2,2		
CVLv [mm]	14,9 ± 0,6	16 ± 0,8	16,9 ± 0,9	14,5 <sup>(1)</sup> ; 14,5 <sup>(4)</sup>	15 <sup>(1)</sup>
CVLc [mm]	13,7 ± 0,4	15,4 ± 0,7	15,9 ± 0,8	12,4 <sup>(1)</sup>	13,2 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	15,1 ± 0,4	15,8 ± 0,7	16,7 ± 0,7	14,6 <sup>(1)</sup> ; 11,4 <sup>(2)</sup> ; 14,8 <sup>(4)</sup>	14,3 <sup>(1)</sup>
ECrB [mm]	20,1 ± 0,8	20,1 ± 1,2	20,3 ± 1,2	17,2 <sup>(2)</sup> ; 23,8 <sup>(4)</sup>	
ECrH [mm]	13,3 ± 0,4	13,6 ± 0,6	13,9 ± 0,6	15,3 <sup>(2)</sup> ; 18,2 <sup>(4)</sup>	
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,3 ± 0,11	2,28 ± 0,11	2,45 ± 0,19	1,83 <sup>(2)</sup>	5,39 <sup>(11)</sup>
ECauB [mm]	24,2 ± 0,5	23,7 ± 1,4	24,1 ± 1,3	17 <sup>(2)</sup> ; 22,4 <sup>(4)</sup>	
ECauH [mm]	13,3 ± 0,5	13,1 ± 0,6	13,6 ± 0,8	15,9 <sup>(2)</sup> ; 18,3 <sup>(4)</sup>	
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,54 ± 0,15	2,52 ± 0,16	2,63 ± 0,17	1,992 <sup>(2)</sup>	5,588 <sup>(11)</sup>
FVB [mm]	13,4 ± 0,6	14,6 ± 0,8	14,8 ± 0,5	24,7 <sup>(2)</sup> ; 25,7 <sup>(4)</sup>	
FVH [mm]	11,5 ± 0,3	11,1 ± 0,9	10,8 ± 0,7	17,7 <sup>(2)</sup> ; 15,4 <sup>(4)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,45 ± 0,09	1,49 ± 0,17	1,53 ± 0,13	2,72 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	31,1 ± 0,7	31,8 ± 2,1	33,1 ± 2,4	30,3 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13,4 ± 0,6	14,3 ± 0,5	14,7 ± 0,8		
PTBre [mm]	13,4 ± 0,5	14,3 ± 0,5	14,7 ± 0,9		
PTLli [mm]	6,6 ± 0,7	7,1 ± 0,7	7,2 ± 0,5		
PTLre [mm]	6,8 ± 0,6	7,2 ± 0,7	7,2 ± 0,5		
PBli [mm]	6,9 ± 0,8	6,9 ± 0,7	7 ± 0,6	5,1 <sup>(2)</sup> ; 5,3 <sup>(4)</sup>	
PBre [mm]	7 ± 0,7	6,8 ± 0,6	7,1 ± 0,7	5,7 <sup>(2)</sup>	
PLli [mm]	7,9 ± 0,8	9 ± 0,8	9,3 ± 0,7	7,3 <sup>(2)</sup> ; 7,6 <sup>(4)</sup>	
PLre [mm]	7,8 ± 0,9	9 ± 0,7	9,4 ± 0,7	7,4 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	32 ± 1,8	33,6 ± 1,2	33,8 ± 1,3	49 <sup>(5)</sup>	
PWre [°]	31,7 ± 1,8	32,8 ± 0,8	33 ± 1,3	49 <sup>(5)</sup>	
DILv [mm]	2,4 ± 0,5	2,1 ± 0,4	2 ± 0,4	5,3 <sup>(4)</sup>	
DILc [mm]	2,9 ± 0,4	2 ± 0,3	2,3 ± 0,3	5,8 <sup>(1)</sup> ; 4,2 <sup>(3)</sup> ; 6,2 <sup>(4)</sup>	3,7 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	1,2 ± 0,2	1 ± 0,3	1 ± 0,3	3,6 <sup>(4)</sup>	
DIH [mm]	12,4 ± 0,7	12,5 ± 0,7	12,7 ± 0,7	19,8 <sup>(3)</sup>	
FVB / ECrB [-]	0,67 ± 0,02	0,73 ± 0,04	0,73 ± 0,05	1,44 <sup>(2)</sup> ; 1,08 <sup>(4)</sup>	
FVH / ECrH [-]	0,87 ± 0,04	0,82 ± 0,07	0,78 ± 0,06	1,16 <sup>(2)</sup> ; 0,85 <sup>(4)</sup>	
DILc / ECrB [-]	0,15 ± 0,02	0,1 ± 0,01	0,11 ± 0,02	0,26 <sup>(4)</sup>	
PSH / ECrH [-]	2,33 ± 0,04	2,35 ± 0,16	2,38 ± 0,18	1,98 <sup>(2)</sup>	
VB / ECrB [-]	1,98 ± 0,11	2,11 ± 0,14	2,17 ± 0,16	2,82 <sup>(2)</sup>	
PL / CVLc [-]	0,57 ± 0,05	0,58 ± 0,04	0,59 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,51 ± 0,06	1,48 ± 0,09	1,46 ± 0,08	1,12 <sup>(2)</sup> ; 1,31 <sup>(4)</sup>	
ECauB / ECauH [-]	1,82 ± 0,1	1,81 ± 0,12	1,77 ± 0,13	1,07 <sup>(2)</sup> ; 1,22 <sup>(4)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,16 ± 0,07	1,32 ± 0,12	1,37 ± 0,11	1,4 <sup>(2)</sup> ; 1,67 <sup>(4)</sup>	
PLre / PBre [-]	1,13 ± 0,16	1,33 ± 0,15	1,33 ± 0,16	1,3 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	1,16 ± 0,13	1,32 ± 0,17	1,35 ± 0,15	1,43 <sup>(2)</sup> ; 1,43 <sup>(4)</sup>	
PTB / PSH [-]	0,43 ± 0,02	0,45 ± 0,03	0,45 ± 0,04		

**Tabelle 18: C5 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

C5 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	39,7 ± 2	41,2 ± 1,6	43,2 ± 2,3	46,4 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	19 ± 0,7	19,9 ± 0,7	20,5 ± 0,9		
VH [mm]	41,7 ± 0,6	43,2 ± 2,4	45,2 ± 3,1		
CVLv [mm]	15,5 ± 0,7	16,2 ± 0,7	17,1 ± 0,6	13,4 <sup>(1)</sup> ; 14,2 <sup>(4)</sup>	15,4 <sup>(1)</sup>
CVLc [mm]	13,8 ± 0,3	14,9 ± 0,6	15,9 ± 0,6	12,1 <sup>(1)</sup>	13,3 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	14,5 ± 0,5	15,2 ± 0,5	16,2 ± 0,6	14,2 <sup>(1)</sup> ; 11,4 <sup>(2)</sup> ; 14,7 <sup>(4)</sup>	14,2 <sup>(1)</sup>
ECrB [mm]	19,8 ± 0,5	19,2 ± 0,6	19,6 ± 1	17,5 <sup>(2)</sup> ; 24,9 <sup>(4)</sup>	
ECrH [mm]	13,4 ± 0,5	13,6 ± 0,5	14 ± 0,6	15,2 <sup>(2)</sup> ; 18,4 <sup>(4)</sup>	
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,31 ± 0,12	2,26 ± 0,12	2,37 ± 0,18	1,829 <sup>(2)</sup>	5,734 <sup>(11)</sup>
ECauB [mm]	23,3 ± 0,5	22,6 ± 1,3	23,1 ± 1,4	19,4 <sup>(2)</sup> ; 24 <sup>(4)</sup>	
ECauH [mm]	12,7 ± 0,3	12,9 ± 0,8	13,1 ± 0,8	17,9 <sup>(2)</sup> ; 18,6 <sup>(4)</sup>	
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,51 ± 0,11	2,41 ± 0,2	2,52 ± 0,2	2,462 <sup>(2)</sup>	5,984 <sup>(11)</sup>
FVB [mm]	14,3 ± 0,3	15,3 ± 0,7	15,6 ± 0,8	24,9 <sup>(2)</sup> ; 25,6 <sup>(4)</sup>	
FVH [mm]	12,5 ± 0,8	11,7 ± 0,6	11,8 ± 1,2	17,4 <sup>(2)</sup> ; 15,1 <sup>(4)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,61 ± 0,08	1,62 ± 0,15	1,66 ± 0,16	2,495 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	35,1 ± 0,4	37,1 ± 2,7	39,2 ± 3,2	28,5 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13,4 ± 0,8	14,2 ± 0,8	14,7 ± 0,9		
PTBre [mm]	13,4 ± 0,7	14,1 ± 0,8	14,6 ± 0,9		
PTLli [mm]	7,1 ± 0,7	7,3 ± 0,6	8,2 ± 0,6		
PTLre [mm]	7,2 ± 0,6	7,4 ± 0,6	8,3 ± 0,6		
PBli [mm]	6,8 ± 0,4	6,8 ± 0,6	6,9 ± 0,7	5,1 <sup>(2)</sup> ; 5,8 <sup>(4)</sup>	
PBre [mm]	6,9 ± 0,4	6,7 ± 0,5	6,9 ± 0,7	6,1 <sup>(2)</sup>	
PLli [mm]	8,1 ± 0,8	8,8 ± 0,7	9,2 ± 0,9	7,3 <sup>(2)</sup> ; 7,7 <sup>(4)</sup>	
PLre [mm]	8,1 ± 0,9	8,9 ± 0,7	9,3 ± 0,9	6,7 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	33,4 ± 2,3	34,3 ± 1	34,5 ± 1,2	45 <sup>(5)</sup>	
PWre [°]	32,6 ± 1,7	33,5 ± 1,4	34 ± 1,5	45 <sup>(5)</sup>	
DILv [mm]	2,1 ± 0,8	1,7 ± 0,4	1,8 ± 0,3	5,4 <sup>(4)</sup>	
DILc [mm]	2,9 ± 0,4	1,9 ± 0,4	1,9 ± 0,2	4,5 <sup>(1)</sup> ; 3,3 <sup>(3)</sup> ; 6,3 <sup>(4)</sup>	3,5 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	1,1 ± 0,3	1,1 ± 0,2	1 ± 0,2	3,9 <sup>(4)</sup>	
DIH [mm]	12,4 ± 0,6	12,6 ± 0,6	12,9 ± 0,6	18,8 <sup>(3)</sup>	
FVB / ECrB [-]	0,73 ± 0,03	0,8 ± 0,03	0,8 ± 0,06	1,42 <sup>(2)</sup> ; 1,03 <sup>(4)</sup>	
FVH / ECrH [-]	0,94 ± 0,06	0,87 ± 0,06	0,85 ± 0,1	1,14 <sup>(2)</sup> ; 0,82 <sup>(4)</sup>	
DILc / ECrB [-]	0,14 ± 0,02	0,1 ± 0,02	0,1 ± 0,01	0,25 <sup>(4)</sup>	
PSH / ECrH [-]	2,63 ± 0,11	2,74 ± 0,23	2,81 ± 0,28	1,88 <sup>(2)</sup>	
VB / ECrB [-]	2,01 ± 0,09	2,15 ± 0,1	2,21 ± 0,17	2,65 <sup>(2)</sup>	
PL / CVLc [-]	0,59 ± 0,06	0,59 ± 0,04	0,58 ± 0,05		
ECrB / ECrH [-]	1,48 ± 0,06	1,42 ± 0,06	1,4 ± 0,08	1,15 <sup>(2)</sup> ; 1,35 <sup>(4)</sup>	
ECauB / ECauH [-]	1,83 ± 0,02	1,76 ± 0,13	1,77 ± 0,1	1,08 <sup>(2)</sup> ; 1,29 <sup>(4)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,15 ± 0,07	1,3 ± 0,08	1,33 ± 0,12	1,43 <sup>(2)</sup> ; 1,7 <sup>(4)</sup>	
PLre / PBre [-]	1,19 ± 0,13	1,34 ± 0,18	1,35 ± 0,21	1,1 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	1,19 ± 0,15	1,31 ± 0,17	1,35 ± 0,21	1,43 <sup>(2)</sup> ; 1,33 <sup>(4)</sup>	
PTB / PSH [-]	0,38 ± 0,03	0,38 ± 0,03	0,38 ± 0,04		

**Tabelle 19: C6 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

C6 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	39,9 ± 1	41,3 ± 2	42,9 ± 2,1	49,5 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	19 ± 0,6	19,9 ± 0,8	20,9 ± 0,6		
VH [mm]	48,6 ± 0,8	52,4 ± 3,6	57,2 ± 10,7		
CVLv [mm]	15,9 ± 0,5	16,8 ± 0,7	17,2 ± 0,4	14 <sup>(1)</sup> ; 14,4 <sup>(4)</sup>	16,2 <sup>(1)</sup>
CVLc [mm]	14,1 ± 0,6	15,2 ± 0,4	16 ± 0,3	12,2 <sup>(1)</sup>	13,8 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	14,5 ± 0,4	15,2 ± 0,4	16,2 ± 0,5	13,9 <sup>(1)</sup> ; 10,9 <sup>(2)</sup> ; 14,3 <sup>(4)</sup>	14,1 <sup>(1)</sup>
ECrB [mm]	19 ± 0,8	18,9 ± 0,7	19,3 ± 0,8	18,5 <sup>(2)</sup> ; 27 <sup>(4)</sup>	
ECrH [mm]	13,2 ± 0,5	13 ± 0,6	13,4 ± 0,6	16,4 <sup>(2)</sup> ; 18,6 <sup>(4)</sup>	
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,17 ± 0,14	2,14 ± 0,15	2,24 ± 0,18	2,212 <sup>(2)</sup>	5,867 <sup>(11)</sup>
ECauB [mm]	21,4 ± 1,1	21,9 ± 1,1	22,5 ± 1,1	22 <sup>(2)</sup> ; 27 <sup>(4)</sup>	
ECauH [mm]	12,1 ± 0,2	12,6 ± 0,8	13 ± 0,7	18,5 <sup>(2)</sup> ; 19,3 <sup>(4)</sup>	
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,25 ± 0,09	2,32 ± 0,15	2,44 ± 0,17	2,899 <sup>(2)</sup>	5,972 <sup>(11)</sup>
FVB [mm]	15,3 ± 0,4	16 ± 0,8	16,1 ± 0,8	25,8 <sup>(2)</sup> ; 25,9 <sup>(4)</sup>	
FVH [mm]	13,1 ± 0,3	12,3 ± 1,1	12,2 ± 1,1	18,1 <sup>(2)</sup> ; 15,4 <sup>(4)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,76 ± 0,09	1,74 ± 0,14	1,76 ± 0,15	2,665 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	42,9 ± 0,4	46,7 ± 3,2	51,4 ± 10,9	34,2 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	14,3 ± 0,5	14,6 ± 0,7	15,5 ± 1,3		
PTBre [mm]	14,2 ± 0,9	14,6 ± 0,7	15,5 ± 1,2		
PTLli [mm]	7,2 ± 0,8	7,2 ± 1,1	8,4 ± 1,4		
PTLre [mm]	7,3 ± 0,8	7,2 ± 1	8,4 ± 1,4		
PBli [mm]	6,8 ± 0,3	6,7 ± 0,5	7 ± 0,6	5,6 <sup>(2)</sup> ; 6,2 <sup>(4)</sup>	
PBre [mm]	7 ± 0,3	6,7 ± 0,6	6,9 ± 0,7	6,3 <sup>(2)</sup>	
PLli [mm]	7,5 ± 0,7	8,2 ± 0,5	8,6 ± 0,6	7,5 <sup>(2)</sup> ; 8,1 <sup>(4)</sup>	
PLre [mm]	7,5 ± 0,9	8,2 ± 0,6	8,7 ± 0,7	7,1 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	35,3 ± 2,1	36 ± 1,9	35,9 ± 2	34 <sup>(5)</sup>	
PWre [°]	35,1 ± 2,1	35,7 ± 1,9	35,7 ± 1,6	32 <sup>(5)</sup>	
DILv [mm]	1,9 ± 0,7	1,3 ± 0,4	1,4 ± 0,4	5,2 <sup>(4)</sup>	
DILc [mm]	2,5 ± 0,4	1,6 ± 0,3	1,7 ± 0,2	4,4 <sup>(1)</sup> ; 4,5 <sup>(3)</sup> ; 6,5 <sup>(4)</sup>	3,3 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,7	0,9 ± 0,3	3,6 <sup>(4)</sup>	
DIH [mm]	12 ± 0,6	12,1 ± 0,6	12,6 ± 0,6	20,7 <sup>(3)</sup>	
FVB / ECrB [-]	0,81 ± 0,05	0,85 ± 0,05	0,84 ± 0,07	1,39 <sup>(2)</sup> ; 0,96 <sup>(4)</sup>	
FVH / ECrH [-]	0,99 ± 0,04	0,95 ± 0,09	0,91 ± 0,1	1,1 <sup>(2)</sup> ; 0,83 <sup>(4)</sup>	
DILc / ECrB [-]	0,13 ± 0,02	0,09 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,24 <sup>(4)</sup>	
PSH / ECrH [-]	3,26 ± 0,1	3,59 ± 0,3	3,84 ± 0,88	2,09 <sup>(2)</sup>	
VB / ECrB [-]	2,1 ± 0,09	2,18 ± 0,11	2,23 ± 0,14	2,68 <sup>(2)</sup>	
PL / CVLc [-]	0,54 ± 0,07	0,54 ± 0,03	0,54 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,44 ± 0,08	1,45 ± 0,07	1,44 ± 0,07	1,13 <sup>(2)</sup> ; 1,45 <sup>(4)</sup>	
ECauB / ECauH [-]	1,76 ± 0,07	1,74 ± 0,14	1,73 ± 0,11	1,19 <sup>(2)</sup> ; 1,4 <sup>(4)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,17 ± 0,02	1,3 ± 0,1	1,33 ± 0,11	1,43 <sup>(2)</sup> ; 1,68 <sup>(4)</sup>	
PLre / PBre [-]	1,07 ± 0,1	1,23 ± 0,15	1,27 ± 0,19	1,13 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	1,1 ± 0,07	1,22 ± 0,13	1,25 ± 0,17	1,34 <sup>(2)</sup> ; 1,31 <sup>(4)</sup>	
PTB / PSH [-]	0,33 ± 0,01	0,31 ± 0,02	0,31 ± 0,05		

**Tabelle 20: C7 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

C7 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	40,8 ± 1,3	41,8 ± 2,2	43,8 ± 1,9	66,6 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	20,4 ± 0,7	21,7 ± 2,1	23,6 ± 1,2		
VH [mm]	78,8 ± 4	85,5 ± 4,6	90,7 ± 5,9		
CVLv [mm]	16,3 ± 0,4	17,4 ± 0,8	18,2 ± 0,7	15,7 <sup>(1)</sup> ; 15,1 <sup>(4)</sup>	16,9 <sup>(1)</sup>
CVLc [mm]	15,2 ± 0,5	16,2 ± 0,5	16,9 ± 0,5	14,3 <sup>(1)</sup>	15,2 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	15,6 ± 0,5	16,1 ± 0,5	16,9 ± 0,8	15,9 <sup>(1)</sup> ; 12,8 <sup>(2)</sup> ; 15,3 <sup>(4)</sup>	15,2 <sup>(1)</sup>
ECrB [mm]	18,5 ± 0,8	18,6 ± 1,1	18,7 ± 1,3	21,8 <sup>(2)</sup> ; 29,3 <sup>(4)</sup>	
ECrH [mm]	12,6 ± 0,3	13 ± 1,1	13,3 ± 0,9	18,1 <sup>(2)</sup> ; 19,2 <sup>(4)</sup>	
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2 ± 0,1	2,02 ± 0,16	2,11 ± 0,2	2,783 <sup>(2)</sup>	5,298 <sup>(11)</sup>
ECauB [mm]	22,6 ± 1,4	20 ± 1,8	19,3 ± 2,6	23,4 <sup>(2)</sup> ; 29,4 <sup>(4)</sup>	
ECauH [mm]	12,1 ± 0,2	12,3 ± 0,9	12,6 ± 0,8	16,8 <sup>(2)</sup> ; 20 <sup>(4)</sup>	
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,34 ± 0,12	2,1 ± 0,19	2,17 ± 0,27	2,803 <sup>(2)</sup>	5,676 <sup>(11)</sup>
FVB [mm]	15,9 ± 0,4	16,3 ± 1,1	16,6 ± 0,7	24,5 <sup>(2)</sup> ; 24,6 <sup>(4)</sup>	
FVH [mm]	12,9 ± 0,4	12,2 ± 0,6	11,9 ± 0,7	15,2 <sup>(2)</sup> ; 15,9 <sup>(4)</sup>	
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,75 ± 0,13	1,73 ± 0,16	1,74 ± 0,17	2,238 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	73,6 ± 5,1	80 ± 5,5	85,1 ± 7,4	45,7 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	14,6 ± 0,8	14,3 ± 1,2	15,1 ± 1,1		
PTBre [mm]	14,6 ± 0,8	14 ± 1,4	14,9 ± 1,1		
PTLli [mm]	6,3 ± 1,3	7,1 ± 0,7	7,4 ± 1,1		
PTLre [mm]	6,2 ± 1	7,1 ± 1	7,2 ± 1,5		
PBli [mm]	7,8 ± 0,3	7,3 ± 0,7	7,7 ± 0,9	6,5 <sup>(2)</sup> ; 7,3 <sup>(4)</sup>	
PBre [mm]	8,1 ± 0,2	7,3 ± 0,6	7,7 ± 0,7	6,6 <sup>(2)</sup>	
PLli [mm]	7,1 ± 0,6	7,8 ± 0,5	8 ± 0,6	7,5 <sup>(2)</sup> ; 8,5 <sup>(4)</sup>	
PLre [mm]	7,5 ± 1,3	7,6 ± 0,5	8 ± 0,6	7,5 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	40,2 ± 2,7	42,7 ± 2,5	41,4 ± 2,4	31 <sup>(5)</sup>	
PWre [°]	40,7 ± 3,3	42,2 ± 1,7	41,4 ± 1,9	35 <sup>(5)</sup>	
DILv [mm]	1,7 ± 0,5	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,3	5,3 <sup>(4)</sup>	
DILc [mm]	2,1 ± 0,4	1,6 ± 0,3	1,6 ± 0,1	4,7 <sup>(1)</sup> ; 4,3 <sup>(3)</sup> ; 6,4 <sup>(4)</sup>	2,3 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	1,1 ± 0,2	1 ± 0,3	0,9 ± 0,2	3,5 <sup>(4)</sup>	
DIH [mm]	12 ± 0,2	12 ± 0,7	12,3 ± 0,6	20,8 <sup>(3)</sup>	
FVB / ECrB [-]	0,86 ± 0,05	0,88 ± 0,07	0,89 ± 0,06	1,12 <sup>(2)</sup> ; 0,84 <sup>(4)</sup>	
FVH / ECrH [-]	1,03 ± 0,02	0,95 ± 0,1	0,9 ± 0,08	0,84 <sup>(2)</sup> ; 0,83 <sup>(4)</sup>	
DILc / ECrB [-]	0,11 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,22 <sup>(4)</sup>	
PSH / ECrH [-]	5,87 ± 0,49	6,22 ± 0,78	6,47 ± 0,9	2,52 <sup>(2)</sup>	
VB / ECrB [-]	2,21 ± 0,16	2,25 ± 0,1	2,35 ± 0,2	3,06 <sup>(2)</sup>	
PL / CVLc [-]	0,48 ± 0,07	0,48 ± 0,03	0,48 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,47 ± 0,04	1,44 ± 0,15	1,42 ± 0,11	1,2 <sup>(2)</sup> ; 1,53 <sup>(4)</sup>	
ECauB / ECauH [-]	1,87 ± 0,12	1,63 ± 0,18	1,53 ± 0,18	1,39 <sup>(2)</sup> ; 1,47 <sup>(4)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,24 ± 0,04	1,34 ± 0,1	1,4 ± 0,05	1,61 <sup>(2)</sup> ; 1,55 <sup>(4)</sup>	
PLre / PBre [-]	0,93 ± 0,17	1,04 ± 0,1	1,06 ± 0,13	1,14 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	0,92 ± 0,11	1,07 ± 0,11	1,06 ± 0,15	1,15 <sup>(2)</sup> ; 1,16 <sup>(4)</sup>	
PTB / PSH [-]	0,2 ± 0,02	0,18 ± 0,02	0,18 ± 0,02		

**Tabelle 21: T1 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T1 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	42,8 ± 0,7	43,4 ± 1,6	44,5 ± 1,9	75,3 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	22 ± 1,5	23,4 ± 1,2	24,6 ± 1,3		
VH [mm]	93,6 ± 2,1	96,9 ± 3,7	100,7 ± 4,8		
CVLv [mm]	17,9 ± 0,5	18,3 ± 0,5	19 ± 0,5	17,3 <sup>(1)</sup>	18,4 <sup>(1)</sup> ; 17,1 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	16,2 ± 0,7	17 ± 0,5	17,8 ± 0,5	16,1 <sup>(1)</sup>	17,2 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	16,4 ± 0,8	17,2 ± 0,7	18 ± 0,6	18,8 <sup>(1)</sup> ; 14,1 <sup>(2)</sup>	16,8 <sup>(1)</sup> ; 14,3 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	16,6 ± 0,7	17,6 ± 1,3	17,7 ± 1,3	24,5 <sup>(7)</sup>	18,3 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	12,5 ± 0,4	12,3 ± 0,7	12,8 ± 0,8	18,5 <sup>(7)</sup>	13,4 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,91 ± 0,13	1,88 ± 0,12	1,92 ± 0,14	3 <sup>(7)</sup>	1,93 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	17,7 ± 1,2	17 ± 0,5	17,2 ± 0,4	27,8 <sup>(2)</sup>	19,4 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,9 ± 0,5	12,1 ± 0,6	12,3 ± 0,6	19,7 <sup>(2)</sup>	13,2 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,82 ± 0,2	1,78 ± 0,09	1,91 ± 0,12	3,76 <sup>(7)</sup>	2,02 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	14,2 ± 0,8	14,7 ± 1,1	14,8 ± 1,1	21,8 <sup>(2)</sup>	14,7 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	10 ± 0,6	10,6 ± 1,1	10,4 ± 1,6	16,4 <sup>(2)</sup>	13,6 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,21 ± 0,12	1,32 ± 0,17	1,33 ± 0,19	2,13 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	93 ± 0,4	95,6 ± 3,6	100,8 ± 4,1	50,1 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	14,8 ± 0,1	14,8 ± 0,7	15,4 ± 0,8		
PTBre [mm]	14,9 ± 0,2	14,8 ± 0,8	15,4 ± 0,8		
PTLli [mm]	8,4 ± 0,7	8,1 ± 1,5	9,1 ± 1,4		
PTLre [mm]	8,6 ± 0,8	8,1 ± 1,5	8,8 ± 1,3		
PBli [mm]	6,8 ± 0,6	6,8 ± 0,5	7 ± 0,8	8,7 <sup>(2)</sup>	10,4 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	7 ± 0,5	6,7 ± 0,6	7 ± 0,8	8,2 <sup>(2)</sup>	9,2 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	6,3 ± 0,7	7,1 ± 0,5	7,6 ± 0,7	9,9 <sup>(2)</sup>	10,4 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	6,5 ± 0,6	7 ± 0,5	7,5 ± 0,7	9,3 <sup>(2)</sup>	10,8 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	39,9 ± 1,7	39,4 ± 1,4	39,5 ± 2,1		
PWre [°]	40,6 ± 1,1	39,6 ± 1,5	39,5 ± 3,1		
DILv [mm]	1,1 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2		1,4 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,1 ± 0,3	5 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(1)</sup> ; 2,1 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,9 ± 0,4	0,7 ± 0,2	0,8 ± 0,4		1,4 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,6 ± 0,5	11,8 ± 0,8	11,9 ± 0,7		
FVB / ECrB [-]	0,86 ± 0,02	0,84 ± 0,06	0,84 ± 0,05		0,8 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,81 ± 0,06	0,86 ± 0,09	0,82 ± 0,14		1,01 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,08 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,01		0,11 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	7,47 ± 0,29	7,82 ± 0,5	7,91 ± 0,53		
VB / ECrB [-]	2,59 ± 0,07	2,47 ± 0,16	2,52 ± 0,11		
PL / CVLc [-]	0,4 ± 0,04	0,41 ± 0,03	0,42 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,33 ± 0,03	1,44 ± 0,11	1,39 ± 0,11	1,32 <sup>(7)</sup>	1,37 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,49 ± 0,05	1,42 ± 0,09	1,4 ± 0,06	1,41 <sup>(2)</sup>	1,47 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,41 ± 0,06	1,41 ± 0,2	1,44 ± 0,16	1,33 <sup>(2)</sup>	1,08 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	0,93 ± 0,06	1,04 ± 0,05	1,08 ± 0,11	1,13 <sup>(2)</sup>	1,17 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	0,92 ± 0,08	1,04 ± 0,06	1,09 ± 0,1	1,14 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,16 ± 0	0,15 ± 0	0,15 ± 0		

**Tabelle 22: T2 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T2 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	39,1 ± 0,9	39,2 ± 1,3	40 ± 1,5	69,4 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	22,3 ± 3,5	22,1 ± 2	23,8 ± 1,9	31,7 <sup>(8)</sup>	
VH [mm]	84 ± 6,8	90,8 ± 3,7	94,8 ± 4	64,1 <sup>(8)</sup>	
CVLv [mm]	17,7 ± 0,2	18,5 ± 0,5	19,1 ± 0,5	17,9 <sup>(1)</sup> ; 17,6 <sup>(8)</sup>	18,8 <sup>(1)</sup> ; 17,3 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	17,1 ± 0,5	17,9 ± 0,4	18,4 ± 0,4	16,7 <sup>(1)</sup>	18,1 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	17,8 ± 0,5	18,4 ± 0,6	19,2 ± 0,6	19,1 <sup>(1)</sup> ; 15,6 <sup>(2)</sup>	18,2 <sup>(1)</sup> ; 15,5 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	15,5 ± 0,6	15,5 ± 0,6	15,8 ± 0,7	24,9 <sup>(7)</sup>	17,6 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	12,1 ± 0,3	12,2 ± 0,7	12,6 ± 0,6	19,6 <sup>(7)</sup>	13,1 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,79 ± 0,15	1,73 ± 0,08	1,8 ± 0,08	3,33 <sup>(7)</sup>	1,82 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	16,9 ± 0,6	17 ± 0,4	17,1 ± 0,6	27,4 <sup>(2)</sup>	18,8 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,9 ± 0,1	11,9 ± 0,5	12,4 ± 0,7	21,6 <sup>(2)</sup>	13,2 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,83 ± 0,09	1,79 ± 0,08	1,87 ± 0,1	3,98 <sup>(7)</sup>	1,94 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	12,2 ± 0,5	13 ± 0,7	13 ± 0,8	19,5 <sup>(2)</sup>	12,7 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	9 ± 0,2	9,4 ± 0,7	9,3 ± 0,9	15,3 <sup>(2)</sup>	11,9 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,9 ± 0,03	0,97 ± 0,09	1,02 ± 0,1	2 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	91,6 ± 2,5	96,1 ± 3,1	100,7 ± 3,7	52,1 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13,8 ± 0,3	13,9 ± 0,6	14,2 ± 0,8		
PTBre [mm]	13,9 ± 0,3	14 ± 0,6	14,3 ± 0,6		
PTLli [mm]	5,4 ± 0,6	6,4 ± 0,9	6,8 ± 0,9		
PTLre [mm]	5,1 ± 0,7	6,5 ± 1	6,7 ± 0,9		
PBli [mm]	6,5 ± 0,6	6,2 ± 0,4	6,5 ± 0,6	7,9 <sup>(2)</sup>	7,7 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	6,4 ± 0,6	6,2 ± 0,4	6,5 ± 0,5	8,4 <sup>(2)</sup>	7,2 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	6,9 ± 0,7	7,2 ± 0,3	7,6 ± 0,5	11,6 <sup>(2)</sup>	13,2 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	6,8 ± 0,6	7,1 ± 0,5	7,6 ± 0,5	11,1 <sup>(2)</sup>	12,8 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	33,8 ± 0,9	34,1 ± 1,5	34,1 ± 1,2		
PWre [°]	33,5 ± 1,1	33,7 ± 1,8	34 ± 1,8		
DILv [mm]	0,8 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,7 ± 0,2		1,6 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,6 ± 0,3	1,1 ± 0,2	1,3 ± 0,2	4,5 <sup>(1)</sup>	2,7 <sup>(1)</sup> ; 2,3 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	1 ± 0,3	0,7 ± 0,2	0,7 ± 0,2		1,6 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,6 ± 0,4	11,8 ± 0,6	12 ± 0,5		
FVB / ECrB [-]	0,79 ± 0,06	0,84 ± 0,05	0,82 ± 0,06		0,72 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,75 ± 0,02	0,77 ± 0,06	0,74 ± 0,09		0,91 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,02	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,02		0,13 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	7,55 ± 0,22	7,91 ± 0,43	8 ± 0,5		
VB / ECrB [-]	2,52 ± 0,09	2,52 ± 0,13	2,54 ± 0,11		
PL / CVLc [-]	0,4 ± 0,04	0,4 ± 0,03	0,41 ± 0,03		
ECrB / ECrH [-]	1,28 ± 0,04	1,28 ± 0,09	1,25 ± 0,08	1,27 <sup>(7)</sup>	1,34 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,42 ± 0,04	1,43 ± 0,07	1,38 ± 0,08	1,27 <sup>(2)</sup>	1,42 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,35 ± 0,06	1,39 ± 0,11	1,4 ± 0,14	1,27 <sup>(2)</sup>	1,07 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,06 ± 0,02	1,15 ± 0,09	1,17 ± 0,14	1,32 <sup>(2)</sup>	1,78 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,06 ± 0,03	1,16 ± 0,08	1,18 ± 0,14	1,47 <sup>(2)</sup>	1,71 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,15 ± 0	0,15 ± 0	0,14 ± 0		

**Tabelle 23: T3 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T3 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	37,1 ± 0,6	37,3 ± 1,3	38,3 ± 2	60,8 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	24,4 ± 0,8	26,9 ± 1,6	27,6 ± 2,4		
VH [mm]	79,7 ± 2	82,5 ± 4	87,2 ± 4,1		
CVLv [mm]	17,6 ± 0,2	18 ± 0,4	18,7 ± 0,5	19,3 <sup>(1)</sup>	19 <sup>(1)</sup> ; 18 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	17,1 ± 0,4	17,8 ± 0,3	18,6 ± 0,4	17,5 <sup>(1)</sup>	18,3 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	17,8 ± 0,6	18,5 ± 0,5	19,4 ± 0,4	19,6 <sup>(1)</sup> ; 15,7 <sup>(2)</sup>	18,6 <sup>(1)</sup> ; 17,5 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	15,8 ± 0,7	15,8 ± 0,5	16,3 ± 0,6	24,6 <sup>(7)</sup>	18 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	12,1 ± 0,2	12,1 ± 0,6	12,7 ± 0,6	22,7 <sup>(7)</sup>	13,2 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,83 ± 0,14	1,75 ± 0,09	1,85 ± 0,07	3,73 <sup>(7)</sup>	1,88 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	17,2 ± 0,6	17,2 ± 0,4	17,5 ± 0,7	25,9 <sup>(2)</sup>	18,4 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	12 ± 0,3	12,2 ± 0,5	12,6 ± 0,6	23,2 <sup>(2)</sup>	13,4 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,81 ± 0,16	1,83 ± 0,11	1,93 ± 0,11	4,12 <sup>(7)</sup>	1,95 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	11,9 ± 0,5	12,3 ± 0,8	12,3 ± 0,8	18,3 <sup>(2)</sup>	11,4 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,8 ± 1	8,1 ± 0,5	8 ± 0,7	15,9 <sup>(2)</sup>	10,6 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,84 ± 0,09	0,87 ± 0,08	0,91 ± 0,08	1,8 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	89,6 ± 1,2	91,8 ± 3,8	96,9 ± 3,6	51,7 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13,7 ± 0,6	13,8 ± 1	14,4 ± 0,7		
PTBre [mm]	13,6 ± 0,6	13,9 ± 0,9	14,4 ± 0,8		
PTLli [mm]	6 ± 0,5	6,3 ± 0,5	6,7 ± 0,7		
PTLre [mm]	5,8 ± 0,5	6,4 ± 0,6	6,7 ± 0,7		
PBli [mm]	5,6 ± 0,4	5,5 ± 0,4	5,6 ± 0,5	6,5 <sup>(2)</sup>	6,9 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5,6 ± 0,4	5,5 ± 0,4	5,8 ± 0,5	7 <sup>(2)</sup>	6,8 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	5,9 ± 0,6	6,3 ± 0,7	6,8 ± 1	12 <sup>(2)</sup>	13,8 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	5,9 ± 0,4	6,2 ± 0,7	6,6 ± 0,9	11,8 <sup>(2)</sup>	14,1 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	31,6 ± 0,7	32,4 ± 1,3	31,9 ± 2,1		
PWre [°]	30,5 ± 0,7	32,1 ± 1,5	32,7 ± 1,7		
DILv [mm]	1 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,7 ± 0,2		1,6 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,7 ± 0,1	1,4 ± 0,2	1,3 ± 0,3	4,7 <sup>(1)</sup>	2,5 <sup>(1)</sup> ; 2,3 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	1,2 ± 0,1	1 ± 0,2	0,9 ± 0,4		1,8 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,8 ± 0,5	11,9 ± 0,6	12,1 ± 0,5		
FVB / ECrB [-]	0,75 ± 0,05	0,78 ± 0,07	0,75 ± 0,05		0,63 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,73 ± 0,08	0,67 ± 0,07	0,63 ± 0,07		0,8 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,11 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,02		0,13 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	7,42 ± 0,2	7,61 ± 0,34	7,66 ± 0,34		
VB / ECrB [-]	2,35 ± 0,09	2,37 ± 0,1	2,35 ± 0,11		
PL / CVLc [-]	0,35 ± 0,02	0,35 ± 0,04	0,36 ± 0,05		
ECrB / ECrH [-]	1,31 ± 0,07	1,31 ± 0,07	1,29 ± 0,06	1,08 <sup>(7)</sup>	1,36 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,43 ± 0,01	1,41 ± 0,05	1,4 ± 0,06	1,12 <sup>(2)</sup>	1,37 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,37 ± 0,1	1,52 ± 0,09	1,54 ± 0,14	1,15 <sup>(2)</sup>	1,08 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,06 ± 0,09	1,13 ± 0,17	1,14 ± 0,16	1,69 <sup>(2)</sup>	2,07 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,06 ± 0,09	1,15 ± 0,17	1,21 ± 0,2	1,85 <sup>(2)</sup>	2 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,15 ± 0,01		

**Tabelle 24: T4 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T4 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	35,9 ± 0,9	36,5 ± 1,6	37,1 ± 1,7	56,9 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	26,9 ± 1,8	27,7 ± 1	29,4 ± 1,2		
VH [mm]	71,4 ± 2,1	74,6 ± 4	79,5 ± 2,4		
CVLv [mm]	17,4 ± 0,4	17,7 ± 0,5	18,3 ± 0,5	19,9 <sup>(1)</sup>	18,9 <sup>(1)</sup> ; 18,2 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	17,4 ± 0,3	17,8 ± 0,5	18,5 ± 0,4	17,9 <sup>(1)</sup>	18,5 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	17,9 ± 0,7	18,7 ± 0,7	19,8 ± 1,1	20,6 <sup>(1)</sup> ; 16,2 <sup>(2)</sup>	18,8 <sup>(1)</sup> ; 17,7 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	16,2 ± 0,6	16,5 ± 0,3	16,7 ± 0,4	24,5 <sup>(7)</sup>	18,4 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	12 ± 0,4	12,1 ± 0,6	12,5 ± 0,4	23,3 <sup>(7)</sup>	13 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,87 ± 0,13	1,82 ± 0,08	1,89 ± 0,12	3,81 <sup>(7)</sup>	1,89 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	17,5 ± 0,4	17,6 ± 0,4	17,8 ± 0,5	26 <sup>(2)</sup>	18,5 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	12,3 ± 0,6	12,1 ± 0,6	12,7 ± 0,6	24,5 <sup>(2)</sup>	13,4 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,87 ± 0,1	1,86 ± 0,12	1,97 ± 0,13	4,44 <sup>(7)</sup>	1,96 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	11,5 ± 0,4	12,1 ± 0,8	12 ± 0,5	17 <sup>(2)</sup>	11,2 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,4 ± 0,4	8,2 ± 0,6	8,2 ± 0,6	16,2 <sup>(2)</sup>	10,5 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,81 ± 0,05	0,89 ± 0,07	0,91 ± 0,07	1,92 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	84,6 ± 1,3	86,2 ± 3,7	90,7 ± 3,2	51,1 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	14,1 ± 0,3	14,1 ± 0,6	14,7 ± 0,6		
PTBre [mm]	13,8 ± 0,5	14,2 ± 0,6	14,7 ± 0,6		
PTLli [mm]	6,2 ± 0,4	6,6 ± 0,7	6,9 ± 0,5		
PTLre [mm]	6,1 ± 0,7	6,6 ± 0,7	6,8 ± 0,5		
PBli [mm]	5,3 ± 0,4	5,2 ± 0,4	5,6 ± 0,4	7 <sup>(2)</sup>	6,9 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5,3 ± 0,4	5,3 ± 0,4	5,6 ± 0,5	5,5 <sup>(2)</sup>	6,9 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	6,3 ± 0,8	6,3 ± 0,7	6,4 ± 0,7	12,2 <sup>(2)</sup>	14,3 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	6,1 ± 1	6,3 ± 0,6	6,5 ± 0,8	11,9 <sup>(2)</sup>	14,1 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	30,1 ± 0,7	30,2 ± 2,1	31 ± 1,8		
PWre [°]	30,2 ± 0,6	31,4 ± 1,7	31,1 ± 2		
DILv [mm]	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2		1,6 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,4 ± 0,3	1,3 ± 0,3	1,2 ± 0,2	4,7 <sup>(1)</sup>	2,5 <sup>(1)</sup> ; 2,3 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	1,2 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,2		1,8 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,9 ± 0,4	11,8 ± 0,6	12,2 ± 0,7		
FVB / ECrB [-]	0,71 ± 0,05	0,74 ± 0,05	0,72 ± 0,04		0,61 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,7 ± 0,04	0,68 ± 0,06	0,66 ± 0,05		0,81 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,01		0,12 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	7,08 ± 0,25	7,15 ± 0,35	7,26 ± 0,26		
VB / ECrB [-]	2,22 ± 0,09	2,22 ± 0,1	2,23 ± 0,12		
PL / CVLc [-]	0,35 ± 0,04	0,36 ± 0,03	0,35 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,36 ± 0,05	1,37 ± 0,06	1,33 ± 0,04	1,05 <sup>(7)</sup>	1,42 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,43 ± 0,06	1,46 ± 0,06	1,4 ± 0,04	1,06 <sup>(2)</sup>	1,38 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,38 ± 0,06	1,5 ± 0,16	1,47 ± 0,11	1,05 <sup>(2)</sup>	1,07 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,16 ± 0,19	1,22 ± 0,18	1,16 ± 0,14	2,16 <sup>(2)</sup>	2,04 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,2 ± 0,19	1,23 ± 0,19	1,15 ± 0,13	1,74 <sup>(2)</sup>	2,07 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,17 ± 0,01	0,16 ± 0,01	0,16 ± 0,01		

**Tabelle 25: T5 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T5 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	34,3 ± 1,4	34,7 ± 1,4	35,4 ± 1,6	61,1 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	27,3 ± 1,5	27,5 ± 1,8	28,5 ± 1,6		
VH [mm]	65,1 ± 1,5	68,6 ± 3,6	73,6 ± 3,1		
CVLv [mm]	17,3 ± 0,3	17,8 ± 0,5	18,5 ± 0,4	19,1 <sup>(1)</sup>	19,2 <sup>(1)</sup> ; 18,4 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	17,3 ± 0,4	17,7 ± 0,5	18,4 ± 0,5	17,6 <sup>(1)</sup>	18,3 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	18,3 ± 0,5	18,7 ± 0,6	19,6 ± 0,4	21 <sup>(1)</sup> ; 16,2 <sup>(2)</sup>	18,9 <sup>(1)</sup> ; 18,1 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	17,1 ± 0,5	16,8 ± 0,5	17,1 ± 0,5	24,9 <sup>(7)</sup>	24,9 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	12,2 ± 0,3	12,1 ± 0,6	12,5 ± 0,6	24,3 <sup>(7)</sup>	24,3 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,92 ± 0,13	1,85 ± 0,1	1,92 ± 0,13	4,26 <sup>(7)</sup>	4,26 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	17,7 ± 0,7	17,4 ± 0,6	17,9 ± 0,7	27 <sup>(2)</sup>	18,8 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	12,3 ± 0,5	12,5 ± 0,7	12,8 ± 0,7	25,8 <sup>(2)</sup>	13,4 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,87 ± 0,13	1,78 ± 0,28	1,95 ± 0,15	4,95 <sup>(7)</sup>	1,98 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	10,8 ± 0,1	11,7 ± 0,7	11,6 ± 0,7	17,1 <sup>(2)</sup>	11 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,6 ± 0,2	8,5 ± 0,6	8,5 ± 0,5	16,3 <sup>(2)</sup>	10,1 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,77 ± 0,04	0,89 ± 0,07	0,92 ± 0,08	2,01 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	79,6 ± 1,4	80,5 ± 3,8	85,3 ± 3,3	52,1 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13,7 ± 0,7	13,5 ± 0,7	14 ± 0,7		
PTBre [mm]	13,6 ± 0,6	13,1 ± 1,2	14 ± 0,8		
PTLli [mm]	5,9 ± 0,8	6,3 ± 0,8	6,7 ± 0,7		
PTLre [mm]	5,9 ± 0,7	6,3 ± 0,8	6,7 ± 0,7		
PBli [mm]	5,2 ± 0,3	5 ± 0,3	5,3 ± 0,3	5,7 <sup>(2)</sup>	6,7 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5,2 ± 0,4	5 ± 0,4	5,4 ± 0,3	6,2 <sup>(2)</sup>	6,7 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	6,6 ± 0,3	6,4 ± 0,7	6,6 ± 0,6	11,4 <sup>(2)</sup>	14 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	6,5 ± 0,3	6,3 ± 0,6	6,7 ± 0,7	11,2 <sup>(2)</sup>	14,1 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	28,8 ± 0,9	30,1 ± 1,5	30 ± 1,7		
PWre [°]	28,5 ± 1,2	29,5 ± 1,2	29,7 ± 1,3		
DILv [mm]	1 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2		1,6 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,3 ± 0,2	4,8 <sup>(1)</sup>	2,3 <sup>(1)</sup> ; 2,1 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	1,1 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,8 ± 0,2		1,7 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,7 ± 0,8	11,8 ± 0,4	12,2 ± 0,8		
FVB / ECrB [-]	0,63 ± 0,02	0,7 ± 0,04	0,68 ± 0,04		0,44 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,71 ± 0,03	0,71 ± 0,06	0,68 ± 0,05		0,42 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,08 ± 0,01		0,08 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	6,53 ± 0,15	6,67 ± 0,28	6,81 ± 0,27		
VB / ECrB [-]	2,01 ± 0,11	2,07 ± 0,09	2,08 ± 0,1		
PL / CVLc [-]	0,38 ± 0,01	0,36 ± 0,03	0,36 ± 0,03		
ECrB / ECrH [-]	1,4 ± 0,03	1,39 ± 0,06	1,36 ± 0,06	1,02 <sup>(7)</sup>	1,02 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,43 ± 0,04	1,4 ± 0,07	1,4 ± 0,05	1,05 <sup>(2)</sup>	1,4 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,25 ± 0,02	1,37 ± 0,13	1,36 ± 0,11	1,05 <sup>(2)</sup>	1,09 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,26 ± 0,07	1,26 ± 0,1	1,24 ± 0,1	1,81 <sup>(2)</sup>	2,1 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,26 ± 0,06	1,28 ± 0,15	1,23 ± 0,1	2 <sup>(2)</sup>	2,09 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,17 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,16 ± 0,01		

**Tabelle 26: T6 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T6 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	33,7 ± 1,3	34 ± 1,5	34,6 ± 1,2	61,3 <sup>(2)</sup> ; 55,7 <sup>(9)</sup>	
VL [mm]	27,1 ± 1	27,3 ± 1,5	28,4 ± 1,3		
VH [mm]	60,5 ± 0,8	63,9 ± 3,5	68,3 ± 2,2	59 <sup>(9)</sup>	
CVLv [mm]	17,6 ± 0,4	18,2 ± 0,6	18,9 ± 0,5	19,1 <sup>(1)</sup> ; 17,5 <sup>(9)</sup>	19,3 <sup>(1)</sup> ; 18,7 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	17,6 ± 0,4	18 ± 0,7	18,7 ± 0,4	18,1 <sup>(1)</sup>	18,9 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	18,3 ± 0,7	18,9 ± 0,8	19,9 ± 0,7	21,7 <sup>(1)</sup> ; 17,4 <sup>(2)</sup>	19,1 <sup>(1)</sup> ; 18,3 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	17,1 ± 0,4	16,9 ± 0,5	17,2 ± 0,5	26,2 <sup>(7)</sup>	18,5 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	11,9 ± 0,4	12,2 ± 0,5	12,6 ± 0,5	26 <sup>(7)</sup>	13,3 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,87 ± 0,12	1,86 ± 0,09	1,97 ± 0,14	4,83 <sup>(7)</sup>	1,94 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	17,6 ± 0,7	17,5 ± 0,6	17,6 ± 0,8	28,2 <sup>(2)</sup>	19,1 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	12,1 ± 0,3	12,4 ± 0,6	12,9 ± 0,7	26,9 <sup>(2)</sup> ; 21,8 <sup>(9)</sup>	13,7 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,86 ± 0,13	1,87 ± 0,12	1,95 ± 0,19	5,52 <sup>(7)</sup>	2,05 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	10,9 ± 0,5	11,1 ± 0,7	11,5 ± 0,6	17,3 <sup>(2)</sup> ; 15,1 <sup>(9)</sup>	11,7 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,5 ± 0,3	8,5 ± 0,4	8,4 ± 0,5	16,5 <sup>(2)</sup> ; 14,5 <sup>(9)</sup>	10,6 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,76 ± 0,02	0,86 ± 0,1	0,9 ± 0,08	2,06 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	74 ± 1,1	74,6 ± 3,4	79,2 ± 3	53,8 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13 ± 0,8	13,1 ± 0,6	13,4 ± 0,6		
PTBre [mm]	13 ± 0,7	13 ± 0,6	13,4 ± 0,7		
PTLli [mm]	5,8 ± 0,9	6,7 ± 0,6	6,9 ± 0,5		
PTLre [mm]	5,9 ± 0,7	6,7 ± 0,7	6,9 ± 0,5		
PBli [mm]	5 ± 0,3	5,1 ± 0,2	5,3 ± 0,4	6 <sup>(2)</sup>	7,1 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5 ± 0,3	5,2 ± 0,3	5,4 ± 0,4	6 <sup>(2)</sup>	6,3 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	6,3 ± 0,1	6,8 ± 0,8	7,1 ± 0,9	11,6 <sup>(2)</sup>	14,9 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	6,4 ± 0,4	6,8 ± 0,9	7,1 ± 0,9	12 <sup>(2)</sup>	14,5 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	29,2 ± 0,6	30 ± 1,3	29,6 ± 1,7		
PWre [°]	28,4 ± 1,2	28,9 ± 1,6	29 ± 1,4		
DILv [mm]	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2		1,5 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,4 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,3 ± 0,3	5,3 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(1)</sup> ; 1,9 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,9 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,7 ± 0,2		1,6 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,4 ± 0,4	11,7 ± 0,7	12,1 ± 0,7		
FVB / ECrB [-]	0,64 ± 0,03	0,66 ± 0,05	0,67 ± 0,04		0,63 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,71 ± 0,04	0,7 ± 0,04	0,67 ± 0,05		0,8 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,02		0,1 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	6,21 ± 0,15	6,14 ± 0,34	6,31 ± 0,17		
VB / ECrB [-]	1,97 ± 0,08	2,01 ± 0,09	2,02 ± 0,1		
PL / CVLc [-]	0,36 ± 0,01	0,38 ± 0,04	0,38 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,43 ± 0,03	1,39 ± 0,05	1,37 ± 0,06	1,01 <sup>(7)</sup>	1,39 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,45 ± 0,08	1,41 ± 0,07	1,37 ± 0,05	1,05 <sup>(2)</sup>	1,39 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,29 ± 0,08	1,32 ± 0,08	1,38 ± 0,11	1,05 <sup>(2)</sup> ; 1,04 <sup>(9)</sup>	1,1 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,27 ± 0,04	1,31 ± 0,15	1,3 ± 0,14	2 <sup>(2)</sup>	2,3 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,27 ± 0,05	1,34 ± 0,16	1,33 ± 0,16	1,93 <sup>(2)</sup>	2,1 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,18 ± 0,01	0,17 ± 0,01	0,17 ± 0,01		

**Tabelle 27: T7 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T7 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	34,1 ± 1,6	34,4 ± 1,8	35,1 ± 1,8	60,4 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	27,5 ± 1,7	26,7 ± 1,3	27,5 ± 2,5	50,5 <sup>(2)</sup> ; 34 <sup>(8)</sup>	
VH [mm]	57,7 ± 1,4	59 ± 3	63,5 ± 2,5	63,9 <sup>(8)</sup>	
CVLv [mm]	18,2 ± 0,5	18,4 ± 0,6	19,2 ± 0,5	19,8 <sup>(1)</sup> ; 18,7 <sup>(8)</sup>	19,4 <sup>(1)</sup> ; 19,2 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	17,8 ± 0,4	18,3 ± 0,5	19,2 ± 0,8	19,3 <sup>(1)</sup>	18,9 <sup>(1)</sup> ; 18,5 <sup>(7)</sup>
CVLd [mm]	19 ± 0,7	19,3 ± 0,6	20 ± 0,6	22,4 <sup>(1)</sup> ; 18,2 <sup>(2)</sup>	19,3 <sup>(1)</sup>
ECrB [mm]	16,9 ± 0,5	16,9 ± 0,6	17,3 ± 0,7	27,8 <sup>(7)</sup>	18,6 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	12,1 ± 0,2	12,1 ± 0,6	12,6 ± 0,6	27,4 <sup>(7)</sup>	13,3 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,91 ± 0,1	1,88 ± 0,12	1,99 ± 0,16	5,47 <sup>(7)</sup>	1,95 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	17,7 ± 0,7	17,7 ± 0,6	17,8 ± 0,8	29,1 <sup>(2)</sup>	19,1 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,9 ± 0,6	12,2 ± 0,6	12,7 ± 0,6	28,5 <sup>(2)</sup>	13,7 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,87 ± 0,11	1,91 ± 0,13	1,99 ± 0,18	6,03 <sup>(7)</sup>	2,06 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	10,9 ± 0,5	11 ± 0,5	11,3 ± 0,8	17,3 <sup>(2)</sup>	10,9 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,2 ± 0,1	8 ± 0,6	8,3 ± 0,6	16,1 <sup>(2)</sup>	10,2 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,74 ± 0,02	0,83 ± 0,07	0,88 ± 0,08	1,99 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	67 ± 0,5	67,5 ± 3,4	71,6 ± 3,4		
PTBli [mm]	13,2 ± 0,9	12,8 ± 0,9	13,1 ± 0,8		
PTBre [mm]	13,2 ± 0,8	12,9 ± 0,9	13,2 ± 0,8		
PTLli [mm]	5,8 ± 1	6,7 ± 0,7	7 ± 0,5		
PTLre [mm]	5,9 ± 0,8	6,7 ± 0,8	7,1 ± 0,5		
PBli [mm]	5,4 ± 0,3	5,3 ± 0,4	5,4 ± 0,4	5,2 <sup>(2)</sup>	7,2 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5,2 ± 0,3	5,4 ± 0,4	5,4 ± 0,4	6,5 <sup>(2)</sup>	7,2 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	7 ± 0,8	7,5 ± 1	7,5 ± 0,9	12,2 <sup>(2)</sup>	15,4 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	7 ± 0,6	7,5 ± 1	7,4 ± 1	11,8 <sup>(2)</sup>	15,2 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	29,5 ± 1,9	30,8 ± 1,5	29,8 ± 2		
PWre [°]	28,5 ± 1,6	29,3 ± 1	29,6 ± 1,8		
DILv [mm]	1 ± 0,2	0,8 ± 0,3	0,8 ± 0,2		1,5 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,6 ± 0,3	1,3 ± 0,1	1,3 ± 0,3	5,2 <sup>(1)</sup>	2,1 <sup>(1)</sup> ; 2,1 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,8 ± 0,3	0,7 ± 0,3	0,6 ± 0,3		1,7 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,7 ± 0,7	11,6 ± 0,7	12,1 ± 0,8		
FVB / ECrB [-]	0,65 ± 0,03	0,66 ± 0,03	0,65 ± 0,04		0,59 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,67 ± 0,01	0,66 ± 0,05	0,66 ± 0,05		0,77 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,09 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,02		0,11 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	5,53 ± 0,09	5,58 ± 0,36	5,67 ± 0,27		
VB / ECrB [-]	2,02 ± 0,11	2,04 ± 0,13	2,04 ± 0,11		
PL / CVLc [-]	0,4 ± 0,03	0,41 ± 0,05	0,39 ± 0,05		0,83 <sup>(7)</sup>
ECrB / ECrH [-]	1,39 ± 0,03	1,39 ± 0,06	1,37 ± 0,04	1,01 <sup>(7)</sup>	1,4 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,49 ± 0,1	1,45 ± 0,08	1,4 ± 0,05	1,02 <sup>(2)</sup>	1,39 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,34 ± 0,06	1,38 ± 0,12	1,36 ± 0,12	1,07 <sup>(2)</sup>	1,07 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,35 ± 0,06	1,4 ± 0,19	1,38 ± 0,2	1,82 <sup>(2)</sup>	2,11 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,31 ± 0,1	1,41 ± 0,17	1,41 ± 0,19	2,35 <sup>(2)</sup>	2,14 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,2 ± 0,01	0,19 ± 0,02	0,18 ± 0,01		

**Tabelle 28: T8 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T8 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	35 ± 1,3	34,9 ± 1,6	35,8 ± 1,7	59,9 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	26,1 ± 2,1	26,3 ± 1,2	27 ± 2		
VH [mm]	54,7 ± 1,2	56,4 ± 2,9	60,3 ± 2,7		
CVLv [mm]	18,6 ± 0,3	18,9 ± 0,6	19,7 ± 0,7	20,1 <sup>(1)</sup>	19,8 <sup>(1)</sup> ; 19,1 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	18,3 ± 0,5	18,7 ± 0,5	19,3 ± 0,5	19,8 <sup>(1)</sup>	19,5 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	19,2 ± 0,6	19,9 ± 0,6	20,5 ± 0,6	22,7 <sup>(1)</sup> ; 18,7 <sup>(2)</sup>	19,9 <sup>(1)</sup> ; 19,7 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	17,5 ± 0,4	17,5 ± 0,6	17,5 ± 0,7	29,5 <sup>(7)</sup>	18,4 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	11,9 ± 0,4	12,1 ± 0,7	12,6 ± 0,8	27,9 <sup>(7)</sup>	13,3 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,92 ± 0,13	1,97 ± 0,16	2,03 ± 0,16	6,05 <sup>(7)</sup>	1,93 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	18,2 ± 0,9	18,1 ± 0,6	18,4 ± 0,7	30,5 <sup>(2)</sup>	19,4 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,8 ± 0,4	12 ± 0,7	12,6 ± 0,7	29,4 <sup>(2)</sup>	13,5 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,98 ± 0,1	1,99 ± 0,12	2,08 ± 0,13	6,64 <sup>(7)</sup>	2,06 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	10,9 ± 0,6	10,9 ± 0,8	11,1 ± 0,9	17,7 <sup>(2)</sup>	11,5 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,2 ± 0,5	8,1 ± 0,7	8,2 ± 0,5	15,9 <sup>(2)</sup>	9,3 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,74 ± 0,07	0,83 ± 0,09	0,86 ± 0,08	1,94 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	58,8 ± 1,3	59,6 ± 3,4	63,9 ± 3,6	52,8 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	13 ± 0,6	12,7 ± 0,8	13,4 ± 0,9		
PTBre [mm]	13,2 ± 0,6	12,6 ± 0,8	13,4 ± 0,9		
PTLli [mm]	6,6 ± 0,9	7,2 ± 0,5	7,5 ± 0,5		
PTLre [mm]	6,7 ± 0,9	7,3 ± 0,6	7,6 ± 0,7		
PBli [mm]	5,4 ± 0,3	5,5 ± 0,4	5,6 ± 0,4	6,7 <sup>(2)</sup>	6,7 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5,5 ± 0,3	5,6 ± 0,5	5,7 ± 0,4	6,7 <sup>(2)</sup>	6,9 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	7,8 ± 0,6	8,4 ± 0,7	8,1 ± 0,8	12,5 <sup>(2)</sup>	15,9 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	7,8 ± 0,7	8,4 ± 0,7	8,1 ± 0,9	12,5 <sup>(2)</sup>	15,7 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	30,8 ± 0,9	31 ± 1,8	30,4 ± 1,5		
PWre [°]	30,7 ± 1,6	30,5 ± 1,4	30,4 ± 1,4		
DILv [mm]	0,8 ± 0,3	1 ± 0,3	0,9 ± 0,2		1,4 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,4 ± 0,3	1,2 ± 0,3	1,2 ± 0,2	4,9 <sup>(1)</sup>	2,1 <sup>(1)</sup> ; 2,1 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,8 ± 0,3	0,6 ± 0,4	0,7 ± 0,4		1,6 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,5 ± 0,5	11,5 ± 0,7	12 ± 0,8		
FVB / ECrB [-]	0,62 ± 0,03	0,62 ± 0,04	0,64 ± 0,06		0,62 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,69 ± 0,04	0,67 ± 0,06	0,66 ± 0,06		0,7 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,08 ± 0,02	0,07 ± 0,02	0,07 ± 0,01		0,11 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	4,93 ± 0,09	4,94 ± 0,35	5,07 ± 0,26		
VB / ECrB [-]	2 ± 0,07	1,99 ± 0,1	2,05 ± 0,13		
PL / CVLc [-]	0,43 ± 0,03	0,45 ± 0,03	0,42 ± 0,05		
ECrB / ECrH [-]	1,47 ± 0,05	1,45 ± 0,06	1,39 ± 0,07	1,06 <sup>(7)</sup>	1,38 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,55 ± 0,03	1,51 ± 0,09	1,46 ± 0,07	1,04 <sup>(2)</sup>	1,44 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,33 ± 0,06	1,34 ± 0,14	1,35 ± 0,1	1,11 <sup>(2)</sup>	1,24 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,44 ± 0,07	1,51 ± 0,16	1,42 ± 0,15	1,87 <sup>(2)</sup>	2,28 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,43 ± 0,04	1,54 ± 0,14	1,45 ± 0,15	1,87 <sup>(2)</sup>	2,37 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,22 ± 0,01	0,21 ± 0,02	0,21 ± 0,02		

**Tabelle 29: T9 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T9 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	34,5 ± 0,8	34,3 ± 2,7	36 ± 1,7	59,3 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	23,1 ± 2,4	24,3 ± 1,7	25,8 ± 1,8		
VH [mm]	53 ± 0,8	53,6 ± 2,3	56,9 ± 2,2		
CVLv [mm]	18,8 ± 0,5	19,2 ± 0,6	19,9 ± 0,7	21,4 <sup>(1)</sup>	20,2 <sup>(1)</sup> ; 19,6 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	18,3 ± 0,2	18,9 ± 0,5	19,7 ± 0,5	21,3 <sup>(1)</sup>	19,7 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	19,8 ± 0,5	20 ± 0,7	20,5 ± 0,7	23,7 <sup>(1)</sup> ; 19,3 <sup>(2)</sup>	20,3 <sup>(1)</sup> ; 19,9 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	17,6 ± 0,3	18 ± 0,6	18,1 ± 0,7	30,6 <sup>(7)</sup>	19,5 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	11,4 ± 0,1	11,9 ± 0,6	12,4 ± 0,7	29,3 <sup>(7)</sup>	13,8 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	1,97 ± 0,09	2,04 ± 0,12	2,12 ± 0,16	6,78 <sup>(7)</sup>	2,12 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	18,2 ± 0,4	18,5 ± 0,8	18,6 ± 0,9	33 <sup>(2)</sup>	20,4 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,6 ± 0,2	11,6 ± 0,6	12,1 ± 0,9	31 <sup>(2)</sup>	13,9 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	1,99 ± 0,1	2,02 ± 0,12	2,11 ± 0,16	7,55 <sup>(7)</sup>	2,25 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	10,2 ± 1,1	10,8 ± 0,6	11 ± 0,9	17,9 <sup>(2)</sup>	12,1 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8,2 ± 0,5	8,2 ± 0,5	8,3 ± 0,7	15,7 <sup>(2)</sup>	8,9 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,78 ± 0,08	0,87 ± 0,1	0,91 ± 0,1	2 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	52,1 ± 0,8	53 ± 2,8	56,7 ± 2,8	51,3 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	12,8 ± 0,2	12,7 ± 0,8	13,1 ± 0,8		
PTBre [mm]	12,9 ± 0,2	12,7 ± 0,9	13,2 ± 0,9		
PTLli [mm]	7,5 ± 0,9	7,9 ± 0,8	8,2 ± 0,8		
PTLre [mm]	7,3 ± 0,9	7,9 ± 0,9	8,2 ± 0,7		
PBli [mm]	5,9 ± 0,4	5,9 ± 0,6	6,1 ± 0,4	7,7 <sup>(2)</sup>	7,6 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	5,9 ± 0,4	6,1 ± 0,6	6,3 ± 0,4	7,6 <sup>(2)</sup>	6,8 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	8,7 ± 0,6	9,2 ± 0,9	9,3 ± 0,8	13,8 <sup>(2)</sup>	15,8 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	8,8 ± 0,5	9,2 ± 0,8	9,1 ± 0,7	13,9 <sup>(2)</sup>	15,6 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	32,6 ± 1,2	33,1 ± 2	31,9 ± 2,1		
PWre [°]	33,7 ± 1,8	33,2 ± 1,6	32,7 ± 1,7		
DILv [mm]	0,8 ± 0,2	1 ± 0,3	1,1 ± 0,3		1,5 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,7 ± 0,6	1,3 ± 0,2	1,3 ± 0,2	4,8 <sup>(1)</sup>	1,9 <sup>(1)</sup> ; 2,3 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,6 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,7 ± 0,3		1,7 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	11,2 ± 0,4	11,4 ± 0,6	12 ± 0,8		
FVB / ECrB [-]	0,58 ± 0,07	0,6 ± 0,03	0,6 ± 0,04		0,62 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,73 ± 0,04	0,69 ± 0,05	0,67 ± 0,07		0,64 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,09 ± 0,03	0,07 ± 0,01	0,07 ± 0,01		0,12 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	4,59 ± 0,1	4,46 ± 0,25	4,58 ± 0,23		
VB / ECrB [-]	1,96 ± 0,05	1,91 ± 0,16	1,99 ± 0,13		
PL / CVLc [-]	0,48 ± 0,03	0,49 ± 0,04	0,47 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,55 ± 0,02	1,52 ± 0,08	1,47 ± 0,08	1,04 <sup>(7)</sup>	1,41 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,58 ± 0,02	1,6 ± 0,1	1,54 ± 0,11	1,06 <sup>(2)</sup>	1,47 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,24 ± 0,06	1,33 ± 0,09	1,33 ± 0,12	1,14 <sup>(2)</sup>	1,36 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,49 ± 0,11	1,52 ± 0,16	1,46 ± 0,13	1,83 <sup>(2)</sup>	2,29 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,48 ± 0,09	1,57 ± 0,17	1,53 ± 0,15	1,79 <sup>(2)</sup>	2,08 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,25 ± 0	0,24 ± 0,02	0,23 ± 0,02		

**Tabelle 30: T10 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T10 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	30,3 ± 2,5	31,9 ± 3,1	33,5 ± 2,3	58,4 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	25,6 ± 1,7	26,5 ± 1,6	27 ± 1,4		
VH [mm]	51,6 ± 0,8	52 ± 2,2	54,9 ± 1,9		
CVLv [mm]	19,2 ± 0,5	19,5 ± 0,7	20,2 ± 0,7	23,3 <sup>(1)</sup>	20,7 <sup>(1)</sup> ; 20 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	18,2 ± 0,4	19,3 ± 1	20 ± 0,5	22,2 <sup>(1)</sup>	20,3 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	19,7 ± 0,7	20,5 ± 0,8	21,5 ± 0,5	25,3 <sup>(1)</sup> ; 20,2 <sup>(2)</sup>	20,9 <sup>(1)</sup> ; 20,3 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	18,1 ± 0,2	18,7 ± 0,9	18,9 ± 1,1	31,9 <sup>(7)</sup>	20 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	11,3 ± 0,4	11,7 ± 0,8	12,3 ± 0,9	30,5 <sup>(7)</sup>	13,7 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,03 ± 0,13	2,11 ± 0,16	2,21 ± 0,19	7,27 <sup>(7)</sup>	2,17 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	19,2 ± 0,4	19,6 ± 0,9	19,6 ± 1	35,4 <sup>(2)</sup>	21,1 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,2 ± 0,6	11,6 ± 0,6	12 ± 0,8	31,6 <sup>(2)</sup>	13,7 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,02 ± 0,11	2,1 ± 0,13	2,21 ± 0,18	8,34 <sup>(7)</sup>	2,27 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	10,8 ± 1,4	11 ± 0,6	11,2 ± 0,9	18,2 <sup>(2)</sup>	12,4 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	8 ± 0,5	8,3 ± 0,4	8,3 ± 0,6	15,5 <sup>(2)</sup>	8,9 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,84 ± 0,09	0,9 ± 0,08	0,94 ± 0,08	2,02 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	47,9 ± 1	48,2 ± 2,7	51,3 ± 2,7	49,3 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	9,8 ± 1,6	10,4 ± 1,7	11,5 ± 1,3		
PTBre [mm]	10,8 ± 0,9	10,5 ± 1,7	11,5 ± 1,3		
PTLli [mm]	8,2 ± 1,1	9,4 ± 0,5	8,9 ± 1,6		
PTLre [mm]	8,3 ± 0,9	9,6 ± 0,6	8,8 ± 1,6		
PBli [mm]	6,4 ± 0,4	6,5 ± 0,4	6,7 ± 0,4	9,7 <sup>(2)</sup>	7,6 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	6,4 ± 0,4	6,6 ± 0,4	6,7 ± 0,4	8,3 <sup>(2)</sup>	6,5 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	9,6 ± 1,2	10,4 ± 0,7	10,3 ± 0,4	15 <sup>(2)</sup>	15,8 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	9,6 ± 1	10,4 ± 0,7	10,4 ± 0,6	14,7 <sup>(2)</sup>	15,5 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	34,9 ± 0,3	34,9 ± 1,9	34,7 ± 1,9		
PWre [°]	34,7 ± 1,4	34,1 ± 1,5	34,3 ± 1,6		
DILv [mm]	0,8 ± 0,4	1 ± 0,3	1,1 ± 0,3		1,5 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,8 ± 0,4	1,4 ± 0,3	1,5 ± 0,3	5,9 <sup>(1)</sup>	2,3 <sup>(1)</sup> ; 2,4 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,3	0,4 ± 0,3		1,6 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	10,8 ± 0,5	11,1 ± 0,6	11,9 ± 0,9		
FVB / ECrB [-]	0,59 ± 0,08	0,59 ± 0,03	0,6 ± 0,03		0,62 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,71 ± 0,05	0,71 ± 0,06	0,68 ± 0,07		0,65 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,02		0,12 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	4,23 ± 0,17	4,11 ± 0,24	4,18 ± 0,26		
VB / ECrB [-]	1,68 ± 0,14	1,7 ± 0,15	1,78 ± 0,13		
PL / CVLc [-]	0,53 ± 0,05	0,54 ± 0,05	0,52 ± 0,03		
ECrB / ECrH [-]	1,6 ± 0,05	1,6 ± 0,11	1,53 ± 0,11	1,05 <sup>(7)</sup>	1,46 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,72 ± 0,1	1,69 ± 0,1	1,64 ± 0,12	1,12 <sup>(2)</sup>	1,54 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,34 ± 0,2	1,33 ± 0,1	1,36 ± 0,14	1,17 <sup>(2)</sup>	1,39 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,51 ± 0,07	1,58 ± 0,14	1,55 ± 0,14	1,77 <sup>(2)</sup>	2,38 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,51 ± 0,12	1,62 ± 0,13	1,55 ± 0,1	1,55 <sup>(2)</sup>	2,08 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,21 ± 0,03	0,22 ± 0,03	0,22 ± 0,03		

**Tabelle 31: T11 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T11 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	28,6 ± 2	29,8 ± 3	30 ± 2,3	52,2 <sup>(2)</sup>	
VL [mm]	26,4 ± 1,2	27,6 ± 1,5	28,3 ± 1,1		
VH [mm]	50,3 ± 1,1	50,9 ± 2,3	53,3 ± 2		
CVLv [mm]	19,5 ± 0,4	19,5 ± 0,5	20,2 ± 0,8	24,2 <sup>(1)</sup>	21,1 <sup>(1)</sup> ; 20,2 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	18,6 ± 0,5	19,4 ± 0,7	20,1 ± 0,6	24,2 <sup>(1)</sup>	20,6 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	20,2 ± 0,6	20,7 ± 0,7	21,6 ± 0,8	27,1 <sup>(1)</sup> ; 21,3 <sup>(2)</sup>	21 <sup>(1)</sup> ; 20,9 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	18,3 ± 0,5	19,2 ± 1	19,6 ± 1	34,9 <sup>(7)</sup>	21 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	11,3 ± 0,3	11,7 ± 0,7	12,1 ± 0,6	31,9 <sup>(7)</sup>	13,9 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,04 ± 0,1	2,16 ± 0,15	2,24 ± 0,16	8,42 <sup>(7)</sup>	2,29 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	20,1 ± 0,8	20,6 ± 1,2	21 ± 1,3	39,1 <sup>(2)</sup>	22 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,3 ± 0,6	11,6 ± 0,7	12 ± 0,7	31,8 <sup>(2)</sup>	14 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,06 ± 0,09	2,19 ± 0,15	2,28 ± 0,18	9,45 <sup>(7)</sup>	2,43 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	11,1 ± 1	11,1 ± 0,6	11,5 ± 0,6	19,4 <sup>(2)</sup>	12,9 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	7,9 ± 0,5	8,1 ± 0,4	8,2 ± 0,5	16 <sup>(2)</sup>	9,6 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,84 ± 0,11	0,88 ± 0,08	0,95 ± 0,09	2,2 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	45,1 ± 1,4	45,7 ± 2,3	48,1 ± 2,1	45,6 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	7,7 ± 0,5	8,9 ± 1,4	9,1 ± 1,1		
PTBre [mm]	7,8 ± 0,5	8,9 ± 1,3	8,9 ± 1,1		
PTLli [mm]	4 ± 1,1	3,6 ± 0,3	4,2 ± 0,5		
PTLre [mm]	4 ± 0,9	3,5 ± 0,3	4,3 ± 0,5		
PBli [mm]	6,5 ± 0,7	6,7 ± 0,6	7 ± 0,6	10,7 <sup>(2)</sup>	7 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	6,6 ± 0,6	6,8 ± 0,6	7,1 ± 0,7	8,8 <sup>(2)</sup>	7,1 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	10,3 ± 1,1	11,6 ± 0,7	11,8 ± 0,9	17,8 <sup>(2)</sup>	16,1 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	10,2 ± 0,7	11,8 ± 0,8	11,8 ± 0,7	16,9 <sup>(2)</sup>	16,7 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	35,8 ± 1,1	34,9 ± 1,4	35,7 ± 1,6		
PWre [°]	35,5 ± 0,7	35,5 ± 1,6	35,1 ± 2		
DILv [mm]	1 ± 0,3	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,4		1,6 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,8 ± 0,5	1,4 ± 0,4	1,6 ± 0,3	6,1 <sup>(1)</sup>	2 <sup>(1)</sup> ; 2,6 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,4 ± 0,1	0,4 ± 0,3	0,3 ± 0,2		1,8 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	10,7 ± 0,5	11,2 ± 0,6	11,4 ± 0,6		
FVB / ECrB [-]	0,61 ± 0,07	0,58 ± 0,03	0,59 ± 0,04		0,61 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,7 ± 0,05	0,69 ± 0,05	0,68 ± 0,06		0,69 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,01		0,12 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	3,99 ± 0,22	3,91 ± 0,21	3,98 ± 0,18		
VB / ECrB [-]	1,56 ± 0,11	1,56 ± 0,15	1,53 ± 0,11		
PL / CVLc [-]	0,55 ± 0,04	0,6 ± 0,03	0,59 ± 0,03		
ECrB / ECrH [-]	1,62 ± 0,01	1,64 ± 0,07	1,62 ± 0,1	1,09 <sup>(7)</sup>	1,51 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,79 ± 0,1	1,78 ± 0,09	1,76 ± 0,14	1,23 <sup>(2)</sup>	1,57 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,4 ± 0,11	1,37 ± 0,09	1,41 ± 0,1	1,21 <sup>(2)</sup>	1,34 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,54 ± 0,06	1,75 ± 0,19	1,67 ± 0,16	1,92 <sup>(2)</sup>	2,35 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,59 ± 0,04	1,74 ± 0,17	1,68 ± 0,16	1,66 <sup>(2)</sup>	2,3 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,17 ± 0,01	0,2 ± 0,03	0,19 ± 0,03		

**Tabelle 32: T12 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T12 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	30,3 ± 2	31,5 ± 3,4	32,3 ± 2,8	46,9 <sup>(2)</sup> ; 42 <sup>(9)</sup>	
VL [mm]	27,1 ± 1	28,8 ± 1,5	29,1 ± 1,1	45,5 <sup>(8)</sup>	
VH [mm]	49,7 ± 1,3	50,1 ± 1,9	52,4 ± 2	73,4 <sup>(8)</sup> ; 66,3 <sup>(9)</sup>	
CVLv [mm]	19,2 ± 0,7	19 ± 2,7	20,6 ± 0,7	25,6 <sup>(1)</sup> ; 23,4 <sup>(8)</sup> ; 21,6 <sup>(9)</sup>	21,1 <sup>(1)</sup> ; 20,5 <sup>(7)</sup>
CVLc [mm]	18,8 ± 0,6	19,9 ± 0,8	20,8 ± 0,7	25,5 <sup>(1)</sup>	20,8 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	20,3 ± 0,5	21,1 ± 1	22,3 ± 0,9	28,5 <sup>(1)</sup> ; 22,7 <sup>(2)</sup>	21,6 <sup>(1)</sup> ; 20,9 <sup>(7)</sup>
ECrB [mm]	19 ± 0,6	19,4 ± 0,9	19,7 ± 0,9	39 <sup>(7)</sup>	21,4 <sup>(7)</sup>
ECrH [mm]	11,2 ± 0,6	12 ± 0,8	12,2 ± 0,8	32,8 <sup>(7)</sup>	14,2 <sup>(7)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,05 ± 0,11	2,15 ± 0,14	2,24 ± 0,18	9,54 <sup>(7)</sup>	2,4 <sup>(7)</sup>
ECauB [mm]	21,4 ± 0,6	21,9 ± 1,2	21,9 ± 1,1	42,1 <sup>(2)</sup>	22,5 <sup>(7)</sup>
ECauH [mm]	11,5 ± 0,6	12,1 ± 0,9	12,3 ± 0,9	33,4 <sup>(2)</sup> ; 27,5 <sup>(9)</sup>	14,3 <sup>(7)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,14 ± 0,13	2,25 ± 0,17	2,37 ± 0,19	10,24 <sup>(7)</sup>	2,53 <sup>(7)</sup>
FVB [mm]	11 ± 0,8	11,3 ± 0,8	11,7 ± 0,6	22,2 <sup>(2)</sup> ; 19,5 <sup>(9)</sup>	13,3 <sup>(7)</sup>
FVH [mm]	7,8 ± 0,5	8,3 ± 0,5	8,1 ± 0,5	18,1 <sup>(2)</sup> ; 14,6 <sup>(9)</sup>	9,7 <sup>(7)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,85 ± 0,09	0,91 ± 0,1	0,94 ± 0,08	2,8 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	45,5 ± 1,7	45,3 ± 1,5	47,5 ± 1,6	47,4 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	8,8 ± 0,9	9,5 ± 1,7	9,8 ± 1,5		
PTBre [mm]	8,9 ± 0,6	9,5 ± 1,8	9,8 ± 1,5		
PTLli [mm]	4,1 ± 0,4	4,2 ± 0,7	4,5 ± 0,9		
PTLre [mm]	4,1 ± 0,3	4 ± 0,8	4,5 ± 0,9		
PBli [mm]	6,4 ± 0,6	6,7 ± 0,4	6,7 ± 0,6	8,6 <sup>(2)</sup>	7,3 <sup>(7)</sup>
PBre [mm]	6,5 ± 0,6	6,8 ± 0,5	6,8 ± 0,8	8,8 <sup>(2)</sup>	7,6 <sup>(7)</sup>
PLli [mm]	11,7 ± 0,7	12,9 ± 0,8	13 ± 0,9	16,8 <sup>(2)</sup>	16,4 <sup>(7)</sup>
PLre [mm]	11,7 ± 0,5	12,8 ± 0,8	13,2 ± 0,8	16,5 <sup>(2)</sup>	16,1 <sup>(7)</sup>
PWli [°]	35,7 ± 1,5	34,9 ± 1,3	34,3 ± 1,6		
PWre [°]	36,6 ± 0,9	34,5 ± 1,4	34,4 ± 1,9		
DILv [mm]	1 ± 0,4	1,5 ± 0,2	1,4 ± 0,4		1,7 <sup>(7)</sup>
DILc [mm]	1,9 ± 0,3	1,7 ± 0,3	1,8 ± 0,2	9,3 <sup>(1)</sup>	2,4 <sup>(1)</sup> ; 3 <sup>(7)</sup>
DILd [mm]	0,5 ± 0,2	0,3 ± 0,2	0,3 ± 0,1		1,8 <sup>(7)</sup>
DIH [mm]	10,8 ± 0,6	11,2 ± 0,6	11,5 ± 0,7		
FVB / ECrB [-]	0,58 ± 0,04	0,59 ± 0,03	0,6 ± 0,04		0,62 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,71 ± 0,08	0,69 ± 0,07	0,67 ± 0,07		0,68 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01		0,14 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH [-]	4,09 ± 0,31	3,79 ± 0,26	3,9 ± 0,22		
VB / ECrB [-]	1,6 ± 0,14	1,62 ± 0,15	1,64 ± 0,14		
PL / CVLc [-]	0,62 ± 0,03	0,65 ± 0,03	0,63 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,7 ± 0,15	1,62 ± 0,08	1,61 ± 0,09	1,19 <sup>(7)</sup>	1,51 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,87 ± 0,13	1,82 ± 0,15	1,78 ± 0,14	1,26 <sup>(2)</sup>	1,57 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH [-]	1,41 ± 0,09	1,38 ± 0,13	1,45 ± 0,09	1,23 <sup>(2)</sup> ; 1,34 <sup>(9)</sup>	1,37 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre [-]	1,82 ± 0,12	1,9 ± 0,16	1,95 ± 0,19	1,87 <sup>(2)</sup>	2,12 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli [-]	1,85 ± 0,11	1,93 ± 0,17	1,96 ± 0,18	1,95 <sup>(2)</sup>	2,25 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH [-]	0,2 ± 0,01	0,21 ± 0,04	0,21 ± 0,03		

**Tabelle 33: T13 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T13		Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
Merkmal		Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB	[mm]	34,4 ± 3,1	36 ± 3,2	38 ± 4,7		
VL	[mm]	29 ± 0,8	30,1 ± 1,1	31,3 ± 1,3		
VH	[mm]	49,4 ± 1,5	49,5 ± 1,9	52,2 ± 2		
CVLv	[mm]	19,7 ± 0,7	20,3 ± 0,9	21 ± 0,7		21,5 <sup>(1)</sup> ; 20,5 <sup>(7)</sup>
CVLc	[mm]	19,7 ± 0,5	20,8 ± 0,9	21,7 ± 0,7		21 <sup>(1)</sup>
CVLd	[mm]	21,4 ± 0,7	22,3 ± 0,7	23,1 ± 0,8		22,1 <sup>(1)</sup> ; 21,1 <sup>(7)</sup>
ECrB	[mm]	20 ± 0,1	20,2 ± 1	20,8 ± 0,9		22,4 <sup>(7)</sup>
ECrH	[mm]	11,8 ± 0,8	12,2 ± 0,8	12,7 ± 1		14,2 <sup>(7)</sup>
ECrF	[cm <sup>2</sup> ]	2,08 ± 0,13	2,21 ± 0,14	2,33 ± 0,19		2,52 <sup>(7)</sup>
ECauB	[mm]	23,1 ± 0,9	23,1 ± 1,3	24 ± 1,3		23,4 <sup>(7)</sup>
ECauH	[mm]	11,7 ± 0,8	12,3 ± 0,7	12,8 ± 1,1		14,4 <sup>(7)</sup>
ECauF	[cm <sup>2</sup> ]	2,26 ± 0,14	2,38 ± 0,19	2,53 ± 0,25		2,66 <sup>(7)</sup>
FVB	[mm]	11,3 ± 0,3	11,4 ± 0,8	11,7 ± 0,6		13,5 <sup>(7)</sup>
FVH	[mm]	7,6 ± 0,4	8,1 ± 0,4	8,2 ± 0,4		9,5 <sup>(7)</sup>
FVF	[cm <sup>2</sup> ]	0,86 ± 0,07	0,91 ± 0,1	0,95 ± 0,09		
PSH	[mm]	45,4 ± 1,7	45,4 ± 1,6	47,5 ± 1,5		
PTBli	[mm]	11,5 ± 1,5	11,6 ± 2,2	12,2 ± 1,9		
PTBre	[mm]	11,7 ± 1,9	11,5 ± 2,1	12,3 ± 2,1		
PTLli	[mm]	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,6	5,7 ± 0,6		
PTLre	[mm]	4,6 ± 0,6	4,8 ± 0,7	5,6 ± 0,7		
PBli	[mm]	6,7 ± 0,6	6,8 ± 0,5	7,1 ± 0,7		6,9 <sup>(7)</sup>
PBre	[mm]	6,7 ± 0,6	6,8 ± 0,6	7,1 ± 0,6		7,6 <sup>(7)</sup>
PLli	[mm]	12,8 ± 1	13,7 ± 0,7	14,3 ± 1		17 <sup>(7)</sup>
PLre	[mm]	12,8 ± 1	13,7 ± 0,6	14,4 ± 0,9		16,4 <sup>(7)</sup>
PWli	[°]	35,9 ± 1	34,6 ± 1,7	33,6 ± 2		
PWre	[°]	35,8 ± 1,9	34,2 ± 1,8	34,5 ± 2		
DILv	[mm]	1,5 ± 0,4	1,7 ± 0,4	1,6 ± 0,4		1,9 <sup>(7)</sup>
DILc	[mm]	2,1 ± 0,4	1,7 ± 0,3	1,6 ± 0,3		2,2 <sup>(1)</sup> ; 3,3 <sup>(7)</sup>
DILd	[mm]	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,3 ± 0,2		1,9 <sup>(7)</sup>
DIH	[mm]	11,3 ± 0,7	11,7 ± 0,7	11,8 ± 0,8		
FVB / ECrB	[-]	0,56 ± 0,01	0,56 ± 0,04	0,56 ± 0,03		0,6 <sup>(7)</sup>
FVH / ECrH	[-]	0,65 ± 0,08	0,67 ± 0,06	0,65 ± 0,07		0,67 <sup>(7)</sup>
DILc / ECrB	[-]	0,1 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,08 ± 0,02		0,15 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH	[-]	3,88 ± 0,37	3,74 ± 0,28	3,76 ± 0,3		
VB / ECrB	[-]	1,71 ± 0,15	1,78 ± 0,15	1,83 ± 0,2		
PL / CVLc	[-]	0,65 ± 0,05	0,66 ± 0,03	0,66 ± 0,03		
ECrB / ECrH	[-]	1,71 ± 0,12	1,66 ± 0,12	1,64 ± 0,14		1,58 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH	[-]	1,98 ± 0,15	1,89 ± 0,11	1,89 ± 0,15		1,62 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH	[-]	1,48 ± 0,08	1,4 ± 0,08	1,44 ± 0,1		1,42 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre	[-]	1,92 ± 0,08	2,03 ± 0,16	2,03 ± 0,2		2,16 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli	[-]	1,91 ± 0,09	2,02 ± 0,16	2,02 ± 0,22		2,46 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH	[-]	0,26 ± 0,04	0,26 ± 0,05	0,26 ± 0,04		

**Tabelle 34: T14 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

T14 Merkmal		Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
		Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB	[mm]	46,6 ± 3,9	48,8 ± 4	51,6 ± 4,9		
VL	[mm]	30,6 ± 1,3	32,1 ± 1,1	32,7 ± 1,4		
VH	[mm]	48,9 ± 1,1	49,7 ± 1,9	51,4 ± 2,4		
CVLv	[mm]	21,5 ± 0,5	21,9 ± 0,5	22,7 ± 0,9		22 <sup>(1)</sup> ; 20,8 <sup>(7)</sup>
CVLc	[mm]	21,1 ± 0,5	22,4 ± 0,8	23,1 ± 0,7		21,3 <sup>(1)</sup>
CVLd	[mm]	22,7 ± 0,8	23,4 ± 0,7	24,1 ± 0,9		22,4 <sup>(1)</sup> ; 21,4 <sup>(7)</sup>
ECrB	[mm]	21,2 ± 0,2	21,7 ± 1,1	21,9 ± 0,8		23 <sup>(7)</sup>
ECrH	[mm]	12 ± 0,7	12,9 ± 1	13,4 ± 1		14,9 <sup>(7)</sup>
ECrF	[cm <sup>2</sup> ]	2,28 ± 0,17	2,41 ± 0,18	2,57 ± 0,19		2,7 <sup>(7)</sup>
ECauB	[mm]	22,5 ± 0,4	23 ± 1,2	23,4 ± 1,3		24 <sup>(7)</sup>
ECauH	[mm]	11,9 ± 0,8	12,6 ± 0,9	13 ± 0,8		14,5 <sup>(7)</sup>
ECauF	[cm <sup>2</sup> ]	2,36 ± 0,2	2,47 ± 0,2	2,6 ± 0,26		2,73 <sup>(7)</sup>
FVB	[mm]	11,2 ± 0,5	11,5 ± 0,6	11,5 ± 0,7		13,3 <sup>(7)</sup>
FVH	[mm]	7,9 ± 0,4	8,1 ± 0,4	8,1 ± 0,4		9,3 <sup>(7)</sup>
FVF	[cm <sup>2</sup> ]	0,87 ± 0,07	0,92 ± 0,09	0,95 ± 0,09		
PSH	[mm]	45,8 ± 1,2	44,9 ± 1,6	46,9 ± 1,7		
PTBli	[mm]	17,6 ± 1,6	19,1 ± 3,1	20,5 ± 3,3		
PTBre	[mm]	17,3 ± 1,9	18 ± 2,3	19,4 ± 2,2		
PTLli	[mm]	5,4 ± 0,4	5,7 ± 0,8	6,3 ± 0,8		
PTLre	[mm]	5,2 ± 0,3	5,9 ± 0,7	6,3 ± 0,8		
PBli	[mm]	6,8 ± 0,5	6,8 ± 0,5	6,9 ± 0,7		7,6 <sup>(7)</sup>
PBre	[mm]	6,8 ± 0,7	6,9 ± 0,6	7,2 ± 0,6		8,1 <sup>(7)</sup>
PLli	[mm]	14,2 ± 0,9	15,6 ± 0,5	16,2 ± 0,5		17,7 <sup>(7)</sup>
PLre	[mm]	13,8 ± 1,6	15,7 ± 0,4	16,2 ± 0,5		17,9 <sup>(7)</sup>
PWli	[°]	36,4 ± 0,3	32,5 ± 1,3	32,1 ± 1,8		
PWre	[°]	35,9 ± 0,7	32,6 ± 1,7	33 ± 1,5		
DILv	[mm]	1,6 ± 0,5	1,9 ± 0,3	1,9 ± 0,3		1,8 <sup>(7)</sup>
DILc	[mm]	2,2 ± 0,5	1,8 ± 0,3	1,9 ± 0,6		2,7 <sup>(1)</sup> ; 3,2 <sup>(7)</sup>
DILd	[mm]	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,5 ± 0,3		1,7 <sup>(7)</sup>
DIH	[mm]	11,4 ± 0,7	12,1 ± 0,8	12,4 ± 0,9		
FVB / ECrB	[-]	0,53 ± 0,03	0,53 ± 0,03	0,53 ± 0,03		
FVH / ECrH	[-]	0,66 ± 0,05	0,63 ± 0,06	0,61 ± 0,06		
DILc / ECrB	[-]	0,11 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,03		0,14 <sup>(7)</sup>
PSH / ECrH	[-]	3,82 ± 0,26	3,5 ± 0,27	3,52 ± 0,22		
VB / ECrB	[-]	2,2 ± 0,19	2,26 ± 0,23	2,36 ± 0,24		
PL / CVLc	[-]	0,66 ± 0,04	0,7 ± 0,03	0,7 ± 0,02		
ECrB / ECrH	[-]	1,77 ± 0,09	1,69 ± 0,15	1,64 ± 0,11		1,54 <sup>(7)</sup>
ECauB / ECauH	[-]	1,89 ± 0,1	1,83 ± 0,08	1,8 ± 0,07		1,66 <sup>(7)</sup>
FVB / FVH	[-]	1,42 ± 0,03	1,42 ± 0,07	1,43 ± 0,08		1,43 <sup>(7)</sup>
PLre / PBre	[-]	2,03 ± 0,1	2,3 ± 0,2	2,27 ± 0,2		2,21 <sup>(7)</sup>
PLli / PBli	[-]	2,09 ± 0,14	2,3 ± 0,16	2,36 ± 0,21		2,33 <sup>(7)</sup>
PTB / PSH	[-]	0,38 ± 0,03	0,41 ± 0,05	0,43 ± 0,05		

**Tabelle 35: L1 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

L1 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	63,2 ± 6,7	69,8 ± 6,5	73,7 ± 6,2	71,2 <sup>(2)</sup>	104,7 <sup>(12)</sup>
VL [mm]	31,1 ± 1,4	32,7 ± 2	33,7 ± 1,8	47,6 <sup>(8)</sup>	50,4 <sup>(12)</sup>
VH [mm]	48,2 ± 1,9	50 ± 2,2	52,4 ± 2,4	79,9 <sup>(8)</sup> ; 80,9 <sup>(10)</sup>	
CVLv [mm]	22,2 ± 0,7	22,7 ± 0,9	23,7 ± 1,2	25,5 <sup>(1)</sup> ; 25 <sup>(8)</sup> ; 25,4 <sup>(10)</sup>	23,6 <sup>(1)</sup> ; 33,7 <sup>(12)</sup>
CVLc [mm]	21,8 ± 0,3	23,1 ± 0,7	24 ± 0,7	24,5 <sup>(1)</sup>	22,6 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	23,5 ± 0,9	24,4 ± 1,1	25,4 ± 0,9	28,5 <sup>(1)</sup> ; 23,8 <sup>(2)</sup> ; 27,1 <sup>(10)</sup>	23,7 <sup>(1)</sup> ; 34,9 <sup>(12)</sup>
ECrB [mm]	21,5 ± 0,8	21,9 ± 1	22,4 ± 0,8	41,2 <sup>(2)</sup>	34,4 <sup>(12)</sup>
ECrH [mm]	12,8 ± 0,7	13,4 ± 0,8	14,2 ± 0,8	34,1 <sup>(2)</sup> ; 33,5 <sup>(10)</sup>	24,3 <sup>(12)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,39 ± 0,17	2,55 ± 0,18	2,73 ± 0,22	10,57 <sup>(2)</sup>	
ECauB [mm]	22,8 ± 0,4	23,7 ± 1	24 ± 1,1	43,3 <sup>(2)</sup>	37,1 <sup>(12)</sup>
ECauH [mm]	12 ± 0,3	12,5 ± 0,7	13,2 ± 1,1	35,3 <sup>(2)</sup> ; 34,1 <sup>(10)</sup>	23,7 <sup>(12)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,36 ± 0,15	2,55 ± 0,19	2,68 ± 0,23	11,17 <sup>(2)</sup>	
FVB [mm]	11,2 ± 0,7	11,8 ± 0,7	12,1 ± 0,7	23,7 <sup>(2)</sup> ; 22,1 <sup>(8)</sup>	15,3 <sup>(12)</sup>
FVH [mm]	7,7 ± 0,4	8,3 ± 0,5	8,2 ± 0,5	19 <sup>(2)</sup> ; 17,2 <sup>(8)</sup>	11,6 <sup>(12)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,87 ± 0,08	0,97 ± 0,1	1 ± 0,09	3,2 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	44,4 ± 1,7	44,5 ± 1,6	46,8 ± 1,8	67,7 <sup>(2)</sup>	40 <sup>(12)</sup>
PTBli [mm]	26,4 ± 3,4	29,6 ± 3,1	31,6 ± 3		
PTBre [mm]	26,4 ± 3,2	29,1 ± 3,8	31,5 ± 3,1		
PTLli [mm]	9,9 ± 0,6	9,9 ± 0,9	10,3 ± 0,7		26,5 <sup>(12)</sup>
PTLre [mm]	9,9 ± 0,8	9,9 ± 0,8	10,3 ± 0,6		
PBli [mm]	6,4 ± 0,7	6,2 ± 0,6	6,6 ± 0,6	9,2 <sup>(2)</sup> ; 6,9 <sup>(8)</sup>	12,6 <sup>(12)</sup>
PBre [mm]	6,4 ± 0,7	6,2 ± 0,5	6,6 ± 0,6	8 <sup>(2)</sup> ; 7 <sup>(8)</sup>	
PLli [mm]	15,1 ± 1,4	16 ± 1	16,9 ± 0,9	15,8 <sup>(2)</sup>	21,4 <sup>(12)</sup>
PLre [mm]	15,4 ± 1,4	15,9 ± 1,1	16,6 ± 1	15,9 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	33,9 ± 1	31,5 ± 1,6	31,2 ± 1,7		
PWre [°]	34,2 ± 1	31,1 ± 1,9	30,7 ± 2,1		
DILv [mm]	1,7 ± 0,7	2,2 ± 0,2	2,1 ± 0,3	8,9 <sup>(10)</sup>	
DILc [mm]	2,1 ± 0,6	2 ± 0,2	1,9 ± 0,2	10,3 <sup>(1)</sup>	2,7 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,3	0,5 ± 0,4	6,7 <sup>(10)</sup>	
DIH [mm]	11,9 ± 0,6	12,4 ± 0,7	12,7 ± 0,9		
FVB / ECrB [-]	0,52 ± 0,05	0,54 ± 0,03	0,54 ± 0,04	0,58 <sup>(2)</sup>	0,44 <sup>(12)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,6 ± 0,06	0,62 ± 0,05	0,58 ± 0,05	0,56 <sup>(2)</sup>	0,48 <sup>(12)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01		
PSH / ECrH [-]	3,49 ± 0,21	3,33 ± 0,18	3,31 ± 0,18	1,99 <sup>(2)</sup>	1,65 <sup>(12)</sup>
VB / ECrB [-]	2,95 ± 0,35	3,19 ± 0,27	3,29 ± 0,25	1,73 <sup>(2)</sup>	3,04 <sup>(12)</sup>
PL / CVLc [-]	0,7 ± 0,06	0,69 ± 0,04	0,7 ± 0,03		
ECrB / ECrH [-]	1,69 ± 0,1	1,64 ± 0,05	1,58 ± 0,04	1,21 <sup>(2)</sup>	1,42 <sup>(12)</sup>
ECauB / ECauH [-]	1,9 ± 0,02	1,89 ± 0,04	1,83 ± 0,1	1,23 <sup>(2)</sup>	1,57 <sup>(12)</sup>
FVB / FVH [-]	1,46 ± 0,08	1,44 ± 0,07	1,47 ± 0,07	1,25 <sup>(2)</sup> ; 1,28 <sup>(8)</sup>	1,32 <sup>(12)</sup>
PLre / PBre [-]	2,43 ± 0,11	2,57 ± 0,26	2,54 ± 0,27	1,99 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	2,38 ± 0,13	2,59 ± 0,28	2,6 ± 0,29	1,72 <sup>(2)</sup>	1,7 <sup>(12)</sup>
PTB / PSH [-]	0,59 ± 0,06	0,66 ± 0,06	0,67 ± 0,06		

**Tabelle 36: L2 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

L2 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	79,8 ± 3,9	83,4 ± 5,1	88,1 ± 5,1	76,1 <sup>(2)</sup>	120,9 <sup>(12)</sup>
VL [mm]	31,8 ± 1,4	33,7 ± 1,4	34,5 ± 1,7	45,2 <sup>(8)</sup>	51 <sup>(12)</sup>
VH [mm]	49,5 ± 1,4	50,5 ± 2,3	52,9 ± 2,6	85 <sup>(8)</sup> ; 84,6 <sup>(10)</sup>	
CVLv [mm]	22,7 ± 0,4	22,8 ± 1	23,9 ± 0,7	27,3 <sup>(1)</sup> ; 27,9 <sup>(8)</sup> ; 27,2 <sup>(10)</sup>	23,8 <sup>(1)</sup> ; 34,6 <sup>(12)</sup>
CVLc [mm]	22,5 ± 0,8	23,4 ± 0,7	24,4 ± 0,7	24,7 <sup>(1)</sup>	23,4 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	24 ± 1,1	24,9 ± 1	26 ± 0,9	29,8 <sup>(1)</sup> ; 24,3 <sup>(2)</sup> ; 28 <sup>(10)</sup>	24 <sup>(1)</sup> ; 35,8 <sup>(12)</sup>
ECrB [mm]	22,1 ± 0,4	22,9 ± 1,2	23,2 ± 1,1	42,6 <sup>(2)</sup>	35,4 <sup>(12)</sup>
ECrH [mm]	13,1 ± 0,6	13,9 ± 0,8	14,4 ± 0,9	34,6 <sup>(2)</sup> ; 34,4 <sup>(10)</sup>	24,7 <sup>(12)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,53 ± 0,19	2,7 ± 0,24	2,78 ± 0,24	11,36 <sup>(2)</sup>	
ECauB [mm]	24,1 ± 0,7	24,3 ± 1	24,7 ± 1	45,5 <sup>(2)</sup>	37,7 <sup>(12)</sup>
ECauH [mm]	11,9 ± 0,3	12,4 ± 0,7	13 ± 0,7	34,9 <sup>(2)</sup> ; 34,7 <sup>(10)</sup>	23,9 <sup>(12)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,51 ± 0,18	2,61 ± 0,21	2,77 ± 0,23	11,97 <sup>(2)</sup>	
FVB [mm]	11,9 ± 0,8	12,4 ± 0,9	12,5 ± 0,9	23,8 <sup>(2)</sup> ; 23 <sup>(8)</sup>	16 <sup>(12)</sup>
FVH [mm]	7,6 ± 0,5	8,4 ± 0,5	8,2 ± 0,4	18,2 <sup>(2)</sup> ; 16 <sup>(8)</sup>	11,5 <sup>(12)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	0,92 ± 0,11	1,02 ± 0,11	1,05 ± 0,11	2,81 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	44,3 ± 1,1	43,9 ± 1,8	46,1 ± 2	71,7 <sup>(2)</sup>	39,6 <sup>(12)</sup>
PTBli [mm]	34,5 ± 1,6	36,3 ± 2,4	38,7 ± 2,4		
PTBre [mm]	35,1 ± 2,1	36,2 ± 2,2	38,5 ± 2,4		
PTLli [mm]	9,9 ± 0,5	10,2 ± 0,8	10,3 ± 0,6		24 <sup>(12)</sup>
PTLre [mm]	10 ± 0,3	10,3 ± 0,7	10,6 ± 0,6		
PBli [mm]	6,3 ± 0,7	6,1 ± 0,8	6,3 ± 0,8	8,7 <sup>(2)</sup> ; 7,5 <sup>(8)</sup>	12,2 <sup>(12)</sup>
PBre [mm]	6,4 ± 0,6	6,2 ± 0,7	6,3 ± 0,8	7,8 <sup>(2)</sup> ; 7,4 <sup>(8)</sup>	
PLli [mm]	15,3 ± 1,1	16,5 ± 1	17,2 ± 1,2	14,9 <sup>(2)</sup>	22,2 <sup>(12)</sup>
PLre [mm]	15,8 ± 1,6	16,4 ± 0,8	16,9 ± 1,2	15 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	28,9 ± 6,9	30,4 ± 1,4	30,5 ± 1,9		
PWre [°]	32,8 ± 1,9	30,6 ± 0,9	30,9 ± 1,6		
DILv [mm]	2,1 ± 0,7	2,4 ± 0,3	2,3 ± 0,3	10,3 <sup>(10)</sup>	
DILc [mm]	2,2 ± 0,7	2 ± 0,3	2 ± 0,2	11,5 <sup>(1)</sup>	2,9 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	0,5 ± 0,4	0,4 ± 0,3	0,5 ± 0,3	7,2 <sup>(10)</sup>	
DIH [mm]	12,2 ± 0,8	12,7 ± 0,8	13 ± 0,9		
FVB / ECrB [-]	0,54 ± 0,04	0,54 ± 0,04	0,54 ± 0,04	0,56 <sup>(2)</sup>	0,45 <sup>(12)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,58 ± 0,06	0,61 ± 0,05	0,57 ± 0,04	0,53 <sup>(2)</sup>	0,47 <sup>(12)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,03	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01		
PSH / ECrH [-]	3,38 ± 0,22	3,18 ± 0,18	3,21 ± 0,18	2,07 <sup>(2)</sup>	1,6 <sup>(12)</sup>
VB / ECrB [-]	3,61 ± 0,23	3,64 ± 0,24	3,8 ± 0,24	1,79 <sup>(2)</sup>	3,42 <sup>(12)</sup>
PL / CVLc [-]	0,69 ± 0,05	0,7 ± 0,04	0,7 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,69 ± 0,05	1,66 ± 0,05	1,61 ± 0,05	1,23 <sup>(2)</sup>	1,43 <sup>(12)</sup>
ECauB / ECauH [-]	2,02 ± 0,03	1,97 ± 0,07	1,9 ± 0,05	1,3 <sup>(2)</sup>	
FVB / FVH [-]	1,57 ± 0,08	1,47 ± 0,06	1,51 ± 0,09	1,31 <sup>(2)</sup> ; 1,44 <sup>(8)</sup>	1,39 <sup>(12)</sup>
PLre / PBre [-]	2,46 ± 0,07	2,68 ± 0,35	2,71 ± 0,41	1,92 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	2,45 ± 0,17	2,75 ± 0,39	2,77 ± 0,38	1,71 <sup>(2)</sup>	1,82 <sup>(12)</sup>
PTB / PSH [-]	0,79 ± 0,04	0,83 ± 0,04	0,84 ± 0,04		

**Tabelle 37: L3 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

L3 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	87,1 ± 2,7	89,8 ± 4,6	94,1 ± 4,1	85,7 <sup>(2)</sup> ; 74 <sup>(9)</sup>	125,9 <sup>(12)</sup>
VL [mm]	32,6 ± 1,4	34,2 ± 1,4	34,9 ± 1,6	48,6 <sup>(8)</sup>	50,6 <sup>(12)</sup>
VH [mm]	49,4 ± 2	50,5 ± 2,5	53,2 ± 3,1	85,6 <sup>(8)</sup> ; 85,2 <sup>(10)</sup> ; 73,9 <sup>(9)</sup>	
CVLv [mm]	23 ± 1	24 ± 0,8	24,7 ± 1,2	28,7 <sup>(1)</sup> ; 27,4 <sup>(8)</sup> ; 27,9 <sup>(10)</sup> ; 23 <sup>(9)</sup>	24,7 <sup>(1)</sup> ; 35,3 <sup>(12)</sup>
CVLc [mm]	23,3 ± 1	24,5 ± 0,7	25,3 ± 0,9	25,5 <sup>(1)</sup>	23,4 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	24,9 ± 1,5	25,6 ± 0,8	26,7 ± 0,9	29,8 <sup>(1)</sup> ; 23,8 <sup>(2)</sup> ; 27,9 <sup>(10)</sup>	24,4 <sup>(1)</sup> ; 36,6 <sup>(12)</sup>
ECrB [mm]	22,9 ± 0,7	23,3 ± 0,8	23,5 ± 1	44,1 <sup>(2)</sup>	35,3 <sup>(12)</sup>
ECrH [mm]	12,9 ± 0,7	13,8 ± 0,8	14,3 ± 1,1	35,2 <sup>(2)</sup> ; 34,7 <sup>(10)</sup>	24,6 <sup>(12)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,55 ± 0,24	2,74 ± 0,18	2,88 ± 0,24	11,94 <sup>(2)</sup>	
ECauB [mm]	24,7 ± 0,9	25,4 ± 1,3	25,8 ± 1,4	48 <sup>(2)</sup>	38,7 <sup>(12)</sup>
ECauH [mm]	12 ± 0,6	12,7 ± 0,5	13 ± 0,6	34,8 <sup>(2)</sup> ; 34,6 <sup>(10)</sup> ; 32,7 <sup>(9)</sup>	23,6 <sup>(12)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,61 ± 0,22	2,71 ± 0,17	2,84 ± 0,25	12,9 <sup>(2)</sup>	
FVB [mm]	12,2 ± 0,6	13,3 ± 1	13,4 ± 1	24,3 <sup>(2)</sup> ; 22,7 <sup>(8)</sup> ; 21,5 <sup>(9)</sup>	16,4 <sup>(12)</sup>
FVH [mm]	8,2 ± 0,4	8,7 ± 0,7	8,6 ± 0,5	17,5 <sup>(2)</sup> ; 16,2 <sup>(8)</sup> ; 12,1 <sup>(9)</sup>	11,7 <sup>(12)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,01 ± 0,07	1,14 ± 0,15	1,19 ± 0,15	2,8 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	43 ± 1,5	43,4 ± 2,1	45,7 ± 2,3	71,7 <sup>(2)</sup>	
PTBli [mm]	38 ± 1,3	38,9 ± 2	41,5 ± 1,5		
PTBre [mm]	38 ± 1,2	38,8 ± 1,9	41 ± 1,4		
PTLli [mm]	9,9 ± 0,6	10,1 ± 0,7	10,5 ± 0,9		23,8 <sup>(12)</sup>
PTLre [mm]	10,2 ± 0,4	10,1 ± 0,7	10,6 ± 0,8		
PBli [mm]	6,1 ± 0,6	6,1 ± 0,6	6,3 ± 0,7	10,1 <sup>(2)</sup> ; 9,1 <sup>(8)</sup>	11,7 <sup>(12)</sup>
PBre [mm]	6,1 ± 0,7	6,2 ± 0,5	6,4 ± 0,6	10,2 <sup>(2)</sup> ; 9,2 <sup>(8)</sup>	
PLli [mm]	16,2 ± 1,3	16,4 ± 1,6	17,2 ± 1,4	14,6 <sup>(2)</sup>	22,1 <sup>(12)</sup>
PLre [mm]	16,2 ± 0,9	16,4 ± 1,4	17,3 ± 1,5	14,2 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	32,9 ± 1,1	31,6 ± 1,8	31,5 ± 1,4		
PWre [°]	31,8 ± 0,7	31,4 ± 1,7	31,5 ± 1,7		
DILv [mm]	2,3 ± 0,6	2,2 ± 0,3	2,5 ± 0,3	12 <sup>(10)</sup>	
DILc [mm]	2,2 ± 0,5	2 ± 0,3	2 ± 0,3	11,8 <sup>(1)</sup>	2,6 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	0,6 ± 0,3	0,7 ± 0,4	0,5 ± 0,3	7,7 <sup>(10)</sup>	
DIH [mm]	12,4 ± 0,7	12,6 ± 0,7	13,1 ± 0,9		
FVB / ECrB [-]	0,53 ± 0,03	0,57 ± 0,04	0,57 ± 0,05	0,55 <sup>(2)</sup>	0,46 <sup>(12)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,63 ± 0,03	0,63 ± 0,05	0,6 ± 0,06	0,5 <sup>(2)</sup>	0,48 <sup>(12)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01		
PSH / ECrH [-]	3,34 ± 0,27	3,15 ± 0,13	3,21 ± 0,21	2,04 <sup>(2)</sup>	
VB / ECrB [-]	3,81 ± 0,21	3,86 ± 0,19	4 ± 0,17	1,94 <sup>(2)</sup>	3,57 <sup>(12)</sup>
PL / CVLc [-]	0,7 ± 0,04	0,67 ± 0,06	0,68 ± 0,04		
ECrB / ECrH [-]	1,77 ± 0,06	1,69 ± 0,07	1,65 ± 0,08	1,25 <sup>(2)</sup>	1,43 <sup>(12)</sup>
ECauB / ECauH [-]	2,05 ± 0,03	2,01 ± 0,09	1,99 ± 0,08	1,38 <sup>(2)</sup>	1,64 <sup>(12)</sup>
FVB / FVH [-]	1,5 ± 0,09	1,54 ± 0,06	1,56 ± 0,07	1,39 <sup>(2)</sup> ; 1,4 <sup>(8)</sup> ; 1,78 <sup>(9)</sup>	1,4 <sup>(12)</sup>
PLre / PBre [-]	2,69 ± 0,22	2,66 ± 0,28	2,75 ± 0,37	1,39 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	2,66 ± 0,12	2,7 ± 0,37	2,74 ± 0,38	1,45 <sup>(2)</sup>	1,89 <sup>(12)</sup>
PTB / PSH [-]	0,88 ± 0,03	0,9 ± 0,04	0,9 ± 0,03		

**Tabelle 38: L4 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

L4 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	91,3 ± 3,2	91 ± 6,5	96 ± 5,7	79,4 <sup>(2)</sup>	125,8 <sup>(12)</sup>
VL [mm]	32,6 ± 1,8	34 ± 1,9	34,9 ± 1,9	49,1 <sup>(8)</sup>	50,9 <sup>(12)</sup>
VH [mm]	48,7 ± 1,1	48,8 ± 2,4	51,7 ± 2,3	83,4 <sup>(8)</sup> ; 83,3 <sup>(10)</sup>	
CVLv [mm]	22,9 ± 0,5	24 ± 0,9	24,6 ± 0,9	27,8 <sup>(1)</sup> ; 24,1 <sup>(2)</sup> ; 26,7 <sup>(8)</sup> ; 27,4 <sup>(10)</sup>	24,8 <sup>(1)</sup> ; 36,1 <sup>(12)</sup>
CVLc [mm]	23,5 ± 0,5	25 ± 0,8	25,7 ± 0,9	24,1 <sup>(1)</sup>	24 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	25 ± 0,9	26,1 ± 0,9	27 ± 0,7	28 <sup>(1)</sup> ; 27,1 <sup>(10)</sup>	24,9 <sup>(1)</sup> ; 37,2 <sup>(12)</sup>
ECrB [mm]	23,6 ± 0,8	24,3 ± 1,2	24,5 ± 1	46,6 <sup>(2)</sup>	37,4 <sup>(12)</sup>
ECrH [mm]	12,6 ± 0,6	13,2 ± 0,7	13,8 ± 0,8	35,5 <sup>(2)</sup> ; 34,3 <sup>(10)</sup>	24,1 <sup>(12)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,68 ± 0,2	2,86 ± 0,2	2,94 ± 0,22	12,39 <sup>(2)</sup>	
ECauB [mm]	26,4 ± 1,1	26,9 ± 0,8	27,3 ± 1,1	49,5 <sup>(2)</sup>	39,5 <sup>(12)</sup>
ECauH [mm]	11,4 ± 0,6	12,3 ± 0,7	12,7 ± 0,9	33,9 <sup>(2)</sup> ; 34,9 <sup>(10)</sup>	22,2 <sup>(12)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,71 ± 0,25	2,86 ± 0,23	2,97 ± 0,25	12,73 <sup>(2)</sup>	
FVB [mm]	14,1 ± 1,2	15 ± 1,1	15,2 ± 1	25,4 <sup>(2)</sup> ; 22 <sup>(8)</sup>	19,4 <sup>(12)</sup>
FVH [mm]	8,6 ± 0,2	8,9 ± 0,5	8,8 ± 0,3	18,6 <sup>(2)</sup> ; 16,1 <sup>(8)</sup>	11,8 <sup>(12)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,25 ± 0,15	1,33 ± 0,12	1,38 ± 0,1	2,9 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	42,5 ± 1,7	42,2 ± 2	44,4 ± 2,3	70,1 <sup>(2)</sup>	36,6 <sup>(12)</sup>
PTBli [mm]	39,5 ± 1,7	38,8 ± 3,4	41,3 ± 2,9		
PTBre [mm]	39,4 ± 1,7	38,6 ± 3,2	41,2 ± 2,7		
PTLli [mm]	9,4 ± 1,1	9,8 ± 1	10,4 ± 0,9		22,9 <sup>(12)</sup>
PTLre [mm]	9,4 ± 1,1	10 ± 1	10,4 ± 0,9		
PBli [mm]	5,8 ± 0,5	6 ± 0,6	6,1 ± 0,7	14,7 <sup>(2)</sup> ; 10,4 <sup>(8)</sup>	11,9 <sup>(12)</sup>
PBre [mm]	6 ± 0,6	6,1 ± 0,5	6,2 ± 0,7	13,4 <sup>(2)</sup> ; 10,3 <sup>(8)</sup>	22,2 <sup>(12)</sup>
PLli [mm]	15,6 ± 1,2	16,8 ± 1	16,9 ± 1,6	15,2 <sup>(2)</sup>	
PLre [mm]	15,7 ± 1,2	16,8 ± 0,9	16,7 ± 1,6	15,7 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	35 ± 0,9	34 ± 2,8	34 ± 2,7		
PWre [°]	34,8 ± 0,6	33,8 ± 2,2	34,2 ± 2,5		
DILv [mm]	2,4 ± 0,9	2,5 ± 0,6	2,7 ± 0,3	14,1 <sup>(10)</sup>	
DILc [mm]	2,1 ± 0,5	2 ± 0,3	2 ± 0,2	12,7 <sup>(1)</sup>	2,7 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	0,6 ± 0,3	0,5 ± 0,2	0,5 ± 0,3	7,5 <sup>(10)</sup>	
DIH [mm]	12,1 ± 0,5	12,4 ± 0,6	13 ± 0,7		
FVB / ECrB [-]	0,6 ± 0,04	0,62 ± 0,03	0,62 ± 0,04	0,55 <sup>(2)</sup>	0,52 <sup>(12)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,68 ± 0,04	0,67 ± 0,05	0,64 ± 0,04	0,52 <sup>(2)</sup>	0,49 <sup>(12)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,09 ± 0,02	0,08 ± 0,01	0,08 ± 0,01		
PSH / ECrH [-]	3,37 ± 0,23	3,19 ± 0,12	3,22 ± 0,17	1,97 <sup>(2)</sup>	1,52 <sup>(12)</sup>
VB / ECrB [-]	3,87 ± 0,27	3,75 ± 0,31	3,93 ± 0,18	1,7 <sup>(2)</sup>	3,36 <sup>(12)</sup>
PL / CVLc [-]	0,67 ± 0,05	0,67 ± 0,03	0,66 ± 0,06		
ECrB / ECrH [-]	1,87 ± 0,07	1,84 ± 0,13	1,77 ± 0,08	1,31 <sup>(2)</sup>	1,55 <sup>(12)</sup>
ECauB / ECauH [-]	2,32 ± 0,08	2,19 ± 0,09	2,16 ± 0,09	1,46 <sup>(2)</sup>	1,78 <sup>(12)</sup>
FVB / FVH [-]	1,65 ± 0,13	1,69 ± 0,1	1,72 ± 0,12	1,37 <sup>(2)</sup> ; 1,37 <sup>(8)</sup>	1,64 <sup>(12)</sup>
PLre / PBre [-]	2,66 ± 0,23	2,79 ± 0,28	2,73 ± 0,42	1,17 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	2,73 ± 0,18	2,86 ± 0,33	2,83 ± 0,44	1,03 <sup>(2)</sup>	
PTB / PSH [-]	0,93 ± 0,06	0,92 ± 0,06	0,93 ± 0,06		

**Tabelle 39: L5 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

L5 Merkmal	Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
	Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB [mm]	88,7 ± 3,1	87,8 ± 6,7	91,7 ± 6,8	92,5 <sup>(2)</sup>	123,3 <sup>(12)</sup>
VL [mm]	30,6 ± 0,4	33,4 ± 2	34,7 ± 2,1	42,2 <sup>(8)</sup>	48,4 <sup>(12)</sup>
VH [mm]	45,7 ± 1,4	45,4 ± 2,1	48,2 ± 2,2	74,1 <sup>(8)</sup> ; 77,4 <sup>(10)</sup>	
CVLv [mm]	22,8 ± 0,4	23,9 ± 0,7	24,2 ± 1,1	29,5 <sup>(1)</sup> ; 28,7 <sup>(8)</sup> ; 28,3 <sup>(10)</sup>	24,7 <sup>(1)</sup> ; 36 <sup>(12)</sup>
CVLc [mm]	22,7 ± 0,1	24 ± 0,8	24,9 ± 0,9	25,3 <sup>(1)</sup>	23,9 <sup>(1)</sup>
CVLd [mm]	24,3 ± 0,3	24,8 ± 0,9	25,9 ± 1	24,9 <sup>(1)</sup> ; 22,9 <sup>(2)</sup> ; 25,7 <sup>(10)</sup>	25 <sup>(1)</sup> ; 36,3 <sup>(12)</sup>
ECrB [mm]	25,2 ± 1,1	25,3 ± 1	25,5 ± 1,1	47,3 <sup>(2)</sup>	38,1 <sup>(12)</sup>
ECrH [mm]	12,6 ± 1	13 ± 0,6	13,4 ± 0,9	34,7 <sup>(2)</sup> ; 34,2 <sup>(10)</sup>	22,8 <sup>(12)</sup>
ECrF [cm <sup>2</sup> ]	2,84 ± 0,33	2,94 ± 0,22	3,04 ± 0,23	12,37 <sup>(2)</sup>	
ECauB [mm]	27,3 ± 1,1	27,6 ± 1	28 ± 1,1	49,4 <sup>(2)</sup>	38,6 <sup>(12)</sup>
ECauH [mm]	12 ± 0,6	12,4 ± 0,7	12,9 ± 0,7	33,2 <sup>(2)</sup> ; 33,9 <sup>(10)</sup>	22,1 <sup>(12)</sup>
ECauF [cm <sup>2</sup> ]	2,87 ± 0,22	2,94 ± 0,14	3,09 ± 0,22	12,18 <sup>(2)</sup>	
FVB [mm]	15,5 ± 0,7	16,4 ± 1,1	16,8 ± 0,7	27,1 <sup>(2)</sup> ; 26 <sup>(8)</sup>	20,7 <sup>(12)</sup>
FVH [mm]	8,8 ± 0,6	8,1 ± 0,9	8,1 ± 0,7	19,7 <sup>(2)</sup> ; 17,3 <sup>(8)</sup>	12 <sup>(12)</sup>
FVF [cm <sup>2</sup> ]	1,32 ± 0,1	1,32 ± 0,1	1,37 ± 0,13	3,3 <sup>(2)</sup>	
PSH [mm]	40,7 ± 1,7	39,7 ± 2,5	41,9 ± 2,3	68,3 <sup>(2)</sup>	34,3 <sup>(12)</sup>
PTBli [mm]	36,9 ± 2,2	36,1 ± 3,2	39 ± 0,9		
PTBre [mm]	36,7 ± 2,1	35,9 ± 3,6	38,9 ± 0,9		
PTLli [mm]	8,2 ± 0,4	9 ± 1,2	9,4 ± 1,2		20,9 <sup>(12)</sup>
PTLre [mm]	8,1 ± 0,4	9 ± 1,2	9,4 ± 1,1		
PBli [mm]	6,3 ± 0,7	6,3 ± 0,7	6,5 ± 0,7	19,2 <sup>(2)</sup> ; 10,5 <sup>(8)</sup>	11,9 <sup>(12)</sup>
PBre [mm]	6,3 ± 0,7	6,5 ± 0,7	6,6 ± 0,7	18 <sup>(2)</sup> ; 10,9 <sup>(8)</sup>	
PLli [mm]	14,6 ± 0,7	15,6 ± 1	16,1 ± 1,8	19,5 <sup>(2)</sup>	20,6 <sup>(12)</sup>
PLre [mm]	14,6 ± 0,8	15,5 ± 0,9	15,8 ± 1,7	19,6 <sup>(2)</sup>	
PWli [°]	38,9 ± 1,2	37,5 ± 2	37,5 ± 2,3		
PWre [°]	38,2 ± 1	38 ± 2,7	38,3 ± 2,2		
DILv [mm]	2,7 ± 0,6	2,5 ± 0,5	2,9 ± 0,4	15,1 <sup>(10)</sup>	
DILc [mm]	2,6 ± 0,6	2,2 ± 0,3	2,2 ± 0,4	8,8 <sup>(1)</sup>	3 <sup>(1)</sup>
DILd [mm]	0,6 ± 0,2	0,5 ± 0,2	0,8 ± 0,4	6,1 <sup>(10)</sup>	
DIH [mm]	11,8 ± 0,7	12,2 ± 0,5	12,6 ± 0,6		
FVB / ECrB [-]	0,62 ± 0,02	0,65 ± 0,04	0,66 ± 0,04	0,57 <sup>(2)</sup>	0,54 <sup>(12)</sup>
FVH / ECrH [-]	0,71 ± 0,08	0,63 ± 0,08	0,61 ± 0,08	0,57 <sup>(2)</sup>	0,53 <sup>(12)</sup>
DILc / ECrB [-]	0,1 ± 0,02	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,02		
PSH / ECrH [-]	3,27 ± 0,35	3,07 ± 0,2	3,13 ± 0,23	1,97 <sup>(2)</sup>	1,5 <sup>(12)</sup>
VB / ECrB [-]	3,53 ± 0,26	3,47 ± 0,27	3,61 ± 0,3	1,96 <sup>(2)</sup>	3,24 <sup>(12)</sup>
PL / CVLc [-]	0,64 ± 0,03	0,65 ± 0,03	0,64 ± 0,07		
ECrB / ECrH [-]	2,02 ± 0,11	1,96 ± 0,04	1,9 ± 0,09	1,36 <sup>(2)</sup>	1,67 <sup>(12)</sup>
ECauB / ECauH [-]	2,27 ± 0,07	2,23 ± 0,12	2,17 ± 0,07	1,49 <sup>(2)</sup>	1,75 <sup>(12)</sup>
FVB / FVH [-]	1,76 ± 0,07	2,06 ± 0,35	2,09 ± 0,23	1,38 <sup>(2)</sup> ; 1,5 <sup>(8)</sup>	1,72 <sup>(12)</sup>
PLre / PBre [-]	2,33 ± 0,22	2,42 ± 0,29	2,42 ± 0,32	1,09 <sup>(2)</sup>	
PLli / PBli [-]	2,35 ± 0,19	2,5 ± 0,34	2,5 ± 0,34	1,02 <sup>(2)</sup>	1,73 <sup>(12)</sup>
PTB / PSH [-]	0,91 ± 0,06	0,91 ± 0,08	0,93 ± 0,05		

**Tabelle 40: L6 – Mittelwert und Standardabweichung der gemessenen Parameter sowie aus diesen gebildete Verhältnisse für Gruppe 1-3, sowie Literaturdaten für Mensch und Hausschwein; Literatur: <sup>(1)</sup> Busscher et al. 2010b; <sup>(2)</sup> Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; <sup>(3)</sup> Pait et al. 1996; <sup>(4)</sup> Kandziora et al. 2001; <sup>(5)</sup> Karaikovic et al. 1997; <sup>(6)</sup> Tominaga et al. 1995; <sup>(7)</sup> Bozkus et al. 2005; <sup>(8)</sup> Berry et al. 1987; <sup>(9)</sup> Cotterill et al. 1986; <sup>(10)</sup> Nissan und Gilad 1986; <sup>(11)</sup> Yingling et al. 1999; <sup>(12)</sup> Dath et al. 2007**

L6 Merkmal		Göttingen Minipig			Mensch	Hausschwein
		Gruppe 1 12 Monate	Gruppe 2 17 Monate	Gruppe 3 21 Monate		
VB	[mm]	80,1 ± 1,4	77,9 ± 3,3	79,9 ± 5,7		102,6 <sup>(12)</sup>
VL	[mm]	30,1 ± 0,3	30,1 ± 2,3	32,1 ± 2		45,2 <sup>(12)</sup>
VH	[mm]	43,3 ± 0,7	43,7 ± 1,7	44,8 ± 2		
CVLv	[mm]	21,2 ± 0,3	23,4 ± 0,7	23,7 ± 0,9		23,9 <sup>(1)</sup> ; 34,4 <sup>(12)</sup>
CVLc	[mm]	21,6 ± 0,1	22,7 ± 0,7	23,8 ± 0,9		23 <sup>(1)</sup>
CVLd	[mm]	22,4 ± 0,4	23 ± 1,1	24,4 ± 1		23,4 <sup>(1)</sup> ; 33 <sup>(12)</sup>
ECrB	[mm]	25,5 ± 0,1	26,1 ± 1,2	26,6 ± 1,2		37,5 <sup>(12)</sup>
ECrH	[mm]	11,8 ± 0,3	12,8 ± 0,9	13,3 ± 0,9		22,4 <sup>(12)</sup>
ECrF	[cm <sup>2</sup> ]	2,78 ± 0,07	3,03 ± 0,24	3,14 ± 0,29		
ECauB	[mm]	26,8 ± 0,6	25,7 ± 1,4	26,3 ± 1,5		40,1 <sup>(12)</sup>
ECauH	[mm]	12 ± 0,5	12,3 ± 0,7	13 ± 0,6		21,4 <sup>(12)</sup>
ECauF	[cm <sup>2</sup> ]	2,66 ± 0,11	2,61 ± 0,21	2,78 ± 0,22		
FVB	[mm]	15,5 ± 0,2	17,2 ± 0,9	18 ± 1,4		20,1 <sup>(12)</sup>
FVH	[mm]	7,4 ± 0,6	7,2 ± 1	6,4 ± 1,1		12,1 <sup>(12)</sup>
FVF	[cm <sup>2</sup> ]	1,09 ± 0,06	1,32 ± 0,15	1,29 ± 0,16		
PSH	[mm]	37,9 ± 1,2	36,4 ± 1,6	39,1 ± 1,8		28,8 <sup>(12)</sup>
PTBli	[mm]	32,8 ± 1,7	29,4 ± 2,2	31,5 ± 2,7		
PTBre	[mm]	32,8 ± 1,9	28,6 ± 2,8	30,9 ± 3		
PTLli	[mm]	6,8 ± 1,1	8,2 ± 1,2	8,8 ± 1,5		15,5 <sup>(12)</sup>
PTLre	[mm]	6,6 ± 1	8,2 ± 1	8,7 ± 1,5		
PBli	[mm]	6,4 ± 0,5	7,2 ± 0,8	7,2 ± 0,7		12,5 <sup>(12)</sup>
PBre	[mm]	6,5 ± 0,3	7,4 ± 0,7	7,3 ± 0,7		
PLli	[mm]	12,9 ± 0,8	14,2 ± 0,7	14,4 ± 1,9		18,7 <sup>(12)</sup>
PLre	[mm]	13 ± 0,9	14,2 ± 0,8	14,2 ± 1,9		
PWli	[°]	42 ± 0,6	41 ± 1,7	42,1 ± 2,4		
PWre	[°]	42,3 ± 0,5	41,6 ± 1,2	42,4 ± 2,1		
DILv	[mm]	2,4 ± 0,4	2,5 ± 0,3	2,8 ± 0,3		
DILc	[mm]	2,1 ± 0,3	2,4 ± 0,2	2,2 ± 0,2		2,9 <sup>(1)</sup>
DILd	[mm]	0,6 ± 0,3	0,9 ± 0,4	0,8 ± 0,4		
DIH	[mm]	11,1 ± 0,2	12 ± 0,8	12,5 ± 1		
FVB / ECrB	[-]	0,61 ± 0,01	0,66 ± 0,05	0,68 ± 0,08		0,54 <sup>(12)</sup>
FVH / ECrH	[-]	0,62 ± 0,03	0,57 ± 0,1	0,49 ± 0,1		0,54 <sup>(12)</sup>
DILc / ECrB	[-]	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01		
PSH / ECrH	[-]	3,21 ± 0,02	2,86 ± 0,23	2,96 ± 0,2		1,29 <sup>(12)</sup>
VB / ECrB	[-]	3,14 ± 0,04	2,99 ± 0,21	3 ± 0,16		2,74 <sup>(12)</sup>
PL / CVLc	[-]	0,6 ± 0,04	0,63 ± 0,04	0,6 ± 0,07		
ECrB / ECrH	[-]	2,16 ± 0,05	2,04 ± 0,06	2,02 ± 0,11		1,67 <sup>(12)</sup>
ECauB / ECauH	[-]	2,24 ± 0,05	2,09 ± 0,18	2,03 ± 0,17		1,87 <sup>(12)</sup>
FVB / FVH	[-]	2,12 ± 0,18	2,45 ± 0,45	2,9 ± 0,69		1,66 <sup>(12)</sup>
PLre / PBre	[-]	1,99 ± 0,06	1,93 ± 0,12	1,94 ± 0,21		
PLli / PBli	[-]	2,01 ± 0,02	1,97 ± 0,14	2,01 ± 0,25		1,5 <sup>(12)</sup>
PTB / PSH	[-]	0,87 ± 0,02	0,8 ± 0,04	0,8 ± 0,07		

## 9.2 Vergleich Göttingen Minipig - Hausschwein - Mensch: Untersuchte Parameter bzw. Verhältnisse

Für die angestellten Vergleiche wurden die Daten folgender Arbeiten herangezogen:

- (<sup>1</sup>) Busscher et al. 2010b; (<sup>2</sup>) Panjabi et al. 1991a; Panjabi et al. 1992; Panjabi et al. 1991b; (<sup>3</sup>) Pait et al. 1996; (<sup>4</sup>) Kandziora et al. 2001; (<sup>5</sup>) Karaikovic et al. 1997; (<sup>6</sup>) Tominaga et al. 1995; (<sup>7</sup>) Bozkus et al. 2005; (<sup>8</sup>) Berry et al. 1987; (<sup>9</sup>) Cotterill et al. 1986; (<sup>10</sup>) Nissan und Gilad 1986; (<sup>11</sup>) Yingling et al. 1999; (<sup>12</sup>) Dath et al. 2007

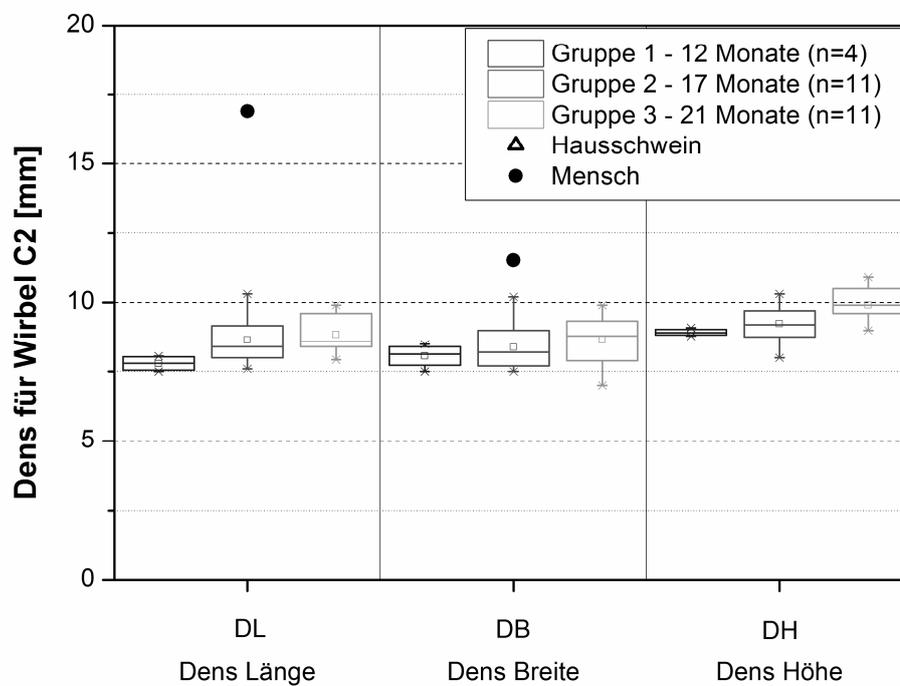


Abbildung 91: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Dens Länge (DL), Dens Breite (DB) und Dens Höhe (DH); Literatur: (<sup>6</sup>)

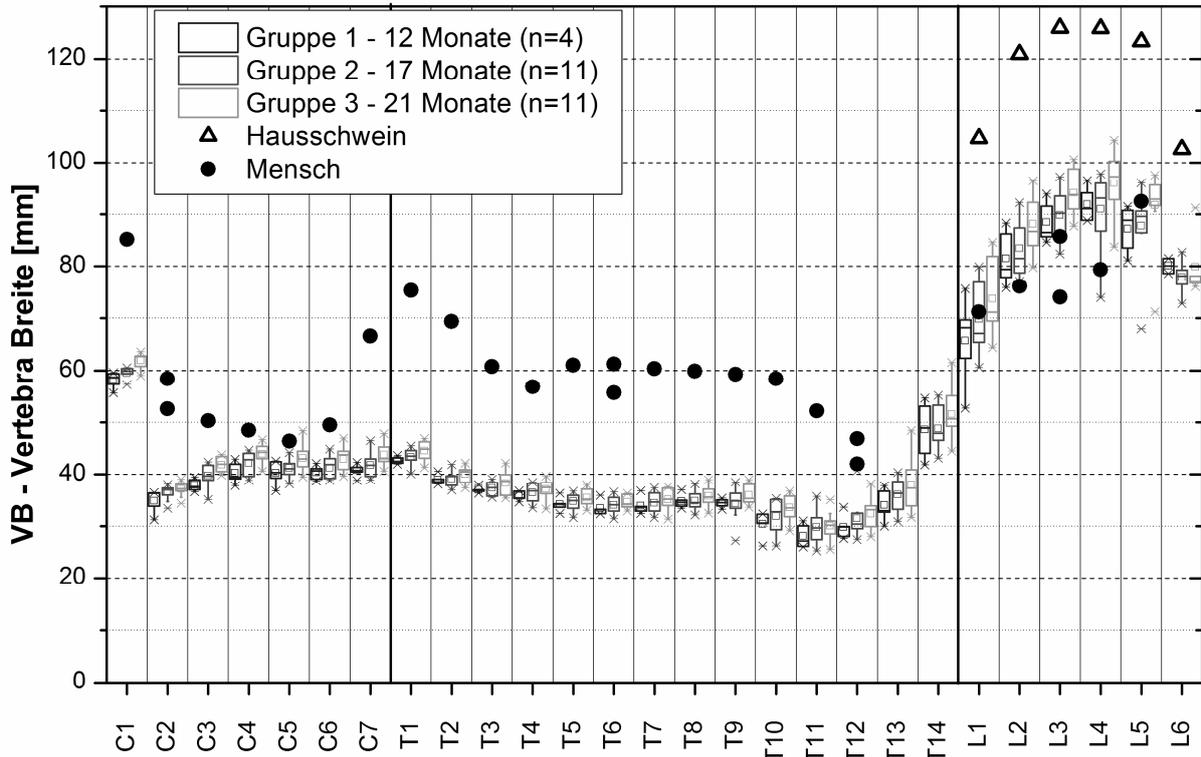


Abbildung 92: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Vertebra Breite (VB); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(6)</sup>, <sup>(9)</sup>, <sup>(12)</sup>

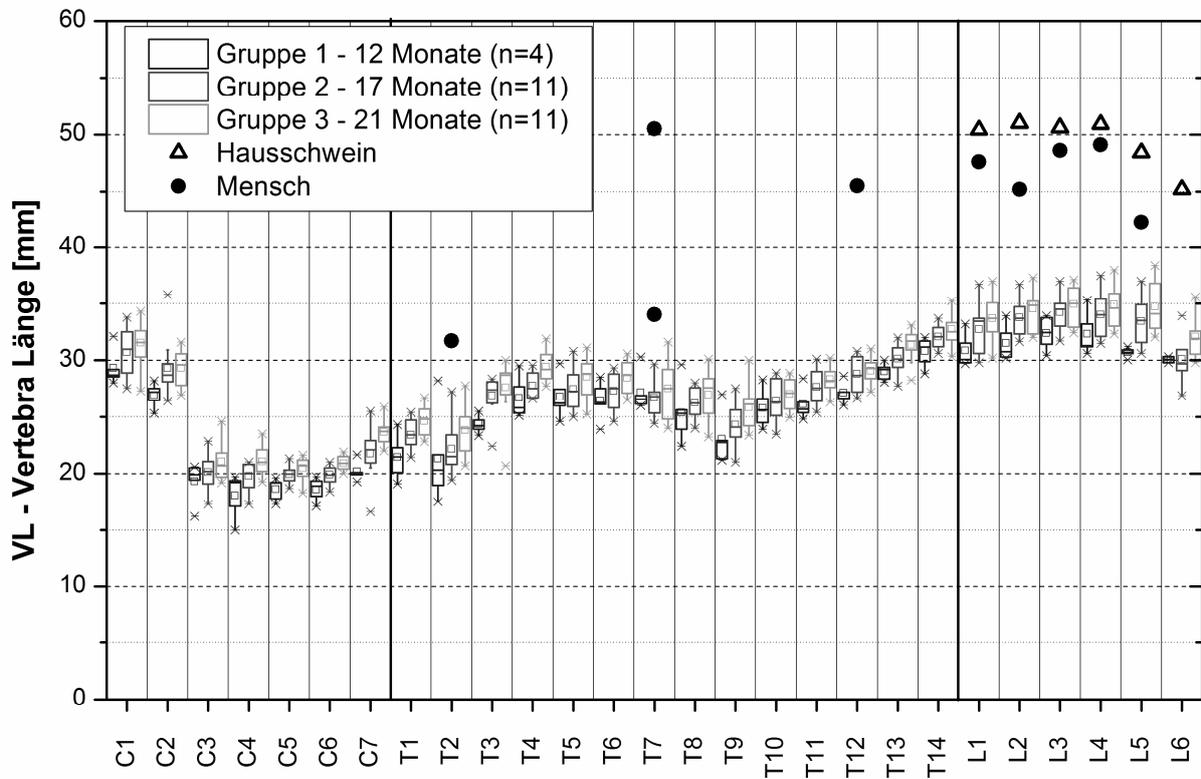


Abbildung 93: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Vertebra Länge (VL); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(8)</sup>, <sup>(12)</sup>

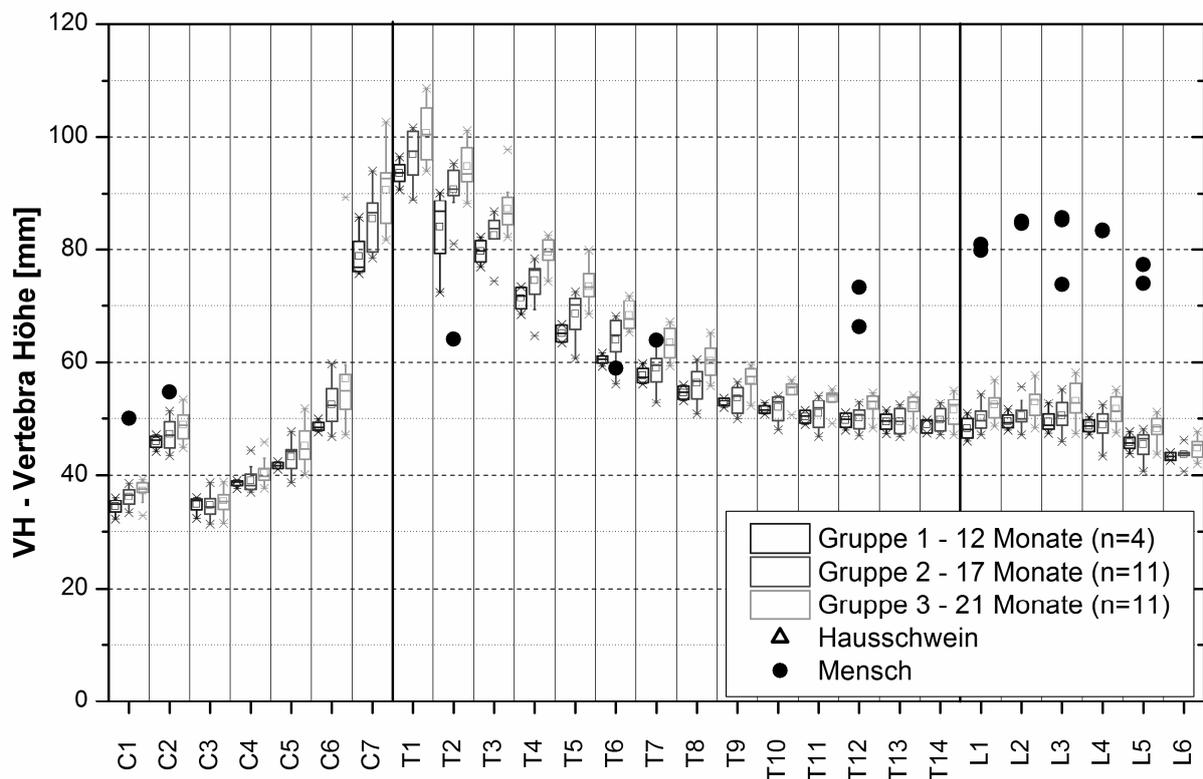


Abbildung 94: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Vertebra Höhe (VH); Literatur: (6); (8); (9); (1)

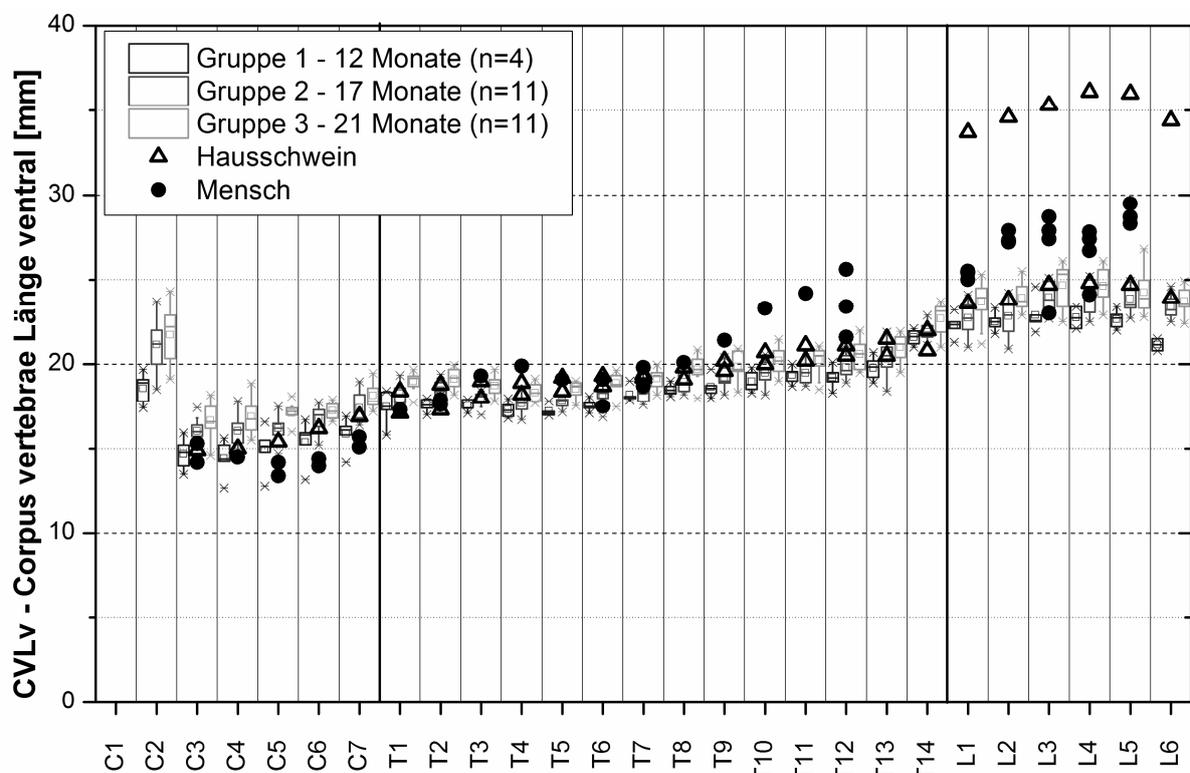


Abbildung 95: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Corpus vertebrae Länge ventral (CVLv); Literatur: (1); (2); (4); (7); (8); (9); (10); (12)

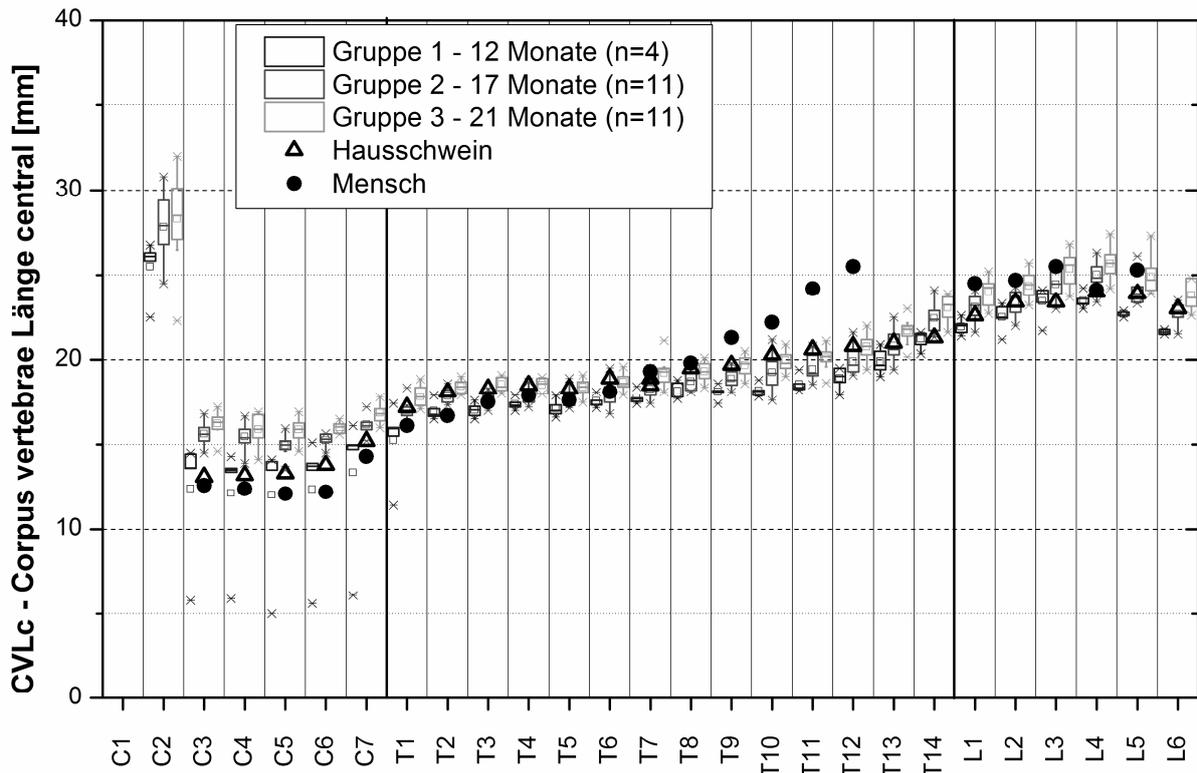


Abbildung 96: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Corpus vertebrae Länge central (CVLc); Literatur: <sup>(1)</sup>; <sup>(7)</sup>

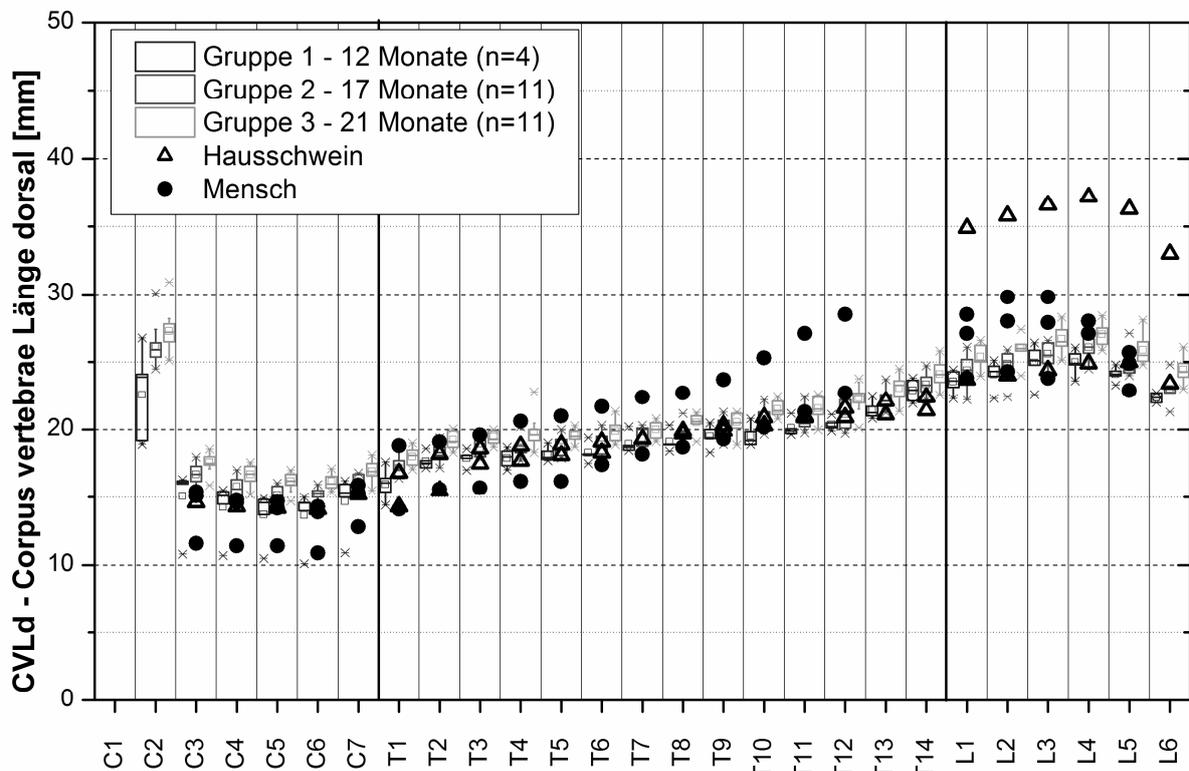


Abbildung 97: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Corpus vertebrae Länge dorsal (CVLd); Literatur: <sup>(1)</sup>; <sup>(2)</sup>; <sup>(4)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(10)</sup>; <sup>(12)</sup>

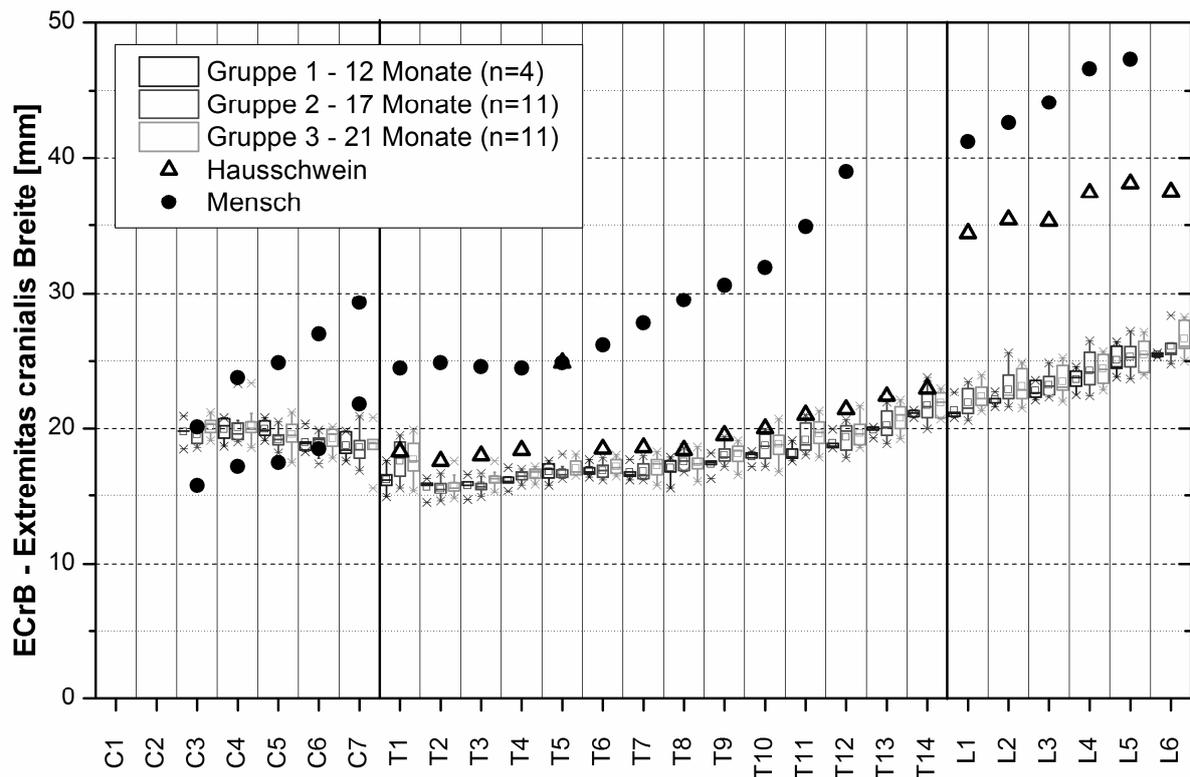


Abbildung 98: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Extremitas cranialis Breite (ECrB); Literatur: <sup>(2)</sup>; <sup>(4)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(12)</sup>

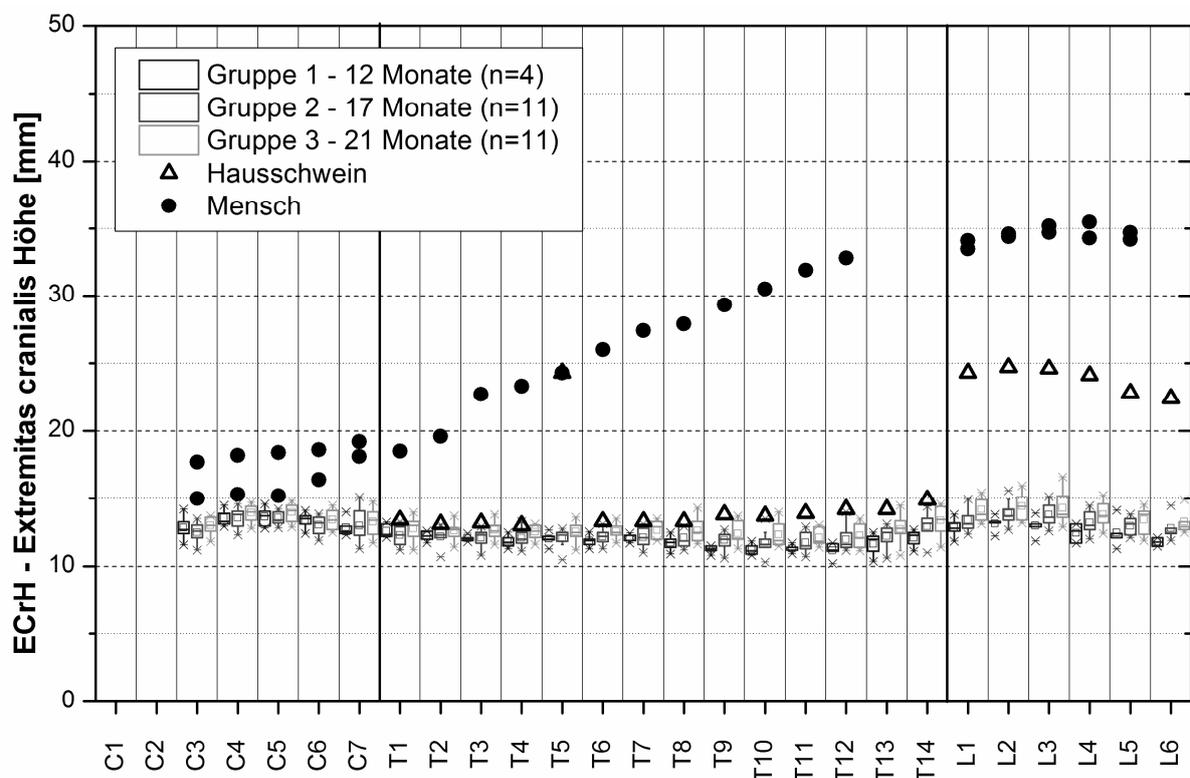


Abbildung 99: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Extremitas cranialis Höhe (ECrH); Literatur: <sup>(2)</sup>; <sup>(4)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(10)</sup>; <sup>(12)</sup>

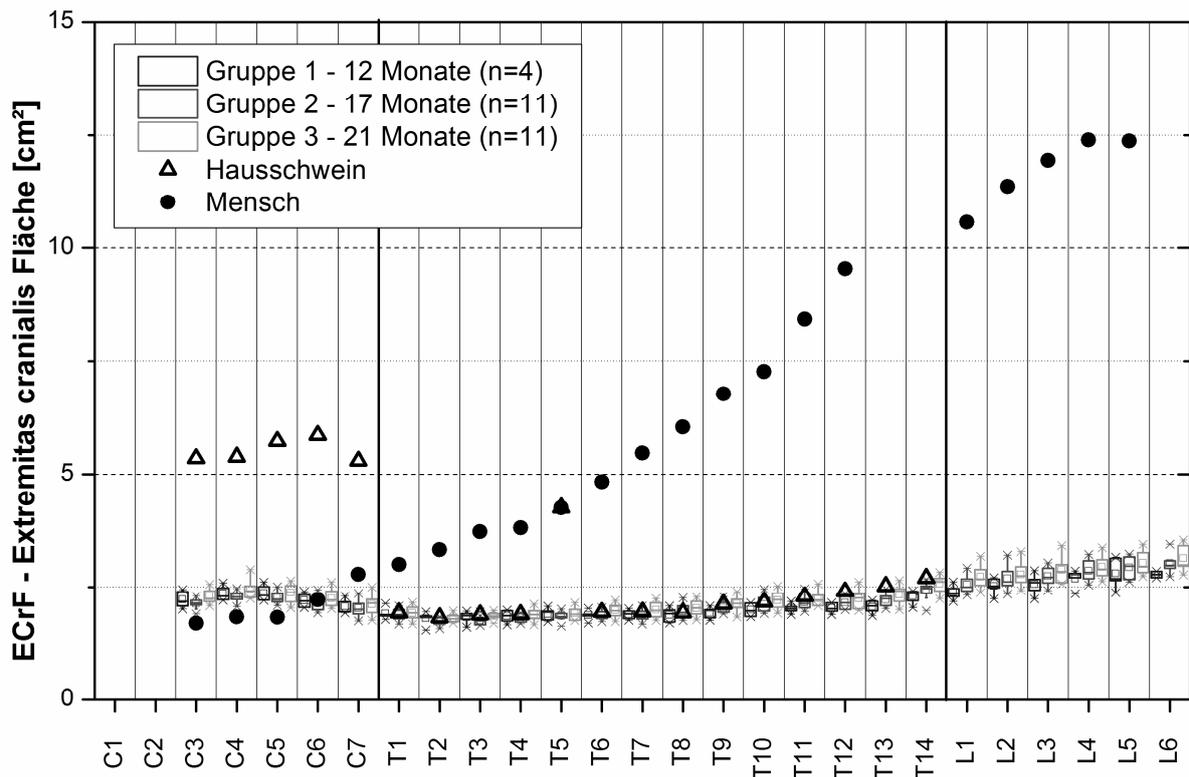


Abbildung 100: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Extremitas cranialis Fläche (ECrF); Literatur: <sup>(2)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(11)</sup>

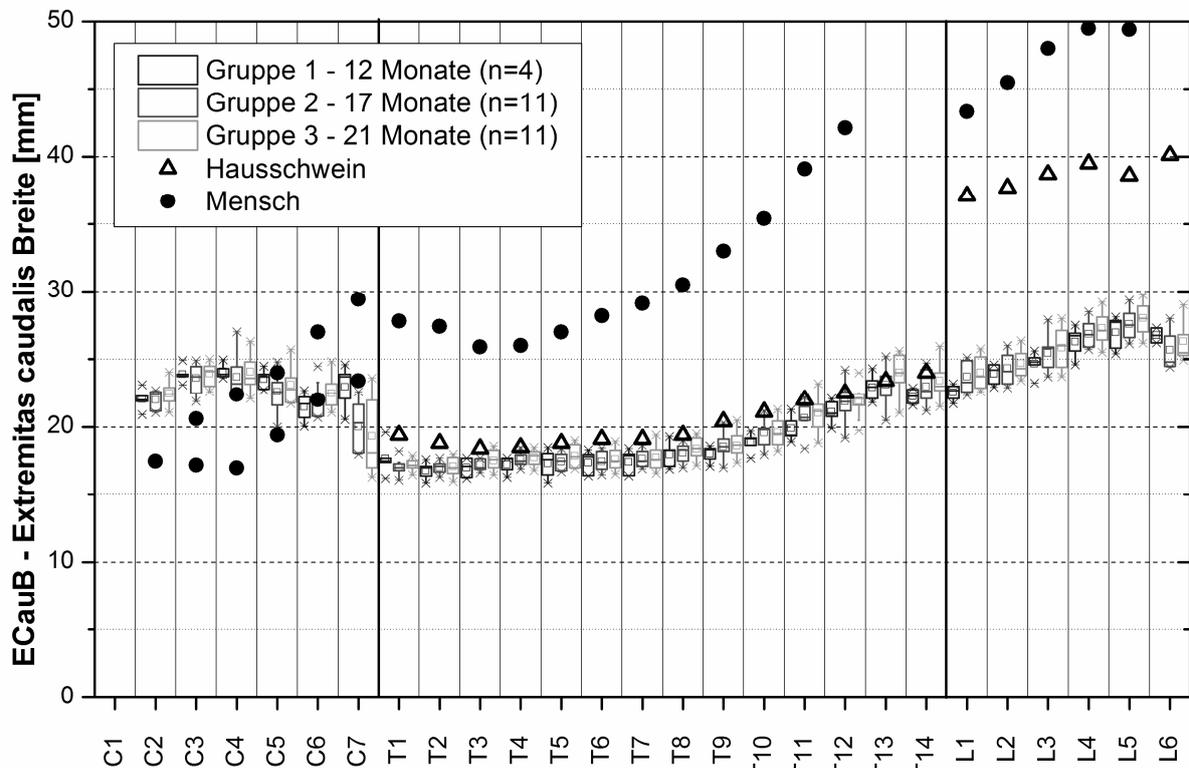


Abbildung 101: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Extremitas caudalis Breite (ECauB); Literatur: <sup>(2)</sup>; <sup>(4)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(12)</sup>

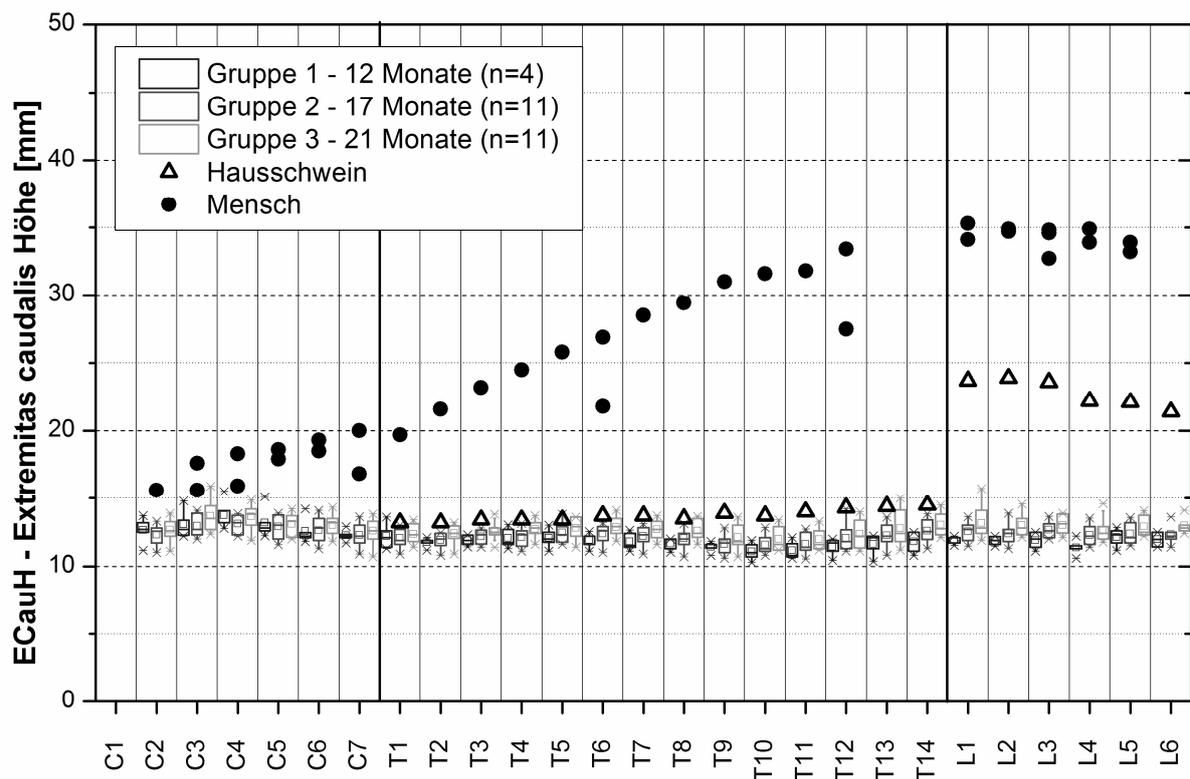


Abbildung 102: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Extremitas caudalis Höhe (ECauH); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(4)</sup>, <sup>(7)</sup>, <sup>(9)</sup>, <sup>(10)</sup>, <sup>(12)</sup>

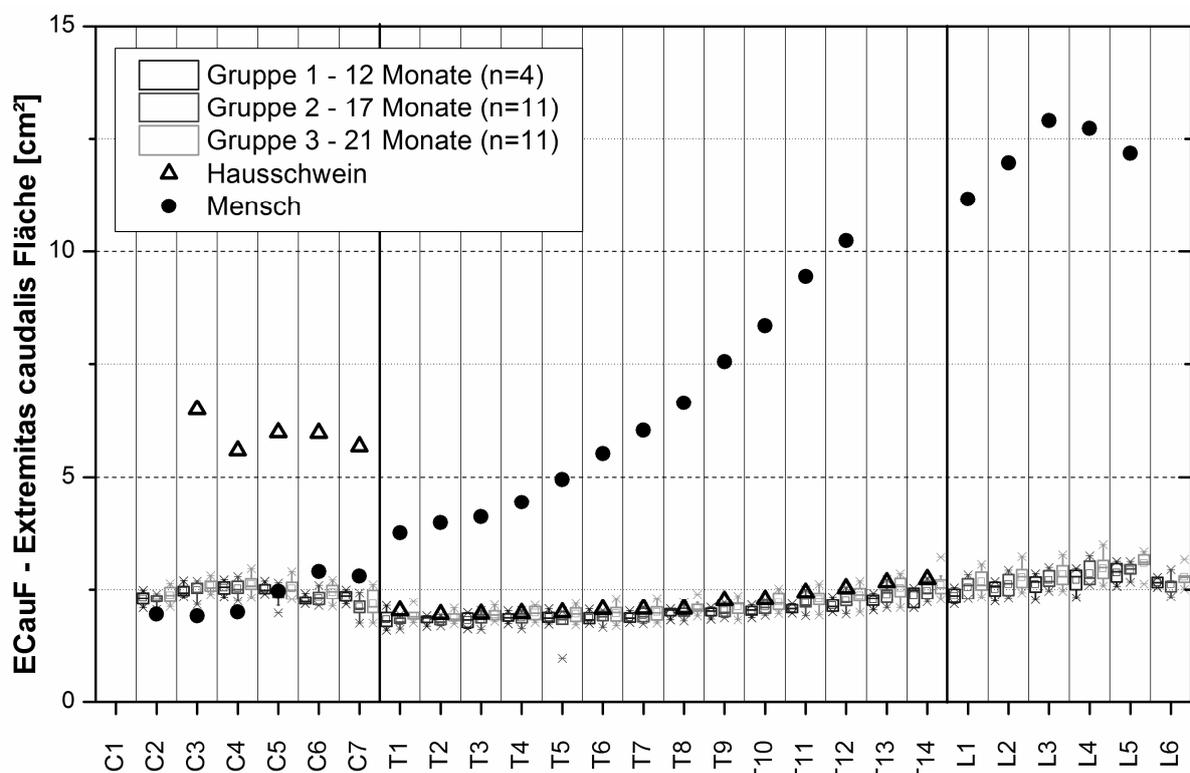


Abbildung 103: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Extremitas caudalis Fläche (ECauF); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(7)</sup>, <sup>(11)</sup>

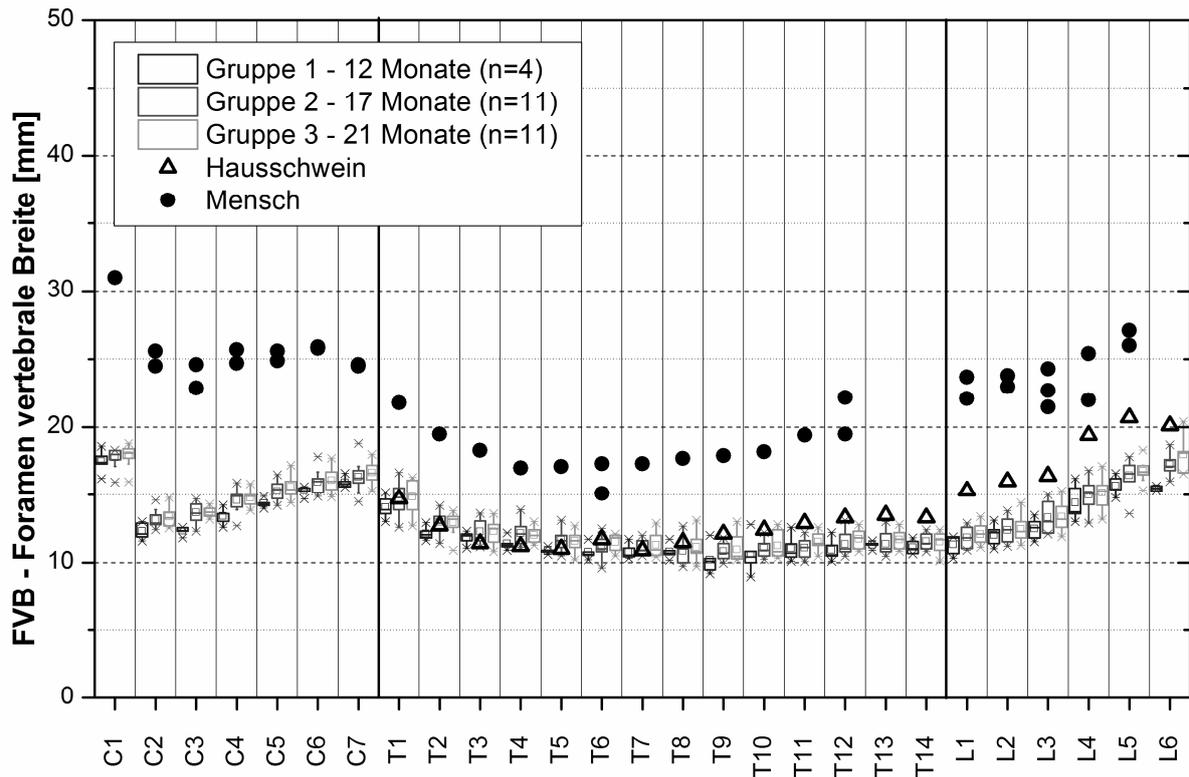


Abbildung 104: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Foramen vertebrale Breite (FVB); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(4)</sup>, <sup>(6)</sup>, <sup>(7)</sup>, <sup>(8)</sup>, <sup>(9)</sup>, <sup>(12)</sup>

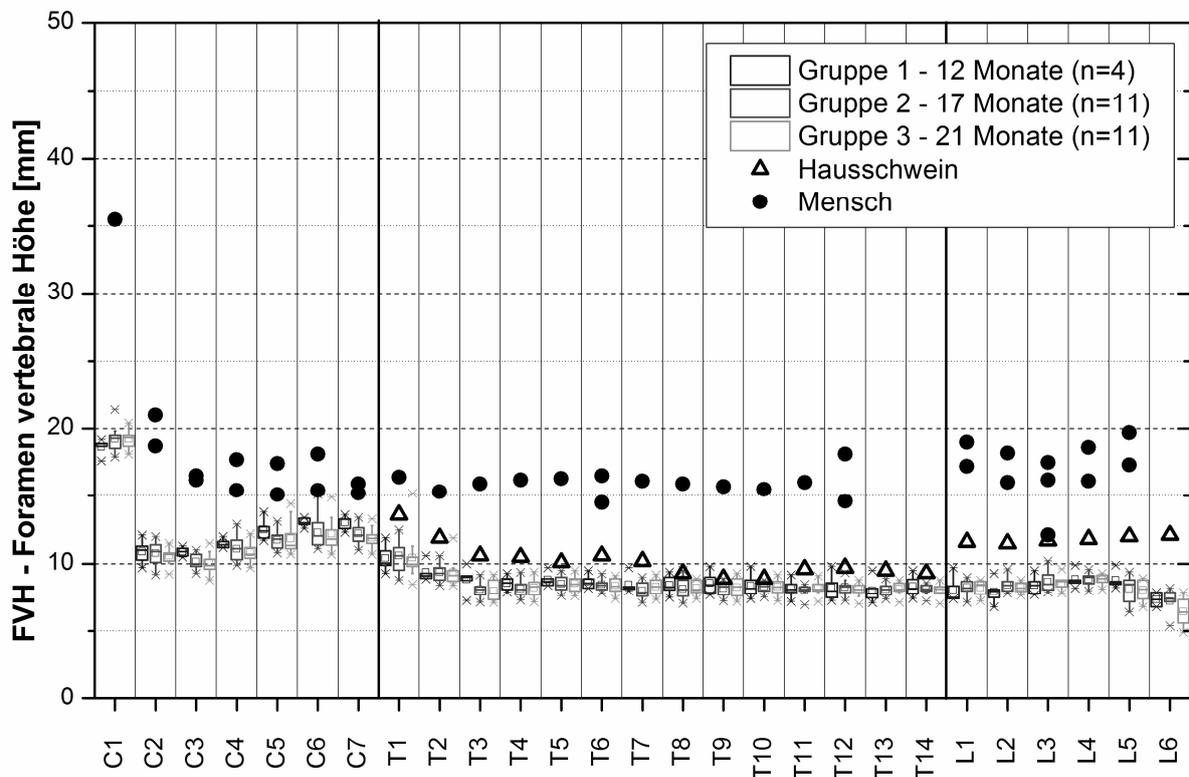


Abbildung 105: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Foramen vertebrale Höhe (FVH); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(4)</sup>, <sup>(6)</sup>, <sup>(7)</sup>, <sup>(8)</sup>, <sup>(9)</sup>, <sup>(12)</sup>

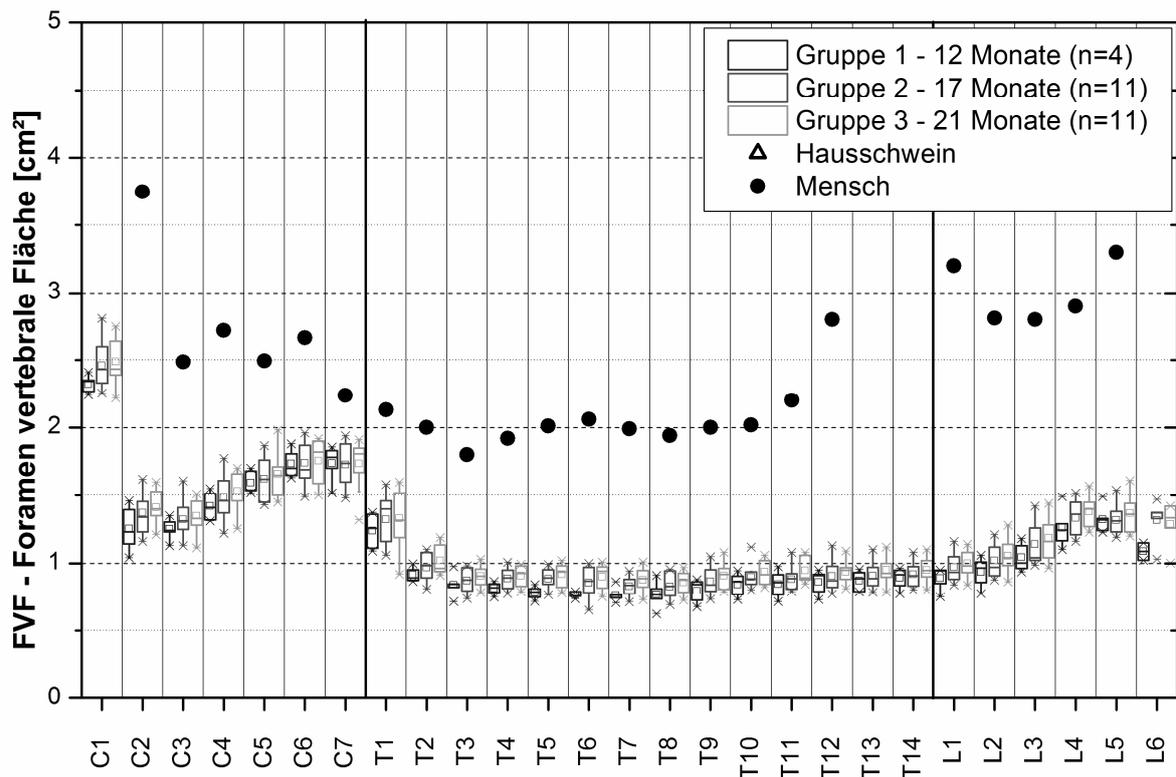


Abbildung 106: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Foramen vertebrale Fläche (FVF); Literatur: <sup>(2)</sup>

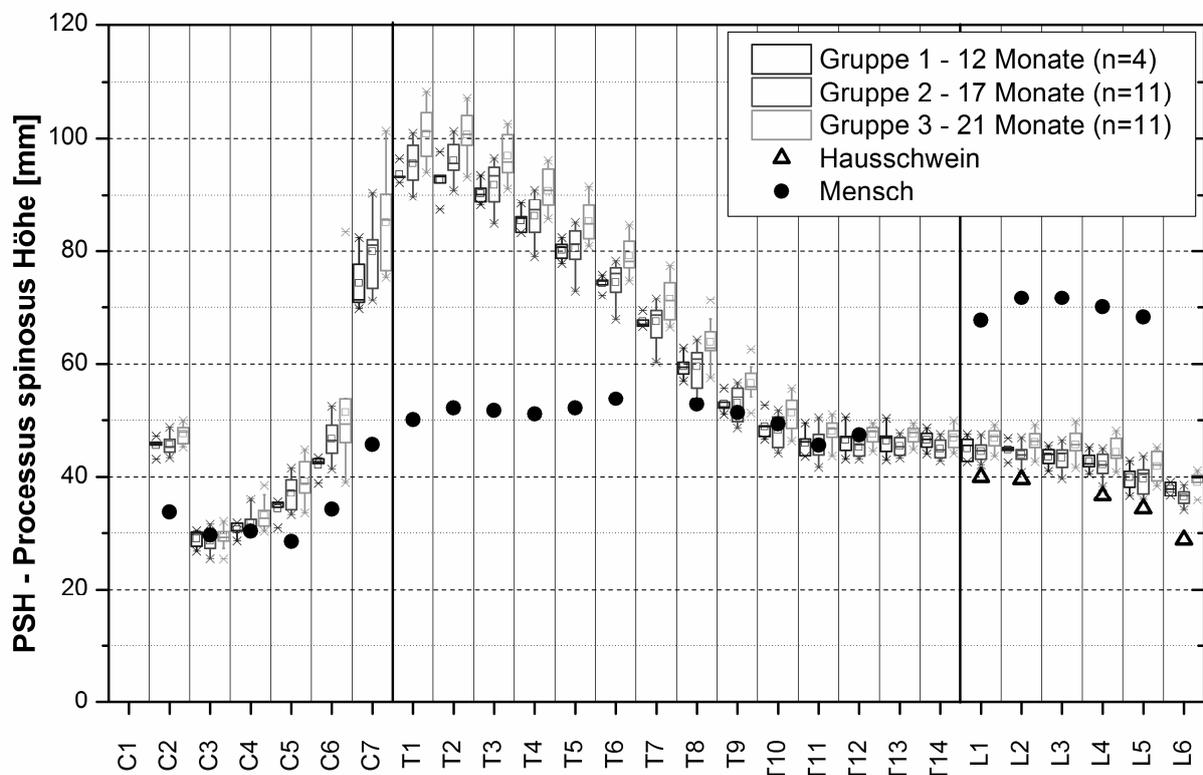


Abbildung 107: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Processus spinosus Höhe (PSH); Literatur: <sup>(2); (12)</sup>

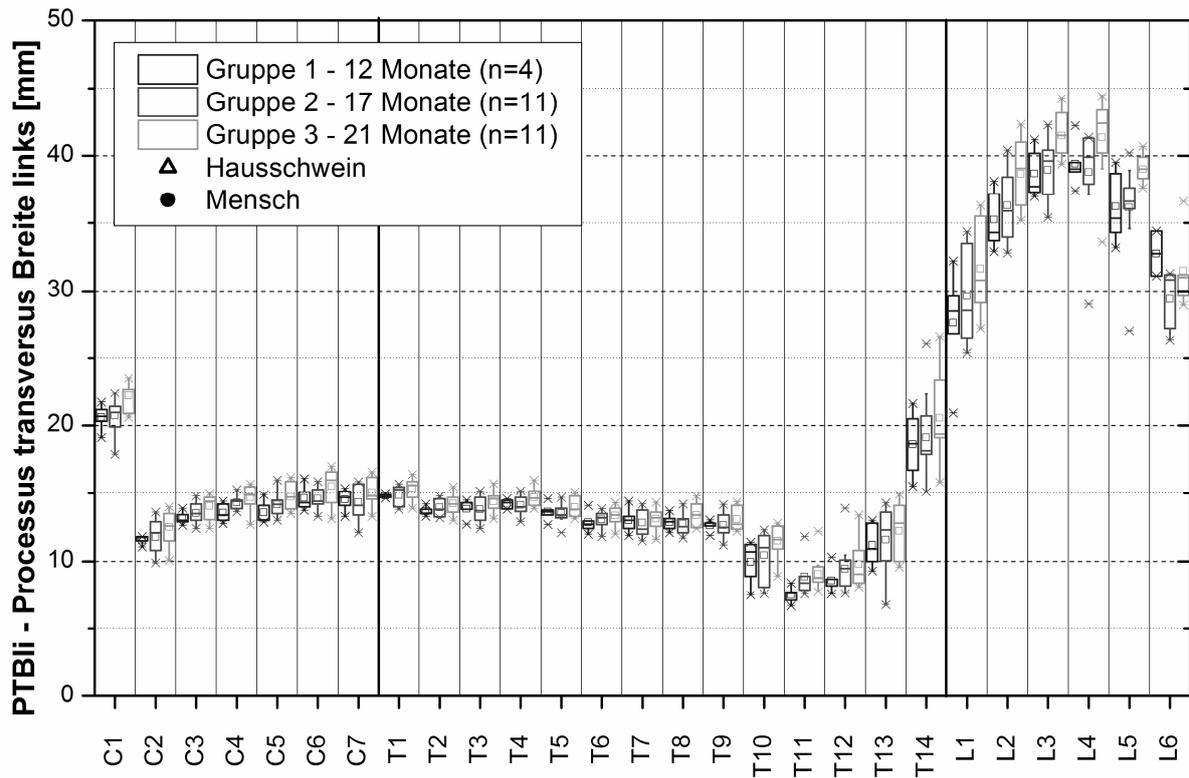


Abbildung 108: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Processus transversus Breite links (PTBli)

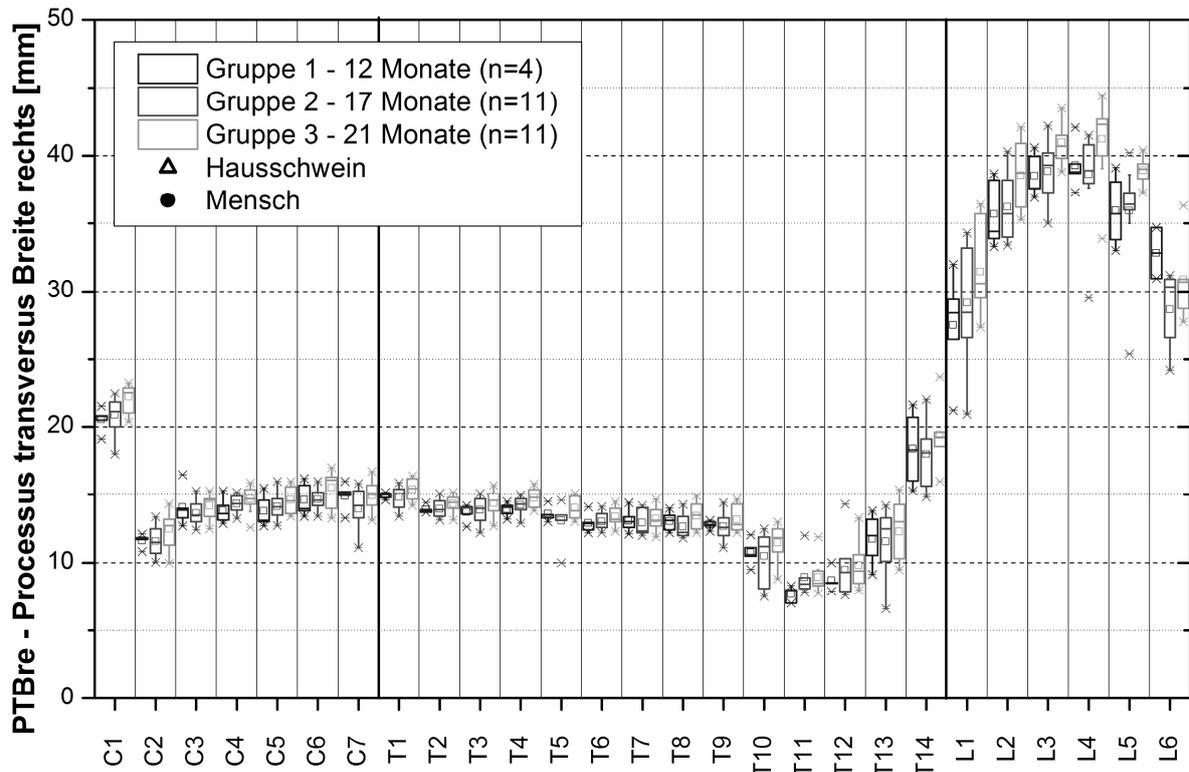


Abbildung 109: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Processus transversus Breite rechts (PTBre)

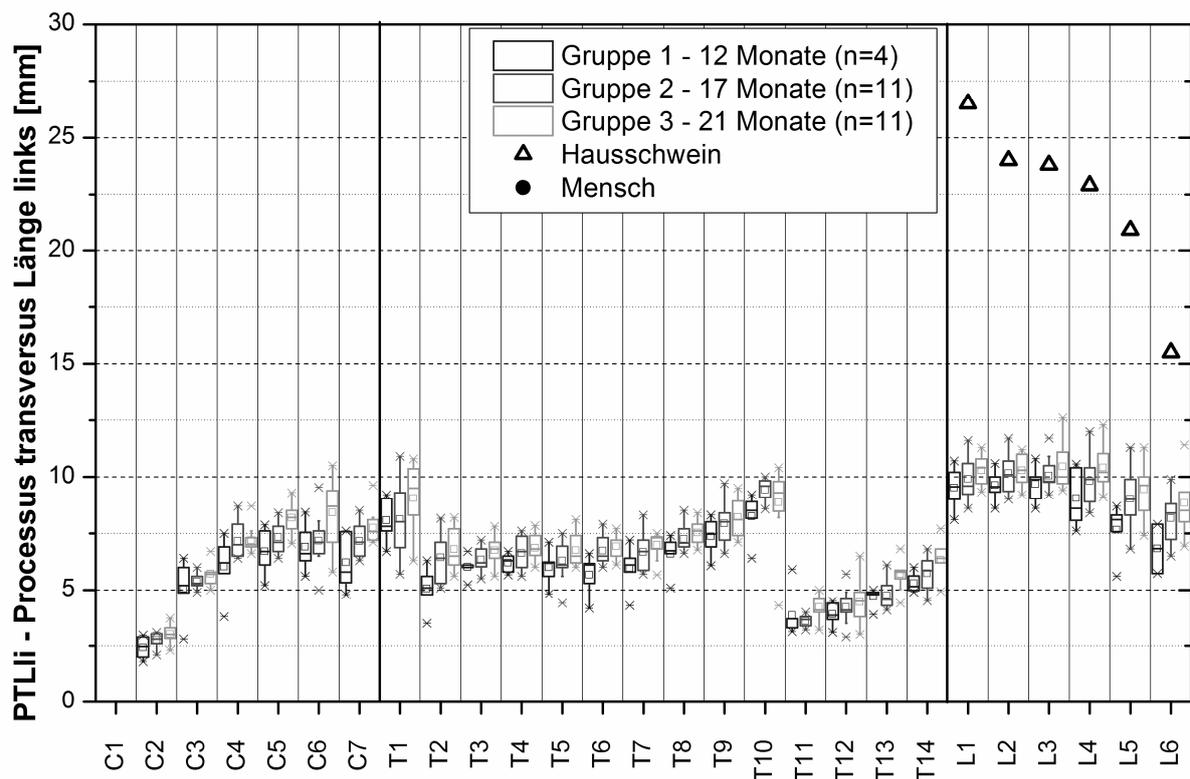


Abbildung 110: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Processus transversus Länge links (PTLli); Literatur: <sup>(12)</sup>

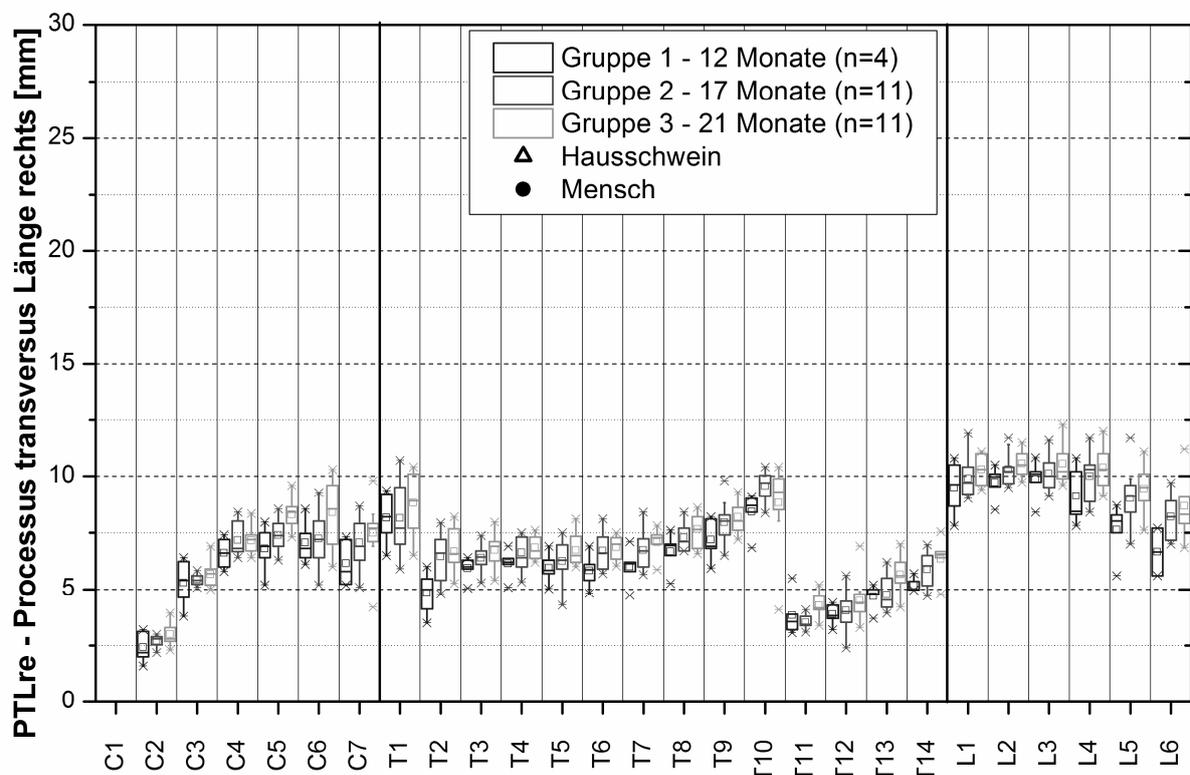


Abbildung 111: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Processus transversus Länge rechts (PTLre)

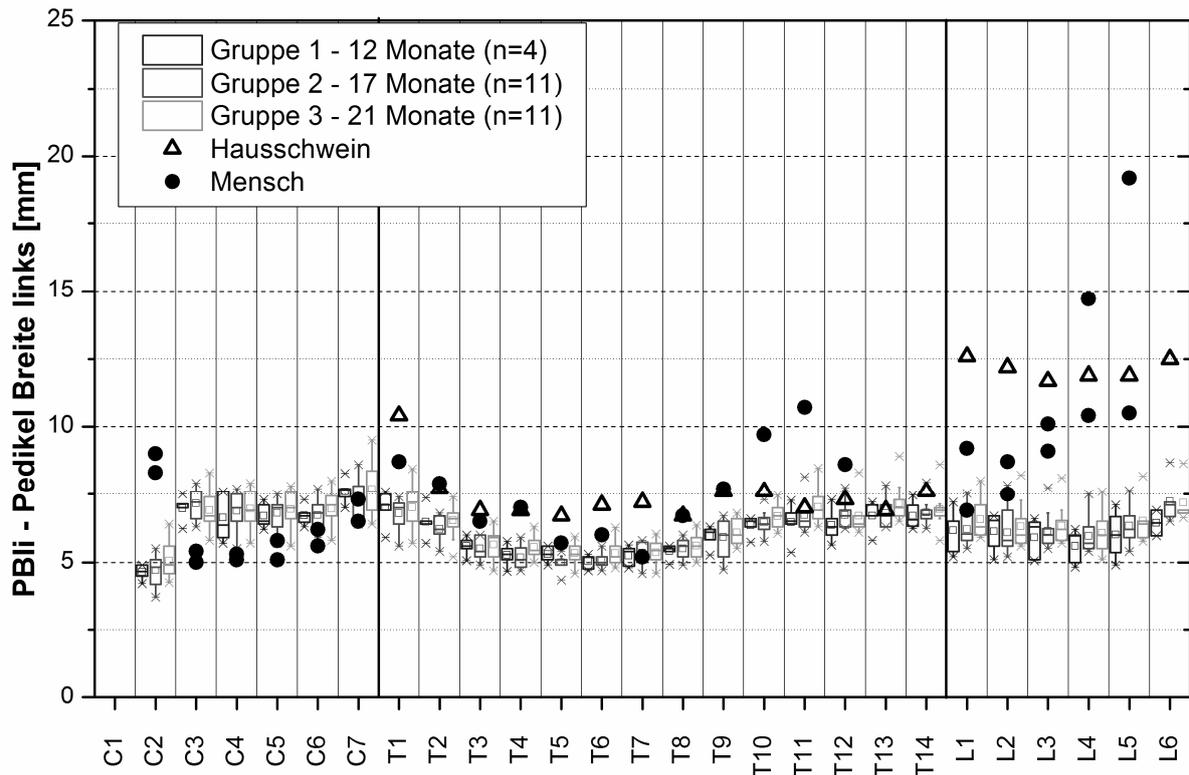


Abbildung 112: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Pedikel Breite links (Pbli); Literatur: (2), (4), (6), (7), (8), (12)

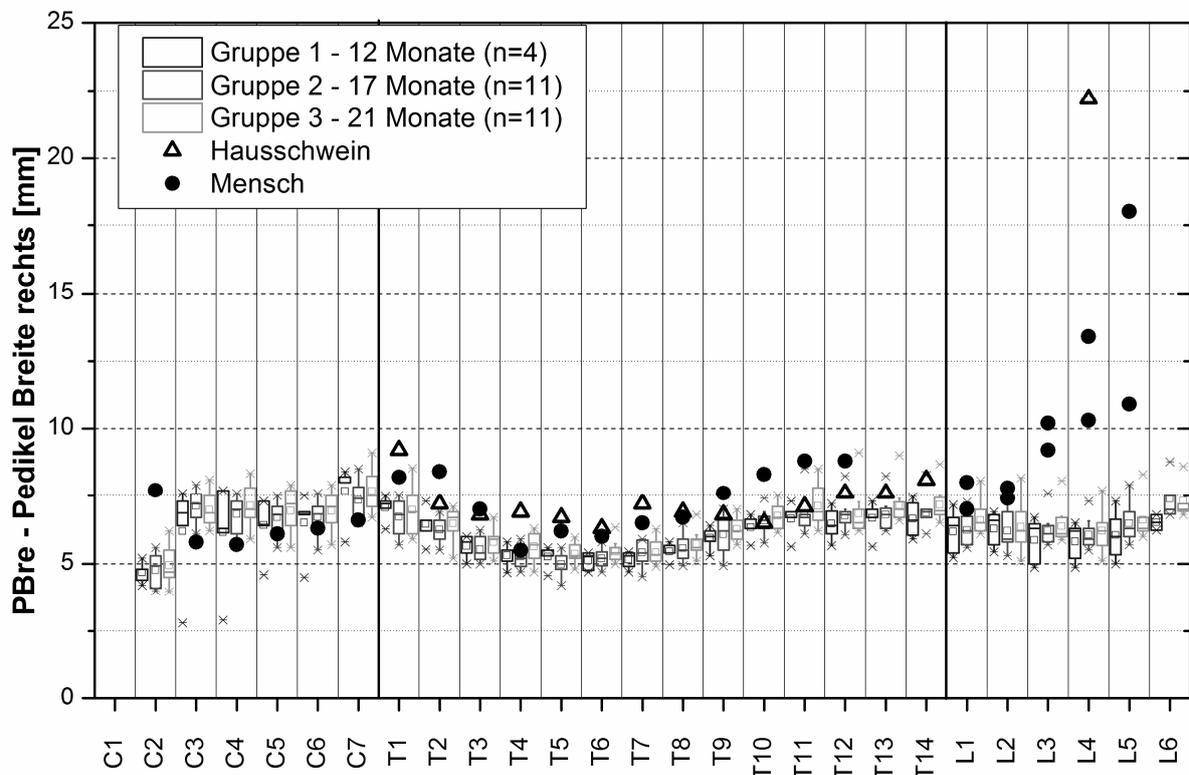


Abbildung 113: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Pedikel Breite rechts (PBre); Literatur: (2), (7), (8), (12)

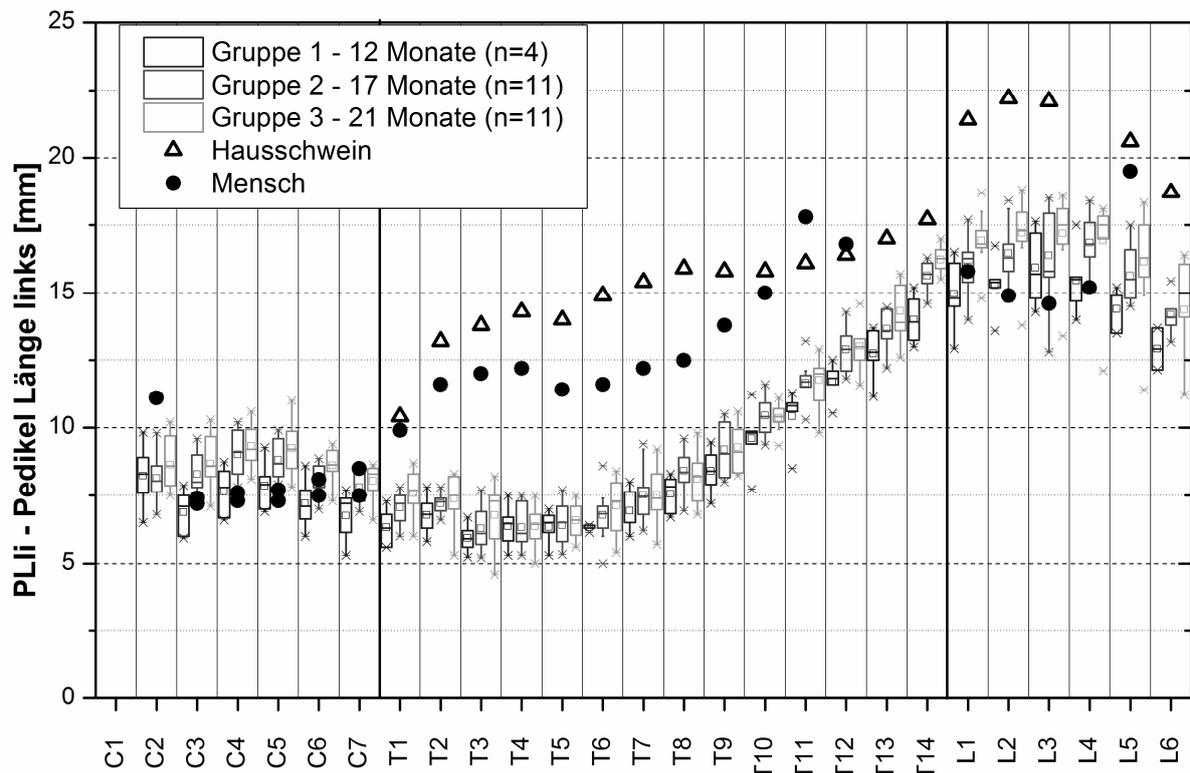


Abbildung 114: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Pedikel Länge links (PLli); Literatur: <sup>(2)</sup>; <sup>(4)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(12)</sup>

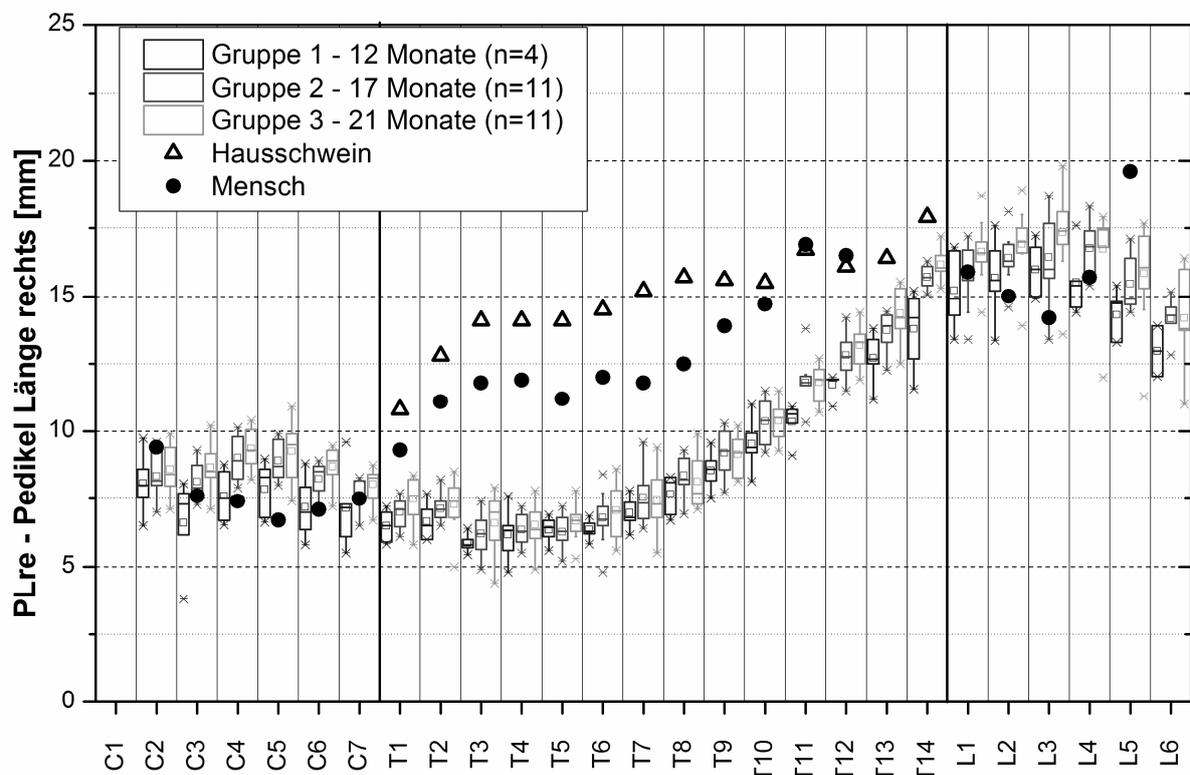


Abbildung 115: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Pedikel Länge rechts (PLre); Literatur: <sup>(2)</sup>; <sup>(7)</sup>

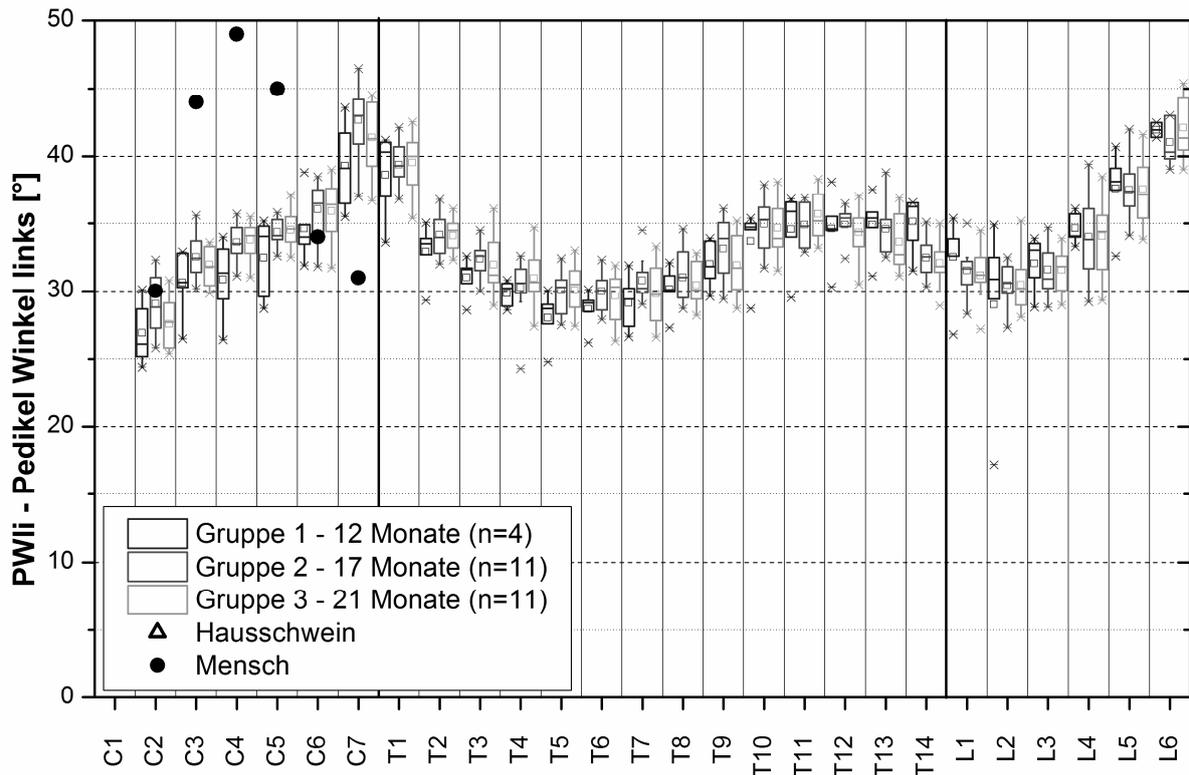


Abbildung 116: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Pedikel Winkel links (PWli); Literatur: <sup>(5)</sup>

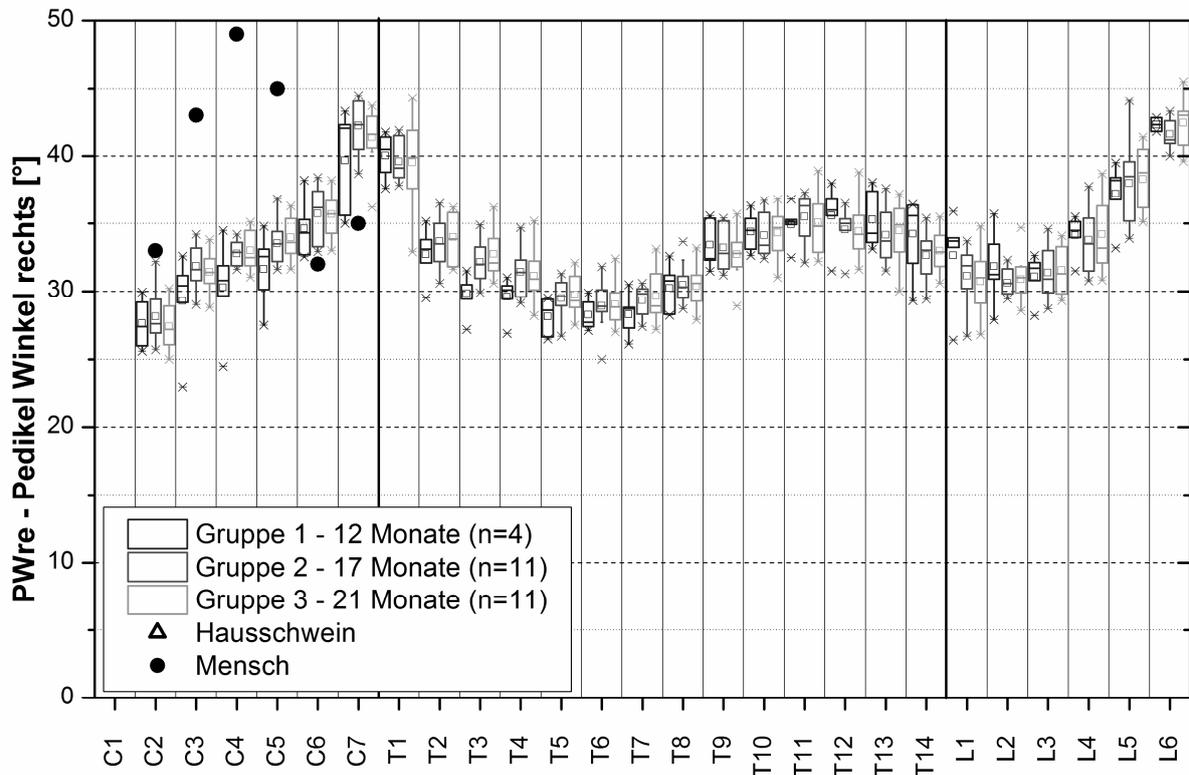


Abbildung 117: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Pedikel Winkel rechts (PWre); Literatur: <sup>(5)</sup>

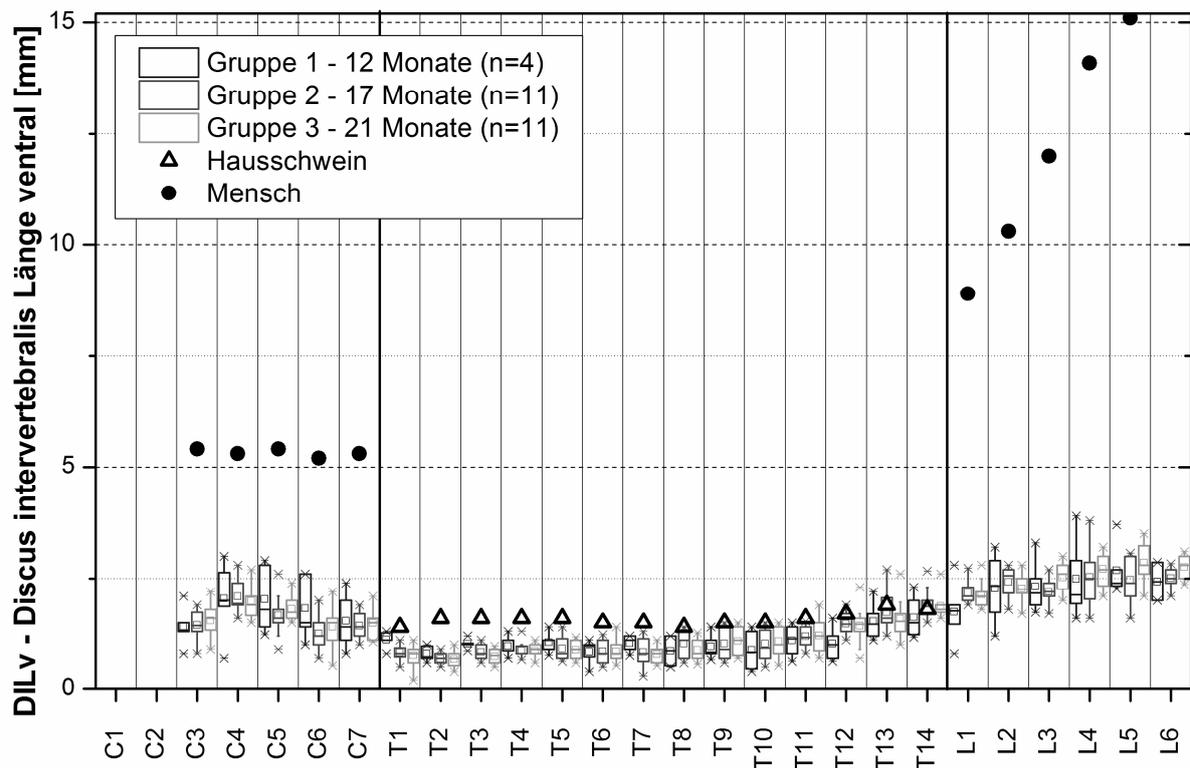


Abbildung 118: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Discus intervertebralis Länge ventral (DILv); Literatur: <sup>(4)</sup>, <sup>(7)</sup>, <sup>(10)</sup>

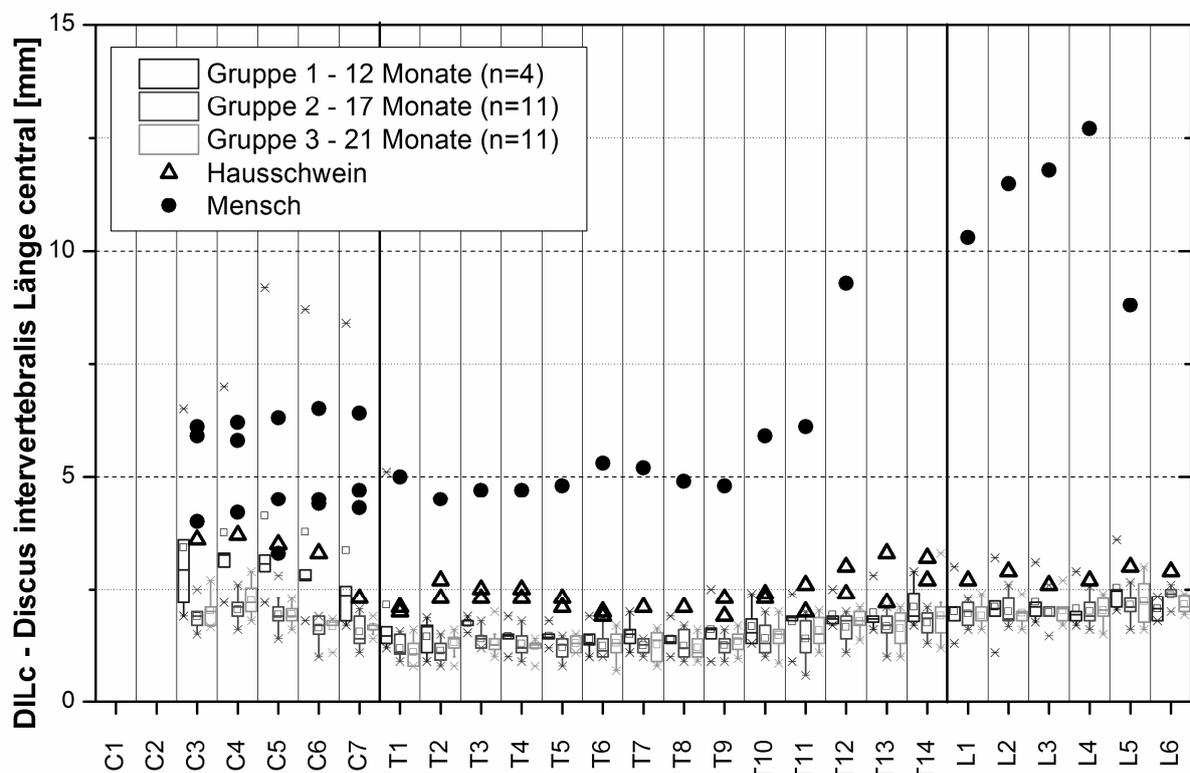


Abbildung 119: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Discus intervertebralis Länge central (DILc); Literatur: <sup>(1)</sup>, <sup>(3)</sup>, <sup>(4)</sup>, <sup>(7)</sup>, <sup>(10)</sup>

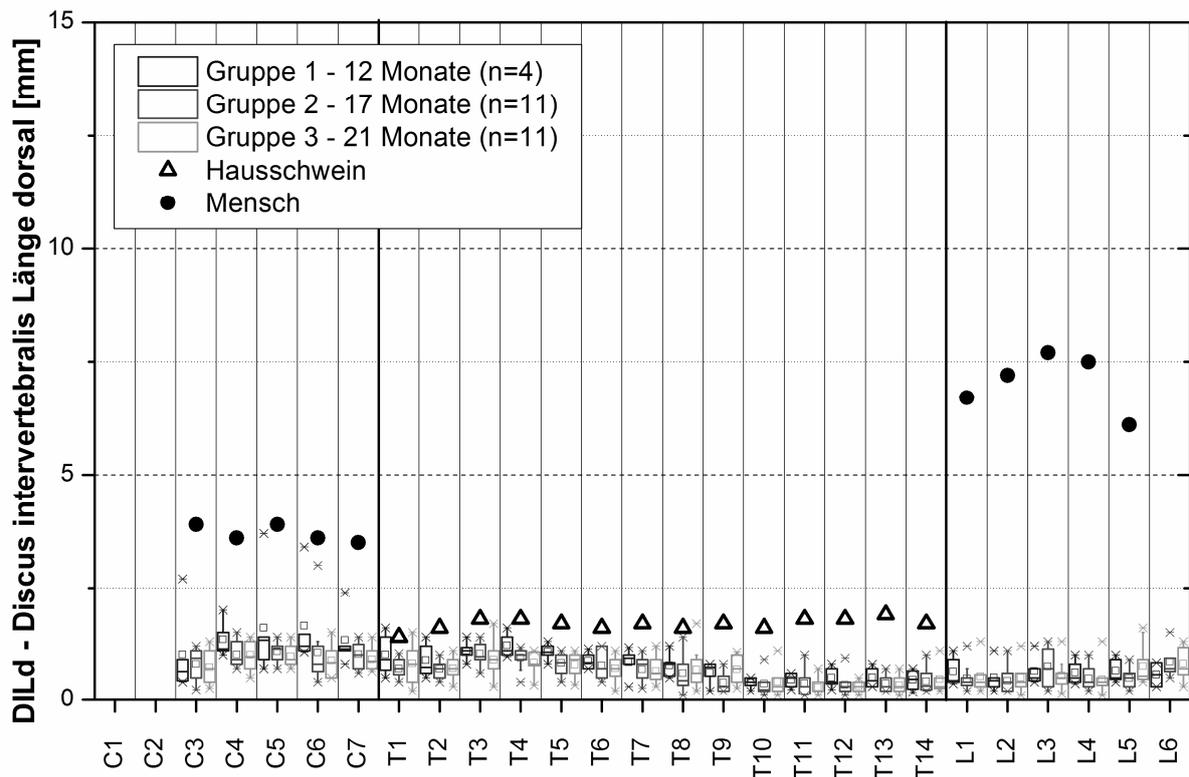


Abbildung 120: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Discus intervertebralis Länge dorsal (DILd); Literatur: <sup>(4)</sup>; <sup>(7)</sup>; <sup>(10)</sup>

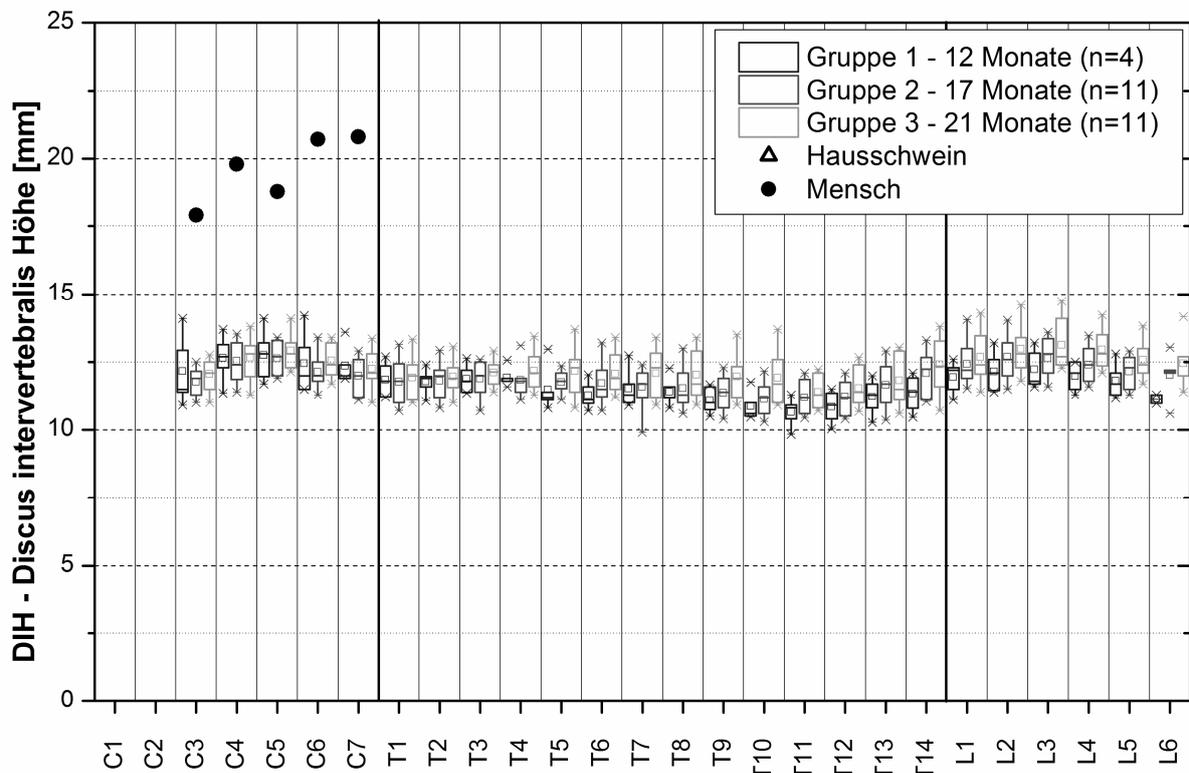


Abbildung 121: Vergleich Göttingen Minipig mit Literaturdaten von Mensch und Hausschwein am Beispiel Discus intervertebralis Höhe (DIH); Literatur: <sup>(3)</sup>

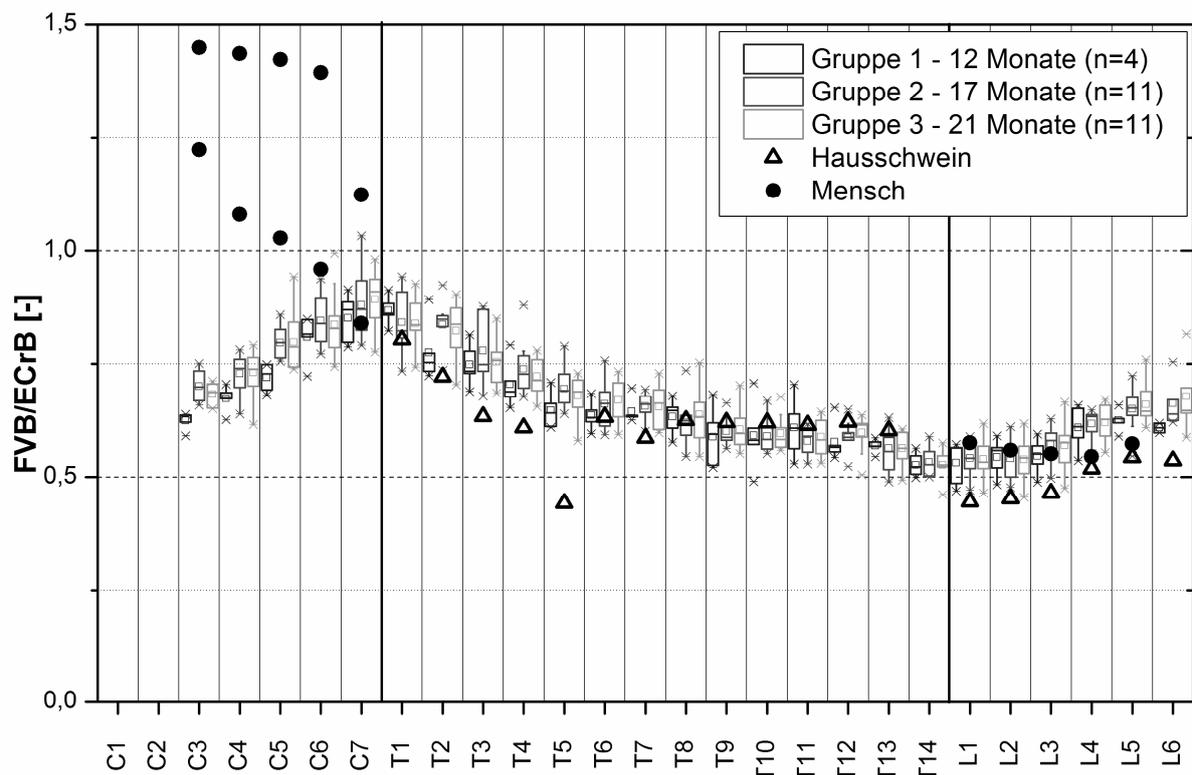


Abbildung 122: Foramen vertebrale Breite/Extremitas cranialis Breite (FVB/ECrB); Literatur: (2), (4), (7), (12)

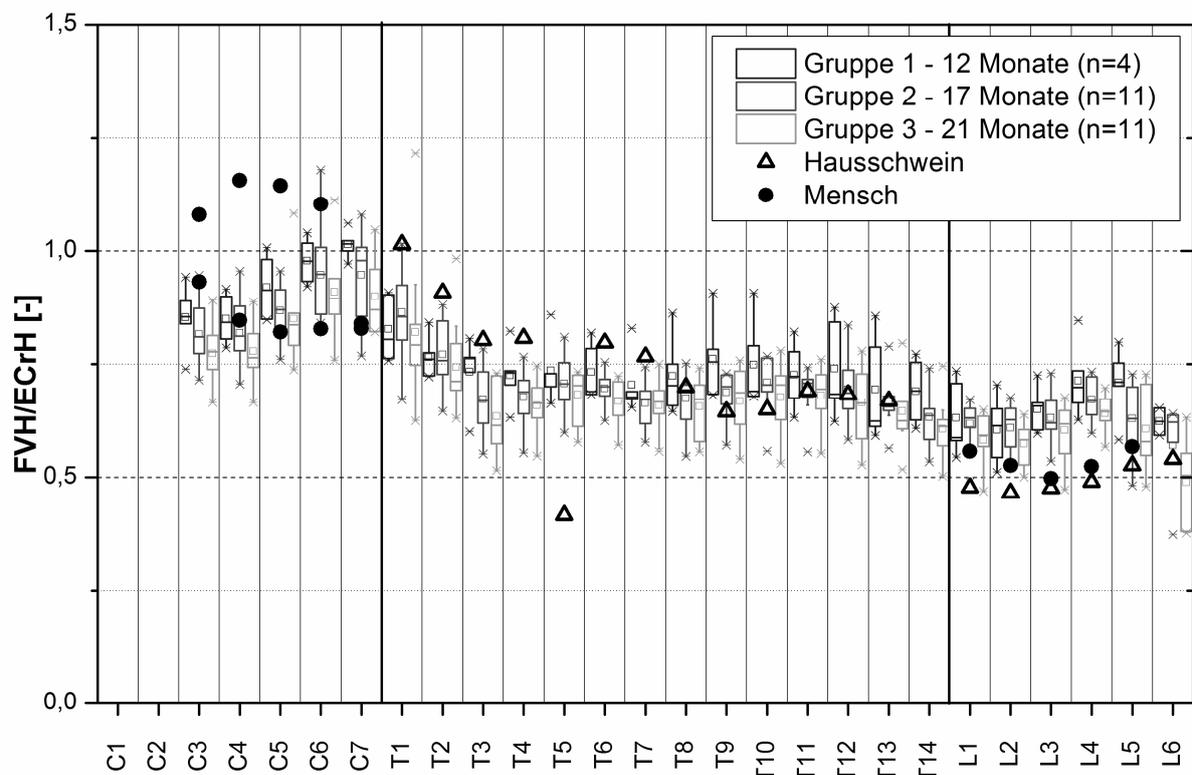


Abbildung 123: Foramen vertebrale Höhe/Extremitas cranialis Höhe (FVH/ECrH); Literatur: (2), (4), (7), (12)

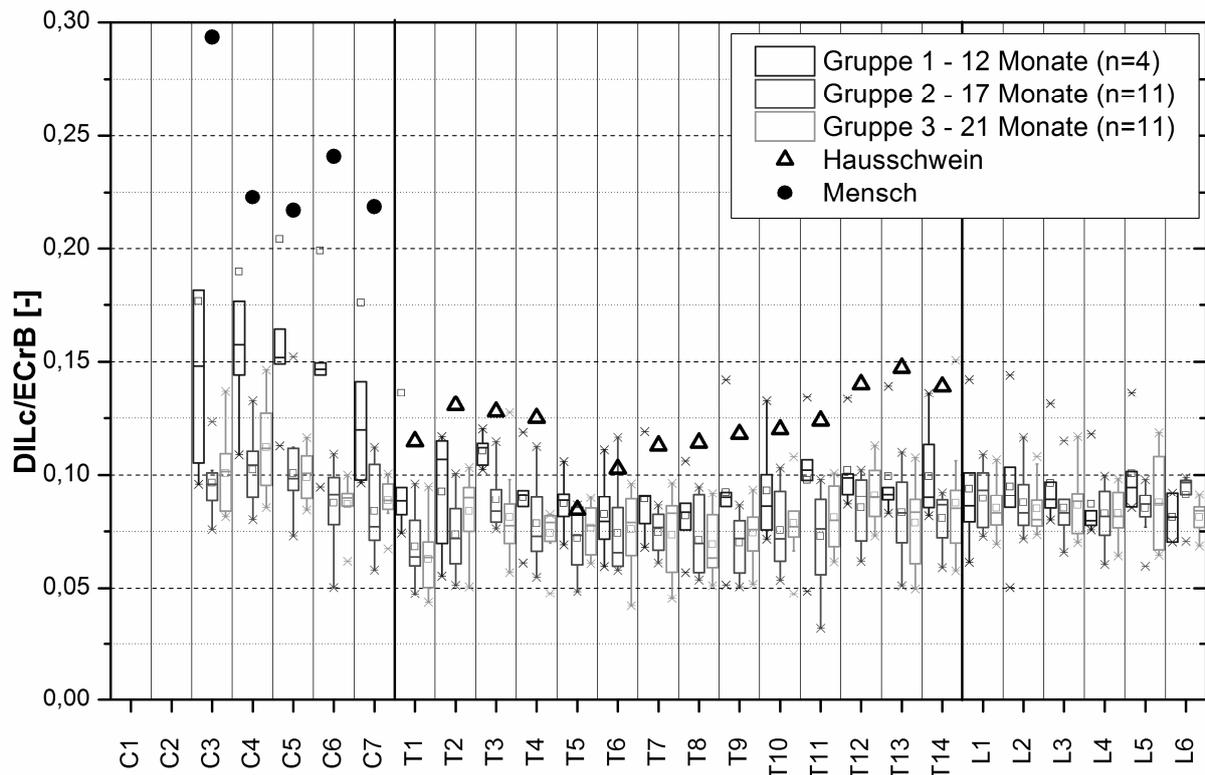


Abbildung 124: Discus intervertebralis Länge central/ Extremitas cranialis Breite (DILc/ECrB); Literatur: (4), (7)

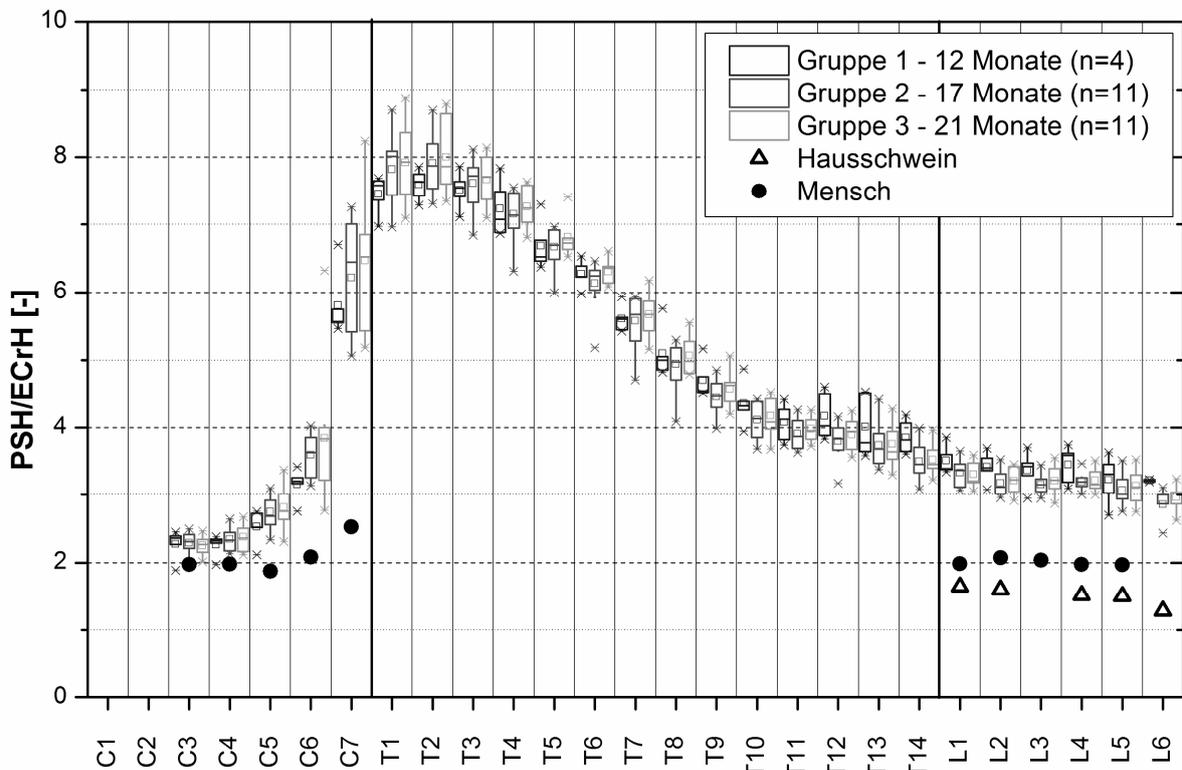


Abbildung 125: Processus spinosus Höhe/Extremitas cranialis Höhe (PSH/ECrH); Literatur: (2), (12)

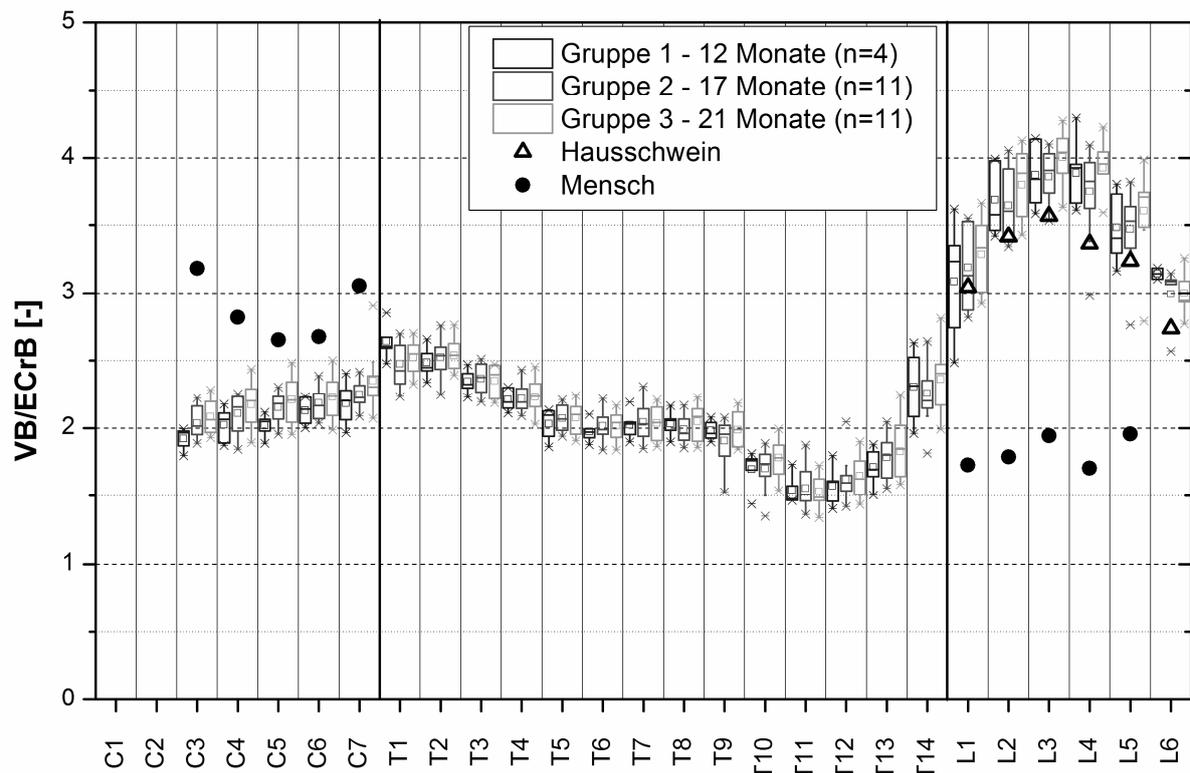


Abbildung 126: Vertebra Breite/Extremitas cranialis Breite (VB/ECrB); Literatur: <sup>(2)</sup>, <sup>(12)</sup>

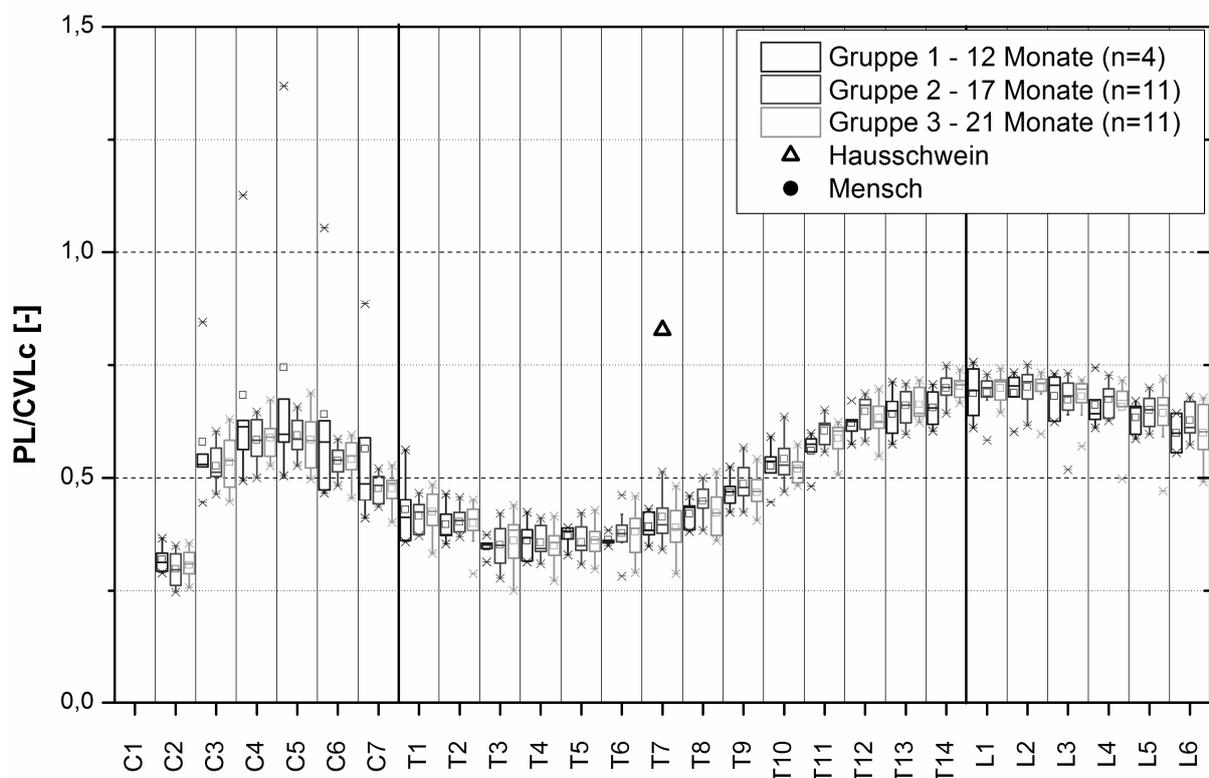


Abbildung 127: Pedikel Länge (Pedikel Länge links+Pedikel Länge rechts/2)/Corpus vertebrae Länge central (PL/CVLc); Literatur: <sup>(7)</sup>

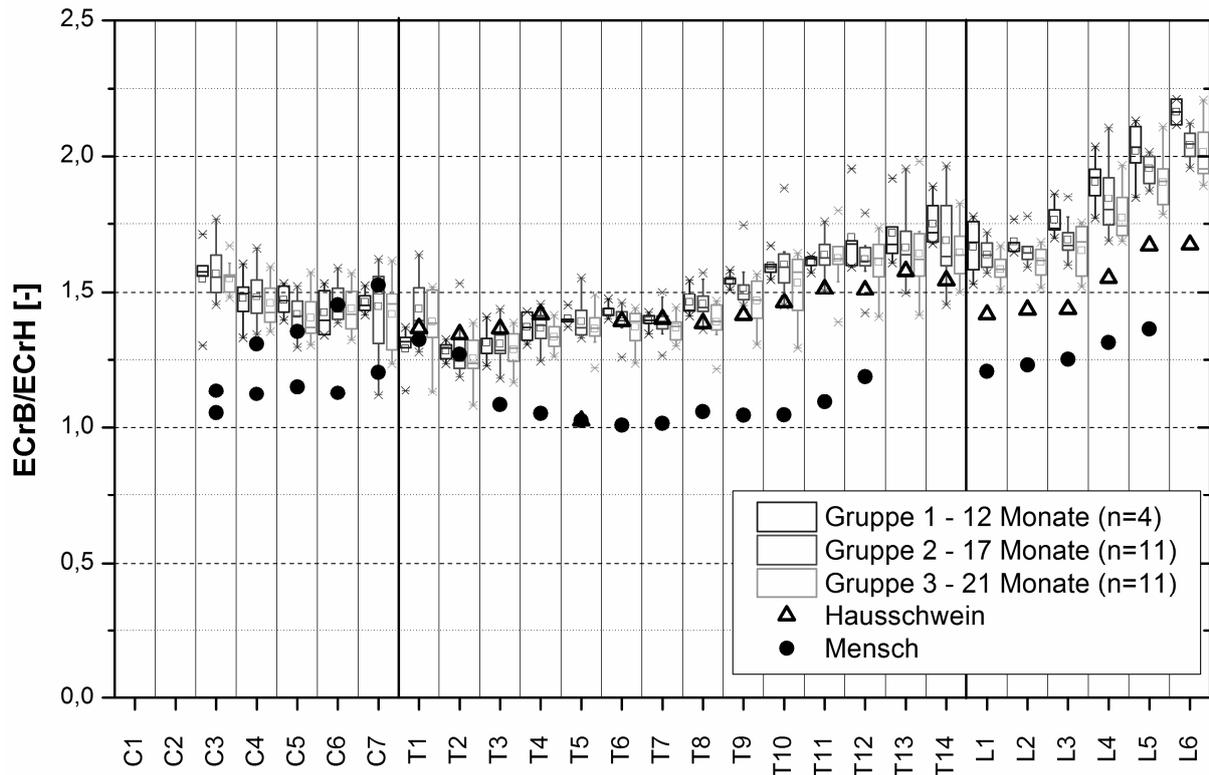


Abbildung 128: Extremitas cranialis Breite/Extremitas cranialis Höhe (ECrB/ECrH); Literatur: (2), (4), (5), (7), (12)

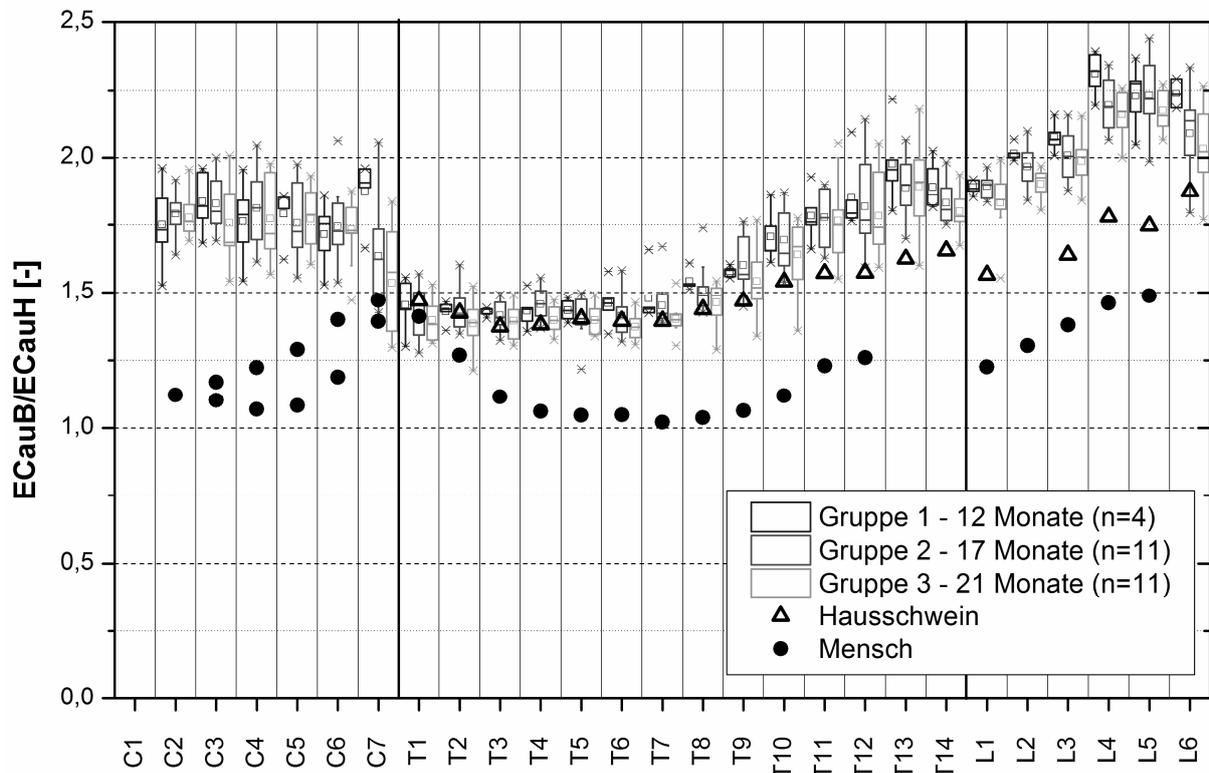


Abbildung 129: Extremitas caudalis Breite/Extremitas caudalis Höhe (ECauB/ECauH); Literatur: (2), (4), (7), (12)

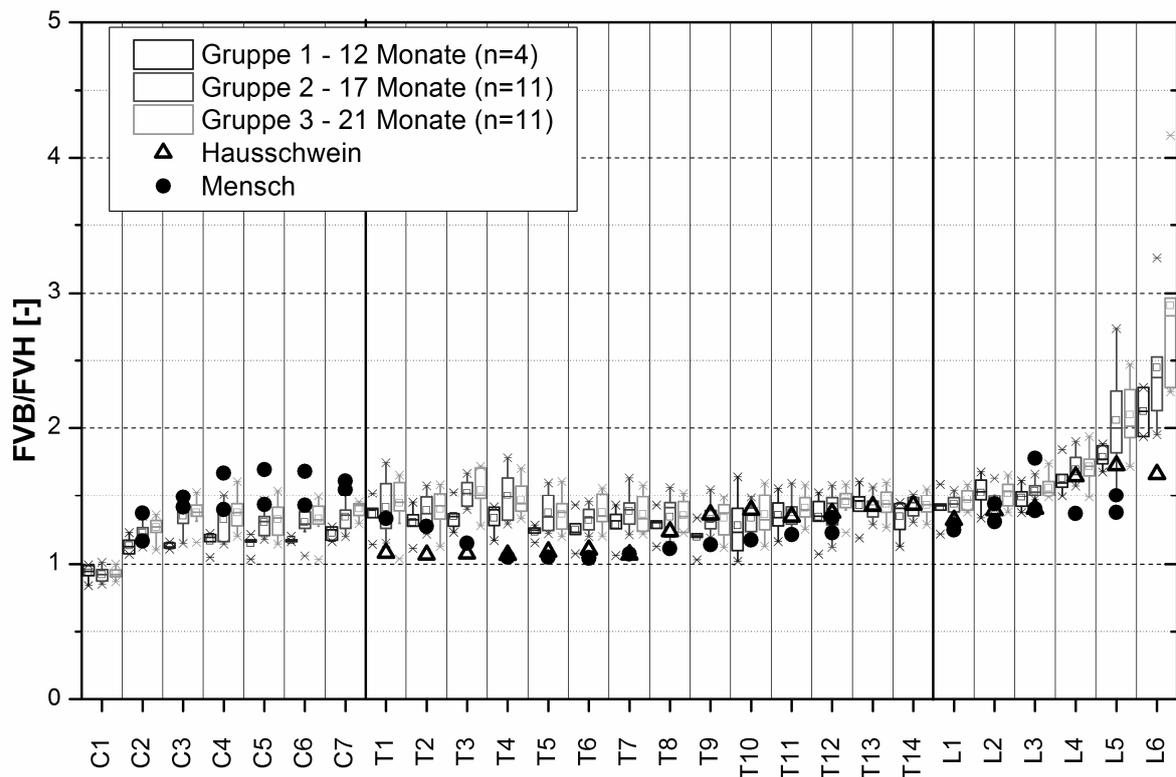


Abbildung 130: Foramen vertebrale Breite/Foramen vertebrale Höhe (FVB/FVH); Literatur: <sup>(2); (4); (6); (7); (8); (9); (12)</sup>

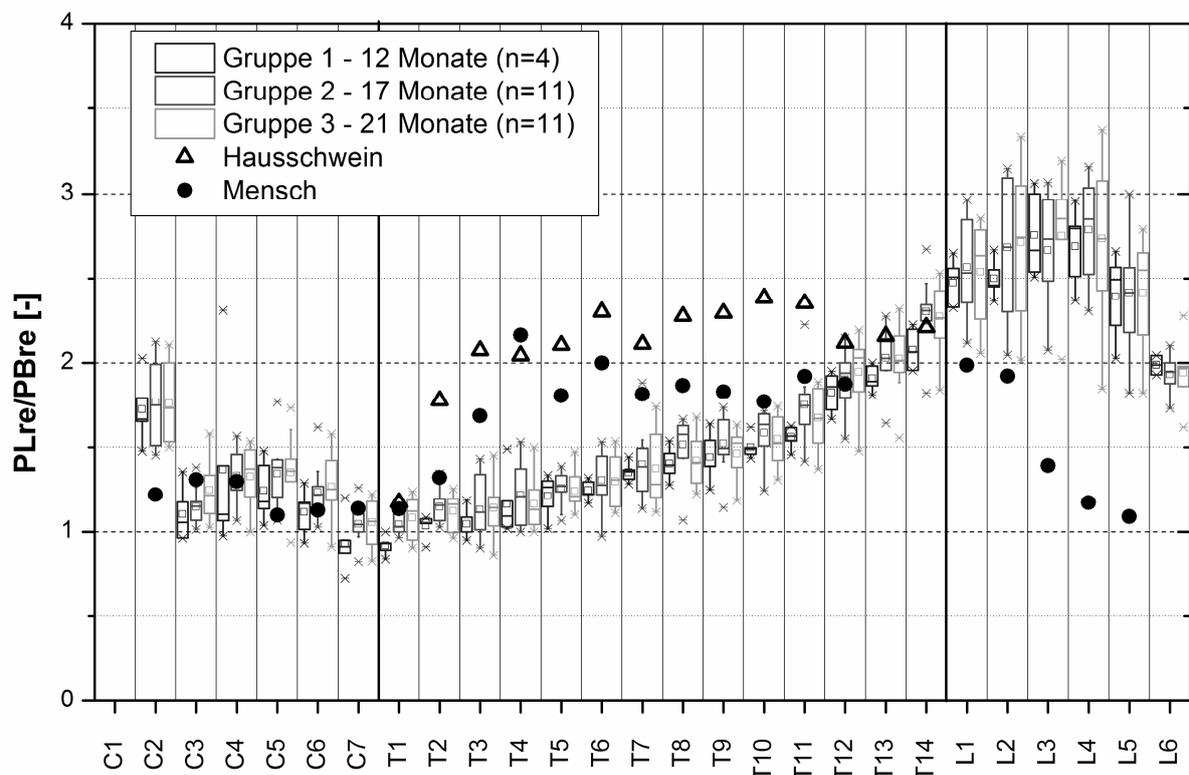


Abbildung 131: Pedikel Länge rechts/Pedikel Breite rechts (PLre/PBre); Literatur: <sup>(2); (7)</sup>

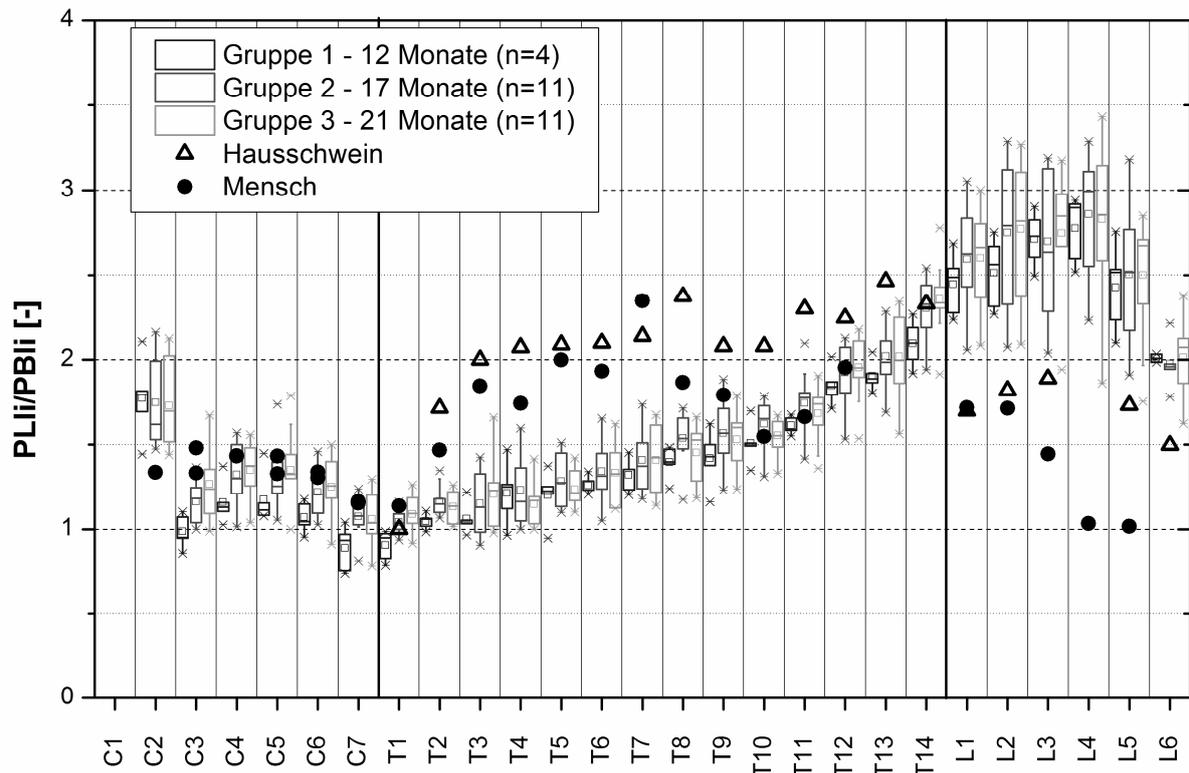


Abbildung 132: Pedikel Länge links/Pedikel Breite links (PLi/PBli); Literatur: (2); (4); (7); (12)

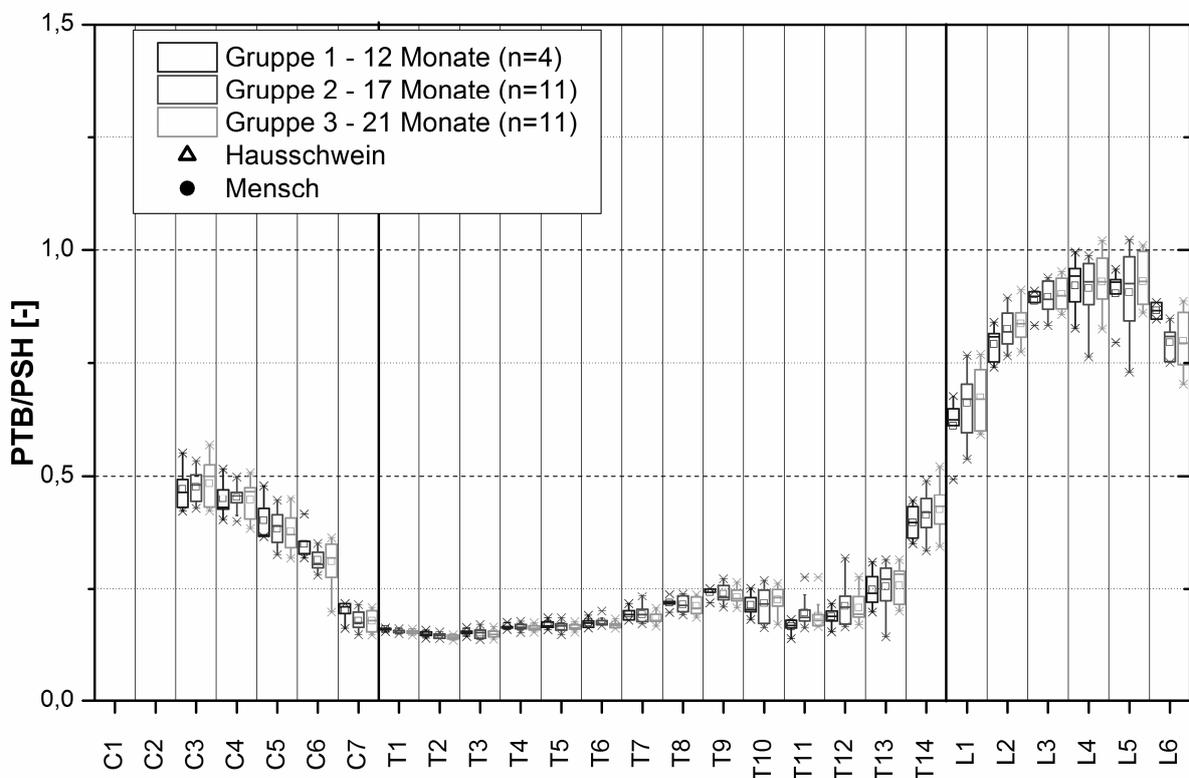


Abbildung 133: Processus transversus Breite (Processus transversus Breite links/ Processus transversus Breite rechts/2)/Processus spinosus Höhe (PTB/PSH)

## 10 Literaturverzeichnis

Aerssens, J.; Boonen, S.; Lowet, G.; Dequeker, J. (1998): Interspecies differences in bone composition, density, and quality: potential implications for in vivo bone research. In: *Endocrinology* 139 (2), S. 663–670. DOI: 10.1210/endo.139.2.5751.

Aigner, Bernhard; Renner, Simone; Kessler, Barbara; Klymiuk, Nikolai; Kurome, Mayuko; Wunsch, Annegret; Wolf, Eckhard (2010): Transgenic pigs as models for translational biomedical research. In: *Journal of Molecular Medicine* 88 (7), S. 653–664. DOI: 10.1007/s00109-010-0610-9.

Alini, Mauro; Eisenstein, Stephen M.; Ito, Keita; Little, Christopher; Kettler, A. Annette; Masuda, Koichi et al. (2008): Are animal models useful for studying human disc disorders/degeneration? In: *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 17 (1), S. 2–19. DOI: 10.1007/s00586-007-0414-y.

Alldinger, Ingo (2005): Chirurgische Forschung. Stuttgart: Thieme.

Aurich, Christine; Engelhardt, Wolfgang von (2010): Physiologie der Haustiere. 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart: Enke.

Aurich, Christine; König, Horst Erich; Liebich, Hans-Georg (2012): Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. 5., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart, New York, NY: Schattauer.

Badura, Bernhard; Ducki, Antje; Klose, Joachim; Macco, Katrin; Schröder, Helmut (2011): Führung und Gesundheit: Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Fehlzeiten-Report 2011. Berlin, Heidelberg: Springer.

Badura, Bernhard; Ducki, Antje; Schröder, Helmut (Hg.) (2014): Erfolgreiche Unternehmen von morgen - gesunde Zukunft heute gestalten. Fehlzeiten-Report 2014. Berlin u.a.: Springer.

Balls, Michael (2007): Professor W.M.S. Russell (1925–2006): Doyen of the Three Rs. Proc. 6th World Congress on Alternatives & Animal Use in the Life Sciences. Tokyo, Japan, 21.08.2007. Online verfügbar unter <http://altweb.jhsph.edu/wc6/paper1.pdf>, zuletzt geprüft am 15.08.2015.

Balls, Michael (2009): The origins and early days of the Three Rs concept. In: *Alternatives to laboratory animals* 37 (3), S. 255–265.

Balls, Michael (2010): The Principles of Humane Experimental Technique: Timeless Insights and Unheeded Warnings. Hg. v. ALTEX. FRAME. Online verfügbar unter <http://www.altex.ch/All-issues/Issue.50.html?iid=113&aid=7>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.

Balls, Michael; Russell, W. M. S; Burch, R. L. (2009): The three Rs and the humanity criterion. Reduction, refinement, replacement. Nottingham: FRAME.

Banks, R. E. (1995): The 4th R of research. In: *Contemporary topics in laboratory animal science/American Association for Laboratory Animal Science* 34 (1), S. 50–51.

Bannasch, H.; Föhn, M.; Unterberg, T.; Knam, F.; Weyand, B.; Stark, G. B. (2003): Gewebeersatz (tissue engineering) von Dermis und Epidermis. In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 74 (9), S. 802–807. DOI: 10.1007/s00104-003-0725-4.

- Bartels, Felix (2011): Histomorphometrische Untersuchungen der Knochenstruktur am ovariectomierten Göttinger Minischwein zur Etablierung eines Großtiermodells zur Simulation der postmenopausalen Osteoporose. Univ., Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. Abteilung Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Online verfügbar unter <http://ediss.uni-goettingen.de/handle/11858/00-1735-0000-0006-B292-E?locale-attribute=en>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Bautz, W.; Kalender, W. (2005): Godfrey N. Hounsfield und die Folgen. In: *Der Radiologe* 45 (4), S. 350–355. DOI: 10.1007/s00117-005-1200-7.
- Beglinger, R.; Becker, M.; Eggenberger, E.; Lombard, C. (1975): Das Göttinger Miniaturschwein als Versuchstier. In: *Research in Experimental Medicine* 165 (3), S. 251–263. DOI: 10.1007/BF01971385.
- Bentham, Jeremy (1823): An introduction to the principles of morals and legislation. London. Online verfügbar unter <http://galenet.galegroup.com/servlet/MOME?af=RN&ae=U104486970&srcht=a&ste=14>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Berry, J. L.; Moran, J. M.; Berg, W. S.; Steffee, A. D. (1987): A morphometric study of human lumbar and selected thoracic vertebrae. In: *Spine* 12 (4), S. 362–367.
- Binder, Regina (2010): Die neue Tierversuchs-Richtlinie. Anspruch, Realität und Perspektiven; (Richtlinie 2010/63/EU des Europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz der für wissenschaftliche Zwecke verwendeten Tiere vom 22. September 2010). In: *Altex Ethik* 2 (1), S. 11–22.
- BKK Bundesverband (Hg.) (2008): Wettbewerbsvorteil Gesundheit. Kosten arbeitsbedingter Erkrankungen und Frühberentung in Deutschland. Online verfügbar unter [http://www.dnbgf.de/fileadmin/texte/Downloads/uploads/dokumente/2008/BKK\\_Broschuere\\_arbeitsbedingteGesundheitskosten\\_RZ\\_web.pdf](http://www.dnbgf.de/fileadmin/texte/Downloads/uploads/dokumente/2008/BKK_Broschuere_arbeitsbedingteGesundheitskosten_RZ_web.pdf), zuletzt geprüft am 21.09.2015.
- Blake, Glen M.; Fogelman, Ignac (2007): The role of DXA bone density scans in the diagnosis and treatment of osteoporosis. In: *Postgraduate medical journal* 83 (982), S. 509–517. DOI: 10.1136/pgmj.2007.057505.
- BMEL (Hg.) (2013): Versuchstierzahlen 2012. Online verfügbar unter <http://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Tier/Tierschutz/2012TierversuchszahlenGesamt.html>, zuletzt geprüft am 09.06.2014.
- BMEL, zitiert nach Statista (2012): Einsatzbereiche von Wirbeltieren bei Tierversuchen in Deutschland im Jahr 2010. Unter Mitarbeit von BMEL. Hg. v. Statista. BMEL. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/223204/umfrage/einsatzbereiche-von-wirbeltieren-als-versuchstiere-in-deutschland/>, zuletzt geprüft am 20.10.2015.
- BMEL, zitiert nach Statista (2013): Anzahl der für wissenschaftliche Versuche verwendeten Tiere in Deutschland im Jahr 2012 nach Art des Zwecks (in 1.000). Unter Mitarbeit von BMEL. Hg. v. Statista. BMEL. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/2411/umfrage/tierversuche-nach-art-des-zwecks/>, zuletzt geprüft am 20.10.2015.
- Bøgehøj, Morten Foged; Emmeluth, Claus; Overgaard, Søren (2011): Microdialysis in the femoral head of the minipig and in a blood clot of human blood. In: *Acta Orthopaedica* 82 (2), S. 241–245. DOI: 10.3109/17453674.2011.566132.

- Bollen; Hansen, Axel Kornerup; Alstrup, Aage Kristian Olsen (2010): The laboratory swine. The laboratory animal pocket reference series. 2. ed. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Bollen; Madsen, L. W.; Meyer, O.; Ritskes-Hoitinga, J. (2005): Growth differences of male and female Göttingen minipigs during ad libitum feeding: a pilot study. In: *Laboratory Animals* 39 (1), S. 80–93. DOI: 10.1258/0023677052886565.
- Bollen, Peter; Ellegaard, Lars (1997): The Göttingen Minipig in Pharmacology and Toxicology. In: *Pharmacology & Toxicology* 80, S. 3–4. DOI: 10.1111/j.1600-0773.1997.tb01980.x.
- Boo, Jasmijn de; Knight, Andrew (2008): Increasing the Implementation of Alternatives to Laboratory Animal Use. Hg. v. Japanese journal for alternatives to animal use (AATEX). Online verfügbar unter [http://www.academia.edu/411052/Increasing\\_the\\_implementation\\_of\\_alternatives\\_to\\_laboratory\\_animal\\_use](http://www.academia.edu/411052/Increasing_the_implementation_of_alternatives_to_laboratory_animal_use), zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Bozkus, H.; Crawford, N. R.; Chamberlain, R. H.; Valenzuela, T. D.; Espinoza, A.; Yüksel, Z.; Dickman, C. A. (2005): Comparative anatomy of the porcine and human thoracic spines with reference to thoracoscopic surgical techniques. In: *Surgical endoscopy* 19 (12), S. 1652–1665. DOI: 10.1007/s00464-005-0159-9.
- Brosius, Felix (2013): SPSS 21. 1. Aufl. Heidelberg [u.a.]: mitp/bhv.
- Büchter, André; Kleinheinz, Johannes; Wiesmann, Hans Peter; Kersken, Jan; Nienkemper, Manuel; Weyhrother, Hendrik von et al. (2005): Biological and biomechanical evaluation of bone remodelling and implant stability after using an osteotome technique. In: *Clinical Oral Implants Research* 16 (1), S. 1–8. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2004.01081.x.
- Bulger, R. E. (1987): Use of animals in experimental research: a scientist's perspective. In: *The Anatomical record* 219 (3), S. 215–220. DOI: 10.1002/ar.1092190302.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2014): Tierschutzgesetz, vom 28.07.2014. Online verfügbar unter <http://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Bundesrepublik Deutschland (2012): Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland, vom 11.07.2012. Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/grundgesetz>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Bungard, Sven (2013): Gesundheit in Bewegung. Schwerpunkt Muskel- und Skeletterkrankungen. BKK-Gesundheitsreport. Essen: BKK-Bundesverband.
- Busenlechner, Dieter; Huber, Christian D.; Vasak, Christoph; Dobsak, Antonia; Gruber, Reinhard; Watzek, Georg (2009): Sinus augmentation analysis revised: the gradient of graft consolidation. In: *Clinical Oral Implants Research* 20 (10), S. 1078–1083. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2009.01733.x.
- Busscher, I.; van der Veen AJ; van Dieën, J. H.; Kingma, I.; Verkerke, G. J.; Veldhuizen, A. G. (2010a): In vitro biomechanical characteristics of the spine. A comparison between human and porcine spinal segments. In: *Spine* 35 (2), S. E35–42. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181b21885.
- Busscher, Iris; Ploegmakers, Joris J W; Verkerke, Gijsbertus J.; Veldhuizen, Albert G. (2010b): Comparative anatomical dimensions of the complete human and porcine spine. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 19 (7), S. 1104–1114. DOI: 10.1007/s00586-010-1326-9.

- Cho, H.; Park, S. H.; Lee, S.; Kang, M.; Hasty, K. A.; Kim, S. J. (2011): Snapshot of degenerative aging of porcine intervertebral disc. A model to unravel the molecular mechanisms. In: *Experimental & molecular medicine* 43 (6), S. 334–340.
- Cooper; Hara, Hidetaka; Ezzelarab, Mohamed; Bottino, Rita; Trucco, Massimo; Phelps, Carol et al. (2013): The potential of genetically-engineered pigs in providing an alternative source of organs and cells for transplantation. In: *Journal of biomedical research* 27 (4), S. 249–253. DOI: 10.7555/JBR.27.20130063.
- Cotterill, P. C.; Kostuik, J. P.; D'Angelo, G.; Fernie, G. R.; Maki, B. E. (1986): An anatomical comparison of the human and bovine thoracolumbar spine. In: *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society* 4 (3), S. 298–303. DOI: 10.1002/jor.1100040306.
- Crisostomo, Veronica; Baez-Diaz, Claudia; Maestre, Juan; Garcia-Lindo, Monica; Sun, Fei; Casado, Javier G. et al. (2014): Allogeneic cardiac stem cell administration for acute myocardial infarction. A timing experimental study in swine. In: *Journal of the American College of Cardiology* 63 (12), S. A1753. DOI: 10.1016/S0735-1097(14)61756-3.
- Cussler, K. (1999): A 4R concept for the safety testing of immunobiologicals. In: *Developments in biological standardization* 101, S. 121–126.
- Dallek, M.; Meenen, N. M.; Jungbluth, K.-H. (1995): Zum Verhalten künstlich erzeugter Epiphysenfugendefekte. In: *Unfallchirurgie* 21 (5), S. 219–226. DOI: 10.1007/BF02588760.
- Dämmrich, K. (1967): Osteoporose bei Jungtieren. Hg. v. SAGE. Institut für Veterinär- Pathologie der Freien Universität Berlin. Online verfügbar unter <http://vet.sagepub.com/content/4/5/435.full.pdf>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Daneshian, Mardas; Akbarsha, Mohammad A.; Blaauboer, Bas; Caloni, Francesca; Cosson, Pierre; Curren, Rodger et al. (2011): A framework program for the teaching of alternative methods (replacement, reduction, refinement) to animal experimentation. In: *ALTEX* 28 (4), S. 341–352.
- Darwin, Charles (1859): On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. London. Online verfügbar unter [http://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/Freeman\\_OntheOriginofSpecies.html](http://darwin-online.org.uk/EditorialIntroductions/Freeman_OntheOriginofSpecies.html), zuletzt geprüft am 06.09.2015.
- Dath, R.; Ebinesan, A. D.; Porter, K. M.; Miles, A. W. (2007): Anatomical measurements of porcine lumbar vertebrae. In: *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 22 (5), S. 607–613. DOI: 10.1016/j.clinbiomech.2007.01.014.
- Dirscherl, Stefan (2012): Tier- und Naturschutz im Nationalsozialismus. Gesetzgebung, Ideologie und Praxis. Beiträge zu Grundfragen des Rechts. 1., neue Ausg. Göttingen, Niedersachs: V&R unipress.
- Dr. Ulrich Herzog (2011): Das österreichische Tierschutzgesetz. Die wichtigsten Bestimmungen für Hund, Katze, Sittich & Co schnell erklärt. Hg. v. Bundesministerium für Gesundheit. Online verfügbar unter [https://www.verbrauchergesundheit.gv.at/tiere/publikationen/broschuere\\_tierschutzgesetz.pdf?4aa1u2](https://www.verbrauchergesundheit.gv.at/tiere/publikationen/broschuere_tierschutzgesetz.pdf?4aa1u2), zuletzt geprüft am 14.08.2015.
- Eckstein, Peter P. (2006): Repetitorium Statistik. Deskriptive Statistik, Stochastik, induktive Statistik ; mit Klausuraufgaben und Lösungen. 6., aktualisierte Aufl. Wiesbaden: Gabler.
- Ellegaard (2014): Ellegaard. Online verfügbar unter [www.minipigs.dk](http://www.minipigs.dk), zuletzt geprüft am 04.11.2015.

- El-Nabi, Fatmeh Mostafa Abd (1975): Züchtung eines Miniaturschweines als Versuchs- und Laboratoriumstier. Univ., Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- Elpelt, Bärbel; Hartung, Joachim; Klösener, Karl-Heinz (2012): Statistik: Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik. [S.l.]: Oldenbourg Wissenschaftsverlag.
- Engelhardt, Martin (2014): Engelhardt Lexikon Orthopädie und Unfallchirurgie. Hg. v. Heidelberg: Springer. Online verfügbar unter <http://www.lexikon-orthopaedie.com>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- European Commission, zitiert nach Statista (2010): Inwiefern stimmen Sie der Aussage zu, dass es Wissenschaftlern erlaubt sein sollte, Experimente an Tieren wie Hunden und Affen vorzunehmen, wenn dies helfen könnte, menschliche Gesundheitsprobleme zu lösen? Unter Mitarbeit von TNS Infratest. Hg. v. Statista. European Commission. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/159278/umfrage/einstellung-zu-tierversuchen-in-der-medizinforschung/>, zuletzt geprüft am 21.08.2015.
- Exner, Cornelia (2004): Tierversuche in der Forschung. Bonn: Lemmens.
- Ezzelarab, Mohamed B.; Cooper, David K. C. (2013): Systemic inflammation in xenograft recipients. In: *Xenotransplantation* 20 (1), S. 52. DOI: 10.1111/xen.12014\_10.
- Fekete, Tamás Fülöp; Kleinstück, Frank S.; Mannion, Anne F.; Kendik, Zsolt S.; Jeszenszky, Dezső J. (2011): Prospective study of the effect of pedicle screw placement on development of the immature vertebra in an in vivo porcine model. In: *European Spine Journal* 20 (11), S. 1892–1898. DOI: 10.1007/s00586-011-1889-0.
- Flecknell, Paul (2002): Replacement, reduction and refinement. In: *ALTEX* 19 (2), S. 73–78.
- Franić, Miljenko; Kovac, Vladimir (2006): Anterior instrumentation for correction of adolescent thoracic idiopathic scoliosis: historic prospective study. In: *Croatian medical journal* 47 (2), S. 239–245.
- Fröhlke, Anne (2009): Untersuchungen zum Knochenstoffwechsel am immunkastrierten Minipig. Erprobung eines nichtinvasiven Osteoporosemodells. Univ., Dissertation Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Fuchs, J.; Rabenberg, M.; Scheidt-Nave, C. (2013): Prävalenz ausgewählter muskuloskelettaler Erkrankungen. Ergebnisse der Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1). In: *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz* 56 (5-6), S. 678–686. DOI: 10.1007/s00103-013-1687-4.
- Gaines, Carmen; Poranki, Deepika; Du, Wei; Clark, Richard A. F.; van Dyke, Mark (2013): Development of a porcine deep partial thickness burn model. In: *Burns* 39 (2), S. 311–319. DOI: 10.1016/j.burns.2012.06.011.
- Glodek, Peter (Hg.) (1981): Das Göttinger Miniaturschwein. Mit 54 Tabellen. Schriftenreihe Versuchstierkunde. Berlin u.a: Parey.
- Gloger, Harald (2005): Deformität der kindlichen Wirbelsäule nach Mehrsegment-Laminotomien. Online verfügbar unter <http://opus.bibliothek.uni-wuerzburg.de/opus/volltexte/2005/1566/index.html>, zuletzt geprüft am 03.07.2015.
- Gotterbarm, T.; Breusch, S. J.; Schneider, U.; Jung, M. (2008): The minipig model for experimental chondral and osteochondral defect repair in tissue engineering: retrospective analysis of 180 defects. In: *Laboratory Animals* 42 (1), S. 71–82. DOI: 10.1258/la.2007.06029e.

- Graw, J.; Ivankovic, S.; Berg, H.; Schmähl, D. (1975): Teratogene Wirkung von Ethyl-Nitrosoharnstoff an Göttinger Miniaturschweinen. In: *Arzneimittelforschung* 25 (10), S. 1606–1608.
- Greeve, Paul de; Leeuw, Wim de; van Zutphen, Bert F M (2004): Trends in animal use and animal alternatives. In: *Alternatives to laboratory animals* 32 Suppl 1A, S. 13–19.
- Gröger, Andreas; Kläring, Svea; Merten, Hans-Albert; Holste, Jörg; Kaps, Christian; Sittinger, Michael (2003): Tissue Engineering of bone for mandibular augmentation in immunocompetent minipigs: preliminary study. In: *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery* 37 (3), S. 129–133. DOI: 10.1080/02844310310007728.
- Gronloh, Nina Maria (2009): Etablierung eines Arthrosemodells am Göttinger Minipig und Test eines neuartigen Kollagen-Knorpelzellträgers zur biologischen Rekonstruktion großflächiger Knorpeldefekte. Univ., Dissertation LMU München.
- Growney Kalaf; Sell, Scott A.; Bledsoe, John Gary (2014): Developing a mechanical and chemical model of degeneration in young bovine lumbar intervertebral disks and reversing loss in mechanical function. In: *Journal of spinal disorders & techniques* 27 (5), S. E168-75. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000085.
- Gruber, Rudolf M.; Ludwig, Arwed; Merten, Hans-Albert; Achilles, Mirjam; Poehling, Sylke; Schliephake, Henning (2008): Sinus floor augmentation with recombinant human growth and differentiation factor-5 (rhGDF-5): a histological and histomorphometric study in the Goettingen miniature pig. In: *Clinical Oral Implants Research* 19 (5), S. 522–529. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2007.01494.x.
- Hackbarth, Hansjoachim; Lückert, Annekatri (2002): Tierschutzrecht. Praxisorientierter Leitfaden. 2. Aufl. München, Berlin: Jehle.
- Hartung, Thomas (2010): Comparative analysis of the revised Directive 2010/63/EU for the protection of laboratory animals with its predecessor 86/609/EEC - a t4 report. In: *ALTEX* 27 (4), S. 285–303.
- Henkel, K.-O; Gerber, Th; Dietrich, W.; Bienengraber, V. (2004): Neuartiges Knochenaufbaumaterial auf Kalziumphosphatbasis. In: *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie* 8 (5), S. 277–281. DOI: 10.1007/s10006-004-0561-9.
- Hirsch, Brandon P.; Unnanuntana, Aasis; Cunningham, Matthew E.; Lane, Joseph M. (2013): The effect of therapies for osteoporosis on spine fusion: a systematic review. In: *The Spine Journal* 13 (2), S. 190–199. DOI: 10.1016/j.spinee.2012.03.035.
- Holm, Sten; Holm, Allison Kaigle; Ekström, Lars; Karladani, Abbas; Hansson, Tommy (2004): Experimental disc degeneration due to endplate injury. In: *Journal of spinal disorders & techniques* 17 (1), S. 64–71.
- Hoyer-Kuhn, H.; Netzer, C.; Semler, O. (2015): Osteogenesis imperfecta. Pathophysiology and treatment. In: *Wiener medizinische Wochenschrift (1946)* 165 (13-14), S. 278–284. DOI: 10.1007/s10354-015-0361-x.
- Hughes, H. C. (1986): Swine in cardiovascular research. In: *Laboratory animal science* 36 (4), S. 348–350.
- Inui, Azusa; Itamoto, Kazuhito; Takuma, Tetsuya; Tsutsumi, Hideki; Tanigawa, Manabu; Hayasaki, Mineo et al. (2004): Age-related changes of bone mineral density and microarchitecture in miniature pigs. In: *The Journal of veterinary medical science / the Japanese Society of Veterinary Science* 66 (6), S. 599–609.

- Irsch, Wilhelm (2007): William Russel und Rex Burch. In: *Biologie in unserer Zeit* 37 (5), S. 330. DOI: 10.1002/biuz.200790083.
- Jäger, Frank (2003): Die Biomechanik der menschlichen Wirbelsäule in Abhängigkeit vom Grad der Ventralflexion. Ein theoretisches Modell mit besonderer Berücksichtigung des intradiscalen Drucks. Univ., Dissertation, Ruhr-Universität Bochum. Online verfügbar unter <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/JaegerFrank/diss.pdf>.
- Jung, M.; Breusch, S.; Daecke, W.; Gotterbarm, T. (2009): The effect of defect localization on spontaneous repair of osteochondral defects in a Gottingen minipig model: a retrospective analysis of the medial patellar groove versus the medial femoral condyle. In: *Laboratory Animals* 43 (2), S. 191–197. DOI: 10.1258/la.2008.007149.
- Kandziora, F.; Pflugmacher, R.; Scholz, M.; Schäfer, J.; Schollmeier, G.; Schnake, K. J. et al. (2002): Experimentelle Spondylodese der Schafshalswirbelsäule Teil 1: Der Effekt des Cage-Designs auf die intervertebrale Fusion. In: *Der Chirurg; Zeitschrift für alle Gebiete der operativen Medizin* 73 (9), S. 909–917. DOI: 10.1007/s00104-002-0489-2.
- Kandziora, F.; Pflugmacher, R.; Scholz, M.; Schnake, K.; Lucke, M.; Schröder, R.; Mittlmeier, T. (2001): Comparison between sheep and human cervical spines: an anatomic, radiographic, bone mineral density, and biomechanical study. In: *Spine* 26 (9), S. 1028–1037.
- Kaplan, Helmut F. (2014): Tierethik. 10 Gründe für einen anderen Umgang mit Tieren. Norderstedt: Books on Demand.
- Karaiakovic, E. E.; Daubs, M. D.; Madsen, R. W.; Gaines, R. W. (1997): Morphologic characteristics of human cervical pedicles. In: *Spine* 22 (5), S. 493–500.
- Kettler, A.; Liakos, L.; Haegele, B.; Wilke, H-J (2007): Are the spines of calf, pig and sheep suitable models for pre-clinical implant tests? In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 16 (12), S. 2186–2192. DOI: 10.1007/s00586-007-0485-9.
- Killingsworth, Cheryl R.; Melnick, Sharon B.; Litovsky, Silvio H.; Ideker, Raymond E.; Walcott, Gregory P. (2013): Evaluation of acute cardiac and chest wall damage after shocks with a subcutaneous implantable cardioverter defibrillator in swine. In: *Pacing and Clinical Electrophysiology*. DOI: 10.1111/pace.12173.
- Kim, Sang-Woo; Kim, Kyoung-Shim; Solis, Chester D.; Lee, Myeong-Seop; Hyun, Byung-Hwa (2013): Development of osteoporosis animal model using micropigs. In: *Laboratory animal research* 29 (3), S. 174–177. DOI: 10.5625/lar.2013.29.3.174.
- Klauber, Jürgen (Hg.) (2015): Krankenhaus-Report 2015. Schwerpunkt: Strukturwandel ; Mit Online-Zugang. 1. Aufl. Stuttgart: Schattauer.
- Köhn, F.; Sharifi, A. R.; Simianer, H. (2007): Modeling the growth of the Goettingen minipig. In: *Journal of animal science* 85 (1), S. 84–92. DOI: 10.2527/jas.2006-271.
- Krämer, Katrin; Nolting, Hans-Dieter (2011): DAK Gesundheitsreport 2011. Wie gesund sind junge Arbeitnehmer? Schriftenreihe zur Versorgungsforschung. 1., Aufl. Hg. v. Herbert Rebscher. Heidelberg, Neckar: medhochzwei Verlag.
- Kumar, N.; Kukreti, S.; Ishaque, M.; Mulholland, R. (2000): Anatomy of deer spine and its comparison to the human spine. In: *The Anatomical record* 260 (2), S. 189–203.

- Kumar, Naresh; Kukreti, Sandeep; Ishaque, Mushtaque; Sengupta, Dilip K.; Mulholland, Robert C. (2002): Functional anatomy of the deer spine: an appropriate biomechanical model for the human spine? In: *The Anatomical record* 266 (2), S. 108–117.
- Larsen, Marianne O.; Rolin, Bidida (2004): Use of the Göttingen minipig as a model of diabetes, with special focus on type 1 diabetes research. In: *National Research Council, Institute of Laboratory Animal Resources* 45 (3), S. 303–313.
- Larsen, Marianne Olholm; Rolin, Bidida; Wilken, Michael; Carr, Richard David; Svendsen, O. V.E. (2002): High-Fat High-Energy Feeding Impairs Fasting Glucose and Increases Fasting Insulin Levels in the Göttingen Minipig. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 967 (1), S. 414–423. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2002.tb04297.x.
- Laursen, Morten; Olesen, Søren-Peter; Grunnet, Morten; Mow, Tomas; Jespersen, Thomas (2011): Characterization of cardiac repolarization in the Göttingen minipig. In: *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods* 63 (2), S. 186–195. DOI: 10.1016/j.vascn.2010.10.001.
- Lundin, O.; Ekström, L.; Hellström, M.; Holm, S.; Swärd, L. (1998): Injuries in the adolescent porcine spine exposed to mechanical compression. In: *Spine* 23 (23), S. 2574–2579.
- Lundin, O.; Ekström, L.; Hellström, M.; Holm, S.; Swärd, L. (2000): Exposure of the porcine spine to mechanical compression: differences in injury pattern between adolescents and adults. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 9 (6), S. 466–471.
- Maratea, K. A.; Snyder, P. W.; Stevenson, G. W. (2006): Vascular lesions in nine Gottingen Minipigs with thrombocytopenic purpura syndrome. In: *Veterinary Pathology* 43 (4), S. 447–454. DOI: 10.1354/vp.43-4-447.
- Martin, Madeleine (1989): Die Entwicklung des Tierschutzes und seiner Organisationen in der Bundesrepublik Deutschland, der Deutschen Demokratischen Republik und dem deutschsprachigen Ausland. Univ., Dissertation FU Berlin.
- Matussek, J.; Benditz, A.; Dingeldey, E.; Völlner, F.; Boluki, D. (2015): Operative Behandlung der Skoliose im Kindes- und Jugendalter: Differenzialindikation und Verfahrenswahl bei verschiedenen Altersgruppen und in Abhängigkeit der Ätiologie. In: *Der Orthopäde* 44 (7), S. 577-90; quiz 591-3. DOI: 10.1007/s00132-015-3133-9.
- McLain, Robert F.; Yerby, Scott A.; Moseley, Timothy A. (2002): Comparative morphometry of L4 vertebrae: comparison of large animal models for the human lumbar spine. In: *Spine* 27 (8), S. E200-6.
- Mettler, Michael (2015): Minischwein. Hg. v. Zootierliste. Online verfügbar unter <http://www.zootierliste.de/?klasse=6&ordnung=605&familie=60501&art=21103095>, zuletzt geprüft am 26.10.2015.
- Mohr, Juliane; Ruchholtz, Steffen; Hildebrand, Frank; Flohé, Sascha; Frink, Michael; Witte, Ingo et al. (2013): Induced hypothermia does not impair coagulation system in a swine multiple trauma model. In: *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 74 (4), S. 1014–1020. DOI: 10.1097/TA.0b013e3182826edd.
- Mokov, I.; Gossé, F.; Schmolke, S. (2010): Atlantoaxiale Dislokation der kindlichen Halswirbelsäule. In: *Manuelle Medizin* 48 (5), S. 360–362. DOI: 10.1007/s00337-010-0784-9.

- Müller, Christine (2010): Computertomographisch gestützte Makro- und Mikromorphometrie von Blutgefäßen des Göttingen Minipigs: Ein Beitrag zum Refinement biomedizinischer Forschungsansätze. Univ., Dissertation FU Berlin. Berlin: Mensch-und-Buch-Verlag.
- Netter, Frank H. (2011): Atlas der Anatomie. 5. Aufl. München: Urban & Fischer.
- Niehues, S. M.; Ruehe, B.; Nelson, K.; Lemke, A. J. (2009): CT-Analyse der Knochenregeneration und des „critical size defects“ am Tiermodell. In: *Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren* 181 (S 01). DOI: 10.1055/s-0029-1221385.
- Niehues, Stefan Markus (2014): Einsatz computertomographischer Volumendatensätze und 2D- sowie 3D-Rekonstruktionen bei tierexperimentellen Untersuchungen im Sinne des 3R-Konzeptes. Berlin: Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin, zuletzt geprüft am 21.05.2015.
- Niethard; Malzahn; Schäfer (2013): Endoprothetik und Wirbelsäuleneingriffe: Uneinheitliches Versorgungsgeschehen. Hg. v. Deutsches Ärzteblatt.
- Nissan, M.; Gilad, I. (1986): Dimensions of human lumbar vertebrae in the sagittal plane. In: *Journal of biomechanics* 19 (9), S. 753–758.
- Nobelprize.org (2015): The Nobel Prize in Physiology or Medicine 1979. Hg. v. Nobel Media AB 2014. Online verfügbar unter [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/medicine/laureates/1979/](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1979/), zuletzt geprüft am 02.11.2015.
- Nunoya, Tetsuo; Shibuya, Kazumoto; Saitoh, Toshiki; Yazawa, Hajime; Nakamura, Keigo; Baba, Yasuko; Hirai, Takuya (2007): Use of Miniature pig or biomedical research, with reference to toxicologic studies. In: *Journal of Toxicologic Pathology* 20 (3), S. 125–132. DOI: 10.1293/tox.20.125.
- O'Connell, Grace D.; Vresilovic, Edward J.; Elliott, Dawn M. (2007): Comparison of animals used in disc research to human lumbar disc geometry. In: *Spine* 32 (3), S. 328–333. DOI: 10.1097/01.brs.0000253961.40910.c1.
- Pait, T. G.; Killefer, J. A.; Arnautovic, K. I. (1996): Surgical anatomy of the anterior cervical spine: the disc space, vertebral artery, and associated bony structures. In: *Neurosurgery* 39 (4), S. 769–776.
- Panjabi, M. M.; Duranceau, J.; Goel, V.; Oxland, T.; Takata, K. (1991a): Cervical human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions. In: *Spine* 16 (8), S. 861–869.
- Panjabi, M. M.; Goel, V.; Oxland, T.; Takata, K.; Duranceau, J.; Krag, M.; Price, M. (1992): Human lumbar vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy. In: *Spine* 17 (3), S. 299–306.
- Panjabi, M. M.; Takata, K.; Goel, V.; Federico, D.; Oxland, T.; Duranceau, J.; Krag, M. (1991b): Thoracic human vertebrae. Quantitative three-dimensional anatomy. In: *Spine* 16 (8), S. 888–901.
- Pearce, A. I.; Richards, R. G.; Milz, S.; Schneider, E.; Pearce, S. G. (2007): Animal models for implant biomaterial research in bone: a review. In: *European cells & materials* 13, S. 1–10.
- Pereira, Shiranee; Tettamanti, Massimo (2005): Ahimsa and alternatives- the concept of the 4th R. The CPSEA in India. In: *ALTEX* 22 (1), S. 3–6.
- Phan, Kevin; Hogan, Jarred A.; Assem, Yusuf; Mobbs, Ralph J. (2015): PEEK-Halo effect in interbody fusion. In: *Journal of clinical neuroscience : official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*. DOI: 10.1016/j.jocn.2015.07.017.
- Psyhyrembel, Willibald (2007): Psyhyrembel® Klinisches Wörterbuch. 261., neu bearb. und erw. Aufl. Berlin: W. de Gruyter.

- Radkau, Joachim; Uekötter, Frank (2003): Naturschutz und Nationalsozialismus. Geschichte des Natur- und Umweltschutzes. Frankfurt [am Main], New York: Campus.
- Raspe, Heiner (2012): Gesundheitsberichterstattung des Bundes - Rückenschmerzen. Gesundheitsberichterstattung für Deutschland. Unter Mitarbeit von Livia Ryl und Thomas Ziese. 1., Aufl. Berlin: Robert Koch-Institut.
- Reuther, J. F.; Würzler, K. K.; Heisterkamp, M.; Böhm, H.; Kübler, N. R.; Sebald, W. (2004): Unterkieferrekonstruktion mit autologem Knochen und einem induktiven Implantat beim Göttinger Minischwein. In: *Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie* 8 (2), S. 75–82. DOI: 10.1007/s10006-004-0527-y.
- Richter, Alexander; Quante, Markus; Macherei, Anja; Halm, Henry (2010): Die modifizierte primärstabile ventrale Derotationsspondylodese mit dem Halm-Zielke-Instrumentarium (HZI) zur Behandlung der idiopathischen Skoliose. In: *Operative Orthopädie und Traumatologie* 22 (2), S. 164–176. DOI: 10.1007/s00064-010-9040-7.
- Rohen, Johannes W.; Lütjen-Drecoll, Elke; Rohen-Lütjen-Drecoll (2012): Funktionelle Embryologie. Die Entwicklung der Funktionssysteme des menschlichen Organismus ; mit 9 Tabellen. 4., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart: Schattauer.
- Rolandsson, O.; Haney, M. F.; Hagg, E.; Biber, B.; Lernmark, A. (2002): Streptozotocin induced diabetes in minipig: a case report of a possible model for type 1 diabetes? In: *Autoimmunity* 35 (4), S. 261–264.
- Rollin, B. E. (1990): Animal welfare, animal rights and agriculture. In: *Journal of animal science* 68 (10), S. 3456–3461.
- Ruehe, Baerbel; Niehues, Stefan; Heberer, Susanne; Nelson, Katja (2009): Miniature pigs as an animal model for implant research: bone regeneration in critical-size defects. In: *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 108 (5), S. 699–706. DOI: 10.1016/j.tripleo.2009.06.037.
- Rupprecht, Stephan; Merten, Hans-Albert; Kessler, Peter; Wiltfang, Jörg (2003): Hydroxyapatite cement (BoneSource™) for repair of critical sized calvarian defects—an experimental study. In: *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery* 31 (3), S. 149–153. DOI: 10.1016/S1010-5182(03)00017-9.
- Rüsse, Imogen; Sinowatz, Fred (2010): Lehrbuch der Embryologie der Haustiere. 3., durchgesehene Ausg. München: Lehmanns.
- Russell; Burch, Rex L. (1959): The principles of humane experimental technique. London: Methuen.
- Russell, W. M. S. (2005): The Three Rs: past, present and future. Hg. v. Animal Welfare. Universities Federation for Animal Welfare. UK. Online verfügbar unter <http://www.biosecurity.govt.nz/files/regs/animal-welfare/naeac/aec-three-rs.pdf>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Saka, Bassam; Wree, Andreas; Anders, Lars; Gundlach, Karsten K H (2002a): Experimental and comparative study of the blood supply to the mandibular cortex in Göttingen minipigs and in man. In: *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 30 (4), S. 219–225.
- Saka, Bassam; Wree, Andreas; Henkel, Kai Olaf; Anders, Lars; Gundlach, Karsten K H (2002b): Blood supply of the mandibular cortex: an experimental study in Göttingen minipigs with special reference to the condyle. In: *Journal of cranio-maxillo-facial surgery : official publication of the*

*European Association for Cranio-Maxillo-Facial Surgery* 30 (1), S. 41–45. DOI: 10.1054/jcms.2001.0257.

Sambraus, Hans Hinrich (2001): *Farbatlas Nutztierassen*. Stuttgart: Ulmer.

Sardenberg, Trajano; Muller, Sérgio Swain; Medeiros, Daniel Ricardo; Baptistão, Pablo Luiz (2011): Estudo mecânico da estabilidade dorsal da osteossíntese intramedular associada à fixação externa (método de Ulson). In: *Revista Brasileira de Ortopedia* 46 (6), S. 656–659. DOI: 10.1590/S0102-36162011000600006.

Savić, Daniel (2009): Die Unterkieferrekonstruktion mit osteoinduktiven Implantaten beim Göttinger Minischwein. Eine biomechanische Untersuchung. Univ., Dissertation Julius-Maximilians-Universität Würzburg.

Schanz, A. (1928): *Spezielle Orthopädie*. In: A. Schanz (Hg.): *Praktische Orthopädie*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Schmidt, Carsten Oliver; Raspe, Heiner; Pflingsten, Michael; Hasenbring, Monika; Basler, Heinz Dieter; Eich, Wolfgang; Kohlmann, Thomas (2007): Back pain in the German adult population: prevalence, severity, and sociodemographic correlates in a multiregional survey. In: *Spine* 32 (18), S. 2005–2011. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318133fad8.

Schnorr, Bertram; Kressin, Monika (Hg.) (2006): *Embryologie der Haustiere*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Schook, Lawrence B.; Tumbleson, Mike E. (1996): *Advances in swine in biomedical research*. New York [u.a.]: Plenum Press.

Schuleri, Karl H.; Boyle, Andrew J.; Centola, Marco; Amado, Luciano C.; Evers, Robert; Zimmet, Jeffrey M. et al. (2008): The adult Göttingen minipig as a model for chronic heart failure after myocardial infarction: focus on cardiovascular imaging and regenerative therapies. In: *Comparative medicine* 58 (6), S. 568–579.

Schultz, H. W. (Hg.) (1981): *Food Law Handbook*. Dordrecht: Springer Netherlands.

Schweitzer, Albert (2008): *Die Ehrfurcht vor dem Leben. Grundtexte aus fünf Jahrzehnten*. 9. Aufl. Hg. v. Hans Walter Bähr. München: Beck (Beck'sche Reihe).

Seel, E. H.; Davies, E. M. (2007): A biomechanical comparison of kyphoplasty using a balloon bone tamp versus an expandable polymer bone tamp in a deer spine model. In: *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 89 (2), S. 253–257. DOI: 10.1302/0301-620X.89B2.17928.

Sheng, Sun-Ren; Wang, Xiang-Yang; Xu, Hua-Zi; Zhu, Guo-Qing; Zhou, Yi-Fei (2010): Anatomy of large animal spines and its comparison to the human spine: a systematic review. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 19 (1), S. 46–56. DOI: 10.1007/s00586-009-1192-5.

Showalter, Brent L.; Beckstein, Jesse C.; Martin, John T.; Beattie, Elizabeth E.; Espinoza Orías, Alejandro A; Schaer, Thomas P. et al. (2012): Comparison of animal discs used in disc research to human lumbar disc: torsion mechanics and collagen content. In: *Spine* 37 (15), S. E900-7. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31824d911c.

Simianer, Henner; Köhn, Friederike (2010): Genetic management of the Göttingen Minipig population. In: *Journal of Pharmacological and Toxicological Methods* 62 (3), S. 221–226. DOI: 10.1016/j.vascn.2010.05.004.

- Singer, Peter (1975): *Animal liberation. A new ethics for our treatment of animals*. New York: New York Review.
- Singer, Peter (2011): *Practical ethics*. 3rd ed. Cambridge, New York: Cambridge University Press. Online verfügbar unter <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10460560>, zuletzt geprüft am 03.11.2015.
- Sitte, Ingrid; Kathrein, Anton; Klosterhuber, Miranda; Lindtner, Richard Andreas; Neururer, Sabrina Barbara; Rauch, Stefan et al. (2014): Morphological similarities after compression trauma of bovine and human intervertebral discs: Do disc cells have a chance of surviving? In: *Journal of orthopaedic research : official publication of the Orthopaedic Research Society* 32 (9), S. 1198–1207. DOI: 10.1002/jor.22655.
- Smit, Theo H. (2002): The use of a quadruped as an in vivo model for the study of the spine - biomechanical considerations. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 11 (2), S. 137–144. DOI: 10.1007/s005860100346.
- Spencer, G. R. (1979): Pregnancy and lactational osteoporosis. Animal model: porcine lactational osteoporosis. In: *The American journal of pathology* 95 (1), S. 277–280.
- Springer Gabler (Hg.) (2015): *Gabler Wirtschaftslexikon*. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/>, zuletzt geprüft am 06.11.2015.
- Statistisches Bundesamt (2009): *Bevölkerungspyramide*. Online verfügbar unter <https://www.destatis.de/bevoelkerungspyramide/>, zuletzt geprüft am 13.07.2015.
- Steiger, A. (2008): 30 Jahre Tierschutzgesetz: Wo liegen die Vollzugsprobleme? In: *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 150 (9), S. 449–455. DOI: 10.1024/0036-7281.150.9.449.
- Stubhan, Miriam (2008): *Das Göttinger Minipig als Telemetriemodell für pharmakologische Zwecke*. Univ., Dissertation LMU München.
- Suenderhauf, Claudia; Tuffin, Gerald; Lorentsen, Helle; Grimm, Hans-Peter; Flament, Christophe; Parrott, Neil (2014): Pharmacokinetics of Paracetamol in Göttingen Minipigs: In vivo studies and modeling to elucidate physiological determinants of absorption. In: *Pharmaceutical research*. DOI: 10.1007/s11095-014-1367-6.
- Svensden, Ove (2006): The minipig in toxicology. In: *Experimental and toxicologic pathology : official journal of the Gesellschaft für Toxikologische Pathologie* 57 (5-6), S. 335–339. DOI: 10.1016/j.etp.2006.03.003.
- Swindle, M. M.; Smith, A. C.; Hepburn, B. J. (1988): Swine as models in experimental surgery. In: *Journal of investigative surgery : the official journal of the Academy of Surgical Research* 1 (1), S. 65–79.
- Swindle, M. Michael (1998): *Surgery, anesthesia, and experimental techniques in swine*. 1st ed. Ames: Iowa State University Press.
- Tai, Ching-Lung; Chen, Li-Huei; Lee, De-Mei; Liu, Mu-Yi; Lai, Po-Liang (2014): Biomechanical comparison of different combinations of hook and screw in one spine motion unit - an experiment in porcine model. In: *BMC Musculoskeletal Disorders* 15 (1), S. 197. DOI: 10.1186/1471-2474-15-197.
- Tarhan, T.; Froemel, D.; Rickert, M.; Rauschmann, M.; Fleege, C. (2015): Geschichte des Wirbelkörperersatzes. In: *Der Unfallchirurg*. DOI: 10.1007/s00113-015-0084-x.

- TNS Emnid, zitiert nach Statista (2003): Sind Tierversuche generell abzulehnen, einzuschränken oder notwendig? Unter Mitarbeit von TNS Emnid. Hg. v. Statista. TNS Emnid. Greenpeace Magazin. Online verfügbar unter <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/533/umfrage/tierversuche-persoенliche-einschaetzung-der-notwendigkeit/>, zuletzt geprüft am 22.10.2015.
- Tominaga, T.; Dickman, C. A.; Sonntag, V. K.; Coons, S. (1995): Comparative anatomy of the baboon and the human cervical spine. In: *Spine* 20 (2), S. 131–137.
- Tsutsumi, Hideki; Katagiri, Koichi; Takeda, Satoshi; Nasu, Tetsuo; Igarashi, Sinichi; Tanigawa, Manabu; Mamba, Koichi (2004): Standardized data and relationship between bone growth and bone metabolism in female Göttingen minipigs. In: *Experimental animals / Japanese Association for Laboratory Animal Science* 53 (4), S. 331–337.
- Turner, A. S. (2001): Animal models of osteoporosis-necessity and limitations. In: *European cells & materials* 1, S. 66–81.
- Tusche, Bettina (1994): Vergleich der Tierschutzgesetzgebung in der Bundesrepublik Deutschland und in England unter besonderer Berücksichtigung der Strafbestimmungen. Univ., Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Upasani, Vidyadhar V.; Farnsworth, Christine L.; Tomlinson, Tucker; Chambers, Reid C.; Tsutsui, Shunji; Slivka, Michael A. et al. (2009): Pedicle screw surface coatings improve fixation in nonfusion spinal constructs. In: *Spine* 34 (4), S. 335–343. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318194878d.
- Wang, Y.; Liu, G.; Li, T.; Xiao, Y.; Han, Q.; Xu, R.; Li, Y. (2010): Morphometric comparison of the lumbar cancellous bone of sheep, deer and humans. In: *Comparative medicine* 60 (5), S. 374–379.
- Warnke, Patrick H.; Springer, Ingo N.; Acil, Yahya; Julga, Gerrit; Wiltfang, Jörg; Ludwig, Klaus et al. (2006): The mechanical integrity of in vivo engineered heterotopic bone. In: *Biomaterials* 27 (7), S. 1081–1087. DOI: 10.1016/j.biomaterials.2005.07.042.
- Weber, U.; Robinson, Y.; Kayser, R. (2006): Seltene krankhafte Veränderungen der oberen Halswirbelsäule mit operativer Behandlungsindikation. In: *Der Orthopäde* 35 (3), S. 296–305. DOI: 10.1007/s00132-005-0921-7.
- Weimann, Andre; Heinkele, Thomas; Herbort, Mirco; Schliemann, Benedikt; Petersen, Wolf; Raschke, Michael J. (2013): Minimally invasive reconstruction of lateral tibial plateau fractures using the jail technique: a biomechanical study. In: *BMC Musculoskeletal Disorders* 14 (1), S. 120. DOI: 10.1186/1471-2474-14-120.
- Wells, Dominic J. (2011): Animal welfare and the 3Rs in European biomedical research. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1245, S. 14–16. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2011.06335.x.
- Wieland, Rainer (2010): Barmer GEK Gesundheitsreport 2010. Teil 1; Gesundheitskompetenz in Unternehmen stärken, Gesundheitskultur fördern.
- Wild, Markus (2006): Die anthropologische Differenz. Der Geist der Tiere in der frühen Neuzeit bei Montaigne, Descartes und Hume. Quellen und Studien zur Philosophie. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- Wilke, H. J.; Kettler, A.; Claes, L. E. (1997a): Are sheep spines a valid biomechanical model for human spines? In: *Spine* 22 (20), S. 2365–2374.
- Wilke, H. J.; Kettler, A.; Wenger, K. H.; Claes, L. E. (1997b): Anatomy of the sheep spine and its comparison to the human spine. In: *The Anatomical record* 247 (4), S. 542–555.

Wilke, Hans-Joachim (2008): Animal models for spinal research. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 17 (1), S. 1. DOI: 10.1007/s00586-007-0549-x.

Wilke, Hans-Joachim; Geppert, Jürgen; Kienle, Annette (2011): Biomechanical in vitro evaluation of the complete porcine spine in comparison with data of the human spine. In: *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society* 20 (11), S. 1859–1868. DOI: 10.1007/s00586-011-1822-6.

Wolf, Eckhard; Braun-Reichhart, Christina; Streckel, Elisabeth; Renner, Simone (2014): Genetically engineered pig models for diabetes research. In: *Transgenic Research* 23 (1), S. 27–38. DOI: 10.1007/s11248-013-9755-y.

Wong, Ricky; Alkhal, Hessa A.; Rabie, A Bakr M (2009): Use of cervical vertebral maturation to determine skeletal age. In: *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics* 136 (4), S. 484.e1-6; discussion 484-5. DOI: 10.1016/j.ajodo.2007.08.033.

Woolf, Anthony D.; Erwin, Jo; March, Lyn (2012): The need to address the burden of musculoskeletal conditions. In: *Best practice & research. Clinical rheumatology* 26 (2), S. 183–224. DOI: 10.1016/j.berh.2012.03.005.

Yingling, V. R.; Callaghan, J. P.; McGill, S. M. (1999): The porcine cervical spine as a model of the human lumbar spine: an anatomical, geometric, and functional comparison. In: *Journal of spinal disorders* 12 (5), S. 415–423.

## 11 Danksagung

**Frau Univ.-Prof. Dr. med. vet. Johanna Plendl** danke ich herzlich für das in mich gesetzte Vertrauen zur Überlassung des interessanten Themas. Die hilfreichen Anregungen, Ideen und die konstruktive Kritik an meiner Arbeit haben entscheidend zu deren Entstehung beigetragen. Darüber hinaus gilt mein besonderer Dank dem Verständnis und den warmherzigen Worten in einer besonderen Lebenssituation.

**Frau Dr. med. vet. Hana Hünigen** danke ich herzlich für die äußerst freundliche Betreuung, die kompetente wissenschaftliche Beratung und Unterstützung sowie für viele wertvolle Gespräche und wegweisende Diskussionen. Insbesondere für die große Hilfsbereitschaft und organisatorische Hilfestellung möchte ich ihr von Herzen danken.

**Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Stefan Markus Niehues** möchte ich herzlich für die Möglichkeit zur Nutzung des von ihm erstellten Datenpools, die Überlassung eines Arbeitsplatzes sowie die Einarbeitung und Betreuung danken. Ebenfalls möchte ich ihm für die Begutachtung meines Dissertationsvorhabens herzlich danken.

**Herrn Prof. Dr. Karl-Heinz Lahrman** danke ich für die Begutachtung meines Dissertationsvorhabens sowie die hilfreichen Anmerkungen.

**Herrn Univ.-Prof. Dr. med. vet. Marcus G. Doherr** danke ich herzlich für die hilfreichen Ratschläge und Hinweise zur Umsetzung der statistischen Aufarbeitung der ermittelten Daten.

**Frau Wiebke Gentner** danke ich herzlich für das Korrekturlesen und die hilfreichen Anmerkungen.

**Herrn Florian Grabitzky** danke ich herzlich für die Bereitstellung anatomischer Präparate.

Mein besonderer Dank gilt **meiner Familie**, welche die Grundsteine für diesen Weg gelegt und mir sowohl das Studium der Veterinärmedizin als auch die Erstellung dieses Dissertationsvorhabens ermöglicht hat. Insbesondere meinem Mann **Dr. Michael Wetzel** danke ich von Herzen für seine außerordentliche Unterstützung und Geduld sowie das größte Geschenk meines Lebens, unseren Sohn.

## **12 Selbständigkeitserklärung**

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit eigenständig und ausschließlich unter Inanspruchnahme der angegebenen Quellen und Hilfen angefertigt habe.

Zossen, den 03.10.2016

Ines Christine Wetzel