

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde  
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität  
München

RADIOLOGISCHE BEFUNDERHEBUNG UND  
BIOMETRISCHE REFERENZWERTETABLIERUNG AN  
FACETTENGELLENKEN UND WIRBELKANAL DER  
HALSWIRBELSÄULE AN 84 WARMBLUTPFERDEN IM  
ALTER VON UNTER 3 JAHREN

von Cara-Alessandra Zingher

aus Wien

München 2021

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes sowie für Gerichtliche  
Tiermedizin

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

Angefertigt in der Pferdeklinik Bargteheide

Mentor: Dr. Volker Sill

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Hartmut Gerhards

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Johannes Hirschberger

Tag der Promotion: 06.Februar 2021

Für meine Eltern

Dr. Madeleine Zingher und Dr. Franz Terp

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>I.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>2</b>
<b>1.</b>	<b>Anatomie der Halswirbelsäule .....</b>	<b>2</b>
1.1.	Knöcherne Anteile der Halswirbelsäule.....	2
1.2.	Gelenkige Verbindungen der Halswirbelsäule.....	5
1.2.1.	Articulatio atlanto-occipitalis.....	5
1.2.2.	Articulatio atlantoaxialis .....	5
1.2.3.	Articulatio columnae vertebralis der Halswirbelsäule .....	6
1.3.	Bänder der Halswirbelsäule .....	6
1.4.	Muskeln der Halswirbelsäule .....	7
1.5.	Neuroanatomie .....	8
<b>2.</b>	<b>Biomechanik der Halswirbelsäule .....</b>	<b>9</b>
<b>3.</b>	<b>Symptomatik der knöchernen Veränderungen der HWS.....</b>	<b>12</b>
3.1.	Orthopädische Symptome .....	12
3.2.	Neurologische Symptome .....	13
<b>4.</b>	<b>Knöcherne Malformationen der Halswirbelsäule und des Genicks....</b>	<b>13</b>
4.1.	Angeborene und entwicklungsbedingte Malformationen der Halswirbelsäule .....	13
4.1.1.	Cervical Vertebral Stenotic Myelopathy (CVSM).....	13
4.1.1.1.	Cervical Vertebral Instability (CVI) .....	14
4.1.1.2.	Cervical Static Stenosis (CSS).....	16
4.1.1.3.	Konservative und chirurgische Behandlung von CVSM .....	18
4.1.2.	Occipital-Atlanto-Axiale Malformation (OAAM).....	18
4.1.3.	Skoliose .....	19
4.1.4.	Vertebral Fusion.....	20
4.2.	Erworbene Malformationen der Halswirbelsäule .....	20
4.2.1.	Zervikale Spondylarthrose .....	20
4.2.2.	Degenerative Veränderungen der zentralen Wirbelgelenke der Halswirbelsäule .....	22
4.2.3.	Spondylolisthesis (Wirbelgleiten).....	22
4.2.4.	Traumatisch bedingte Veränderungen der Halswirbelsäule.....	23

---

4.2.4.1.	Frakturen der Halswirbel.....	23
4.2.4.2.	Subluxationen und Luxationen der Halswirbel.....	25
4.2.4.2.1.	Subluxation und Luxation des Atlantoaxialgelenks.....	25
4.3.	Entheseophyten im Ligamentum Nuchae .....	27
4.4.	Erregerbedingte Veränderungen der Halswirbelsäule.....	28
4.4.1.	Zervikale Diskospondylitis .....	28
4.4.2.	Zervikale Osteomyelitis .....	29
4.4.3.	Septische Arthritis des Atlantookzipitalgelenks .....	30
<b>5.</b>	<b>Röntgen der Halswirbelsäule .....</b>	<b>30</b>
5.1.	Indikationen für Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule.....	30
5.1.1.	Material zum Röntgen der Halswirbelsäule.....	31
5.1.2.	Röntgentechnik.....	32
5.2.	(Subjektive) Beurteilung der Bilder .....	35
5.3.	Häufige röntgenologische Befunde an der Halswirbelsäule .....	36
<b>6.</b>	<b>Messungen der Halswirbelsäule.....</b>	<b>36</b>
6.1.	Messungen an Lateralaufnahmen.....	37
6.1.1.	Der Minimale Sagittale Durchmesser (MSD) und das Intravertebrale Verhältnis .....	37
6.1.2.	Der korrigierte Minimale sagittale Durchmesser (cMSD).....	39
6.1.3.	Intervertebrales Verhältnis .....	39
6.1.4.	Messungen der Facettengelenke.....	40
6.1.5.	Winkelmessungen .....	41
6.2.	Messungen von Tangentialaufnahmen.....	41
<b>III.</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>43</b>
<b>1.</b>	<b>Probandenpool.....</b>	<b>43</b>
<b>2.</b>	<b>Röntgentechnik.....</b>	<b>44</b>
<b>3.</b>	<b>Strahlenschutz .....</b>	<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>Erstellen der Röntgenbilder .....</b>	<b>44</b>
<b>5.</b>	<b>Auswertung der Röntgenbilder.....</b>	<b>45</b>
5.1.	Messungen.....	45
5.1.1.	MSD und Intravertebrales Verhältnis .....	45
5.1.2.	Messungen und Berechnungen an den Facettengelenken .....	47

---

5.1.3.	Messungen des Winkels zwischen C2 und C3.....	49
5.2.	Anatomische Besonderheiten C7 .....	50
5.3.	Befunderhebung .....	50
5.3.1.	Zervikale Spondylarthrose .....	50
5.3.2.	Verschattungen des Foramen intervertebrale.....	51
<b>6.</b>	<b>Statistik.....</b>	<b>52</b>
<b>IV.</b>	<b>ERGEBNISSE .....</b>	<b>54</b>
<b>1.</b>	<b>Probanden .....</b>	<b>54</b>
<b>2.</b>	<b>Statistische Auswertung der Messungen.....</b>	<b>57</b>
2.1.	Statistische Auswertung des MSD .....	57
2.1.1.	MSD Werte ausgewertet nach Alter.....	58
2.1.2.	MSD Werte ausgewertet nach Stockmaß.....	63
2.1.3.	Korrelation des MSD mit Alter und Stockmaß.....	67
2.1.4.	MSD Werte ausgewertet nach Geschlecht .....	68
2.2.	Statistische Auswertung des Intravertebralen Verhältnisses.....	70
2.2.1.	Das Intravertebrale Verhältnis ausgewertet nach Alter.....	71
2.2.2.	Das Intravertebrale Verhältnis ausgewertet nach Stockmaß.....	74
2.2.3.	Korrelation des Intravertebralen Verhältnisses mit Alter und Stockmaß ..	77
2.2.4.	Das Intravertebrale Verhältnis ausgewertet nach Geschlecht .....	79
2.3.	Statistische Auswertung der Höhe der Facettengelenke .....	81
2.3.1.	Die Höhe der Facettengelenke ausgewertet nach Alter .....	82
2.3.2.	Die Höhe der Facettengelenke ausgewertet nach Stockmaß.....	85
2.3.3.	Korrelation der Höhe der Facettengelenke mit Alter und Stockmaß .....	88
2.3.4.	Die Höhe der Facettengelenke ausgewertet nach Geschlecht.....	89
2.4.	Statistische Auswertung des Höhenverhältnisses der Facettengelenke .....	91
2.4.1.	Das Höhenverhältnis der Facettengelenke ausgewertet nach Alter .....	92
2.4.2.	Das Höhenverhältnis der Facettengelenke ausgewertet nach Stockmaß ..	94
2.4.3.	Korrelation des Höhenverhältnisses der Facettengelenke mit Alter und Stockmaß .....	96
2.4.4.	Das Höhenverhältnis der Facettengelenke ausgewertet nach Geschlecht..	97
2.5.	Statistische Auswertung der Länge des Facettengelenksspaltes .....	98
2.5.1.	Die Länge des Facettengelenksspaltes ausgewertet nach Alter .....	99
2.5.2.	Die Länge des Facettengelenksspaltes ausgewertet nach Stockmaß .....	103

---

2.5.3.	Korrelation der Länge des Facettengelenksspaltes mit Alter und Stockmaß .....	105
2.5.4.	Die Länge des Facettengelenksspaltes ausgewertet nach Geschlecht.....	107
2.6.	Statistische Auswertung der gemessenen Achsen von C2-C3 .....	108
<b>3.</b>	<b>Häufigkeiten einer Transposition des Processus transversus .....</b>	<b>113</b>
<b>4.</b>	<b>Auswertung der Befunde .....</b>	<b>114</b>
4.1.	Entheseophyten am Okziput.....	114
4.2.	Auswertung der Facettengelenksarthrosen.....	116
4.3.	Auswertung der Verschattungen des Foramen intervertebrale .....	120
4.4.	Andere Befunde.....	124
<b>V.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>127</b>
<b>1.</b>	<b>Diskussion der Methode.....</b>	<b>127</b>
1.1.	Probanden.....	127
1.2.	Aufnahme- und Messtechnik .....	128
1.3.	Befundung der Röntgenbilder .....	130
<b>2.</b>	<b>Diskussion der Ergebnisse .....</b>	<b>131</b>
2.1.	Diskussion der Messungen.....	131
2.2.	Diskussion der Befunderhebungen.....	139
<b>VI.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>142</b>
<b>VII.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>145</b>
<b>VIII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>147</b>
<b>IX.</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>165</b>
<b>X.</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>169</b>
<b>XI.</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>175</b>
<b>XII.</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>212</b>

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

C	Vertebra cervicalis (Halswirbel)
cMSD	Corrected Sagittal Diameter
CSS	Cervical Static Stenosis
CVI	Cervical Vertebral Instability
CVSM	Cervical Vertebral Stenotic Myelopathy
ggr	geringgradig
HFG	Höhe des Facettengelenks
hgr	hochgradig
hstgr	höchstgradig
IVV	Intravertebrales Verhältnis
kg	Kilogramm
kV	Kilovolt
Lig.	Ligamentum
LFG	Länge des Facettengelenksspaltes
mAs	Milliampere-Sekunden-Produkt
mgr	mittelgradig
MSD	Minimaler Sagittaler Durchmesser des Wirbelkanals
N	Anzahl
NSAID	nicht steroidales Antiphlogistikum
OAAM	Occipito-atlantoaxiale-Malformation
Proc.	Processus
SD	Standard deviation
T	Vertebra thoracalis (Brustwirbel)

VHFG

Verhältnis der Höhe der Facettengelenke

## I. EINLEITUNG

Neurologische Auffälligkeiten im Sinne von ataktischen Bewegungsstörungen sind gerade bei schnell gewachsenen, jungen Warmblutpferden keine Seltenheit. Kann eine infektiöse Ursache ausgeschlossen werden, ist eine Kompression des Cervikalmarks als Ursache wahrscheinlich. Die Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule bietet eine wenig invasive Möglichkeit zur Diagnostik einer Wirbelkanalstenose. Messungen des minimalen sagittalen Durchmessers und des Intravertebralen Verhältnisses haben sich als Hilfswerkzeuge zur objektiven Beurteilung von Cervikalmarkkompressionen etabliert. Die Anfertigung von Röntgenaufnahmen mit diagnostischer Qualität der Halswirbelsäule ist durch die Weiterentwicklung der digitalen Röntgentechnik längst nicht mehr auf Kliniken beschränkt. Dieser technische Fortschritt erhöht die Häufigkeit von röntgenologischen Untersuchungen der Halswirbelsäule und festgestellten Befunden. Als Referenzwerte zur objektiven Röntgenbildbeurteilung liegen jedoch ausschließlich Daten zu adulten Pferden oder Vollblutfohlen vor. In dieser Studie sollen zum einen Referenzwerte für junge Warmblutpferde erhoben werden und zum anderen aufgezeigt werden, wie sich die Messwerte mit zunehmendem Wachstum und Alter der Pferde verändern. Dabei soll der Frage nachgegangen werden, ob die für adulte Pferde geltenden Referenzbereiche auch auf Pferde im Wachstum angewendet werden können, oder die Messergebnisse anders beurteilt werden müssen. Neben Messungen des minimalen sagittalen Durchmessers des Wirbelkanals und des Intravertebralen Verhältnisses sollen in dieser Studie auch Messungen der Facettengelenke durchgeführt werden. Damit sollen objektive Vergleichswerte für die röntgenologische Untersuchung der Facettengelenke junger Warmblutpferde generiert werden. Zusätzlich zu den Messungen an den Röntgenbildern der Halswirbelsäule wurde in dieser Studie eine radiologische Befundbeurteilung durchgeführt. Die ermittelten Befunde sollen einen Einblick in die Art und Häufigkeit von Veränderungen der Halswirbelsäule bei klinisch gesunden, jungen Warmblütern bieten.

## II. LITERATURÜBERSICHT

### 1. Anatomie der Halswirbelsäule

Die knöcherne Halswirbelsäule besteht aus 7 Halswirbeln. Die Halswirbel 3-6 weisen die gleiche anatomische Struktur auf. Davon abweichend besitzt der 7. Halswirbel kleine anatomische Besonderheiten. Die ersten beiden Halswirbel (Atlas und Axis) unterscheiden sich in ihrem anatomischen Aufbau und ihrer Funktion signifikant von den nachfolgenden 5 Halswirbeln (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Die einzelnen Wirbel der Wirbelsäule formen den knöchernen Wirbelkanal und dienen somit dem Schutz des Rückenmarks. Die ersten beiden Halswirbel ermöglichen außerdem die Beweglichkeit des Kopfes (NICKEL et al., 2004). Die Halswirbelsäule verändert im Verlauf von cranial, wo sie noch dorsal im Hals zu finden ist, nach caudal, wo sie im ventralen Drittel des Halses mit der Brustwirbelsäule artikuliert, ihre Lage im Hals. Dadurch entsteht eine dorsal-konvexe Kopf-Hals-Krümmung sowie eine dorsal-konkave Hals-Brust-Krümmung der Halswirbelsäule (WISSDORF et al., 2010).

#### 1.1. Knöcherne Anteile der Halswirbelsäule

Alle Wirbel besitzen den gleichen knöchernen Grundaufbau und bestehen aus einem Wirbelkörper, dem *Corpus vertebrae*, über den sich der Wirbelbogen, der *Arcus vertebrae* spannt und Wirbelfortsätzen, den *Processus vertebrae*. Je nach Abschnitt der Wirbelsäule variieren die Wirbel ihren weiteren Bauplan. Der erste Halswirbel (Atlas) hat keinen *Corpus vertebrae* ausgebildet, sondern besteht aus einem dorsalen Bogen, dem *Arcus dorsalis* mit dem *Tuberculum dorsale* und dem *Arcus ventralis* mit dem *Tuberculum ventrale* und ermöglicht zusammen mit dem zweiten Halswirbel die Bewegung des Kopfes (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Aus den dorsalen Seitenteilen (*Massa lateralis*) des durch den *Arcus vertebralis* gebildeten Ringes entspringen die beiden Querfortsätze, die *Alae atlantae*. An diesen findet man an der Flügelunterseite die Atlasgrube (*Fossa atlantis*) und an den Wurzeln der Flügel das Flügelloch (*Foramen alare*). Weiter caudal am *Ala atlantis* befindet sich das *Foramen transversarium*. Das *Foramen vertebrale laterale* bildet medial vom *Foramen alare* eine Öffnung vom Wirbelkanal nach außen. An der Innenseite des *Arcus ventralis* befindet sich die *Fovea dentis* zur Artikulation mit dem *Dens axis* des zweiten Halswirbels. Der Atlas besitzt zur gelenkigen

Verbindung mit dem Occiput die Fovea articulares craniales und zur Artikulation mit dem zweiten Halswirbel die Foveae articulares caudales, die ventral in die Fovea dentis übergehen (NICKEL et al., 2004). Bei Fohlen sind drei Ossifikationszentren, die sich im Alter von 12 Monaten vollständig schließen, nachweisbar. Zwei Ossifikationszentren liegen dorsolateral, das dritte unpaarig ventral. Von den dadurch entstandenen drei Wachstumsfugen kann nur die dorsomedian gelegene röntgenologisch, mit einem dorsoventralen Strahlengang, bis zum sechsten Lebensmonat nachgewiesen werden (WISSDORF et al., 2010). Der zweite Halswirbel (Axis) besitzt einen besonders langen Wirbelkörper mit einer deutlich ausgeprägten Crista ventralis und dient vor allem der Drehbewegung des Kopfes (NICKEL et al., 2004; KÖNIG und LIEBICH, 2012). Cranial am Wirbelkörper befindet sich der Dens axis, der aus zwei vom Wirbelkörper nach cranial wachsenden Dentalfortsätzen entsteht und deren einheitlicher Ossifikationskern sich erst nach der Geburt mit dem Axis vereinigt. Der dorsal am Arcus vertebrae liegende Processus spinosus hat eine Kammform und ist caudal gegabelt. Der Processus transversus des Axis ist nur schwach ausgebildet und bildet, im Gegensatz zu den caudal nachfolgenden Halswirbeln, nur einen caudal gerichteten Fortsatz aus. An der Wurzel des Processus transversus liegt das Foramen transversarium. Die Processus articulares craniales liegen seitlich und ventral des Dens Axis (NICKEL et al., 2004). Die Processus articulares caudales sind caudal im Processus spinosus mit eingelagert. Die Incisura vertebralis cranialis ist beim Pferd durch einen Knochensteg zum Foramen vertebrale laterale geschlossen (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Caudal am Wirbel zwischen dem Arcus vertebrae und dem Corpus vertebrae liegt eine deutliche Incisura vertebralis caudalis (NICKEL et al., 2004). Die Wachstumsfuge des Dens axis als Verbindung mit der cranialen Epiphyse des Axis und die Wachstumsfugen der seitlichen Verbindungen zum Wirbelkörper sind mit 7-9 Monaten röntgenologisch nur noch als Wachstumsfugennarbe, welche mit 10-12 Monaten von Spongiosa ausgefüllt ist, sichtbar. Ab dem 3. Lebensjahr ist die Wachstumsfuge zwischen der cranialen Epiphyse des Axis und dem Wirbelkörper nur noch als Narbe sichtbar und ab dem 4. Lebensjahr vollständig geschlossen. Eine weitere Wachstumsfuge ist am caudalen Ende des Wirbels zwischen dem Wirbelkörper und der Incisura vertebralis caudalis und ist ab dem 5. Lebensjahr nur noch als Narbe sichtbar und ab dem 6. Lebensjahr von Spongiosa ausgefüllt (WISSDORF et al., 2010). Die Halswirbel drei bis sieben besitzen einen nach caudal hin immer kürzer werdenden

Wirbelkörper mit einer gut ausgeprägten Crista ventralis mit caudalem Tuberculum, welche ab dem sechsten Halswirbel jedoch fehlt (NICKEL et al., 2004). Die Extremitas cranialis ist stark gewölbt und die Extremitas caudalis stark konvex (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Die Dornfortsätze (Processus spinosi) sind bis auf den siebten Halswirbel nur angedeutet. Die Querfortsätze (Processus transversi) besitzen mit Ausnahme des siebten Halswirbels ein Foramen transversarium und einen ventralen und dorsalen Anteil. Der ventrale Anteil hat einen ventralen Vorsprung, das Tuberculum ventrale und der caudale Teil einen caudalen Vorsprung, das Tuberculum dorsale. Der Processus transversus des sechsten Halswirbels besitzt kein Tuberculum ventrale, sondern eine plattenförmige Verbreiterung, die Lamina ventralis. Die Summe der Foramina transversaria bilden zusammen den Canalis transversarius, durch welchen Gefäße und Nerven ziehen. Die Processus articulares craniales et caudales sind groß und gestatten die Seitwärtsbewegung des Halses. Foramina intervertebralia werden durch die Incisurae vertebrales craniales und caudales gebildet. Der Wirbelkanal (Canalis vertebralis) ist in der Mitte des Halses verengt. Der siebte Brustwirbel besitzt einige anatomische Unterschiede zu den vorangegangenen Halswirbeln und ähnelt dadurch etwas den nachfolgenden Brustwirbeln. So ist am kurzen Wirbelkörper beidseits eine Fovea costalis caudalis für die Artikulation mit der Fovea costalis cranialis des ersten Brustwirbels und der ersten Rippe ausgebildet und das Foramen transversarium fehlt (NICKEL et al., 2004). Als anatomische Varianz kann am siebten Halswirbel ein Processus spinosus deutlich ausgebildet sein. Dies ist bei einem Großteil der Pferde der Fall. Aber auch Pferde ohne Processus spinosus am siebten Halswirbel entsprechen der Norm (SANTINELLI et al., 2016). Eine weitere anatomische Varianz des siebten Halswirbels ist eine Transposition der ventralen Lamina des Processus transversus des C6 auf C7. Dies kann uni- oder bilateral erfolgen (SANTINELLI et al., 2016; GEE et al., 2020). Eine Rassedisposition ist noch nicht nachgewiesen, aber Warmblüter scheinen besonders häufig von einer asymmetrischen oder symmetrischen Abwesenheit der ventralen Lamina des Processus transversus betroffen zu sein (DEROUEN et al., 2016; GEE et al., 2020). Ob diese anatomischen Varianzen auch klinische Signifikanz im Sinne einer Prädisposition für Erkrankungen der Halswirbelsäule aufweisen, ist noch nicht erwiesen (GEE et al., 2020).

## **1.2. Gelenkige Verbindungen der Halswirbelsäule**

Die gelenkigen Verbindungen der Halswirbelsäule lassen sich in das erste Kopfgelenk zwischen Hirnschädel und Atlas (*Articulatio atlanto-occipitalis*), das zweite Kopfgelenk zwischen Atlas und Axis (*Articulatio atlantoaxialis*) und die Verbindungen der Wirbel untereinander (*Articulationes columnae vertebralis*) unterteilen. Der siebte Halswirbel bildet außerdem mit dem ersten Brustwirbel ein Rippenkopfgelenk (*Articulatio capitis costae*) aus (KÖNIG und LIEBICH, 2012).

### **1.2.1. Articulatio atlanto-occipitalis**

Das erste Kopfgelenk (*Articulatio atlanto-occipitalis*) besteht aus zwei Ellipsoidgelenken, welche von den *Condyli occipitales* und den *Foveae articulares craniales* des Atlas gebildet werden (NICKEL et al., 2004). Beide Gelenke besitzen eine eigene Gelenkkapsel, welche im Alter ventral eine Verbindung ausbilden können (WISSDORF et al., 2010). Zur *Articulatio atlanto-occipitalis* gehören außerdem die *Ligg. Lateralia* (Seitenbänder), die von den *Processus paracondylares* kranial an die Wurzel der *Alae atlantis* ziehen. Außerdem wird die Gelenkkapsel medial von der *Membrana atlanto-occipitalis ventralis* und durch den Verschluss des *Spatium atlanto-occipitale* von der *Membrana atlanto-occipitalis dorsalis* verstärkt (NICKEL et al., 2004). Aufgrund der Form der Gelenkflächen kann das erste Kopfgelenk hauptsächlich eine Streck- und Beugebewegung ausführen (KÖNIG und LIEBICH, 2012).

### **1.2.2. Articulatio atlantoaxialis**

Das zweite Kopfgelenk (*Articulatio atlantoaxialis*) besteht zum einen aus der Artikulation des *Dens axis* mit der *Fovea dentis* des Atlas in der Medianen, zum anderen aus der Artikulation der *Facies articulares craniales* des Axis mit den *Foveae articulares caudales atlantis*. Die drei Gelenkflächen gehen ineinander über und sind von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umgeben (NICKEL et al., 2004). Die *Articulatio atlantoaxialis* ist ein Zapfgelenk, bei dem sich der Atlas um den *Dens axis* dreht. Dadurch kann die Drehbewegung des Kopfes erfolgen (WISSDORF et al., 2010). Die *Membrana atlantoaxialis dorsalis* verstärkt zwischen den beiden Wirbelbögen das Gelenk. Das *Ligamentum atlantoaxiale dorsale* liegt zwischen dem *Tuberculum dorsale* des Atlas und dem Kamm des Axis und ist eng mit der Membran verbunden. Das *Ligamentum atlantoaxiale ventrale* zieht vom *tuberculum ventrale* des Atlas mit zwei Schenkeln an die *Crista ventralis* des Axis.

Des Weiteren liegt im Wirbelkanal das Ligamentum longitudinale dentis, das dorsal am Axis entspringt und breit aufgefächert an der Pars basilaris des Occiputs und den Condylus occipitales ansetzt. Zwischen dem Dens axis und der Innenfläche des Arcus ventralis, befinden sich außerdem die Ligamenta alaria. Quer über den Dens axis, über einen Schleimbeutel, zieht das Ligamentum transversum atlantis an beiden Seiten zum Atlas (NICKEL et al., 2004).

### **1.2.3. Articulatio columnae vertebralis der Halswirbelsäule**

Die gelenkige Verbindung zwischen den einzelnen Wirbeln wird zum einen durch die Zwischenwirbelfugen (Symphysis intervertebrales) und zum anderen durch die Articulationes processus articularium (Facettengelenke) zwischen den Gelenkfortsätzen gebildet (NICKEL et al., 2004; KÖNIG und LIEBICH, 2012). Die Articulationes columnae vertebralis haben keine gelenkige Verbindung. Sie bestehen aus den Zwischenwirbelfugen und den Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales), welche zwischen den caudalen und cranialen Endflächen der aufeinander folgenden Wirbel liegen. Die Zwischenwirbelscheiben bestehen aus einem gallertartigen Kern (Nucleus pulposus) und einem faserknorpeligen Ring (Anulus pulposus), welche von faserigem Bindegewebe umgeben sind (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Die Articulationes processus articularium sind Schiebegelenke, die durch ihre großen flachen Gelenkflächen und weiten Gelenkkapseln einen verhältnismäßig großen Bewegungsspielraum ermöglichen (WISSDORF et al., 2010).

### **1.3. Bänder der Halswirbelsäule**

Bei den Bändern der Wirbelsäule unterscheidet man zwischen kurzen Bändern, die die einzelnen Wirbel untereinander verbinden und langen Bändern, die durch Verbindungen größerer Abschnitte der Wirbelsäule das funktionelle Zusammenspiel dieser ermöglichen (NICKEL et al., 2004; KÖNIG und LIEBICH, 2012). Zu den kurzen Bändern der Halswirbelsäule gehören die Ligamenta flava, die sich über die Spatia interarcualia spannen und zur Entlastung der Rumpfmuskulatur beitragen sowie die Ligamenta interspinalia, die zwischen den Dornfortsätzen liegen und die Dorsalverschiebung und Ventralflexion der Halswirbelsäule begrenzen. Ein langes Band der Halswirbelsäule ist das Nackenband (Ligamentum nuchae), das aus dem Nackenstrang (Funiculus nuchae) und der Nackenplatte (Lamina nuchae) besteht und von der Squama occipitalis zu

seinem Ansatz an den Dornfortsätzen der Brustwirbel zieht. Durch das Gewicht des Kopfes wird das Ligamentum nuchae immer in Spannung gehalten und entlastet die Kopf- Hals-Muskulatur. Das andere lange Band der Halswirbelsäule ist das Ligamentum longitudinale dorsale, welches im Wirbelkanal vom Dens axis bis zum Kreuzbein verläuft und sich mit der Ventralfläche der Wirbeln und den Disci intervertebralia verbindet (KÖNIG und LIEBICH, 2012)

#### **1.4. Muskeln der Halswirbelsäule**

Die Muskulatur der Halswirbelsäule kann in die besonderen Bewegungen des Kopfes und die besonderen Bewegungen des Halses unterteilt werden. Die besonderen Bewegungen des Kopfes sind funktionell eine Verlängerung der Halsmuskulatur in Richtung Kopf und können weiter, nach ihrer Lage, in dorsale Kopfbewegungen und ventrale und schiefe Kopfbewegungen unterteilt werden (WISSDORF et al., 2010; KÖNIG und LIEBICH, 2012). Sie sind für die Richtungsänderung des Kopfes zuständig und bewegen vor allem das Atlanto-occipital- und das Atlantoaxialgelenk. Dadurch ermöglichen sie Nick- und Schüttelbewegungen, das Schrägstellen des Kopfes sowie die Neigung des Kopfes zur Seite in Richtung Körpermitte. Die besonderen Bewegungen des Kopfes werden mit einer Ausnahme von den Rami dorsales et ventrales des ersten und zweiten Halsnervs innerviert. Der M. longus capitis, wird von den Rami ventrales der ersten bis vierten Halsnerven innerviert (KÖNIG und LIEBICH, 2012).

Die Halswirbelsäule fungiert als Verbindung zwischen Kopf und Rumpf und ist deutlich beweglicher als der Rest der Wirbelsäule. Um dieser Funktion nachgehen zu können, ist die Muskulatur der besonderen Bewegungen der Halswirbelsäule gegliedert und segmental angeordnet. Die Muskulatur der Halswirbelsäule dient außerdem der Steuerung der Bewegungsrichtung und dem Aufrechterhalten des Gleichgewichts in der Bewegung sowie, gemeinsam mit dem Nackenband, dem Tragen des Kopfes. In ihrer Funktion werden die besonderen Bewegungen der Halswirbelsäule von der Schultergürtelmuskulatur unterstützt (WISSDORF et al., 2010). Des Weiteren bilden die besonderen Bewegungen der Halswirbelsäule gemeinsam mit den besonderen Bewegungen der Brust- und Lendenwirbelsäule eine funktionelle Einheit, welche in der Bewegung für die Übertragung der Schubwirkung der Hinterextremitäten auf den Rücken und die Vorderextremitäten verantwortlich ist (NICKEL et al., 2004).

Die besondere Muskulatur des Halses ist hauptsächlich dorsal und seitlich ausgebildet (WISSDORF et al., 2010; KÖNIG und LIEBICH, 2012). Funktionell lassen sich die besonderen Bewegungen des Halses in drei Gruppen einteilen: Aufrichter, Seitwärtsbieger und Dreher sowie Abwärtsbieger. Die Aufrichter, Seitwärtsbieger und Dreher befinden sich dorsal und seitlich der Querfortsätze und werden von den Dorsalästen der Hals-, Brust-, und Spinalnerven innerviert. Die Abwärtsbieger des Halses liegen ventral der Querfortsätze, sind nicht stark ausgeprägt und werden von den Ventralästen der regionalen Nerven innerviert (WISSDORF et al., 2010).

### **1.5. Neuroanatomie**

Im Wirbelkanal verläuft, umschlossen von den Meninges (Gehirnhäuten), das Rückenmark, das beim Pferd in querovaler Form vom ersten Halswirbel bis in den Bereich des Kreuzbeins zieht. Aufgrund seiner Lage im Wirbelkanal und nach den abgehenden Segmentalnerven unterscheidet man das Cervikalmark (Pars cervicalis), das Brustmark (Pars thoracica), das Lendenmark (Pars lumbalis), das Kreuzmark (Pars sacralis) und das Schwanzmark (Pars caudalis) (NICKEL et al., 2004).

Die Halsnerven gehören zu den Rückenmark- bzw Spinal- oder Segmentalnerven. Diese bestehen aus Neuriten von Nervenzellen, die entweder ihren Sitz direkt im Zentralnervensystem (ZNS) haben, oder in Ganglien die unmittelbar neben dem ZNS liegen. Ihr Fasergehalt ist eine Mischung aus motorischen und sensiblen sowie meist auch vegetativen Fasern (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Das Pferd hat, wie alle anderen Hausäugetiere und der Mensch, acht Halsnerven (Nn. Cervicales) (NICKEL et al., 2004), von denen jeder einen Ramus dorsalis und einen Ramus ventralis besitzt (WISSDORF et al., 2010). Der erste Halsnerv zieht durch das Foramen vertebrale laterale des Atlas. Alle nachfolgenden Halsnerven treten vor dem Halbwirbel derselben Nummer aus, der achte Halsnerv zwischen dem letzten Halswirbel und dem ersten Thorakalwirbel (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Die Rami dorsales der dritten bis sechsten Halsnerven sind durch Anastomosen zum Plexus cervicalis dorsalis verbunden. Die Rami ventrales der vierten bis fünften Halsnerven verbinden sich zum Plexus cervicalis ventralis. Der Ramus ventralis des ersten Halsnerv tritt durch das Foramen alare in die Flügelgrube des Atlas und steht durch die Ansa cervicalis mit dem N. hypoglossus und, durch eine zum zweiten Halsnerv verlaufende Nervenschleife, mit dem Plexus cervicalis ventralis in

Verbindung. Der erste Halsnerv innerviert Kopf und Kehlgangsmuskulatur sowie Hautmuskulatur in der Genickregion. Der zweite Halsnerv tritt durch das Foramen vertebrale laterale des Axis aus dem Wirbelkanal. Sein Ramus dorsalis innerviert ebenfalls Muskulatur des Kopfes und die Haut der Genick- und Nackenregion, schlägt um den Axis herum und zieht als N. occipitalis major kopfwärts (NICKEL et al., 2004). Der Ramus ventralis des zweiten Halsnervs entlässt den N. auricularis magnus, der den kaudalen Teil der Ohrmuscheln und der dort ansässigen Muskulatur innerviert (KÖNIG und LIEBICH, 2012). Die Halsnerven drei, vier und fünf treten über die Foramina intervertebralia aus dem Rückenmarkskanal aus und verbinden sich auch mit dem Plexus cervicalis dorsalis. Außerdem versorgen sowohl ihre ventralen als auch ihre dorsalen Äste die Halsmuskulatur (NICKEL et al., 2004). Die Ventraläste der fünften, sechsten und siebten Halsnerven bilden durch Verbindungen untereinander gemeinsam den N. Phrenicus, der das Zwerchfell innerviert. Die Halsnerven sechs, sieben und acht bilden gemeinsam mit den ersten beiden Thorakalnerven den Plexus brachialis und sind somit an der nervalen Versorgung der gesamten Vordergliedmaße beteiligt (KÖNIG und LIEBICH, 2012).

## **2. Biomechanik der Halswirbelsäule**

Aufgrund der fehlenden anatomischen fixierenden Begrenzungen, die in allen anderen Bereichen der Wirbelsäule vorhanden sind, ist die Halswirbelsäule der beweglichste Abschnitt der Wirbelsäule des Pferdes (STODULKA, 2006). Sie ist ein großer Bestandteil des Balancesystems des Pferdes, sowohl im Stand als auch in Bewegung. In der Halswirbelsäule wird das Input von den visuellen, vestibulären und propriozeptiven Systemen durch craniocaudale und laterale Balancemechanismen umgesetzt (ZSOLDOS und LICKA, 2015). In Bewegung kommt es in Schritt und Galopp zu einer größeren Bewegung des Kopfes und Halses als im Trab, in dem der Kopf konstanter in einer Position gehalten wird (RHODIN et al., 2005).

Die Wirbelsäule des Pferdes wurde in Bezug auf die Bewegungsrichtungen axiale Rotation, dorsoventrale Extension und Flexion sowie laterale Beugung untersucht. Es wurde festgestellt dass diese drei Bewegungsformen in allen Abschnitten der Wirbelsäule zu einem gewissen Grade möglich sind (TOWNSEND et al., 1983). Die Halswirbelsäule des Pferdes kann in allen drei Bewegungsformen

vergleichsweise stark bewegt werden, wobei nicht alle Gelenke die gleiche Funktion und die gleichen Bewegungsradien besitzen. Das Atlanto-occipital-Gelenk ermöglicht die größte dorsoventrale Beweglichkeit in der Halswirbelsäule und damit 32% der insgesamten Beweglichkeit in diese Richtung. Außerdem ermöglicht dieses Gelenk eine laterale Beugung um  $44^\circ$  und eine axiale Rotation um  $26^\circ$ . Das Atlantoaxial-Gelenk ermöglicht 73% der insgesamt möglichen axialen Rotation der Halswirbelsäule sowie eine dorsoventrale Bewegung um  $16^\circ$  und nur minimale laterale Beugung (CLAYTON und TOWNSEND, 1989b). Eine axiale Rotation in der Hals und Brustwirbelsäule findet allerdings immer in Kombination mit einer lateralen Beugung statt (DENOIX, 1999). Die dorsoventrale und laterale Beugung wird durch die anatomischen Besonderheiten des zweiten Halswirbels stark eingeschränkt. Caudal des Atlanto-occipital-Gelenks ist die Beweglichkeit der einzelnen Gelenke sehr ähnlich, wobei zwischen C4/5, C5/6 und C6/7 mehr Flexion und Extension möglich ist als in den anderen Gelenken, da die Facetten mehr medial als dorsal gerichtet sind (CLAYTON und TOWNSEND, 1989b).

Im Vergleich zu adulten Pferden zeigen Fohlen (bis 12 Monate) im Durchschnitt eine deutlich größere Beweglichkeit in der Halswirbelsäule. So ist die maximale axiale Rotation im Durchschnitt um 17,3%, die maximale dorsoventrale Flexion und Extension um 22% und die maximale laterale Beugung um 18,7% größer als bei Pferden älter als drei Jahre (CLAYTON und TOWNSEND, 1989a).

Die Extension und Flexion der Halswirbelsäule beeinflussen auch die Größe der Foramina intervertebralia. Bei einer Extension der Halswirbelsäule verringert sich die Größe der Foramina intervertebralia zwischen C4 und T1. Bei Flexion vergrößern sich die Dimensionen der Foramina intervertebralia in dem Bereich (SLEUTJENS et al., 2010). Die Lokalisation der Veränderungen der Foramina intervertebralia stimmen mit dem Bereich der Halswirbelsäule überein, von dem der Großteil der Flexion und Extension ausgeht (GOMEZ ALVAREZ et al., 2006). Die Extension zeigt einen stärkeren Einfluss auf die Veränderung der Dimensionen der Foramina intervertebralia als die Flexion und ist im Gelenk C6/7 am stärksten. Durch starke Extension der Halswirbelsäule kommt es außerdem zu einer Beeinträchtigung der Funktionalität der Nervenwurzeln der Halsnerven im Bereich C4 bis T1 (SLEUTJENS et al., 2010). Vor allem eine starke Flexion der Halswirbelsäule führt zu einer Veränderung der neuromuskulären Funktionalität. Allerdings ist zu beachten, dass es durch alle deutlich von der natürlichen Kopf-

Hals-Position abweichenden Positionen zu einer Beeinflussung der neuromuskulären Funktion kommt (WIJNBERG et al., 2010). Neben den Foramina intervertebralia wird auch der Raum innerhalb der Dura Mater im Wirbelkanal von den Bewegungen der Halswirbelsäule beeinflusst und es kann zu einer funktionellen Verkleinerung des Wirbelkanals vor allem auf Höhe C3/4 und C5/6 kommen (SCHMIDBURG et al., 2012). Abgesehen von den negativen Auswirkungen auf das nervale System der Halswirbelsäule, kann eine starke Beugung des Halses durch die dadurch hervorgerufene Verlängerung des Nackenbandes, zu einer größeren Druckbelastung auf die Bursae nuchalis führen (DIPPEL et al., 2019).

Jede induzierte Kopf-Hals-Position des Pferdes beeinflusst sowohl den Rücken, als auch die Gliedmaßen (HAUSSLER, 2016). Durch das funktionelle Zusammenspiel der einzelnen Abschnitte der Wirbelsäule kann die Halswirbelsäule nicht bewegt werden, ohne Einfluss auf die nachfolgenden Wirbel zu nehmen. Umgekehrt werden ebenso weiter hinten an der Wirbelsäule stattfindende Bewegungen nach cranial an die Halswirbelsäule weitergeleitet (DENOIX und PAILLOUX, 2000). So führt das Senken des Halses zu einer Anspannung des Lig. nuchae und des Lig. supraspinale, was zu einem Auseinanderrücken der Brustwirbeldornfortsätze und der Beugung der Brustwirbelsäule führt (DENOIX und PAILLOUX, 2000; DIPPEL et al., 2019). Außerdem führt eine tiefe Kopf-Hals-Haltung zu einer Streckung im Bereich der Lendenwirbelsäule (GOMEZ ALVAREZ et al., 2006). Das Heben des Halses wiederum führt zu einer Entspannung des Lig. nuchae und Lig. supraspinale und dadurch zu einer Annäherung der Brustwirbeldornfortsätze und der Streckung der Brustwirbelsäule sowie einer Beugung im Bereich der Lendenwirbelsäule (DENOIX und PAILLOUX, 2000; GOMEZ ALVAREZ et al., 2006). Die Lateroflexion der Lendenwirbelsäule ist geringer bei einer hohen Kopf-Hals-Position als bei einer natürlichen oder tiefen Kopf-Hals-Position. Das gleiche gilt für die axiale Rotation des Rückens, die in einer natürlichen oder tiefen Kopf-Hals-Position größer ist im Vergleich zu einer hohen Kopf-Hals-Position (RHODIN et al., 2005). Die Kopf-Hals-Haltung des Pferdes beeinflusst auch die Lastverteilung des Pferdes auf die Gliedmaßen. So führt ein nach vorne gestreckter Hals zu einer größeren Last auf der Vorderhand, während eine verkürzte und erhöhte Halshaltung zu einer vermehrten Lastaufnahme der Hinterhand führt (RHODIN et al., 2009; WALDERN et al., 2009). Die Schrittlänge bleibt in

verschieden Kopf-Hals-Haltungen im Trab unbeeinflusst. Im Schritt führt eine gehobene Kopf-Hals-Haltung allerdings zu einer deutlichen Verkürzung der Tritte (RHODIN et al., 2005).

Unter dem Reiter zeigen Pferde ebenfalls bei einer tiefen Kopf-Hals-Position eine Beugung in der Brustwirbelsäule und eine Streckung in der Lendenwirbelsäule sowie bei Anheben des Halses eine Streckung der Brustwirbelsäule und eine Beugung der Lendenwirbelsäule. Bei einer extrem hohen Kopf- Hals- Haltung in Kombination mit dem Gewicht des Reiters kann es allerdings zu einer übertrieben starken Streckung der Lendenwirbelsäule kommen (RHODIN et al., 2009). Durch eine gesenkte Kopf-Hals-Haltung kommt es durch die Aufrichtung der Dornfortsätze zu einem Anheben der Brustwirbelsäule in dem Bereich der Sattellage, wodurch das Tragen des Reitergewichts unterstützt werden kann (DENOIX, 1999).

### **3. Symptomatik der knöchernen Veränderungen der HWS**

Knöcherne Veränderungen der Halswirbelsäule können sich in Form von orthopädischen und/oder neurologischen Symptomen äußern. Dies ist abhängig davon, ob eine Verletzung des Rückenmarks oder der Halsnerven vorliegt.

#### **3.1. Orthopädische Symptome**

Orthopädische Symptome resultieren aus einer Schädigung der Halsnerven. Die Hautnerven der Halswirbelsäule sind Rami von den gleichen Nerven, die die Muskulatur des Halses und der Schultergürtelmuskulatur innervieren (NICKEL et al., 2004). Pferde mit einer Erkrankung der Halswirbelsäule können eine abnorme Halshaltung, Schwellungen, Steifheit im Hals und Schwierigkeiten beim Senken und Heben des Halses zeigen (MCCLANAHAN et al., 1988; DYSON, 2011). Muskelatrophien der Halsmuskulatur werden im Zusammenhang mit Halswirbelsäulenveränderungen ebenfalls häufig beobachtet (RICARDI und DYSON, 1993; ROSS und DYSON, 2011). Aber auch Rittigkeitsprobleme gehören zur immer wieder auftretenden Symptomatik bei Veränderungen der Halswirbelsäule. Dazu gehören Stellungsprobleme, Kopfschlagen und die Unwilligkeit an das Gebiss heran zu treten (DYSON, 2011; ROSS und DYSON, 2011). Des Weiteren können Pferde auch Abweichungen im Gangbild wie ein Kürzertreten der Vorderbeine bis hin zur Vorderhandlahmheit zeigen (RICARDI und DYSON, 1993; MARKS, 1999; DYSON, 2011). Auch die Hinterhand kann

beeinflusst sein und es kann zu einem Verlust der Lastaufnahme auf der Hinterhand und vermehrtem Stolpern kommen (DYSON, 2011; ROSS und DYSON, 2011). Eine Schädigung der Hautnerven manifestiert sich in Hyper- oder Hypoästhesie sowie in unnatürlichen Schweißflecken (RICARDI und DYSON, 1993; ROSS und DYSON, 2011).

### **3.2. Neurologische Symptome**

Die neurologische Symptomatik bei HWS Erkrankungen kann sich in unterschiedlichen Schweregraden äußern. Von leichter Inkoordination bis hin zu schwerer Ataxie und dem Unvermögen zu stehen. Abhängig von der Schwere der Rückenmarkskompression ist jegliche Form der neurologischen Symptomatik möglich. Die genaue Symptomatik ist abhängig von Art und Lokalisation der Läsion (MAYHEW, 1999; NIXON und STASHAK, 2010). Bei einer Kompression des Rückenmarks der Halswirbelsäule sind die neurologischen Defizite zumeist deutlicher in der Hinterhand als der Vorhand. Eine Hinterhandataxie ist somit ein typisches Symptom einer Halswirbelsäulenerkrankung (MCCLANAHAN et al., 1988). Ataxie ist definiert als Verlust der Fähigkeit Bewegungen zu koordinieren und kann vestibulär, zerebellär oder propriozeptiv bedingt sein. Durch Halswirbelsäulenerkrankungen bedingte Ataxie gehört zur letzteren Kategorie. Jede Verletzung der afferenten (sensorischen) Nervenbahnen des Zentralnervensystems kann zu einer Ataxie führen. Durch ihre anatomische Nähe sind bei Verletzungen des Rückenmarks allerdings zumeist auch die efferenten Nervenbahnen betroffen (ALCOTT, 2017). Während eine Ataxie sich durch Arbeiten des Pferdes im Allgemeinen nicht verändert, wird diese durch eine Sedation bei schmerzfreien Pferden deutlich verstärkt (BEDENICE und JOHNSON, 2018).

## **4. Knöcherne Malformationen der Halswirbelsäule und des Genicks**

### **4.1. Angeborene und Entwicklungsbedingte Malformationen der Halswirbelsäule**

#### **4.1.1. Cervical Vertebral Stenotic Myelopathy (CVSM)**

Die cervicale stenosierende Myelopathie, im Englischen Cervical Vertebral Stenotic Myelopathy (auch Cervical Vertebral Malformation, Cervical

Compressive Myelopathy, Cervical Vertebral Malformation-Malarticulation, Wobbler-Syndrome, Cervical Stenotic Myelopathy, Cervical Spondylotic Myelopathy) ist eine der häufigsten Ursachen für Ataxie bei jungen Pferden (NOUT und REED, 2003; RUSH und GRADY, 2008; LEVINE, 2010). Bei CVSM führen postnatale Deformationen der Halswirbelsäule zu einer Stenose des Wirbelkanals und einer Kompression des Rückenmarks (MAYHEW et al., 1993; RUSH, 2012). Diese können auf knöchernen, knorpeligen oder bandartigen Veränderungen beruhen und im Bereich der gesamten Halswirbelsäule bis inklusive T1 und T2 auftreten (SCHÜTTE, 2005).

Während Pferde aller Rassen und jeden Geschlechts von CVSM betroffen sein können, werden in der englischsprachigen Literatur vorwiegend männliche Vollblüter und Quarter Horses hervorgehoben (FALCO et al., 1976; MAYHEW et al., 1978b). Aber auch Warmblüter gehören zu den häufig betroffenen Rassen (LEVINE, 2010).

CVSM kann in zwei unterschiedliche Syndrome unterteilt werden: Cervical Vertebral Instability und Cervical Static Stenosis (POWERS et al., 1986) oder auch CVSM Typ I und II (MAYHEW, 1999).

#### **4.1.1.1. Cervical Vertebral Instability (CVI)**

Cervical Vertebral Instability (CVI) wird bedingt durch eine Malformation oder Malartikulation der Halswirbel, die zu einer dynamischen Instabilität der Halswirbelsäule führen (OSWALD et al., 2010). Diese Art der CVSM ist häufiger bei jungen Pferden im Alter bis zu zwei Jahren zu beobachten. (POWERS et al., 1986; TOMIZAWA et al., 1994a; MAYHEW, 1999; SZKLARZ et al., 2019). Die zugrunde liegenden Veränderungen entstehen in den ersten Lebensmonaten, beginnen möglicherweise aber schon in der fetalen Entwicklung der Halswirbelsäule (STEWART et al., 1991; MAYHEW, 1999; UNT und PIERCY, 2009). Neurologisch auffällig werden die Pferde meist erst mit einem Alter von 6 Monaten oder danach (POWERS et al., 1986; WAGNER et al., 1987; RUSH und GRADY, 2008). Ein Zusammenhang zwischen der gestörten Entwicklung der Halswirbel und OCD, schnellem Wachstum und nutritiven Elementen ist vorhanden (MAYHEW et al., 1993; LEVINE et al., 2008; LEVINE, 2010; MACKAY, 2012b; JANES et al., 2015). Eine mögliche genetische Komponente wird zwar vermutet, konnte bis jetzt jedoch nicht sicher nachgewiesen werden

(FALCO et al., 1976). Eine kohlenhydratreiche Diät im Wachstum führt zu intermittierend hohen Seruminsulin- und niedrigen Serumthyroxin-Werten, welche wiederum zu Knorpelproliferation und Knorpelretention ohne weitere Reifung führen (POWERS et al., 1986; HENSON, 2018). Die Knorpelproliferation resultiert in einer cranioventralen Zubildung an der dorsalen Lamina des cranialen Wirbelbogens und erweiterten caudalen Epiphysen des Wirbelkörpers (POWERS et al., 1986; MAYHEW, 1999; VAN BIERVLIET, 2007; HENSON, 2018). Die pathologischen Veränderungen der CVI können auch in unproportional kürzeren Wirbelkörpern resultieren (TOMIZAWA et al., 1994a; MAYHEW, 1999; VAN BIERVLIET, 2007). Diese Veränderungen erhöhen die Belastung des Ligamentum flavum und des Ligamentum longitudinale und führen zu einer Instabilität und osteochondralen Veränderungen (TROSTLE et al., 1993; HENSON, 2018).

Eine degenerative Osteoarthritis der Facettengelenke mit oder ohne Osteophyten kann ebenfalls zu einer Verengung des Wirbelkanals führen (MAYHEW, 1999; VAN BIERVLIET, 2007). Außerdem wurden eine Asymmetrie oder ungleichmäßige Abnutzung der Facettengelenke ebenfalls mit einer Instabilität der Halswirbelsäule in Zusammenhang gebracht (TYLER et al., 1993).

Die Cervical Vertebral Instability zeichnet sich durch eine Verengung des Wirbelkanals bei der Ventroflexion der Halswirbelsäule aus, welche am häufigsten zwischen C3 und C5 lokalisiert ist (POWERS et al., 1986). Sobald der Hals wieder in der neutralen Position gehalten wird, ist die Kompression des Rückenmarks nicht mehr vorhanden (RUSH und GRADY, 2008). Der meist genannte Grund für dieses Phänomen ist eine Subluxation, welche am häufigsten zwischen C3 und C4 stattfindet und ausschließlich bei Flexion, aber auch fortwährend, besteht und durch Flexion verstärkt werden kann (WHITWELL und DYSON, 1987). Bei einer seltener vorkommenden CVI zwischen C6 und T1 führt nicht die Flexion, sondern eine vermehrte Extension zu einer verstärkten Kompression des Rückenmarks (MAYHEW, 1999).

Um eine CVI zu diagnostizieren, können Vermessungen der Halswirbel auf Röntgenbildern neben der Befunddiagnostik hilfreich sein. Durch die Ermittlung von Werten wie dem Minimalen Sagittalen Durchmesser sowie dem Intra- und Intervertebralen Verhältnis, können Verdachtsdiagnosen ermittelt werden (MAYHEW et al., 1978b; MAYHEW, 1991; MAYHEW et al., 1993; RUSH MOORE et al., 1994; HAHN et al., 2008). Sollte ausschließlich bei Bewegung der

Halswirbelsäule eine radiologisch darstellbare Verengung des Wirbelkanals erfolgen, ist eine Myelographie vorzuziehen (EKMAN, 1990; NOUT und REED, 2003; YAMADA et al., 2016). Diese muss aber gerade im mittleren Halsbereich vorsichtig beurteilt werden, da in diesem Bereich oftmals falsch positive Diagnosen ermittelt werden (VAN BIERVLIET et al., 2004b). Im Gegensatz zu der röntgenologischen Untersuchung geht die Myelographie, durch die Narkose, immer mit einem gewissen Risiko einher (SENIOR, 2013). Die genaue Lokalisation der Stenose festzustellen, ist vor allem im Falle einer chirurgischen Versorgung der betroffenen Halswirbel wichtig. Durch eine Fusion der Halswirbel kann das durch die CVI bedingte repetitive Trauma des Rückenmarks beendet und einer weiteren Schädigung vorgebeugt werden (RUSH MOORE et al., 1993).

#### **4.1.1.2. Cervical Static Stenosis (CSS)**

Cervical Static Stenosis ist definiert durch eine fortwährende Verengung des Wirbelkanals mit einhergehender Kompression des Rückenmarks, welche unabhängig von der Halsposition besteht (NIXON et al., 1982; POWERS et al., 1986; NOUT und REED, 2003). Es kann jedoch Fälle geben, bei denen die Kompression des Rückenmarks durch eine Veränderung der Halsposition, meist bei Extension, verstärkt wird, was auf eine gleichzeitig stattfindende dynamische Kompression hinweist (NIXON et al., 1983; WAGNER et al., 1987; NOUT und REED, 2003). Die Stelle der Kompression befindet sich zumeist dorsal oder dorsolateral an den Halswirbeln (POWERS et al., 1986). Typischerweise sind Pferde im Alter zwischen einem und vier Jahren von CSS betroffen, aber auch ältere Pferde erkranken daran (POWERS et al., 1986; WAGNER et al., 1987; LEVINE et al., 2007). Auffällig ist eine deutlich erhöhte Prävalenz bei Warmblutpferden (LEVINE et al., 2007). Während bei CVI die Veränderung meist in der cranialen Halswirbelsäule lokalisiert ist, ist bei CSS typischerweise der caudale Anteil der Wirbelsäule betroffen, zumeist im Bereich von C5-C6 und C6-C7 (NIXON et al., 1982; POWERS et al., 1986; WAGNER et al., 1987; RUSH und GRADY, 2008). Eine genetische Komponente als Ursache der Erkrankung mit CSS gilt als sehr unwahrscheinlich, wogegen oftmals eine Verknüpfung mit einem Trauma oder Sturz festgestellt worden ist (NIXON et al., 1982; MAYHEW, 1999). Da die pathologischen Veränderungen bereits einige Zeit vor dem Auftreten der ersten Symptome beginnen, kann jedoch nicht immer klar nachvollzogen werden, ob das Trauma eine Folge bereits einsetzender milder neurologischer Defizite oder die

Ursache für diese darstellt (POWERS et al., 1986; GERBER et al., 1989; NOUT und REED, 2003). Typischerweise manifestieren sich diese bei von CSS betroffenen Pferden in einer Hinterhand-Ataxie (POWERS et al., 1986; MACKIE, 2001). Die Ursachen von CSS sind in der Regel pathologisch veränderte Facettengelenke, welche den Wirbelkanaldurchmesser verkleinern und das Rückenmark komprimieren (MACKIE, 2001; VAN BIERVLIET, 2007; SPARKS et al., 2011; HENSON, 2018). Zumeist handelt es sich dabei um eine osteoarthritische Vergrößerung der Facetten oder degenerative Prozesse wie Osteophyten (POWERS et al., 1986; LEVINE et al., 2007; VAN BIERVLIET, 2007). Knöcherne Zubildungen an den Facettengelenken können zu einer Verschmälerung der Foramina intervertebralia mit daraus resultierender Verkleinerung des Wirbelkanals führen und so das Rückenmark einengen (YOVITCH et al., 1987; SPARKS et al., 2011). Da allerdings auch viele, gerade ältere, Pferde pathologisch vergrößerte Facetten haben ohne eine neurologische Symptomatik zu entwickeln, kann vermutet werden, dass neurologisch auffällige Pferde eine Prädisposition, wie zum Beispiel einen engeren Wirbelkanal, aufweisen (VAN BIERVLIET, 2007; RUSH und GRADY, 2008). Neben den Facettengelenken kann auch die dorsale Lamina der Halswirbel verändert sein und zu einer CSS führen (POWERS et al., 1986). Diese entsteht meist aufgrund einer Zubildung, deren Ursache entweder in einem Mangel an Osteoklastenaktivität (MAYHEW et al., 1978b), oder einer sehr starken Belastung der Halswirbel begründet liegt (POWERS et al., 1986). Außerdem können auch Weichteilveränderungen, wie ein verdicktes Ligamentum flavum, verdickte Gelenkkapseln oder Synovialzysten zu einer Einengung des Wirbelkanals mit Kompression des Cervikalmarks führen (POWERS et al., 1986; VAN BIERVLIET, 2007). Auch lokalisierte osteochondrale Läsionen, meist an den Facettengelenken, werden bei Pferden mit CSS regelmäßig festgestellt (NOUT und REED, 2003; LEVINE, 2010).

CSS kann anhand von Röntgenbildern diagnostiziert werden, da die Veränderungen, die der Verengung des Wirbelkanals zugrunde liegen zumeist röntgenologisch darstellbar sind (LEVINE, 2010). Auch eine Bestimmung des Intravertebralen Verhältnisses kann zu einer Diagnose führen (MAYHEW et al., 1978b; MAYHEW, 1991; VAN BIERVLIET, 2007; HAHN et al., 2008). Je nach Ursache der CSS kann eine chirurgische Versorgung den Druck auf das

Rückenmark verringern und zu einer klinischen Besserung führen (NIXON et al., 1983; POWERS et al., 1986).

#### **4.1.1.3. Konservative und chirurgische Behandlung von CVSM**

Für die Behandlung einer CVSM sind neben chirurgischen Eingriffen auch konservative Behandlungserfolge beschrieben (HOFFMAN und CLARK, 2013). Die medikamentöse Behandlung ist darauf ausgerichtet die Schwellung des Rückenmarks und die Ödembildung zu reduzieren und so den Druck auf das Rückenmark zu verringern. Dies kann durch Gabe von NSAID's, oder in Fällen von akutem Trauma mit Kortikosteroiden erreicht werden (LEVINE, 2010; HOFFMAN und CLARK, 2013; PEZZANITE und EASLEY, 2019). Bei älteren Pferden kann auch eine Injektion der Facettengelenke mit Kortikosteroiden und Polysacchariden zu einer Reduktion der Schwellung und Stabilisation oder Reduktion von Knochenproliferationen beitragen (PEZZANITE und EASLEY, 2019).

Als chirurgische Eingriffe sind die dorsale Laminektomie, intervertebrale Fusion mit Kerf Cut Cylinder, locking compression plate und Pedicle screw und rod constructs beschrieben (RUSH MOORE et al., 1993; WALMSLEY und GRANT, 2012; KUHNLE et al., 2018; PEZZANITE und EASLEY, 2019).

#### **4.1.2. Occipital-Atlanto-Axiale Malformation (OAAM)**

Die Occipital-Atlanto-Axiale Malformation (OAAM) ist eine kongenitale Fehlbildung des ersten und zweiten Halswirbels (BREHM et al., 2017). Bei Fohlen mit OAAM ist der Atlas mit dem Hinterhauptbein verwachsen und der Axis übernimmt die Rolle des Atlas als erster separierter Halswirbel (BORDBARI et al., 2017). Des Weiteren können Veränderungen der Gelenkflächen, Hypoplasie des Dens und Fragmente vorhanden sein (MAYHEW, 1999). OAAM wird hauptsächlich bei Arabern nachgewiesen, bei denen es autosomal-rezessiv vererbt wird (GONDA et al., 2001). Neuere Forschungsergebnisse vermuten, dass es einen Zusammenhang mit den Homebox-Genen HOXD3 (codiert die Entwicklung des Occiput, Axis und Atlas) und HOXD4 (codiert die Entwicklung des 1.-3. Halswirbels und das Sternum) gibt und eine Deletion einer 2,7-kb Sequenz in dieser Region für die Veränderungen bei OAAM verantwortlich ist (BORDBARI et al., 2017). Obwohl OAAM am häufigsten bei Arabern vorkommt, ist es auch bei anderen Rassen wie Quarter Horses, Morgan Horses, Appaloosas und

Miniaturopferden beschrieben (MAYHEW et al., 1978a; ROSTENSTEIN et al., 2000; GONDA et al., 2001; WITTE et al., 2005). MAYHEW et al (1978a) benannten drei unterschiedliche Formen von OAAM: Eine Occipitalisierung des Atlas mit Atlantisierung des Axis bei Arabern, eine kongenitale asymmetrische occipitoatlantoaxiale Malformation und eine asymmetrische atlantooccipitale Fusion (MAYHEW et al., 1978a; CROCHIK und BARTON, 2009; ALEMAN et al., 2014). Neben den drei unterschiedlichen Variationen wurden vier unterschiedliche Syndrome beschrieben, wobei das erste der Tod des Fohlens bei der Geburt ist. Das zweite beschreibt eine Tetraparese bei der Geburt, welches außerdem verschiedene Stadien von symmetrischer Ataxie, Spasmen, ein „klickendes“ Geräusch bei Kopfbewegungen, eine gestreckte Kopf-Halshaltung, eine sichtbare und palpierbare Beule im Bereich der Processi transversi des Atlas sowie eine fehlende Bewegung des Atlantooccipitalgelenks umfasst. Die dritte symptomatische Manifestation ist eine progressive Ataxie des Fohlens, bei der neben der oben genannten gestreckten Kopf-Halshaltung und Beule, symmetrische propriozeptive Defizite, welche mit einer Läsion des Rückenmarks übereinstimmen, auffallen (MAYHEW et al., 1978a). Außerdem ist eine kongenitale cervikale Skoliose mit schräger Kopfhaltung sowie Ataxie beschrieben (MAYHEW et al., 1978a; GILSENAN, 2017).

#### **4.1.3. Skoliose**

Skoliose ist eine dreidimensionale Abweichung und Rotation der Wirbelsäule von der normalen Achse in der diese verlaufen sollte (TROBISCH et al., 2010). Bei Pferden ist die Skoliose meist eine kongenitale Missbildung, die von der Brustwirbelsäule ausgeht (WONG et al., 2006; OCCHIPINTI et al., 2009). Erworbene Skoliosen scheinen in einem Zusammenhang mit einseitigen Entzündungen der grauen Substanz des Rückenmarks über mehrere Halssegmente oder Hals- und Rückensegmente zu stehen (VAN BIERVLIET et al., 2004a). Ursachen der kongenitalen Skoliose können Hypo- bzw Aplasie eines oder mehrerer intervertebraler oder costovertebraler Gelenkfortsätze der Brustwirbel sein. Durch diese Asymmetrie kommt es zur Rotation der Wirbelsäule in Richtung der hypo- bzw aplastischen Seite (WONG et al., 2006). Dieser abweichende Verlauf der Brustwirbelsäule setzt sich weiter nach cranial fort, und führt somit auch zu einer Abweichung in der Form der Halswirbelsäule (BOYD, 1976; WONG et al., 2006).

#### **4.1.4. Vertebral Fusion**

Aufgrund einer Missbildung fusionierte Halswirbel bei Pferden, die nicht als OAAM vorliegen, sind relativ selten, werden aber beschrieben (BUTLER et al., 2017). Die Verschmelzung der Wirbel entsteht, wenn in der embryonalen Entwicklung die Teilung der Anlagen der Wirbel nicht vollzogen wird (KAPLAN et al., 2005). Röntgenologisch lassen sich angeborene von erworbenen Fusionen der Wirbel durch das Fehlen von irregulärem Kallus unterscheiden (WHITWELL und DYSON, 1987).

### **4.2. Erworbene Malformationen der Halswirbelsäule**

#### **4.2.1. Zervikale Spondylarthrose**

Bei der zervikalen Spondylarthrose oder Facettengelenksarthrose kommt es zu einer degenerativen Veränderung der Facettengelenke (FÜRST, 2006). Dabei ist zumeist die caudale Halswirbelsäule C5-C6, C6-C7 und C7-T1 betroffen, wobei arthropathische Veränderungen an C6-C7 am häufigsten sind (WHITWELL und DYSON, 1987; MARTINELLI et al., 2010). In diesem Bereich ist auch die mechanische Beanspruchung der Halswirbelsäule am größten (ZSOLDOS et al., 2010). In sehr seltenen Fällen kann es aber auch zu Veränderungen an der cranialen Halswirbelsäule kommen (BECK et al., 2002). Die Veränderungen können sich, je nach Stadium, in Form von Kapselverdickungen, Knorpelerosionen, Vergrößerungen der Facetten, Osteophytenbildung an den Gelenkrändern, Fragmenten und Ankylosierungen darstellen. Starke Veränderungen können zu einer Vergrößerung der Facettengelenke und Gelenksaussackungen führen und dadurch umliegende Strukturen komprimieren (FÜRST, 2006). Die dadurch verursachte Symptomatik ist abhängig von den betroffenen Strukturen. Kommt es zu einer Kompression des Rückenmarks, welche selten durch eine ausschließlich knöcherne Veränderung der Facettengelenke stattfindet, ist die Folge eine Ataxie, welche als Cervial Static Stenosis zu dem Krankheitskomplex der CVSM gehört (WAGNER et al., 1987; GERBER et al., 1989; FÜRST, 2006; VAN BIERVLIET, 2007; LEVINE et al., 2008; CLARIDGE et al., 2010; HENSON, 2018). Werden durch die pathologischen Vergrößerungen der Facettengelenke jedoch in den Foramina intervertebralia die Halsnerven komprimiert, ist die symptomatische Folge keine Ataxie sondern äußert sich in Form von lokalem Schwitzen am Hals, Steifheit, Halsbiegeschmerzen und Vorderhandlahmheiten (NIXON et al., 1982;

GERBER et al., 1989; RICARDI und DYSON, 1993). Dabei ist es unwahrscheinlich, dass eine zervikale Spondylarthrose weiter cranial als C5-C6 zu einer Vorderhandlahmheit beiträgt, da nur die Halsnerven 6-8 zum Plexus brachialis ziehen (RICARDI und DYSON, 1993; NICKEL et al., 2004). Eine weitere Auffälligkeit bei Pferden mit zervikalen Spondylarthrosen sind Muskelatrophien im betroffenen Bereich, welche einen ersten Hinweis auf eine Halswirbelsäulenerkrankung liefern können (MARTINELLI et al., 2010). Nicht alle Pferde weisen deutliche Symptome auf. Auch ein Vorbericht mit Unrittigkeit kann ein Hinweis auf eine Facettengelenksarthrose sein (GERBER et al., 1989; LAUTENSCHLÄGER, 2007). Es ist bekannt, dass ca. 50% aller adulten Pferde eine zervikale Spondylarthrose aufweisen, von denen die meisten jedoch keine Symptome zeigen (WHITWELL und DYSON, 1987; LAUTENSCHLÄGER, 2007). Meistens sind ältere Pferde von der zervikalen Spondylarthrose betroffen bzw. werden damit diagnostiziert (DOWN und HENSON, 2009). In Ausnahmefällen können jedoch auch junge, sich noch im Wachstum befindende Pferde Veränderungen an den Halswirbeln zeigen die einer zervikalen Spondylarthrose entsprechen (GIRARD et al., 1997; LIM et al., 2017). Eine genaue Ursache für die Entwicklung einer zervikalen Spondylose ist nicht bekannt (GERBER et al., 1989; DOWN und HENSON, 2009). In einigen Studien sind aber auffällig viele Warmblüter von zervikaler Spondylose betroffen, was eine mögliche Rasseprädisposition vermuten lässt (GERBER et al., 1989; LEVINE et al., 2007; BIRMINGHAM S.S.W., 2010; WILSMANN, 2016). Als möglicher zur Erkrankung beitragender Faktor wird die Halsposition bei Pferden, welche mit sehr aufrechter Anlehnung geritten werden und dadurch stärkere Krafteinwirkungen auf die Facetten- und Wirbelgelenke erhalten, vermutet (MARTINELLI et al., 2010). Zumeist lassen sich knöcherne Facettengelenksveränderungen röntgenologisch auf lateralen Aufnahmen darstellen (WHITWELL und DYSON, 1987; DOWN und HENSON, 2009). Da Veränderungen uni- und bilateral vorkommen, sind, um die betroffene Facette und genaue Stelle der Veränderung darzustellen, oftmals Tangentialaufnahmen vonnöten (NOWAK und HUSKAMP, 1989; RICARDI und DYSON, 1993; WITHERS et al., 2009). Eine szintigraphische Untersuchung kann ebenfalls hilfreich sein, um die schmerzhaften Facettengelenke ausfindig zu machen und die Röntgenbildbeurteilung verbessern (RICARDI und DYSON, 1993; FÜRST, 2006). Die mit zervikaler Spondylose einhergehende Symptomatik kann oftmals durch intraartikuläre Injektion von Kortikosteroiden verbessert werden

(BIRMINGHAM S.S.W., 2010). Diese Behandlung führt zu einer Reduktion der Entzündung und Schwellung und führt somit zwar zunächst zu einer Verbesserung der Symptomatik, zumeist ist allerdings innerhalb von 2 Jahren einer weitere Behandlung nötig, da die Symptome wieder auftreten (BIRMINGHAM S.S.W., 2010; MARTINELLI et al., 2010).

#### **4.2.2. Degenerative Veränderungen der zentralen Wirbelgelenke der Halswirbelsäule**

Knöcherne, degenerative Veränderungen der zentralen Wirbelgelenke sind zumeist altersabhängig (BUTLER et al., 2017; BERGMANN et al., 2018). Ein Engerwerden des Gelenkspaltes kann mit der Degeneration der Bandscheiben in Verbindung gebracht werden (FOSS et al., 1983; BERGMANN et al., 2018). Auch eine Kalzifizierung der Bandscheiben kann im Rahmen von degenerativen Veränderungen auftreten und bei einem einhergehenden Diskusprolaps zu einer Kompression des Rückenmarks führen (JANSSON, 2001). Ein Diskusprolaps beim Pferd hat allerdings zumeist keine degenerative, sondern eine traumatische Ursache (BERGMANN et al., 2018). In dem gleichen Vorgang kann es als Folge des Traumas auch zu Veränderungen der zentralen Wirbelgelenke kommen. Röntgenologisch kann ein verengter Gelenkspalt, eine veränderte Form der Gelenkflächen und eine Veränderung der subchondralen Knochendichte dargestellt werden (BUTLER et al., 2017).

#### **4.2.3. Spondylolisthesis (Wirbelgleiten)**

Eine Spondylolisthesis oder Wirbelgleiten ist eine nach dorsal oder ventral stattfindende Verschiebung eines Halswirbels im Verhältnis zu dem vorhergehenden Wirbel. Bei der Spondylolisthesis findet diese Verschiebung statt, ohne neurologische Symptome wie Ataxie zu verursachen. Die Pferde werden oft mit einem Symptombereich von Unrittigkeit vorstellig und zeigen eine verringerte Beweglichkeit des Halses sowie eine Hyper- oder Hypoästhesie. Auch Anlehnungsprobleme und Schwierigkeiten den Hals unter dem Reiter aufgerichtet zu tragen, sind typisch. Diagnostiziert kann Spondylolisthesis durch die Anfertigung von Röntgenaufnahmen in verschiedenen Halspositionen werden, wobei sich bei stark abgebeugten Stresspositionen die Spondylolisthesis meist verstärkt zeigt (BREHM et al., 2017).

#### **4.2.4. Traumatisch bedingte Veränderungen der Halswirbelsäule**

##### **4.2.4.1. Frakturen der Halswirbel**

Frakturen der Halswirbelsäule beim Pferd sind immer eine Folge von Trauma. Die zwei Prädilektionsstellen der Halswirbelsäule sind cranial der Occipito-atlantoaxial-Bereich und die caudale Halswirbelsäule zwischen C5 und T1 (MAYHEW, 1999). Zumeist treten Frakturen der Halswirbelsäule bei Fohlen auf und stellen sich in Form eines Epiphysenabrisses dar. Die häufigste Stelle einer Halswirbelsäulenfraktur ist die Fraktur des Dens axis (NIXON und STASHAK, 2010).

Frakturen des Dens axis mit einer atlantoaxialen Subluxation werden zumeist bei Fohlen jünger als 6 Monate beobachtet (ROBERTSON und SAMII, 2012). Dies liegt daran, dass der Dens mit dem Wirbelkörper des Axis durch eine Wachstumsfuge verbunden ist, die sich in einem Alter von 8-12 Monaten schließt und bis dahin eine logische Bruchstelle bildet (PINCHBECK und MURPHY, 2001; ROBERTSON und SAMII, 2012). Bei einer Fraktur bleibt der Dens durch Bänder mit dem Atlas verbunden und der Axis verschiebt sich nach ventral, was zu einer Rückenmarkskompression im Atlantoaxialgelenk führt (ROBERTSON und SAMII, 2012). Dies entsteht zumeist durch einen Sturz bei dem der Hals in Hyperflexion gebracht wird (MAYHEW, 1999; ROBERTSON und SAMII, 2012). Die darauffolgende neurologische Symptomatik hängt davon ab, wie stark das Rückenmark bei dem Sturz verletzt wurde. Ataxie und Tetraparesen können sich auch erst langsam entwickeln. Neben neurologischen Defiziten zeigen die Pferde Schmerzen bei der Manipulation des Nackenbereichs und eine hörbare Krepitation. Die Prognose korreliert im Normalfall mit der Schwere der neurologischen Defizite. Der Versuch einer konservativen Behandlung kann bei einer stabilen Fraktur gestartet werden. Dabei sind Boxenruhe und NSAIDs die wichtigsten Faktoren. Spätestens, wenn die Fraktur instabil wird, sollte allerdings operiert werden. Bei einer Operation wird versucht die Halswirbel wieder in die korrekte Position zu bringen und durch eine Fixation zu stabilisieren (ROBERTSON und SAMII, 2012). Dies kann durch Externe Fixation mit Steinmann Pins, Kompressionsplatten, ventrale atlantoaxiale Fusion und dorsale Laminektomie des caudalen Atlas versucht werden (OWEN und MAXIE, 1978; SLONE et al., 1979; MCCOY et al., 1984; NIXON und STASHAK, 1988; NIXON, 1996).

Auch Atlas und Axis können frakturieren, wobei zumeist die Flügel des Atlas betroffen sind (NIXON, 1996). Bei Frakturen von Atlas und Axis ohne Beteiligung des Dens, sind die Schwere der neurologischen Defizite ebenfalls von der Art der Fraktur und der Schwere der Rückenmarkskompression abhängig. Frakturen des Atlas sind auch ohne neurologische Symptomatik beschrieben (ROBERTSON und SAMII, 2012). Die übliche Symptomatik beinhaltet Schmerzen und Steifheit des Halses. Diese Frakturen sind nicht immer auf lateralen Röntgenbildern sichtbar, weshalb dorsoventrale Aufnahmen angefertigt werden sollten. Eine chirurgische Versorgung ist selten notwendig. Falls diese dennoch gewünscht wird, wäre eine dorsale Laminektomie die gewählte Methode (NIXON, 1996).

Eine Fraktur der caudalen Halswirbelsäule (C5-T1) resultiert typischerweise aus einer Hyperflexion, wenn ein Pferd mit der Nase voran mit großer Krafteinwirkung und niedriger Geschwindigkeit mit dem Kopf unter den Körper fällt. Die daraus resultierende Symptomatik ist nicht immer sofort bemerkbar und kann sich auch erst Stunden nach dem Sturz manifestieren (MAYHEW, 1999). Die Symptomatik kann von Schmerzen mit Gangstörungen zu unterschiedlichen Graden der Ataxie, Parese, Paralyse, Festliegen und plötzlichem Tod reichen (TYLER et al., 1993; SYSEL et al., 1998; MAYHEW, 1999; PINCHBECK und MURPHY, 2001). Frakturen des Wirbelkörpers sind häufiger als Frakturen der Facetten (PINCHBECK und MURPHY, 2001). Bei Facettengelenksfrakturen kann es zur Instabilität des Gelenks kommen, was zu einer intermittierenden Rückenmarkskompression und Ischämie des Rückenmarks führen kann, wodurch neurologische Defizite entstehen (SMYTH, 1993). Frakturen sind zumeist auf lateralen Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule erkennbar (WHITWELL und DYSON, 1987; MAYHEW, 1999; PINCHBECK und MURPHY, 2001). Ventro-dorsale und tangentielle Aufnahmen und eine computertomographische Untersuchung können zusätzliche Informationen liefern (PINCHBECK und MURPHY, 2001; ROBERTSON und SAMII, 2012).

Die Therapie ist abhängig von der Verfassung des Pferdes. Ist das Pferd in der Lage zu stehen und zeigt keine Anzeichen einer Verschlechterung des Zustandes, ist eine konservative Behandlung zu bevorzugen. Dabei ist zu beachten, dass durch eine heilungsbedingte Fusion der Intervertebralgelenke eine Verschlechterung der neurologischen Symptomatik auftreten kann. Dies ist häufiger bei einer konservativen Heilung als bei einer chirurgischen Fusion zweier Wirbel

(MAYHEW, 2009). Eine Verschlechterung der klinischen Symptomatik ist eine Indikation für eine chirurgische Versorgung (BARNES et al., 1995). Chirurgisch muss jede Fraktur genau betrachtet und die beste Methode zur Stabilisierung der Fraktur gewählt werden (ROBERTSON und SAMII, 2012). Die Voraussetzung für eine chirurgische Versorgung ist das Vorhandensein von genug Knochenmaterial, um eine Fixation durchzuführen. Bei einer Fehlstellung wird eine interne Fixation für die besten Ergebnisse empfohlen, ansonsten kann eine ventrale Stabilisation mit locking compression plate und dynamic compression plate oder eine dorsale Laminektomie gemacht werden (NIXON, 1996; ROSSIGNOL et al., 2016).

#### **4.2.4.2. Subluxationen und Luxationen der Halswirbel**

Subluxationen, leichte Verschiebungen benachbarter Halswirbel, kommen meistens bei Pferden in einem Alter unter 12 Monaten vor und sind eine Folge von Traumata wie Stürzen (ROSS und DYSON, 2011; BREHM et al., 2017). Vollständige Luxationen hingegen treten nach schweren Traumata auf und sind zumeist von außen sichtbar (BREHM et al., 2017). Eine komplette Luxation mit einer ventralen Verlagerung des Dens Axis ist selten (NIXON, 1996).

##### **4.2.4.2.1. Subluxation und Luxation des Atlantoaxialgelenks**

Eine Subluxation und Luxation des Atlantoaxialgelenks wird vorrangig bei jungen Pferden beobachtet (SCHARMER et al., 2000; ALEMAN et al., 2018). Bei Arabern wurde eine genetische Prädisposition für Malformationen der Occipito-atlantoaxialgelenke festgestellt, welche mit einer Subluxation des Atlantoaxialgelenks einhergehen können (WATSON und MAYHEW, 1986). Generell wird eine Subluxation des Atlantoaxialgelenks oft im Zusammenhang mit einer OAAM beobachtet (LICKA, 2002). Eine Subluxation des Atlantoaxialgelenks kann auch durch ein Trauma entstehen, wobei dies immer in Kombination mit einer Weichteilverletzung stattfindet (VOS et al., 2008; CILLAN-GARCIA et al., 2011). Eine komplette Luxation des Gelenks kann nur erfolgen, wenn die Gelenkkapsel und die am Dens axis ansetzenden Bänder gerissen sind (VOS et al., 2008). Eine durch Trauma bedingte Luxation des Atlantoaxialgelenks ist in der Regel eher selten (GERLACH et al., 2011). Eine Luxation kann nach dorsal und ventral erfolgen, deutlich häufiger ist jedoch die ventrale Luxation, bei der der dorsale Anteil des Dens axis nach ventral auf die Höhe des ventralen Bogen des Atlas verschoben wird (CILLAN-GARCIA et al., 2011). Häufig tritt eine

Subluxation oder Luxation des Atlantoaxialgelenks im Zusammenhang mit einer Fraktur des Wirbelkörpers und der Gelenkfortsätze auf (LICKA, 2002; VOS et al., 2008). Die klinische Symptomatik kann eine abnorme Kopf-Hals-Haltung, Steifheit im Hals, eine Lokale Schwellung und Gegenwehr bei der Palpation und Manipulation des Halses und beinhalten (GERLACH et al., 2011; ROBERTSON und SAMII, 2012). Die neurologische Symptomatik ist abhängig von der Schwere der Rückenmarksverletzung (SCHARMER et al., 2000; CILLAN-GARCIA et al., 2011). Pferde mit einer Subluxation oder Luxation des Atlantoaxialgelenks entwickeln typischerweise zunächst eine Tetraparese, die sich zu einer Paralyse, Ataxie oder zu propriozeptiven Defiziten weiterentwickeln kann (FUNK und ERICKSON, 1968; SCHARMER et al., 2000). Die Diagnose kann mit lateralen Röntgenbildern sicher gestellt werden, wobei dorsoventrale Aufnahmen hilfreich sind (LICKA, 2002; GRIFFIN et al., 2007; CILLAN-GARCIA et al., 2011; GERLACH et al., 2011; RÜEDI et al., 2011). Um eine sichere Aussage über den Grad und die Stelle der Rückenmarkskompression zu stellen wird eine computertomographische Untersuchung empfohlen (RÜEDI et al., 2011). Die Versorgung der Subluxation oder Luxation kann konservativ oder chirurgisch erfolgen (RÜEDI et al., 2011). Dabei ist die Prognose abhängig von der Schwere des Rückenmarktraumas vorsichtig zu gestalten (SCHARMER et al., 2000; VOS et al., 2008). Zur Reduktion der Rückenmarksschwellung und Entzündung können als konservative Therapie Dexamethason, NSAIDs und/oder Dimethylsulfoxid verabreicht werden (RÜEDI et al., 2011). Eine atlantoaxiale Luxation mechanisch wieder einzurenken ist ebenfalls erfolgreich durchgeführt worden und führte zu einem Verschwinden der Symptomatik, welche keine neurologischen Defizite enthielt (LICKA, 2002; GERLACH et al., 2011). Als chirurgische Therapie kann eine partielle Ostektomie des cranialsten Anteil des Dens axis versucht werden (CILLAN-GARCIA et al., 2011).

Subluxationen oder Luxationen der caudalen Halswirbelsäule sind aufgrund der großen Stabilität der Halswirbelsäule selten und hauptsächlich traumatisch bedingt (MAYHEW, 1999; HENSON, 2018). Bei jungen Pferden ist eine Subluxation im Bereich von C3-C4 häufiger als in der caudalen Halswirbelsäule und kann mit kongenitalen Malformationen einhergehen (WHITWELL und DYSON, 1987). Wie auch bei der atlantoaxialen Subluxation und Luxation ist, die von Subluxation oder Luxation der caudalen Halswirbeln resultierende Symptomatik, abhängig von der

Schwere der Rückenmarksverletzung (MAYHEW, 1999; HENSON, 2018). Ein Pferd mit einer Subluxation von C6-C7 wird typischerweise mit einem Vorbericht über fehlende Kraft in der Hinterhand vorstellig und zeigt eine milde Hinterhandataxie. Seltener kann sich die Subluxation auch in beidseitiger Vorderhandlahmheit äußern (ROSS und DYSON, 2011). Eine Verschiebung nach dorsal ist häufiger als eine Verschiebung nach ventral, aber beides ist möglich (ROSS und DYSON, 2011; HENSON, 2018). Eine Diagnosestellung ist anhand von lateralen Röntgenaufnahmen möglich (WHITWELL und DYSON, 1987; ROSS und DYSON, 2011; HENSON, 2018). Die Prognose ist im Allgemeinen als sehr vorsichtig anzusehen (HENSON, 2018).

### **4.3. Enttheseophyten im Ligamentum Nuchae**

Enttheseophyten an der Squama Occipitalis, im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae gehören zu den Insertionsdesmopathien, welche durch krankhafte Veränderungen im Ursprungs- oder Ansatzbereich von Bändern, Sehnen und Gelenkkapseln definiert sind (HUSKAMP und NOWAK, 1988). Diese sind in Form von isolierten Mineralisationen röntgenologisch gut darstellbar (HELLIGE, 2019). Pferde mit Enttheseophyten im Bereich des Genicks haben oft einen Vorbericht, der ein Trauma beinhaltet oder wurden viel ausgebunden longiert (ROSS und DYSON, 2011). Symptomatisch zeigen die Pferde Schwierigkeiten beim Biegen und Stellen, Kopfschlagen, Einnehmen einer Außenstellung, Außen- oder Kreuzgalopp und eine schwunglose Bewegung (HÜNTEMANN, 2006). Nicht alle Pferde mit Zubildungen in dieser Region zeigen Symptome. Oft handelt es sich bei Enttheseophyten im Nackenbereich um röntgenologische Zufallsbefunde, die besonders häufig bei Warmblütern vorkommen (ROSS und DYSON, 2011; BUTLER et al., 2017). Die Zubildungen können auch caudal am Okziput liegen und sich weiter ventral oder dorsal, außerhalb des Ansatzbereiches des Ligamentum nuchae und im Bereich der cranialen Halsmuskulatur befinden (ROSS und DYSON, 2011; HELLIGE, 2019). Eine genaue Lokalisation der Verkalkungen ist durch eine Ultraschalluntersuchung zumeist gut möglich (HELLIGE, 2019). Pferde die Symptome zeigen haben zumeist deutlichere Befunde als Pferde ohne Symptomatik (HÜNTEMANN, 2006). Um sicher zu gehen, dass die Symptomatik des Pferdes durch die Enttheseophyten verursacht wird, sollte lokal Lokalanästhetikum infiltriert und die Symptomatik auf Verbesserung überprüft werden (BUTLER et al., 2017; HELLIGE, 2019). Die

Therapie beinhaltet eine Infiltration mit Corticosteroiden, Traumeel und Lokalanästhetikum im betroffenen Bereich sowie ein modifiziertes Trainingsprogramm (ROSS und DYSON, 2011; BUTLER et al., 2017). Eine Stoßwellentherapie und osteopathische Behandlung können ebenfalls hilfreich sein (BRAUN und LAFRENZ, 2005; ROSS und DYSON, 2011; BUTLER et al., 2017).

#### **4.4. Erregerbedingte Veränderungen der Halswirbelsäule**

Zu den erregerbedingten Erkrankungen der knöchernen Halswirbelsäule gehören die zervikale Diskospondylitis, die zervikale Osteomyelitis und die septische Arthritis des Atlantoakzipitalgelenks. Die knöchernen Veränderungen, zumeist Osteolysen, entstehen durch die akute lokale Entzündung (HENSON, 2018).

##### **4.4.1. Zervikale Diskospondylitis**

Eine Diskospondylitis ist eine Infektion der knorpeligen Wirbelendplatten zweier Wirbel unter Beteiligung der Bandscheiben und des Intervertebralspaltes (COLBOURNE et al., 1997; BURKERT et al., 2005). Eine Erkrankung an Diskospondylitis beim Pferd ist sehr selten und betrifft fast ausschließlich adulte Tiere (COLBOURNE et al., 1997; MAYHEW, 1999). Diskospondylitis kann bei allen Wirbeln vorkommen, betrifft in der Halswirbelsäule jedoch meistens C1-C2 und C6-C7 (MAYHEW, 1999). Verursacht wird eine Diskospondylitis zumeist durch eine hämatogene oder lymphogene Ansiedlung von Bakterien, nach einer Primärinfektion, wie zum Beispiel Abszessen oder Infektionen in Brust- oder Bauchraum (MAYHEW, 1999; BURKERT et al., 2005). Aber auch lokale, durch Traumata verursachte, Wunden können zur Ansiedlung der Erreger führen (ADAMS et al., 1985; FURR et al., 1991; MAYHEW, 1999). Zumeist handelt es sich um eine Infektion mit *Brucella abortus*, *Mycobacterium tuberculosis*, *Actinobacillus* spp. oder koagulasenegativen Staphylokokken bei adulten und *Salmonella* spp. *Actinobacillus equuli* oder *Rhodococcus equi* bei Fohlen (COLBOURNE et al., 1997; MAYHEW, 1999). An Diskospondylitis erkrankte Pferde können Schmerzen an der betroffenen Stelle, Ataxie, Lähmungserscheinungen sowie Fieber und Lethargie aufweisen (COLBOURNE et al., 1997; MAYHEW, 1999). Die Diagnose kann mit Hilfe einer röntgenologischen und ultrasonographischen Untersuchung (durch Darstellung von knöchernen - und Weichteilveränderungen), einer szintigraphischen Untersuchung (zur Lokalisierung des Entzündungsherde) sowie einer bakteriologischen

Untersuchung aus einem Aspirat der betroffenen Läsion gestellt werden (ADAMS et al., 1985; COLBOURNE et al., 1997; MAYHEW, 1999; SWEERS und CARSTENS, 2006).

#### **4.4.2. Zervikale Osteomyelitis**

Zervikale Osteomyelitis ist eine seltene Erkrankung der Halswirbelsäule, die hauptsächlich bei jungen Pferden auftritt (GIGUERE und LAVOIE, 1994; HENSON, 2018). Die Ursache ist eine bakterielle Infektion mit *Aspergillus* spp., *Mycobacterium bovis*, *Klebsiella* spp., *Streptococcus* spp., *Escherichia coli*, *Actinobacillus* spp., *Eikenella corrodens*, *Corynebacterium pseudotuberculosis* und *Rhodococcus equi* (COLLINS et al., 1971; MAYHEW et al., 1978b; RICHARDSON, 1986; FIRTH et al., 1993; GIGUERE und LAVOIE, 1994; HENSON, 2018). Die bakterielle Infektion gelangt durch hämatogene Ausbreitung von dem ursprünglichen Entzündungsherd in die Halswirbelsäule, wo die Bakterien sich durch den langsamen Blutfluss der Kapillaren manifestieren können (GIGUERE und LAVOIE, 1994; OLCHOWY, 1994; TYSON et al., 2004). Zu den Symptomen einer zervikalen Osteomyelitis zählen Schmerzen, Steifheit, und später eine lokale Schwellung, neurologische Defizite durch extradurale Kompression, bis hin zur Parese und Unfähigkeit zu stehen, Paraplegie und eventuell Fieber (COLLINS et al., 1971; PRESCOTT, 1994; TYSON et al., 2004; HENSON, 2018). Die Synovia des betroffenen Gelenks hat eine deutlich erhöhte Leukozytenzahl und eine Neutrophilie (FIRTH et al., 1993). Röntgenologisch sind Veränderungen erst in einem relativ fortgeschrittenen Stadium sichtbar, szintigraphisch können durch Osteomyelitis betroffene Halswirbel schon früher identifiziert werden (TYSON et al., 2004). Die zervikale Osteomyelitis hat vor allem in spät entdeckten Fällen immer eine sehr schlechte Prognose (FIRTH et al., 1993; GIGUERE und LAVOIE, 1994; TYSON et al., 2004). Sofortige und aggressive antibiotische Behandlung mit Makroliden oder Chloramphenicol bei Fohlen sowie mit Penicillin G und Enrofloxacin oder Chloramphenicol bei adulten Tieren wird empfohlen. Zusätzlich kann ein NSAID gegeben werden. (RICHARDSON, 1986; FIRTH et al., 1993; OLCHOWY, 1994; HENSON, 2018). Bei einer mykotischen Infektion kann eine längerfristige Behandlung mit Itrakonazol zur Abheilung und Symptombesserung führen (FOLEY und LEGENDRE, 1992).

#### **4.4.3. Septische Arthritis des Atlantookzipitalgelenks**

Die septische Arthritis des Atlantookzipitalgelenks wird als seltene Komplikation einer Luftsackmykose beschrieben (DIXON und ROWLANDS, 1981; WALMSLEY, 1988). Auch ein möglicher Zusammenhang mit Ohrinfektionen wird vermutet (DIXON und ROWLANDS, 1981). Anzeichen der septischen Arthritis des Atlantookzipitalgelenks ist, wie bei einer Luftsackmykose, eine abnorme gestreckte Kopfhaltung, welche in diesem Fall allerdings nicht wie bei der Luftsackmykose aufgrund von Schmerzen, Angina oder eines Nervenschadens, sondern durch Erosion des Atlantookzipitalgelenks entsteht. Außerdem treten Schmerzen bei Manipulation des Kopfes und Steifheit des Halses auf (DIXON und ROWLANDS, 1981; WALMSLEY, 1988). Röntgenologische Veränderungen sind selten sichtbar (DIXON und ROWLANDS, 1981) und haben eine schlechte Prognose, da zu diesem Zeitpunkt die Veränderungen bereits zu weit fortgeschritten sind (WALMSLEY, 1988). *Aspergillus fumigatus* wurde als möglicher Erreger nachgewiesen, konnte jedoch nicht als primärer Auslöser bewiesen werden (DIXON und ROWLANDS, 1981). Die beste diagnostische Möglichkeit zum Nachweis einer septischen Arthritis des Atlantookzipitalgelenks bietet die Szintigraphie (DIXON und ROWLANDS, 1981; WALMSLEY, 1988). Ein Behandlungsversuch ist möglich, hat aber keine gute Prognose. Es kann eine chirurgische Versorgung versucht werden, außerdem sollte schnellstmöglich eine antimykotische und antibiotische Therapie erfolgen (WALMSLEY, 1988).

### **5. Röntgen der Halswirbelsäule**

Da sich in den letzten Jahren die Leistung der Röntgengeräte und damit die Qualität der Röntgenbilder stetig verbessert hat, werden auch immer mehr röntgenologische Untersuchungen der Halswirbelsäule durchgeführt (LAUTENSCHLÄGER et al., 2009; ENGEL, 2010; WILSMANN, 2016; HAUPT, 2020; ROHWERDER, 2020).

#### **5.1. Indikationen für Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule**

Die Indikationen für eine röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule sind abnorme Hals- oder Kopf-Haltung, Schwellungen, Steifheit oder Schmerzen in Hals oder Rücken, Ataxie und Leistungsabfall. Außerdem können Vorderhandlahmheiten, die nicht auf diagnostische Anästhesien ansprechen, abnormale Vorderbeinstellungen, und Anzeichen einer Nervenwurzelkompression, wie dermatomales Schwitzen, Schwächeanzeichen in den Vorderbeinen und eine

verringerte Vorführphase, Zehenschleifen oder Instabilität des Carpus eine röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule erfordern (BUTLER et al., 2017). Eine weitere Indikation für Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule sind Traumata nach Unfällen (HELLIGE und STADLER, 2014). Häufig ist eine röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule mittlerweile auch Gegenstand der Ankaufsuntersuchung (HAUPT, 2020).

### **5.1.1. Material zum Röntgen der Halswirbelsäule**

Um Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule des Pferdes anfertigen zu können, kann grundsätzlich ein tragbares Röntgengerät verwendet werden. Aufnahmen vom Okziput und dem cranialeren Teil der Halswirbelsäule sind mit einem tragbaren Gerät in guter Qualität möglich. Um den caudalen Bereich der Halswirbelsäule, vor allem C7 und den Übergang der Hals zur Brustwirbelsäule und T1 beurteilbar abzubilden, ist bei den meisten Pferden allerdings ein Standröntgengerät mit größerer Leistung notwendig. Die Detektorplatte sollte eine Größe von 35cmx43cm haben um zumindest 3 Wirbel anteilig abbilden zu können, damit diese im Vergleich betrachtet und beurteilt werden können (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010; BUTLER et al., 2017). Kleinere Detektorplatten sind deswegen für Aufnahmen der Halswirbelsäule nicht unbedingt zu empfehlen, können aber verwendet werden und erfordern eine genauere Positionierung (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010). Das Aufkleben von röntgenundurchlässigen Markierungen zur genauen Identifizierung der einzelnen Wirbel, vor allem von C3 bis C5, da diese anatomisch keine deutlichen Unterschiede aufweisen, ist insbesondere bei der Verwendung von kleinen Platten zu empfehlen (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010; BUTLER et al., 2017). Die Verwendung von einem Streustrahlenraster ist vor allem im caudalen Bereich der Halswirbelsäule notwendig, aber für die ganze Halswirbelsäule empfehlenswert (JAHN und LORENZ, 2010; BUTLER et al., 2017).

Zur Minimierung der Strahlenbelastung sollte ein Kassettenhalter verwendet werden. Dieser kann entweder an der Wand montiert sein oder in Form von einem mobilen Kassettenhalter verwendet werden (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010; JAHN und LORENZ, 2010; HELLIGE und STADLER, 2014; BUTLER et al., 2017). Wenn der Kassettenhalter nicht mit dem Röntgengerät gekoppelt ist, können Markierungen z.B. in Form von Tape verwendet werden, um die Stelle, auf die das Röntgengerät zentriert ist, auf beiden Halsseiten zu markieren (BUTLER et al.,

2017). Außerdem sollten Bleischürzen und Bleihandschuhe verwendet werden. Bei Personen mit einer beruflich erhöhten Strahlenexposition sollte die Verwendung eines Schilddrüsenschutzes und einer Bleiglasbrille in Erwägung gezogen werden, wenn Abschirmung oder eine große Distanz von der Röntgenstrahlung nicht möglich sind. Außerdem sollte ein Dosimeter getragen werden (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010).

### 5.1.2. Röntgentechnik

Aufnahmen der Halswirbelsäule können sowohl am stehenden, als auch am liegenden Pferd geröntgt werden, werden aber standardmäßig im Stehen angefertigt (JAHN und LORENZ, 2010). Zumeist ist dafür eine Sedation notwendig, da viele Pferde skeptisch gegenüber dem Röntgengerät und dem Kassettenhalter reagieren.

Allerdings muss beachtet werden, dass die Sedation zu einer veränderten Ausrichtung der Wirbelsäule führen kann (BUTLER et al., 2017). Zumeist hilft sie allerdings die Bewegungsartefakte zu minimieren und trägt somit zu einer Verbesserung der Bildqualität bei (JAHN und LORENZ, 2010). In manchen Fällen kann es durch die Sedation aber zu Exzitationen mit Kopfzucken kommen (WILSMANN, 2016). Des Weiteren neigen sedierte Pferde dazu ihren Kopf zu senken und die beim Röntgen angestrebte Positionierung des Halses zu erleichtern (WHITWELL und DYSON, 1987). Generell gestaltet sich das Erstellen von qualitativ guten Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule durch die komplexe Anatomie der Halswirbelsäule sowie der Überlagerung symmetrischer Strukturen und der Schwierigkeit orthogonale Bilder anzufertigen, als kompliziert (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010).

Bei der Anfertigung der Röntgenaufnahmen im Stehen muss darauf geachtet werden, dass der Hals in einer natürlichen Position und in gerader Linie mit der restlichen Wirbelsäule gehalten wird (BUTLER et al., 2017). Dabei kann es hilfreich sein, den Kopf des Pferdes am Halfter sanft nach vorne zu ziehen (HUDSON und MAYHEW, 2005; BUTLER et al., 2017). Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass die Wirbelsäule nicht zur Seite abkippt, um projektionsbedingte Überlagerungen zu vermeiden, welche vor allem die Beurteilung der Facettengelenke erschweren (JAHN und LORENZ, 2010; DYSON, 2011). Bei manchen Pferden ist es jedoch trotz perfekter Positionierung nicht möglich, komplett laterale Röntgenaufnahmen anzufertigen. Dies kann an

einem abnormen Muskeltonus aufgrund von Schmerzen oder asymmetrisch geformten Anteilen der caudalen Facettengelenke liegen, welche zu einer konstanten leichten Rotation der cranialer liegenden Wirbel führen (DYSON, 2011; BUTLER et al., 2017). Eine einheitliche Kopf-Hals-Position ist besonders wichtig, wenn die Foramina intervertebralia beurteilt werden sollen, da sich die Größe dieser bei Extension und Flexion verändert. Am besten beurteilbar sind diese in Flexion, wo sie am größten sind (BERNER, 2013).

Bei einer radiologischen Untersuchung der Halswirbelsäule werden in der Regel zunächst laterale Aufnahmen angefertigt um die einzelnen Wirbelkörper und Gelenke zu beurteilen (HELLIGE und STADLER, 2014). Um die komplette Halswirbelsäule inklusive Okziput und T1 abzubilden sind vier bis fünf Aufnahmen nötig. Der Strahlengang wird horizontal und senkrecht zur Halswirbelsäule ausgerichtet und sollte im rechten Winkel auf die Kassette treffen, welche so nahe wie möglich am Hals des Pferdes positioniert wird (JAHN und LORENZ, 2010; BUTLER et al., 2017). Es kann hilfreich sein Aufnahmen von beiden Seiten anzufertigen um Läsionen zu erkennen und der richtigen Seite zuzuordnen zu können (BUTLER et al., 2017). Die erforderlichen Einstellungen für diese Röntgenaufnahmen, bei einem normalen Großpferd mit 500kg liegen zwischen 65kV und 40mAs für den cranialen Teil der Halswirbelsäule und 80kV und 65mAs für den caudalen Anteil (WHITWELL und DYSON, 1987). Für gut beurteilbare Aufnahmen im Bereich von C7 und T1 ist unter Umständen ein leistungsfähigeres Equipment mit Einstellungen bis zu 100kV und 100mAs notwendig (MACKAY, 2012a).

Tangentialaufnahmen der Halswirbelsäule können hilfreich sein, um Befunde auf laterale Aufnahmen genauer, oder bestimmte Regionen, die in der klinischen Untersuchung auffällig waren, darzustellen (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010). Außerdem ermöglichen Schrägaufnahmen eine bessere Darstellung der Facettengelenke, da sie die Abbildung beider Facettengelenke auf einer Aufnahme ermöglichen (WITHERS et al., 2009). Durch die schräge Projektion kommt es zu einer Separation der paarigen Facettengelenke und der Processus transversalis, welche eine bessere Evaluation der individuellen Facettengelenke auf Frakturen, angeborene Anomalien und degenerative Veränderungen ermöglicht (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010). Zumeist werden Tangentialaufnahmen mit einem Strahlengang von lateroventral nach laterodorsal angefertigt, wobei die näher an

dem Röntgengerät liegende Facette auf dem Röntgenbild dorsal und die näher an der Detektorplatte liegende Facette ventral abgebildet wird (BUTLER et al., 2017). Bei korrekter Positionierung werden der Gelenkspalt, die Gelenkränder und die subchondralen Knochenoberflächen gut beurteilbar dargestellt (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010). Der Winkel, in dem das Röntgengerät gekippt wird, ist abhängig davon, welcher Wirbel dargestellt werden soll. Normalerweise werden Schrägaufnahmen vom caudalen Abschnitt der Halswirbelsäule angefertigt, wobei das Röntgengerät bei C6-C7 und C5-C6 mit einem  $45^{\circ}$ - $55^{\circ}$  und bei C4-C5 mit einem  $50^{\circ}$ - $55^{\circ}$  Winkel nach dorsal und lateral zur Körperachse des Pferdes ausgerichtet wird (BUTLER et al., 2017). Alternativ können Tangentialaufnahmen auch mit einem Strahlengang von caudodorsolateral nach cranioventrolateral angefertigt werden (LAUTENSCHLÄGER et al., 2009; BUTLER et al., 2017). Dabei wird die Facette näher an der Detektorplatte dorsal abgebildet (BUTLER et al., 2017). Bei dieser Variante, wird das Röntgengerät um  $45^{\circ}$  nach ventral gekippt und die linke Seite mit einem Winkel von  $135^{\circ}$  und die rechte Seite mit einem Winkel von  $225^{\circ}$  zur Körperachse des Pferdes geröntgt (LAUTENSCHLÄGER et al., 2009). Bei beiden Aufnahmerichtungen ist es wichtig, dass die Detektorplatte parallel zum Röntgengerät angeordnet wird, um die geometrische Verzerrung der anatomischen Strukturen zu minimieren. Dies gestaltet sich vor allem im caudalen Bereich aufgrund der Lage der Schulter, als schwierig (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010). Für Tangentialaufnahmen sind vor allem im caudalen Bereich hohe Einstellungen erforderlich. Zumeist sind die Belichtungswerte für laterale Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule jedoch ausreichend (WITHERS et al., 2009). Die dorsal projizierte Facette ist meist besser zu beurteilen als die ventrale, was durch Überlagerungen bedingt wird (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010). Deswegen ermöglichen Tangentialaufnahmen von beiden Seiten eine bessere Beurteilung als nur einseitige Aufnahmen (LAUTENSCHLÄGER et al., 2009). Neben den Facettengelenken ermöglichen Schrägaufnahmen auch eine bessere Beurteilung der Processus transversalis, welche ebenfalls einzeln dargestellt werden (DIMOCK und PUCHALSKI, 2010).

In einigen Fällen können auch dorso-ventrale Röntgenaufnahmen hilfreich sein. Dies gilt vor allem bei Verdachtsfällen von OAAM (BECK et al., 2002; WEAVER et al., 2007).

Um platzbeanspruchende Läsionen des Rückenmarkkanals zu identifizieren sowie

zur Abgrenzung von statischer und dynamischer Kompression des Rückenmarks kann eine Myelographie hilfreich sein. Da diese jedoch ein gewisses Risiko mit sich bringt, sollte sie ausschließlich dann durchgeführt werden, wenn dies notwendig ist um eine Stelle für eine dekompressive/stabilisierende Operation zu identifizieren oder um eine CVM für Versicherungszwecke nachzuweisen (HUDSON und MAYHEW, 2005).

## **5.2. (Subjektive) Beurteilung der Bilder**

Die Beurteilung von Röntgenbildern der Halswirbelsäule beinhaltet eine subjektive, semiquantitative und objektive Analyse (Messungen) der Röntgenbilder. Da diese Analysen alle mehr oder weniger limitiert sind, sollte bei der Beurteilung mit einem logischen Ansatz vorgegangen werden (HUDSON und MAYHEW, 2005).

Bei der subjektiven Evaluation der Röntgenbilder ist darauf zu achten nicht nur die einzelnen Wirbel zu beurteilen, sondern die Halswirbelsäule auch als Ganzes zu betrachten (WHITWELL und DYSON, 1987). Dabei muss ein besonderes Augenmerk auf Veränderungen der Wirbelkörper und ihrer Konturen gelegt werden (JAHN und LORENZ, 2010). Zuerst sollte auf die Form des Wirbelkanals, welcher normalerweise glatt ist und nur leichte Unebenheiten im Intervertebralspalt aufweist, und die Aneinanderreihung der Wirbelkörper geachtet werden (WHITWELL und DYSON, 1987; JAHN und LORENZ, 2010). Dann sollten Größe und Form der Epiphyse und die Regelmäßigkeit der Facettengelenke beurteilt werden (WHITWELL und DYSON, 1987). In ihrer physiologischen Form sind die Gelenkflächen der Facettengelenke glatt und rund und der Gelenkspalt klar abgrenzbar und gerade verlaufend. Sind bei diesen Strukturen Veränderungen erkennbar, ist es besonders wichtig auch die Größe des Foramen intervertebrale zu beurteilen, da Zubildungen an den Facettengelenken zu einer Verringerung dieses führen können (JAHN und LORENZ, 2010).

Offensichtliche pathologische Befunde sollten immer zuerst evaluiert werden (JAHN und LORENZ, 2010). Danach sollten die Röntgenbilder immer auf Veränderungen der Facetten und der Facettengelenke, vergrößerte caudale Epiphysen, welche nach dorsal in den Wirbelkanal reichen („ski jumps“), caudale Erweiterungen des dorsalen Anteils des Wirbelkanals und Stellungsanomalien in der Aneinanderreihung der Wirbelkörper, überprüft werden (MAYHEW et al.,

1978b; MAYHEW et al., 1993). Des Weiteren sollte beachtet werden, dass mit einer rein subjektiven Evaluation keine CVSM erkannt oder ausgeschlossen werden kann und dafür immer Messungen durchgeführt werden sollten (MAYHEW et al., 1978b; PAPAGEORGES et al., 1987; RUSH MOORE et al., 1994)

### **5.3. Häufige röntgenologische Befunde an der Halswirbelsäule**

Facettengelenksarthrosen sind vermutlich die häufigsten röntgenologischen Befunde der Halswirbelsäule. Ca 50% aller adulten Pferde haben röntgenologische Befunde dieser Art, wobei Warmblüter am häufigsten davon betroffen sind (WHITWELL und DYSON, 1987; LAUTENSCHLÄGER, 2007; LEVINE et al., 2007; BIRMINGHAM S.S.W., 2010; WILSMANN, 2016). Vor allem die Facettengelenke von C5-C6 und C6-C7 sind bei adulten Pferden häufig vergrößert und verformt. Periartikulär kann es zu knöchernen Zubildungen kommen, welche klinisch signifikant sein können. Im Bereich des Gelenkspaltes können rundliche Aufhellungen auftreten, welche zumeist ein Anzeichen einer klinisch relevanten Läsion sind. Die Vergrößerung der Facetten kann dazu führen, dass auf dem Röntgenbild das Foramen intervertebrale nur mehr teilweise oder gar nicht mehr darstellbar ist. Dies geht zumeist mit einer Muskelatrophie im Bereich der caudalen Halswirbelsäule einher und kann sich klinisch als Vorderhandlahmheit präsentieren. Eine Folge der Verformungen der Facettengelenke kann eine Fraktur der Gelenksfortsätze sein, welche zumeist durch eine Aufhellungslinie dargestellt wird (BUTLER et al., 2017).

Eine weitere röntgenologisch häufig auffindbare Veränderung, die besonders bei Warmblütern oft röntgenologisch dargestellt wird, sind Enthesophyten im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae. Diese stellen sich als röntgendichte Verkalkungen im Ligamentum nuchae oder in der cranialen Halsmuskulatur dar (BUTLER et al., 2017; HELLIGE, 2019). Die Form der Veränderungen kann stark variieren und eine Anheftung an das Hinterhauptsbein kann, muss aber nicht gegeben sein. Die Struktur kann homogen oder inhomogen ausfallen und die Kontur glatt oder unruhig sein (ROHWERDER, 2020).

## **6. Messungen der Halswirbelsäule**

Messungen stellen eine Methode zur objektiven Beurteilung von Röntgenbildern dar, die einen genauen Vergleich zwischen unterschiedlichen Tieren ermöglichen und haben sich weitgehend als Methode zur Beurteilung möglicher Stenosen des

Wirbelkanals etabliert (RUSH MOORE et al., 1994). Dabei steht zumeist vor allem die Verdachtsdiagnose einer CVSM im Vordergrund (MAYHEW et al., 1993).

## 6.1. Messungen an Lateralaufnahmen

### 6.1.1. Der Minimale Sagittale Durchmesser (MSD) und das Intravertebrale Verhältnis

Der Minimale Sagittale Durchmesser (MSD) ist die Höhe des Wirbelkanals an der engsten Stelle. Dieser wird von lateralen Röntgenaufnahmen in dorsoventraler Richtung an der engsten Stelle gemessen. Die MSD Werte werden allgemein in mm angegeben (BUTLER et al., 2017). Die häufigste Indikation zur Messung des MSDs ist ein Verdacht auf CVSM (RUSH MOORE et al., 1994). Bei dem Vergleich der Werte von zwei verschiedenen Pferden muss darauf geachtet werden, dass die Pferde eine ähnliche Größe aufweisen, da die Werte bei unterschiedlich großen Pferden stark variieren können (MAYHEW et al., 1978b; HUDSON und MAYHEW, 2005; BUTLER et al., 2017). Dementsprechend unterteilte (MAYHEW et al., 1978b) bei einer Erhebung des MSD von insgesamt 69 Pferden in eine Gruppe mit einem Körpergewicht von unter 320kg und einem Körpergewicht von über 320kg.

**Tabelle 1: MSD von Pferden unter 320 kg in mm. Aus (MAYHEW et al., 1978b).**

MSD bei Pferden unter 320 kg						
	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Mittelwert	23,8	19,8	18,7	19,7	21,1	22,9
Standardabweichung	1,5	0,9	1,0	1,2	1,5	1,6

**Tabelle 2: MSD von Pferden über 320kg in mm. Aus (MAYHEW et al., 1978b).**

MSD bei Pferden über 320kg						
	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Mittelwert	26,7	22,2	21,3	22,4	24,1	27,4
Standardabweichung	2,3	1,8	1,8	1,8	2,5	2,6

Von 1986 bis 1990 wurden insgesamt 118 männliche und 80 weibliche Vollblutfohlen geröntgt und der durchschnittliche MSD ermittelt. Die Werte unterscheiden sich etwas von den erhobenen Werten der erwachsenen Pferde und

zeigen geschlechtsabhängige Unterschiede (MAYHEW et al., 1993).

**Tabelle 3: MSD Werte von männlichen und weiblichen Vollblutfohlen in mm. Aus (MAYHEW et al., 1993).**

MSD Mittelwerte bei Vollblutfohlen						
	C2	C3	C4	C5	C6	C7
männl	21,1	19,2	19,2	19,4	20	21,3
weibl	21,7	20,8	22	20,3	20,1	22,3

Während der Vergleich des MSD von unterschiedlichen Pferden mit Vorsicht zu betrachten ist, kann er hilfreich sein um den Durchmesser des Wirbelkanals unterschiedlicher Wirbel desselben Pferdes zu vergleichen (BUTLER et al., 2017).

Einen Wert, der zwischen unterschiedlichen Pferden vergleichbarer ist, liefert das intravertebrale Verhältnis. Dabei wird der MSD durch die dorsoventrale Höhe des Wirbelkörpers desselben Wirbels dividiert. Die Höhe des Wirbelkörpers wird dabei an der Extremitas cranialis an der höchsten Stelle gemessen und ist somit der maximale sagittale Durchmesser des Wirbelkörpers (HUDSON und MAYHEW, 2005; BUTLER et al., 2017). Die Berechnung eines Verhältnisses aus zwei Werten die von demselben Röntgenbild erhoben wurden, eliminiert Ungenauigkeiten, die durch Körpergröße und röntgenologische Vergrößerung entstehen können (RUSH MOORE et al., 1994; VAN BIERVLIET, 2007).

Die Durchschnittswerte des Intravertebralen Verhältnisses, die bei Pferden ohne CVSM erhoben wurden variierten in unterschiedlichen Studien. In keiner Studie jedoch wurden Werte unter 50% als physiologisch ermittelt. So wurden in einer Studie, bei der 50 Pferde, davon 28 Vollblüter untersucht wurden, Idealwerte für C4, C5 und C6 von 52% und für C7 von 56% angegeben (RUSH MOORE et al., 1994). Bei einem Vergleich von neurologisch auffälligen Quarter-Horse Pferden mit und ohne CVSM wurden folgende Mittelwerte für Pferde, die nicht unter CVSM litten erhoben: 63% für C7, 60% für C6, 61% für C5, 59% für C4, 61% für C3 und 72% für C2 (MAYHEW und GREEN, 2000). In einer Studie bei der ausschließlich Warmblutpferde röntgenologisch untersucht wurden, wurden Durchschnittswerte von 62,6% für C7, 59,7% für C6, 60,8% für C5, 60,1% für C4, 61,2% für C3 und 103,6% für C2 ermittelt (LAUTENSCHLÄGER et al., 2010). Werte wie der MSD und das Intravertebrale Verhältnis müssen allerdings immer in

Kombination mit Symptomen betrachtet werden. Deshalb wurde 1993 ein Score für weitere Parameter, welche am Röntgenbild beurteilt werden sollten, entwickelt, um eine bessere Diagnostik für CVSM anhand von Röntgenbildern zu ermöglichen (MAYHEW et al., 1993).

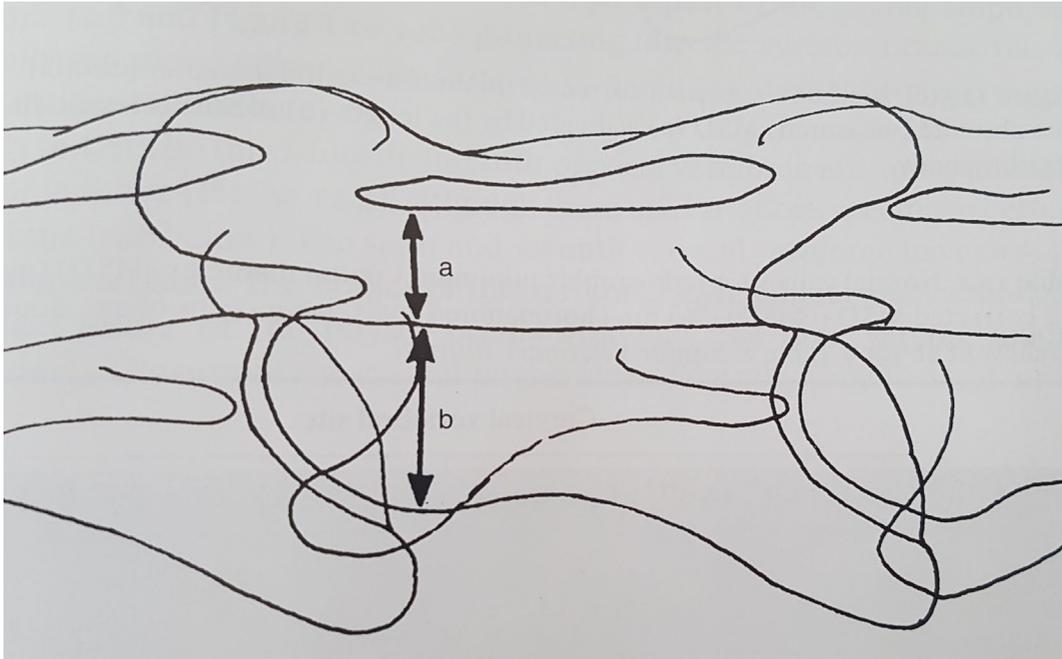
Sowohl der MSD als auch das Intravertebrale Verhältnis werden nur unwesentlich von der Kopf-Hals-Position des Pferdes beeinflusst und sind somit Werte, die auch bei nicht standardisierter Kopf-Hals-Haltung verglichen werden können (BECCATI et al., 2018).

### **6.1.2. Der korrigierte Minimale sagittale Durchmesser (cMSD)**

Um die MSD-Werte von verschiedenen Fohlen vergleichbarer zu machen, wurde ein korrigierter MSD entwickelt. Dabei wird der absolute Wert des MSD durch die Länge des Wirbelkörpers geteilt, um die röntgenologische Vergrößerung und die Größe der Wirbelkörper zu korrigieren (MAYHEW et al., 1993).

### **6.1.3. Intervertebrales Verhältnis**

Da eine Stenose des Wirbelkanals bei CVSM nicht immer im Bereich des Wirbelkanals, sondern oft auch im Bereich des Gelenks zwischen zwei Wirbeln entstehen kann, wurde das Intervertebrale Verhältnis eingeführt. Dabei wird die Strecke zwischen dem craniodorsalsten Anteil des Wirbelkörpers und des caudalsten Anteils des Wirbelbogens des cranialeren Wirbels gemessen. Diese Länge wird dann zu dem maximalen sagittalen Durchmesser der Extremitas cranialis des caudaler liegenden Wirbels ins Verhältnis gesetzt (VAN BIERVLIET et al., 2006). Das Intervertebrale Verhältnis kann weitere Informationen für die Diagnose einer CVSM liefern und vor allem in Kombination mit dem Intravertebralen Verhältnis als aussagekräftiger Parameter zur Stellung einer Diagnose von CVSM angesehen werden. Außerdem kann die Messung des Intervertebralen Verhältnisses helfen die Lokalisation der Rückenmarkskompression ausfindig zu machen (HAHN et al., 2008). Auch bei Pferden mit durch arthrotische Zubildungen bedingten verkleinerten Foramina intervertebrale, ist das Intervertebrale Verhältnis tendenziell kleiner als bei gesunden Tieren (LAUTENSCHLÄGER et al., 2010).



**Abbildung 1:** MSD (Strecke a) und maximaler sagittaler Durchmesser der Extremitas cranialis (Strecke b) aus (BUTLER et al., 2017).

#### 6.1.4. Messungen der Facettengelenke

Eine der häufigsten pathologischen Veränderungen an der Halswirbelsäule sind arthrotische Veränderungen an den Facettengelenken. Gerade Warmblüter scheinen eine Prädisposition für diese Erkrankung aufzuweisen und ein hoher Prozentsatz der Pferde weist röntgenologische Veränderungen auf (WILSMANN, 2016). In einer Studie von HETT et al. (2006) wurde ein Messsystem zur objektiven Bestimmung an Facettengelenksarthrosen erkrankter Tiere entwickelt. Dafür wurden auf lateralen Röntgenaufnahmen fünf verschiedene Messungen durchgeführt. Die erste Messung (M1) stellt das Maß für den Durchmesser des Gelenkhalses dar und ist die Höhe des Processus articularis cranialis. Außerdem wurden die Breite (M2) des Processus articularis cranialis, die Länge (M3) und die Höhe (M4) des Wirbelkörpers sowie die Höhe des Foramen vertebrale (M5) gemessen. Aufgrund altersbedingter Unterschiede in der Knochenentwicklung hat sich eine Einteilung in die Alterskategorien unter und über 3 Jahren als sinnvoll herausgestellt. Ein Vergleich zwischen gesunden und an Facettengelenksarthrose erkrankten Pferde zeigte, dass die Messwerte der Facetten (M1 und M2) bei Pferden mit zervikaler Gelenksarthrose deutlich höher ausfielen. Dies bestätigt die Annahme, dass die Gelenksfortsätze von an Facettengelenksarthrose erkrankten Pferden deutlich vergrößert sind. Dabei wurde zwischen den beiden unterschiedlichen Altersgruppen kein Unterschied festgestellt (HETT et al., 2006).

Eine weitere Studie konnte die Aussagekraft der Messungen zwischen erkrankten und gesunden Pferden so nicht nachvollziehen und keine Aussagekraft aus den Messungen ziehen (PUDERT, 2018)

#### **6.1.5. Winkelmessungen**

Eine Kompression des Rückenmarks entsteht nicht nur durch knöcherne Zubildungen, sondern kann auch durch eine Veränderung der Position der Wirbel erfolgen. So wird bei einer Subluxation das Rückenmark zwischen der dorsalen Begrenzung des cranialeren Wirbels und der Extremitas cranialis des nachfolgenden Wirbels komprimiert. Dies ist auch bei einer CVI der Fall, bei der dies aber nicht in allen Halspositionen erkennbar ist (TOMIZAWA et al., 1994b). Um die Veränderung des Winkels zweier benachbarter Wirbelkörper zu ermitteln sind verschiedene Messsysteme bekannt. MAYHEW (1999) zeigt in einem Artikel eine Winkelmessung durch Linienziehung entlang der ventralen Begrenzung des Wirbelkanals, um eine Kyphose zu ermitteln. Diese Messung zeigt eine eventuelle Veränderung zwischen dem Winkel zweier aufeinanderfolgender Wirbel (MAYHEW, 1999). Nach dem gleichen Prinzip kann eine Veränderung des Winkels zweier benachbarter Wirbel auch folgenderweise bestimmt werden: Verlängerungslinien werden an der dorsalen Begrenzung des Wirbelkanals gezogen und der Abstand von diesen zu der Extremitas caudalis gemessen. Diese Methode trifft ebenfalls eine Aussage über eine stattfindende Verengung des Rückenmarkskanals und hat eine Übereinstimmung der Aussage von 80% verglichen mit einer Myelographie (TOMIZAWA et al., 1994b). Eine weitere Methode der Winkelmessung wurde an der caudalen Halswirbelsäule zwischen den Gelenken durchgeführt. An den Gelenken C5-C6 und C6-C7 wurde eine Gerade durch den Rückenmarkskanal zweier benachbarter Wirbel gezogen und verlängert. Um die Divergenz zu ermitteln wurde an der kaudalen Epiphyse des cranialeren Wirbels ein Lot von der oberen zur darunterliegenden Linie gezogen und die Strecke gemessen. Diese Messung zeigte, dass ein Zusammenhang zwischen der zunehmenden Divergenz des Intervertebralgelenks von C6-C7 und Hinterhandlahmheiten besteht (PELLMANN et al., 2019).

#### **6.2. Messungen von Tangentialaufnahmen**

In der Doktorarbeit von LAUTENSCHLÄGER (2007) wurden neue Messsysteme für die Beurteilung von Tangentialaufnahmen entwickelt. Dabei wurden die

craniale und caudale Weite des Facettengelenksspaltes sowie die Länge der Gelenkfortsätze und die Fläche der Facetten gemessen. Die craniale und caudale Weite des Facettengelenksspaltes wurde immer von dem fokusnahen Facettengelenk am Rand der Gelenksfläche ermittelt. Die Länge der Gelenkfortsätze wurde ebenfalls am fokusnahen Gelenk sowohl vom cranialen als auch vom caudalen Processus articularis gemessen. Die Fläche der Facette wurde immer von der plattennahen Facette bestimmt. Dabei wurden die Werte von klinisch gesunden und klinisch auffälligen (schlechtrittigen) Pferden verglichen. Bei den Kontrollpferden waren die caudale Weite des Facettengelenks C5-C6 und die craniale Weite des Facettengelenks C6-C7 signifikant größer. Die Längen der Gelenkfortsätze war bei den gesunden Pferden tendenziell kleiner und die Fläche der Facetten bei den klinisch auffälligen Pferden signifikant größer (LAUTENSCHLÄGER, 2007). In einer anderen Studie, in der die Länge der Gelenkfortsätze auf die gleiche Weise gemessen wurden, wird von wenig Übereinstimmung zwischen unterschiedlichen Betrachtern, einer geringen Genauigkeit und einer allgemeinen Unterschätzung der Größe der Facettengelenke bei unterschiedlichen Messungen von Tangentialaufnahmen berichtet (LISCHER et al., 2010).

### **III. MATERIAL UND METHODEN**

Um die Einhaltung der geltenden gesetzlichen Tierschutzbestimmungen zu gewährleisten und die Übereinstimmung der Studie mit diesen zu prüfen, wurde vor Anfertigung der Röntgenaufnahmen ein Ethikantrag mit dem Aktenzeichen 180-15-07-2019 an die Ethikkommission der Tierärztlichen Fakultät der LMU München gestellt. Die Ethikkommission hatte keine Bedenken gegen die geplante Studie einzuwenden und sprach eine Genehmigung zur Durchführung aus.

#### **1. Probandenpool**

Die Probanden dieser Studie waren Warmblutpferde, die entweder dem Patientengut der Pferdeklunik Bargtheide entstammten oder aus der Sportpferdezucht des Gestüt Lewitz. Für diese Studie wurden insgesamt 84 Pferde aus den Jahrgängen 2017, 2018 und 2019 röntgenologisch untersucht. Daraus ergaben sich 3 Gruppen:

- Gruppe 1: geboren 2019: 25 Pferde
- Gruppe 2: geboren 2018: 34 Pferde
- Gruppe 3: geboren 2017: 25 Pferde

Die Gruppen werden im Folgenden auch in Absetzer, Einjährige und Zweijährige unterteilt. In die Studie wurden ausschließlich Pferde eingeschlossen, die bis zu dem Röntgentag keinerlei neurologische Auffälligkeiten zeigten. Im Rahmen des Handlings der Pferde für die röntgenologische Untersuchung wurde auf Anzeichen einer Ataxie geachtet. Außerdem wurden Pferde, die eine abnorme Halshaltung zeigten, aus der Studie ausgeschlossen. Die Pferde gehörten zu einem großen Teil einem privaten Gestüt und wurden im Zuge einer Sedation für andere Tätigkeit (Hufschmied, tierärztliche Tätigkeiten) röntgenologisch untersucht. Der andere Anteil der Pferde entstammt dem Patientengut der Pferdeklunik Bargtheide. Die in der Klinik vorgestellten Pferde wurden routinemäßig für Körungen oder Ankäufe geröntgt oder waren aus Gründen vorstellig, die keinerlei Verdacht auf eine Halswirbelsäulenerkrankung hervorriefen. In diesem Falle wurde die Sedation für andere Röntgenaufnahmen genutzt, um Bilder der Halswirbelsäule anzufertigen.

## **2. Röntgentechnik**

Die Röntgenaufnahmen wurden mit dem stationären Röntgengenerator von SIEMENS Polydoros SX80 sowie dem Mobilten Röntgengerät Gierth TR 90/30 von der Firma GIERTH X-Ray International GmbH. Das mobile Gerät wurde zur Anfertigung der Aufnahmen auf dem mobilen Stativ der Firma GIERTH X-Ray International GmbH Fahrstativ light angebracht. Dazu wurde die Detektorplatte CXDI-801C Wireless der Firma Canon (Auflösung: 125 Mikrons) bei beiden Röntgengeneratoren als aufzeichnendes System verwendet. Als Detektorplattenhalterung wurde das mobile Stativ Stat-X Bucky der Firma Podoblock genutzt.

## **3. Strahlenschutz**

Bei der röntgenologischen Untersuchung der Pferde für diese Studie wurden die gesetzlichen Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) in ihrer aktuellen Fassung eingehalten. Um die Anzahl der strahlenexponierten Personen so gering wie möglich zu halten, befand sich zu jeder Zeit ausschließlich die Anzahl an Personen in der Nähe des Röntgengeräts, die unbedingt zur Durchführung der Untersuchung erforderlich war. Dies waren zumeist drei Personen: eine Person, die das Pferd am Kopf fixiert, eine Person, die das Röntgengerät bedient und eine Person, die den Plattenhalter positioniert und danach Abstand zum unmittelbaren Bereich der Röntgenstrahlung hielt. Alle anwesenden Personen trugen eine Bleischürze und einen Schilddrüsenschutz. Die den Pferdekopf fixierende Person trug bei kopfnahen Aufnahmen zusätzlich Bleihandschuhe. Die Personendosis wurde mithilfe eines Filmdosimeters aufgezeichnet.

## **4. Erstellen der Röntgenbilder**

Zum Erstellen der Röntgenbilder wurden die Pferde bereits sediert übernommen. Bei allen Pferden wurde die Sedation aufgrund eines medizinischen Eingriffes durchgeführt. Die Pferde wurden sediert zum Röntgengerät gebracht, anschließend geschlossen hingestellt und von einer Person am Halfter fixiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass alle Beine gleichmäßig belastet und die Halswirbelsäule und der Kopf gerade gehalten wurden. Vor dem Anfertigen der Bilder wurde zunächst mit dem Stockmaß ALU von BUSSE das Stockmaß des Pferdes gemessen. Um die Identifikation der Halswirbel im mittleren Bereich des Halses anschließend auf den

Röntgenbildern zweifelsfrei möglich zu machen, wurden über C3, C5 und C6, röntgendichte Markierungen angebracht. Anschließend wurde zuerst vorsichtig die Platte am caudalen Teil des Halses positioniert, da die Akzeptanz der Platte schlechter als die des Röntgengeräts war. Anschließend wurde das Röntgengerät mit dem Stativ positioniert und die Platte manuell parallel dazu ausgerichtet. Bei der Anfertigung von Aufnahmen des Nackenbandes wurde das Halfter über die Ohren nach vorne gezogen, um Artefakte zu vermeiden. Die Röntgenaufnahmen erfolgten mit einem sinistro-dextralen Strahlengang, wobei die Einstellungen der Größe und Masse der Pferde entsprechend gewählt und an die Region der Halswirbelsäule weiter angepasst wurden. Der Film-Fokus-Abstand entsprach bei allen Aufnahmen in etwa einem Meter. Die Anzahl der Röntgenaufnahmen pro Pferd variierten je nach Größe und Alter des Pferdes, das Maximum entsprach jedoch fünf Aufnahmen pro Pferd.

**Tabelle 4: Verwendete Belichtungswerte.**

Standröntgengerät			mobiles Röntgengerät		
Abschnitt	kV	mAs	Abschnitt	kV	mAs
Nackenband	57-60	40-50	Nackenband	74-80	1,2-2,6
C2-C4	70-75	40-56	C2	74-76	2,6-3,9
C4-C7	71,5-79	45-71	C3-C5	76-80	3,9-5,3
			C6-C7	80-90	4,46-6,0

## 5. Auswertung der Röntgenbilder

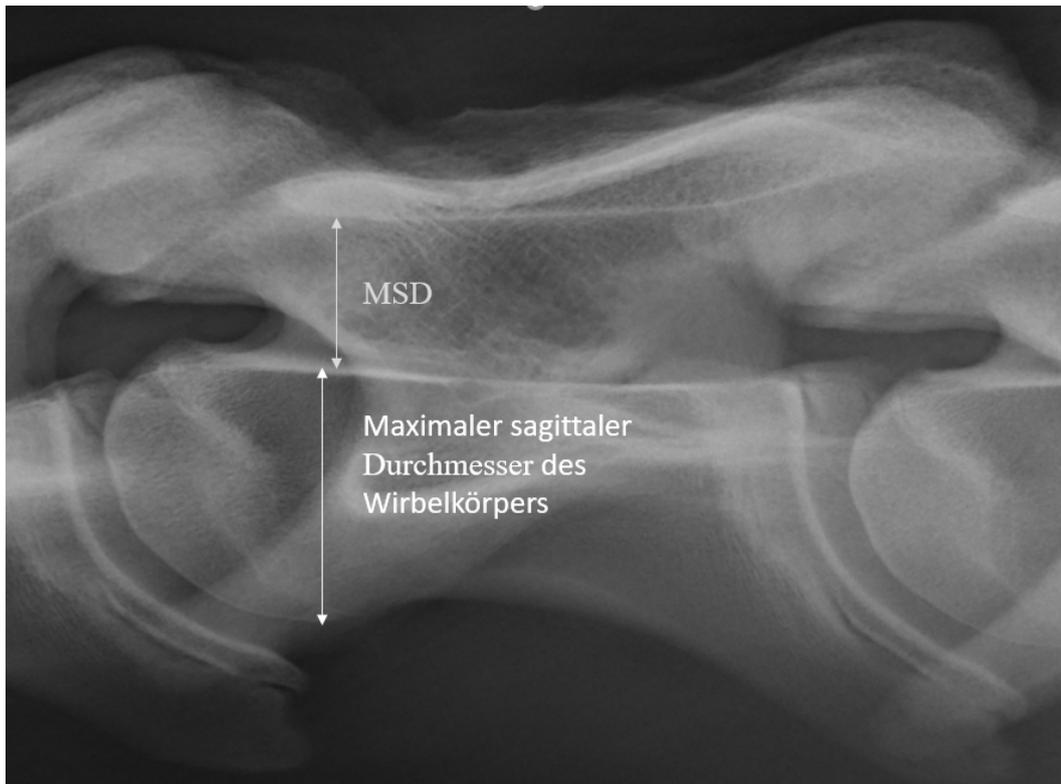
### 5.1. Messungen

Die Messungen der jeweiligen Halswirbel erfolgten stets auf dem Röntgenbild, auf dem der jeweilige Wirbel zentriert und orthograd getroffen dargestellt wurde. Das gleiche gilt für die Facettengelenke. Dadurch wurden die Vermessungen an den Aufnahmen durchgeführt, auf denen der zu vermessende Bereich am besten dargestellt wurde. Röntgenaufnahmen, auf denen Wirbel in mangelnder Qualität abgebildet waren (nicht orthograd getroffen, Bewegungsartefakte), wurden nicht ausgewertet.

#### 5.1.1. MSD und Intravertebrales Verhältnis

Der MSD wurde bei den Halswirbeln C2-C7 gemessen. Dabei wurde mit dem

Messtool im DICOM System der Durchmesser des Wirbelkanals in dorsoventraler Richtung an der engsten Stelle im rechten Winkel zur ventralen Begrenzung des Wirbelkanals vermessen. Um sicherzugehen, dass die engste Stelle korrekt identifiziert wurde, wurden bei jedem Wirbel mehrere Messungen im Abstand von 5mm nebeneinandergelegt. Nachdem die engste Stelle ermittelt wurde, wurden wiederum zwei Messungen im Abstand von 2mm cranial und caudal des zuerst ermittelten Minimalen Durchmessers durchgeführt. Die dadurch ermittelte geringste Distanz wurde als Minimaler Sagittaler Durchmesser des Wirbelkanals bestimmt. Um das Intravertebrale Verhältnis (IVV) zu bestimmen, wurde anschließend der Maximale Sagittale Durchmesser des Wirbelkörpers ermittelt. Dafür wurde die Extremitas cranialis ebenfalls in dorsoventraler Richtung im rechten Winkel zum Wirbelkanal vermessen. Hierbei wurden wiederum mehrere Messungen im Abstand von 5mm nebeneinandergelegt. Neben die Messung des Größten Durchmessers wurden wiederum cranial und caudal im Abstand von 2mm weitere Messungen durchgeführt, um die Stelle des Maximalen Sagittalen Durchmessers des Wirbelkörpers zu bestätigen. Um sicherzugehen, dass die Messungen im rechten Winkel zur ventralen Begrenzung des Wirbelkanals stehen, wurde eine Winkelmessung durchgeführt, die parallel zur Messung des MSD bzw Maximalen Sagittalen Durchmesser des Wirbelkörpers und entlang der ventralen Begrenzung des Wirbelkanals verlief. Aus den so ermittelten Werten für den MSD und den Maximalen Sagittalen Durchmesser des Wirbelkörpers wurde durch eine einfache Division des Minimalen Sagittalen Durchmessers des Wirbelkanals durch den Maximalen Sagittalen Durchmesser des Wirbelkörpers in Excel das Intravertebrale Verhältnis des jeweiligen Wirbels errechnet.



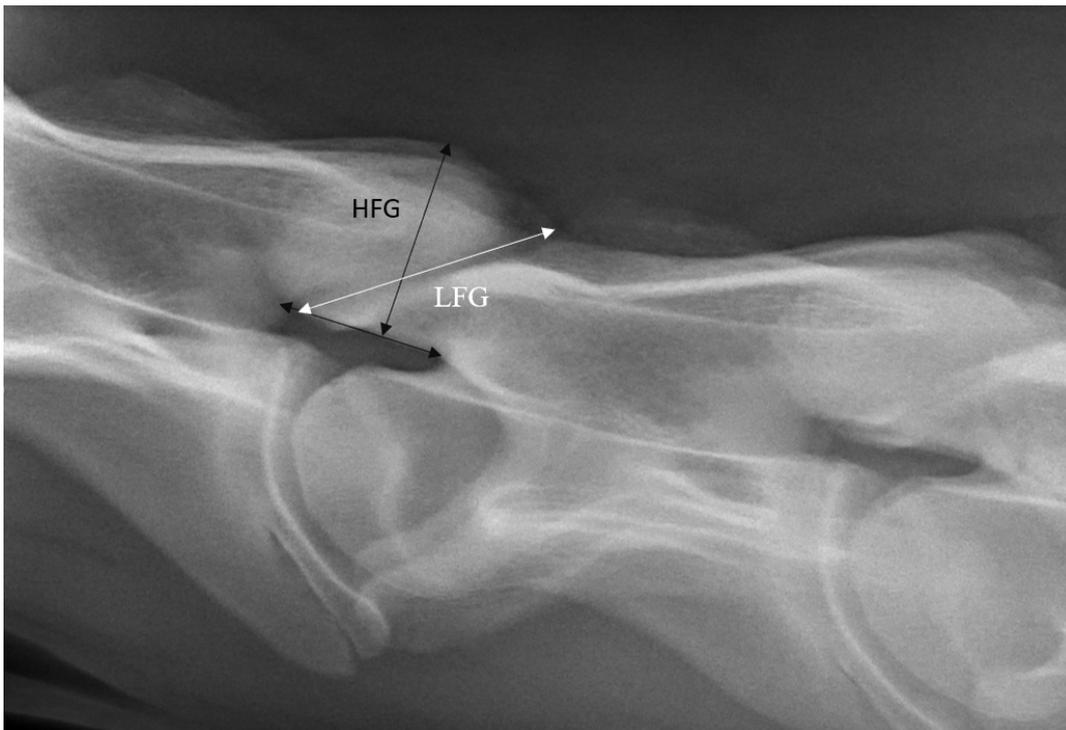
**Abbildung 2:** Beispielmessung des MSD und maximalen sagittalen Durchmessers der Extremitas cranialis des Wirbelkörpers des C4.

### 5.1.2. Messungen und Berechnungen an den Facettengelenken

An den Facettengelenken wurden die Höhe der Facette und die Länge des Gelenkspaltes gemessen.

Die maximale Höhe des Facettengelenks (HFG) wurde ermittelt, indem zunächst eine Hilfslinie entlang des Facettengelenkhalses des Processus articularis cranialis des caudaler gelegen Wirbels gezogen und bis zu dem Facettengelenkhals des Processus articularis caudalis des cranialer gelegen Wirbels verlängert wurde. Im rechten Winkel (welcher durch eine Winkelmessung bestätigt wurde) zu der Hilfslinie wurde in ventrodorsaler Richtung eine Messung über das Facettengelenk gezogen. Dabei wurden drei Messungen im Abstand von 5mm nebeneinandergelegt, um die maximale Höhe des Facettengelenks zu ermitteln. Neben die so ermittelte längste Strecke wurden wiederum zwei Messungen im Abstand von 2mm gelegt, um die maximale Höhe der Facetten genau zu bestimmen. Bei nicht perfekt orthograd getroffenen Facettengelenken wurde darauf geachtet nur eine der dargestellten Doppelkonturlinien mitzumessen, um die Höhe der Facette nicht zu vergrößern. War ein Facettengelenk auf allen Aufnahmen mehr

als leicht verkippt getroffen, wurden keine Messungen durchgeführt und das Gelenk in der Auswertung nicht berücksichtigt. War bei einem Facettengelenk nur eine Doppelkonturlinie sichtbar, wurde davon ausgegangen, dass es sich um ungleich große Facetten handelt, da bei nicht orthograd getroffenen Aufnahmen stets zwei Doppelkonturlinien sichtbar sind. In diesem Fall wurde die Doppelkonturlinie mitgemessen und somit die Höhe nach der größeren der gelenksbildenden Facetten bestimmt. Danach wurden die Höhe der Facettengelenke von C6-C7, C5-C6 und C4-C5 mit der Höhe des Facettengelenks C3-C4 desselben Pferdes ins Verhältnis gesetzt. Das Verhältnis (VHFG) wurde gebildet um ein objektives Maß der Vergrößerung der häufiger von Facettengelenksarthrose betroffenen Gelenke zu einem zumeist unveränderten Gelenk zu generieren und so reproduzierbare Normalwerte herzustellen, die einen Vergleich mit von zervikaler Spondylarthrose betroffenen Gelenken möglich machen.

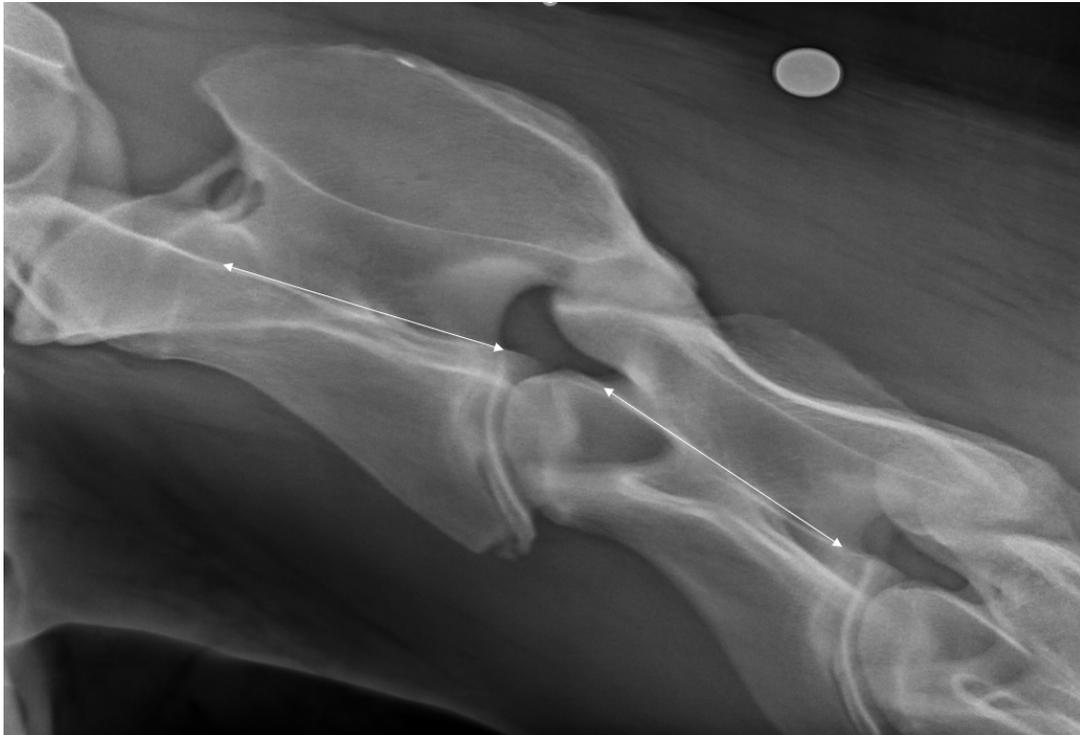


**Abbildung 3: Beispielmessung der Höhe des Facettengelenks und der Länge des Facettengelenksspaltes C3/4.**

Die Länge des Facettengelenksspaltes (LFG) wurde so genau wie möglich durch den Gelenkspalt gemessen. Bei minimal verkippten Aufnahmen wurde wiederum nur bis zum Ende einer der beiden Doppelkonturen gemessen. Stärker verkippte Aufnahmen eines Gelenkes wurden auch für diese Messung nicht weiter berücksichtigt.

### 5.1.3. Messungen des Winkels zwischen C2 und C3

Um den Winkel zwischen C2 und C3 zu messen wurde entlang der ventralen Begrenzung des Wirbelkanals von C2 und C3 eine Winkelmessung durchgeführt.



**Abbildung 4: Beispielmessung des Winkels zwischen C2 und C3.**

Dies geschah, um Pferde auf objektive Weise einer Untersuchung auf einen möglichen Achsenknick zu unterziehen. Dabei wurden das Ergebnis der Winkelmessung und die subjektive Auswertung durch zwei erfahrene Untersucher notiert. Die objektive Messung des Winkels wurde dabei in 5 Grade eingeteilt. Die subjektive Auswertung wurde in dieselben Grade eingeteilt und notiert.

**Tabelle 5: Gradeinteilung des gemessenen Winkels zwischen C2 und C3.**

Klasse	Winkel C2-C3	Gradeinteilung
0	<18°	physiologisch
1	18-25°	geringgradig abweichend
3	26°-34°	mittelgradig abweichend
3	35-45°	hochgradig abweichend
4	>45°	höchstgradig abweichend

## **5.2. Anatomische Besonderheiten C7**

Die Röntgenbilder von C7 wurden auf anatomische Besonderheiten untersucht. Dabei wurden alle Pferde mit einer Transposition eines Processus transversus auf den siebten Halswirbel notiert. Dabei wurde nicht weiter in uni- oder bilaterale Transposition unterschieden.

## **5.3. Befunderhebung**

Die Befunderhebung wurde zusammen mit einem erfahrenen Untersucher der Pferdeklinik Bargteheide durchgeführt. Für jeden Probanden wurden die Befunde der genauen Lokalisation zugeordnet und vermerkt. Dabei wurden alle Befunde an der Halswirbelsäule und Genick erhoben. Die erhobenen Befunde enthielten Aufhellungen im Sinne von zystoiden Defekten, Aufhellungslinien, die als Fissur und eine isolierte Verschattung, die als Fragment gewertet wurden. Des Weiteren enthesiophytäre Zubildungen im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae notiert. Außerdem wurde jedes Facettengelenk auf Veränderungen, die einer Facettengelenksarthrose zugeordnet werden konnten, untersucht und diese nach Grad der Veränderung eingeteilt.

### **5.3.1. Zervikale Spondylarthrose**

Jedes Facettengelenk wurde auf Anzeichen einer zervikalen Spondylarthrose untersucht. Als Anzeichen einer Facettengelenksarthrose wurden nach (ENGEL, 2010) folgende Veränderungen gewertet:

- Vergrößerte Facettengelenke
- Unruhige Konturen der sichtbaren Facettengelenksanteile
- Röntgendichte (knöcherner) Zubildungen im Bereich der Facettengelenke
- Unregelmäßig verbreiteter oder verengter Gelenksspalt
- Sklerose (fokal oder partiell)
- Aufhellungen

Nach der Befundeinteilung erfolgte eine Gradeinteilung der Facettengelenksarthrose, die ebenfalls nach (ENGEL, 2010) vorgenommen wurde.

**Tabelle 6: Gradeinteilung der Facettengelenksarthrose nach (ENGEL, 2010).**

Klasse	Gradeinteilung	Befundeinteilung
Klasse 1	geringgradige Anzeichen einer Facettengelenksarthrose	Auftreten eines Befundes in geringer Ausprägung
Klasse 2	mittelgradige Anzeichen für Facettengelenksarthrose	Auftreten mehrerer Befunde in geringer Ausprägung oder Auftreten eines Befundes in deutlicher Ausprägung
Klasse 3	hochgradige Anzeichen für Facettengelenksarthrose	Auftreten mehrerer Befunde in deutlicher Ausprägung
Klasse 4	höchstgradige Anzeichen für Facettengelenksarthrose	Auftreten mehrerer Befunde in deutlicher Ausprägung mit Veränderungen der angrenzenden Knochenstrukturen

Pferde ohne Befunde, die einer Facettengelenksarthrose entsprachen, wurden nicht in eine Kategorie eingeteilt, da diese in dieser Studie der Norm entsprachen. Halswirbel mit Befunden, die Einfluss auf die durchgeführten Messungen haben könnten, wurden nicht in die Berechnung der gesunden Pferde inkludiert. Bei Facettengelenken mit befundeten Veränderungen wurden separate Berechnungen durchgeführt.

### **5.3.2. Verschattungen des Foramen intervertebrale**

Alle Foramina intervertebralia zwischen dem fünften und siebten Halswirbel (C5-C6 und C6-C7) wurden auf Verschattungen des Lumens untersucht und diese nach (LAUTENSCHLÄGER, 2007) einer Einteilung zugeordnet. Dabei wurde der Grad der Verschattung leicht abweichend nicht nur in Klassen, sondern auch in geringgradig, mittelgradig und hochgradig verschattet unterteilt. Alle röntgenologisch dargestellten Verschattungen des Foramen intervertebrale wurden erhoben und einer Klassifizierung zugeordnet.

**Tabelle 7: Klassifizierung der Verschattung des Lumens des Foramen intervertebrale nach (LAUTENSCHLÄGER, 2007) mit zusätzlicher Gradeinteilung.**

Klasse	Verschattung	Gradeinteilung
0	unauffällig	physiologisch
1	dorsale Hälfte des Lumens verschattet	geringgradige Verschattung
2	ventrale Hälfte des Lumens verschattet	mittelgradige Verschattung
3	vollständig verschattet	hochgradige Verschattung

## 6. Statistik

Die Daten der Messungen und Auswertungen wurden mit dem Programm IBM® SPSS® Statistics 23 statistisch analysiert. Zunächst wurde eine deskriptive Analyse der Daten durchgeführt. Dabei wurden für alle Messungen die Parameter Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum berechnet und beurteilt.

Zur Beurteilung der Geschlechtsunterschiede hinsichtlich Stockmaß innerhalb der einzelnen Altersgruppen wurden jeweils zweiseitige T-Tests durchgeführt.

Der Zusammenhang von Alter und Stockmaß mit den Messwerten MSD, IVV, HFG, VHFG und LFG wurde mittels Korrelationsberechnungen ermittelt. Dabei wurde die Pearson-Korrelation verwendet, da die Voraussetzungen hierfür erfüllt waren. Die Voraussetzung der Normalverteilung wurde parametrisch durch die Untersuchung von Schiefe und Kurtosis sowie graphisch mittels Histogrammen und Quantil-Quantil Diagrammen überprüft. Die Voraussetzung der Linearität des bivariaten Zusammenhanges wurde durch Streudiagramme überprüft. Bei Zusammenhängen, die nicht gänzlich linear erschienen, wurde eine Überprüfung der Linearität durch Berechnung nicht linearer Zusammenhänge mittels nicht linearer Gleichungen durchgeführt. Diese ergab jedoch keinen nennenswerten Unterschied zur Annahme des linearen Zusammenhangs. Somit war der lineare Zusammenhang bestätigt. Auch eine Überprüfung des Zusammenhangs mittels der nonparametrischen Korrelation nach Spearman-Rho ergab keine wesentlichen Unterschiede im Vergleich zur Berechnung nach Pearson. Daher wurde für alle bivariaten Zusammenhangsberechnungen der Korrelationskoeffizient nach Pearson verwendet. Dabei wurden Werte von  $p \leq 0,001$  als höchstsignifikant,  $p < 0,01$  als

hochsignifikant,  $p < 0,05$  als signifikant und Werte von  $p \geq 0,05$  als nicht signifikant beurteilt. Zur Kontrolle der gegenseitigen Beeinflussung der Variablen Alter und Stockmaß wurde zusätzlich für die Werte MSD, IVV, HFG, VHFG und LFG eine partielle Korrelation berechnet.

Zusätzlich wurde, um die Signifikanz der Unterschiede zwischen den einzelnen Altersgruppen zu ermitteln, für die Werte MSD, IVV, HFG, VHFG und LFG eine einfaktorielle Varianzanalyse durchgeführt sowie Post-hoc-Tests nach Bonferroni, aufgrund ähnlicher Gruppengrößen und der erfüllten Voraussetzungen der Varianzhomogenität (überprüft mittels Levene-Test).

Zur Kontrolle der Untersucherübereinstimmung hinsichtlich der Achsenbeurteilungen zwischen C2 und C3 wurde eine Kreuztabelle angefertigt und die Interrater-Reliabilität mittels Kappa überprüft.

Alle statistischen Berechnungen wurden mit Hilfe der Statistikerin Frau Mag. Christina Weißenböck, BA BA durchgeführt.

## IV. ERGEBNISSE

### 1. Probanden

Das jüngste Pferd der Studie war zwei und das älteste Pferd 35 Monate alt. Die genaue Altersverteilung der Pferde ergab sich folgendermaßen:

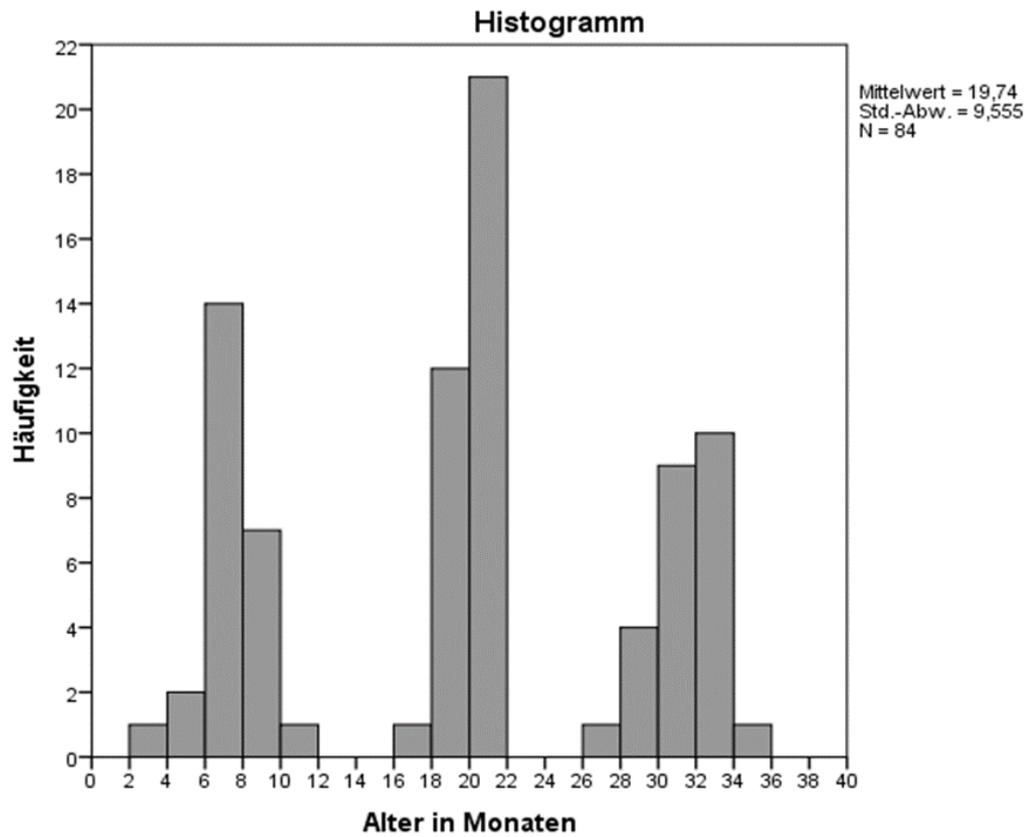


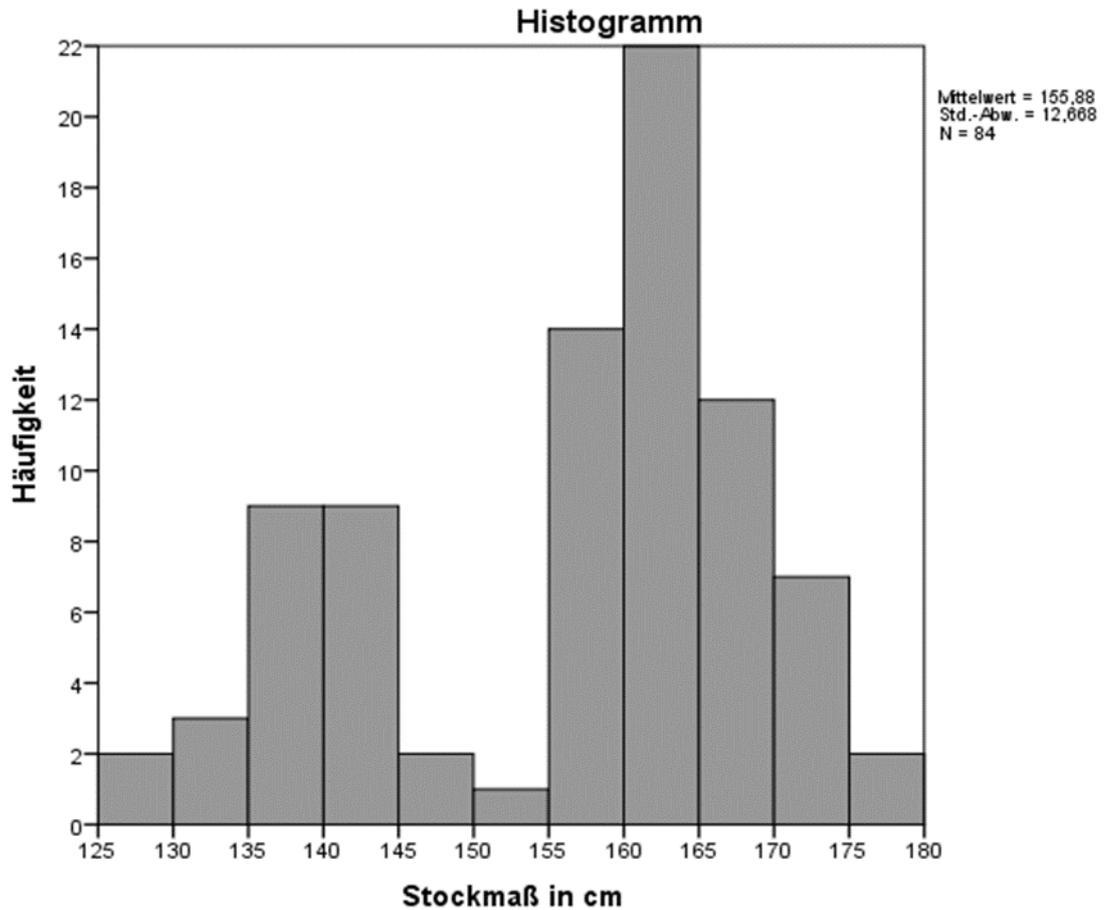
Abbildung 5: Histogramm über die Altersverteilung der jungen Warmblutpferde.

Die Geschlechterverteilung in Gruppe 1 waren 12 männliche und 13 weibliche, in Gruppe 2 25 männliche und 9 weibliche und in Gruppe 3 8 männliche und 17 weibliche Pferde.

**Tabelle 8: Tabellarische Darstellung der Probanden unterteilt in Alter und Geschlecht.**

Gruppe 1	männlich	12
	weiblich	13
	Gesamt	25
Gruppe 2	männlich	25
	weiblich	9
	Gesamt	34
Gruppe 3	männlich	8
	weiblich	17
	Gesamt	25
Insgesamt	männlich	45
	weiblich	39
	Gesamt	84

Von allen für diese Studie röntgenologisch untersuchten Pferden wurde das Stockmaß ermittelt. Dieses verteilte sich wie folgt:



**Abbildung 6:** Graphische Darstellung der Größenverteilung der Probanden.

Um die Größenunterschiede der Pferde unterschiedlichen Geschlechts innerhalb der einzelnen Altersgruppen zu ermitteln wurde ein zweiseitiger T-Test durchgeführt. Dieser ergab, dass innerhalb der einzelnen Altersgruppen keine signifikanten Größenunterschiede zwischen männlichen und weiblichen Pferden bestehen (Absetzer:  $T = -0,036$ ,  $p = 0,263$ , Jährlinge:  $T = 1,685$ ,  $p = 0,241$ , Zweijährige:  $T = 1,087$ ,  $p = 0,772$ ). Zusätzlich wurden T-Tests nach Ausschluss jener Probanden, die für bestimmte Facettengelenke fehlende Werte (u.a. aufgrund pathologischer Veränderungen an den Facettengelenken) aufwiesen, durchgeführt, die ebenfalls keine signifikanten Unterschiede ergaben.

Zusätzlich zu Alter, Geschlecht und Stockmaß wurde auch die Rasse der Pferde notiert. Die Rasseverteilung ergab sich folgendermaßen:

**Tabelle 9: Rasseverteilung nach Häufigkeit und Prozent.**

Rasse	Häufigkeit	Prozent
Oldenburger	62	73,8
Hannoveraner	8	9,5
Holsteiner	9	10,7
Belgisches Warmblut	1	1,2
Deutsches Sportpferd	1	1,2
Niederländer	1	1,2
Trakehner	1	1,2
Zangersheider	1	1,2
Gesamt	84	100

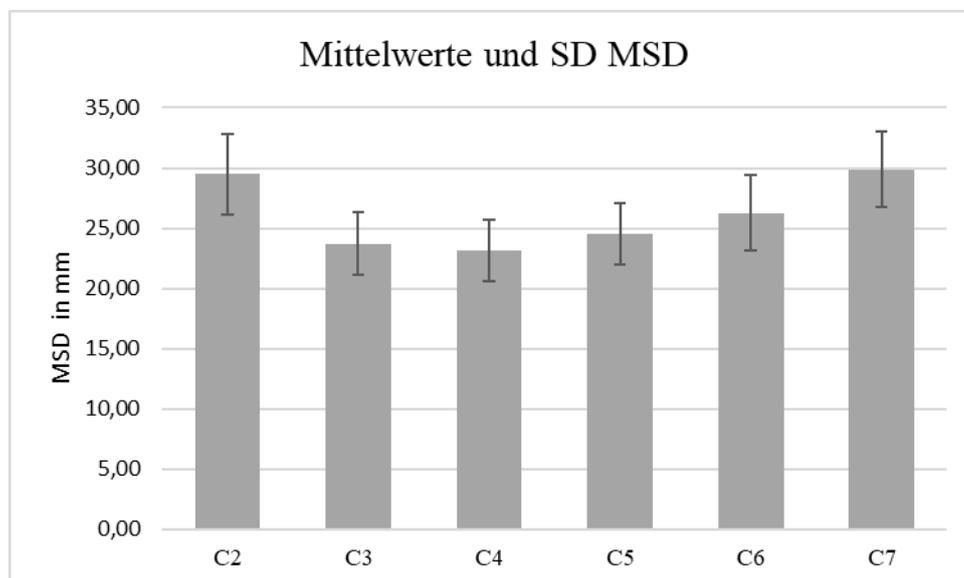
## 2. Statistische Auswertung der Messungen

### 2.1. Statistische Auswertung des MSD

Der MSD konnte nicht bei allen Pferden von allen Halswirbeln ermittelt werden. So ist die Anzahl der gemessenen Werte bei C2 und C7 83, bei den anderen Halswirbeln jedoch 84. Die statistische Auswertung der gemessenen MSD Werte ergab, dass im Durchschnitt C7 den größten und C2 den zweitgrößten sagittalen Durchmesser des Wirbelkanals aufweist. Die im Mittel niedrigsten MSD Werte wurden bei dem Halswirbel C4 gemessen.

**Tabelle 10: Vergleich der MSD Werte zwischen den einzelnen Halswirbeln. Alle Werte sind in mm angegeben.**

MSD	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
MSD C2	29,49	3,38	22,55	37,20
MSD C3	23,72	2,58	17,43	29,48
MSD C4	23,14	2,26	18,02	28,88
MSD C5	24,54	2,52	19,22	30,58
MSD C6	26,27	3,15	19,38	31,94
MSD C7	29,90	3,15	19,38	31,94



**Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) der MSD-Werte der einzelnen Halswirbel.**

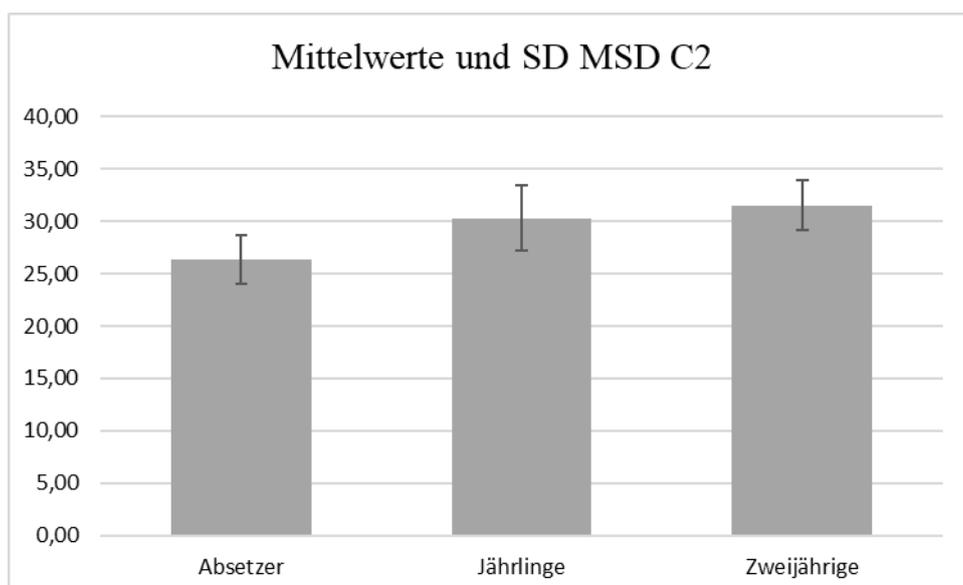
### 2.1.1. MSD Werte ausgewertet nach Alter

Betrachtet man die deskriptiven Werte des MSD aufgeschlüsselt nach Altersgruppen ist klar erkennbar, dass der Mittelwert des MSD mit aufsteigendem Alter größer wird. Eine Ausnahme bildet der sechste Halswirbel, wo der Mittelwert des MSD der Jährlinge größer ist, als der der Zweijährigen. Die deutlichsten Unterschiede der Mittelwerte sind zwischen der Altersgruppe der Absetzer und der Altersgruppe der Jährlinge erkennbar. Zwischen den Ein- und Zweijährigen fielen die Größenunterschiede des MSD deutlich geringer aus. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab einen höchst signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen hinsichtlich der MSD-Messungen (C2:  $F = 26$ , C3:  $F = 20$ , C4:  $F =$

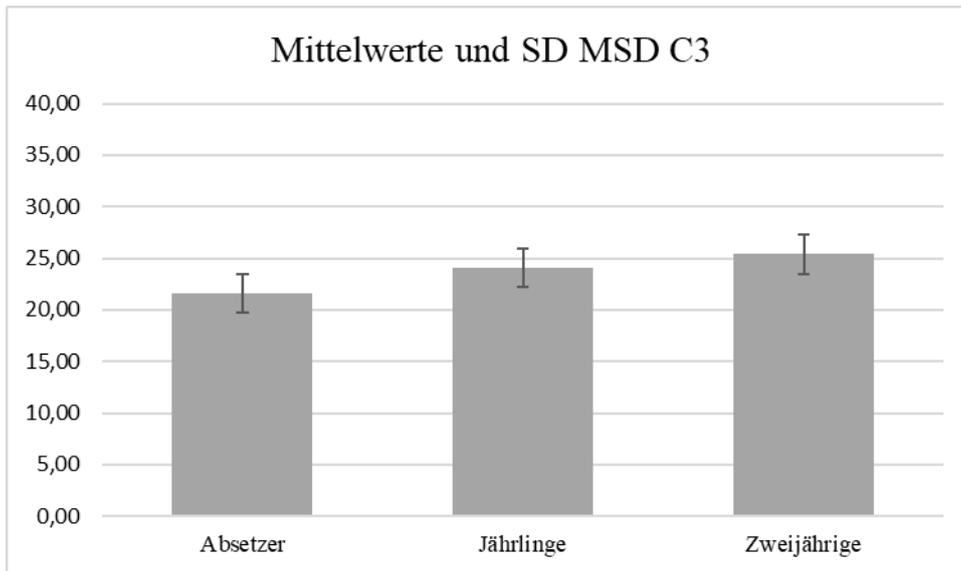
24, C6:  $F = 47$ , C7:  $F = 53$ ;  $p \leq 0,001$ ). Die Post-hoc-Tests nach Bonferroni ergaben zwischen den Werten der Altersgruppe Absetzer zu den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen Unterschiede von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ), während der Unterschied zwischen den Werten der Jährlinge und Zweijährigen nicht signifikant ausfiel. Dieses Ergebnis ergab sich für die Berechnung der MSD Werte aller Halswirbel. Alle weiteren Werte können Tabelle 68 und 73 im Anhang entnommen werden.

**Tabelle 11: MSD-Werte der drei Altersgruppen. Alle Werte sind in mm angegeben.**

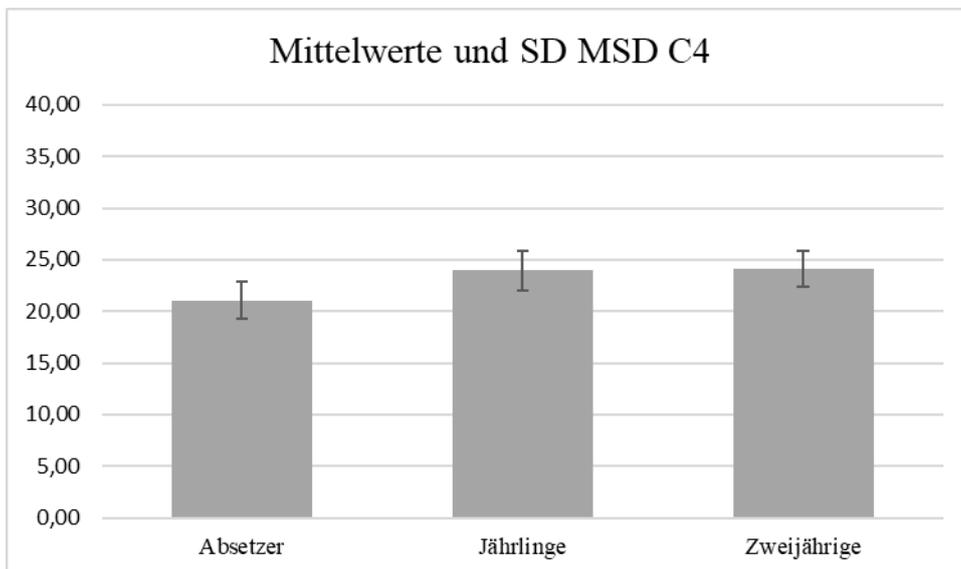
MSD	Altersgruppe	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
MSD C2	Absetzer	26,37	2,34	22,55	31,67
	Jährlinge	30,30	3,08	24,01	37,20
	Zweijährige	31,54	2,36	27,59	34,72
MSD C3	Absetzer	21,62	1,86	17,43	25,48
	Jährlinge	24,03	1,86	17,85	29,00
	Zweijährige	25,38	1,92	22,40	25,48
MSD C4	Absetzer	21,05	1,77	18,02	24,72
	Jährlinge	23,95	1,94	20,20	28,88
	Zweijährige	24,13	1,70	22,02	27,21
MSD C5	Absetzer	22,32	2,05	19,22	27,55
	Jährlinge	25,32	2,06	20,63	29,39
	Zweijährige	25,69	2,12	21,57	30,58
MSD C6	Absetzer	22,76	1,95	19,38	26,91
	Jährlinge	27,79	2,11	23,88	31,94
	Zweijährige	27,72	2,45	21,88	31,77
MSD C7	Absetzer	25,32	2,27	21,03	29,76
	Jährlinge	31,53	2,44	26,97	35,52
	Zweijährige	32,07	3,06	27,15	38,06



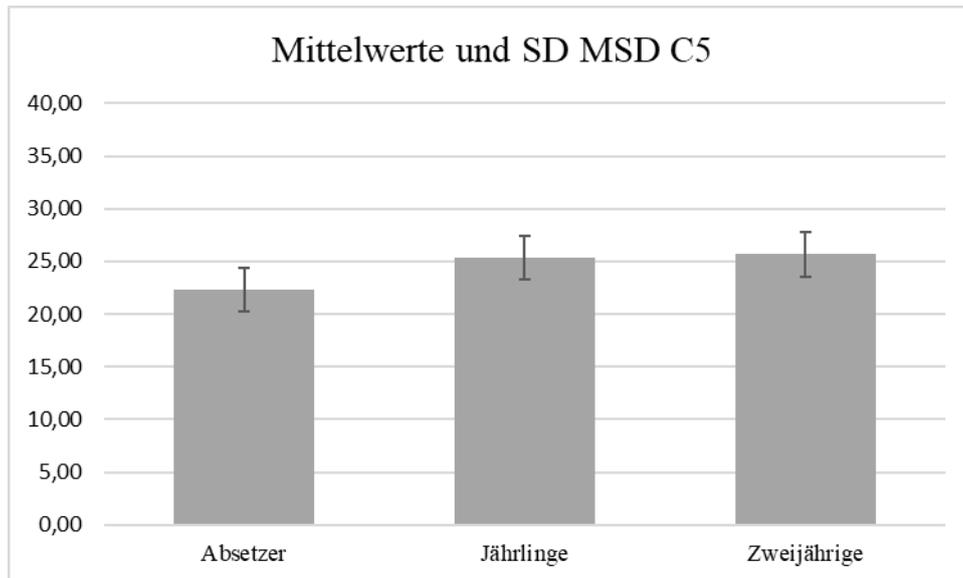
**Abbildung 8: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C2 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



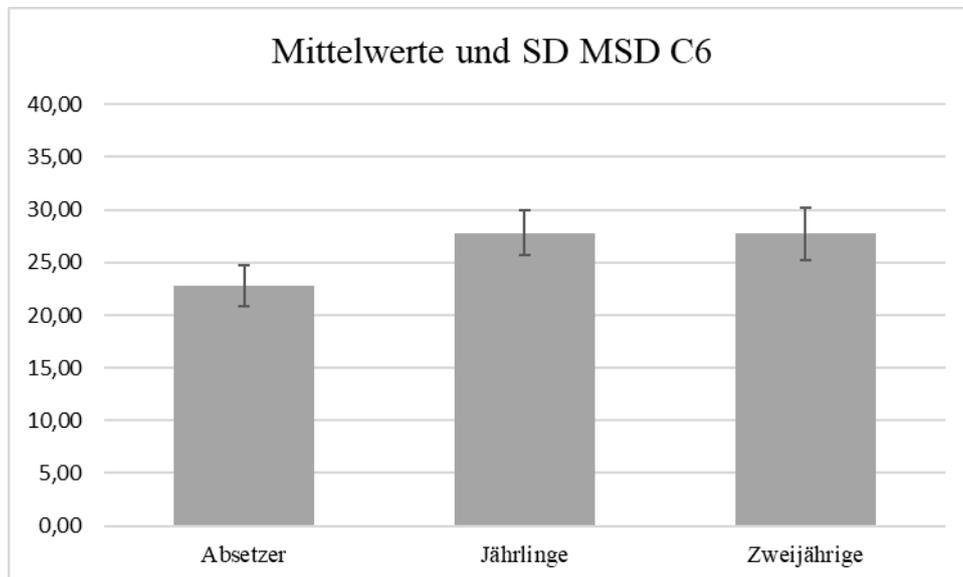
**Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C3 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



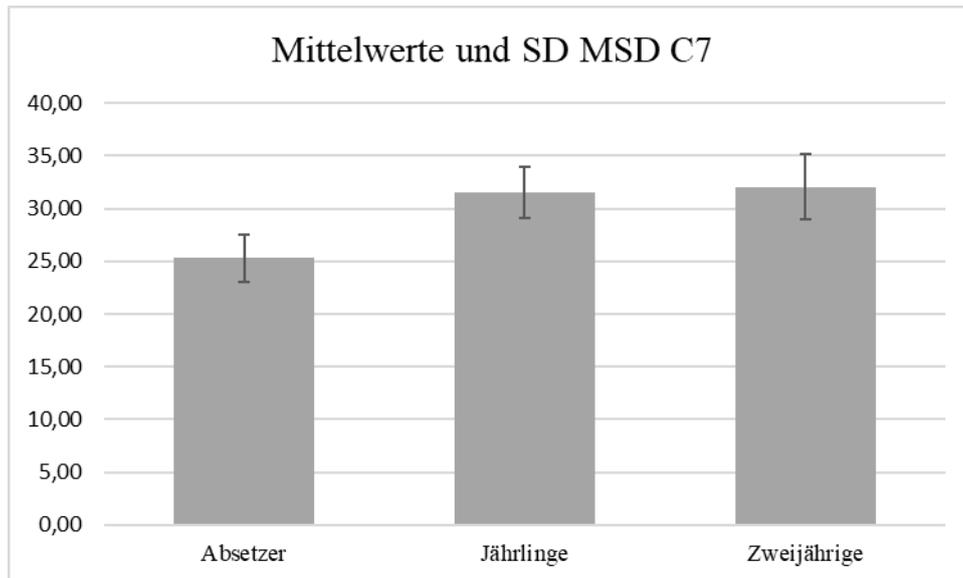
**Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C4 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



**Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C5 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



**Abbildung 12: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C6 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



**Abbildung 13: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C2 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.**

### 2.1.2. MSD Werte ausgewertet nach Stockmaß

Der berechnete Mittelwert der Stockmaßmesswerte aller für diese Studie untersuchten Pferde beträgt 155,88cm. Die Standardabweichung beträgt 12,67cm. Im Allgemeinen ist bei dem Vergleich der MSD Werte mit dem Stockmaß ein Ansteigen der MSD Werte mit zunehmendem Stockmaß zu beobachten. Dies ist am deutlichsten bei den MSD Werten von C2, C6 und C7 der Fall.

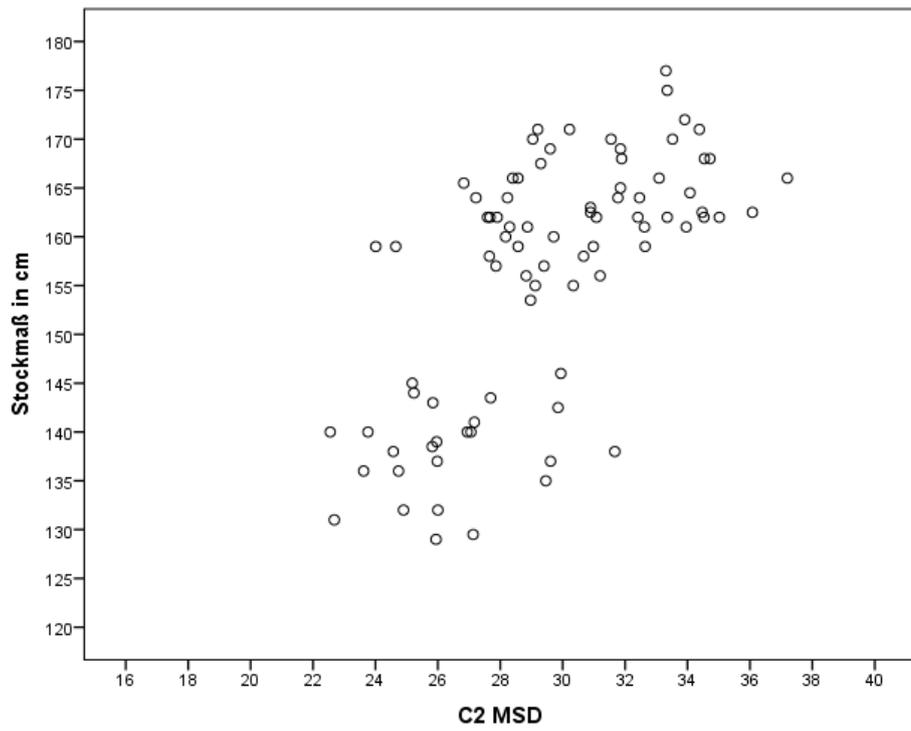


Abbildung 14: Verteilung der MSD Werte von C2 (in mm) nach Stockmaß.

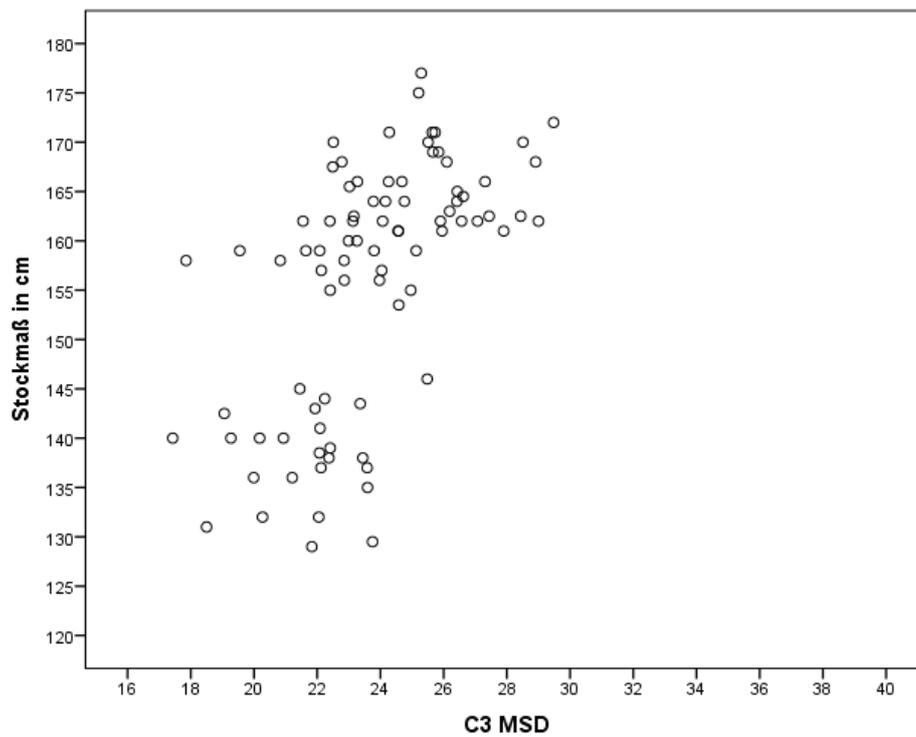


Abbildung 15: Verteilung der MSD Werte von C3 (in mm) nach Stockmaß.

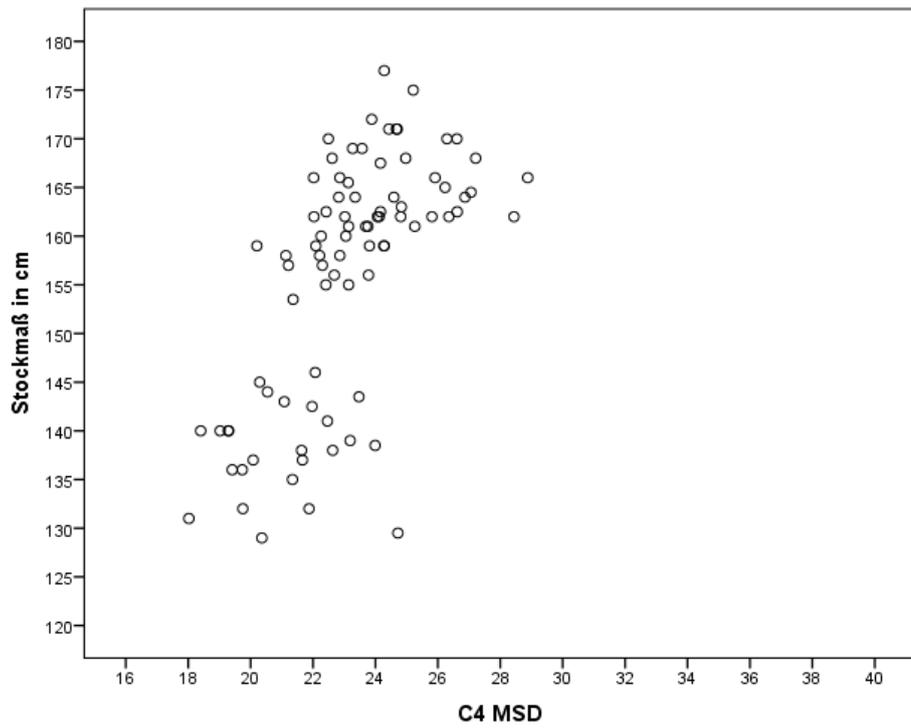


Abbildung 16: Verteilung der MSD Werte von C4 (in mm) nach Stockmaß.

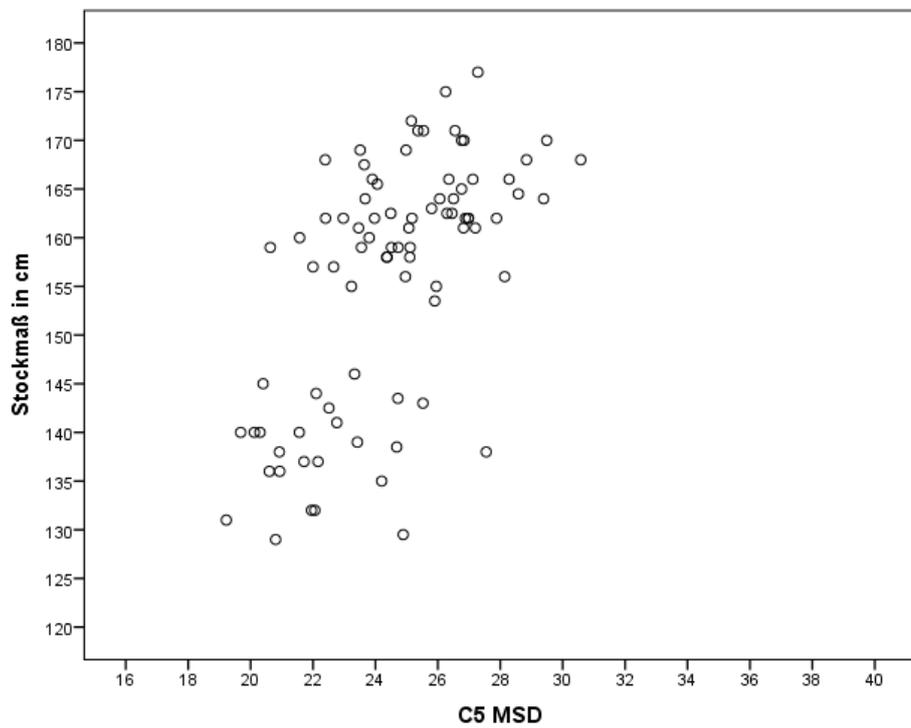


Abbildung 17: Verteilung der MSD Werte von C5 (in mm) nach Stockmaß.

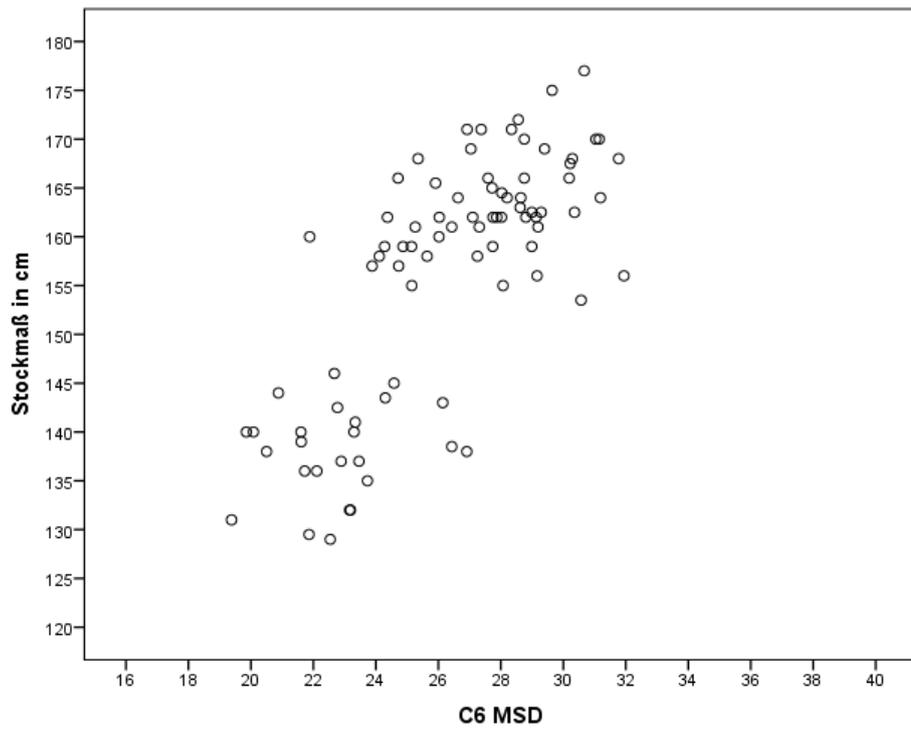


Abbildung 18: Verteilung der MSD Werte von C6 (in mm) nach Stockmaß.

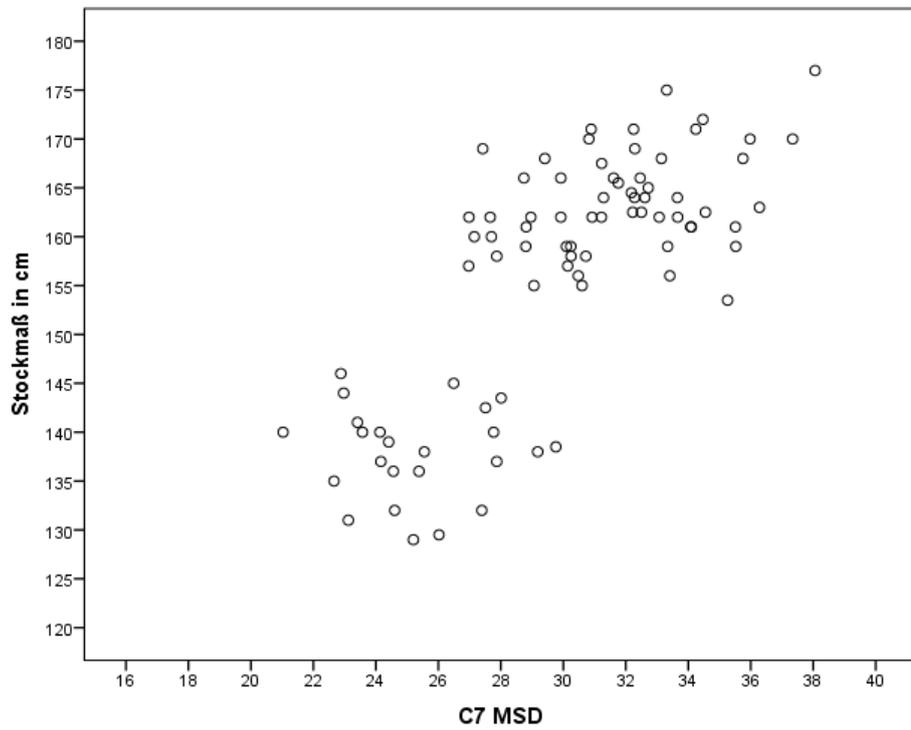


Abbildung 19: Verteilung der MSD Werte von C7 (in mm) nach Stockmaß.

### 2.1.3. Korrelation des MSD mit Alter und Stockmaß

Die Korrelationsberechnung nach Pearson ergab einen Zusammenhang von Alter und MSD sowie Stockmaß und MSD von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Der Korrelationskoeffizient  $R$  liegt für den Zusammenhang von Alter und MSD zwischen 0,54 und 0,683 und Stockmaß und MSD zwischen 0,596 und 0,76 und ist daher in beiden Fällen positiv und stark. Zur Klärung des Einflusses der Variablen Alter und Stockmaß wurde eine partielle Korrelation berechnet. Dabei wird deutlich, dass das Stockmaß stärker mit den MSD-Werten zusammenhängt als das Alter. Wird das Alter als Kontrollvariable verwendet, ist der Zusammenhang des Stockmaßes mit allen MSD Werten außer C3 höchst signifikant, der Zusammenhang bei letzterem aber ebenso signifikant ( $r = 0,26$ ,  $p = 0,017$ ). Der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt für die höchstsignifikanten Korrelationen zwischen 0,357 und 0,565, der Zusammenhang ist also positiv und als mittel bis stark zu beschreiben. Wird jedoch das Stockmaß als Kontrollvariable verwendet, verliert das Alter seine Signifikanz völlig. Daraus lässt sich schließen, dass das Alter nur gemeinsam mit dem Stockmaß einen signifikanten Zusammenhang mit der Größe des MSD aufweist. Alle nicht im Text angeführten Werte können Tabelle 12 und Tabelle 13 entnommen werden.

**Tabelle 12: Korrelationsberechnung des MSD nach Pearson mit Alter und Stockmaß.**

		MSD C2	MSD C3	MSD C4	MSD C5	MSD C6	MSD C7
Alter in Monaten	Korrelation nach Pearson	0,595	0,559	0,537	0,54	0,626	0,683
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	83	84	84	84	84	83
Stockmaß in cm	Korrelation nach Pearson	0,661	0,596	0,652	0,618	0,758	0,76
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	83	84	84	84	84	83

**Tabelle 13: Partielle Korrelation des MSD mit Alter und Stockmaß.**

	Kontrollvariablen	Alter in Monaten	Stockmaß in cm
	Kontrollierte Variable	Stockmaß in cm	Alter in Monaten
MSD C2	Korrelation	0,359	0,013
	Signifikanz (2-seitig)	0,001	0,908
	Freiheitsgrade	80	80
MSD C3	Korrelation	0,26	0,073
	Signifikanz (2-seitig)	0,017	0,512
	Freiheitsgrade	81	81
MSD C4	Korrelation	0,456	-0,135
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,223
	Freiheitsgrade	81	81
MSD C5	Korrelation	0,357	-0,033
	Signifikanz (2-seitig)	0,001	0,770
	Freiheitsgrade	81	81
MSD C6	Korrelation	0,565	-0,172
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,121
	Freiheitsgrade	81	81
MSD C7	Korrelation	0,455	0,016
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,889
	Freiheitsgrade	80	80

#### 2.1.4. MSD Werte ausgewertet nach Geschlecht

Der Einfluss des Geschlechts auf die Größe der MSD Werte muss innerhalb der jeweiligen Altersgruppe betrachtet werden, da die Anzahl von männlichen und weiblichen Tieren sich zwischen den Gruppen unterscheidet. Die Mittelwerte des MSD von C2, C4, C5 und C7 sind bei Absetzern und Jährlingen bei den männlichen Tieren größer, bei den Zweijährigen jedoch bei den weiblichen. Die Mittelwerte des C3 sind bei den Jährlingen und Zweijährigen bei den weiblichen, bei den Absetzern jedoch bei den männlichen Pferden größer. Bei C6 besitzen in allen Altersgruppen die männlichen Pferde im Mittelwert größere MSD Werte als die weiblichen Tiere.

**Tabelle 14: MSD Werte der männlichen und weiblichen Absetzer im Vergleich. Alle Werte sind in mm angegeben.**

MSD Absetzer	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
MSD C2	männlich	27,00	2,61	23,62	31,67
	weiblich	25,79	1,99	22,55	29,94
MSD C3	männlich	21,48	1,61	19,06	23,59
	weiblich	21,75	2,12	17,43	25,48
MSD C4	männlich	21,14	1,57	19,02	23,99
	weiblich	20,97	2,00	18,02	24,72
MSD C5	männlich	22,51	2,15	19,68	27,55
	weiblich	22,15	2,03	19,22	25,52
MSD C6	männlich	23,49	1,89	19,85	26,91
	weiblich	22,09	1,82	19,38	26,14
MSD C7	männlich	26,09	2,70	21,03	29,76
	weiblich	24,55	1,48	22,88	28,01

**Tabelle 15: MSD Werte der männlichen und weiblichen Jährlinge. Alle Werte sind in mm angegeben.**

MSD Jährlinge	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
MSD C2	männlich	30,86	3,04	24,65	37,20
	weiblich	28,83	2,80	24,01	33,35
MSD C3	männlich	24,28	2,50	17,85	29,00
	weiblich	23,31	2,31	19,55	27,90
MSD C4	männlich	24,36	1,85	21,13	28,88
	weiblich	22,81	1,79	20,20	25,81
MSD C5	männlich	25,68	1,91	22,40	29,39
	weiblich	24,32	2,25	20,63	27,20
MSD C6	männlich	28,28	1,89	24,87	31,94
	weiblich	26,43	2,20	23,88	30,57
MSD C7	männlich	31,79	2,21	27,66	35,52
	weiblich	30,82	3,02	26,97	35,26

**Tabelle 16: MSD Werte der männlichen und weiblichen Zweijährigen im Vergleich.**

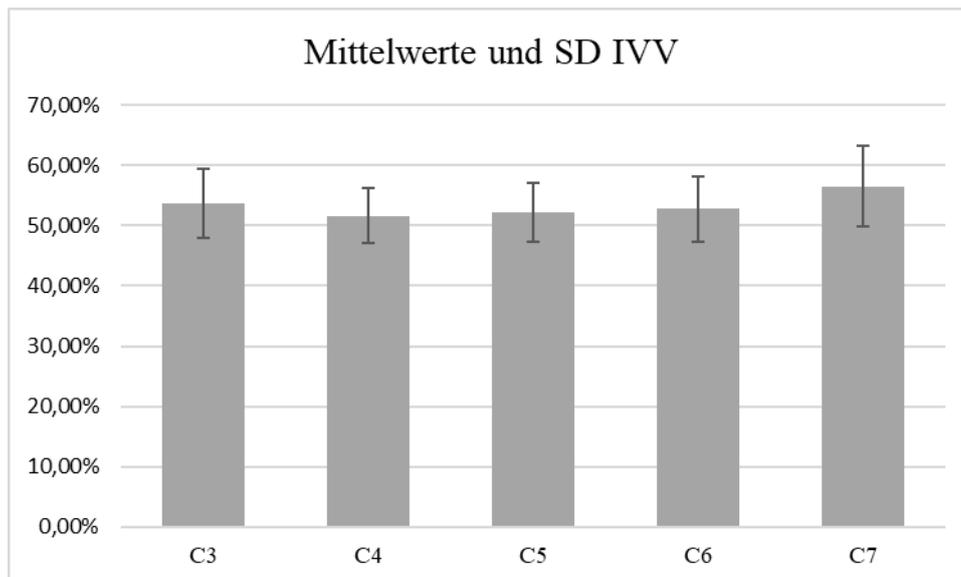
MSD Zweijährige	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
MSD C2	männlich	31,34	2,54	27,59	34,54
	weiblich	31,63	2,34	28,23	34,72
MSD C3	männlich	25,62	2,51	22,40	29,48
	weiblich	25,27	1,65	22,51	28,51
MSD C4	männlich	23,84	1,81	22,02	27,21
	weiblich	24,27	1,68	22,09	27,06
MSD C5	männlich	25,30	2,39	22,97	30,58
	weiblich	25,88	2,04	21,57	29,49
MSD C6	männlich	27,75	2,50	24,37	31,77
	weiblich	27,71	2,50	21,88	31,15
MSD C7	männlich	31,64	2,97	27,42	35,75
	weiblich	32,28	3,17	27,15	38,06

## 2.2. Statistische Auswertung des Intravertebralen Verhältnisses

Das Intravertebrale Verhältnis wurde von den Halswirbeln C3-C7 ermittelt. Das Intravertebrale Verhältnis des C7 wurde von 83, das aller anderer Wirbel von 84 Pferden gemessen und berechnet. Die Mittelwerte des Intravertebralen Verhältnisses aller Halswirbel betrug über 50%. Nur der Mittelwert von C7 lag mit 56,5% über 55%. Kein Wirbel besaß einen Mittelwert über 60%. Die Mittelwerte der anderen Halswirbel lagen zwischen 51% und 54%. Das kleinste Intravertebrale Verhältnis wurde bei C3 errechnet und betrug 39,7%. Das größte Intravertebrale Verhältnis wurde bei C7 berechnet und betrug 69,4%.

**Tabelle 17: Die Mittelwerte des Intravertebralen Verhältnisses der einzelnen Halswirbel im Vergleich.**

IVV	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
IVV C3	53,69%	5,65%	40,30%	67,30%
IVV C4	51,62%	4,59%	39,67%	64,93%
IVV C5	52,22%	4,81%	40,30%	65,28%
IVV C6	52,75%	5,38%	39,85%	66,82%
IVV C7	56,55%	6,75%	39,92%	69,41%



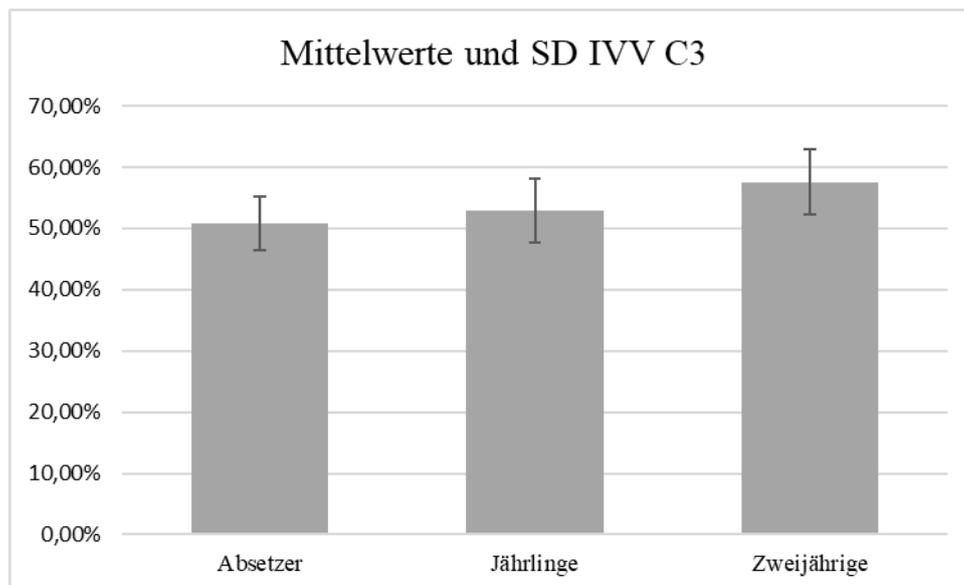
**Abbildung 20: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Halswirbel.**

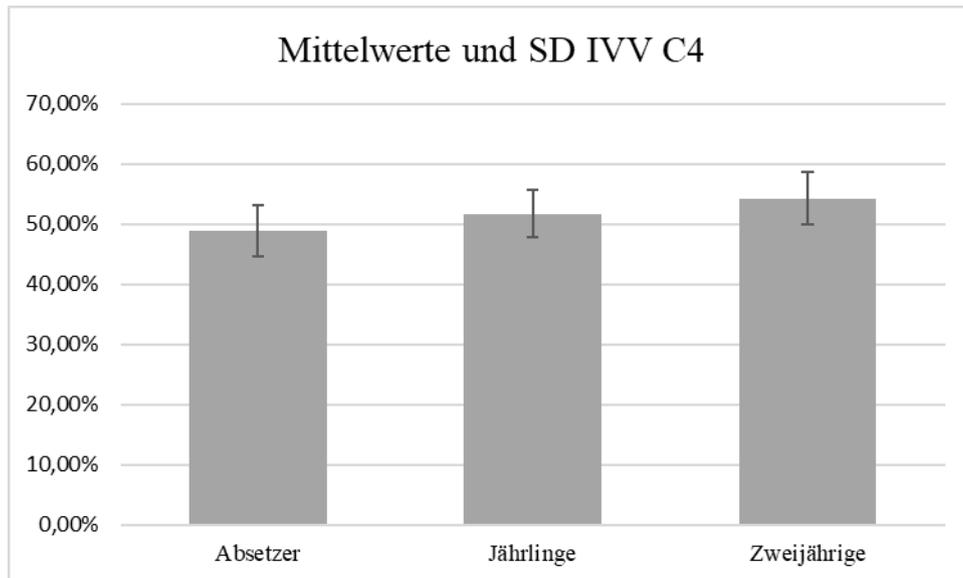
### 2.2.1. Das Intravertebrale Verhältnis ausgewertet nach Alter

Das Intravertebrale Verhältnis wurde von 24 Absetzern, 34 Jährlingen und 25 Zweijährigen ermittelt. Die Mittelwerte des Intravertebralen Verhältnisses der Absetzer lag bei allen Wirbeln außer bei C3 unter 50%, wogegen die Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen bei keinem Wirbel berechnete Mittelwerte unter 50% aufwiesen. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen hinsichtlich der IVV-Messungen (C3:  $F = 12$ , C4:  $F = 11$ , C5:  $F = 12$ , C6:  $F = 21$ , C7:  $F = 29$ ;  $p \leq 0,001$ ). Die Post-hoc Tests nach Bonferroni ergaben für das Intervertebrale Verhältnis von C3 einen höchst signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,000$ ) zwischen Absetzern und Zweijährigen sowie einen hoch signifikanten Unterschied ( $p = 0,002$ ) zwischen Jährlingen und Zweijährigen. Der Unterschied zwischen Absetzern und Jährlingen war bei dem IVV von C3 nicht signifikant. Bei dem Intravertebralen Verhältnis von C4 und C5 ergab sich zwischen Absetzern und Jährlingen ein signifikanter und zwischen Absetzern und Zweijährigen ein höchst signifikanter ( $p \leq 0,001$ ) Unterschied. Bei dem Intravertebralen Verhältnis von C6 und C7 wurde zwischen den Absetzern und den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen ein höchst signifikanter Unterschied ( $p \leq 0,001$ ), zwischen den Jährlingen und Zweijährigen kein signifikanter Unterschied festgestellt. Alle weiteren Werte können Tabelle 69 und 74 im Anhang entnommen werden.

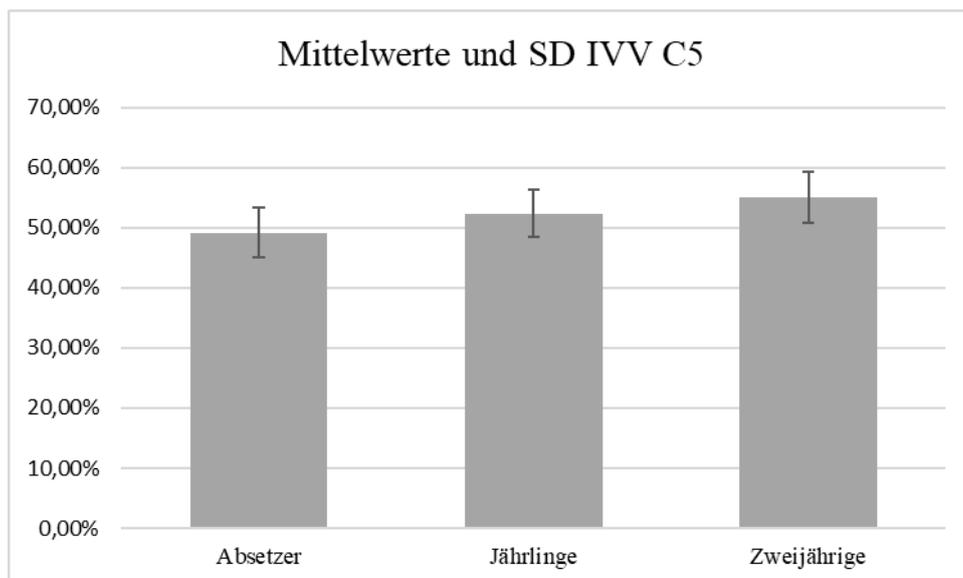
**Tabelle 18: Die Werte des Intravertebralen Verhältnisses der drei Altersgruppen.**

IVV	Altersgruppe	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
IVV C3	Absetzer	50,85%	4,45%	41,64%	58,50%
	Jährlinge	52,92%	5,18%	40,30%	63,12%
	Zweijährige	57,56%	5,37%	50,37%	67,30%
IVV C4	Absetzer	48,87%	4,27%	39,67%	56,92%
	Jährlinge	51,69%	3,90%	44,41%	57,83%
	Zweijährige	54,28%	4,29%	44,55%	64,93%
IVV C5	Absetzer	49,16%	4,11%	40,30%	56,77%
	Jährlinge	52,38%	3,90%	44,41%	57,83%
	Zweijährige	55,06%	4,23%	47,67%	65,28%
IVV C6	Absetzer	48,17%	4,74%	39,85%	56,55%
	Jährlinge	52,38%	4,09%	47,32%	63,84%
	Zweijährige	56,09%	4,74%	39,85%	56,55%
IVV C7	Absetzer	49,96%	5,25%	39,92%	60,77%
	Jährlinge	58,03%	5,70%	48,71%	69,41%
	Zweijährige	60,84%	4,33%	51,16%	66,80%

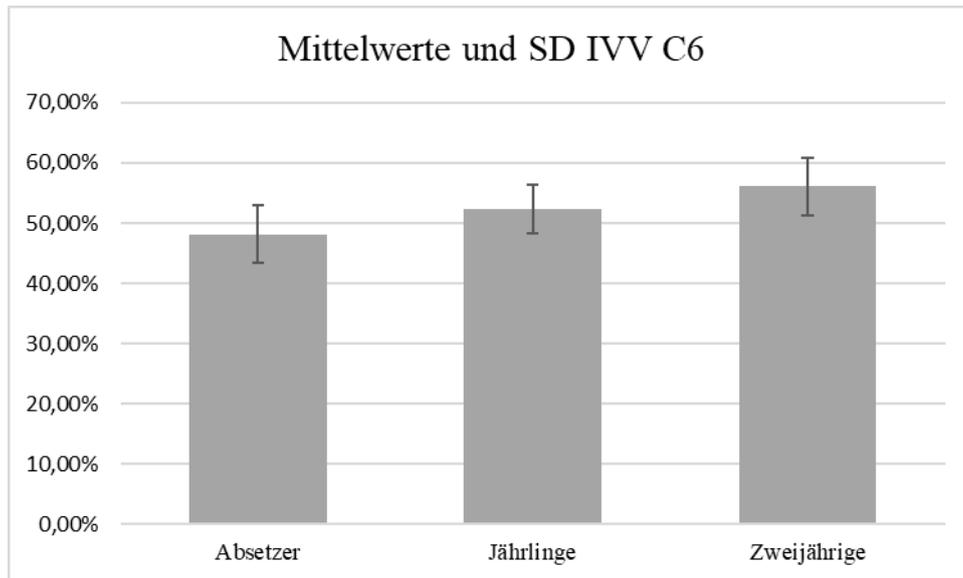
**Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C3 der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



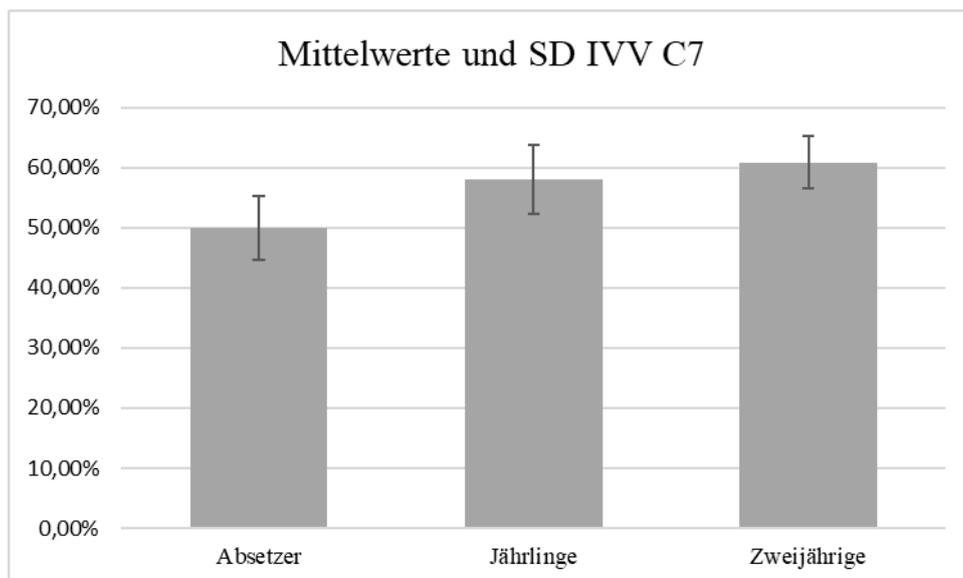
**Abbildung 22: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C4 der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



**Abbildung 23: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C5 der 3 Altersgruppen im Vergleich.**



**Abbildung 24:** Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C6 der 3 Altersgruppen im Vergleich.



**Abbildung 25:** Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C7 der 3 Altersgruppen im Vergleich.

### 2.2.2. Das Intravertebrale Verhältnis ausgewertet nach Stockmaß

Die Abhängigkeit des Intravertebralen Verhältnisses von dem Stockmaß der röntgenologisch untersuchten Pferde variiert je nach Halswirbel. Die Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses abhängig von der Größe der Pferde wird in den folgenden Streudiagrammen dargestellt:

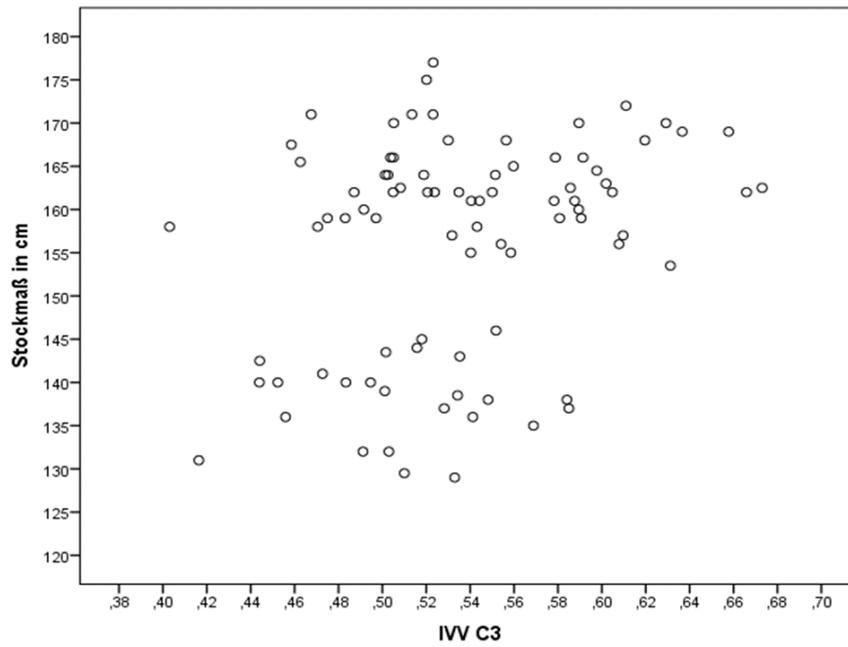


Abbildung 26: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C3 (in %) nach Stockmaß.

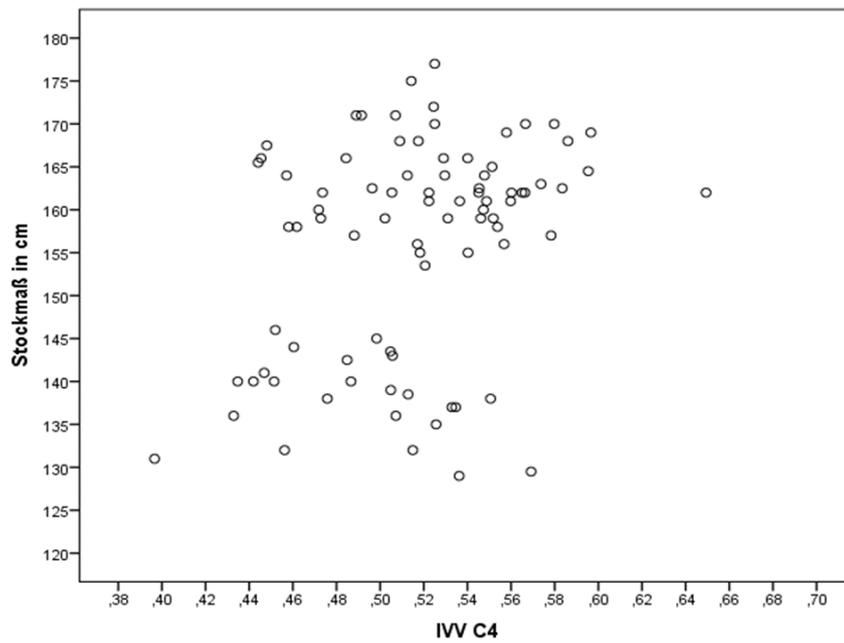
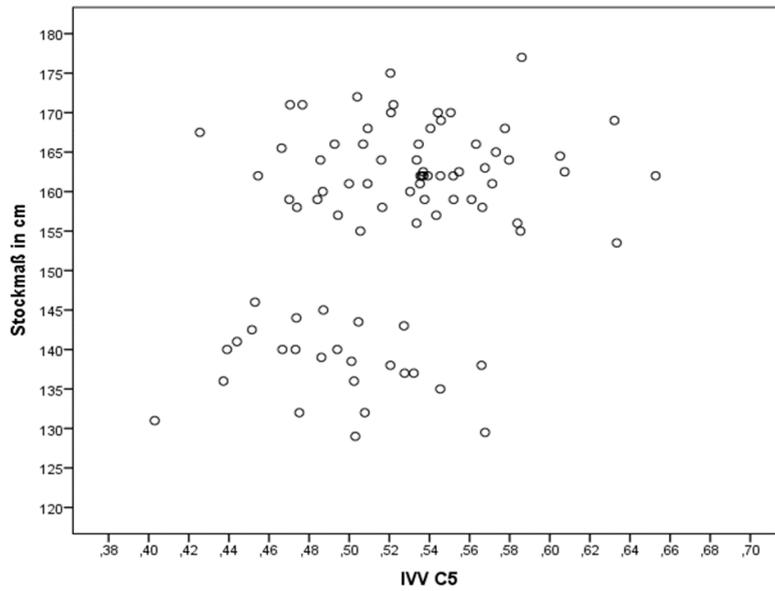
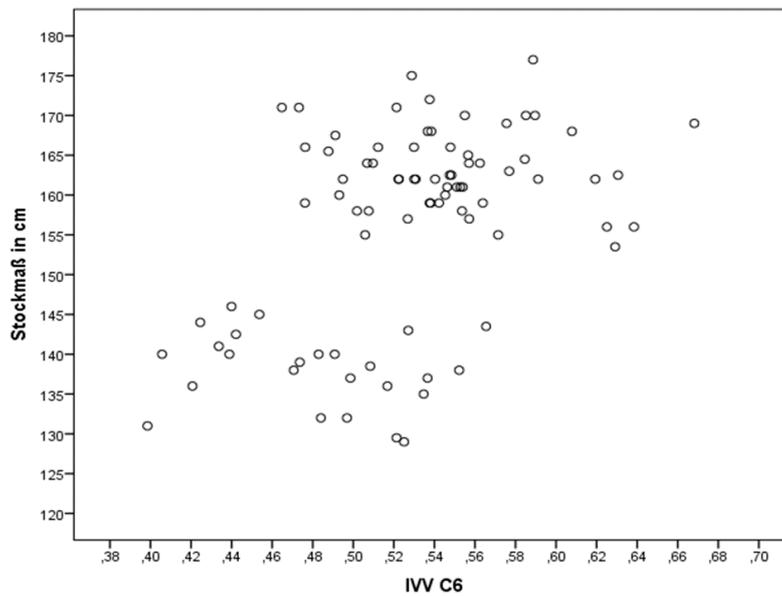


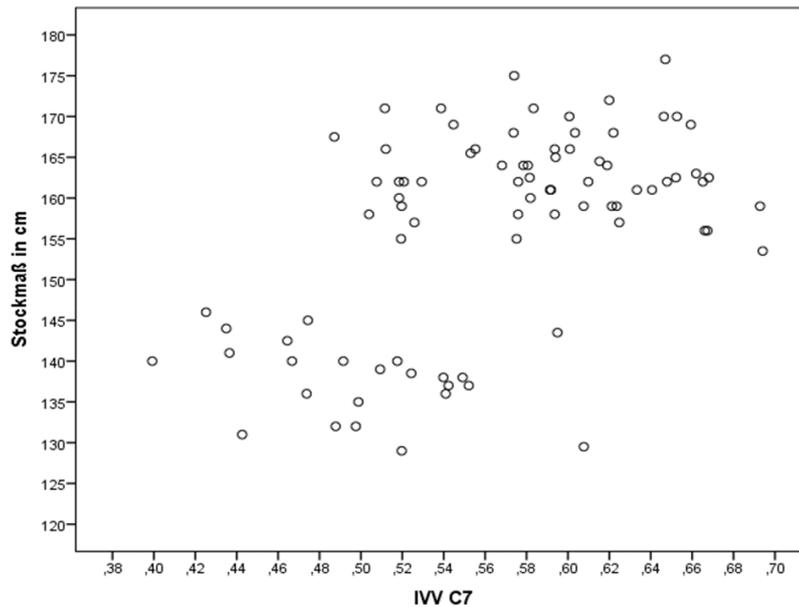
Abbildung 27: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C4 (in %) nach Stockmaß.



**Abbildung 28:** Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C5 (in %) nach Stockmaß.



**Abbildung 29:** Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C6 (in %) nach Stockmaß.



**Abbildung 30:** Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C7 (in %) nach Stockmaß.

### 2.2.3. Korrelation des Intravertebralen Verhältnisses mit Alter und Stockmaß

Die Korrelationsberechnung nach Pearson ergab einen Zusammenhang von Alter und Intravertebralem Verhältnis von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Der Korrelationskoeffizient  $R$  liegt für den Zusammenhang von Alter und Intravertebralem Verhältnis zwischen 0,453 und 0,633 und ist positiv und mittel bis stark zu beurteilen. Da dieses Ergebnis auch bei Berechnung einer partiellen Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten  $R$  zwischen 0,374 und 0,422 unverändert blieb, wird der noch immer positive Zusammenhang aber als mittel beurteilt. Für den Zusammenhang des Stockmaßes mit den Werten des Intravertebralen Verhältnisses ergab die Korrelation nach Pearson für C3 ( $p = 0,005$ ), C4 ( $p = 0,002$ ) und C5 ( $p = 0,002$ ) eine hohe und für C6 und C7 eine höchste Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Für den Zusammenhang zwischen Stockmaß und Intravertebralem Verhältnis liegt der Korrelationskoeffizient  $R$  zwischen 0,304 und 0,533 und ist daher ebenfalls positiv und mittel bis stark. Wird bei der partiellen Korrelation jedoch die Variable Alter eliminiert, ist der Zusammenhang von Intravertebralem Verhältnis und Stockmaß nur bei C3 ( $p = 0,023$ ) und C5 ( $p = 0,048$ ) signifikant. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt für die signifikanten Korrelationen zwischen -0,092 und -0,250 und beschreibt so einen schwach negativen Zusammenhang. Losgelöst von dem Einflussfaktor Alter, besitzt das Stockmaß also so gut wie keinen Zusammenhang mit der Größe des

Intravertebralen Verhältnisses. Daraus lässt sich schließen, dass das Stockmaß nur gemeinsam mit dem Alter einen signifikanten Zusammenhang mit der Größe des Intravertebralen Verhältnisses aufweist. Alle nicht im Text angeführten Werte können Tabelle 19 und Tabelle 20 entnommen werden.

**Tabelle 19: Korrelationsberechnung des IVV nach Pearson mit Alter und Stockmaß.**

		IVV C3	IVV C4	IVV C5	IVV C6	IVV C7
Alter in Monaten	Korrelation nach Pearson	0,453	0,456	0,475	0,579	0,633
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	84	84	84	84	83
Stockmaß in cm	Korrelation nach Pearson	0,304	0,334	0,338	0,471	0,533
	Signifikanz (2-seitig)	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000
	N	84	84	84	84	83

**Tabelle 20: Partielle Korrelation des IVV mit Alter und Stockmaß.**

	Kontrollvariablen	Alter in Monaten	Stockmaß in cm
	Kontrollierte Variable	Stockmaß in cm	Alter in Monaten
IVV C3	Korrelation	-0,250	0,422
	Signifikanz (2-seitig)	0,023	0,000
	Freiheitsgrade	81	81
IVV C4	Korrelation	-0,185	0,374
	Signifikanz (2-seitig)	0,094	0,001
	Freiheitsgrade	81	81
IVV C5	Korrelation	-0,218	0,409
	Signifikanz (2-seitig)	0,048	0,000
	Freiheitsgrade	81	81
IVV C6	Korrelation	-0,126	0,399
	Signifikanz (2-seitig)	0,257	0,000
	Freiheitsgrade	81	81
IVV C7	Korrelation	-0,092	0,411
	Signifikanz (2-seitig)	0,412	0,000
	Freiheitsgrade	80	80

#### 2.2.4. Das Intravertebrale Verhältnis ausgewertet nach Geschlecht

Das Intervertebrale Verhältnis der Altersgruppe der Absetzer liegt bei einem Vergleich der männlichen und weiblichen Tiere sehr nahe aneinander. Die Unterschiede liegen bei den Wirbeln C3-C6 unter einem Prozent und bei C7 unter zwei Prozent. Die Werte der weiblichen Probanden sind jedoch stets größer als die der männlichen.

**Tabelle 21: Deskriptive Statistik des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Wirbel der Altersgruppe der Absetzer ausgewertet nach Geschlecht.**

IVV Absetzer	Geschlecht	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
IVV C3	männlich	50,77%	5,07%	44,41%	58,50%
	weiblich	50,93%	4,00%	41,64%	55,18%
IVV C4	männlich	48,61%	4,21%	43,29%	55,06%
	weiblich	49,12%	4,48%	39,67%	56,92%
IVV C5	männlich	49,00%	4,29%	43,73%	56,59%
	weiblich	49,30%	4,11%	40,30%	56,77%
IVV C6	männlich	47,68%	4,57%	40,57%	55,22%
	weiblich	48,63%	5,04%	39,85%	56,55%
IVV C7	männlich	48,75%	4,35%	39,92%	55,21%
	weiblich	51,18%	5,95%	42,52%	60,77%

Bei den Jährlingen wiesen bei allen Halswirbeln die weiblichen Pferde größere Werte des Intravertebralen Verhältnisses auf. Der Unterschied liegt immer bei zwei bis drei Prozent.

**Tabelle 22: Deskriptive Statistik des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Wirbel der Altersgruppe der Jährlinge ausgewertet nach Geschlecht.**

IVV Jährlinge	Geschlecht	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
IVV C3	männlich	52,11%	5,13%	40,30%	60,78%
	weiblich	55,17%	4,89%	48,31%	63,12%
IVV C4	männlich	50,96%	3,96%	44,41%	56,64%
	weiblich	53,73%	3,05%	48,81%	57,83%
IVV C5	männlich	51,57%	4,26%	42,55%	58,54%
	weiblich	54,63%	4,39%	48,42%	63,34%
IVV C6	männlich	53,09%	4,07%	47,32%	63,84%
	weiblich	55,24%	3,94%	49,49%	62,91%
IVV C7	männlich	57,17%	5,50%	48,71%	69,28%
	weiblich	60,43%	5,86%	51,84%	69,41%

Im Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Tieren ergaben sich bei der Altersgruppe der zweijährigen Pferde die deutlichsten Unterschiede. Die Werte des Intravertebralen Verhältnisses der weiblichen Pferde sind bei allen Halswirbeln zumindest drei Prozent größer als bei den männlichen Pferden derselben Altersgruppe.

**Tabelle 23: Deskriptive Statistik des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Wirbel der Altersgruppe der Zweijährigen ausgewertet nach Geschlecht.**

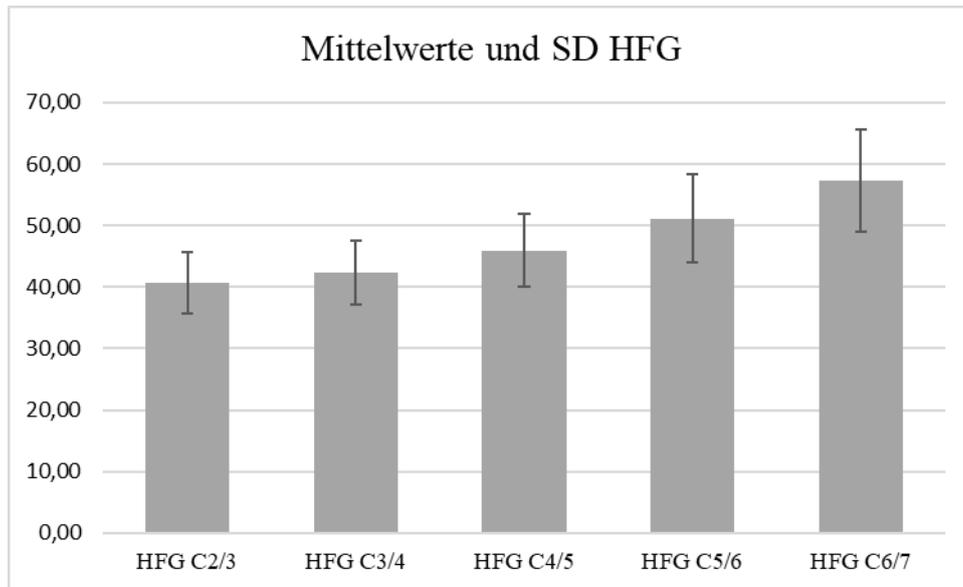
IVV Zweijährige	Geschlecht	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
IVV C3	männlich	55,42%	5,72%	50,37%	63,66%
	weiblich	58,57%	5,06%	50,52%	67,30%
IVV C4	männlich	51,52%	4,28%	44,55%	58,60%
	weiblich	55,58%	3,74%	50,71%	64,93%
IVV C5	männlich	52,61%	3,39%	47,67%	57,76%
	weiblich	56,22%	4,16%	50,92%	65,28%
IVV C6	männlich	53,50%	4,72%	46,48%	60,78%
	weiblich	57,31%	3,89%	52,13%	66,82%
IVV C7	männlich	58,28%	5,67%	51,16%	66,80%
	weiblich	62,05%	3,04%	57,37%	66,19%

### 2.3. Statistische Auswertung der Höhe der Facettengelenke

Die Anzahl der Facettengelenke deren Höhe gemessen wurde, lag bei C2/3 bei 79, bei C3/4 und C4/5 bei 82, bei C5/6 bei 81 und bei C6/7 bei 64. Die im Vergleich zu den Messungen des Wirbelkörpers geringeren Fallzahlen entstanden durch die Tatsache, dass alle Facettengelenke mit Veränderungen, die die Werte beeinflussen könnten, herausgenommen wurden. Die Mittelwerte der Höhenmessungen der Facettengelenke zeigen zwischen den Gelenken sehr große Unterschiede und steigen, je weiter caudal das Facettengelenk liegt. Der gemessene Unterschied zwischen C2/3 und C6/7 liegt dabei über 16mm.

**Tabelle 24: Gemessene Höhenwerte der Facettengelenke von C2/3 bis C6/7. Alle Werte sind angegeben in mm.**

HFG	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
HFG C2/3	40,63	5,00	29,81	52,01
HFG C3/4	42,31	5,19	31,46	54,80
HFG C4/5	45,91	5,94	33,51	60,22
HFG C5/6	51,12	7,17	36,11	64,53
HFG C6/7	57,30	8,26	40,25	71,14



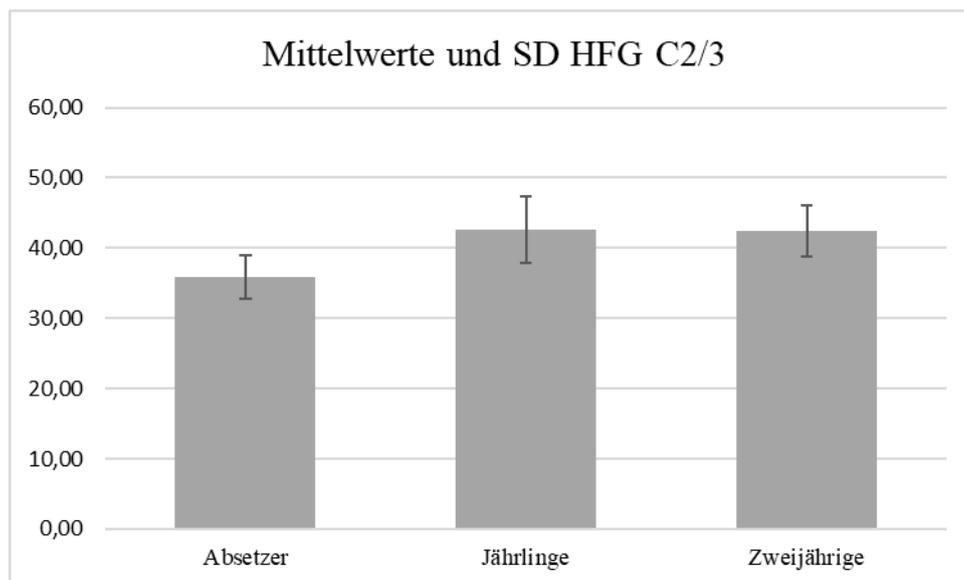
**Abbildung 31: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen der Facettengelenke in mm.**

### 2.3.1. Die Höhe der Facettengelenke ausgewertet nach Alter

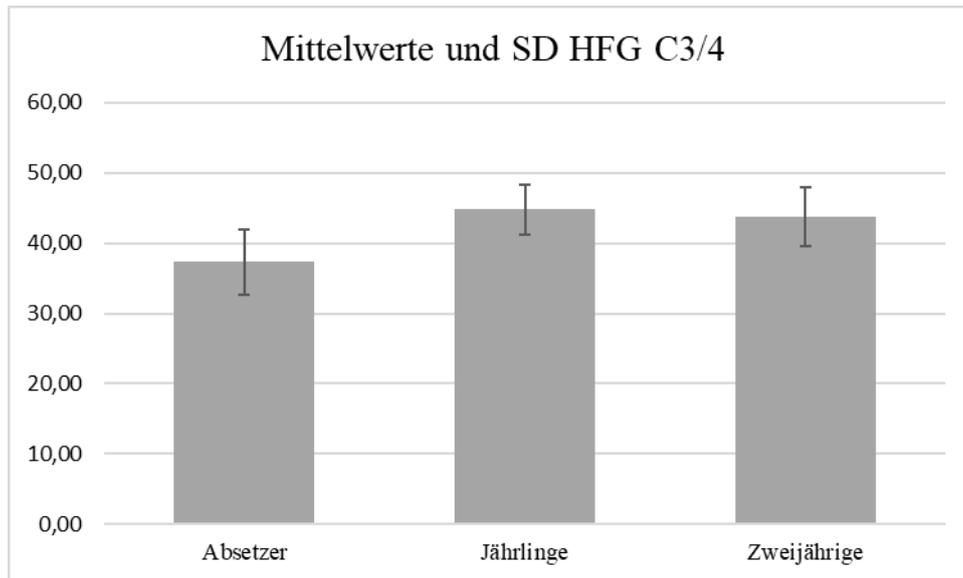
Der Vergleich der gemessenen Werte der Höhe der Facettengelenke zwischen den drei Altersgruppen ergab einen deutlichen Unterschied in den Mittelwerten zwischen der Altersgruppe der Absetzer und den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen. Im Gegensatz dazu sind zwischen den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen kaum Unterschiede vorhanden. Bei allen gemessenen Facettengelenken außer C5/6 sind die Mittelwerte der gemessenen Höhenwerte der Jährlinge größer als die der Zweijährigen. Die gemessenen Unterschiede zwischen den Gruppen der Jährlinge und Zweijährigen betragen bei allen Mittelwerten unter einen Millimeter. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab einen Unterschied von höchster Signifikanz (C2/3:  $F = 22$ , C3/4:  $F = 26$ , C4/5:  $F = 23$ , C5/6:  $F = 30$ , C6/7:  $F = 37$ ;  $p \leq 0,001$ ). Die Post-hoc-Tests nach Bonferroni ergaben einen höchst signifikanten Unterschied der Messungen der Höhe der Facettengelenke zwischen den Altersgruppen der Absetzer und Jährlinge sowie der Absetzer und Zweijährigen ( $p \leq 0,001$ ). Zwischen den Altersgruppen Jährlinge und Zweijährige konnte kein signifikanter Unterschied ( $p = 1$ ) festgestellt werden. Alle weiteren Werte können Tabelle 70 und 75 im Anhang entnommen werden.

**Tabelle 25: Gemessene Höhenwerte der Facettengelenke der drei Altersgruppen im Vergleich. Alle Werte sind in mm angegeben**

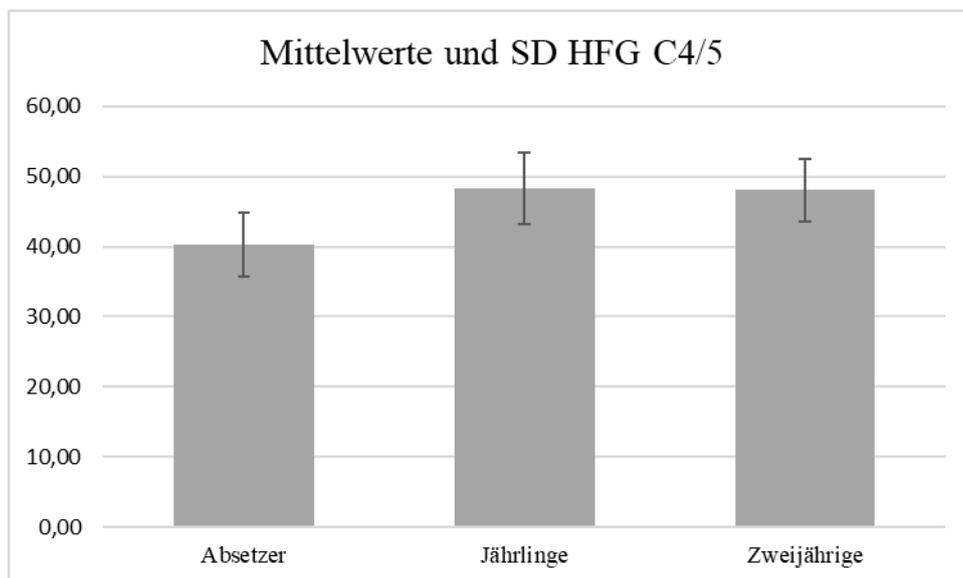
HFG	Alter	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
HFG C2/3	Absetzer	35,94	3,10	29,81	40,59
	Jährlinge	42,64	4,77	33,64	52,01
	Zweijährige	42,45	3,70	34,92	49,02
HFG C3/4	Absetzer	37,33	4,63	31,46	48,92
	Jährlinge	44,80	3,56	38,08	54,37
	Zweijährige	43,82	4,21	36,92	54,80
HFG C4/5	Absetzer	40,32	4,57	33,51	53,15
	Jährlinge	48,34	5,10	39,64	60,22
	Zweijährige	48,07	4,44	36,82	56,49
HFG C5/6	Absetzer	43,65	4,88	36,11	54,17
	Jährlinge	53,71	6,02	40,81	64,53
	Zweijährige	54,60	5,09	39,98	64,19
HFG C6/7	Absetzer	47,21	5,78	40,25	62,01
	Jährlinge	61,01	6,28	42,79	70,27
	Zweijährige	60,85	4,03	53,10	71,14



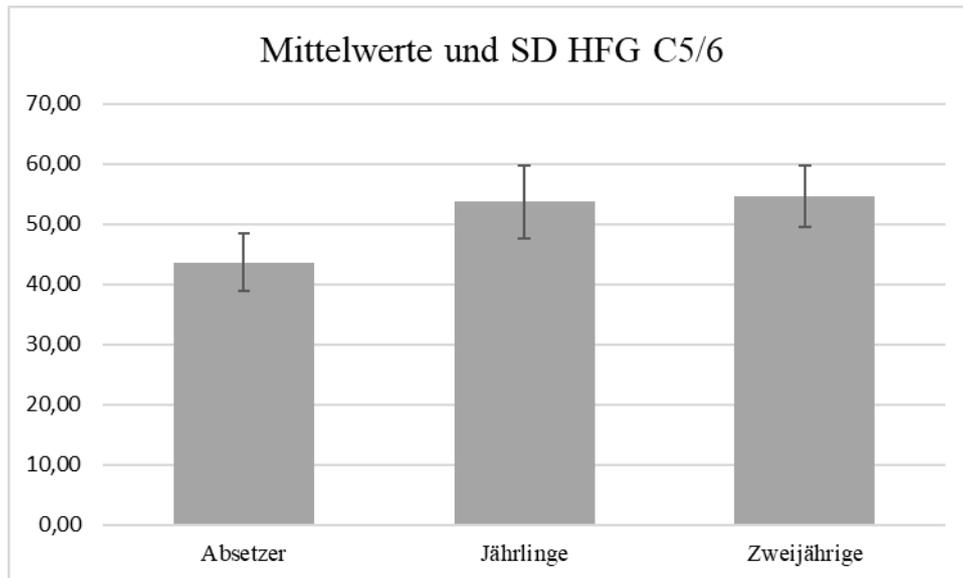
**Abbildung 32: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenkes C2/3 in mm.**



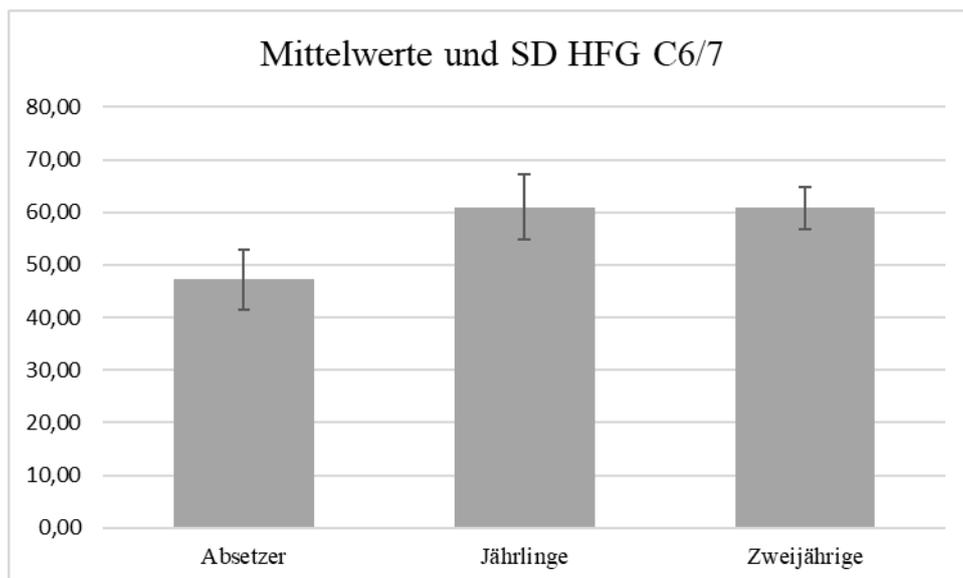
**Abbildung 33: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenks C3/4 in mm.**



**Abbildung 34: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenks C4/5 in mm.**



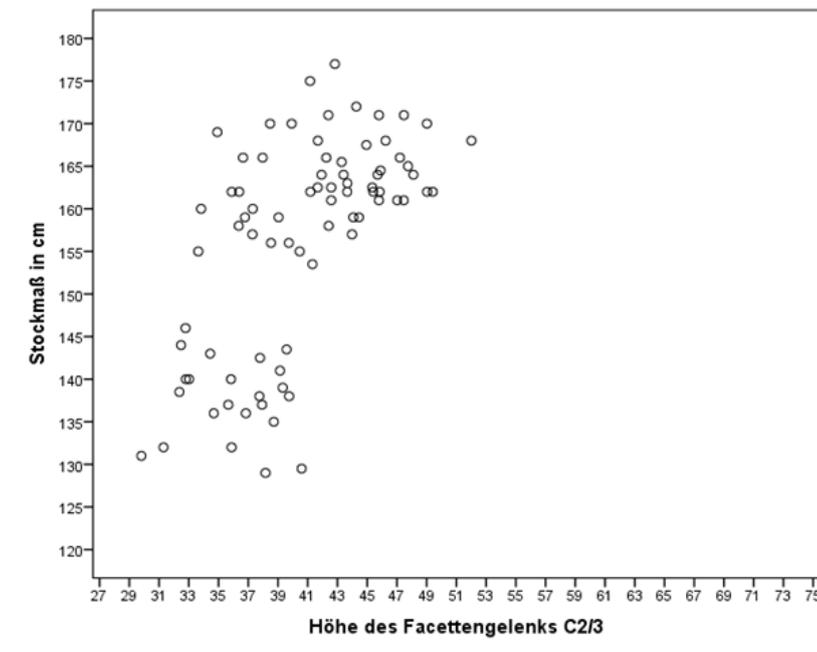
**Abbildung 35: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenks C5/6 in mm.**



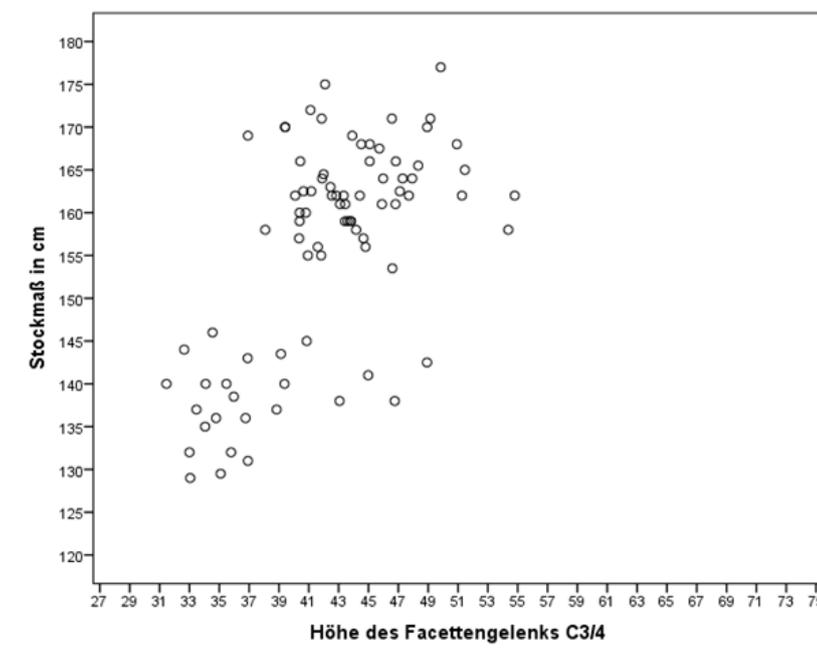
**Abbildung 36: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenks C6/7 in mm.**

### 2.3.2. Die Höhe der Facettengelenke ausgewertet nach Stockmaß

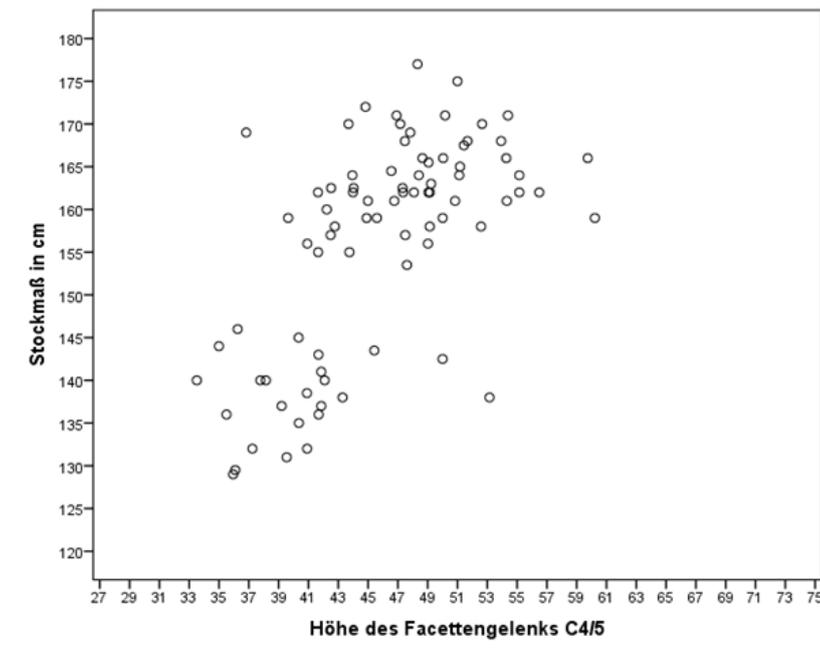
Das Stockmaß weist vor allem bei den caudalen Facettengelenken C4/5, C5/6 und C6/7 einen deutlichen Einfluss auf die Höhe des Facettengelenks auf. Die größeren Pferde weisen deutlich größere Messwerte auf, als die Pferde mit einem niedrigeren Stockmaß.



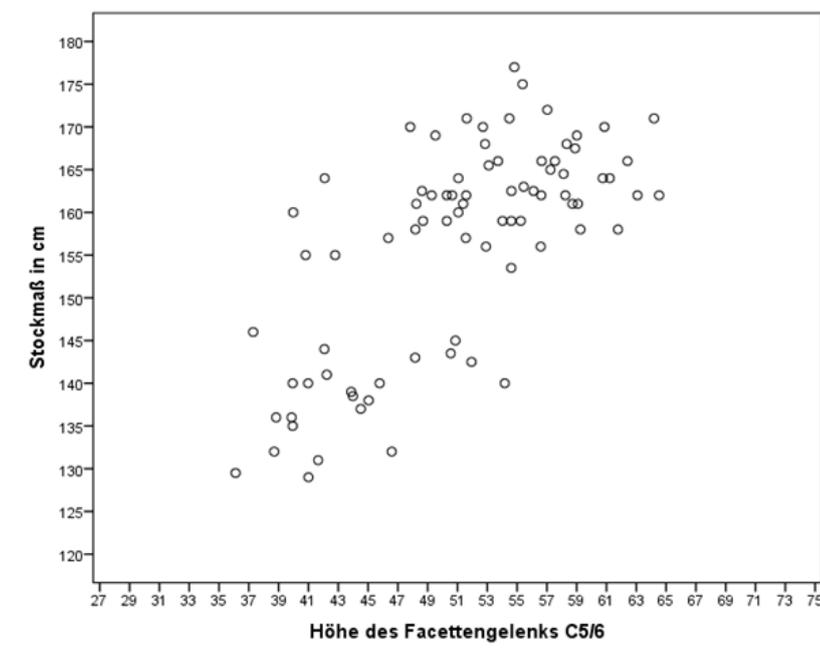
**Abbildung 37: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C2/3 (in mm) nach Stockmaß.**



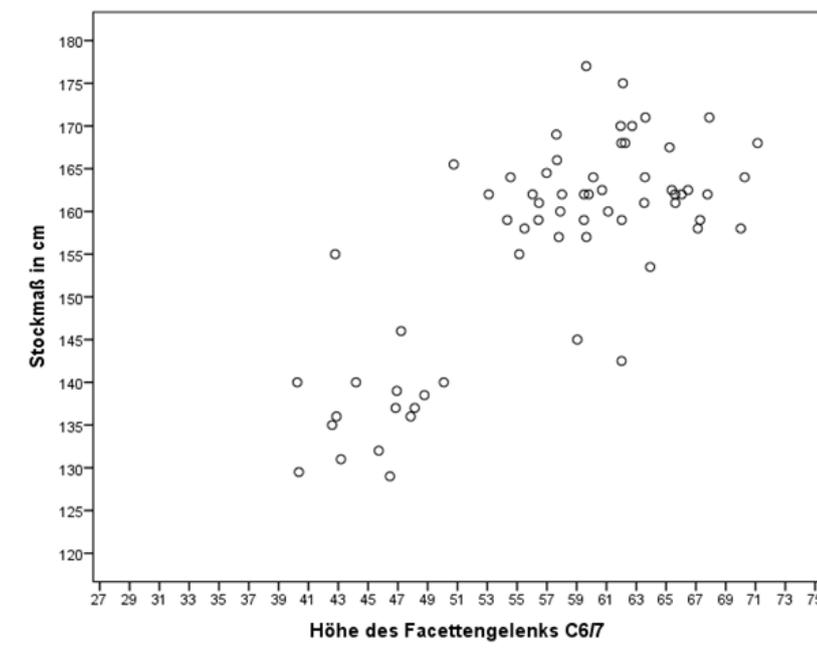
**Abbildung 38: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C3/4 (in mm) nach Stockmaß.**



**Abbildung 39: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C4/5 (in mm) nach Stockmaß.**



**Abbildung 40: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C5/6 (in mm) nach Stockmaß.**



**Abbildung 41:** Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C6/7 (in mm) nach Stockmaß.

### 2.3.3. Korrelation der Höhe der Facettengelenke mit Alter und Stockmaß

Bei den Werten der Höhenmessungen der Facettengelenke ergab die Korrelationsberechnung nach Pearson einen Zusammenhang von Alter und HFG von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Der Korrelationskoeffizient  $R$  liegt für den Zusammenhang von Alter und HFG zwischen 0,501 und 0,625 und für den Zusammenhang zwischen Stockmaß und HFG zwischen 0,619 und 0,761 und ist positiv und stark. Der Zusammenhang des Stockmaßes und HFG C2/3 ( $p = 0,005$ ), HFG C3/4 ( $p = 0,002$ ) und HFG C4/5 ( $p = 0,002$ ) war von hoher Signifikanz sowie bei HFG C5/6 und C6/7 von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Die Berechnung der Kontrollvariablen ergab jedoch, dass das Stockmaß einen deutlich größeren Zusammenhang mit der Höhe der Facettengelenke besitzt als das Alter. Wird die Variable Stockmaß entfernt, hat das Alter der Pferde keinen signifikanten Zusammenhang ( $R$  zwischen -0,108 und -0,135, schwach negativer Zusammenhang) mit der Höhe der Facettengelenke, während umgekehrt der Einfluss des Stockmaßes bei allen Facettengelenken höchste Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ) besitzt. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt für die höchstsignifikanten Korrelationen von Stockmaß und HFG zwischen 0,413 und 0,566, der Zusammenhang ist also positiv und als mittel bis stark zu bewerten. Daraus kann geschlossen werden, dass das Alter nur gemeinsam mit dem Stockmaß einen signifikanten Zusammenhang mit der Höhe der Facettengelenke aufweist.

Alle nicht im Text angeführten Werte können Tabelle 26 und Tabelle 27 entnommen werde.

**Tabelle 26: Korrelationsberechnung des HFG nach Pearson mit Alter und Stockmaß.**

		HFG C2/3	HFG C3/4	HFG C4/5	HFG C5/6	HFG C6/7
Alter in Monaten	Korrelation nach Pearson	0,515	0,501	0,517	0,585	0,625
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	79	82	82	81	64
Stockmaß in cm	Korrelation nach Pearson	0,619	0,621	0,625	0,702	0,761
	Signifikanz (2-seitig)	0,005	0,002	0,002	0,000	0,000
	N	79	82	82	81	64

**Tabelle 27: Partielle Korrelation des HFG mit Alter und Stockmaß.**

	Kontrollvariablen	Alter in Monaten	Stockmaß in cm
	Kontrollierte Variable	Stockmaß in cm	Alter in Monaten
HFG C2/3	Korrelation	0,413	-0,108
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,348
	Freiheitsgrade	76	76
HFG C3/4	Korrelation	0,445	-0,151
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,177
	Freiheitsgrade	79	79
HFG C4/5	Korrelation	0,423	-0,117
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,300
	Freiheitsgrade	79	79
HFG C5/6	Korrelation	0,489	-0,115
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,310
	Freiheitsgrade	78	78
HFG C6/7	Korrelation	0,566	-0,135
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,292
	Freiheitsgrade	61	61

#### 2.3.4. Die Höhe der Facettengelenke ausgewertet nach Geschlecht

Die Unterschiede der gemessenen Werte der Höhe der Facettengelenke im Vergleich zwischen männlichen und weiblichen Tieren fallen bei der Altersgruppe der Absetzer sehr unterschiedlich aus und variieren zwischen den einzelnen Facettengelenken. So sind die berechneten Mittelwerte der weiblichen Tiere bei den Facettengelenken C2/3 und C4/5 größer als die der männlichen, bei C3/4, C5/6 und C6/7 jedoch kleiner.

**Tabelle 28: Mittelwerte der Höhe der Facettengelenke der Absetzer im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind angegeben in mm.**

HFG Absetzer	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
HFG C2/3	männlich	35,65	2,61	31,30	39,14
	weiblich	36,21	3,58	29,81	40,59
HFG C3/4	männlich	38,48	5,04	33,00	48,92
	weiblich	36,19	4,08	31,46	46,76
HFG C4/5	männlich	42,16	4,68	37,24	53,15
	weiblich	45,76	3,78	33,51	45,42
HFG C5/6	männlich	45,23	5,31	38,70	54,17
	weiblich	42,21	4,17	36,11	50,55
HFG C6/7	männlich	50,53	6,62	42,59	62,01
	weiblich	44,26	2,78	40,25	47,22

Bei der Altersgruppe der Jährlinge weisen bei allen Facettengelenken die männlichen Tiere größere Mittelwerte auf als die weiblichen.

**Tabelle 29: Mittelwerte der Höhe der Facettengelenke der Jährlinge im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind angegeben in mm.**

HFG Jährlinge	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
HFG C2/3	männlich	43,12	4,91	33,64	52,01
	weiblich	41,23	4,32	36,36	47,46
HFG C3/4	männlich	45,76	3,40	40,38	54,37
	weiblich	42,25	2,73	38,08	46,60
HFG C4/5	männlich	49,18	5,44	39,64	60,22
	weiblich	46,02	3,21	41,64	50,84
HFG C5/6	männlich	54,04	6,31	40,81	63,08
	weiblich	52,79	5,36	46,36	64,53
HFG C6/7	männlich	61,87	6,86	42,79	70,27
	weiblich	59,00	4,37	54,34	67,78

Die männlichen Zweijährigen weisen ebenfalls bei allen Facettengelenken größere Mittelwerte der Höhenmessungen der Facettengelenke auf als die weiblichen Pferde.

**Tabelle 30: Mittelwerte der Höhe der Facettengelenke der Zweijährigen im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind angegeben in mm.**

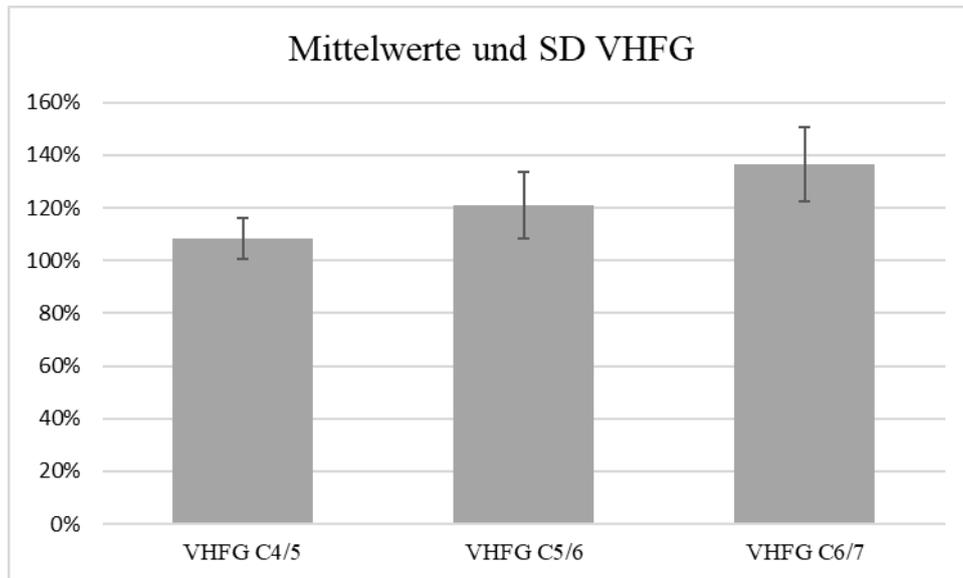
HFG Zweijährige	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
HFG C2/3	männlich	43,95	2,25	41,16	47,47
	weiblich	41,83	4,05	34,92	49,02
HFG C3/4	männlich	45,30	4,66	41,11	54,80
	weiblich	43,12	3,94	36,92	51,46
HFG C4/5	männlich	49,86	4,37	44,03	56,49
	weiblich	47,18	4,33	36,82	54,31
HFG C5/6	männlich	58,12	2,74	55,37	64,19
	weiblich	52,84	5,14	39,98	60,86
HFG C6/7	männlich	64,43	5,65	58,01	71,14
	weiblich	59,75	2,85	53,10	63,61

#### 2.4. Statistische Auswertung des Höhenverhältnisses der Facettengelenke

Bei dem ermittelten Verhältnis der HFG von C4/5, C5/6 und C6/7 zu C3/4 fällt auf, dass die berechneten Mittelwerte umso größer werden, je weiter caudal das Facettengelenk liegt.

**Tabelle 31: Die Mittelwerte des Höhenverhältnisses der einzelnen Halswirbel im Vergleich.**

VHFG	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
VHFG C4/5	108%	8%	91%	137%
VHFG C5/6	121%	13%	92%	161%
VHFG C6/7	137%	14%	102%	169%



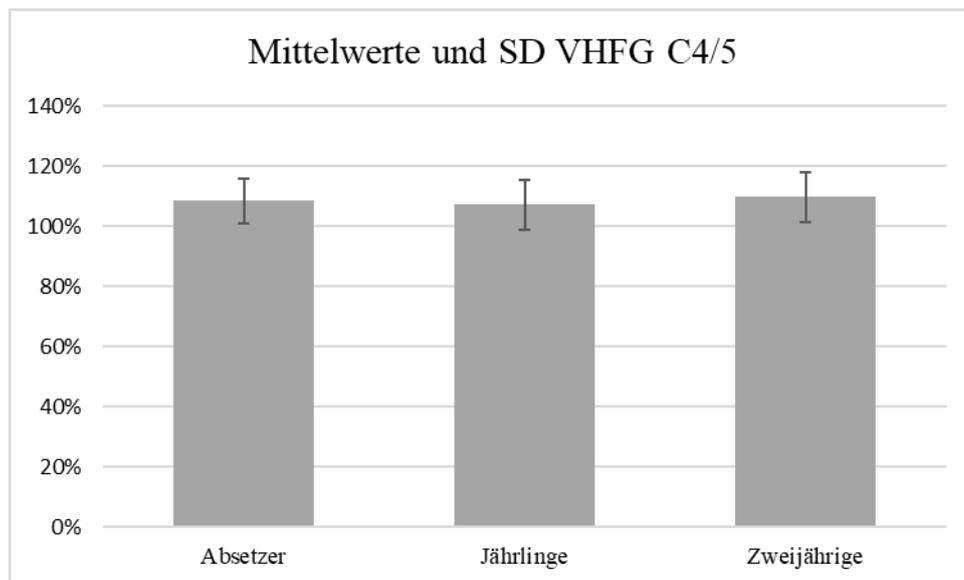
**Abbildung 42: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) der Höhenverhältnisse der Facettengelenke C4/5, C5/6 und C6/7.**

#### **2.4.1. Das Höhenverhältnis der Facettengelenke ausgewertet nach Alter**

Das Höhenverhältnis der Facettengelenke steigt bei den Facettengelenken C5/6 und C6/7 proportional mit dem Alter an. Bei dem Facettengelenk C4/5 ist das Intravertebrale Verhältnis der Jährlinge um 1% kleiner als das der Absetzer, das der Zweijährigen jedoch am größten. Bei der Berechnung der einfaktoriellen Varianzanalyse ergab sich nur bei dem Höhenverhältnis von C6/7 ein signifikanter Unterschied ( $F = 3,908$ ,  $p = 0,025$ ) zwischen den Altersgruppen. Für das Höhenverhältnis der anderen Facettengelenke konnte kein signifikanter (C 4/5:  $F = 0,716$ ,  $p = 0,492$ , C5/6:  $F = 1,856$ ,  $p = 0,163$ ) Unterschied ermittelt werden. Bei den Post-hoc-Tests nach Bonferroni ergab sich jedoch ausschließlich für das Höhenverhältnis von C6/7 zu C3/4 ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,021$ ) zwischen der Altersgruppe der Absetzer und der Altersgruppe der Zweijährigen. Alle anderen Gruppenunterschiede waren nicht signifikant. Alle weiteren Werte können Tabelle 71 und 76 im Anhang entnommen werden.

**Tabelle 32: Die Höhenverhältnisse der Facettengelenke der drei Altersgruppen im Vergleich.**

VHFG	Alter	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
VHFG C4/5	Absetzer	108%	7%	93%	123%
	Jährlinge	107%	8%	91%	137%
	Zweijährige	110%	8%	91%	137%
VHFG C5/6	Absetzer	119%	12%	94%	138%
	Jährlinge	120%	14%	92%	161%
	Zweijährige	125%	11%	98%	139%
VHFG C6/7	Absetzer	130%	9%	115%	144%
	Jährlinge	137%	14%	102%	169%
	Zweijährige	143%	15%	106%	161%

**Abbildung 43: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses des Facettengelenks C4/5 nach Alter.**

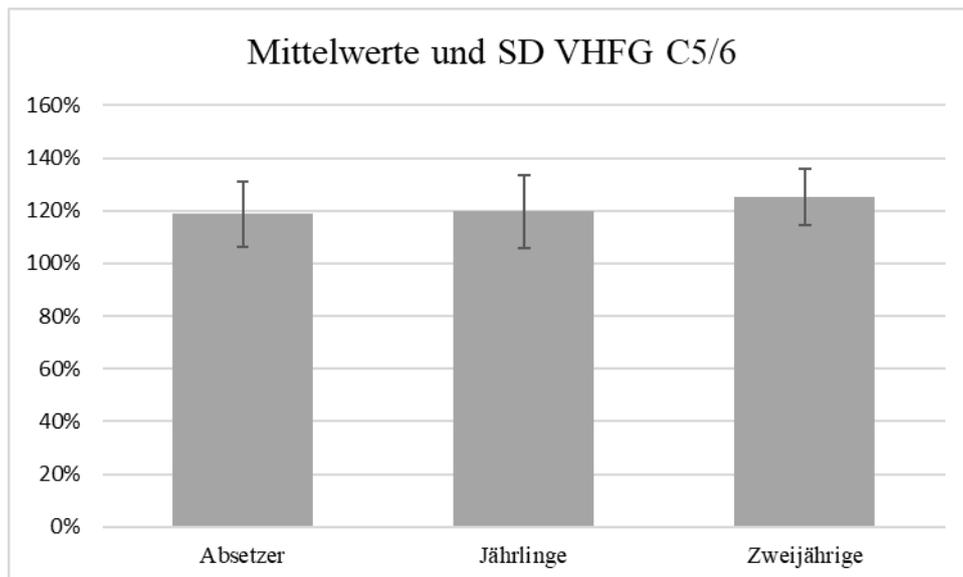


Abbildung 44: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses des Facettengelenks C5/6 nach Alter.

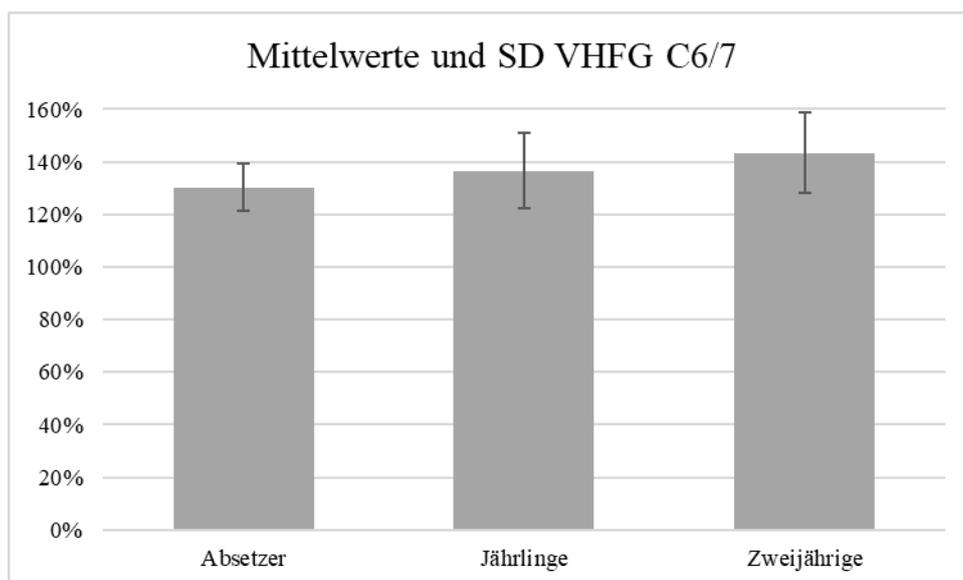


Abbildung 45: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses des Facettengelenks C6/7 nach Alter.

#### 2.4.2. Das Höhenverhältnis der Facettengelenke ausgewertet nach Stockmaß

Auf den nachfolgenden Streudiagrammen ist erkennbar, dass kein starker Zusammenhang zwischen dem Höhenverhältnis der Facettengelenke und dem Stockmaß besteht.

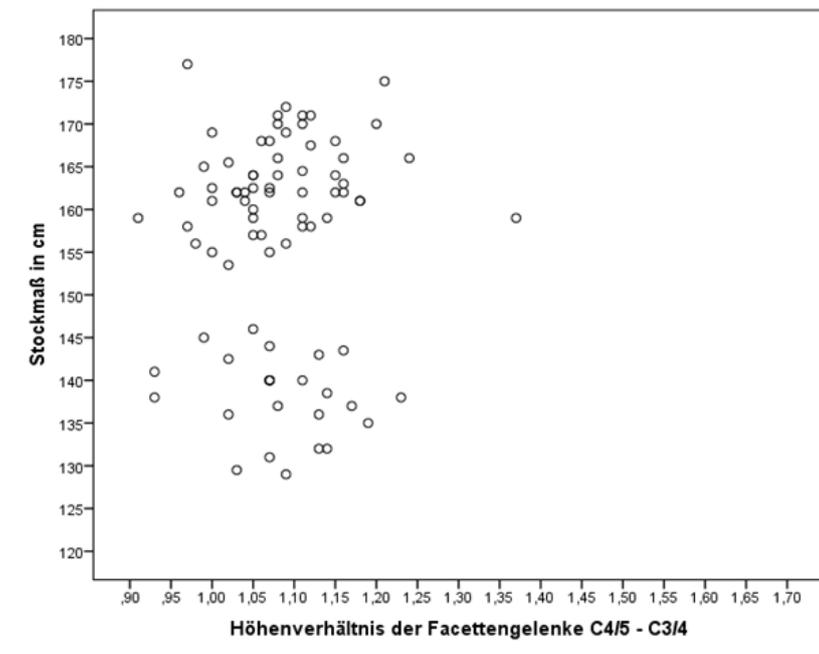


Abbildung 46: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses von C4/5 zu C3/4 (in %) nach Stockmaß.

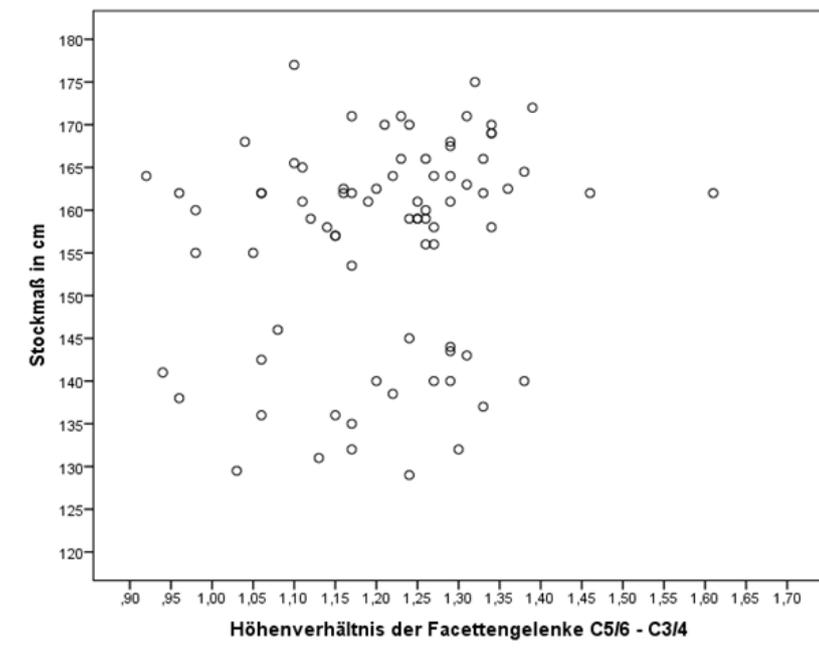
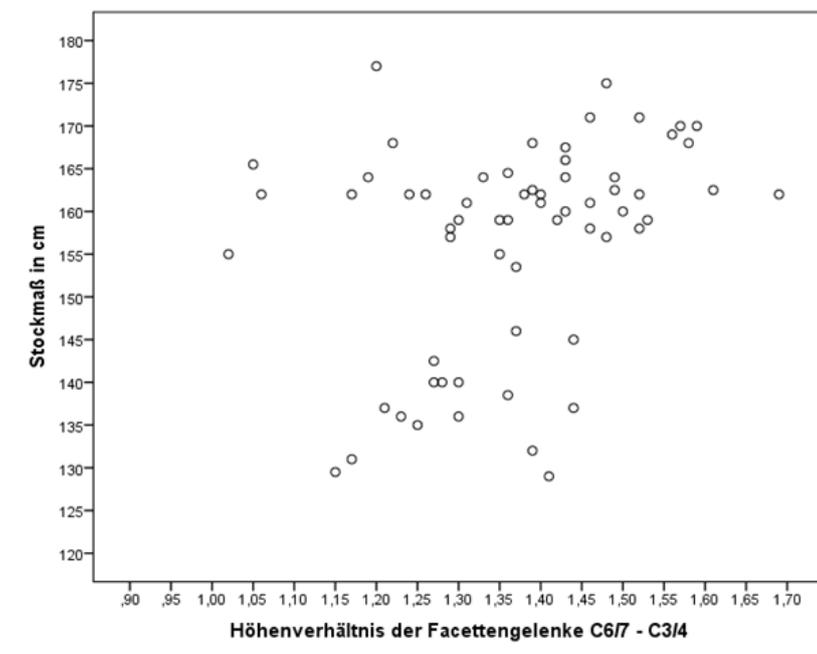


Abbildung 47: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses von C5/6 zu C3/4 (in %) nach Stockmaß.



**Abbildung 48:** Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses von C6/7 zu C3/4 (in %) nach Stockmaß.

#### **2.4.3. Korrelation des Höhenverhältnisses der Facettengelenke mit Alter und Stockmaß**

Die Korrelationsberechnung nach Pearson ( $p = 0,009$ ) sowie die Kontrolle durch die partielle Korrelationsberechnung ( $p = 0,456$ ) ergab, dass ausschließlich für das VHFG C6/7 ein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und Größe des VHFG Wertes besteht. Der Korrelationskoeffizient  $R$  liegt für den Zusammenhang von Alter und VHFG zwischen 0,173 und 0,45 und ist somit positiv und als schwach bis mittel zu beurteilen. Für den Zusammenhang zwischen Stockmaß und Höhenverhältnis liegt der Korrelationskoeffizient  $R$  zwischen 0,021 und 0,324 und zeigt so einen nicht vorhandenen bis mittleren Zusammenhang. Bei allen anderen Facettengelenken konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und/oder Stockmaß und den ermittelten Werten des Höhenverhältnisses der Facettengelenke ermittelt werden. Alle nicht im Text aufgeführten Werte können Tabelle 33 und Tabelle 34 entnommen werden.

**Tabelle 33: Korrelationsberechnung des VHFG nach Pearson mit Alter und Stockmaß.**

		VHFG C4/5	VHFG C5/6	VHFG C6/7
Alter in Monaten	Korrelation nach Pearson	0,45	0,173	0,328
	Signifikanz (2-seitig)	0,690	0,128	0,009
	N	81	79	63
Stockmaß in cm	Korrelation nach Pearson	0,021	0,184	0,324
	Signifikanz (2-seitig)	0,850	0,104	0,100
	N	81	79	63

**Tabelle 34: Partielle Korrelation des VHFG mit Alter und Stockmaß.**

Kontrollvariablen	Kontrollierte Variable		VHFG C4/5	VHFG C5/6	VHFG C6/7
Alter in Monaten	Stockmaß in cm	Korrelation	-0,042	0,068	0,08
		Signifikanz (2-seitig)	0,711	0,557	0,537
		Freiheitsgrade	78	76	60
Stockmaß in cm	Alter in Monaten	Korrelation	0,058	0,021	0,096
		Signifikanz (2-seitig)	0,611	0,854	0,456
		Freiheitsgrade	78	76	60

#### 2.4.4. Das Höhenverhältnis der Facettengelenke ausgewertet nach Geschlecht

In der Altersgruppe der Absetzer haben bei allen berechneten Höhenverhältnissen der Facettengelenke die männlichen Tiere größere Werte als die weiblichen. Beim Geschlechtervergleich innerhalb der Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen ist bei dem Facettengelenk C4/5 der Mittelwert der männlichen Pferde ebenfalls größer als der der weiblichen. Die Mittelwerte der Facettengelenke C5/6 und C6/7 sind jedoch bei den weiblichen Tieren größer. Eine Ausnahme dazu bildet das Höhenverhältnis des Facettengelenks von C6/7 zu C3/4 der Altersgruppe der Zweijährigen, wo Mittelwerte der männlichen und weiblichen Tiere gleich groß ausfallen.

**Tabelle 35: Die Verhältnisse der Mittelwerte der Höhenmessungen der Facettengelenke von C4/5, C5/6 und C6/7 zu C3/4 im Geschlechtervergleich.**

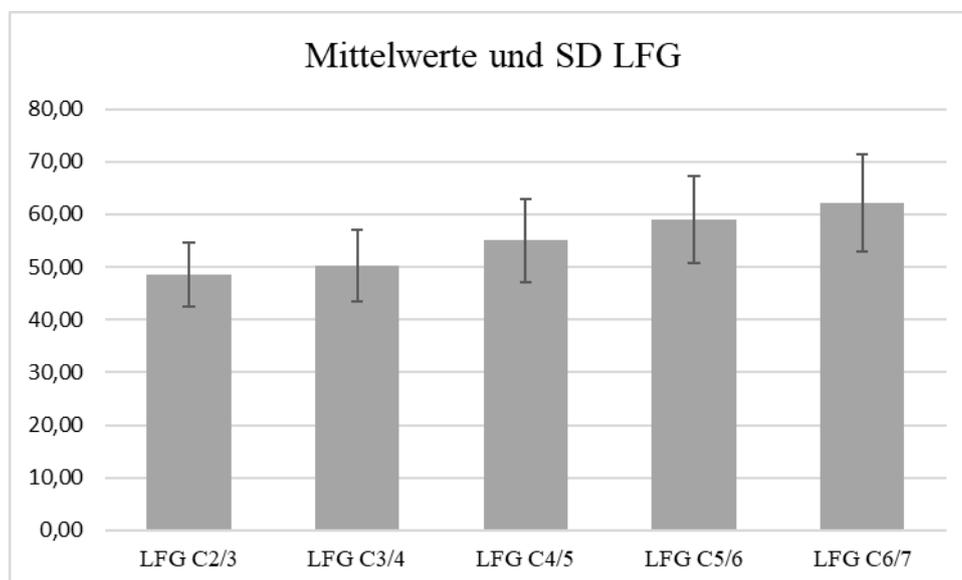
Alter	VHFG	Geschlecht	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Absetzer	VHFG C4/5	männlich	110%	9%	93%	123%
		weiblich	107%	6%	93%	116%
	VHFG C5/6	männlich	120%	13%	94%	138%
		weiblich	118%	12%	96%	131%
	VHFG C6/7	männlich	134%	8%	125%	144%
		weiblich	127%	9%	115%	141%
Jährlinge	VHFG C4/5	männlich	118%	9%	91%	137%
		weiblich	109%	5%	102%	118%
	VHFG C5/6	männlich	118%	13%	92%	146%
		weiblich	125%	13%	92%	146%
	VHFG C6/7	männlich	135%	15%	102%	153%
		weiblich	140%	13%	126%	169%
Zweijährige	VHFG C4/5	männlich	110%	5%	103%	121%
		weiblich	109%	8%	97%	124%
	VHFG C5/6	männlich	129%	10%	106%	139%
		weiblich	123%	11%	98%	138%
	VHFG C6/7	männlich	143%	25%	106%	161%
		weiblich	143%	12%	120%	159%

### 2.5. Statistische Auswertung der Länge des Facettengelenksspaltes

Die gemessenen Längen der Facettengelenksspalten wurden im Durchschnitt größer, je weiter caudal das gemessene Facettengelenk lag. So wurde im Gelenkspalt des Facettengelenkes C2/3 der niedrigste und im Facettengelenk C6/7 der größte Mittelwert berechnet.

**Tabelle 36: Mittelwerte und Standardabweichung der Längenmessungen des Facettengelenksspaltes. Alle Werte sind in mm angegeben.**

LFG	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
LFG C2/3	48,57	6,04	36,87	62,31
LFG C3/4	50,24	6,90	36,18	67,94
LFG C4/5	55,02	7,84	40,69	72,97
LFG C5/6	59,02	8,26	39,94	80,58
LFG C6/7	62,18	9,31	41,18	78,69



**Abbildung 49: Graphische Darstellung der Mittelwerte (in mm) der Längenmessungen der Facettengelenksspalten mit Standardabweichungen.**

### 2.5.1. Die Länge des Facettengelenksspaltes ausgewertet nach Alter

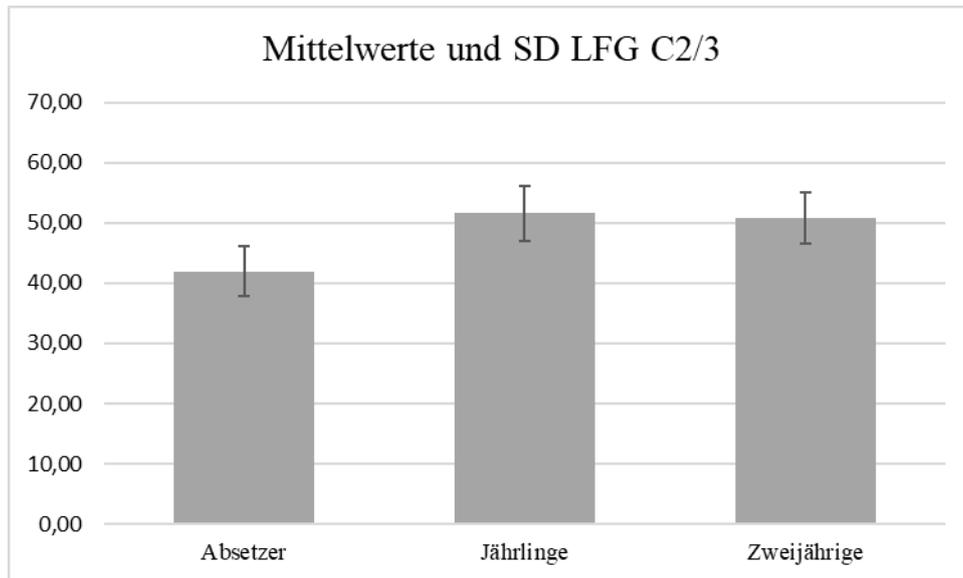
Mit Ausnahme der Facettengelenke C2/3 und C6/7 nahm die Länge der Facettengelenksspalten im Mittelwert mit zunehmendem Alter der Pferde zu. Die Gelenksspalten von C2/3 und C6/7 wiesen in der Altersgruppe der Jährlinge im Mittel längere Messstrecken auf als die der Zweijährigen. Die Längenmessungen der Absetzer waren bei allen Facettengelenksspalten zumindest 9mm kürzer als die des nächstgrößeren gemessenen Wertes.

Bei dem Vergleich der Gruppenunterschiede durch die einfaktorielle Varianzanalyse konnte ein signifikanter Unterschied (C2/3:  $F = 37$ , C3/4:  $F = 46$ , C4/5:  $F = 38$ , C5/6:  $F = 34$ , C6/7:  $F = 36$ ;  $p \leq 0,001$ ) zwischen den Gruppen

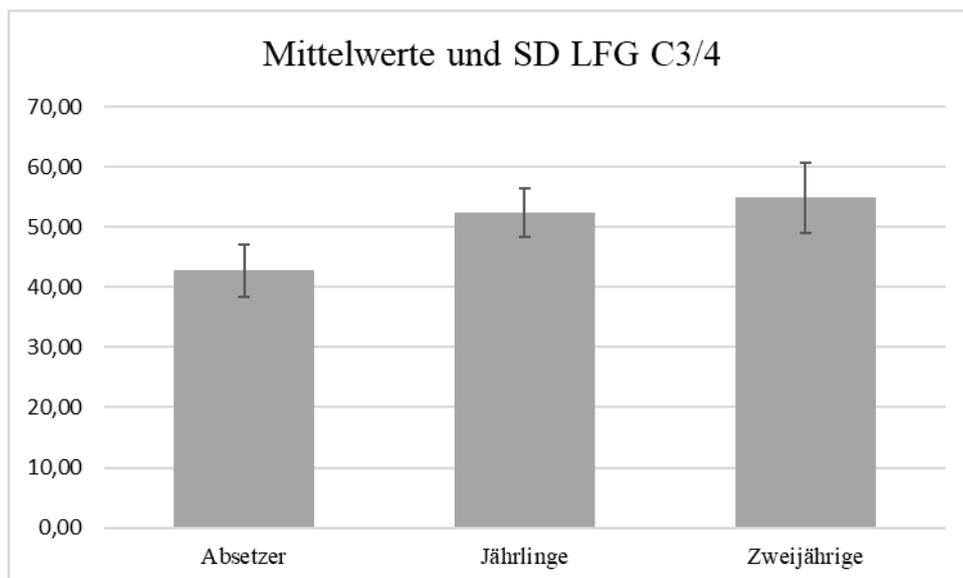
festgestellt werden. Die Post-hoc-Tests nach Bonferroni ergaben für alle Facettengelenke einen höchstsignifikanten ( $p \leq 0,001$ ) Unterschied zwischen den Absetzern und Jährlingen sowie den Absetzern und Zweijährigen. Der Unterschied zwischen den Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Gruppen der Jährlinge und Zweijährigen war bei keinem Facettengelenk signifikant. Alle weiteren Werte können Tabelle 72 und 77 im Anhang entnommen werden.

**Tabelle 37: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge der Facettengelenksspalten der drei Altersgruppen im Vergleich. Alle Werte sind in mm angegeben.**

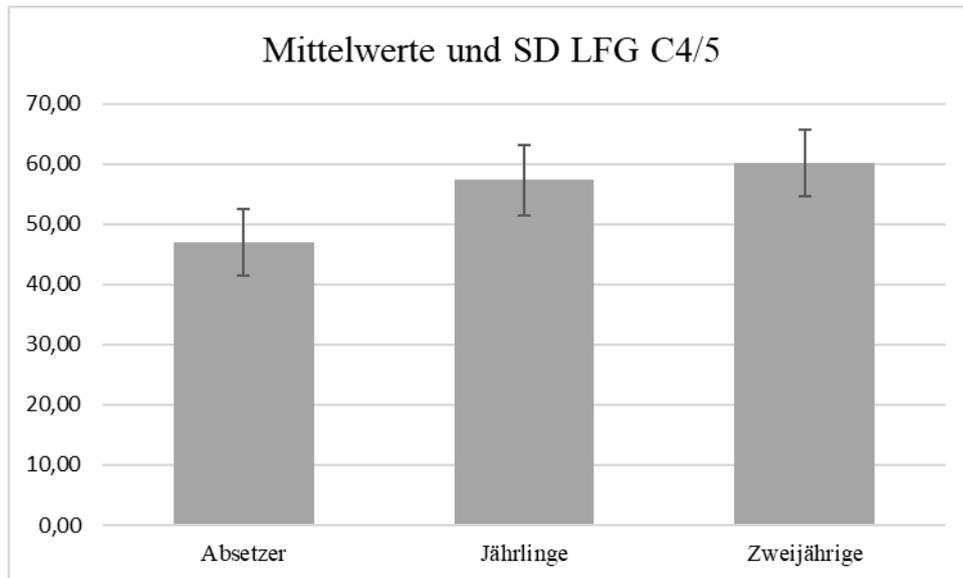
LFG	Alter	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
LFG C2/3	Absetzer	41,96	4,08	36,87	51,25
	Jährlinge	51,57	4,64	44,17	62,31
	Zweijährige	50,82	4,23	42,98	61,04
LFG C3/4	Absetzer	42,76	4,33	36,18	50,72
	Jährlinge	52,42	4,07	44,68	61,54
	Zweijährige	54,85	5,90	45,01	67,94
LFG C4/5	Absetzer	46,93	5,50	40,69	66,84
	Jährlinge	57,30	5,91	44,98	72,97
	Zweijährige	60,22	5,53	50,46	72,86
LFG C5/6	Absetzer	50,21	5,77	39,94	62,21
	Jährlinge	61,75	5,83	51,68	79,94
	Zweijährige	63,60	6,81	49,71	80,58
LFG C6/7	Absetzer	50,95	6,40	41,18	64,65
	Jährlinge	66,94	6,64	49,80	78,69
	Zweijährige	65,01	5,93	54,41	75,94



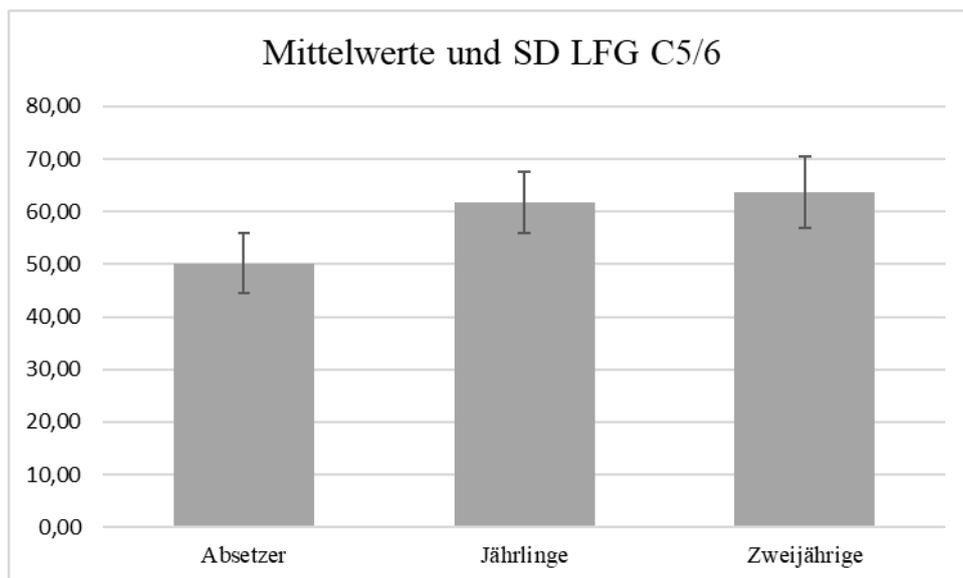
**Abbildung 50: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C2/3 in mm.**



**Abbildung 51: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C3/4 in mm.**



**Abbildung 52: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C4/5 in mm.**



**Abbildung 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C5/6 in mm.**

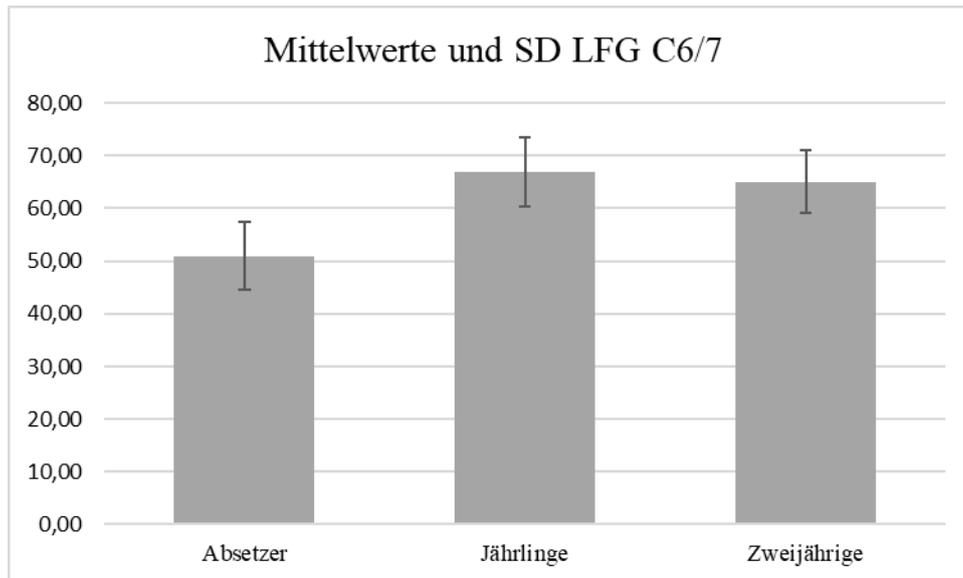


Abbildung 54: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C6/7 in mm.

### 2.5.2. Die Länge des Facettengelenksspaltes ausgewertet nach Stockmaß

Die Länge der Facettengelenksspalten steigt mit zunehmender Größe der Pferde an. Je weiter caudal gelegen das Facettengelenk ist, desto mehr steigt die Länge des Facettengelenksspaltes proportional zum Stockmaß des Pferdes an.

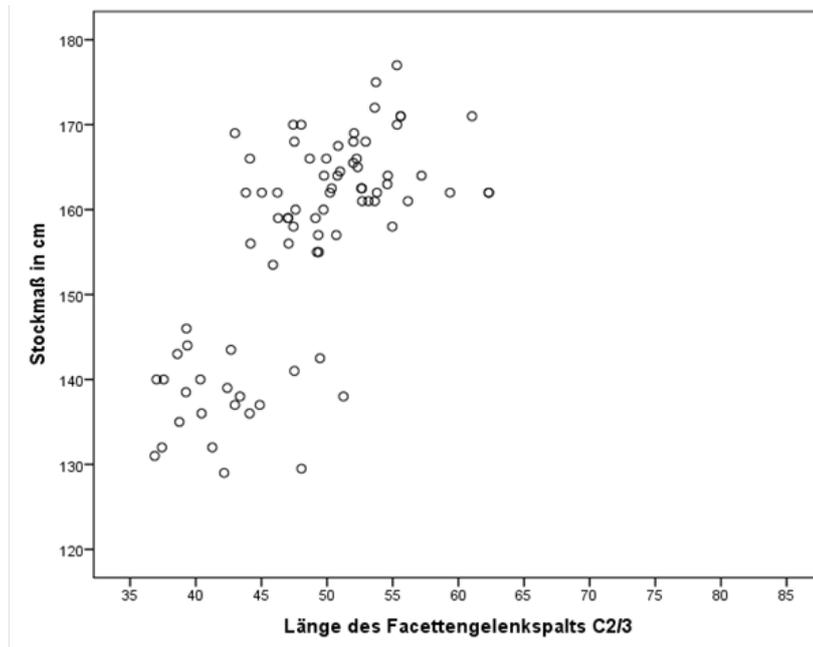


Abbildung 55: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenksspaltes C2/3 (in mm) nach Stockmaß.

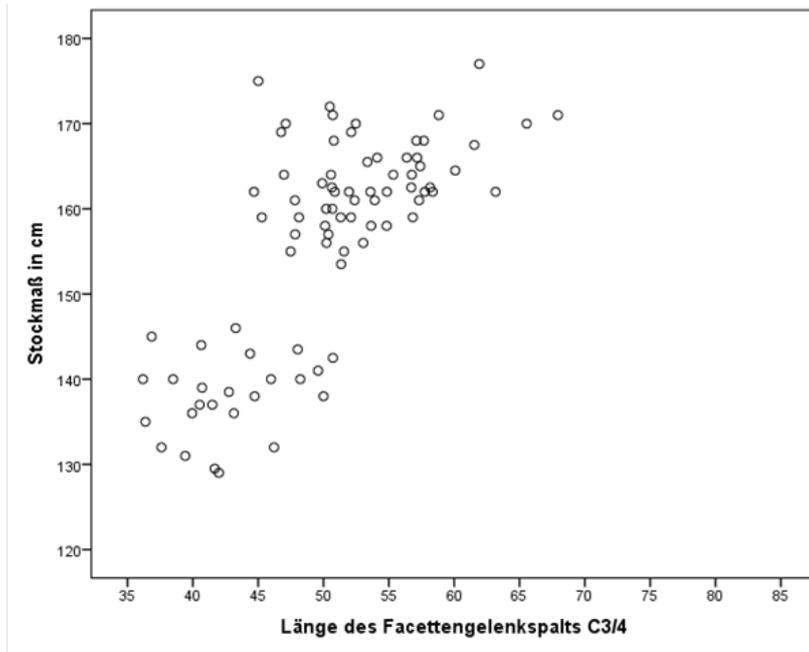


Abbildung 56: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenkspaltes C3/4 (in mm) nach Stockmaß.

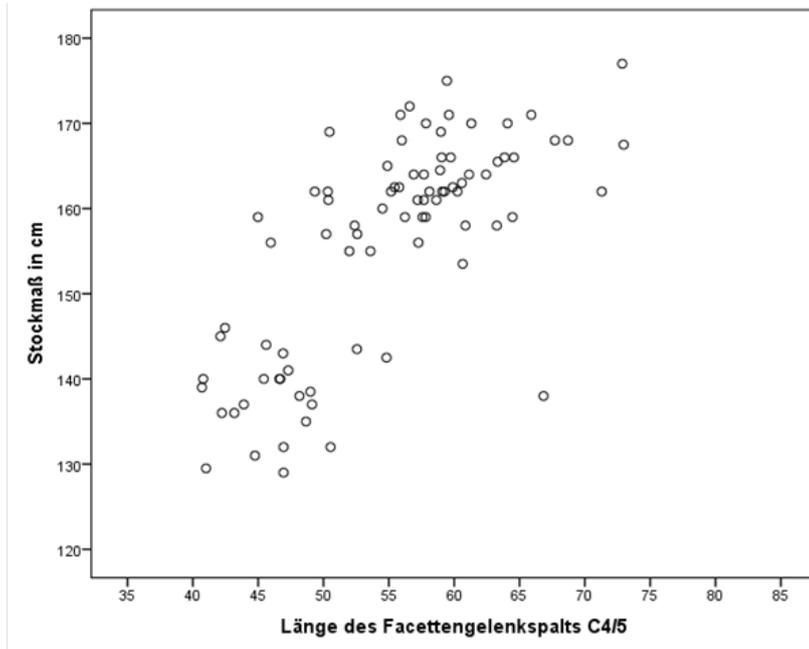


Abbildung 57: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenkspaltes C4/5 (in mm) nach Stockmaß.

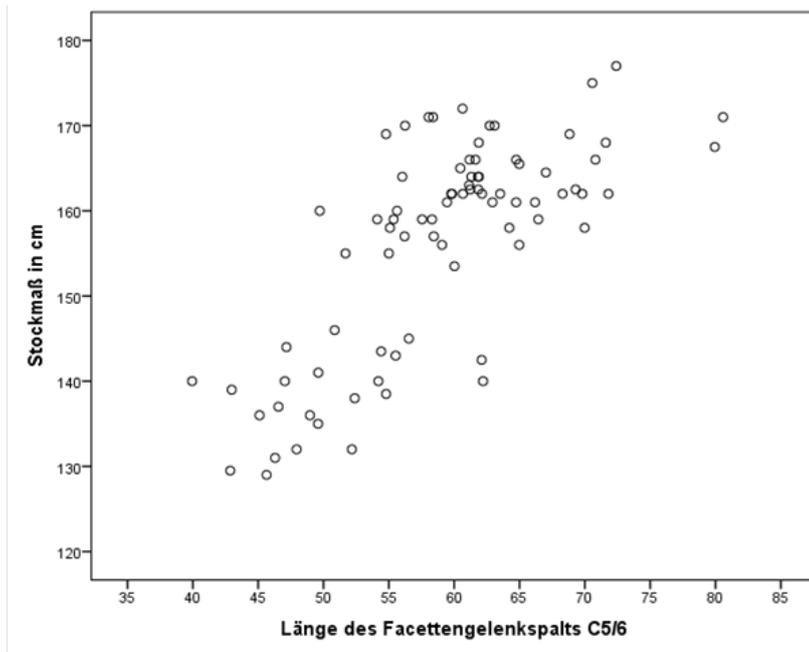


Abbildung 58: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenkspaltes C5/6 (in mm) nach Stockmaß.

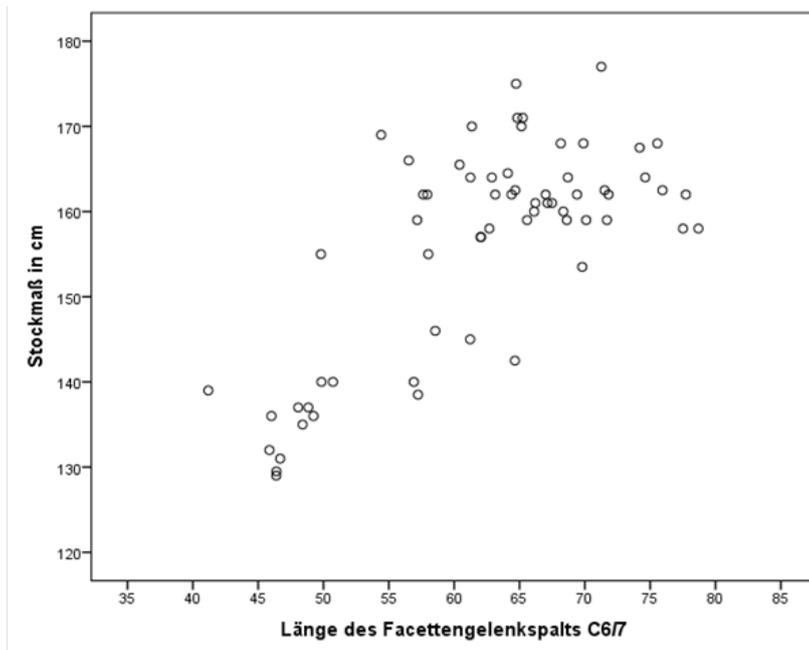


Abbildung 59: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenkspaltes C6/7 (in mm) nach Stockmaß.

### 2.5.3. Korrelation der Länge des Facettengelenkspaltes mit Alter und Stockmaß

Die Korrelationsberechnung nach Pearson ergab einen Zusammenhang von Alter und Stockmaß und der Länge der Facettengelenkspalten von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Der Korrelationskoeffizient R liegt für den Zusammenhang von Alter

und LFG zwischen 0,563 und 0,673 und ist deswegen als positiv und stark anzusehen. Für den Zusammenhang von Stockmaß und LFG ist der Korrelationskoeffizient R mit Werten zwischen 0,705 und 0,736 ebenfalls als positiv und stark zu beurteilen. Bei der Berechnung der Kontrollvariablen zeigte sich jedoch, dass das Stockmaß einen deutlich größeren Zusammenhang mit der Länge der Facettengelenksspalten besitzt als das Alter. Wird bei der partiellen Korrelation die Variable Stockmaß entfernt, hat das Alter der Pferde keinen signifikanten Einfluss auf die Länge der Facettengelenksspalten, während umgekehrt der Einfluss des Stockmaßes bei allen Facettengelenken höchste Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ) besitzt. Der Korrelationskoeffizient nach Pearson liegt für die höchstsignifikanten Korrelationen zwischen 0,388 und 0,566, der Zusammenhang ist also positiv und als mittel bis stark zu beschreiben. Daraus lässt sich schließen, dass das Alter nur gemeinsam mit dem Stockmaß einen signifikanten Zusammenhang mit der Länge der Facettengelenksspalten aufweist. Alle nicht im Text angeführten Werte können Tabelle 38 und Tabelle 39 entnommen werden.

**Tabelle 38: Korrelationsberechnung des LFG nach Pearson mit Alter und Stockmaß.**

		LFG C2/3	LFG C3/4	LFG C4/5	LFG C5/6	LFG C6/7
Alter in Monaten	Korrelation nach Pearson	0,563	0,673	0,665	0,620	0,579
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	80	83	83	81	64
Stockmaß in cm	Korrelation nach Pearson	0,705	0,736	0,724	0,741	0,729
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
	N	80	83	83	81	64

**Tabelle 39: Partielle Korrelation des LFG mit Alter und Stockmaß.**

	Kontrollvariablen	Alter in Monaten	Stockmaß in cm
	Kontrollierte Variable	Stockmaß in cm	Alter in Monaten
LFG C2/3	Korrelation	0,545	-0,211
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,063
	Freiheitsgrade	77	77
LFG C3/4	Korrelation	0,404	0,053
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,634
	Freiheitsgrade	80	80
LFG C4/5	Korrelation	0,388	0,058
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,604
	Freiheitsgrade	80	80
LFG C5/6	Korrelation	0,527	-0,120
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,289
	Freiheitsgrade	78	78
LFG C6/7	Korrelation	0,566	-0,185
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,146
	Freiheitsgrade	61	61

#### 2.5.4. Die Länge des Facettengelenksspaltes ausgewertet nach Geschlecht

Mit Ausnahme des Mittelwertes der Länge des Facettengelenksspaltes von C2/3 der Absetzer, weisen im Geschlechtervergleich bei allen Längenmessungen die männlichen Pferde im Mittelwert größere Werte auf als die weiblichen Tiere.

**Tabelle 40: Die Mittelwerte der Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Absetzer im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind in mm angegeben.**

LFG Absetzer	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
LFG C2/3	männlich	41,36	4,14	37,01	49,46
	weiblich	42,50	4,13	36,87	51,25
LFG C3/4	männlich	43,56	4,92	36,37	50,72
	weiblich	42,02	3,75	36,18	50,00
LFG C4/5	männlich	48,88	6,61	42,11	66,84
	weiblich	45,13	3,63	40,69	52,56
LFG C5/6	männlich	53,15	5,40	46,55	62,21
	weiblich	47,51	4,84	39,94	55,52
LFG C6/7	männlich	54,04	6,88	45,86	64,65
	weiblich	48,20	4,73	41,18	58,55

**Tabelle 41: Die Mittelwerte der Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Jährlinge im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind in mm angegeben.**

LFG Jährlinge	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
LFG C2/3	männlich	52,31	4,68	44,17	62,31
	weiblich	49,32	4,00	45,03	56,16
LFG C3/4	männlich	53,47	3,51	44,68	54,85
	weiblich	49,63	3,51	44,68	54,85
LFG C4/5	männlich	58,09	6,29	44,98	72,97
	weiblich	55,12	4,22	49,33	60,65
LFG C5/6	männlich	62,39	6,12	51,68	79,94
	weiblich	59,98	4,80	55,08	71,80
LFG C6/7	männlich	67,62	7,26	49,80	78,69
	weiblich	65,37	4,90	57,63	71,81

**Tabelle 42: Die Mittelwerte der Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Zweijährigen im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind in mm angegeben.**

LFG Zweijährige	Geschlecht	Mittelwert in mm	Standardabweichung	Minimum in mm	Maximum in mm
LFG C2/3	männlich	53,12	3,64	48,68	61,04
	weiblich	49,73	3,64	48,68	61,04
LFG C3/4	männlich	56,01	7,27	45,01	67,94
	weiblich	54,31	5,29	46,76	65,55
LFG C4/5	männlich	61,97	5,84	55,79	71,29
	weiblich	59,35	5,33	50,46	72,86
LFG C5/6	männlich	69,06	6,27	60,64	80,58
	weiblich	60,87	5,38	49,71	72,40
LFG C6/7	männlich	69,84	6,85	63,14	75,94
	weiblich	63,53	5,00	54,41	71,26

## 2.6. Statistische Auswertung der gemessenen Achsen von C2-C3

Die Winkelmessung der Achse der Wirbel C2 und C3 wurde bei insgesamt 80 Pferden durchgeführt. Die Messungen ergaben, dass insgesamt 16 Pferde eine Abweichung der als physiologisch bewerteten Gradmessung aufwiesen. Der größte Anteil der vom physiologischen Grad abweichenden Veränderungen entsprachen

der Klasse 1 und somit einer geringgradigen Abweichung der Norm.

**Tabelle 43: Ergebnisse der Auswertung der Winkelmessungen zwischen C2 und C3.**

Gemessene Winkel zwischen C2 und C3			
Klasse	Gradeinteilung	Anzahl	Prozent
0	physiologisch	64	80,00%
1	geringgradig	14	17,50%
2	mittelgradig	1	1,25%
3	hochgradig	1	1,25%
	Gesamt	80	100,00%

Die subjektive Beurteilung der Achse zwischen C2 und C3 von Untersucher 1 ergab eine Anzahl von 12 vom physiologischen Wert abweichende Messungen. Der Unterschied zu der gemessenen Gradeinteilung waren 5 Messungen weniger, die als Abweichungen der Klasse 1 empfunden wurden. Davon wurde eine als Veränderung der Klasse zwei und vier als physiologisch beurteilt.

**Tabelle 44: Ergebnisse der subjektiven Auswertung der Achsenbeurteilung zwischen C2 und C3 von Untersucher 1.**

Von Untersucher 1 beurteilte Winkel zwischen C2 und C3			
Klasse	Gradeinteilung	Anzahl	Prozent
0	physiologisch	68	85,00%
1	geringgradig	9	11,25%
2	mittelgradig	2	2,50%
3	hochgradig	1	1,25%
	Gesamt	80	100,00%

Die Auswertung der Achsenbeurteilung von Untersucher 2 ergab, dass wie bei Untersucher 1 fünf Messungen weniger als Gradabweichung der Klasse 1

empfunden wurden. Im Gegensatz zu Untersucher 1 wurden fünf Achsen mehr als physiologisch gewertet.

**Tabelle 45: Ergebnisse der subjektiven Auswertung der Achsenbeurteilung zwischen C2 und C3 von Untersucher 2.**

Von Untersucher 2 beurteilte Winkel zwischen C2 und C3			
Klasse	Gradeinteilung	Anzahl	Prozent
0	physiologisch	69	86,25%
1	geringgradig	9	11,25%
2	mittelgradig	1	1,25%
3	hochgradig	1	1,25%
	Gesamt	80	100,00%

Bei einem direkten Vergleich der beiden Untersucher fällt eine im Allgemeinen sehr hohe Untersucherübereinstimmung zwischen Untersucher 1 und Untersucher 2 auf. Das Maß der Übereinstimmung kann als substantiell ( $Kappa = 0,803$   $p \leq 0,001$ ) gewertet werden.

**Tabelle 46: Kreuztabelle der Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Achsenbeurteilung von Untersucher 1 und 2. Die genaue tabellarische Auflistung der Unterschiede zwischen den Untersuchern und den Messungen befindet sich im Anhang.**

		Gradeinteilung Winkel C2-C3 Untersucher 2				Gesamt
		physiologisch	geringgradig	mittelgradig	hochgradig	
Gradeinteilung Winkel C2-C3 Untersucher 1	physiologisch	67	1	0	0	68
	geringgradig	2	7	0	0	9
	mittelgradig	0	1	1	0	2
	hochgradig	0	0	0	1	1
Gesamt		69	9	1	1	80

Bei 10 Achsen kam es zu einer abweichenden Klasseneinteilung eines oder beider Untersucher zu der Gradeinteilung der Messungen. Das entspricht einer Abweichung von 12,5%. Von den 10 abweichend beurteilten Winkeln zwischen C2 und C3 sind 6 nicht erkannte Gradabweichungen der Klasse 1, von denen 5 unter  $19^\circ$  und somit genau an der Grenze zur physiologischen Klasse 0 liegen, die bei  $18^\circ$  aufhört. Insgesamt entsprach das Maß der Übereinstimmung zwischen Untersucher 1 und den durchgeführten Messungen ( $Kappa = 0,625$ ,  $p \leq 0,001$ ) sowie zwischen Untersucher 2 und den durchgeführten Messungen ( $Kappa = 0,698$ ,  $p \leq 0,001$ ) einer substantiellen Übereinstimmung. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Untersucher und Messübereinstimmung nicht zufällig sind. Die Tabelle mit den genauen Abweichungen der Untersucherbeurteilung von den Messungen befindet sich im Anhang (Tabelle 78).



**Abbildung 60: Geringgradiger Achsenknick der Klasse 1 ( $19,96^\circ$ ) bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 61: Mittelgradiger Achsenknick der Klasse 2 ( $27,37^\circ$ ) bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.**



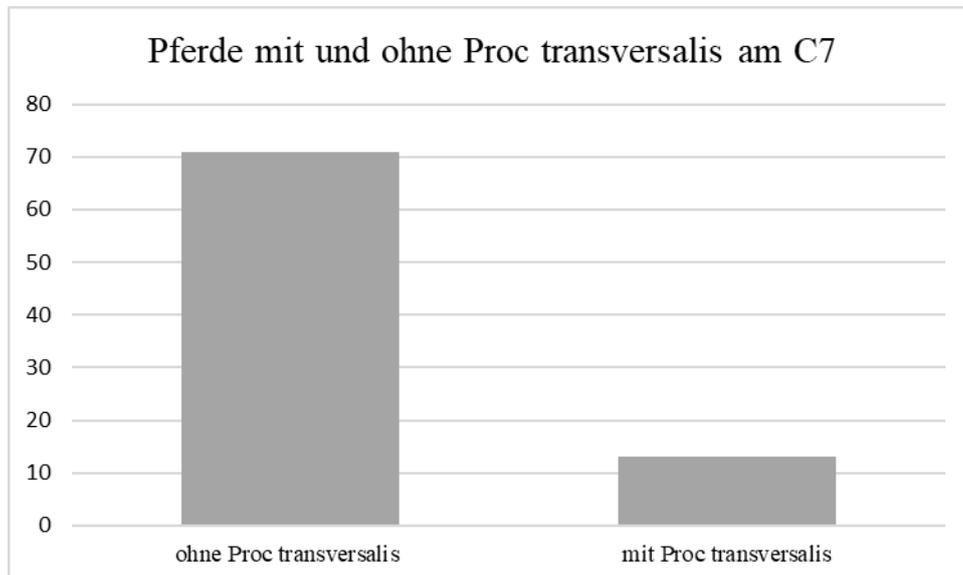
**Abbildung 62: Hochgradiger Achsenknick der Klasse 3 ( $39,85^\circ$ ) bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.**

### 3. Häufigkeiten einer Transposition des Processus transversus

Von den insgesamt 84 Probanden der Studie wiesen 13 Pferde eine Transposition des Processus transversus von C6 auf C7 auf. Das entspricht 15,5% aller röntgenologisch untersuchten Pferde. Im Vergleich wiesen 71 (84,5%) der Pferde keine anatomischen Besonderheiten des C7 auf.

**Tabelle 47: Prozent und Anzahl von Pferden mit Processus transversus am C7.**

	Anzahl	Prozent
Pferde ohne Proc. transversus am C7	71	84,5
Pferde mit Proc. transversus am C7	13	15,5
Total	84	100



**Abbildung 63: Graphische Darstellung der Häufigkeit einer Transposition des Processus transversus auf C7.**



**Abbildung 64:** Transposition beider Processus transversus von C6 auf C7 bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.

#### **4. Auswertung der Befunde**

##### **4.1. Enttheseophyten am Okziput**

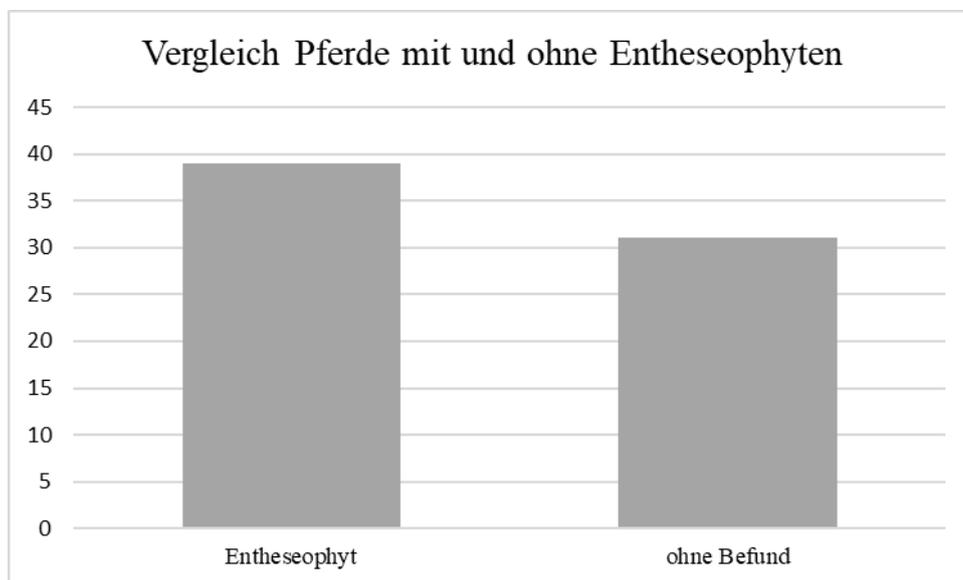
Die Anzahl der auf enttheseophytäre Zubildungen im Ligamentum nuchae untersuchten Pferde ist etwas niedriger als bei den anderen Auswertungen dieser Studie, da von den insgesamt 84 röntgenologisch untersuchten Pferden nur bei 69 Pferden Röntgenbilder des Genicks angefertigt wurden. Die Beurteilung der Röntgenbilder ergab, dass 39 Pferde Veränderungen aufwiesen, die enttheseophytären Zubildungen entsprechen. Im Gegensatz dazu, wiesen die Röntgenbilder des Genicks von 30 Pferden keine besonderen Befunde auf. Daraus ergibt sich ein Anteil von 56,5% der Pferde mit enttheseophytären Veränderungen und ein Anteil von 43,5% ohne besondere Befunde am Genick. Die 15 Pferde, von denen keine Röntgenaufnahmen des Genicks angefertigt wurden, wurden in die prozentuale Berechnung nicht miteinbezogen.

**Tabelle 48: Prozent und Anzahl von Pferden mit Enttheseophyten im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae.**

	Anzahl	Prozent
Enttheseophyt	39	56,5
ohne Befund	30	43,5
Total	69	100

**Tabelle 49: Prozent und Anzahl von Pferden mit Enttheseophyten im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae in den einzelnen Altersgruppen.**

Altersgruppe	N	Enttheseophyten	Prozent
Absetzer	23	14	60,87
Jährlinge	33	19	57,58
Zweijährige	13	6	46,15%
Insgesamt	69	39	



**Abbildung 65: Graphische Darstellung der Anzahl von Pferden mit Enttheseophyten am Okziput im Vergleich zu Pferden ohne besondere Befunde.**



**Abbildung 66: Enteseophytäre Zubildungen im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.**

#### 4.2. Auswertung der Facettengelenksarthrosen

Insgesamt wiesen 21 von 84 Pferden Veränderungen auf, die einer Facettengelenksarthrose entsprechen. Ein Pferd hatte sowohl an C6/7 Veränderungen, die einer Facettengelenksarthrose der Klasse 2 entsprechen sowie an C5/6 arthrotische Veränderungen der Klasse 1. Dies entspricht insgesamt einem Prozentsatz von 25,30% von Pferden mit Facettengelenksarthrosen. An weiter cranial gelegeneren Facettengelenken konnten keine arthrotischen Veränderungen festgestellt werden.

**Tabelle 50: Anzahl und Klasseneinteilung der arthrotischen Veränderungen der Facettengelenke.**

Facettengelenk	N	obB	Klasse 1 (ggr.)	Klasse 2 (mgr.)	Klasse 3 (hgr.)	Klasse 4 (hstgr.)
C6/7	83	62	9	9	3	0
C5/6	84	83	1	0	0	0

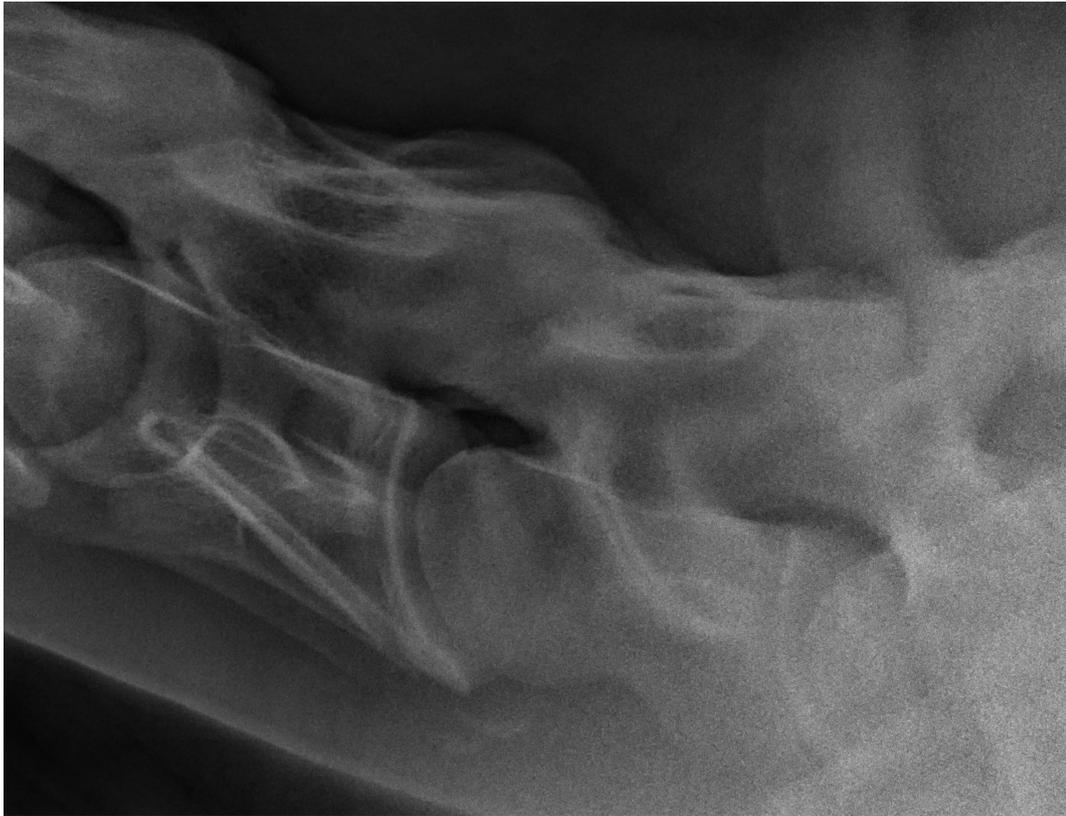


**Abbildung 67:** Graphische Darstellung der Anzahl an Pferden mit arthrotischen Veränderungen des Facettengelenks C6/7.

Die meisten Facettengelenksarthrosen wurden bei der Altersgruppe der Zweijährigen befundet. Dieselbe Altersgruppe wies auch den höchsten Grad an Veränderungen der Klasse 2 und 3 auf. Die Absetzer hatten im Vergleich zu den Jährlingen häufiger und schwerere arthrotische Veränderungen der Facettengelenke und in ausschließlich dieser Altersgruppe wurde ein Pferd mit zwei arthrotisch veränderten Facettengelenken diagnostiziert.

**Tabelle 51:** Arthrotische Veränderungen der Facettengelenke C5/6 und C6/7 in den drei Altersgruppen.

Facettengelenk	Altersgruppe	N	obB	Klasse 1 (ggr.)	Klasse 2 (mgr)	Klasse 3 (hgr.)	Klasse 4 (hstgr.)
C6/7	Absetzer	24	17	3	3	1	0
	Jährlinge	34	28	4	2	0	0
	Zweijährige	25	17	2	4	2	0
C5/6	Absetzer	25	24	1	0	0	0
	Jährlinge	34	34	0	0	0	0
	Zweijährige	25	25	0	0	0	0



**Abbildung 68: Facettengelenksarthrose des Facettengelenks C6/7 der Klasse 1 mit geringgradig verbreiterten Facetten bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 69: Mittelgradige Facettengelenksarthrose des Facettengelenks C6/7 der Klasse 2 mit deutlicher Aufhellung im Facettengelenksbereich bei einem halbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 70: Mittelgradige Facettengelenksarthrose des Facettengelenks C6/7 der Klasse 2 mit deutlicher Aufhellung im Facettengelenksbereich und geringgradig verbreitertem Facettengelenksspalt bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.**



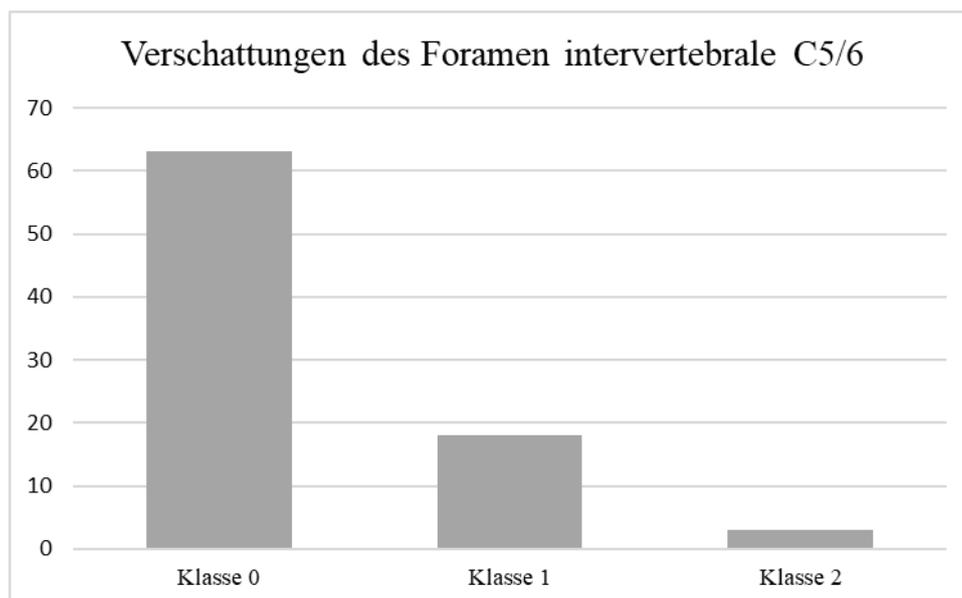
**Abbildung 71: Hochgradige Facettengelenksarthrose der Klasse 3 mit deutlichen Zubildungen und deutlicher unregelmäßiger Verbreiterung des Facettengelenksspaltes bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.**

### 4.3. Auswertung der Verschattungen des Foramen intervertebrale

Die Verschattungen des Foramen intervertebrale wurde nur für die caudalen Intervertebralgelenke C5/6 und C6/7 ausgewertet. Das Foramen intervertebrale zwischen C5 und C6 wies bei 63 der 84 Pferde keine Verschattung auf. Insgesamt 21 Pferde wiesen Verschattungen der Klasse 1 oder/und Klasse 2 auf. Vollständige Verschattungen des Foramen intervertebrale konnten bei keinem Pferd festgestellt werden.

**Tabelle 52: Anzahl und Klasseneinteilung von Pferden mit einer Verschattung des Foramen intervertebrale zwischen C5 und C6.**

Verschattungen des Foramen intervertebrale C5/6		
Klasse	Anzahl	Prozent
0	63	75,0
1	18	21,4
2	3	3,6
Total	84	100,0

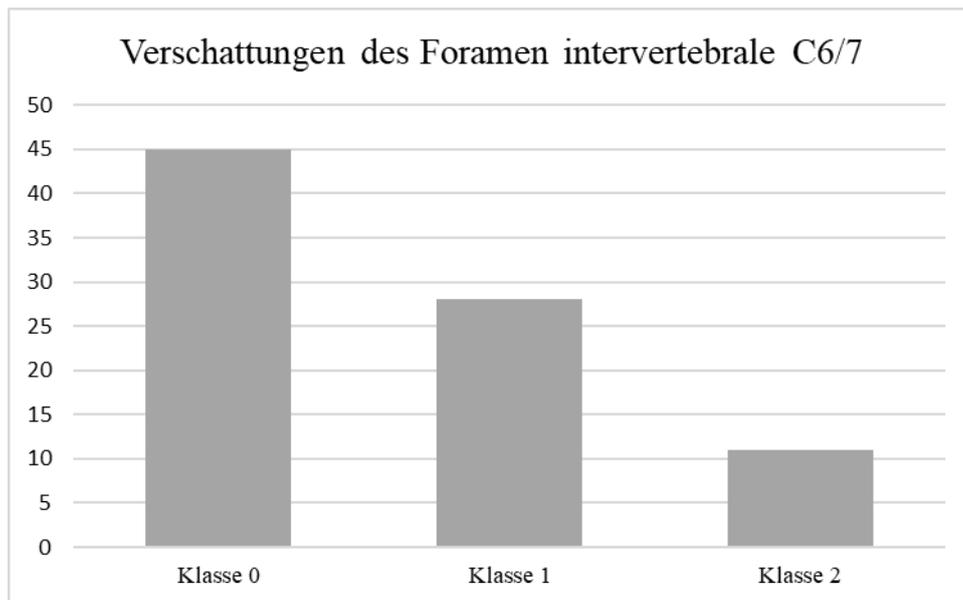


**Abbildung 72: Graphische Gegenüberstellung der Anzahl von Pferden mit und ohne Verschattungen des Foramen intervertebrale zwischen C5 und C6.**

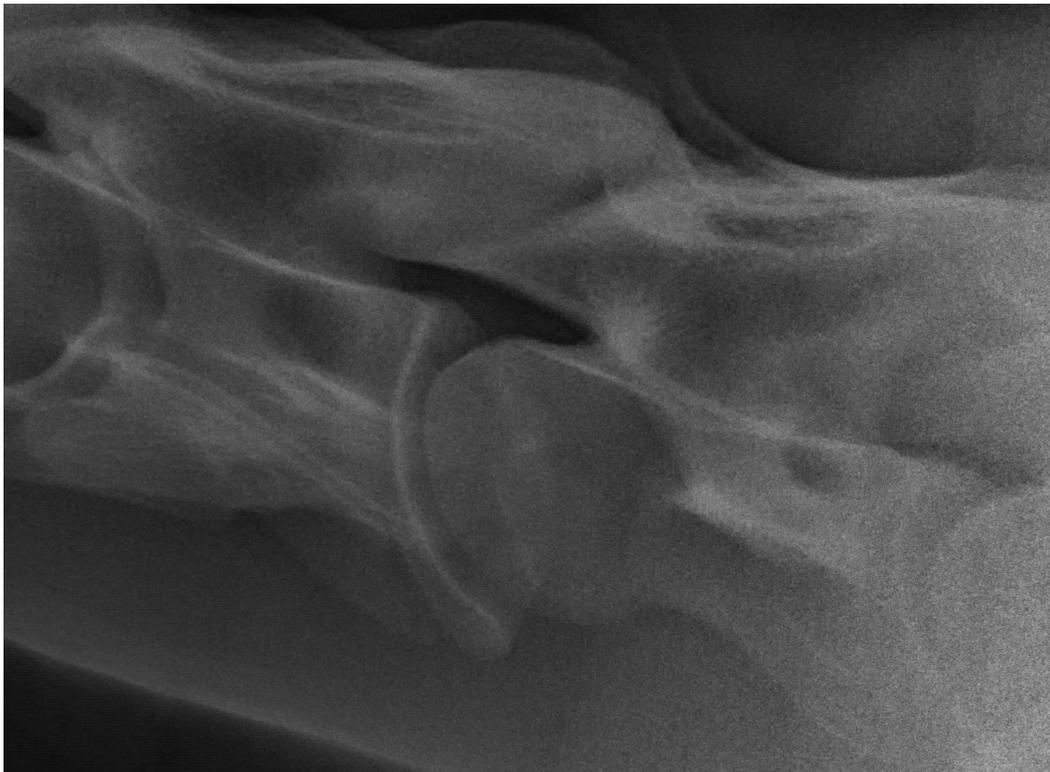
Knapp die Hälfte der röntgenologisch untersuchten Pferde wies eine Verschattung des Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7 auf. Mehr als die Hälfte (71,1%) der insgesamt 39 verschatteten Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7 entsprachen Verschattungen der Klasse 1. Auch bei Bewertungen des Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7 konnten keine Veränderungen der Klasse 3 festgestellt werden.

**Tabelle 53: Anzahl und Klasseneinteilung von Pferden mit Verschattungen des Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7.**

<b>Verschattungen des Foramen intervertebrale C6/7</b>		
<b>Klasse</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Prozent</b>
0	45	53,6
1	28	33,3
2	11	13,1
<b>Total</b>	<b>84</b>	<b>100,0</b>



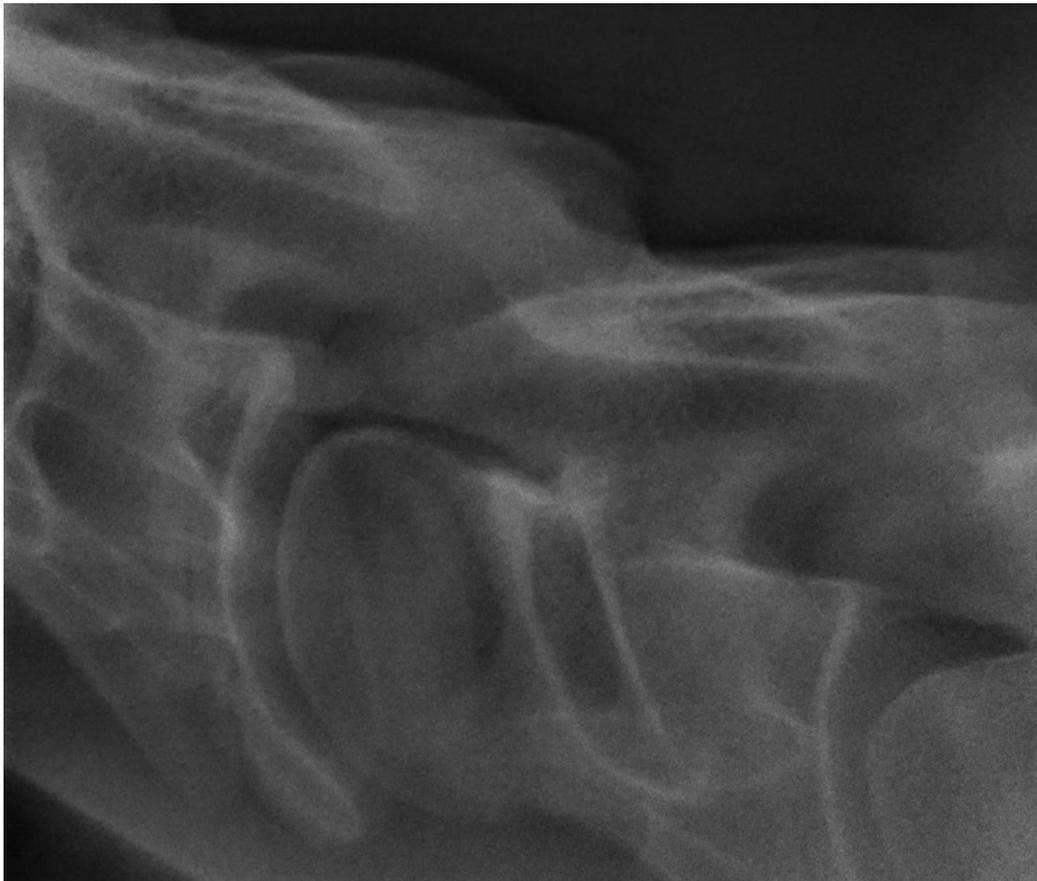
**Abbildung 73:** Graphische Gegenüberstellung der Anzahl von Pferden mit und ohne Verschattungen des Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7.



**Abbildung 74:** Foramen intervertebrale C6/7 ohne Verschattungen bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.



**Abbildung 75: Foramen intervertebrale C5/6 und C6/7 mit Verschattungen der Klasse 1 bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 76: Foramen intervertebrale C6/7 mit Verschattung der Klasse 2 bei einem halbjährigen Warmblutpferd.**

#### 4.4. Andere Befunde

Neben den beiden oben angeführten Befundauswertungen wurden noch fünf weitere Befunde erhoben. Es wurden eine Aufhellung im Intervertebralgelenk C5/6 und eine im Intervertebralgelenk C6/7, eine Fissur der Processus articulares caudales sowie ein Fragment des Facettengelenkes C5/6 und C6/7 befundet.



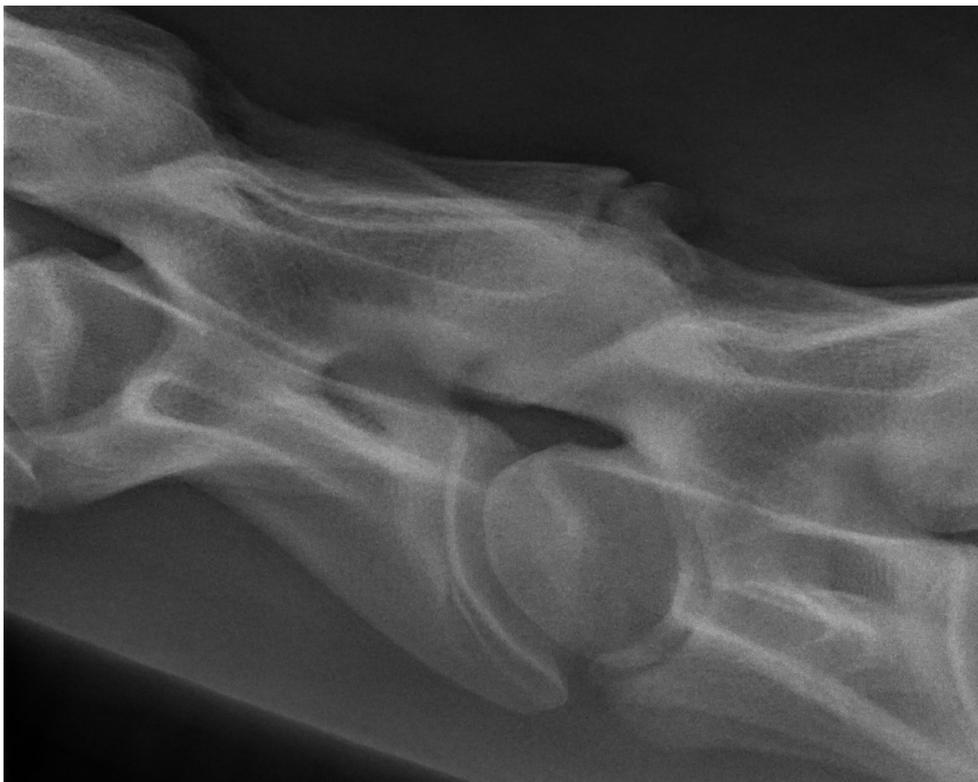
**Abbildung 77: Aufhellung im Intervertebralgelenk C5/6 bei einem halbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 78: Aufhellung im Intervertebralgelenk C6/7 bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 79: Fissur der Processus articulares caudales des C5 bei einem halbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 80: Fragment des Facettengelenkes C5/6 bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.**



**Abbildung 81: Fragment des Facettengelenkes C6/7 bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.**

## **V. DISKUSSION**

### **1. Diskussion der Methode**

In dieser Studie wurden die Halswirbelsäulen von 84 Warmblutpferden im Alter unter drei Jahren röntgenologisch untersucht und objektiv sowie subjektiv befundet.

#### **1.1. Probanden**

Die für diese Studie untersuchten Probanden mussten den Kriterien 2017, 2018 oder 2019 geboren worden zu sein entsprechen und durften keine neurologischen Auffälligkeiten oder eine offensichtliche Halsproblematik aufweisen. Die Pferde wurden nicht neurologisch untersucht, da eine korrekte neurologische Untersuchung bei Pferden, die nicht an menschliches Handling gewohnt sind, schwer durchführbar ist und unzuverlässige Ergebnisse liefern würde. Die Durchführung einer orthopädischen Untersuchung war aus den gleichen Gründen nicht möglich. Da viele Halsbeschwerden, sich in Steifheit, fehlender Stellung und Biegung sowie in halshaltungsabhängigen Taktunreinheiten äußern, ist dies bei ungerittenen Pferden im Allgemeinen auch schwer zu beurteilen. Ein unauffälliges Verhalten im Herdenverband sowie das Fehlen von Anzeichen einer neurologischen Problematik unter Sedation wurden in dieser Studie als klinische Gesundheit gewertet.

Aus Tierschutzgründen wurden für diese Studie nur Pferde röntgenologisch untersucht, die für einen medizinisch notwendigen Eingriff wie Hufbearbeitung, Versorgung von Verletzungen, röntgenologische Untersuchungen nicht halsassoziierter Problematiken oder Röntgenaufnahmen für Körungen sediert wurden. Entsprach die Tiefe der Sedation bei einzelnen Pferden nicht mehr dem notwendigen Ausmaß für die Anfertigung der Röntgenbilder, wurden keine Röntgenaufnahmen angefertigt und das Pferd nicht in die Studie aufgenommen.

Die in der Studie verwendete Einteilung in Absetzer, Jährlinge und Zweijährige ist der genauen Definition nach nicht auf jedes Pferd korrekt angewendet. Die Begriffe wurden jedoch bewusst verwendet, um das durchschnittliche Alter der Pferde am deutlichsten darzustellen. Es bezieht sich in dieser Arbeit mit Röntgenaufnahmenanfertigung im Herbst/Winter 2019 der Begriff Absetzer auf alle im Jahr 2019 geborenen, der Begriff Jährlinge auf alle 2018 geborenen und der

Begriff Zweijährige auf alle 2017 geborenen Pferde. Die Pferde wurden in dieser Arbeit in Altersgruppen, nicht jedoch in Gruppen nach Stockmaß eingeteilt. Dies erwies sich aufgrund der Verteilung der gemessenen Stockmaßwerte als nicht umsetzbar. Die Zusammenhänge von MSD, Intravertebralem Verhältnis, Höhe der Facettengelenke, Höhenverhältnis der Facettengelenke sowie Länge des Facettengelenksspaltes mit Alter und Stockmaß, wurden durch eine Korrelationsberechnung nach Pearson bestimmt und durch die Berechnung einer partiellen Korrelation kontrolliert.

Bei der Geschlechterverteilung wurde nur in männliche und weibliche Pferde, nicht jedoch weiter in Hengste und Wallache unterschieden, da es sich bei den männlichen Pferden fast ausschließlich um Hengste handelte. Die Geschlechterverteilung innerhalb der Altersgruppen fiel ausschließlich bei der Altersgruppe der Absetzer homogen aus (12 männliche und 13 weibliche Tiere). In den anderen Altersgruppen lag jeweils eine deutliche Differenz zwischen der Anzahl der männlichen und weiblichen Tiere vor. Aus diesem Grund war es nicht möglich die Messwerte unter den Gesichtspunkten eines generellen Geschlechtervergleichs zu betrachten. Die nach Geschlecht ausgewerteten Daten wurden deshalb in dieser Studie ausschließlich innerhalb der einzelnen Altersgruppen verglichen. Die Berechnung eines T-Tests zur Beurteilung geschlechtsspezifischer Unterschiede im Stockmaß ergab keine signifikanten Größenunterschiede zwischen männlichen und weiblichen Tieren innerhalb der einzelnen Altersgruppen.

Die Rasse wurde für jedes Pferd notiert, eine Auswertung der Messergebnisse unter diesem Aspekt war aufgrund der ungleichmäßigen Rasseverteilung jedoch nicht möglich. Ob ein Vergleich der Messdaten unter dem Gesichtspunkt verschiedener Warmblutrassen überhaupt Aussagekraft hätte, ist aufgrund der zwischen Warmblutpferderassen bestehenden genetischen Nähe zweifelhaft.

## **1.2. Aufnahme- und Messtechnik**

Die Positionierung der Pferde für die Anfertigung der Röntgenaufnahmen gestaltete sich in einigen Fällen schwierig. Zum einen waren die Pferde durch die bereits vorhandene Sedation nicht immer in dem idealen Sedationsstadium, was das Vermeiden von Bewegungsartefakten erschwerte und zum anderen führte das Annähern der Detektorplatte sowie des Röntgengeräts oftmals zu einer

Positionsveränderung der Pferde, die korrigiert werden musste. Die sinistro-dextral Aufnahmen wurden stets mit dem Ziel angefertigt, perfekt orthograde Aufnahmen zu erhalten. Dies war leider nicht immer perfekt umsetzbar, weswegen aus Strahlenschutzgründen leicht verkippte Aufnahmen, die eine gute Beurteilung ermöglichten, nicht wiederholt wurden. Es ist bekannt, dass perfekt orthograde Aufnahmen auch aufgrund von pathologischen Veränderungen nicht immer möglich sind (BUTLER et al., 2017). Das Problem, dass leicht verkippte Aufnahmen möglicherweise zu Messfehlern führen wurde mit der Technik stets nur eine Facettengelenkskontur mitzumessen umgangen. Ob dies jedoch zu dem gleichen Ergebnis wie die Messung eines perfekt orthograd getroffenen Facettengelenkes führt, kann in dieser Studie weder widerlegt noch bestätigt werden. Ausschließlich perfekt orthograde Halsröntgenaufnahmen anzufertigen ist unter Einhaltung der Strahlenschutzaspekte schon unter Klinikbedingungen schwierig. Ob es unter Fahrpraxisbedingungen möglich ist ausschließlich perfekt orthograd getroffene Röntgenaufnahmen ohne Bewegungsartefakte bei jungen Pferden anzufertigen, ist sehr unwahrscheinlich. Die Aufnahmen, die in dieser Studie ausgewertet wurden und nicht perfekt orthograd getroffen waren, wiesen allerdings stets nur eine leichte Verkippfung auf. Stärker verkippte Aufnahmen wurden wiederholt oder nicht ausgewertet.

Die Messungen des minimalen sagittalen Diameters und die Messung des maximalen sagittalen Durchmessers des Wirbelkörpers sind Messungen, die sich in der Diagnostik bereits etabliert haben und in dieser Studie unverändert durchgeführt wurden.

Die Messungen der Höhe der Facettengelenke wurden unter dem Aspekt angefertigt, dass eine häufige und nicht immer mit bloßem Auge erfassbare Veränderung bei Facettengelenksarthrosen eine Vergrößerung der Facetten darstellen. Die gemessenen Werte sollen eine objektive Vergleichsmöglichkeit bieten, Gelenke mit Verdacht auf Facettengelenksarthrose mit gesunden Facettengelenken zu vergleichen. Das Verhältnis zwischen der Höhe der Facettengelenke C4/5, C5/6, C6/7 und der Höhe des Facettengelenks C3/4 wurde ermittelt, um einen Quotienten zu berechnen, der unabhängiger von der Größe des einzelnen Pferdes ist. Das Facettengelenk C3/4 wurde als Referenzareal (Region of interest) ausgewählt, da dieses weiter cranial gelegene Facettengelenk seltener von Arthrosen betroffen ist als die weiter caudal gelegenen Gelenke. Die Länge des

Facettengelenksspaltes wurde aufgrund der Annahme berechnet, dass bei einer Vergrößerung des Facettengelenkes auch eine Verlängerung des Facettengelenksspaltes vermutet werden kann. Der Grund, weshalb in dieser Studie nicht auf bereits vorhandene Messmethoden der Facettengelenke zurückgegriffen wurde, liegt daran, dass die Ergebnisse bei wiederholt angewendeten Messungen nicht reproduzierbar waren. Deshalb wurde in dieser Studie ein neuer Ansatz versucht (HETT et al., 2006; PUDERT, 2018).

Eine weitere Fragestellung, welcher mit den Messungen der Facettengelenke sowie des MSD und Intravertebralen Verhältnisses nachgegangen werden sollte, war, wie sich die Größe der Facettengelenke, Cervikalmarkkanal und Wirbelkörper im Wachstum verändern. Um diese Frage zu beantworten wurde für alle oben genannten Werte eine einfaktorische Varianzanalyse sowie ein Post-hoc-Test nach Bonferroni durchgeführt, um die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Altersgruppen zu bestimmen.

Neben den oben angeführten Messungen wurden Messungen der Achse zwischen dem zweiten und dritten Halswirbel durchgeführt. Der Grund für diese Messungen lag in der Tatsache begründet, dass Subluxationen häufig zwischen C2 und C3 auftreten und sogenannte Achsenknicke an dieser Stelle eine in der Praxis häufig auftretende Auffälligkeit darstellen. Das Klassifizierungsschema der Achsenmessungen zwischen C2 und C3 wurde mangels einer etablierten Gradeinteilung in dieser Studie entwickelt. Die Untersucherbeurteilung der Achsen wurde durchgeführt, um zu beurteilen, inwieweit die subjektive Beurteilung erfahrener Untersucher und das entwickelte objektive Klassifizierungsschema übereinstimmen. Die gleichzeitige Durchführung einer Untersucherübereinstimmung sollte dazu dienen herauszuarbeiten, inwiefern die als Achsenknick wahrgenommenen Winkel zwischen erfahrenen Untersuchern übereinstimmen. Das Maß der Untersucher- und Messübereinstimmung wurde mittels Kreuztabelle und Kappa-Interrater-Reliabilität überprüft. Was bei der Durchführung der Winkelmessungen beachtet werden sollte, ist, dass eine veränderte Kopf-Hals-Position möglicherweise auch eine Veränderung des Winkels zwischen C2 und C3 zur Folge hat.

### **1.3. Befundung der Röntgenbilder**

Die Pferde mit der anatomischen Besonderheit eines oder zwei transpositionierten

Processus transversi wurden nach Häufigkeit jedoch nicht nach uni- oder bilateraler Transposition aufgelistet. Dies wurde bereits in anderen Arbeiten prozentuell ausgewertet und unterschieden (SANTINELLI et al., 2016). In dieser Arbeit soll nur ein Überblick gegeben werden, wie häufig diese anatomische Besonderheit in der Population der Warmblutpferde auftritt.

Die Klasseneinteilungen der Befunde wurden soweit möglich nach bereits in anderen Studien verwendeten Einteilungsschemata durchgeführt. Dies ermöglicht einen besseren Vergleich zwischen der Anzahl und Schwere der in dieser Studie erhobenen Befunde und den Ergebnissen anderer Studien. Bei der Einteilung der Facettengelenksarthrosen wurde auf die Einteilung nach ENGEL (2010) zurückgegriffen, da diese Klassifizierung bereits auch in einer anderen Studie in der adulte Warmblüter untersucht wurden, zum Einsatz kam (WILSMANN, 2016). Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der bei WILSMANN (2016) erhobenen Befunde adulter Warmblüter und der in dieser Studie erhobenen Befunde junger Warmblüter. Ein Punkt der bei dem Einteilungsschema von ENGEL (2010) aus klinischer Sicht möglicherweise problematisch ist, ist, dass zwei geringgradig auftretende Befunde gleich klassifiziert werden wie ein deutlicher Befund. Dies kann prognostisch zumeist jedoch nicht gleich gewertet werden und bildet deswegen eventuell einen Schwachpunkt in diesem Einteilungsschema. Die Einteilung der Verschattungen der Facettengelenke nach LAUTENSCHLÄGER (2007) wurde ebenfalls aufgrund ihrer Vergleichbarkeit zu adulten Warmblütern gewählt. Im Unterschied zu der Studie von LAUTENSCHLÄGER (2007) wurden in dieser Studie allerdings auch Foramina intervertebralia mit als gering gewerteten Doppelkonturen eingeteilt. Dabei wurde jedoch darauf geachtet, ob die Verschattungen aufgrund der Doppelkontur oder einer Einengung des Foramen entstanden. Die enthesophytären Zubildungen im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae wurden in dieser Studie nicht klassifiziert, da dies bereits in der Studie von ROHWERDER (2020) bei einer ähnlichen Probandengruppe durchgeführt wurde. Alle weiteren Befunde wurden erhoben und nach Art und Häufigkeit aufgelistet.

## **2. Diskussion der Ergebnisse**

### **2.1. Diskussion der Messungen**

Die angefertigten Messungen des MSD, HGF und LFG sind absolute Messungen, die insoweit eine gewisse Fehleranfälligkeit aufweisen, dass ein veränderter Film-

Fokusabstand einen veränderten Vergrößerungseffekt nach sich zieht. In dieser Studie ist versucht worden, stets einen Film-Fokus-Abstand von einem Meter einzuhalten. Ob dies jedoch bei jeder Aufnahme exakt möglich war, kann nicht garantiert werden.

Vergleicht man die in dieser Studie erhobenen Mittelwerte des MSD mit bereits vorhandenen Referenzwerten von MAYHEW (MAYHEW et al., 1978b; MAYHEW et al., 1993), so ist erkennbar, dass die in dieser Studie erhobenen Werte größer ausfallen. Die Größenverteilung der Mittelwerte des MSD der Jährlinge und Zweijährigen entspricht jedoch der bei MAYHEW et al. (1978b) für Pferde über 320kg erhobenen. In beiden Auswertungen ist der Mittelwert für C7 am größten, gefolgt von C2. Der Mittelwert des MSD von C6 bildet den drittgrößten Wert, gefolgt von dem Mittelwert von C5 und der Mittelwert von C4 den kleinsten Wert. Bei den Absetzern ist der Mittelwert des MSD von C2 größer als der von C7. Dies entspricht der Größenverteilung der Mittelwerte der von MAYHEW et al. (1978b) erhobenen Werte für Pferde unter 320kg. In dieser Studie wurde aus logistischen Gründen keine Gewichtserhebung durchgeführt. Erfahrungswerte besagen jedoch, dass Pferde, die in dieser Studie der Altersgruppe Absetzer entsprechen, im Normalfall unter 320kg wiegen. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass der Vergleich von MSD Werten an der Halswirbelsäule eines Pferdes hilfreiche diagnostische Informationen liefern kann.

Die Auswertung der Messergebnisse des MSD lässt erkennen, dass die Größe des MSD mit zunehmendem Alter und Stockmaß steigt. Der Zusammenhang von Stockmaß und Größe des MSD ist dabei von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ), während das Alter nur im Zusammenhang mit dem Stockmaß eine höchst signifikante Beziehung ( $p \leq 0,001$ ) zur Größe der MSD-Werte aufweist. Wird der alleinige Zusammenhang von Alter und Größe der MSD-Werte betrachtet, so ist dieser nicht signifikant. Dies bedeutet, dass mit zunehmendem Wachstum des Pferdes auch der Durchmesser des Rückenmarkkanals zunimmt. Zumindest bei Pferden im Wachstum kann deshalb bei größeren Pferden, auch von einem größeren MSD-Wert ausgegangen werden. Bei der einfaktoriellen Varianzanalyse ergab sich zwischen den Altersgruppen ein Unterschied von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Die mittels Post-hoc-Test nach Bonferroni ermittelten Unterschiede zwischen den Altersgruppen der Absetzer und Jährlinge sowie Absetzer und Zweijährigen waren von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ), was vermutlich an dem

deutlichen Stockmaßunterschied dieser Altersgruppen liegt. Der nicht signifikante Unterschied zwischen den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen, hängt höchstwahrscheinlich mit den geringeren Größenunterschieden der Pferde dieser Altersgruppen zusammen. Der enge Zusammenhang der Größe der MSD-Werte mit dem Stockmaß, lässt vermuten, dass die hier ermittelten Werte und deren Differenzen möglicherweise auch für adulte Pferde verschiedenen Stockmaßes Gültigkeit besitzen.

Die Frage, ob bei der Größe der MSD-Werte geschlechtsspezifische Unterschiede bestehen, ist in dieser Studie nicht eindeutig zu beantworten. Bei den Altersgruppen der Absetzer und Jährlinge weisen bei den meisten Halswirbeln die männlichen Tiere größere MSD-Werte auf. Bei den Zweijährigen verhält sich dieser Umstand jedoch genau umgekehrt. Nachdem bei dem zweiseitigen T-Test des Größenvergleichs der Pferde zwischen den beiden Geschlechtern innerhalb der Altersgruppen kein signifikanter Unterschied ermittelt wurde, kann hier keine eindeutige Aussage über den Zusammenhang der Größe der MSD-Werte und Geschlecht getroffen werden. Die bei Absetzern verhältnismäßig höheren MSD-Werte der männlichen Probanden stehen im deutlichen Widerspruch zu den von MAYHEW et al. (1993) erhobenen Werten bei Vollblutfohlen, bei denen die weiblichen Tiere bei allen Halswirbeln deutlich größere MSD-Mittelwerte aufwiesen. Die MSD-Mittelwerte von Vollblutfohlen unterscheiden sich in ihrer Größe im Allgemeinen von den in dieser Studie erhobenen Werten und auch die Größenanordnung des MSD der einzelnen Halswirbel fällt anders aus (MAYHEW et al., 1993). Dass dies an den unterschiedlichen Rassemerkmalen von Vollblütern und Warmblütern liegt, ist zu vermuten.

Auch bei der Betrachtung der Ergebnisse des Intravertebralen Verhältnisses soll der Fragestellung nachgegangen werden, inwieweit bereits bekannte Referenzwerte auf Pferde im Wachstum angewendet werden können. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen einen deutlichen Unterschied zu den in Studien an adulten Pferden ermittelten Werten. In den vorhergehenden Studien von MAYHEW und GREEN, (2000) und LAUTENSCHLÄGER (2007) wurde für alle Halswirbel mit Ausnahme jeweils eines Wertes, bei dem der Mittelwert 59% betrug, ein Intervertebrales Verhältnis von über 60% berechnet. Diese Ergebnisse bilden einen deutlichen Unterschied zu den in dieser Studie ermittelten Werten von 51% bei C4 bis 56% bei C7. Kein Mittelwert des Intravertebralen Verhältnisses dieser Studie lag über

60%. Dies führt zu der Annahme, dass Referenzwerte für adulte Tiere bei jungen Pferden nicht uneingeschränkt anwendbar sind.

Betrachtet man die Mittelwerte des Intravertebralen Verhältnisses der Absetzer, fällt auf, dass der höchste Wert von C3 mit 50,85% als einziger über 50% liegt, alle anderen Wirbel weisen Mittelwerte unter 50% auf. Dies bedeutet einen Unterschied von 10% zu den für adulte Tiere etablierten Werten. Die Mittelwerte der zweijährigen Pferde liegen zwischen 54,28% (C4) und 60,84% (C7) und weisen bereits einen deutlich geringeren Unterschied zu den Referenzwerten für adulte Tiere auf. Die Mittelwerte der Jährlinge liegen fast genau mittig zwischen denen der Absetzer und der Zweijährigen. Die einfaktorielle Varianzanalyse bestätigt einen höchst signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,001$ ) zwischen den einzelnen Altersgruppen. Die errechneten Werte zwischen der Altersgruppe der Absetzer und den Altersgruppen der Ein- und Zweijährigen betragen einen Unterschied höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ), während die Unterschiede der Werte des Intravertebralen Verhältnisses zwischen den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen nicht signifikant sind. Während das Alter einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) mit der Größe des Intravertebralen Verhältnisses aufweist, weißt das Stockmaß unabhängig vom Alter keinen signifikanten Zusammenhang mit der Größe des Intravertebralen Verhältnisses auf. Daraus kann geschlossen werden, dass das Intravertebrale Verhältnis sich im Laufe des Wachstums der Pferde verändert und mit steigendem Alter an Größe zunimmt.

Dies bedeutet, dass die hier ermittelten Werte auch bei kleineren Pferderassen Gültigkeit besitzen könnten. Vergleicht man die von MAYHEW und GREEN (2000) an Quarter Horses und von LAUTENSCHLÄGER (2007) an Warmblütern durchgeführten Berechnungen des Intravertebralen Verhältnisses unterscheiden sich die in den beiden Studien ermittelten Werte der einzelnen Halswirbel um jeweils 1%. Eine Ausnahme hierzu bildet das Intravertebrale Verhältnis von C2, welches stark abweicht und in dieser Studie aufgrund der anatomischen Besonderheiten des Wirbels und der geringen Übereinstimmung in anderen Studien nicht ermittelt worden ist. Dies verstärkt die Vermutung, dass die hier ermittelten Referenzwerte für junge Pferde möglicherweise auch für andere Pferderassen übernommen werden könnten.

Vergleicht man die Mittelwerte der in dieser Studie ermittelten Intravertebralen Verhältnisse zwischen den beiden Geschlechtern sind in allen Altersgruppen

ausnahmslos bei allen Halswirbeln die Werte der weiblichen Tiere größer. Der Unterschied um wieviel Prozent die Werte der weiblichen Tiere größer sind, steigt von unter 2%, bei den Absetzern zu über 3% bei der Altersgruppe der Zweijährigen. Der prozentuelle Unterschied ist im Vergleich zu dem Unterschied zwischen den Altersgruppen eher gering, aber konsequent bei allen berechneten Mittelwerten vorhanden. Daraus kann geschlossen werden, dass weibliche Tiere ein höheres Intravertebrales Verhältnis aufweisen als männliche Pferde des gleichen Alters.

Die Mittelwerte der Höhenmessungen der Facettengelenke weisen sehr starke Unterschiede zwischen den einzelnen Facettengelenken auf. Die Höhe der Facettengelenke nimmt zu, je weiter caudal das Facettengelenk liegt. In gleichem Maße vergrößert sich der Höhenunterschied deutlich. Dieses Ergebnis ist grundsätzlich nicht überraschend, da die Tatsache, dass die caudalen Facettengelenke größer sind als die weiter cranial gelegenen durchaus bekannt ist. Dass jedoch die Höhe des Facettengelenkes C6/7 einer gesunden Halswirbelsäule um 6mm größer ist als von C5/6, ist dennoch ein überraschend deutliches Ergebnis. Die einfaktorielle Varianzanalyse bestätigt einen höchst signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,001$ ) zwischen den drei Altersgruppen und der Post-hoc-Test nach Bonferroni einen höchst signifikanten Unterschied ( $p \leq 0,001$ ) zwischen der Altersgruppe der Absetzer und den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen, während der Unterschied zwischen den Jährlingen und Zweijährigen nicht signifikant ist. Da die Jährlinge im Altersgruppenvergleich geringgradig höhere Facettengelenke als die Zweijährigen aufweisen, ist dieses Ergebnis nicht überraschend.

Die Korrelationsberechnung nach Pearson ergibt einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) zwischen Alter und Stockmaß und der Größe der Höhenmessungen der Facettengelenke. Die partielle Korrelation bestätigt aber nur für das Stockmaß einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) mit den Werten der Höhenmessungen. Wird der Zusammenhang vom Alter und den Höhenmessungen unabhängig vom Stockmaß betrachtet ist dieser nicht signifikant. Dies bedeutet, dass ein kleingeblienes älteres Pferd eine geringere Höhe der Facettengelenke aufweist als ein großgewachsenes jüngeres Pferd. Der geringe Zusammenhang mit dem Alter der Pferde lässt die Vermutung zu, dass die hier ermittelten Werte für die Höhe der Facettengelenke möglicherweise auch auf ausgewachsene Pferde der gleichen Größe angewendet werden können.

Betrachtet man die Mittelwerte der Höhenmessungen der Absetzer im Geschlechtervergleich, so haben bei den Facettengelenken C3/4, C5/6 und C6/7 die männlichen, bei den Facettengelenken C2/3 und C4/5 die weiblichen Tiere höhere Mittelwerte. Im Gegensatz zu den eher undeutlichen Ergebnissen der Absetzer weisen bei den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen bei allen Facettengelenken die männlichen Pferde um mindestens 2mm höhere Facettengelenke auf als die weiblichen Tiere gleichen Alters. Da die männlichen Pferde kein durchschnittlich größeres Stockmaß haben als gleichalte weibliche Pferde, lässt sich aufgrund der in dieser Studie ermittelten Ergebnisse die Aussage treffen, dass männliche Pferde im Laufe des Wachstums höhere und damit möglicherweise stabilere Facettengelenke entwickeln als weibliche Pferde.

Das Höhenverhältnis der Facettengelenke C4/5, C5/6 und C6/7 zu C3/4 wird umso größer, je weiter caudal das Facettengelenk liegt. Dies ist insofern wenig überraschend, da die Höhenmesswerte bei den caudalen Facettengelenken ebenfalls größer ausfielen als bei den weiter cranial gelegenen. Der Größenunterschied des VHFG beträgt zwischen den drei berechneten Facettengelenken jeweils über 10%. Betrachtet man die berechneten Mittelwerte der einzelnen Altersgruppen, so fällt auf, dass die Werte sich zwischen den Altersgruppen ebenfalls umso deutlicher unterscheiden, je weiter caudal das Facettengelenk liegt. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab nur für C6/7 einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,025$ ) zwischen den Gruppen. Der Post-hoc-Test nach Bonferroni ergab ebenfalls nur bei C6/7 einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,021$ ) zwischen den Gruppen der Absetzer und Zweijährigen. Alle anderen Gruppenunterschiede wiesen keine Signifikanz auf.

Während also cranialer gelegene Facettengelenke ihre Größenverhältnisse zu dem Facettengelenk C3/4 im Wachstum weitgehend beibehalten, verändert sich das Verhältnis des Facettengelenks C6/7 durchaus. Ob die Veränderungen der Größenverhältnisse als rein physiologisch zu betrachten sind, kann hier in Anbetracht der Häufigkeit von Facettengelenksveränderungen bei Warmblutpferden nicht mit letzter Sicherheit gesagt werden. Fest steht jedoch, dass die Pferde, deren Messwerte in die Mittelwertberechnungen miteinbezogen wurden, keine röntgenologischen Auffälligkeiten aufwiesen. Weshalb sich allein das Höhenverhältnis von C6/7 im Laufe des Wachstums zu verändern scheint, ist durch die in dieser Studie erhobenen Daten nicht erklärbar. Denkbar wäre, dass dies

mit einer größer werdenden Belastung der Halswirbelsäule im Bereich des Überganges zur Brustwirbelsäule durch eine altersbedingte Zunahme von Muskelmasse zusammenhängt.

Sowohl die Korrelationsberechnung nach Pearson als auch die partielle Korrelation ergaben keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Größe der VHFG-Werte und Alter und Stockmaß. Das Ergebnis der Untersuchung dieses Wertes ist also, dass keine mit dem Alter oder Stockmaß zusammenhängenden Veränderungen der Höhenverhältnisse von C4/5, C5/6 und C6/7 zu dem Facettengelenk C3/4 stattfinden. Dies lässt die Vermutung zu, dass durch homogenes Wachstum der Wirbelsäule alle Facettengelenke im gleichen Maße an Größe zunehmen und vermutlich auch bei erwachsenen Pferden dieselben Größenverhältnisse aufweisen.

Vergleicht man die Mittelwerte der beiden Geschlechter miteinander, so ist keine richtige Konstante zu finden. Bei den Absetzern und Zweijährigen weisen die männlichen Pferde größere Werte auf, bei den Jährlingen jedoch die weiblichen. Eine Aussage über einen geschlechtsbedingten Größenunterschied der Werte kann so nicht festgestellt werden.

Während das VHFG eine gute Möglichkeit bietet, Werte innerhalb der Wirbelsäule des Pferdes zu vergleichen um eine Abweichung der Höhe eines Facettengelenks zu ermitteln, muss als mögliche Fehlerquelle dieser Berechnungen jedoch, wie bei absoluten Messungen, ein veränderter Film-Fokus-Abstand beachtet werden.

Ebenso wie bei der Höhe der Facettengelenke steigen auch bei der Länge der Facettengelenksspalten die Mittelwerte je weiter caudal gelegen das Facettengelenk ist. Vergleicht man die Mittelwerte der Altersgruppen miteinander, sind die der Jährlinge und Zweijährigen bei allen Facettengelenken um über 9mm größer als die der Absetzer. Vergleicht man jedoch die Mittelwerte der ein- und zweijährigen Pferde so sind bei den Facettengelenken C2/3 und C6/7 die Mittelwerte der Jährlinge größer als die der Zweijährigen. Die einfaktorielle Varianzanalyse ergab für den Gruppenunterschied eine höchste Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ). Der Post-hoc-Test nach Bonferroni ergab einen Unterschied von höchster Signifikanz ( $p \leq 0,001$ ) zwischen der Altersgruppe der Absetzer und den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen, jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen den Altersgruppen der Jährlinge und Zweijährigen.

Die Korrelationsberechnung nach Pearson ergab einen höchst signifikanten Zusammenhang zwischen Alter und Stockmaß und der Länge der Facettengelenksspalten. Die partielle Korrelation ergab einen höchst signifikanten Zusammenhang von Stockmaß und den Werten der Länge des Facettengelenksspaltes aber keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter und der Länge des Facettengelenksspaltes.

Die bei diesen Messungen nur im Zusammenhang mit dem Stockmaß vorhandene Relation des Alters mit der Länge der Facettengelenksspalten lässt auch bei diesen Messungen vermuten, dass Pferde anderer Rassen und anderen Alters ähnliche Messwerte, wie die in dieser Studie erhobenen aufweisen dürften.

Vergleicht man die Größe der Mittelwerte zwischen den männlichen und weiblichen Pferden, so besitzen die männlichen Tiere größere Mittelwerte. Als einzige Ausnahme muss hier der Mittelwert der Länge des Facettengelenksspaltes C2/3 der Altersgruppe der Absetzer erwähnt werden. Zusammen mit den Ergebnissen der Höhenmessungen der Facettengelenke lässt sich hier die Aussage, dass die Facettengelenke der männlichen Pferde schneller wachsen als die der weiblichen Pferde bestätigen.

Die Winkelmessungen der Achse zwischen C2 und C3 ergab, dass ein Fünftel der 80 untersuchten Pferde einen nicht physiologischen Winkel aufwies. Bis auf zwei konnten jedoch alle von der Norm abweichenden Winkelmessungen als geringgradig eingestuft werden. Jede von der physiologischen Achse abweichende Winkelung des zweiten und dritten Halswirbels kann als Achsenknick bezeichnet werden. Neben 14 geringgradigen Achsenabweichungen, wies ein Pferd einen mittelgradigen und ein Pferd einen hochgradigen Achsenknick auf. In beiden Fällen kann nicht von einer Subluxation gesprochen werden, da keine Inkongruenz im Gelenk mit Stufenbildung zu erkennen ist. Eine Verengung des Rückenmarkskanals ist bei der hochgradigen Veränderung jedoch erkennbar. Eine weitere Auffälligkeit der als mittelgradig und hochgradig eingestuften Achsenknicke ist die Veränderung der Weite des Gelenksspaltes des Intervertebralgelenks. Vor allem bei der hochgradigen Veränderung ist deutlich erkennbar, dass im ventralen Bereich der Gelenksspalt verkleinert und im dorsalen Bereich vergrößert ist und damit eine Inkongruenz aufweist.

Bei dem Vergleich der Untersucherbefundung mit den gemessenen

Gradeinteilungen wurden die beiden als mittelgradig und hochgradig eingestuften Veränderungen von beiden Untersuchern zweifelsfrei richtig zugeordnet. Was bei dem Vergleich der Klasseneinteilung von Untersuchern und Messungen auffällt, ist, dass die meisten anders beurteilten Achsenmessungen nahe an den Grenzwerten liegen. Dies bestätigt, dass die Grenzwerte der Klassifizierung sinnvoll gewählt wurden.

Die Überprüfung der Interrater-Reliabilität mittels Kappa ergab sowohl für die Untersucherübereinstimmung als auch die Untersucher-Mess-Übereinstimmung beider Untersucher einen Wert Kappa, der als substantiell beurteilt wird.

Obwohl Achsenknicke bekannte Auffälligkeiten darstellen, gibt es keinerlei Studien zu deren klinischen Bedeutung. Dass hochgradige und höchstgradige Winkelabweichungen zu neurologischen Symptomen führen können, ist anzunehmen und kann durch eine myelographische Untersuchung bestätigt werden (BÖHM und HEBELER, 1980). Inwieweit und ob die als geringgradig und mittelgradig bezeichneten Winkelabweichungen zu klinischen Problemen führen, kann jedoch in dieser Studie nicht eingeschätzt werden.

## **2.2. Diskussion der Befunderhebungen**

Bei insgesamt 13 der 84 röntgenologisch untersuchten Pferde wurde eine uni- oder bilaterale Transposition des Processus transversus von C6 auf C7 festgestellt. Inwieweit diese anatomische Besonderheit eine klinische Relevanz aufweist, ist noch nicht erwiesen (GEE et al., 2020).

Von 69 der für diese Studie untersuchten Pferde wurden auch Genickaufnahmen angefertigt. Davon wiesen 39 Pferde enthesophytäre Zubildungen im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae auf. Der in dieser Studie erhobene Prozentsatz von Pferden mit Zubildungen lag bei 56,5% und führt damit zu einem sehr ähnlichen Ergebnis wie die Studie von ROHWERDER (2020). Da die in dieser Studie untersuchten Pferde noch keine Arbeit als Reitpferd verrichteten, können alle hier befundeten Zubildungen als trainingsunabhängig angesehen werden. Betrachtet man den prozentuellen Anteil an Pferden mit Enthesophyten in jeder Altersgruppe, so kann kein Zusammenhang mit der Häufigkeit von Zubildungen und zunehmendem Alter festgestellt werden. Es sollte allerdings beachtet werden, dass die Anzahl an Pferden von denen Genickaufnahmen angefertigt wurden in jeder Altersgruppe sehr unterschiedlich ausfiel. Da bei den Zweijährigen nur von

13 Pferden Genickaufnahmen vorlagen, kann bei diesen nicht von einer repräsentativen Gruppe ausgegangen werden.

Von 83 Pferden mit gut auswertbaren Röntgenbildern des Facettengelenks C6/7 wiesen 21 Pferde (=25%) Veränderungen auf, die einer Facettengelenksarthrose entsprechen. Keine der befundeten Veränderungen entsprach einer höchstgradigen Veränderung. Drei Pferde wiesen jedoch als hochgradig einzustufende Facettengelenksarthrosen auf. Ein Pferd zeigte sowohl mittelgradige arthrotische Veränderungen am Facettengelenk C6/7, als auch geringgradige Veränderungen am Facettengelenk C5/6. Bei allen anderen Pferden wurden ausschließlich am Facettengelenk C6/7 Veränderungen im Sinne einer Facettengelenksarthrose diagnostiziert. Der in dieser Studie ermittelte Anteil an Pferden mit Facettengelenksarthrose von 25%, liegt deutlich unter den in anderen Studien ermittelten Prozentsätzen bei Warmblutpopulationen (GERBER et al., 1989; LEVINE et al., 2007; WILSMANN, 2016). Wird jedoch das Alter der hier untersuchten Pferde sowie die Tatsache, dass diese noch keine Arbeit als Reitpferde verrichteten, berücksichtigt, kann der hier ermittelte Prozentsatz durchaus als hoch gewertet werden. Während die Pferde der Altersgruppe der Zweijährigen die meisten und auch schwerwiegendsten Befunde aufwiesen, wurden bei den Absetzern mehr und schwerwiegendere arthrotische Veränderungen befundet als bei den Jährlingen.

Bei den zweijährigen Pferden wiesen 2 Pferde hochgradige Befunde, vier Pferde mittelgradige Befunde und zwei Pferde geringgradige Befunde auf. Bei den Absetzern wurden 1 Pferd mit einem hochgradigen Befund, drei Pferde mit mittelgradigen Befunden und drei Pferde mit geringgradigen Befunden diagnostiziert. In der Altersgruppe der Jährlinge wiesen im Gegensatz dazu 2 Pferde mittelgradige Befunde und vier Pferde geringgradige Befunde auf. Ein Zusammenhang von Anzahl und Schwere der Facettengelenksarthrose und dem Alter der Pferde kann hier also nur bedingt festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen den in dieser Studie diagnostizierten, arthrotischen Veränderungen an den Facettengelenken und der Belastung als Reit- oder Sportpferd und einer dadurch bedingten eventuell unphysiologischen Halshaltung kann aufgrund des Alters der Pferde komplett ausgeschlossen werden. Die Vermutung einer genetischen Komponente bei Facettengelenksarthrosen liegt bei den Ergebnissen dieser Studie hingegen nahe.

Die Auswertungen der Verschattungen des Foramen intervertebrale C5/6 ergaben, dass insgesamt 21 Pferde (25%) Verschattungen aufwiesen. Davon wurden 3 als Verschattungen der Klasse 2 gewertet, alle anderen entsprachen Verschattungen der Klasse 1. Bei dem Foramen intervertebrale C6/7 wurden insgesamt achtundzwanzig Verschattungen als Klasse 1 (dorsale Hälfte des Foramen intervertebrale verschattet) und elf als Klasse 2 (ventrale Hälfte des Foramen intervertebrale verschattet) gewertet. Dies entspricht prozentuell 46% der Pferde, welche Verschattungen an C6/7 aufwiesen. Kein Pferd wies eine Verschattung der Klasse 3 auf. Vergleicht man die in dieser Studie ermittelten Ergebnisse mit denen von LAUTENSCHLÄGER (2007) bei guttrittenen Pferden erhobenen Befunden des Foramen intervertebrale, so ist der Prozentsatz von Pferden mit Verschattungen des Foramen intervertebrale C5/6 mit 32% und C6/7 mit 48% bei LAUTENSCHLÄGER (2007) geringgradig höher. Im Gegensatz zu dieser Studie wurde bei LAUTENSCHLÄGER (2007) ein kleiner Prozentsatz der Pferde mit komplett verschattetem Foramen intervertebrale diagnostiziert. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die Anzahl und Art der Verschattungen des Foramen intervertebrale C5/6 und C6/7 sich bei jungen Pferden nur gering von denen symptomloser adulter Pferde unterscheidet.

Abschließend muss festgestellt werden, dass Vermessungsergebnisse von Röntgenbildern der Halswirbelsäule junger, im Wachstum befindlicher Pferde sich deutlich von denen adulter Pferde unterscheiden. Um eine Aussage über mögliche Rückenmarkskompressionen oder pathologische Vergrößerungen der Facettengelenke zu treffen, sollten Messergebnisse stets mit denen von Pferden gleichen Alters verglichen werden. Dies soll durch die in dieser Studie erhobenen Daten zumindest für Warmblutpferde ermöglicht werden. Die in dieser Studie durchgeführte Befunderhebung zeigt, dass bei adulten Pferden häufig diagnostizierte Veränderungen nicht ausschließlich der Belastung oder dem Alter der Pferde zugeschrieben werden können. Ob bestimmten pathologischen Veränderungen der Halswirbelsäule bei Warmblutpferden eine genetische Disposition der Pferde zugrunde liegt, kann vermutet, durch diese Studie jedoch nicht bewiesen werden. Als Fazit muss jedoch gesagt werden, dass zur Beurteilung des Gesundheitszustandes eines jungen Warmblutpferdes im Rahmen einer röntgenologischen Untersuchung, die Halswirbelsäule auch bei symptomlosen Pferden sinnvoll sein kann, insbesondere in der Zuchtauswahl.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

**Ziel:** Neben Ataxien werden bei jungen Warmblutpferden immer häufiger auch Facettengelenksarthrosen festgestellt. Das Ziel dieser Studie war zu überprüfen, ob die für adulte Pferde etablierten Referenzwerte für Messungen des Wirbelkanals an Röntgenbildern der Halswirbelsäule auch für junge, sich im Wachstum befindliche Pferde Gültigkeit besitzen. Zusätzlich sollten Messungen an den Facettengelenken durchgeführt und Referenzwerte für eine objektive röntgenologische Untersuchung der Facettengelenke generiert werden. Alle erhobenen Messwerte sollten auf Unterschiede zwischen drei Altersgruppen überprüft werden und dadurch aufzeigen, welche wachstumsbedingten Veränderungen der Halswirbelsäule bei der röntgenologischen Untersuchung beachtet werden müssen. Neben der Anfertigung der Messungen wurden alle Röntgenbilder befundet, um die Prävalenz von röntgenologischen Befunden bei jungen klinisch unauffälligen Warmblutpferden aufzuzeigen.

**Methode:** Für diese Studie wurden von 84 Warmblutpferden im Alter von 2 – 35 Monaten laterale Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule angefertigt. Bei den Halswirbeln C2-C7 wurde der Minimale Sagittale Durchmesser (MSD) (Definition S.45) und bei den Halswirbeln C3-C7 das Intravertebrale Verhältnis (IVV) (Definition S.46) gemessen und berechnet. Zusätzlichen wurden bei den Facettengelenken C2/3 – C6/7 die Höhe des Facettengelenkes (HFG) (Definition S.47) und die Länge des Facettengelenksspalt (LFG) (Definition S.48) gemessen. Von der Höhe der Facettengelenke C4/5, C5/6 und C6/7 wurde ein Verhältnis mit der Höhe des Facettengelenks C3/4 (VHFG) (Definition S.47) gebildet. Alle ermittelten Werte wurden auf ihre Abhängigkeit von Alter und Stockmaß untersucht sowie auf Geschlechterunterschiede überprüft. Des Weiteren wurden alle Röntgenbilder auf Befunde untersucht, welche erhoben, klassifiziert und nach Art und Häufigkeit aufgelistet wurden.

**Ergebnisse:** Die in dieser Studie erhobenen Mittelwerte für den MSD fielen größer aus als in vorhergehenden Studien mit adulten Pferden und Vollblutfohlen, die Größenverteilung innerhalb der Wirbelsäule entsprach diesen jedoch. Der MSD zeigte einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) mit dem Stockmaß der Pferde. Ein Einfluss des Geschlechts auf die ermittelten Werte konnte nicht

festgestellt werden. Die errechneten Mittelwerte des Intravertebralen Verhältnisses lagen bei der Altersgruppe der Absetzer bei allen Wirbeln unter 50%, bei den Jährlingen zwischen 51%-53% und bei den Zweijährigen zwischen 54%-60%, wobei bei C7 stets die größten Mittelwerte berechnet wurden. Das Intravertebrale Verhältnis zeigte einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) mit dem Alter der Pferde und die weiblichen Pferde wiesen größere Mittelwerte auf als die männlichen derselben Altersgruppe. Die Messungen der Höhe der Facettengelenke ergaben einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) mit dem Stockmaß der Tiere und die männlichen Pferde wiesen größere Mittelwerte auf als die weiblichen derselben Altersgruppe. Die größten Mittelwerte wurden stets für das Facettengelenk C6/7 erhoben. Das Höhenverhältnis der Facettengelenke war umso höher, je weiter caudal gelegen das betrachtete Facettengelenk ist. Die berechneten Werte zeigten keinen signifikanten Zusammenhang mit Alter und Stockmaß. Die Länge der Facettengelenksspalten war umso größer, je weiter caudal gelegen das Facettengelenk war und zeigte einen höchst signifikanten Zusammenhang ( $p \leq 0,001$ ) mit dem Stockmaß der Pferde. Die männlichen Pferde wiesen auch bei diesem Wert größere Mittelwerte als die weiblichen derselben Altersgruppe auf.

Die Befunderhebung ergab bei 13,75% der röntgenologisch untersuchten Pferde einen Achsenknick zwischen C2 und C3, bei 15,5% eine Transposition des Processus transversus von C6 auf C7 und 56,5% wiesen Enttheseophyten am Okziput auf. Des Weiteren zeigten 25,30% der Pferde arthrotische Veränderungen am Facettengelenk C6/7, 25% eine Verschattung des Foramen intervertebrale C5/6 und 46,4% eine Verschattung des Foramen intervertebrale C6/7.

**Schlussfolgerung:** In dieser Studie wurden erstmalig Halswirbelsäulen von jungen Warmblutpferden röntgenologisch untersucht, vermessen und befundet. Die Ergebnisse der etablierten Messungen des MSD und Intravertebralen Verhältnisses ergaben, dass junge Pferde im Wachstum andere Werte aufweisen als adulte Pferde und deshalb unterschiedlich beurteilt werden müssen. Die Messungen der Facettengelenke zeigten, dass diese mit ansteigendem Stockmaß der Pferde in ihrer Größe zunehmen.

Die Befunderhebung zeigte, dass bei jungen ungerittenen Warmblutpferden im Vergleich zu gerittenen Pferden Veränderungen in ähnlichem Ausmaß auftreten. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass arthrotische Veränderungen der Halswirbelsäule nicht allein alters- und trainingsabhängig bedingt sind, sondern

---

eine genetische Komponente zu berücksichtigen ist. Die daraus resultierende Schlussfolgerung ist, dass bei röntgenologischen Untersuchungen zur Abklärung des Gesundheitszustandes bei jungen Warmblutpferden die röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule zukünftig, insbesondere in der Zuchtsektion, berücksichtigt werden sollte.

## VII. SUMMARY

*Radiologic assessment and biometric establishment of reference values for facet joints and the spinal canal of the cervical vertebrae on 84 warmblood horses younger than 3 years*

**Objective:** The diagnosis of ataxia and arthropathies of the cervical vertebrae in young warmblood horses show a gradual increase. The study at hand seeks to evaluate whether for adult horses established reference values of radiologic measurements of the cervical vertebrae are also valid for young, growing horses. Additionally, to the established measurements of the vertebral canal, measurements of the facet joints were obtained to generate reference values for an objective assessment of facet joint disease. The generated data was compared between three different age groups to evaluate their growth induced radiologic differences. Furthermore, all obtained radiographs were assessed for pathologic findings to reveal their prevalence in young, clinically inconspicuous warmblood horses.

**Method:** For this study, lateral radiographs of 84 warmblood horses between the age of 2 to 35 months were obtained. For the cervical vertebrae C2-C7, the minimal sagittal ratio was measured and for the cervical vertebrae C3-C7, the intravertebral sagittal ratio calculated. For the facet joints C2/3 to C6/7 the height as well as the length of the facet joint space was measured. From the height of the facet joints C4/5, C5/6 and C6/7 the ratio to the facet joint C3/4 was determined. All obtained results were examined for their dependency on age and height, as well as differences between genders.

**Results:** The calculated means of the MSD measurements in this study were higher than those in previous studies featuring adult horses and thoroughbred foals, although their height distribution within the cervical vertebrae was the same. The MSD values correlated with the highest significance ( $p \leq 0,001$ ) in height. Differences between genders could not be determined. The calculated means of the Intravertebral ratio of the youngest age group were all below 50%, those of the age group termed yearlings lay between 51%-53% and those of the two-year-old's between 54%-60%. The highest values in each age group were obtained for C7. The Intervertebral ratio correlated with the highest significance ( $p \leq 0,001$ ) in age and the female horses showed higher means than the males of the same age group. The

height measurements of the facet joints revealed the highest significance ( $p \leq 0,001$ ) of correlation in regards to height and higher means were obtained for male horses. In all age groups C7 had the largest values of means. The height ratio of the facet joints was higher the further caudal the joint was situated. The calculated values did not correlate significantly with age and height. The means of the length of the facet joint space showed higher values in caudal than cranial vertebrae and correlated with highest significance ( $p \leq 0,001$ ) with height. The values of male horses were higher than those of females.

The results of the pathological assessment showed that 13,75% of the radiographic evaluated horses had an abnormal angulation between C2 and C3, 15,5% showed a transposition of the transverse processes from C6 to C7 and 56,5% displayed enthesophytes in the nuchal ligament. In addition, 25,3% of all horses presented signs of arthropathic deformation in the facet joint C6/7, 25% had a narrowed intervertebral foramen of C5/6 and 46,4% a narrowed intervertebral foramen of C6/7.

**Conclusion:** In this study, radiographs of young, clinically sound warmblood horses were obtained, measured and assessed. The results of MSD and Intravertebral ratio revealed that young growing horses show disparate values than adults and therefore need to be assessed differently. The measurements of the facet joints verify that their size increases in the same way as the height of the horses.

The pathological findings showed that young unriden warmblood horses show the same types of deformation as ridden horses in recurring frequency. As a result of this study, arthropathic deformation should no longer be evaluated solely based on age and training, in addition, a genetic component should be considered. In conclusion, a radiographic examination to determine the health status of a young warmblood horse should always include the radiographic evaluation of the cervical vertebral column in the future, especially in breeding selections.

## VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Adams SB, Steckel R, Blevins W. Diskospondylitis in five horses. *J Am Vet Med Assoc* 1985; 186: 270-2.

Alcott CJ. Evaluation of ataxia in the horse. *Equine Veterinary Education* 2017; 29: 629-36.

Aleman M, Dimock AN, Wisner ER, Prutton JW, Madigan JE. Atlanto-axial approach for cervical myelography in a Thoroughbred horse with complete fusion of the atlanto-occipital bones. *Can Vet J* 2014; 55: 1069-73.

Aleman M, Nout-Lomas YS, Reed SM. Disorders of the Neurologic System. In: *Equine Internal Medicine: ELSEVIER* 2018:

Barnes HG, Tucker RL, Grant BD, Roberts GD, Prades M. Lag screw stabilization of a cervical vertebral fracture by use of computed tomography in a horse. *JAVMA* 1995; 206: 221-3.

Beccati F, Santinelli I, Nannarone S, Pepe M. Influence of neck position on commonly performed radiographic measurements of the cervical vertebral region in horses. *Am J Vet Res* 2018; 79: 1044-9.

Beck C, Middleton D, Maclean A, Lavelle R. Osteochondrosis of the second cervical vertebra of a horse. *Equine Vet J* 2002; 34: 210-2.

Bedenice D, Johnson AL. Neurologic Conditions Affecting the Equine Athlete. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2018; 34: 277-97.

Bergmann W, Bergknut N, Veraa S, Grone A, Vernooij H, Wijnberg ID, Back W, Grinwis GCM. Intervertebral Disc Degeneration in Warmblood Horses: Morphology, Grading, and Distribution of Lesions. *Vet Pathol* 2018; 55: 442-52.

Berner D. Der Einfluss der Kopf-Hals-Haltung auf die röntgenologische Darstellung der Hals- und Brustwirbelsäule des Pferdes. Diss. Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig 2013;

Birmingham S.S.W. RSM, Matton J.S., Saville W.J. Qualitative assessment of corticosteroid cervical articular facet injection in symptomatic horses. *Equine Veterinary Education* 2010; 22: 77-82.

Böhm D, Hebler W-G. Die funktionelle Röntgenuntersuchung der Halswirbelsäule des Pferdes unter Berücksichtigung der spinale Ataxie. *Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr.* 1980; 93: 181-4.

Bordbari MH, Penedo MCT, Aleman M, Valberg SJ, Mickelson J, Finno CJ. Deletion of 2.7 kb near HOXD3 in an Arabian horse with occipitoatlantoaxial malformation. *Anim Genet* 2017; 48: 287-94.

Boyd JS. Congenital deformities in two Clydesdale foals. *Equine Vet J* 1976; 8: 161-4.

Braun S, Lafrenz R. Fallbericht: Einsatz der fokussierten extrakorporalen Stoßwellentherapie bei einer isolierten Kalzifikation im Bereich des Ligamentum nuchae beim Pferd. *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 112, 2005: 70-4.

Brehm W, Nowak M, Rijkenhuizen A, Tietje S. Krankheiten des Schädels, des Genicks, des Halses, des Widerrists, der Wirbelsäule und des Beckens. In: *Handbuch Pferdepraxis* 70469 Stuttgart: Enke Verlag in Georg Thieme Verlag KG 2017:

Burkert BA, Kerwin SC, Hosgood GL, Pechman RD, Fontenelle JP. Signalment and clinical features of diskospondylitis in dogs: 513 cases (1980-2001). *J Am Vet Med Assoc* 2005; 227: 268-75.

Butler JA, Colles CM, Dyson S, Kold SE, Poulos PW (2017) *Clinical radiology of*

the horse. John Wiley & Sons, Ltd.

Cillan-Garcia E, Taylor SE, Townsend N, Licka T. Partial ostectomy of the dens to correct atlantoaxial subluxation in a pony. *Vet Surg* 2011; 40: 596-600.

Claridge HA, Piercy RJ, Parry A, Weller R. The 3D anatomy of the cervical articular process joints in the horse and their topographical relationship to the spinal cord. *Equine Vet J* 2010; 42: 726-31.

Clayton HM, Townsend HG. Cervical spinal kinematics: a comparison between foals and adult horses. *Equine Vet J* 1989a; 21: 193-5.

Clayton HM, Townsend HG. Kinematics of the cervical spine of the adult horse. *Equine Vet J* 1989b; 21: 189-92.

Colbourne CM, Raidal SL, Yovich JV, Howell JM, Richardson JL. Cervical diskospondylitis in two horses. *Aust Vet J* 1997; 75: 477-9.

Collins JD, Kelly WR, Twomey T, Farrelly BT, Whitty BT. Brucella-associated vertebral osteomyelitis in a thoroughbred mare. *Vet Rec* 1971; 88: 321-6.

Crochik SS, Barton MH. Case Report - Cervical vertebral anomaly and ventricular septal defect in an Arabian foal. *Equine Veterinary Education* 2009; 21: 207-11.

Denoix J-M, Pailloux J-P. *Physiotherapie und Massage bei Pferden*. Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co. 2000;

Denoix JM. Spinal biomechanics and functional anatomy. *Vet Clin North Am Equine Pract* 1999; 15: 27-60.

DeRouen A, Spriet M, Aleman M. Prevalence of Anatomical Variation of the Sixth Cervical Vertebra and Association with Vertebral Canal Stenosis and Articular

Process Osteoarthritis in the Horse. *Vet Radiol Ultrasound* 2016; 57: 253-8.

Dimock AN, Puchalski SM. Cervical radiology. *Equine Veterinary Education* 2010; 22: 83-7.

Dippel M, Zsoldos RR, Licka TF. An equine cadaver study investigating the relationship between cervical flexion, nuchal ligament elongation and pressure at the first and second cervical vertebra. *Vet J* 2019; 252: 1053-53.

Dixon PM, Rowlands AC. Atlanto-occipital joint infection associated with guttural pouch mycosis in a horse. *Equine Vet J* 1981; 13: 260-2.

Down SS, Henson FM. Radiographic retrospective study of the caudal cervical articular process joints in the horse. *Equine Vet J* 2009; 41: 518-24.

Dyson SJ. Lesions of the equine neck resulting in lameness or poor performance. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2011; 27: 417-37.

Ekman S. Ataxia in Swedish warmblood and standardbred horses. A radiologic and pathology study. *Zentralbl Veterinarmed A* 1990; 37: 379-91.

Engel MS. Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen röntgenologischen und knochenpräparatorischen Befunden an der kranialen Halswirbelsäule von Pferden. Diss. Tierärztliche Fakultät der LMU München 2010;

Falco MJ, Whitwell K, Palmer AC. An investigation into the genetics of 'wobbler disease' in thoroughbred horses in Britain. *Equine Vet J* 1976; 8: 165-9.

Firth EC, Alley MR, Hodge H. *Rhodococcus equi*-associated osteomyelitis in foals. *Aust Vet J* 1993; 70: 304-7.

Foley JP, Legendre AM. Treatment of coccidioidomycosis osteomyelitis with itraconazole in a horse. A brief report. *J Vet Intern Med* 1992; 6: 333-4.

Foss RR, Genetzky RM, Riedesel EA, Graham C. Cervical intervertebral disc protrusion in two horses. *Can Vet J* 1983; 24: 188-91.

Funk KA, Erickson ED. Case report. A case of atlanto-axial sub-luxation in a horse. *Can Vet J* 1968; 9: 120-3.

Furr MO, Anver M, Wise M. Intervertebral disk prolapse and diskospondylitis in a horse. *J Am Vet Med Assoc* 1991; 198: 2095-6.

Fürst A. Halswirbelsäulenarthrose beim Pferd: Eine Übersicht. *Praktischer Tierarzt* 2006; 87: 956-64.

Gee C, Small A, Shorter K, Brown WY. A Radiographic Technique for Assessment of Morphologic Variations of the Equine Caudal Cervical Spine. *Animals (Basel)* 2020; 10

Gerber H, Ueltschi G, Diehl M, Schatzmann U, Straub R. Untersuchungen an der Halswirbelsäule des Pferdes- Eine klinisch-radiologische Studie. *Schweizer. Arch. Tierheilk.* 1989; 131: 311-21.

Gerlach K, Muggli L, Lempe A, Breuer J, Brehm W. Successful closed reduction of an atlantoaxial luxation in a mature Warmblood horse. *Equine Veterinary Education* 2011; 24

Giguere S, Lavoie JP. *Rhodococcus equi* vertebral osteomyelitis in 3 quarter horse colts. *Equine Vet J* 1994; 26: 74-7.

Gilsenan WF. Clinical Commentary - Clinical evaluation of occipitoatlantoaxial malformation. *Equine Veterinary Education* 2017;

Girard C, Lepage OM, Rossier Y. Multiple vertebral osteochondrosis in a foal. *J Vet Diagn Invest* 1997; 9: 436-8.

Gomez Alvarez CB, Rhodin M, Bobber MF, Meyer H, Weishaupt MA, Johnston C, Van Weeren PR. The effect of head and neck position on the thoracolumbar kinematics in the unriden horse. *Equine Vet J Suppl* 2006: 445-51.

Gonda C, Crisman M, Moon M. Case Report - Occipitoatlantoaxial malformation in an Quarter Horse foal. *Equine Veterinary Education* 2001; 13: 289-91.

Griffin RL, Bennett SD, Brandt C, McAnly J. Case Report - Value of ventrodorsal radiographic views for diagnosis of transverse atlanto-occipital joint luxation in three American Saddlebred neonates. *Equine Veterinary Education* 2007; 19: 452-6.

Hahn CN, Handel I, Green SL, Bronsvort MB, Mayhew IG. Assessment of the utility of using intra- and intervertebral minimum sagittal diameter ratios in the diagnosis of cervical vertebral malformation in horses. *Vet Radiol Ultrasound* 2008; 49: 1-6.

Haupt J. Röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule des Pferdes im Rahmen der Ankaufsuntersuchung. Diss. med. vet. 2020. LMU München.

Haussler KK. Functional Anatomy and Clinical Biomechanics of the Equine Cervical Spine. AAEP Conference Paper 2016: 8-16.

Hellige M, Stadler P. Die radiologische Untersuchung der Halswirbelsäule des Pferdes. *Der Praktische Tierarzt* 2014; 95: 2-7.

Hellige M. Klinische Bedeutung der Verkalkungen im Bereich des Nackenbandes. Tagung über Pferdekrankheiten XXIII 2019: 87-8.

Henson FMD (2018) *Equine Neck and Back Pathology - Diagnosis and Treatment*. Wiley Blackwell

Hett AR, Busato A, Ueltschi G. Radiologische Messungen an der arthrotisch

veränderten Halswirbelsäule des Pferdes - eine retrospektive Studie. *Pferdeheilkunde* 2006; 22: 241-9.

Hoffman CJ, Clark CK. Prognosis for racing with conservative management of cervical vertebral malformation in thoroughbreds: 103 cases (2002-2010). *J Vet Intern Med* 2013; 27: 317-23.

Hudson NPH, Mayhew IG. Radiographic and myelographic assessment of the equine cervical vertebral column and spinal cord. *Equine Veterinary Education* 2005; 17: 34-8.

Hüntemann G. Vorkommen und Bedeutung der Insertionsdesmopathie des Ligamentum nuchae bei Pferden mit Rittigkeitsproblemen - eine radiologische und klinische Studie. Diss. med. vet. 2006. Freie Universität Berlin.

Huskamp B, Nowak M. Insertionsdesmopathien beim Pferd und einige ihrer Lokalisationen. *Pferdeheilkunde* 1988; 4: 3-12.

Jahn W, Lorenz I. Die röntgenologische Untersuchung der Halswirbelsäule. *Der Praktische Tierarzt* 2010; 91: 136-8.

Janes JG, Garrett KS, McQuerry KJ, Waddell S, Voor MJ, Reed SM, Williams NM, MacLeod JN. Cervical Vertebral Lesions in Equine Stenotic Myelopathy. *Vet Pathol* 2015; 52: 919-27.

Jansson N. What Is Your Diagnosis - Discus Prolaps. *JAVMA* 2001; 219: 1681-2.

Kaplan KM, Spivak JM, Bendo JA. Embryology of the spine and associated congenital abnormalities. *Spine J* 2005; 5: 564-76.

König HE, Liebich H-G. Anatomie der Haussäugetiere - Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer GmbH 2012;

Kuhnle C, Furst AE, Ranninger E, Suarez Sanchez-Andrade J, Kummerle JM. Outcome of Ventral Fusion of Two or Three Cervical Vertebrae with a Locking Compression Plate for the Treatment of Cervical Stenotic Myelopathy in Eight Horses. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2018; 31: 356-63.

Lautenschläger I. Die röntgenologische und Ultrasonographische Darstellung der Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. Diss. med. vet. 2007. Tiermedizinische Hochschule Hannover.

Lautenschläger I, Baumann I, Schulze M, Martens I, Rohn K, Stadler P. Die röntgenologische Darstellung der caudalen Facettengelenke der Halswirbelsäule beim Warmblutpferd. *Pferdeheilkunde* 2009; 25: 544-53.

Lautenschläger I, Baumann I, Martens I, Schulze M, Rohn K, Stadler P. Radiologische Messungen an der Halswirbelsäule des Warmblutpferdes. *Pferdeheilkunde* 2010; 26: 122-9.

Levine JM, Adam E, MacKay RJ, Walker MA, Frederick JD, Cohen ND. Confirmed and presumptive cervical vertebral compressive myelopathy in older horses: a retrospective study (1992-2004). *J Vet Intern Med* 2007; 21: 812-9.

Levine JM, Ngheim PP, Levine GJ, Cohen ND. Associations of sex, breed, and age with cervical vertebral compressive myelopathy in horses: 811 cases (1974-2007). *J Am Vet Med Assoc* 2008; 233: 1453-8.

Levine JMS, Peter V. Divers, Thomas J. Furr, Martin Mayhew, I. Joe Reed, Stephen Levine, Gwendolyn J. Foreman, Jonathan H. Boudreau, Christen Credille, Brent C. Tennent-Brown, Brett Cohen, Noah D. Multicenter case-control study of signalment diagnostic features, and outcome associated with cervical vertebral malformation-malarticulation in horses. *JAVMA* 2010; 237: 812-22.

Licka T. Closed reduction of an atlanto-occipital and atlantoaxial dislocation in a foal. *Vet Rec* 2002; 151: 356-7.

Lim CK, Hawkins JF, Vanderpool AL, Heng HG, Cooper GH, Caroline, Lenz SD. Osteochondritis dissecans-like lesions of the occipital condyle and cervical articular process joints in a Saddlebred colt horse. *Acta Veterinaria Scandinavia* 2017; 59:76

Lischer CJ, Withers JM, Timothy P. Accuracy of radiographic measurements of the Cervical Articular Process Joints of the horse. *Pferdeheilkunde* 2010; 26: 553-8.

MacKay RJ. Diagnostic Procedures. In: *Equine Surgery, Fourth Edition* edn3251 Riverport Lane, St. Louis, Missouri 63043: Elsevier, Saunders 2012a: 676-93.

MacKay RJ. Anatomy and Physiology of the Nervous System. In: *Equine Surgery: 2012b*: 665-76.

Mackie MK. Cervical stenotic myelopathy in a horse. *Can Vet J* 2001; 42: 943-4.

Marks D. Cervical nerve root impingement in a horse, treated by epidural injection of corticosteroids. *Journal of Equine Veterinary Science* 1999; 19: 399-401.

Martinelli MJ, N.W. R, B.D. G. Cervical arthropathy, myelopathy or just a pain in the neck? *Equine Veterinary Education* 2010; 22: 88-90.

Mayhew IG, Watson AG, Heissan JA. Congenital occipitoatlantoaxial malformations in the horse. *Equine Vet J* 1978a; 10: 103-13.

Mayhew IG, deLahunta A, Whitlock RH, Krook L, Tasker JB. Spinal cord disease in the horse. *Cornell Vet* 1978b; 68 Suppl 6: 1-207.

Mayhew IG. Measurements of the accuracy of clinical diagnoses of equine neurologic disease. *J Vet Intern Med* 1991; 5: 332-4.

Mayhew IG, Donawick WJ, Green SL, Galligan DT, Stanley EK, Osborne J. Diagnosis and prediction of cervical vertebral malformation in thoroughbred foals

based on semi-quantitative radiographic indicators. *Equine Vet J* 1993; 25: 435-40.

Mayhew IG. The Diseased Spinal Cord. Proceedings of the Annual Convention of the AAEP 1999;

Mayhew IG, Green CD. Accuracy of diagnosing CVM from radiographs. Proceedings of the 39th Annual Congress of the British Equine Veterinary Association 2000; 39

Mayhew IG. Cervical vertebral fractures. *Equine Veterinary Education* 2009; 21: 536-9.

McClanahan S, MacLeay JM, Wilson J, Walter P. What Is Your Neurologic Diagnosis. *JAVMA* 1988; 213: 31-3.

McCoy DJ, Shires PK, Beadle R. Ventral approach for stabilization of atlantoaxial subluxation secondary to odontoid fracture in a foal. *J Am Vet Med Assoc* 1984; 185: 545-9.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E. *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Parey Verlag 2004;

Nixon AJ, Stashak TS, Ingram JT. Diagnosis of Cervical Vertebral Malformation in the Horse. Proceedings of the 28th Annual Convention of the AAEP 1982: 253-66.

Nixon AJ, Stashak TS, Ingram JT. Dorsal Laminectomy in the Horse: III. Results in Horses With Cervical Vertebral Malformation. *Veterinary Surgery* 1983; 12: 184-8.

Nixon AJ, Stashak TS. Laminectomy for relief of atlantoaxial subluxation in four horses. *J Am Vet Med Assoc* 1988; 193: 677-82.

Nixon AJ. Fractures of the Vertebrae. In: Equine Fracture Repair: W.B. Saunders Company 1996: 299-312.

Nixon AJ, Stashak TS. Lahmheit. In: Adam's Lahmheit bei Pferden Hannover: 2010:

Nout YS, Reed SM. Cervical vertebral stenotic myelopathy. Equine Veterinary Education 2003; 15: 212-23.

Nowak M, Huskamp B. Über einige spezielle Befunde bei Erkrankungen der Haslwirbelsäule des Pferdes. Pferdeheilkunde 1989; 5: 95-107.

Occhipinti LL, Carleton CL, Holcombe SJ, Chaney KP, Agnew DW. Theriogenology question of the month. Scoliosis. J Am Vet Med Assoc 2009; 234: 751-3.

Olchoway TW. Vertebral body osteomyelitis due to *Rhodococcus equi* in two Arabian foals. Equine Vet J 1994; 26: 79-82.

Oswald J, Love S, Parkin TD, Hughes KJ. Prevalence of cervical vertebral stenotic myelopathy in a population of thoroughbred horses. Vet Rec 2010; 166: 82-3.

Owen R, Maxie LL. Repair of fractured dens of the axis in a foal. J Am Vet Med Assoc 1978; 173: 854-6.

Papageorges M, Gavin PR, Sande RD, Barbee DD, Grant BD. Radiographic and myelographic examination of the cervical vertebral column in 306 ataxic horses. Veterinary Radiology & Ultrasound 1987; 28: 53-9.

Pellmann R, Mülling C, Vogel M, Deschauer E-M. Klinische Symptome der Halswirbelsäulenerkrankung beim Pferd und deren röntgenologische Befunde. Tagung über Pferdekrankheiten XXIII 2019: 83-6.

Pezzanite L, Easley J. Update on Surgical Treatment of Wobblers. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2019; 35: 299-309.

Pinchbeck G, Murphy D. Case Report - Cervical vertebral fracture in three foals. *Equine Veterinary Education* 2001; 13: 8-12.

Powers BE, Stashak TS, Nixon AJ, Yovich JV, Norrdin RW. Pathology of the vertebral column of horses with cervical static stenosis. *Vet Pathol* 1986; 23: 392-9.

Prescott JF. *Rhodococcus equi* vertebral osteomyelitis in foals. *Equine Vet J* 1994; 26: 1-2.

Pudert T. Die vergleichende Darstellbarkeit von knöchernen Veränderungen der zervikalen Facettengelenke mittels Röntgen, Ultrasonographie und Computertomographie beim Warmblutpferd. Diss. med. vet. 2018.

Rhodin M, Johnston C, Holm KR, Wennerstrand J, Drevemo S. The influence of head and neck position on kinematics of the back in riding horses at the walk and trot. *Equine Vet J* 2005; 37: 7-11.

Rhodin M, Gomez Alvarez CB, Bystrom A, Johnston C, van Weeren PR, Roepstorff L, Weishaupt MA. The effect of different head and neck positions on the caudal back and hindlimb kinematics in the elite dressage horse at trot. *Equine Vet J* 2009; 41: 274-9.

Ricardi G, Dyson SJ. Forelimb lameness associated with radiographic abnormalities of the cervical vertebrae. *Equine Vet J* 1993; 25: 422-6.

Richardson DW. *Eikenella corrodens* osteomyelitis of the axis in a foal. *JAVMA* 1986; 188: 298-9.

Robertson JT, Samii VF. Traumatic Disorders of the Spinal Column. In: *Equine*

Surgery: Auer, J.A. und Stick, J.A. 2012: 711-20.

Rohwerder B. Die radiomorphologischen Variationen der Insertionsstelle des Ligamentum nuchae beim heranwachsenden Pferd. Diss. med. vet. 2020. LMU.

Ross MW, Dyson SJ (2011) *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. Elsevier Saunders, Missouri

Rossignol F, Brandenberger O, Mespoulhes-Riviere C. Internal Fixation of Cervical Fractures in Three Horses. *Vet Surg* 2016; 45: 104-9.

Rostenstein DS, Schott HC, Stickle RL. Imaging Diagnosis - Occipitoatlantoaxial Malformation in a Miniature Horse Foal. *Veterinary Radiology & Ultrasound* 2000; 41: 218-9.

Rüedi M, Hagen R, Lüchinger U, Fürst A, Trump M. Subluxation von C2 und C3 und Fraktur von C2 nach einem schweren Schädelhirntrauma bei zwei Warmblutpferden. *Pferdeheilkunde* 2011; 27: 522-7.

Rush BR, Grady JA. Cervical Stenotic Myelopathy. *Compendium Equine - Kansas State University* 2008: 430-6.

Rush BR. Developmental Vertebral Abnormalities. In: *Equine Surgery - Fourth Edition*: Elsevier Saunders 2012:

Rush Moore B, Reed SM, Robertson JT. Surgical treatment of cervical stenotic myelopathy in horses: 73 cases (1983-1992). *J Am Vet Med Assoc* 1993; 203: 108-12.

Rush Moore B, Reed SM, Biller DS, Kohn CW, Weisbrode SE. Assessment of vertebral canal diameter and bony malformations of the cervical part of the spine in horses with cervical stenotic myelopathy. *Am J Vet Res* 1994; 55: 5-13.

Santinelli I, Beccati F, Arcelli R, Pepe M. Anatomical variation of the spinous and transverse processes in the caudal cervical vertebrae and the first thoracic vertebra in horses. *Equine Vet J* 2016; 48: 45-9.

Scharmer BL, S. TS, Nelson KM, O'Brien RT. What is your Diagnosis - Atlanto-Axial Subluxation. *JAVMA* 2000; 217: 647-8.

Schmidburg I, Pagger H, Zsoldos RR, Mehnen J, Peham C, Licka TF. Movement associated reduction of spatial capacity of the equine cervical vertebral canal. *Vet J* 2012; 192: 525-8.

Schütte AC. Untersuchungen zum Equinen Wobbler Syndrom - Literaturstudie mit folgender klinischer Untersuchung des operativen Therapieerfolgs. Diss. Tierärztliche Fakultät der LMU München 2005;

Senior JM. Morbidity, mortality, and risk of general anesthesia in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract* 2013; 29: 1-18.

Sleutjens J, Voorhout G, Van Der Kolk JH, Wijnberg ID, Back W. The effect of ex vivo flexion and extension on intervertebral foramina dimensions in the equine cervical spine. *Equine Vet J Suppl* 2010: 425-30.

Slone DE, Bergfeld WA, Walker TL. Surgical decompression for traumatic atlantoaxial subluxation in a weanling filly. *J Am Vet Med Assoc* 1979; 174: 1234-6.

Smyth GB. Use of ventral cervical stabilization for treatment of a suspected articular facet fracture in a horse. *J Am Vet Med Assoc* 1993; 202: 771-2.

Sparks HD, Nixon AJ, Watts AE. What is your diagnosis? Cervical vertebral compressive myelopathy at C6-7. *J Am Vet Med Assoc* 2011; 238: 1559-60.

Stewart RH, Reed SM, Weisbrode S, E. Frequency and severity of osteochondrosis

in horses with cervical stenotic myelopathy. *Am J Vet Res* 1991; 52: 873-9.

Stodulka R. *Medizinische Reitlehre - Trainingsbedingte Probleme verstehen, vermeiden, beheben*. Parey Verlag 2006;

Sweers L, Carstens A. Imaging features of discospondylitis in two horses. *Vet Radiol Ultrasound* 2006; 47: 159-64.

Sysel AM, Moll HD, Carrig CB, Newton TJ. What Is Your Diagnosis? *JAVMA* 1998; 213: 607-8.

Szklarz M, Lipinska A, Slowikowska M, Niedzwiedz A, Marycz K, Janeczek M. Comparison of the clinical and radiographic appearance of the cervical vertebrae with histological and anatomical findings in an eight-month old warmblood stallion suffering from cervical vertebral stenotic myelopathy (CVSM). *BMC Vet Res* 2019; 15: 296.

Tomizawa N, Nishimura R, Sasaki N, Hayashi Y, Senba H, Hara S, Kadosawa T, Takeuchi A. Morphological analysis of cervical vertebrae in ataxic foals. *J Vet Med Sci* 1994a; 56: 1081-5.

Tomizawa N, Nishimura R, Sasaki N, Kadosawa T, Senba H, Hara S, Takeuchi A. Efficacy of the new radiographic measurement method for cervical vertebral instability in wobbling foals. *J Vet Med Sci* 1994b; 56: 1119-22.

Townsend HG, Leach DH, Fretz PB. Kinematics of the equine thoracolumbar spine. *Equine Vet J* 1983; 15: 117-22.

Trobisch P, Suess O, Schwab F. Idiopathic scoliosis. *Dtsch Arztebl Int* 2010; 107: 875-83; quiz 84.

Trostle SS, Dubielzig RR, Beck KA. Examination of frozen cross sections of cervical spinal intersegments in nine horses with cervical vertebral malformation:

lesions associated with spinal cord compression. *J Vet Diagn Invest* 1993; 5: 423-31.

Tyler CM, Davis RE, Begg AP, Hutchins DR, Hodgson DR. A survey of neurological diseases in horses. *Aust Vet J* 1993; 70: 445-9.

Tyson R, Graham JP, Roberts GD, Giguere S. What is your diagnosis? Osteomyelitis of a vertebral body. *J Am Vet Med Assoc* 2004; 225: 515-6.

Unt VE, Piercy RJ. Clinical Commentary - Vertebral embryology and equine congenital vertebral anomalies. *Equine Veterinary Education* 2009; 21: 212-4.

Van Biervliet J, de Lahunta A, Ennulat D, Oglesbee M, Summers B. Acquired cervical scoliosis in six horses associated with dorsal grey column chronic myelitis. *Equine Vet J* 2004a; 36: 86-92.

van Biervliet J, Scrivani PV, Divers TJ, Erb HN, de Lahunta A, Nixon A. Evaluation of decision criteria for detection of spinal cord compression based on cervical myelography in horses: 38 cases (1981-2001). *Equine Vet J* 2004b; 36: 14-20.

Van Biervliet J, Mayhew J, de Lahunta A. Cervical Vertebral Compressive Myelopathy: Diagnosis. *Clinical Techniques in Equine Practice* 2006: 54-9.

Van Biervliet J. An Evidence-Based Approach to Clinical Questions in the Practice of Equine Neurology. *Veterinary Clinics Equine Practice - Elsevier Saunders* 2007; 23: 317-28.

Vos NJ, Pollock PJ, Harty M, Brennan T, de Blaauw S, McAllister H. Fractures of the cervical vertebral odontoid in four horses and one pony. *Vet Rec* 2008; 162: 116-9.

Wagner PC, Grant BD, Reed SM. Cervical vertebral malformations. *Vet Clin North*

Am Equine Pract 1987; 3: 385-96.

Waldern NM, Wiestner T, von Peinen K, Gomez Alvarez CG, Roepstorff L, Johnston C, Meyer H, Weishaupt MA. Influence of different head-neck positions on vertical ground reaction forces, linear and time parameters in the unriden horse walking and trotting on a treadmill. Equine Vet J 2009; 41: 268-73.

Walmsley JP. A case of atlanto-occipital arthropathy following guttural pouch mycosis in a horse. The use of radioisotope bone scanning as an aid to diagnosis. Equine Vet J 1988; 20: 219-20.

Walmsley JP, Grant BD. Surgical Treatment of Developmental Diseases of the Spinal Column. In: Equine Surgery: 2012: 700-11.

Watson AG, Mayhew IG. Familial congenital occipitoatlantoaxial malformation (OAAM) in the Arabian horse. Spine (Phila Pa 1976) 1986; 11: 334-9.

Weaver MP, Hagen R, Hahn CN. Clinical Commentary-Radiography of the cervical vertebrae. Equine Veterinary Education 2007; 19: 458-9.

Whitwell KE, Dyson S. Interpreting radiographs. 8: Equine cervical vertebrae. Equine Vet J 1987; 19: 8-14.

Wijnberg ID, Sleutjens J, Van Der Kolk JH, Back W. Effect of head and neck position on outcome of quantitative neuromuscular diagnostic techniques in Warmblood riding horses directly following moderate exercise. Equine Vet J Suppl 2010: 261-7.

Wilsmann F. Statistische Erhebung zur Prävalenz röntgenologisch erfassbarer Befunde an der Halswirbelsäule des Pferdes. Diss. Tierärztliche Fakultät der LMU München 2016;

Wissdorf H, Gerhards H, Huskamp B, Deegen E. Praxisorientierte Anatomie und

Propädeutik des Pferdes. Verlag M. & H. Schaper GmbH 2010;

Withers JM, Voute LC, Hammond G, Lischer CJ. Radiographic anatomy of the articular process joints of the caudal cervical vertebrae in the horse on lateral and oblique projections. *Equine Vet J* 2009; 41: 895-902.

Witte S, Alexander K, Bucellato M, Sofaly C, Fife W, Hinchcliff KW. Case Report - Congenital atlantoaxial luxation associated with malformation of the dens axis in a Quarter Horse foal. *Equine Veterinary Education* 2005; 17: 175-8.

Wong D, Miles K, Sponseller B. Congenital scoliosis in a quarter horse filly. *Vet Radiol Ultrasound* 2006; 47: 279-82.

Yamada K, Sato F, Hada T, Horiuchi N, Ikeda H, Nishihara K, Sasaki N, Kobayashi Y, Nambo Y. Quantitative evaluation of cervical cord compression by computed tomographic myelography in Thoroughbred foals. *J Equine Sci* 2016; 27: 143-8.

YOVITCH JV, STASHAK TS, POWERS BE. Vertebral column pathology in horses with cervical compressive myelopathy. *Proc. Ann. Conv. Am. Ass. Equine Pract. (A.A.E.P.)* 33 1987: 595-602

Zsoldos RR, Groesel M, Kotschwar A, Kotschwar AB, Licka T, Peham C. A preliminary modelling study on the equine cervical spine with inverse kinematics at walk. *Equine Vet J Suppl* 2010: 516-22.

Zsoldos RR, Licka TF. The equine neck and its function during movement and locomotion. *Zoology (Jena)* 2015; 118: 364-76.

## IX. TABELLENVERZEICHNIS

<i>Tabelle 1: MSD von Pferden unter 320 kg in mm. Aus (MAYHEW et al., 1978b).</i> .....	37
<i>Tabelle 2: MSD von Pferden über 320kg in mm. Aus (MAYHEW et al., 1978b)</i> .....	37
<i>Tabelle 3: MSD Werte von männlichen und weiblichen Vollblutfohlen in mm. Aus (MAYHEW et al., 1993).</i> .....	38
<i>Tabelle 4: Verwendete Belichtungswerte.</i> .....	45
<i>Tabelle 5: Gradeinteilung des gemessenen Winkels zwischen C2 und C3.</i> .....	49
<i>Tabelle 6: Gradeinteilung der Facettengelenksarthrose nach (ENGEL, 2010).</i> .....	51
<i>Tabelle 7: Klassifizierung der Verschattung des Lumen des Foramen intervertebrale nach (LAUTENSCHLÄGER, 2007) mit zusätzlicher Gradeinteilung.</i> .....	52
<i>Tabelle 8: Tabellarische Darstellung der Probanden unterteilt in Alter und Geschlecht.</i> .....	55
<i>Tabelle 9: Rasseverteilung nach Häufigkeit und Prozent.</i> .....	57
<i>Tabelle 10: Vergleich der MSD Werte zwischen den einzelnen Halswirbeln. Alle Werte sind in mm angegeben.</i> .....	58
<i>Tabelle 11: MSD-Werte der drei Altersgruppen. Alle Werte sind in mm angegeben.</i> .....	59
<i>Tabelle 12: Korrelationsberechnung des MSD nach Pearson mit Alter und Stockmaß.</i> .....	67
<i>Tabelle 13: Partielle Korrelation des MSD mit Alter und Stockmaß.</i> .....	68
<i>Tabelle 14: MSD Werte der männlichen und weiblichen Absetzer im Vergleich. Alle Werte sind in mm angegeben.</i> .....	69
<i>Tabelle 15:MSD Werte der männlichen und weiblichen Jährlinge. Alle Werte sind in mm angegeben.</i> .....	69
<i>Tabelle 16: MSD Werte der männlichen und weiblichen Zweijährigen im Vergleich.</i> .....	70
<i>Tabelle 17: Die Mittelwerte des Intravertebralen Verhältnisses der einzelnen Halswirbel im Vergleich.</i> .....	70
<i>Tabelle 18: Die Werte des Intravertebralen Verhältnisses der drei Altersgruppen.</i> .....	72
<i>Tabelle 19: Korrelationsberechnung des IVV nach Pearson mit Alter und Stockmaß.</i> .....	78
<i>Tabelle 20: Partielle Korrelation des IVV mit Alter und Stockmaß.</i> .....	78
<i>Tabelle 21: Deskriptive Statistik des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Wirbel der Altersgruppe der Absetzer ausgewertet nach Geschlecht.</i> .....	79
<i>Tabelle 22: Deskriptive Statistik des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Wirbel der Altersgruppe der Jährlinge ausgewertet nach Geschlecht.</i> .....	80
<i>Tabelle 23: Deskriptive Statistik des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Wirbel der Altersgruppe der Zweijährigen ausgewertet nach Geschlecht.</i> .....	80
<i>Tabelle 24: Gemessene Höhenwerte der Facettengelenke von C2/3 bis C6/7. Alle Werte sind angegeben in mm.</i> .....	81
<i>Tabelle 25: Gemessene Höhenwerte der Facettengelenke der drei Altersgruppen im Vergleich. Alle Werte sind in mm angegeben</i> .....	83

<i>Tabelle 26: Korrelationsberechnung des HFG nach Pearson mit Alter und Stockmaß. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tabelle 27: Partielle Korrelation des HFG mit Alter und Stockmaß. ....</i>	<i>89</i>
<i>Tabelle 28: Mittelwerte der Höhe der Facettengelenke der Absetzer im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind angegeben in mm. ....</i>	<i>90</i>
<i>Tabelle 29: Mittelwerte der Höhe der Facettengelenke der Jährlinge im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind angegeben in mm. ....</i>	<i>90</i>
<i>Tabelle 30: Mittelwerte der Höhe der Facettengelenke der Zweijährigen im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind angegeben in mm. ....</i>	<i>91</i>
<i>Tabelle 31: Die Mittelwerte des Höhenverhältnisses der einzelnen Halswirbel im Vergleich. ....</i>	<i>91</i>
<i>Tabelle 32: Die Höhenverhältnisse der Facettengelenke der drei Altersgruppen im Vergleich. ....</i>	<i>93</i>
<i>Tabelle 33: Korrelationsberechnung des VHFG nach Pearson mit Alter und Stockmaß. ....</i>	<i>97</i>
<i>Tabelle 34: Partielle Korrelation des VHFG mit Alter und Stockmaß. ....</i>	<i>97</i>
<i>Tabelle 35: Die Verhältnisse der Mittelwerte der Höhenmessungen der Facettengelenke von C4/5, C5/6 und C6/7 zu C3/4 im Geschlechtervergleich. ....</i>	<i>98</i>
<i>Tabelle 36: Mittelwerte und Standardabweichung der Längenmessungen des Facettengelenksspaltes. Alle Werte sind in mm angegeben. ....</i>	<i>99</i>
<i>Tabelle 37: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge der Facettengelenksspalten der drei Altersgruppen im Vergleich. Alle Werte sind in mm angegeben. ....</i>	<i>100</i>
<i>Tabelle 38: Korrelationsberechnung des LFG nach Pearson mit Alter und Stockmaß. ....</i>	<i>106</i>
<i>Tabelle 39: Partielle Korrelation des LFG mit Alter und Stockmaß. ....</i>	<i>107</i>
<i>Tabelle 40: Die Mittelwerte der Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Absetzer im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind in mm angegeben. ....</i>	<i>107</i>
<i>Tabelle 41: Die Mittelwerte der Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Jährlinge im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind in mm angegeben. ....</i>	<i>108</i>
<i>Tabelle 42: Die Mittelwerte der Längenmessungen der Facettengelenksspalten der Zweijährigen im Geschlechtervergleich. Alle Werte sind in mm angegeben. ....</i>	<i>108</i>
<i>Tabelle 43: Ergebnisse der Auswertung der Winkelmessungen zwischen C2 und C3. ....</i>	<i>109</i>
<i>Tabelle 44: Ergebnisse der subjektiven Auswertung der Achsenbeurteilung zwischen C2 und C3 von Untersucher 1. ....</i>	<i>109</i>
<i>Tabelle 45: Ergebnisse der subjektiven Auswertung der Achsenbeurteilung zwischen C2 und C3 von Untersucher 2. ....</i>	<i>110</i>
<i>Tabelle 46: Kreuztabelle der Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Achsenbeurteilung von Untersucher 1 und 2. Die genaue tabellarische Auflistung der Unterschiede zwischen den Untersuchern und den Messungen befindet sich im Anhang. ....</i>	<i>110</i>
<i>Tabelle 47: Prozent und Anzahl von Pferden mit Processus transversus am C7. ....</i>	<i>113</i>
<i>Tabelle 48: Prozent und Anzahl von Pferden mit Enttheseophyten im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae. ....</i>	<i>115</i>
<i>Tabelle 49: Prozent und Anzahl von Pferden mit Enttheseophyten im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae in den einzelnen Altersgruppen. ....</i>	<i>115</i>

---

<i>Tabelle 50: Anzahl und Klasseneinteilung der arthrotischen Veränderungen der Facettengelenke.</i>	116
<i>Tabelle 51: Arthrotische Veränderungen der Facettengelenke C5/6 und C6/7 in den drei Altersgruppen.</i>	117
<i>Tabelle 52: Anzahl und Klasseneinteilung von Pferden mit einer Verschattung des Foramen intervertebrale zwischen C5 und C6.</i>	120
<i>Tabelle 53: Anzahl und Klasseneinteilung von Pferden mit Verschattungen des Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7.</i>	121
<i>Tabelle 54: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht.</i>	175
<i>Tabelle 55: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht.</i>	175
<i>Tabelle 56: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C2/3.</i>	175
<i>Tabelle 57: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C2/3.</i>	176
<i>Tabelle 58: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C5/6.</i>	176
<i>Tabelle 59: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C5/6.</i>	176
<i>Tabelle 60: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C6/7.</i>	176
<i>Tabelle 61: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C6/7.</i>	177
<i>Tabelle 62: Schiefe und Kurtosis.</i>	177
<i>Tabelle 63: Tests auf Normalverteilung der MSD-Werte.</i>	202
<i>Tabelle 64: Tests auf Normalverteilung der IVV-Werte.</i>	202
<i>Tabelle 65: Tests auf Normalverteilung der HFG-Werte.</i>	202
<i>Tabelle 66: Tests auf Normalverteilung der VHFG-Werte.</i>	202
<i>Tabelle 67: Tests auf Normalverteilung der LFG-Werte.</i>	203
<i>Tabelle 68: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der MSD-Werte.</i>	203
<i>Tabelle 69: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der IVV-Werte.</i>	204
<i>Tabelle 70: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der HFG-Werte.</i>	204
<i>Tabelle 71: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der VHFG-Werte.</i>	205
<i>Tabelle 72: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der LFG-Werte.</i>	205
<i>Tabelle 73: Post-hoc-Test nach Bonferroni der MSD-Werte.</i>	206
<i>Tabelle 74: Post-hoc-Test nach Bonferroni der IVV-Werte.</i>	207
<i>Tabelle 75: Post-hoc-Test nach Bonferroni der HFG-Werte.</i>	208
<i>Tabelle 76: Post-hoc-Test nach Bonferroni der VHFG-Werte.</i>	209

---

<i>Tabelle 77: Post-hoc-Test nach Bonferroni der LFG-Werte. ....</i>	<i>210</i>
<i>Tabelle 78: Die einzelnen Untersucherabweichungen der Beurteilung der Achse zwischen C2 und C3. ....</i>	<i>211</i>

**X. ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

<i>Abbildung 1: MSD (Strecke a) und maximaler sagittaler Durchmesser der Extremitas cranialis (Strecke b) aus (BUTLER et al., 2017).</i>	40
<i>Abbildung 2: Beispielmessung des MSD und maximalen sagittalen Durchmessers der Extremitas cranialis des Wirbelkörpers des C4.</i>	47
<i>Abbildung 3: Beispielmessung der Höhe des Facettengelenks und der Länge des Facettengelenksspaltes C3/4.</i>	48
<i>Abbildung 4: Beispielmessung des Winkels zwischen C2 und C3.</i>	49
<i>Abbildung 5: Histogramm über die Altersverteilung der jungen Warmblutpferde.</i>	54
<i>Abbildung 6: Graphische Darstellung der Größenverteilung der Probanden.</i>	56
<i>Abbildung 7: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) der MSD-Werte der einzelnen Halswirbel.</i>	58
<i>Abbildung 8: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C2 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	60
<i>Abbildung 9: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C3 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	61
<i>Abbildung 10: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C4 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	61
<i>Abbildung 11: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C5 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	62
<i>Abbildung 12: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C6 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	62
<i>Abbildung 13: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) von C2 in mm der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	63
<i>Abbildung 14: Verteilung der MSD Werte von C2 (in mm) nach Stockmaß.</i>	64
<i>Abbildung 15: Verteilung der MSD Werte von C3 (in mm) nach Stockmaß.</i>	64
<i>Abbildung 16: Verteilung der MSD Werte von C4 (in mm) nach Stockmaß.</i>	65
<i>Abbildung 17: Verteilung der MSD Werte von C5 (in mm) nach Stockmaß.</i>	65
<i>Abbildung 18: Verteilung der MSD Werte von C6 (in mm) nach Stockmaß.</i>	66
<i>Abbildung 19: Verteilung der MSD Werte von C7 (in mm) nach Stockmaß.</i>	66
<i>Abbildung 20: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) des Intravertebralen Verhältnisses aller gemessenen Halswirbel.</i>	71
<i>Abbildung 21: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C3 der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	72
<i>Abbildung 22: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C4 der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	73
<i>Abbildung 23: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C5 der 3 Altersgruppen im Vergleich.</i>	73

---

<i>Abbildung 24: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C6 der 3 Altersgruppen im Vergleich.....</i>	<i>74</i>
<i>Abbildung 25: Mittelwerte und Standardabweichungen des Intravertebralen Verhältnisses von C7 der 3 Altersgruppen im Vergleich.....</i>	<i>74</i>
<i>Abbildung 26: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C3 (in %) nach Stockmaß.....</i>	<i>75</i>
<i>Abbildung 27: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C4 (in %) nach Stockmaß.....</i>	<i>75</i>
<i>Abbildung 28: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C5 (in %) nach Stockmaß.....</i>	<i>76</i>
<i>Abbildung 29: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C6 (in %) nach Stockmaß.....</i>	<i>76</i>
<i>Abbildung 30: Verteilung der Werte des Intravertebralen Verhältnisses von C7 (in %) nach Stockmaß.....</i>	<i>77</i>
<i>Abbildung 31: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen der Facettengelenke in mm. ....</i>	<i>82</i>
<i>Abbildung 32: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenkes C2/3 in mm. ....</i>	<i>83</i>
<i>Abbildung 33: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenkes C3/4 in mm. ....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 34: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenkes C4/5 in mm. ....</i>	<i>84</i>
<i>Abbildung 35: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenkes C5/6 in mm. ....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 36: Mittelwerte und Standardabweichung der Höhenmessungen des Facettengelenkes C6/7 in mm. ....</i>	<i>85</i>
<i>Abbildung 37: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C2/3 (in mm) nach Stockmaß.....</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 38: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C3/4 (in mm) nach Stockmaß.....</i>	<i>86</i>
<i>Abbildung 39: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C4/5 (in mm) nach Stockmaß.....</i>	<i>87</i>
<i>Abbildung 40: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C5/6 (in mm) nach Stockmaß.....</i>	<i>87</i>
<i>Abbildung 41: Verteilung der Werte der gemessenen Höhe des Facettengelenkes C6/7 (in mm) nach Stockmaß.....</i>	<i>88</i>
<i>Abbildung 42: Mittelwerte und Standardabweichung (SD) der Höhenverhältnisse der Facettengelenke C4/5, C5/6 und C6/7. ....</i>	<i>92</i>
<i>Abbildung 43: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses des Facettengelenkes C4/5 nach Alter.</i>	

.....	93
<i>Abbildung 44: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses des Facettengelenks C5/6 nach Alter.</i>	
.....	94
<i>Abbildung 45: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses des Facettengelenks C6/7 nach Alter.</i>	
.....	94
<i>Abbildung 46: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses von C4/5 zu C3/4 (in %) nach Stockmaß.</i>	95
<i>Abbildung 47: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses von C5/6 zu C3/4 (in %) nach Stockmaß.</i>	95
<i>Abbildung 48: Verteilung der Werte des Höhenverhältnisses von C6/7 zu C3/4 (in %) nach Stockmaß.</i>	96
<i>Abbildung 49: Graphische Darstellung der Mittelwerte (in mm) der Längenmessungen der Facettengelenksspalten mit Standardabweichungen.</i>	99
<i>Abbildung 50: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C2/3 in mm.</i>	101
<i>Abbildung 51: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C3/4 in mm.</i>	101
<i>Abbildung 52: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C4/5 in mm.</i>	102
<i>Abbildung 53: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C5/6 in mm.</i>	102
<i>Abbildung 54: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge des Facettengelenksspaltes C6/7 in mm.</i>	103
<i>Abbildung 55: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenksspaltes C2/3 (in mm) nach Stockmaß.</i>	103
<i>Abbildung 56: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenksspaltes C3/4 (in mm) nach Stockmaß.</i>	104
<i>Abbildung 57: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenksspaltes C4/5 (in mm) nach Stockmaß.</i>	104
<i>Abbildung 58: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenksspaltes C5/6 (in mm) nach Stockmaß.</i>	105
<i>Abbildung 59: Verteilung der Werte der gemessenen Länge des Facettengelenksspaltes C6/7 (in mm) nach Stockmaß.</i>	105
<i>Abbildung 60: Geringgradiger Achsenknick der Klasse 1 (19,96°) bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i>	111
<i>Abbildung 61: Mittelgradiger Achsenknick der Klasse 2 (27,37°) bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.</i>	112
<i>Abbildung 62: Hochgradiger Achsenknick der Klasse 3 (39,85°) bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.</i>	112

<i>Abbildung 63: Graphische Darstellung der Häufigkeit einer Transposition des Processus transversus auf C7.</i> .....	113
<i>Abbildung 64: Transposition beider Processus transversus von C6 auf C7 bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	114
<i>Abbildung 65: Graphische Darstellung der Anzahl von Pferden mit Entheseophyten am Okziput im Vergleich zu Pferden ohne besondere Befunde.</i> .....	115
<i>Abbildung 66: Entheseophytäre Zubildungen im Ansatzbereich des Ligamentum nuchae bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	116
<i>Abbildung 67: Graphische Darstellung der Anzahl an Pferden mit arthrotischen Veränderungen des Facettengelenks C6/7.</i> .....	117
<i>Abbildung 68: Facettengelenksarthrose des Facettengelenks C6/7 der Klasse 1 mit geringgradig verbreiterten Facetten bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	118
<i>Abbildung 69: Mittelgradige Facettengelenksarthrose des Facettengelenks C6/7 der Klasse 2 mit deutlicher Aufhellung im Facettengelenksbereich bei einem halbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	118
<i>Abbildung 70: Mittelgradige Facettengelenksarthrose des Facettengelenks C6/7 der Klasse 2 mit deutlicher Aufhellung im Facettengelenksbereich und geringgradig verbreitertem Facettengelenksspalt bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	119
<i>Abbildung 71: Hochgradige Facettengelenksarthrose der Klasse 3 mit deutlichen Zubildungen und deutlicher unregelmäßiger Verbreiterung des Facettengelenksspaltes bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	119
<i>Abbildung 72: Graphische Gegenüberstellung der Anzahl von Pferden mit und ohne Verschattungen des Foramen intervertebrale zwischen C5 und C6.</i> .....	120
<i>Abbildung 73: Graphische Gegenüberstellung der Anzahl von Pferden mit und ohne Verschattungen des Foramen intervertebrale zwischen C6 und C7.</i> .....	122
<i>Abbildung 74: Foramen intervertebrale C6/7 ohne Verschattungen bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	122
<i>Abbildung 75: Foramen intervertebrale C5/6 und C6/7 mit Verschattungen der Klasse 1 bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	123
<i>Abbildung 76: Foramen intervertebrale C6/7 mit Verschattung der Klasse 2 bei einem halbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	123
<i>Abbildung 77: Aufhellung im Intervertebralgelenk C5/6 bei einem halbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	124
<i>Abbildung 78: Aufhellung im Intervertebralgelenk C6/7 bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	125
<i>Abbildung 79: Fissur der Processus articulares caudales des C5 bei einem halbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	125
<i>Abbildung 80: Fragment des Facettengelenkes C5/6 bei einem zweieinhalbjährigen Warmblutpferd.</i> .....	126
<i>Abbildung 81: Fragment des Facettengelenkes C6/7 bei einem eineinhalbjährigen Warmblutpferd.</i>	

.....	126
Abbildung 82: Histogramm der MSD-Werte von C2.....	178
Abbildung 83: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C2. ....	178
Abbildung 84: Histogramm der MSD-Werte von C3.....	179
Abbildung 85: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C3. ....	179
Abbildung 86: Histogramm der MSD-Werte von C4.....	180
Abbildung 87: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C4. ....	180
Abbildung 88: Histogramm der MSD-Werte von C5.....	181
Abbildung 89: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C5. ....	181
Abbildung 90: Histogramm der MSD-Werte von C6.....	182
Abbildung 91: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C6. ....	182
Abbildung 92: Histogramm der MSD-Werte von C7.....	183
Abbildung 93: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C7. ....	183
Abbildung 94: Histogramm der IVV-Werte von C3.....	184
Abbildung 95: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C3. ....	184
Abbildung 96: Histogramm der IVV-Werte von C4.....	185
Abbildung 97: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C4. ....	185
Abbildung 98: Histogramm der IVV-Werte von C5.....	186
Abbildung 99: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C5. ....	186
Abbildung 100: Histogramm der IVV-Werte von C6.....	187
Abbildung 101: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C6. ....	187
Abbildung 102: Histogramm der IVV-Werte von C7.....	188
Abbildung 103: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C7. ....	188
Abbildung 104: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C2/3. ....	189
Abbildung 105: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C2/3. ....	189
Abbildung 106: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C3/4. ....	190
Abbildung 107: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C3/4. ....	190
Abbildung 108: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C4/5. ....	191
Abbildung 109: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C4/5. ....	191
Abbildung 110: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C5/6. ....	192
Abbildung 111: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C5/6. ....	192
Abbildung 112: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C6/7. ....	193
Abbildung 113: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C6/7. ....	193
Abbildung 114: Histogramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C4/5. ....	194
Abbildung 115: Quantil-Quantil-Diagramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C4/5. ....	194
Abbildung 116: Histogramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C5/6. ....	195
Abbildung 117: Quantil-Quantil-Diagramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C5/6. ....	195
Abbildung 118: Histogramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C6/7. ....	196
Abbildung 119: Quantil-Quantil-Diagramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C6/7. ....	196

---

<i>Abbildung 120: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C2/3. ....</i>	<i>197</i>
<i>Abbildung 121: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C2/3.....</i>	<i>197</i>
<i>Abbildung 122: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C3/4. ....</i>	<i>198</i>
<i>Abbildung 123: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C3/4.....</i>	<i>198</i>
<i>Abbildung 124: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C4/5. ....</i>	<i>199</i>
<i>Abbildung 125: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C4/5.....</i>	<i>199</i>
<i>Abbildung 126: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C5/6. ....</i>	<i>200</i>
<i>Abbildung 127: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C5/6.....</i>	<i>200</i>
<i>Abbildung 128: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C6/7. ....</i>	<i>201</i>
<i>Abbildung 129: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C6/7.....</i>	<i>201</i>

## XI. ANHANG

**Tabelle 54: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht.**

Altersgruppen	Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	
1 Absetzer	Stockmaß in cm	1 männlich	12	138,083	3,9591	1,1429
		2 weiblich	13	138,154	5,5617	1,5425
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	1 männlich	25	161,66	4,2616	0,8523
		2 weiblich	9	159,056	2,9627	0,9876
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	1 männlich	8	168,188	4,5508	1,609
		2 weiblich	17	166	4,7533	1,1528

**Tabelle 55: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht.**

Altersgruppen	Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit								
	F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz			
								Untere	Obere		
1 Absetzer	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	1,319	0,263	-0,036	23	0,971	-0,0705	1,9462	-4,0965	3,9555
		Varianzen sind nicht gleich			-0,037	21,668	0,971	-0,0705	1,9198	-4,0555	3,9144
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	1,43	0,241	1,685	32	0,102	2,6044	1,5459	-0,5445	5,7534
		Varianzen sind nicht gleich			1,996	20,554	0,059	2,6044	1,3045	-0,112	5,3209
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,086	0,772	1,087	23	0,288	2,1875	2,0119	-1,9745	6,3495
		Varianzen sind nicht gleich			1,105	14,375	0,287	2,1875	1,9793	-2,0474	6,4224

**Tabelle 56: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C2/3.**

Altersgruppen	Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	
1 Absetzer	Stockmaß in cm	1 männlich	12	138,083	3,9591	1,1429
		2 weiblich	13	138,154	5,5617	1,5425
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	1 männlich	24	161,813	4,283	0,8743
		2 weiblich	8	159,063	3,1672	1,1198
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	1 männlich	8	168,188	4,5508	1,609
		2 weiblich	17	166	4,7533	1,1528

**Tabelle 57: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C2/3.**

Altersgruppen			Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
			F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
										Untere	Obere
1 Absetzer	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	1,319	0,263	-0,036	23	0,971	-0,0705	1,9462	-4,0965	3,9555
		Varianzen sind nicht gleich			-0,037	21,668	0,971	-0,0705	1,9198	-4,0555	3,9144
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,609	0,441	1,663	30	0,107	2,75	1,6535	-0,6269	6,1269
		Varianzen sind nicht gleich			1,936	16,292	0,07	2,75	1,4206	-0,2572	5,7572
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,086	0,772	1,087	23	0,288	2,1875	2,0119	-1,9745	6,3495
		Varianzen sind nicht gleich			1,105	14,375	0,287	2,1875	1,9793	-2,0474	6,4224

**Tabelle 58: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C5/6.**

Altersgruppen		Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
1 Absetzer	Stockmaß in cm	1 männlich	11	138,091	4,1522	1,2519
		2 weiblich	12	138,25	5,7977	1,6737
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	1 männlich	25	161,66	4,2616	0,8523
		2 weiblich	9	159,056	2,9627	0,9876
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	1 männlich	8	168,188	4,5508	1,609
		2 weiblich	16	165,875	4,8802	1,2201

**Tabelle 59: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C5/6.**

Altersgruppen			Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
			F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
										Untere	Obere
1 Absetzer	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	1,202	0,285	-0,075	21	0,941	-0,1591	2,121	-4,5699	4,2517
		Varianzen sind nicht gleich			-0,076	19,9	0,94	-0,1591	2,0901	-4,5204	4,2022
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	1,43	0,241	1,685	32	0,102	2,6044	1,5459	-0,5445	5,7534
		Varianzen sind nicht gleich			1,996	20,554	0,059	2,6044	1,3045	-0,112	5,3209
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,142	0,71	1,118	22	0,276	2,3125	2,0689	-1,9781	6,6031
		Varianzen sind nicht gleich			1,145	15,043	0,27	2,3125	2,0192	-1,9903	6,6153

**Tabelle 60: Gruppenstatistik für den T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C6/7.**

Altersgruppen		Geschlecht	N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
1 Absetzer	Stockmaß in cm	1 männlich	8	138,25	4,1918	1,482
		2 weiblich	10	137,05	5,7371	1,8142
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	1 männlich	21	161,786	4,0853	0,8915
		2 weiblich	9	159,056	2,9627	0,9876
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	1 männlich	4	166,875	6,0605	3,0302
		2 weiblich	13	166,385	5,071	1,4064

**Tabelle 61: 2-seitiger T-Test zur Überprüfung des Zusammenhanges von Stockmaß und Geschlecht, gefiltert nach Veränderungen im Bereich C6/7.**

Altersgruppen			Levene-Test der Varianzgleichheit		T-Test für die Mittelwertgleichheit						
			F	Signifikanz	T	df	Sig. (2-seitig)	Mittlere Differenz	Standardfehler der Differenz	95% Konfidenzintervall der Differenz	
									Untere	Obere	
1 Absetzer	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,941	0,346	0,494	16	0,628	1,2	2,428	-3,9472	6,3472
		Varianzen sind nicht gleich			0,512	15,91	0,616	1,2	2,3426	-3,7684	6,1684
2 Jährlinge	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,648	0,428	1,804	28	0,082	2,7302	1,5134	-0,3698	5,8302
		Varianzen sind nicht gleich			2,052	20,82	0,053	2,7302	1,3304	-0,0381	5,4984
3 Zweijährige	Stockmaß in cm	Varianzen sind gleich	0,108	0,747	0,162	15	0,873	0,4904	3,0211	-5,9489	6,9297
		Varianzen sind nicht gleich			0,147	4,381	0,89	0,4904	3,3407	-8,4754	9,4561

**Tabelle 62: Schiefe und Kurtosis.**

		Statistik	Standardfehler			Statistik	Standardfehler
MSD C2	Schiefe	0,035	0,264	HFG C3/4	Schiefe	-0,003	0,266
	Kurtosis	-0,692	0,523		Kurtosis	-0,316	0,526
MSD C3	Schiefe	-0,027	0,263	HFG C4/5	Schiefe	0,074	0,266
	Kurtosis	-0,076	0,52		Kurtosis	-0,457	0,526
MSD C4	Schiefe	0,073	0,263	HFG C5/6	Schiefe	-0,233	0,267
	Kurtosis	-0,047	0,52		Kurtosis	-0,837	0,529
MSD C5	Schiefe	-0,008	0,263	HFG C6/7	Schiefe	-0,478	0,299
	Kurtosis	-0,538	0,52		Kurtosis	-0,755	0,59
MSD C6	Schiefe	-0,262	0,263	VHFG C4/5	Schiefe	0,502	0,267
	Kurtosis	-0,824	0,52		Kurtosis	1,567	0,529
MSD C7	Schiefe	-0,2	0,264	VHFG C5/6	Schiefe	-0,115	0,271
	Kurtosis	-0,652	0,523		Kurtosis	0,513	0,535
IVV C3	Schiefe	0,197	0,263	VHFG C6/7	Schiefe	-0,282	0,302
	Kurtosis	-0,184	0,52		Kurtosis	-0,049	0,595
IVV C4	Schiefe	-0,082	0,263	LFG C2/3	Schiefe	-0,04	0,269
	Kurtosis	0,006	0,52		Kurtosis	-0,395	0,532
IVV C5	Schiefe	0,151	0,263	LFG C3/4	Schiefe	0,007	0,264
	Kurtosis	0,174	0,52		Kurtosis	-0,233	0,523
IVV C6	Schiefe	-0,055	0,263	LFG C4/5	Schiefe	0,07	0,264
	Kurtosis	0,227	0,52		Kurtosis	-0,55	0,523
IVV C7	Schiefe	-0,222	0,264	LFG C5/6	Schiefe	0,044	0,267
	Kurtosis	-0,561	0,523		Kurtosis	0,04	0,529
HFG C2/3	Schiefe	-0,01	0,271	LFG C6/7	Schiefe	-0,382	0,299
	Kurtosis	-0,746	0,535		Kurtosis	-0,64	0,59

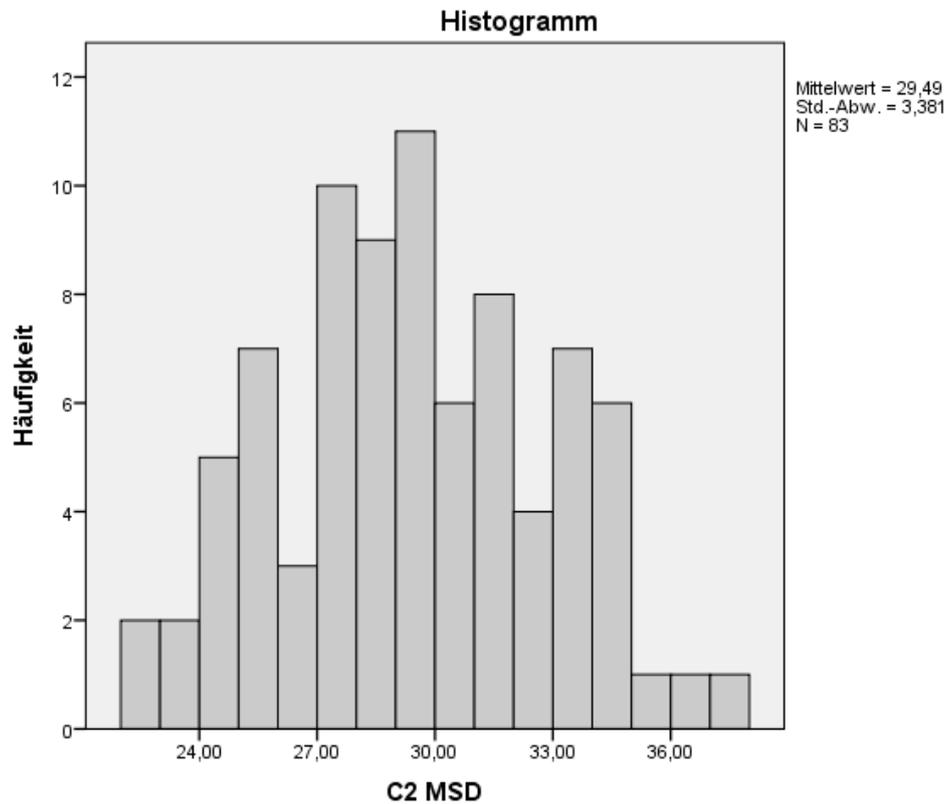


Abbildung 82: Histogramm der MSD-Werte von C2.

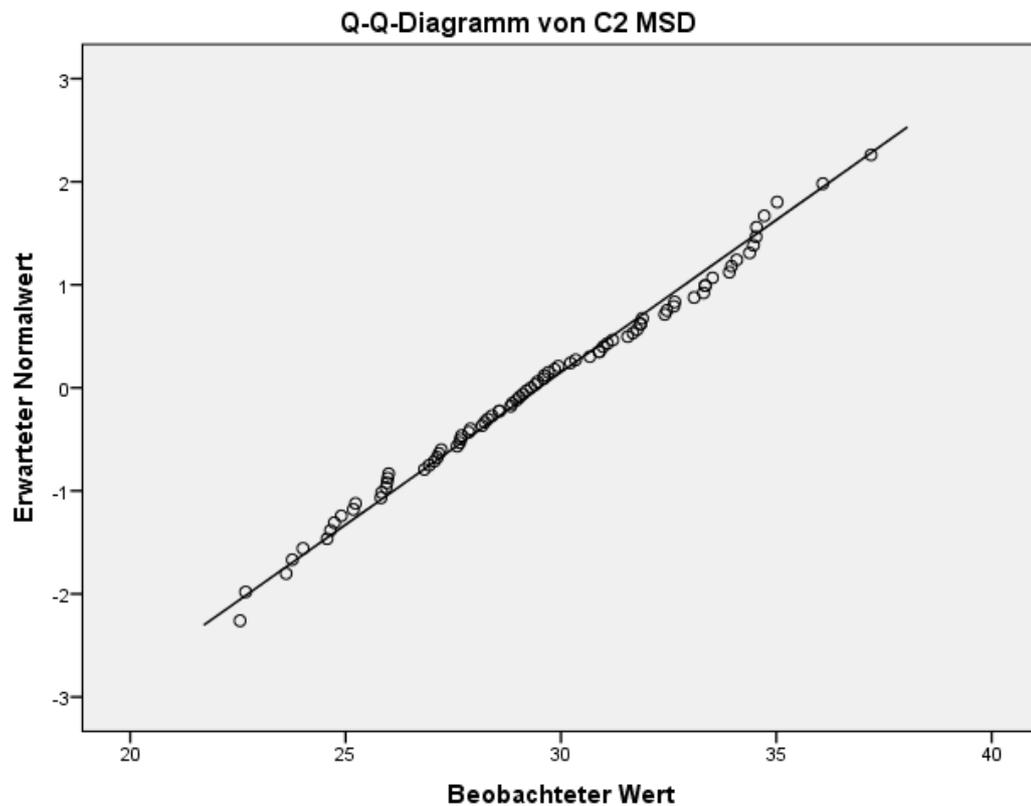


Abbildung 83: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C2.

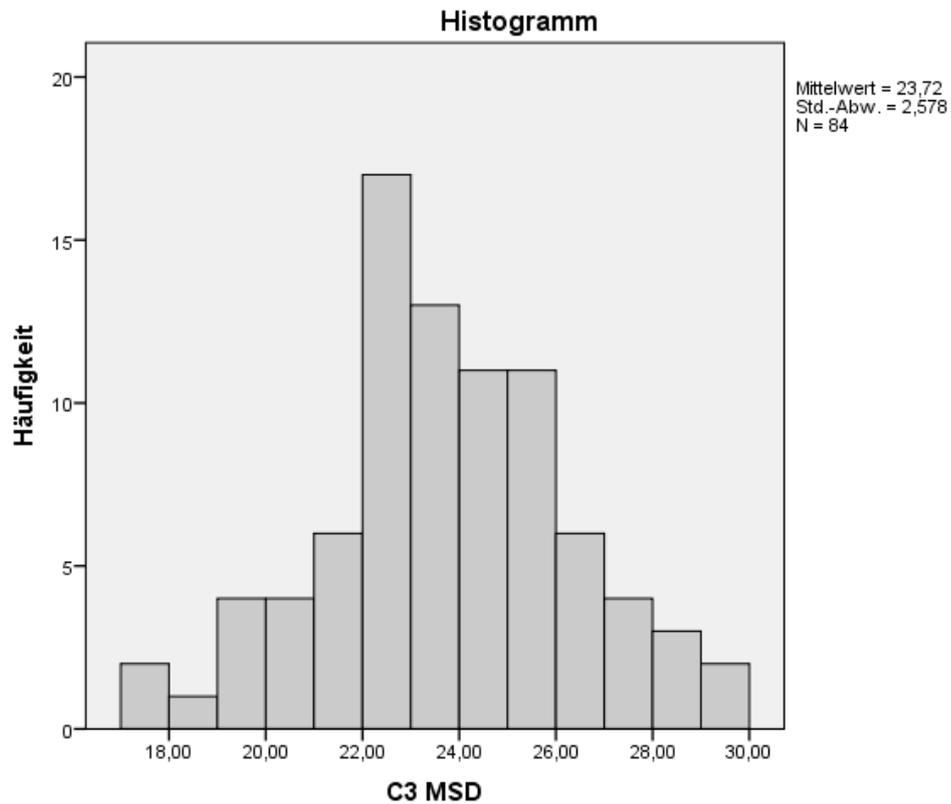


Abbildung 84: Histogramm der MSD-Werte von C3.

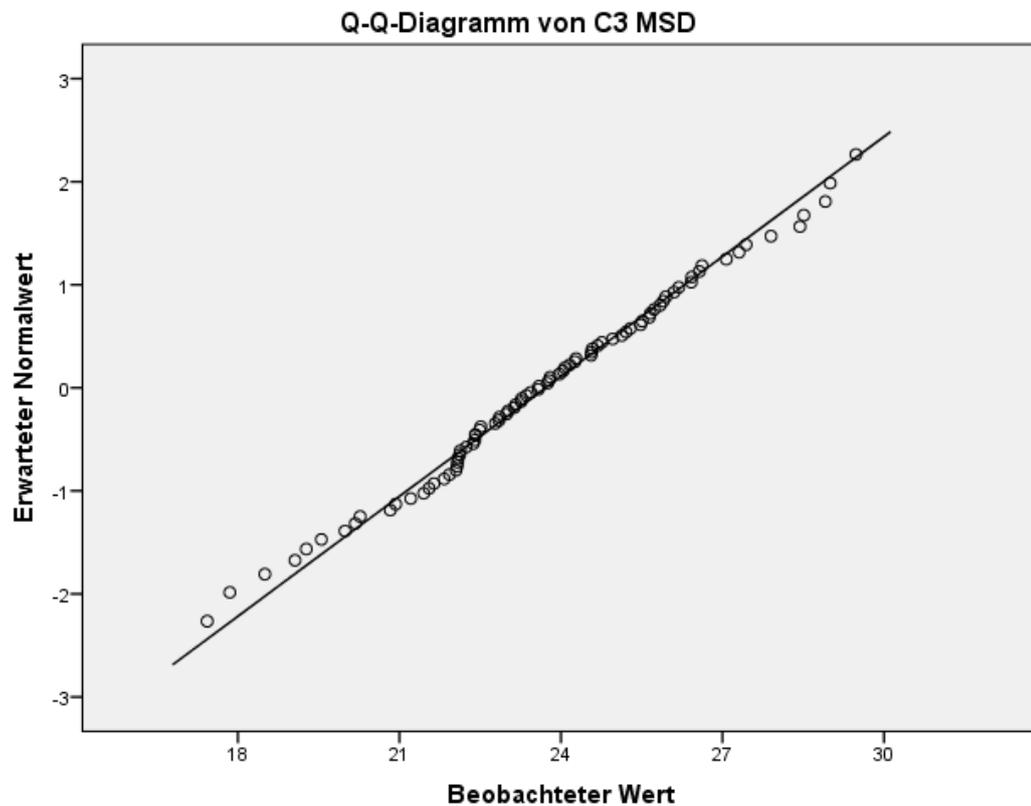


Abbildung 85: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C3.

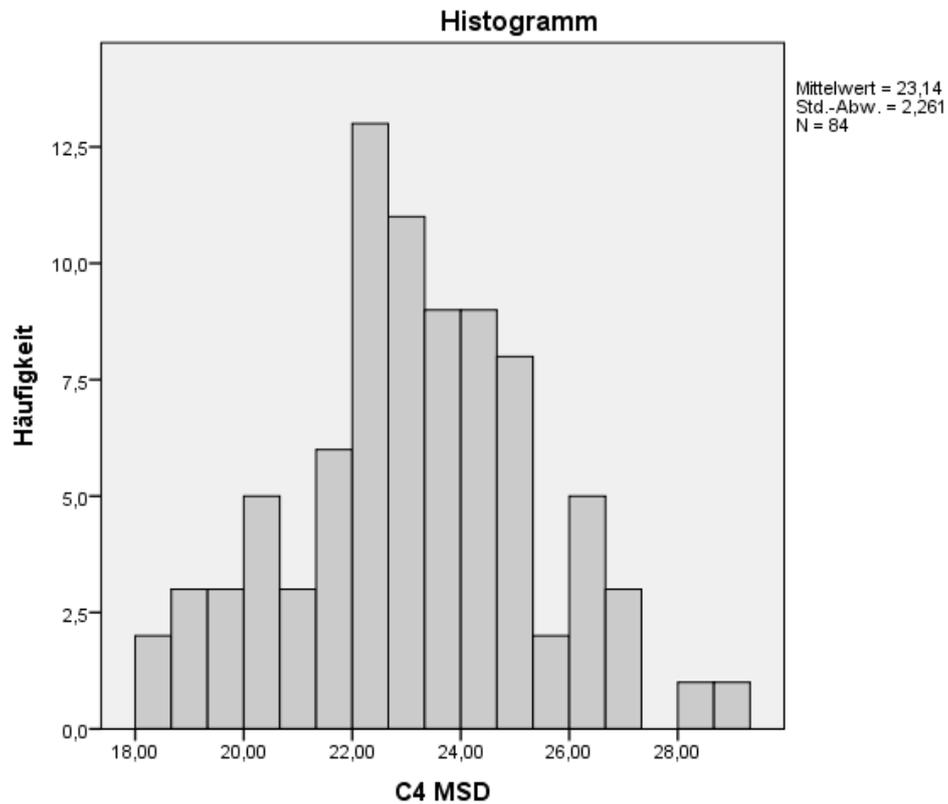


Abbildung 86: Histogramm der MSD-Werte von C4.

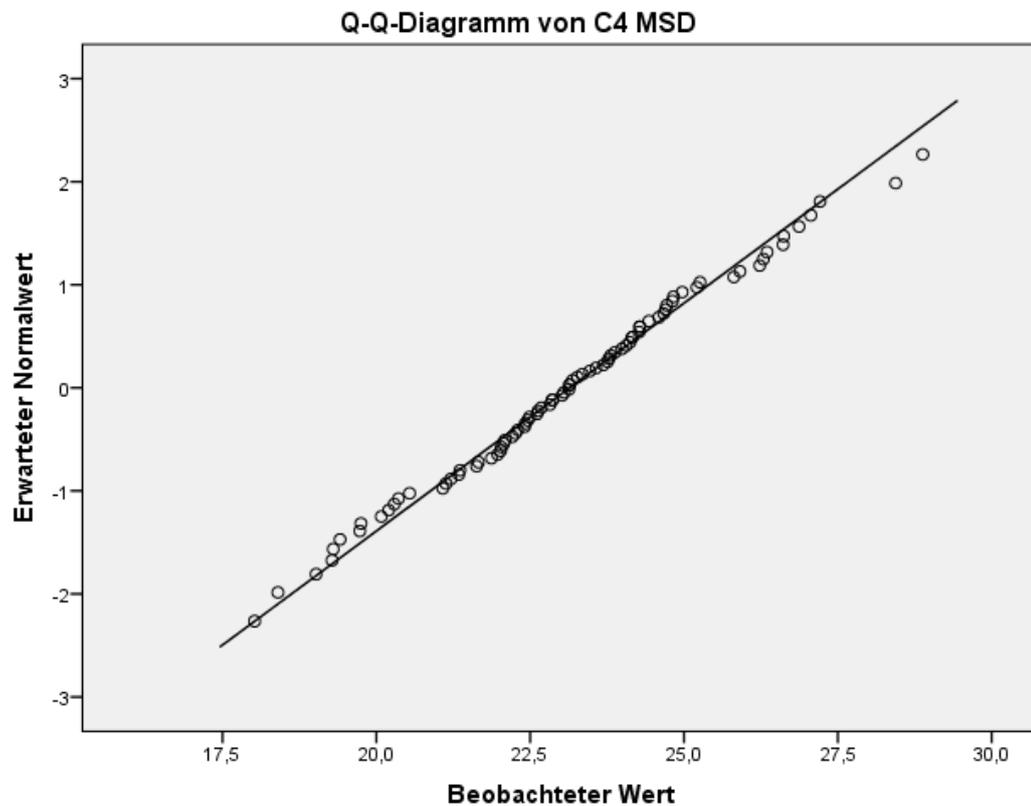


Abbildung 87: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C4.

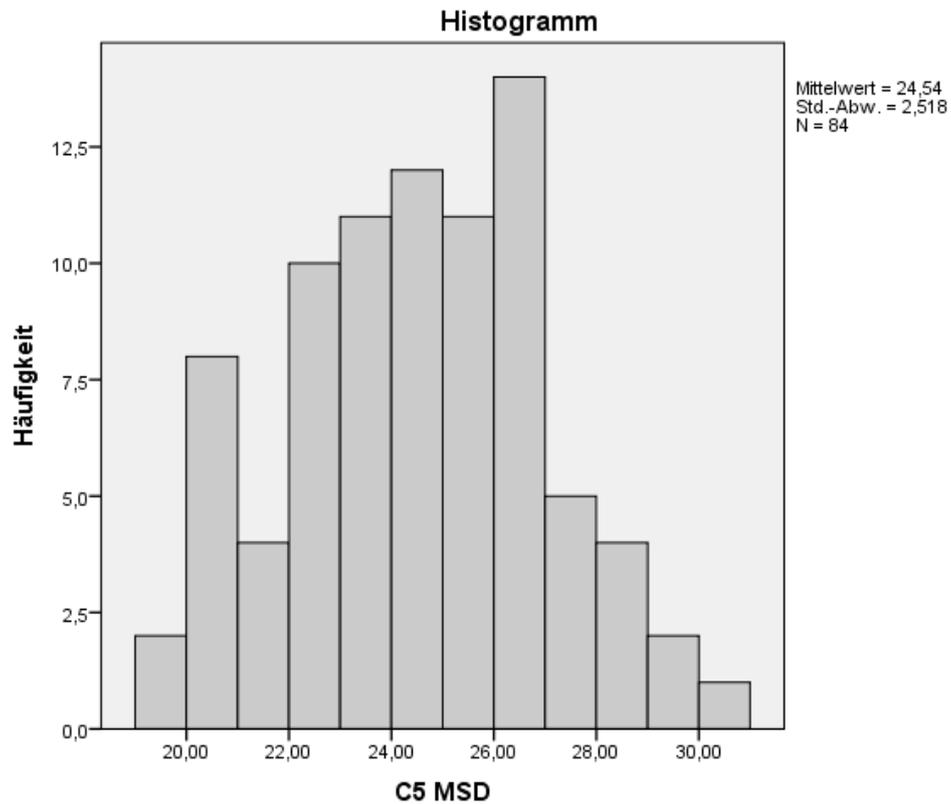


Abbildung 88: Histogramm der MSD-Werte von C5.

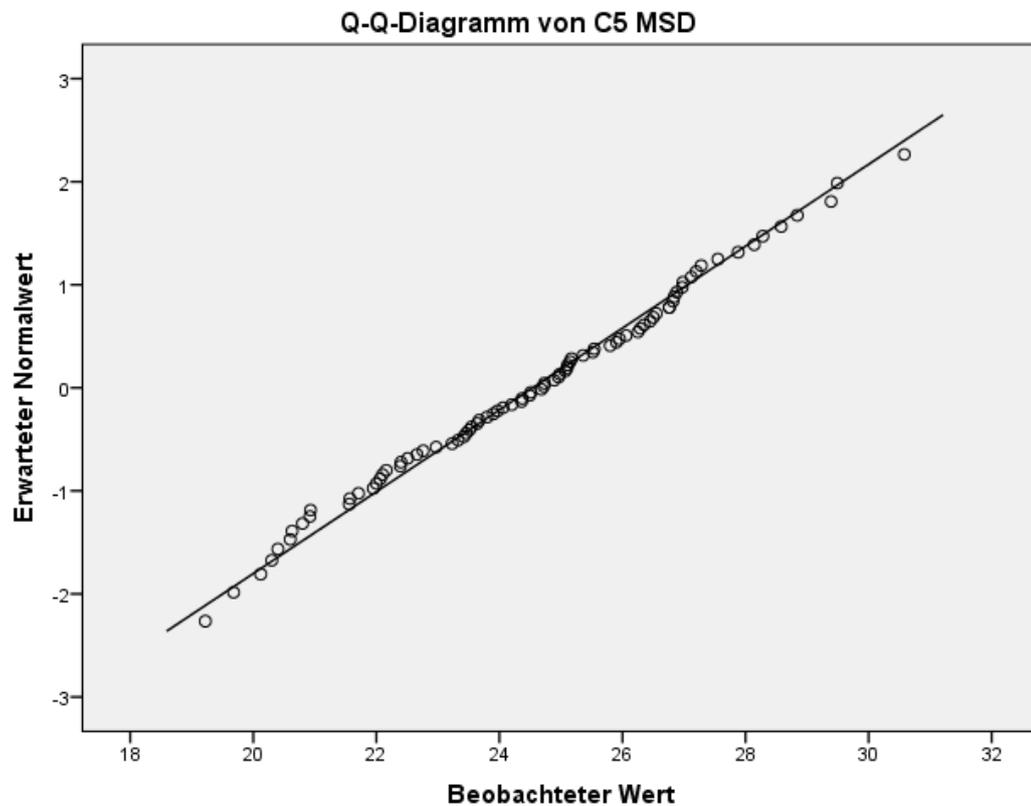


Abbildung 89: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C5.

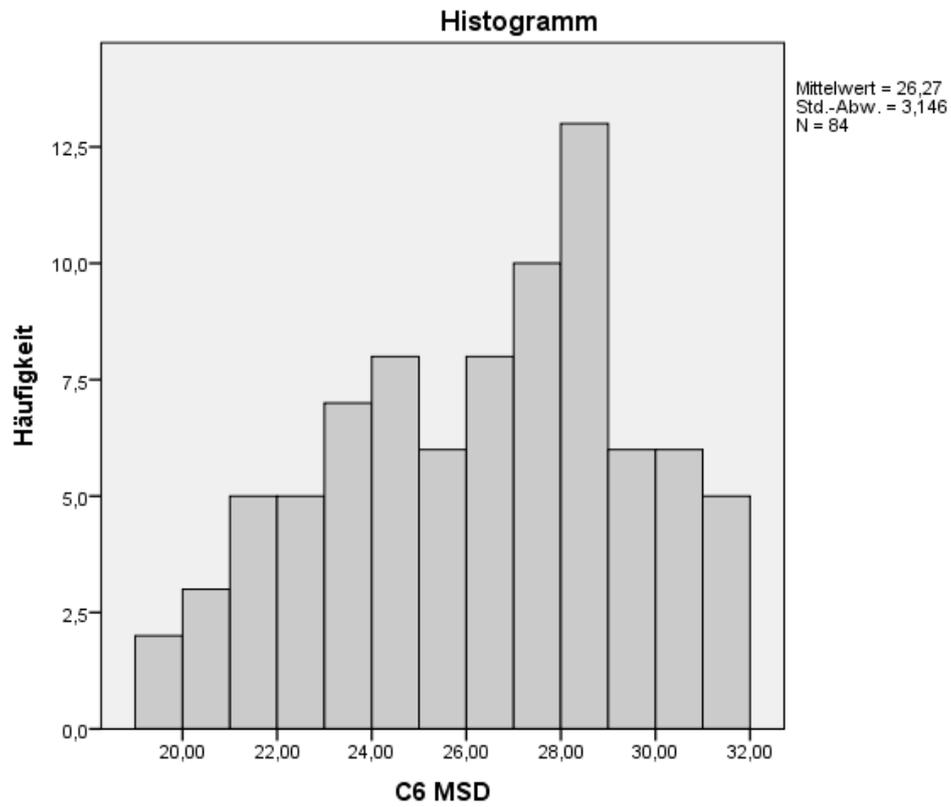


Abbildung 90: Histogramm der MSD-Werte von C6.

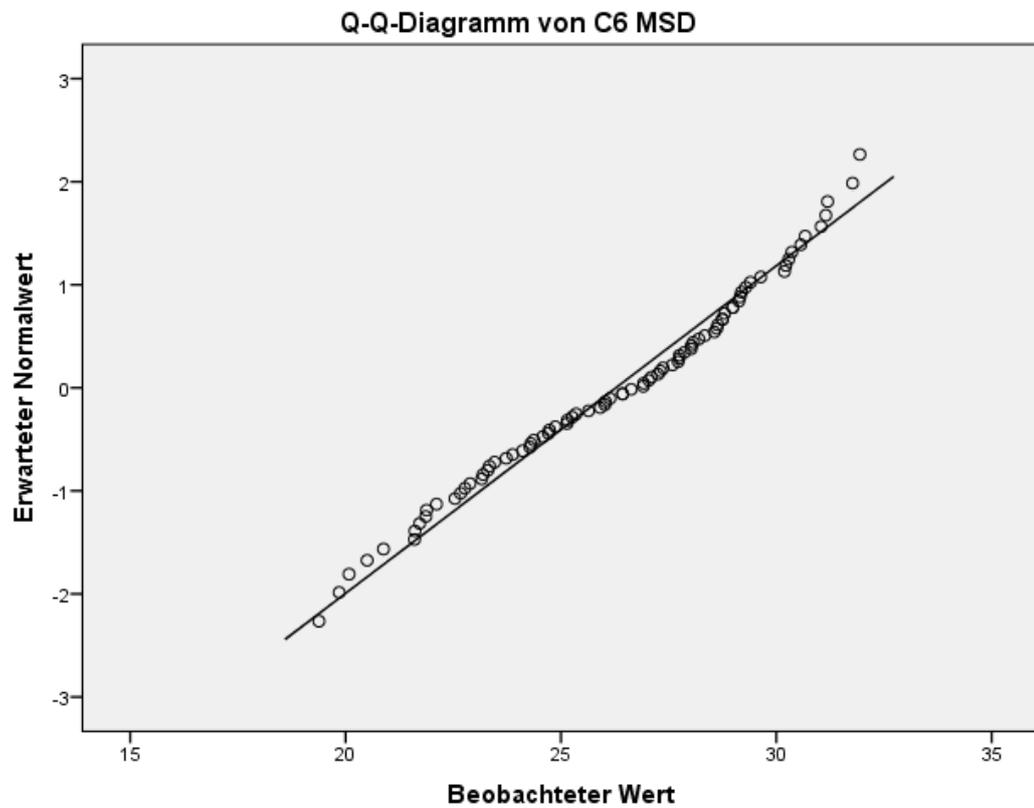


Abbildung 91: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C6.

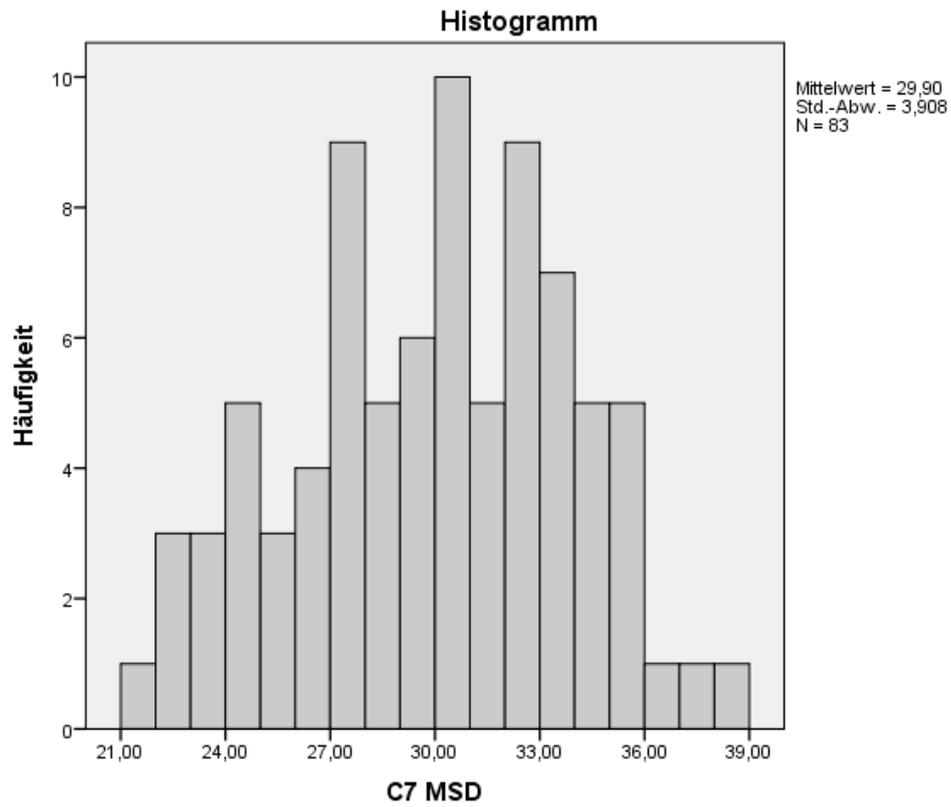


Abbildung 92: Histogramm der MSD-Werte von C7.

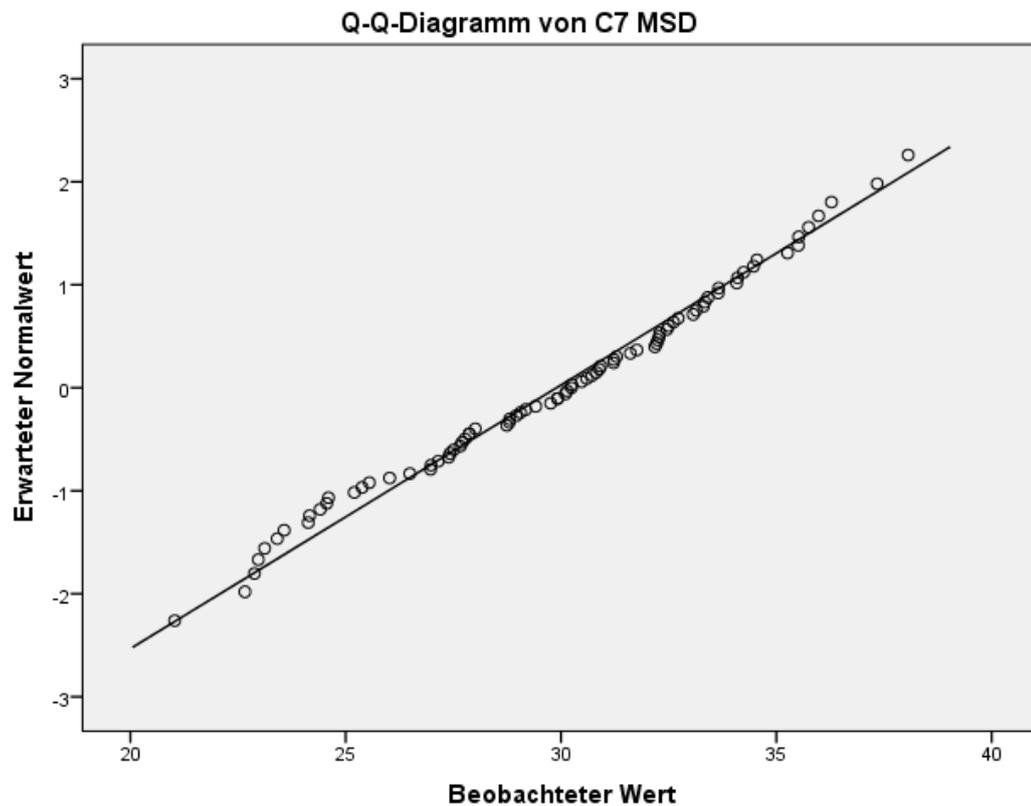


Abbildung 93: Quantil-Quantil-Diagramm der MSD-Werte von C7.

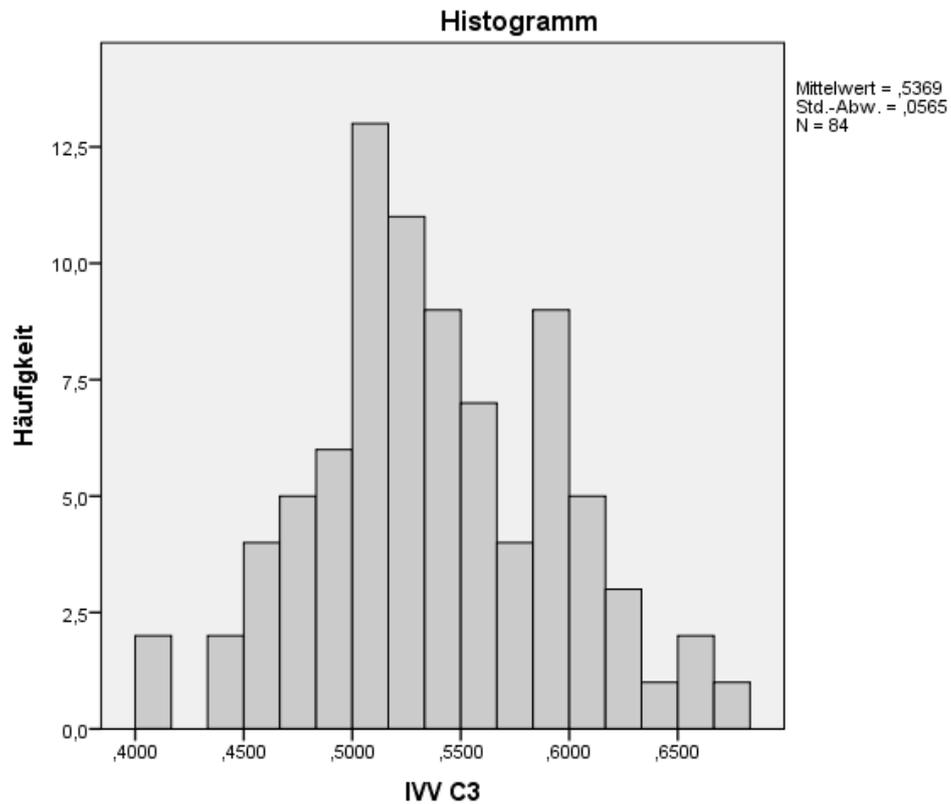


Abbildung 94: Histogramm der IVV-Werte von C3.

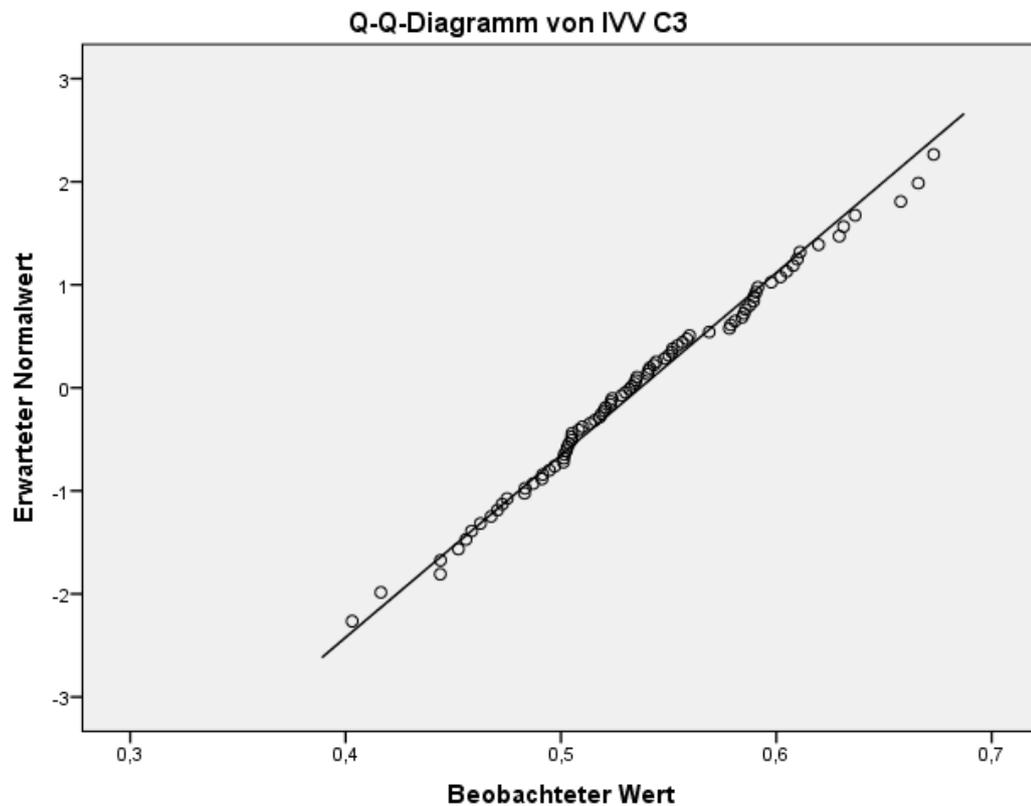


Abbildung 95: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C3.

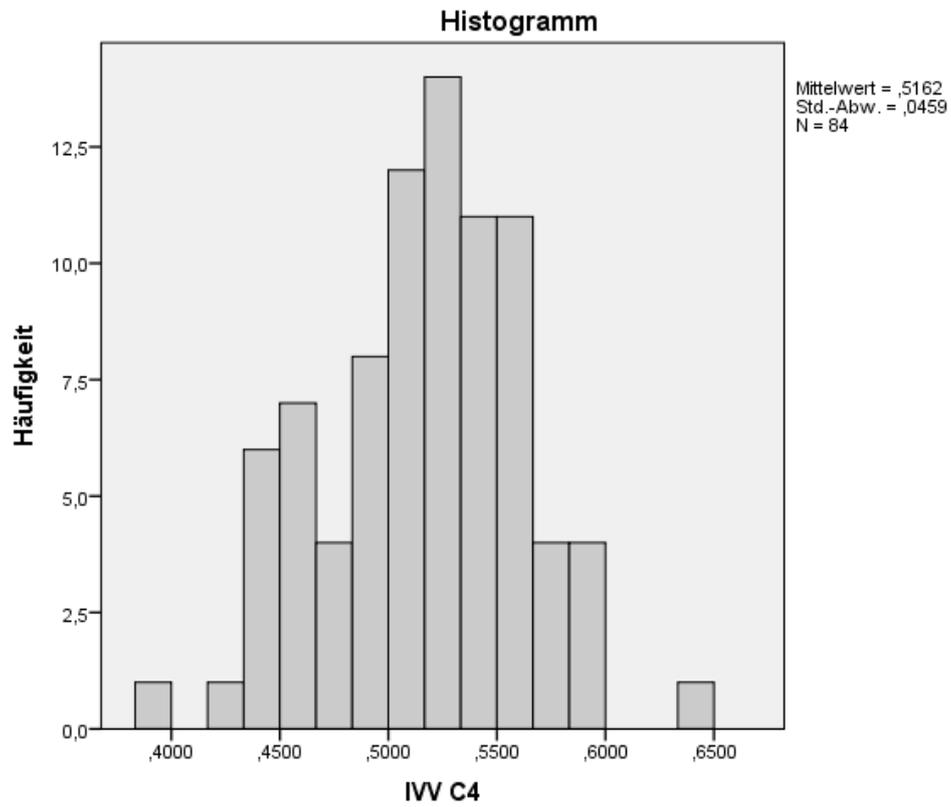


Abbildung 96: Histogramm der IVV-Werte von C4.

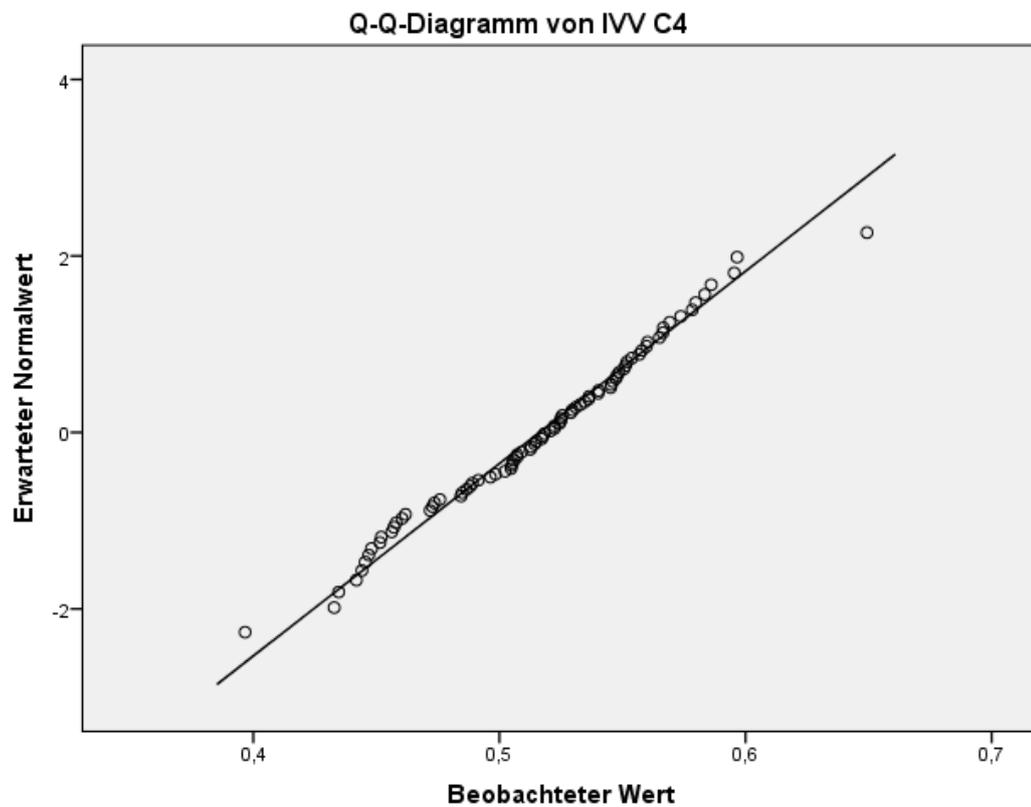


Abbildung 97: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C4.

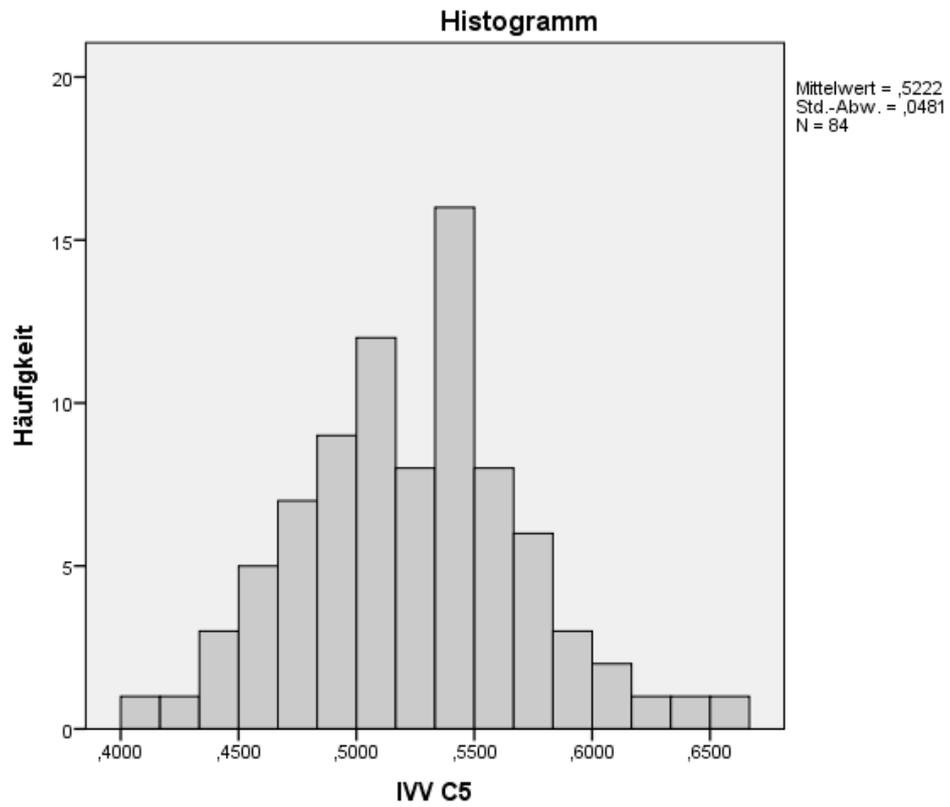


Abbildung 98: Histogramm der IVV-Werte von C5.

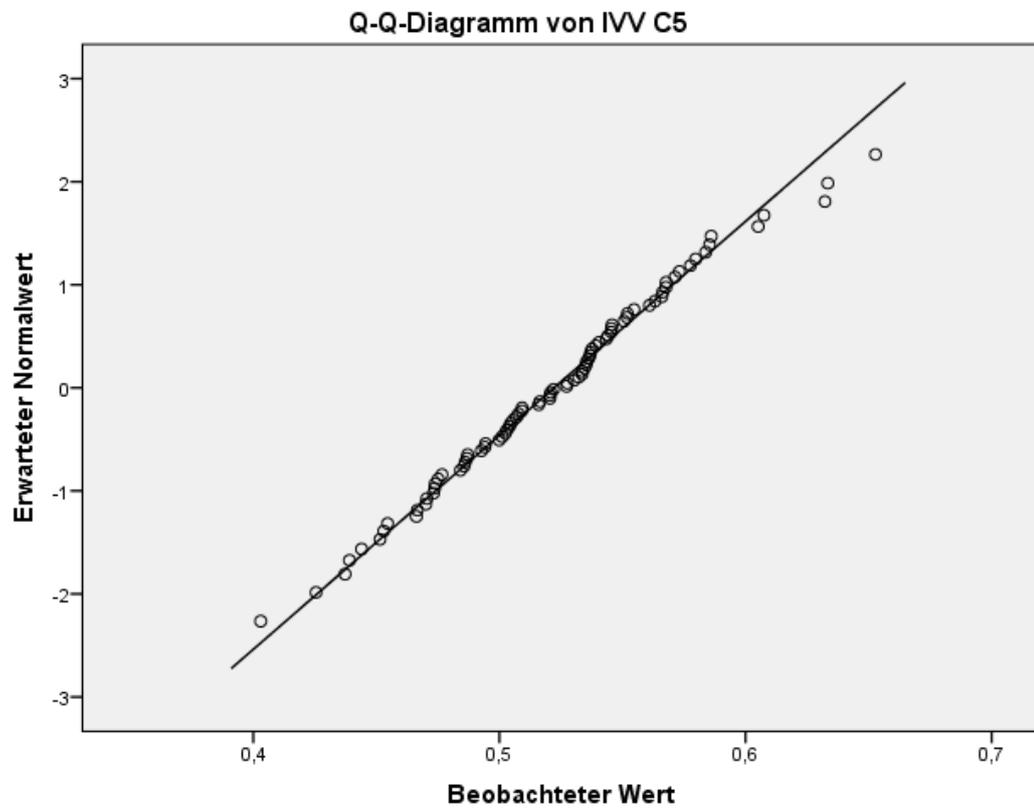


Abbildung 99: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C5.

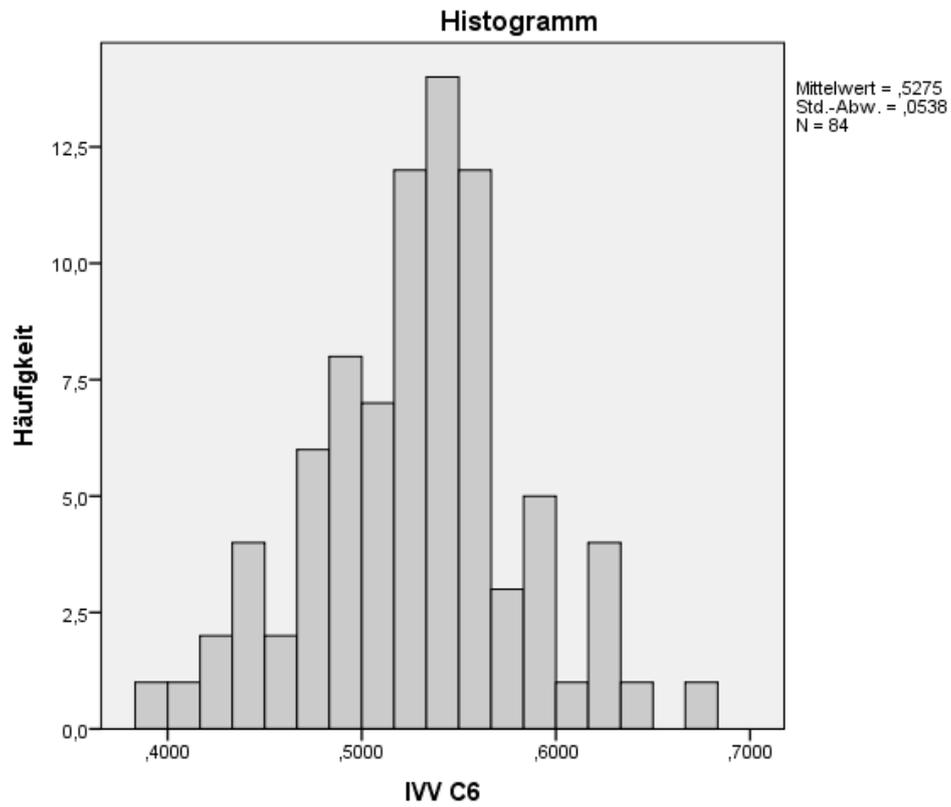


Abbildung 100: Histogramm der IVV-Werte von C6.

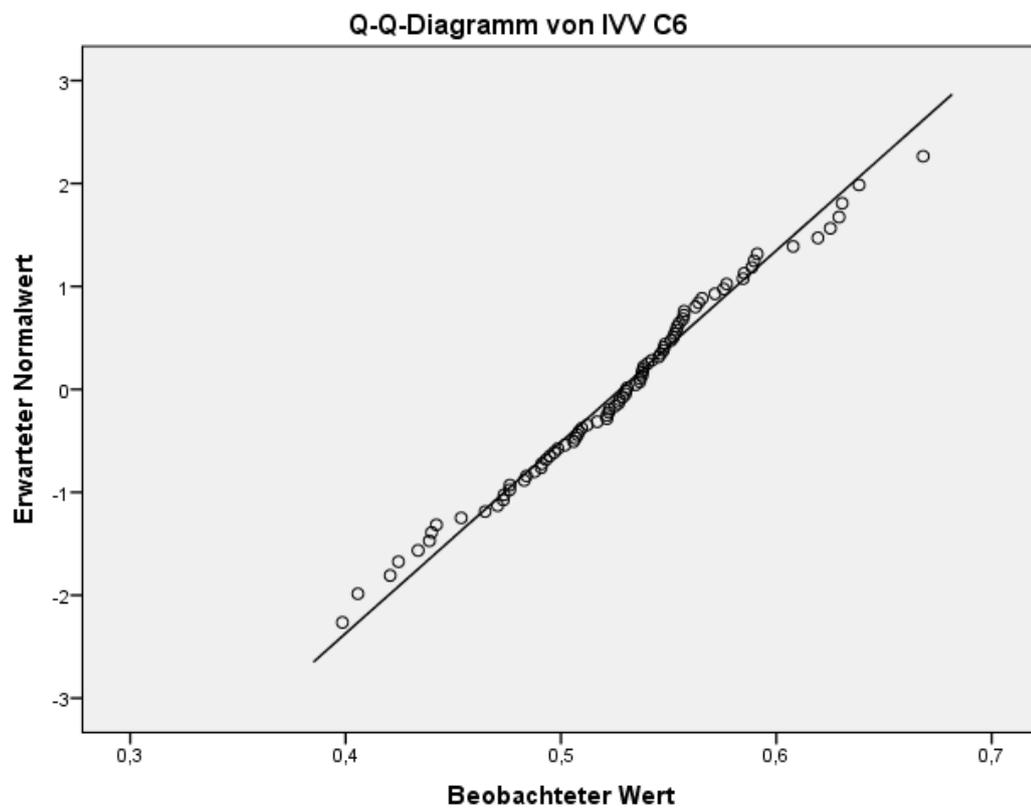


Abbildung 101: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C6.

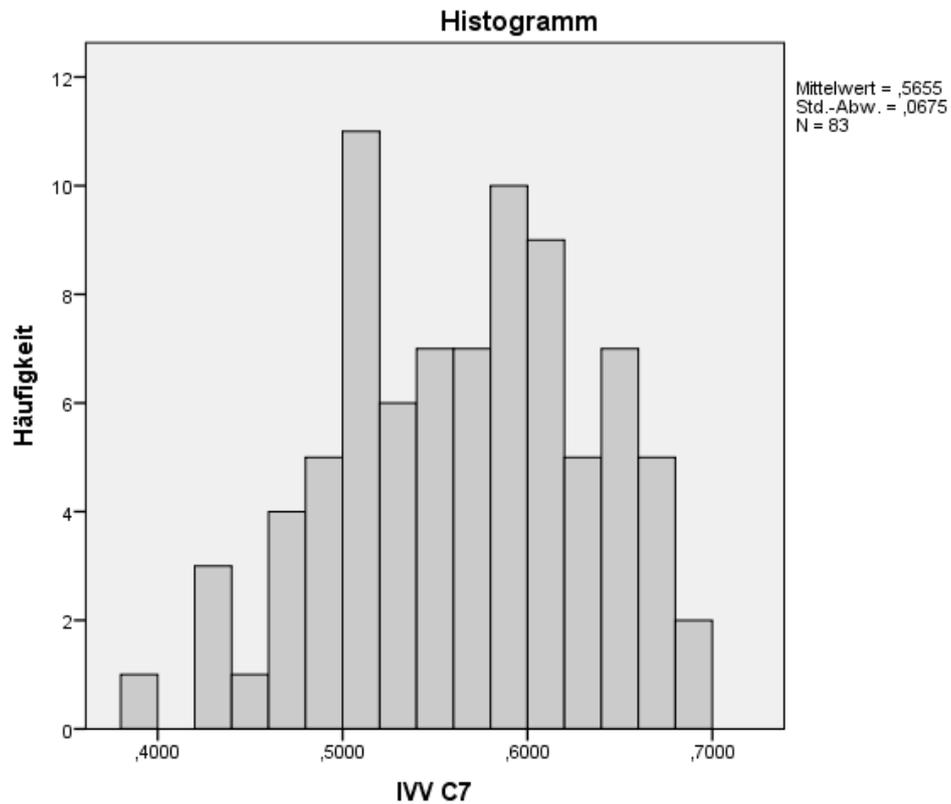


Abbildung 102: Histogramm der IVV-Werte von C7.

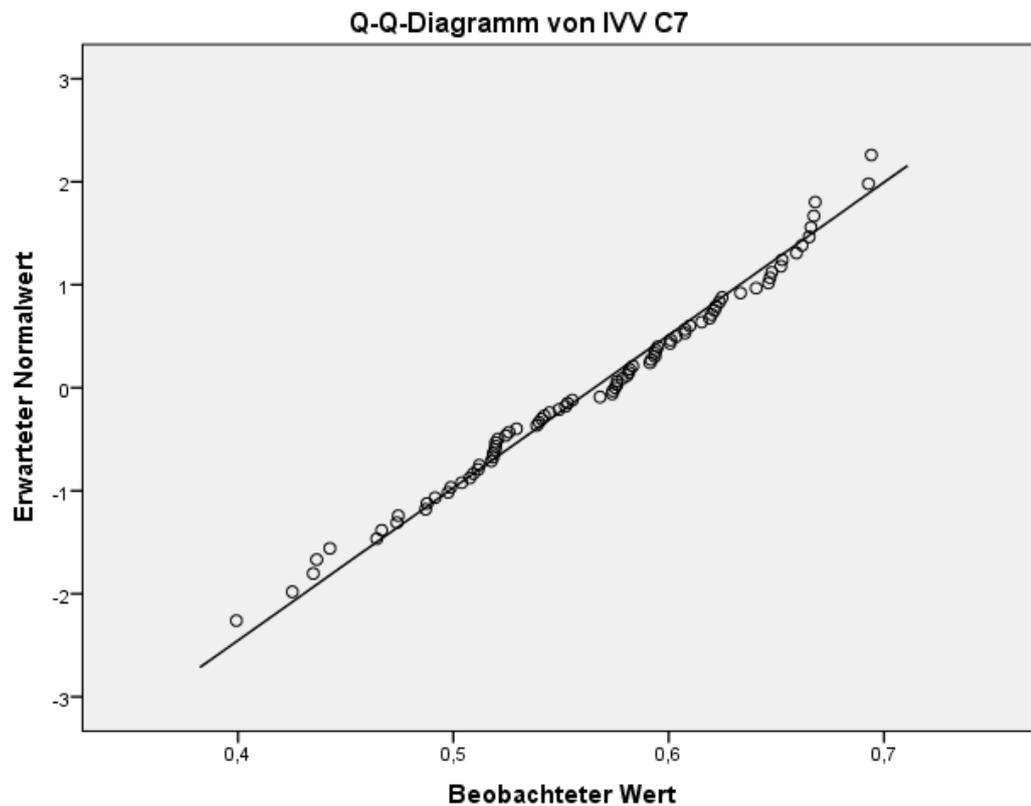


Abbildung 103: Quantil-Quantil-Diagramm der IVV-Werte von C7.

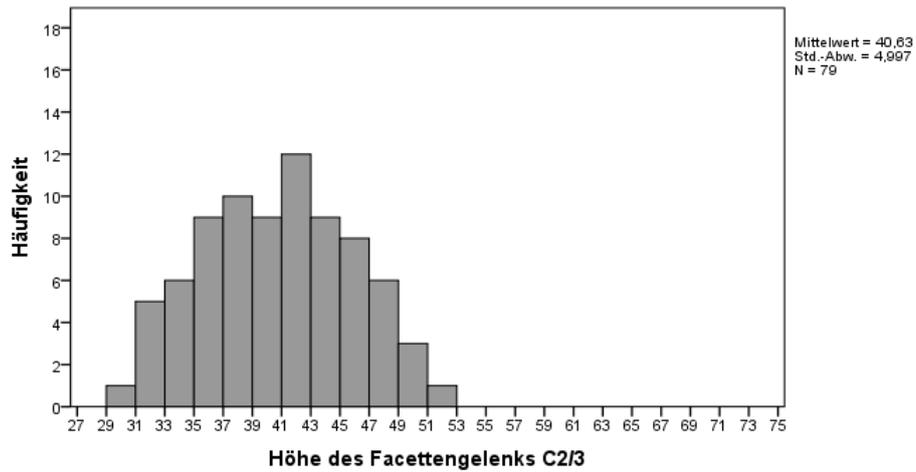


Abbildung 104: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C2/3.

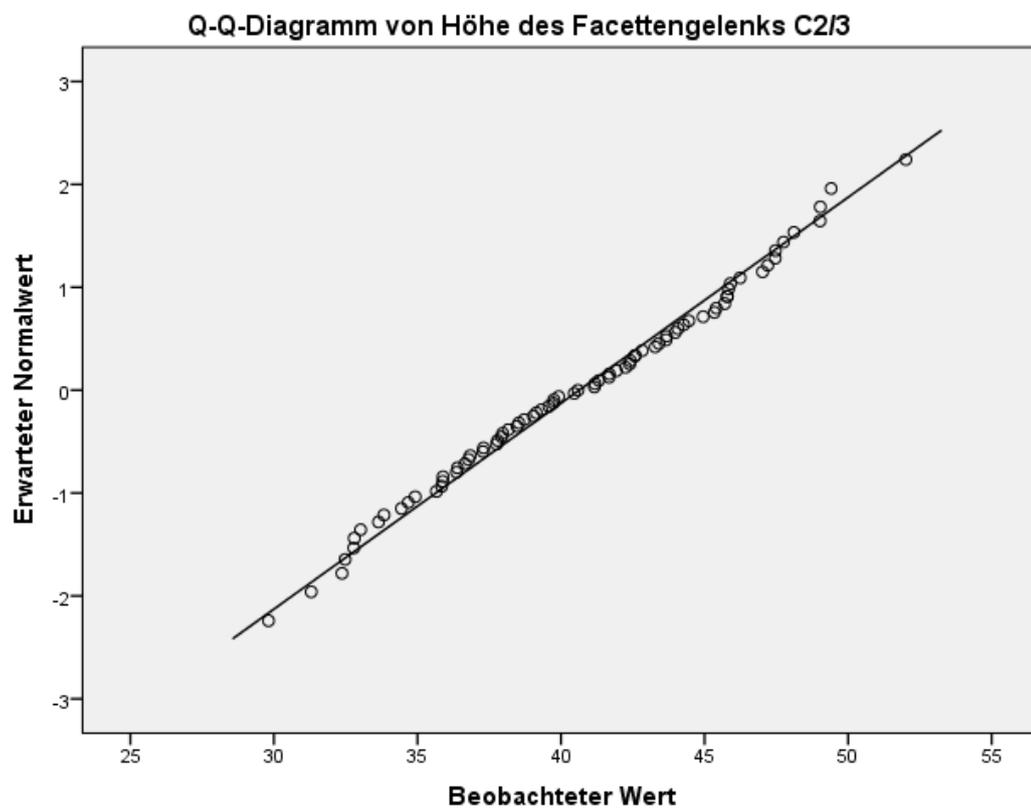


Abbildung 105: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C2/3.

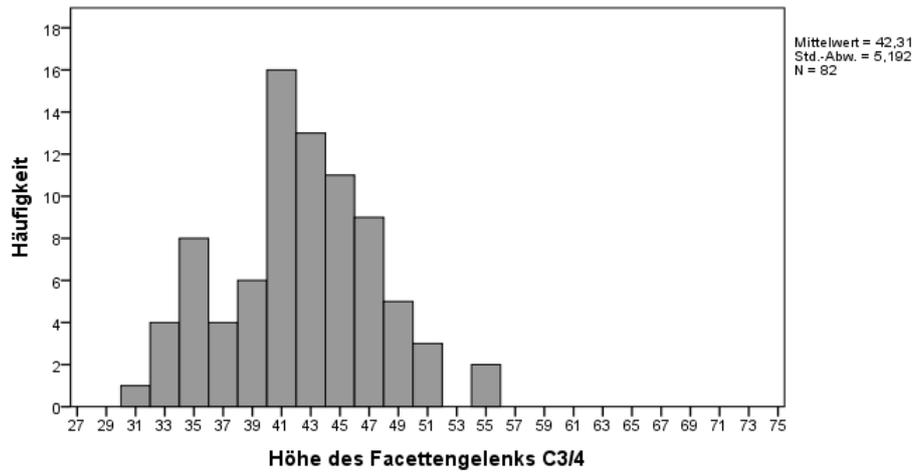


Abbildung 106: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C3/4.

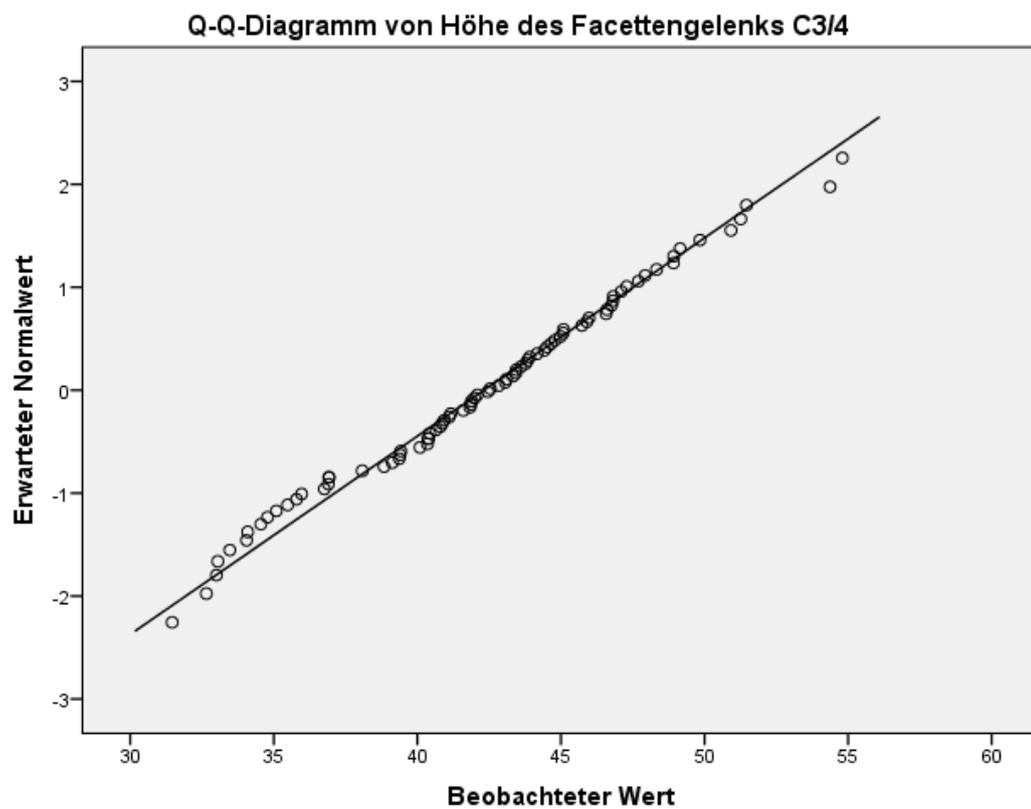


Abbildung 107: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C3/4.

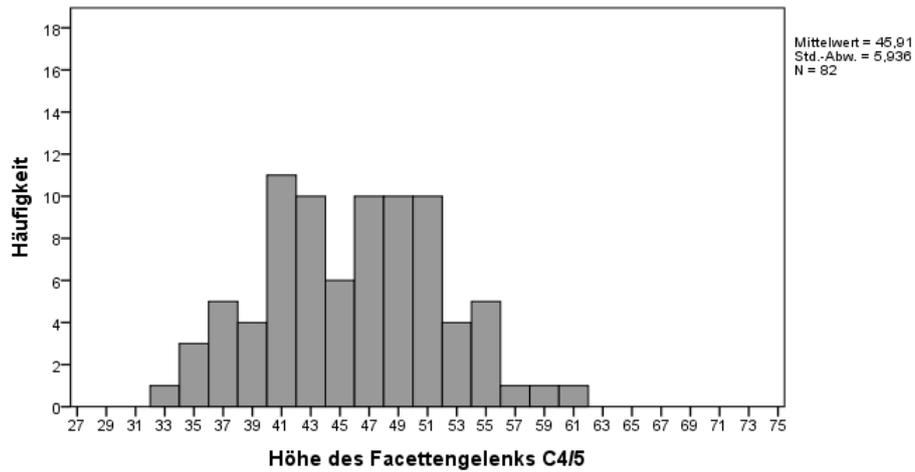


Abbildung 108: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C4/5.

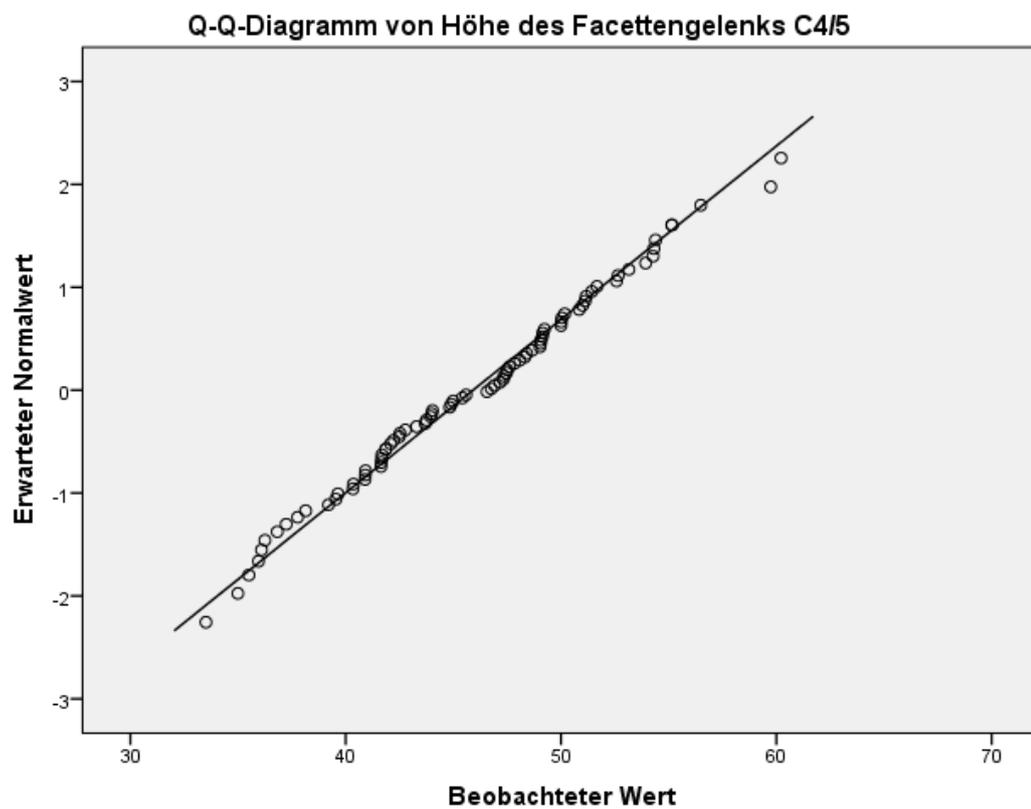


Abbildung 109: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C4/5.

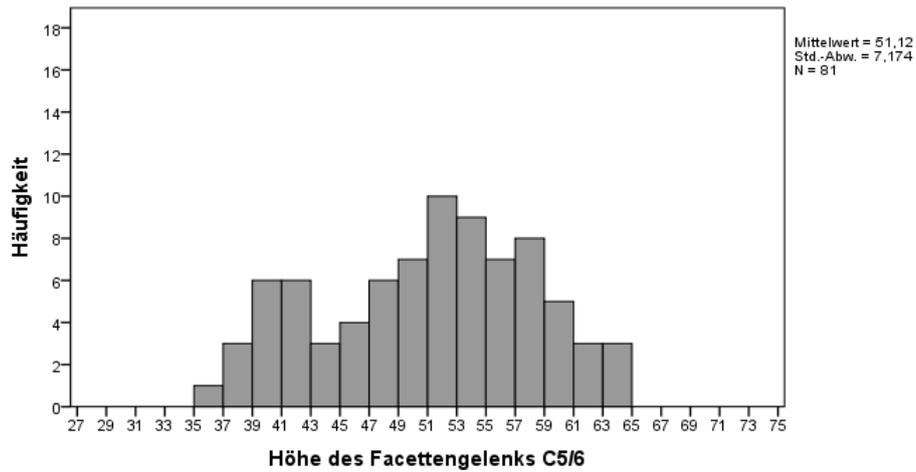


Abbildung 110: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C5/6.

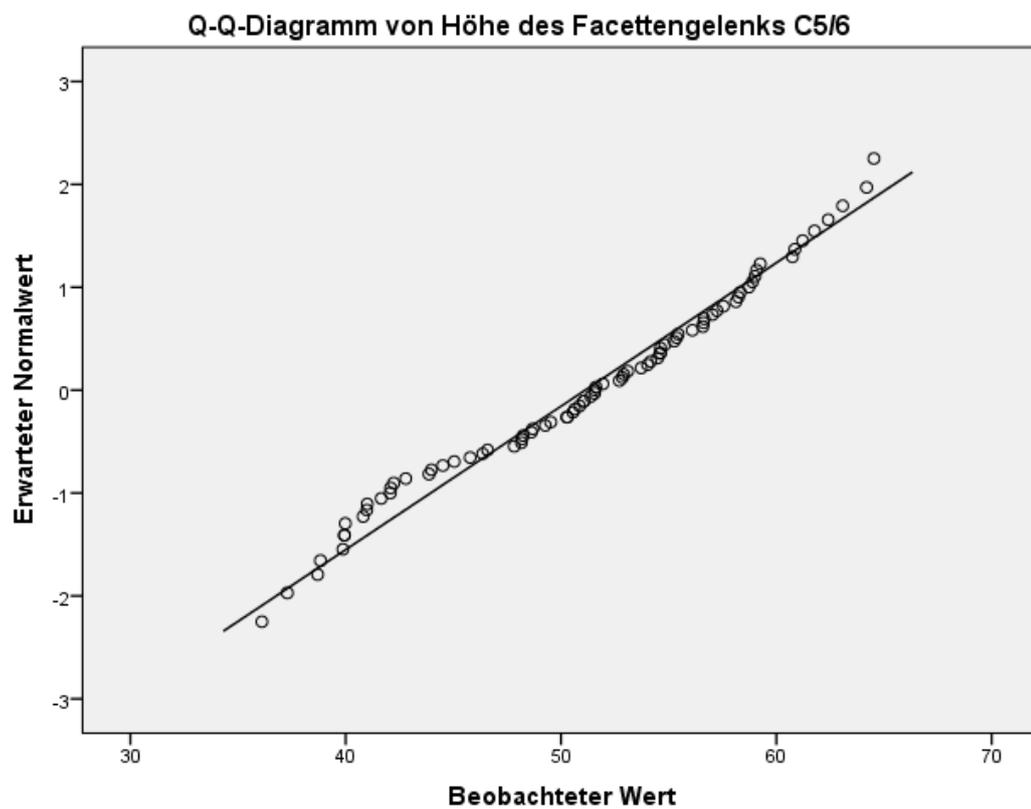


Abbildung 111: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C5/6.

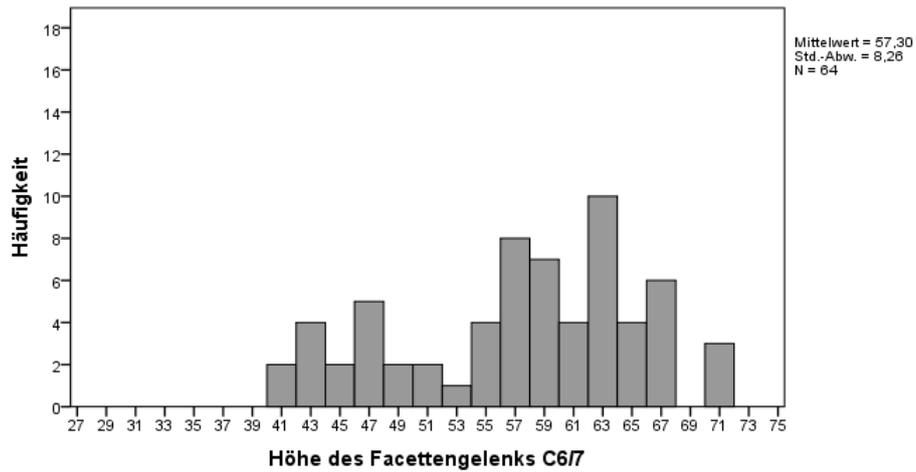


Abbildung 112: Histogramm der HFG-Werte des Facettengelenks C6/7.

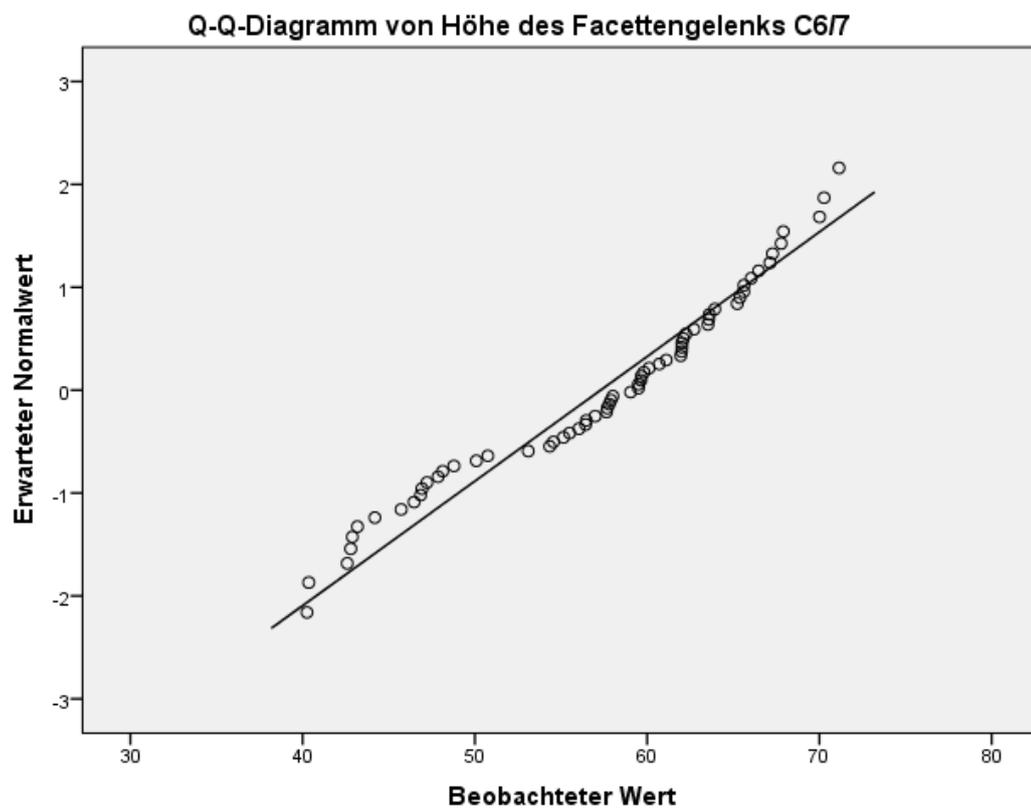


Abbildung 113: Quantil-Quantil-Diagramm der HFG-Werte des Facettengelenks C6/7.

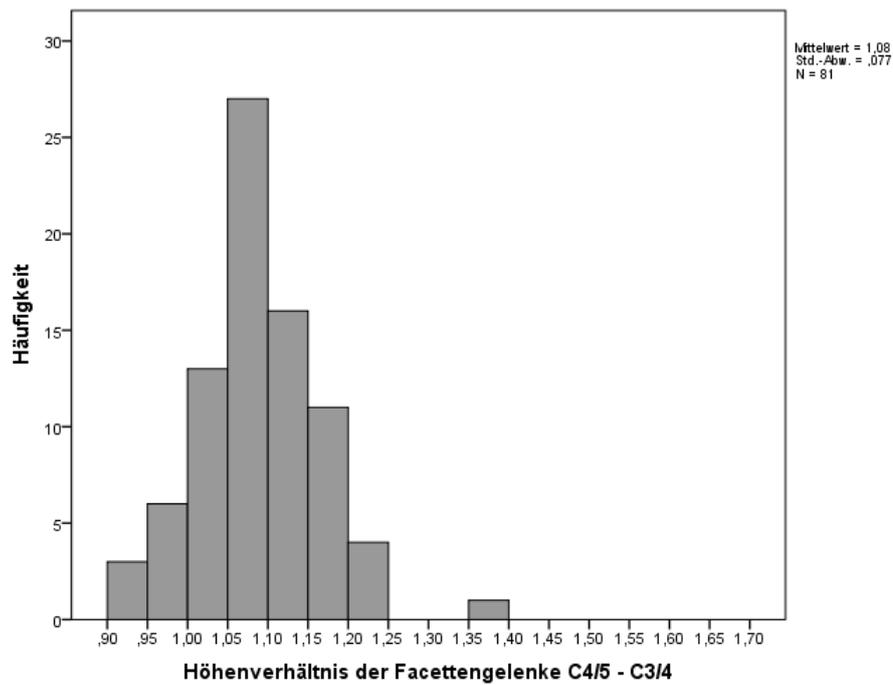


Abbildung 114: Histogramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C4/5.

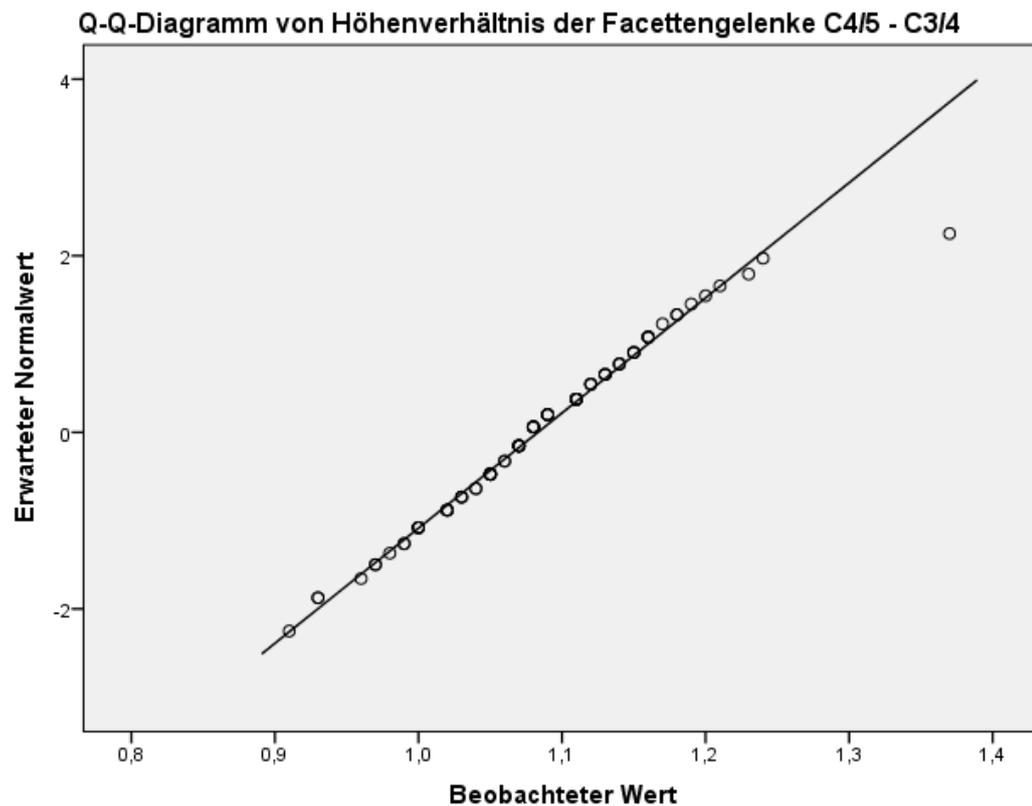


Abbildung 115: Quantil-Quantil-Diagramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C4/5.

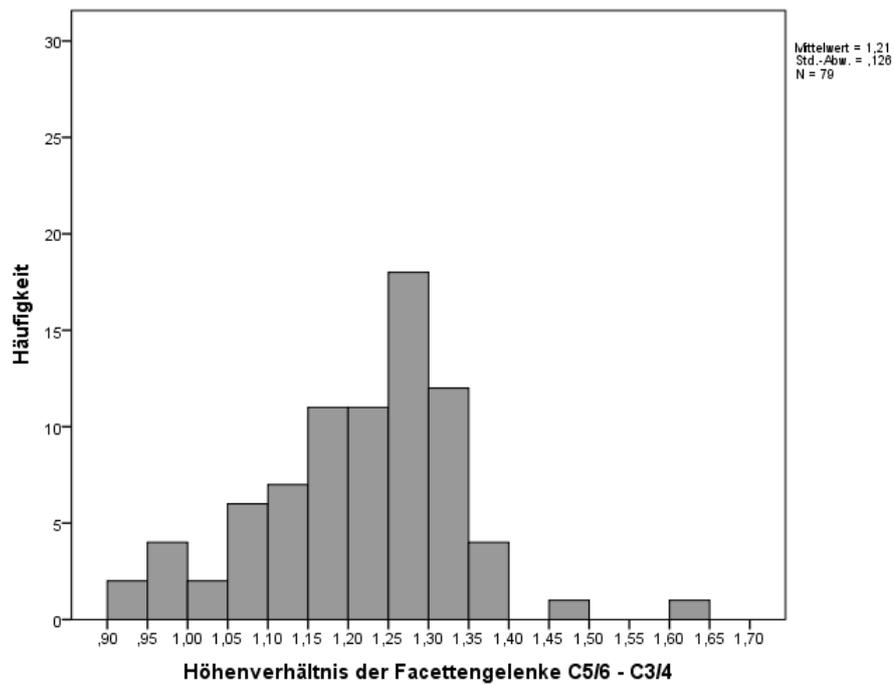


Abbildung 116: Histogramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C5/6.

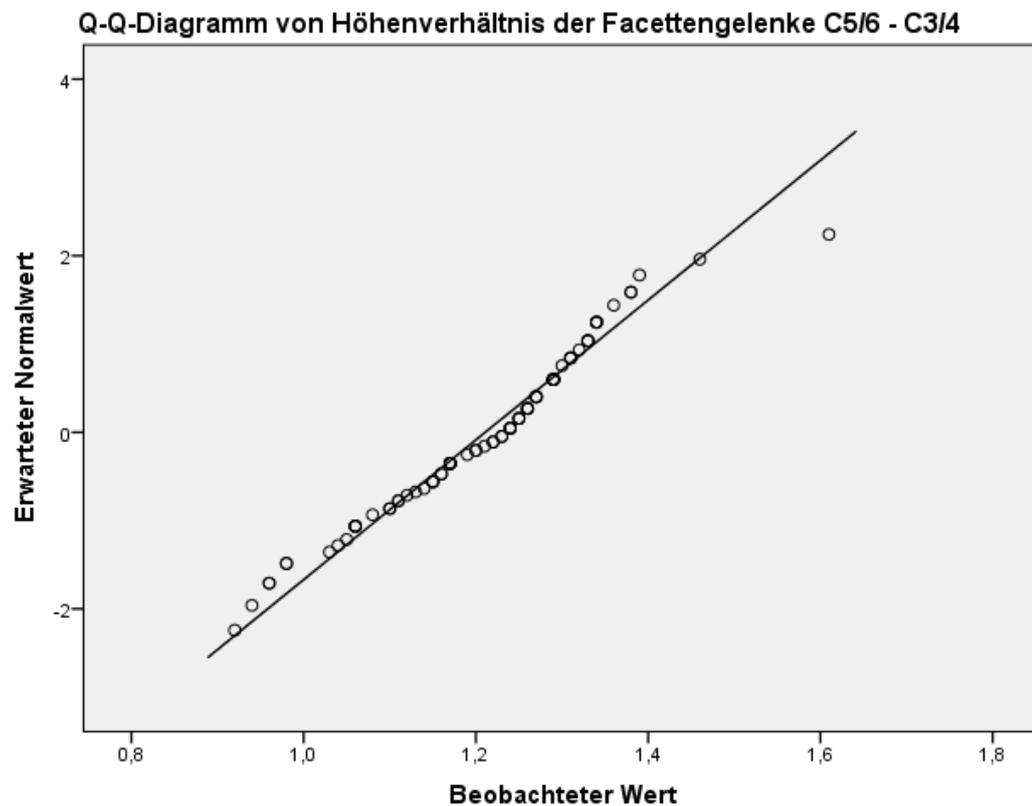


Abbildung 117: Quantil-Quantil-Diagramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C5/6.

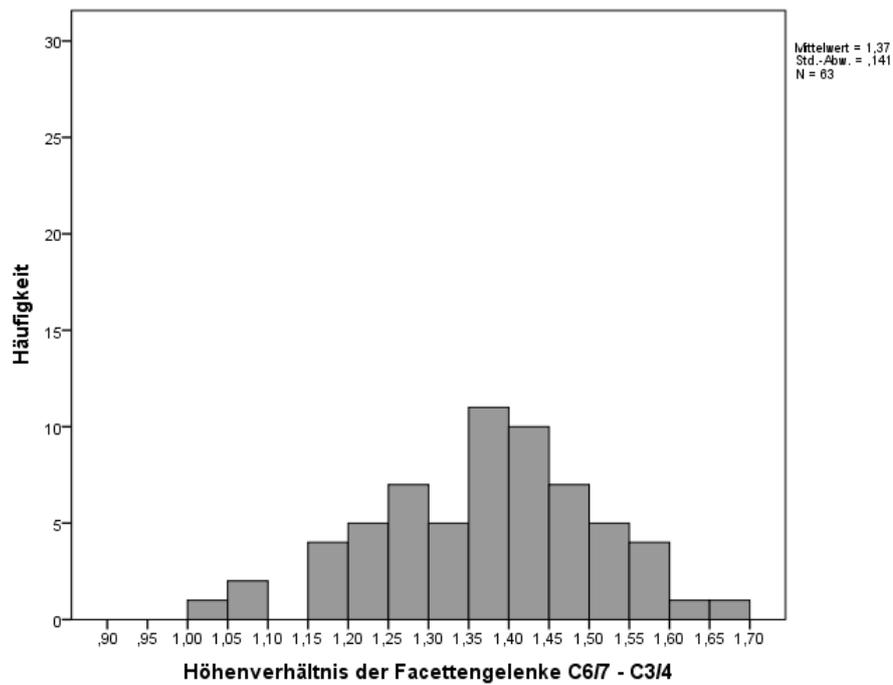


Abbildung 118: Histogramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C6/7.

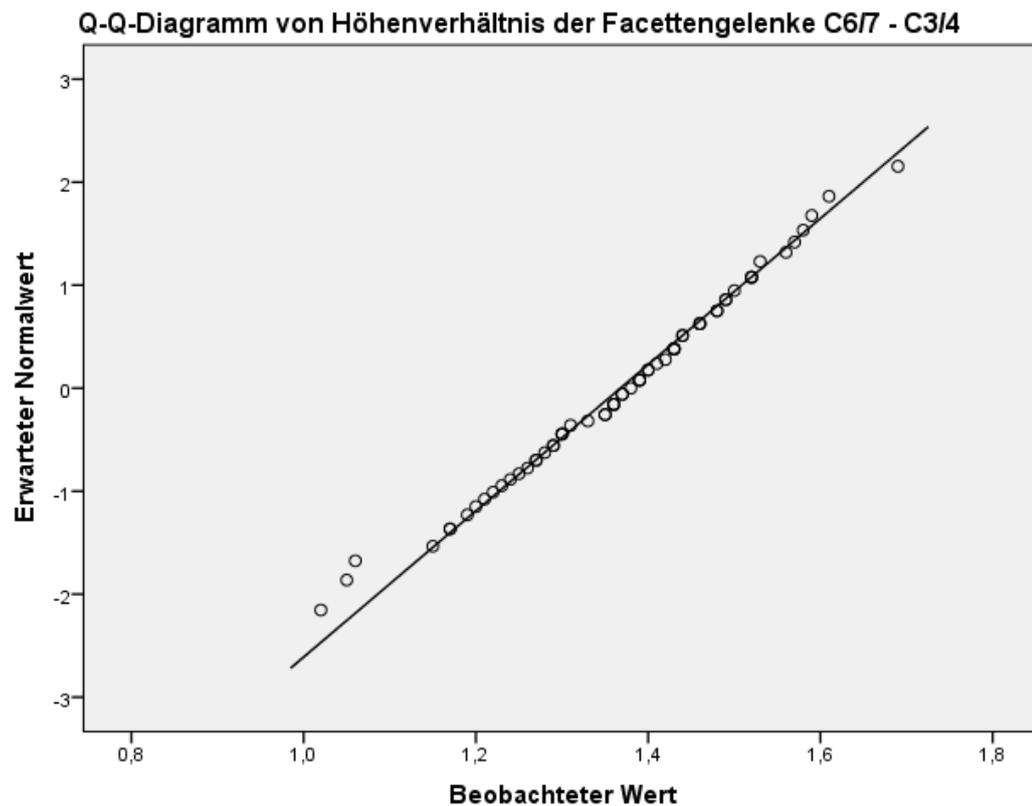


Abbildung 119: Quantil-Quantil-Diagramm der VHFG-Werte des Facettengelenks C6/7.

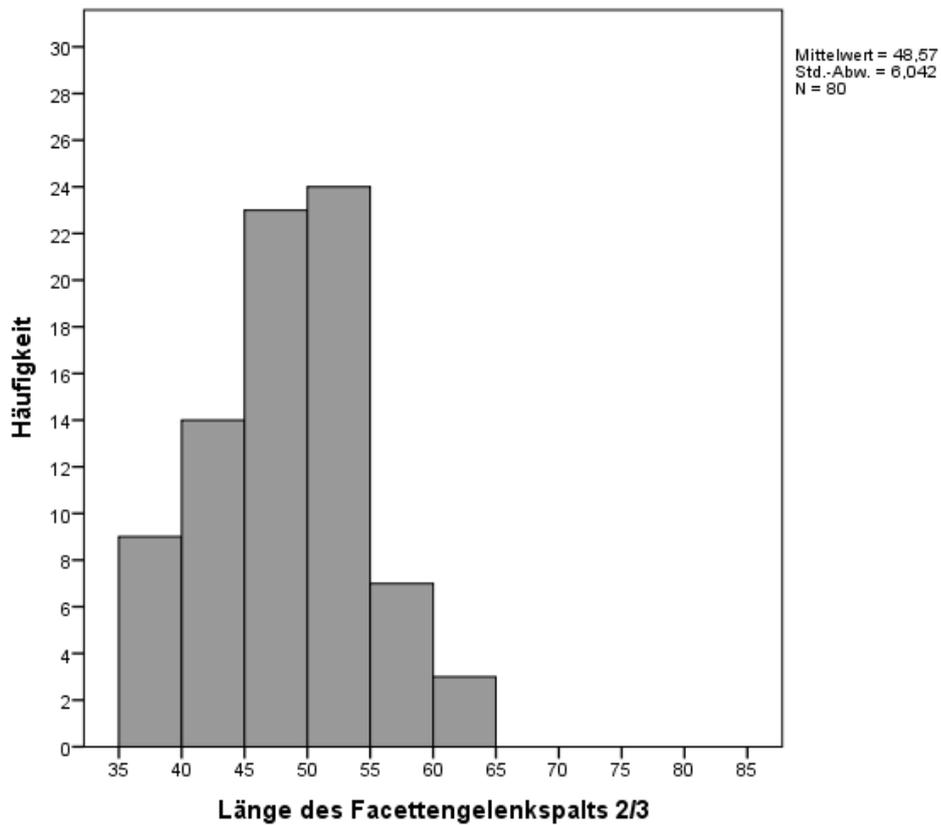


Abbildung 120: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C2/3.

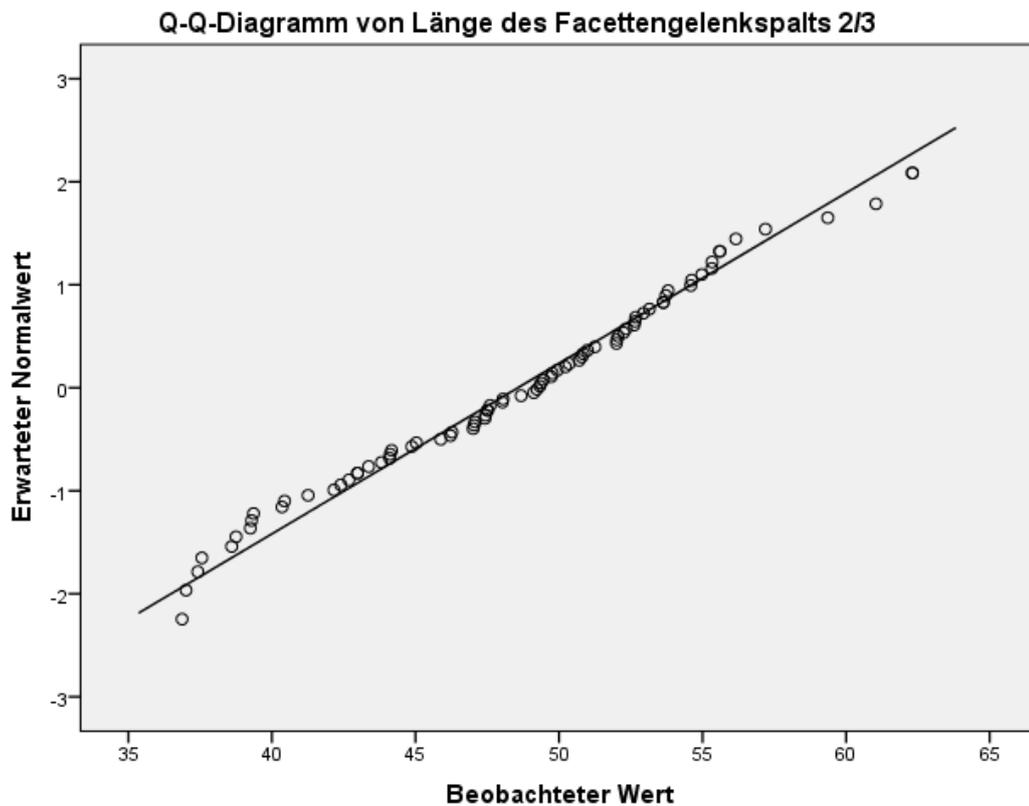


Abbildung 121: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C2/3.

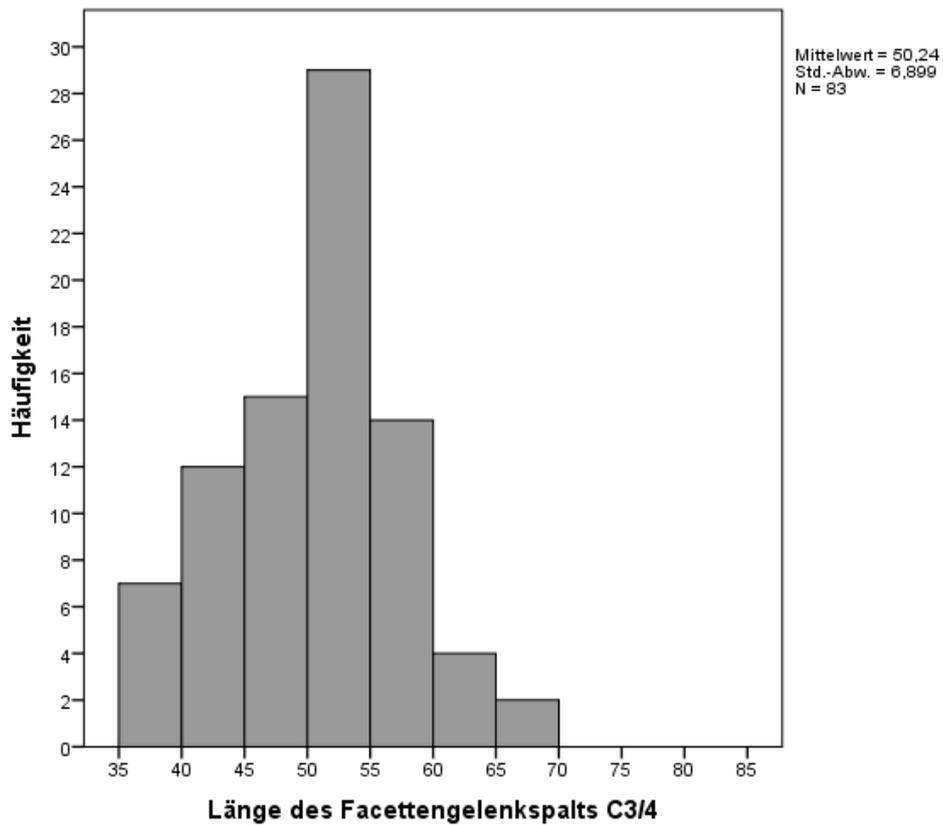


Abbildung 122: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C3/4.

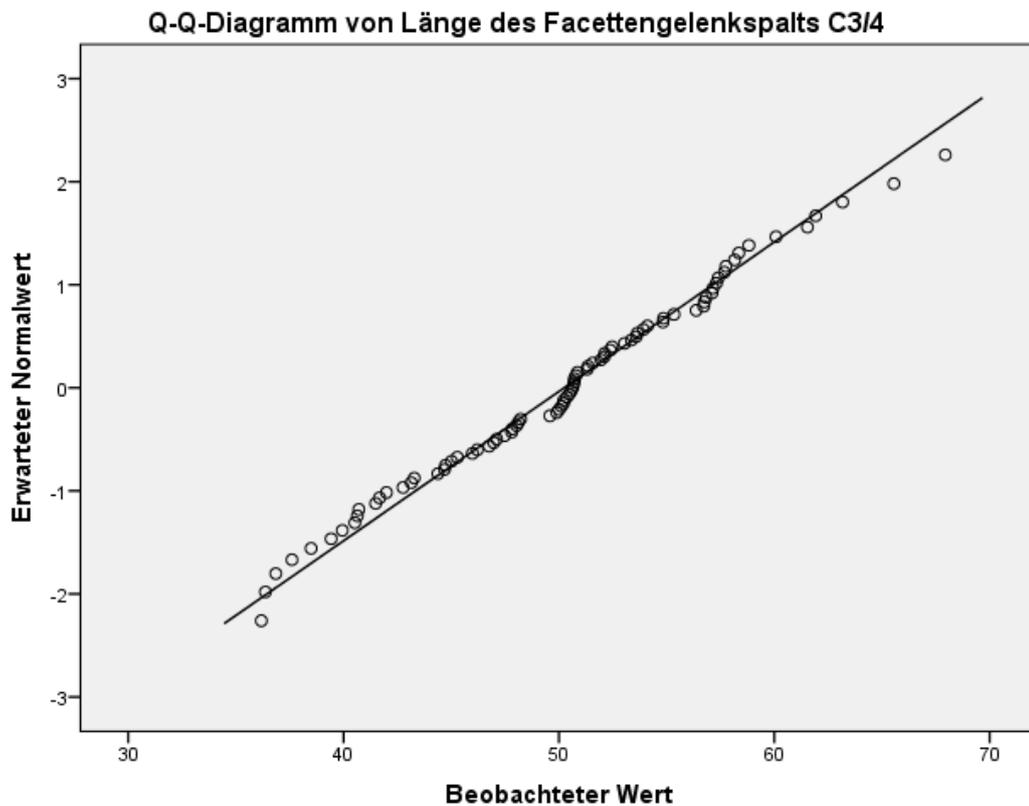


Abbildung 123: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C3/4.

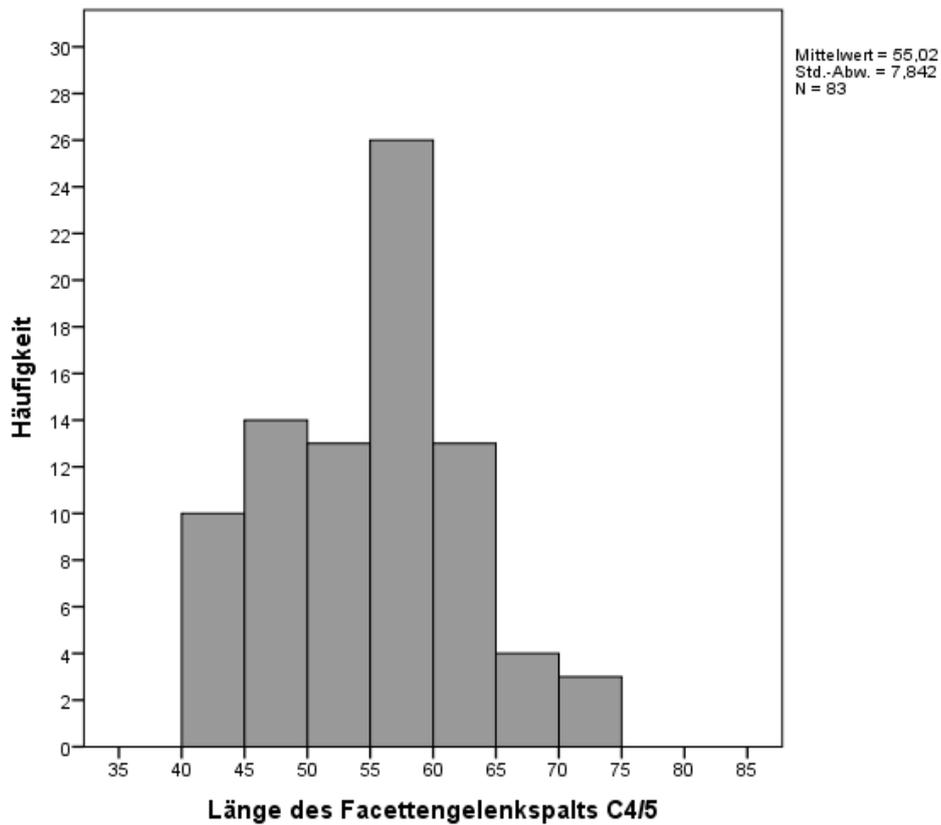


Abbildung 124: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C4/5.

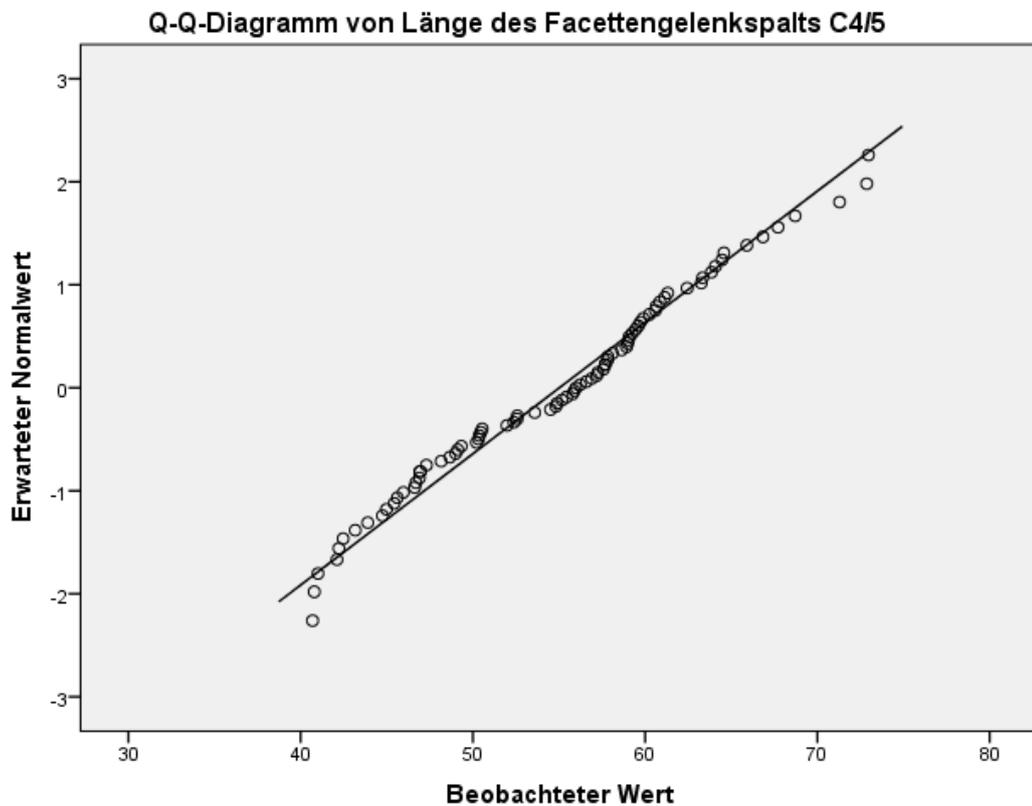


Abbildung 125: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C4/5.

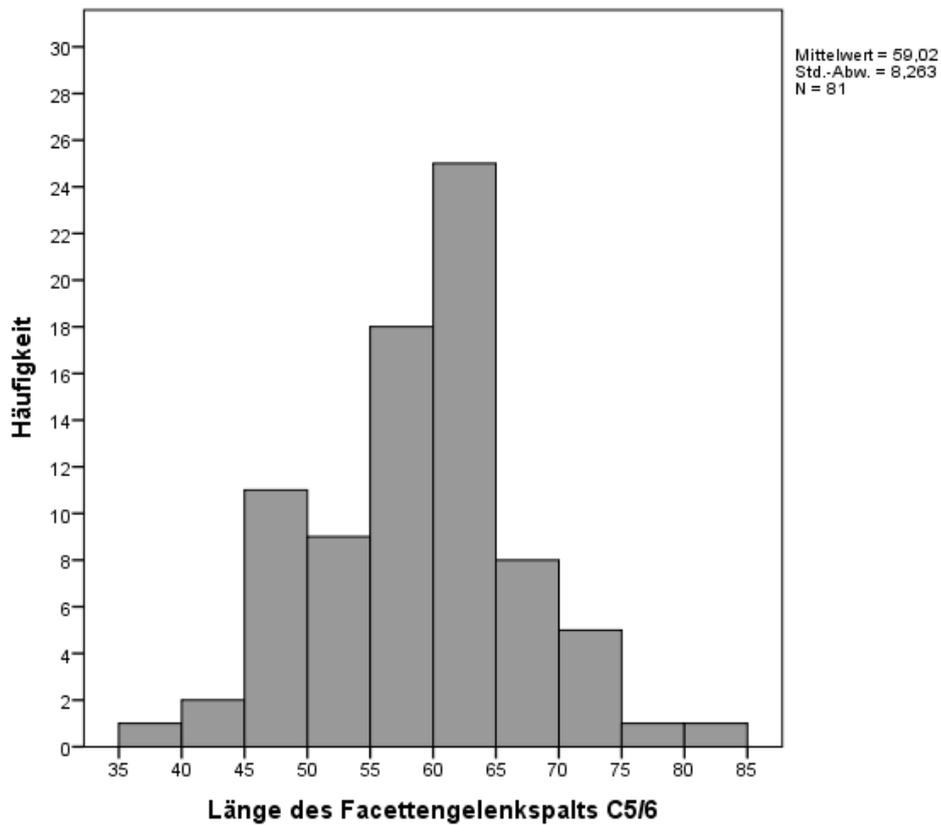


Abbildung 126: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C5/6.

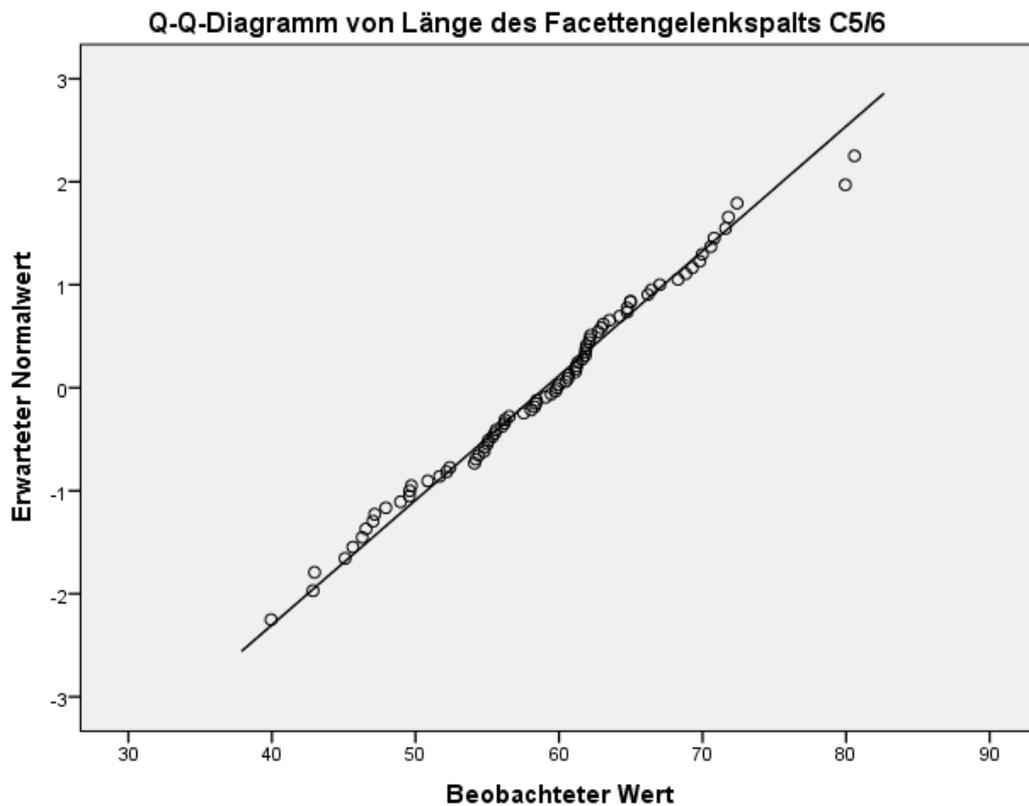


Abbildung 127: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C5/6.

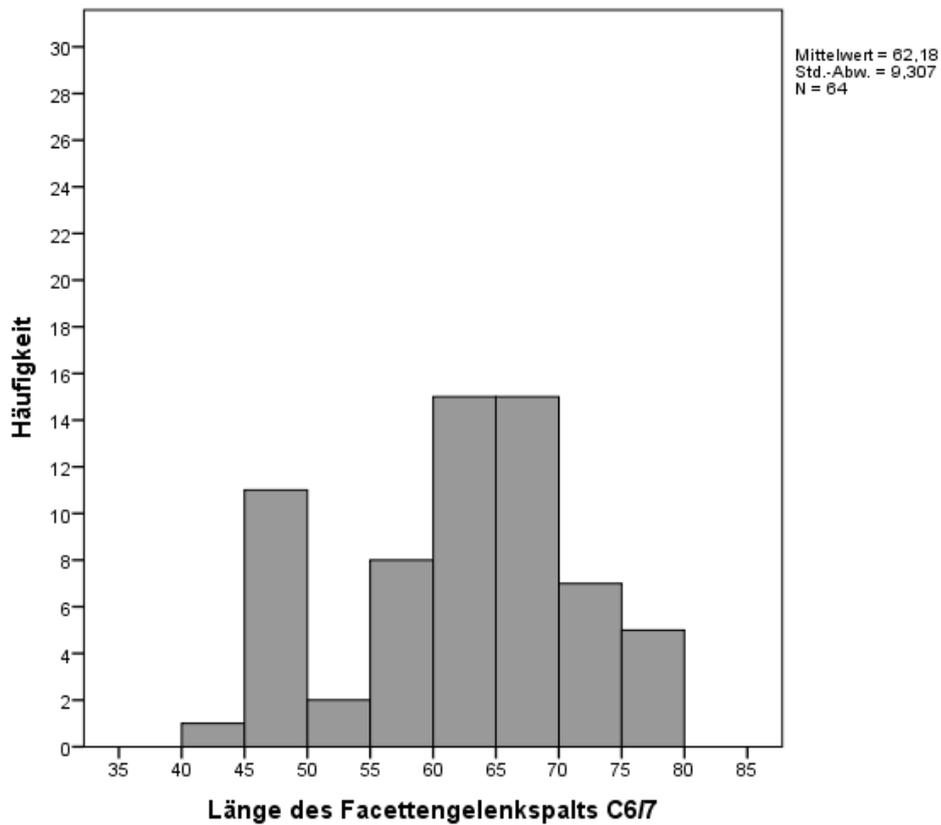


Abbildung 128: Histogramm der LFG-Werte des Facettengelenks C6/7.

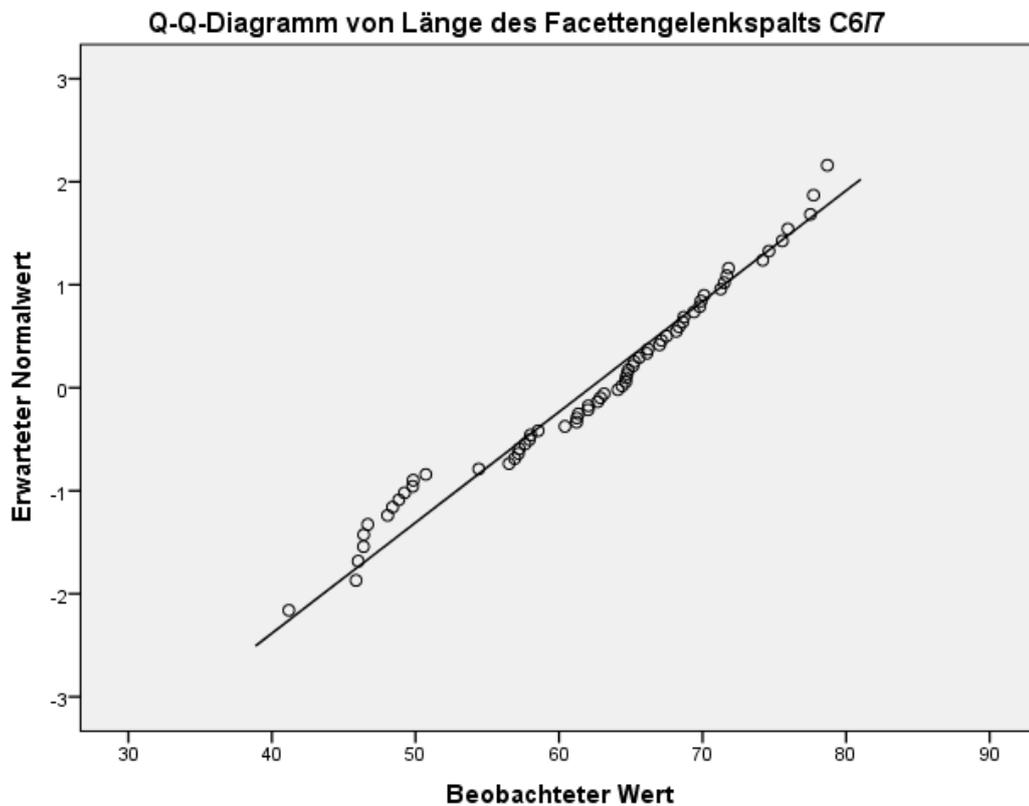


Abbildung 129: Quantil-Quantil-Diagramm der LFG-Werte des Facettengelenks C6/7.

Tabelle 63: Tests auf Normalverteilung der MSD-Werte.

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
MSD C2	0,054	83	0,200	0,986	83	0,52
MSD C3	0,057	84	0,200	0,991	84	0,837
MSD C4	0,052	84	0,200	0,992	84	0,874
MSD C5	0,049	84	0,200	0,99	84	0,744
MSD C6	0,082	84	0,200	0,973	84	0,076
MSD C7	0,07	83	0,200	0,983	83	0,337

Tabelle 64: Tests auf Normalverteilung der IVV-Werte.

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
Alter in Monaten	0,157	84	0,000	0,898	84	0
Stockmaß in cm	0,186	84	0,000	0,901	84	0
IVV C3	0,059	84	0,200	0,99	84	0,769
IVV C4	0,068	84	0,200	0,988	84	0,608
IVV C5	0,051	84	0,200	0,993	84	0,936
IVV C6	0,076	84	0,200	0,987	84	0,594
IVV C7	0,079	83	0,200	0,983	83	0,331

Tabelle 65: Tests auf Normalverteilung der HFG-Werte.

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
HFG C2/3	0,055	79	0,200	0,986	79	0,564
HFG C3/4	0,06	82	0,200	0,987	82	0,588
HFG C4/5	0,059	82	0,200	0,988	82	0,652
HFG C5/6	0,078	81	0,200	0,971	81	0,06
HFG C6/7	0,11	64	0,052	0,947	64	0,008

Tabelle 66: Tests auf Normalverteilung der VHFG-Werte.

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
VHFG C4/5	0,072	81	0,200	0,976	81	0,14
VHFG C5/6	0,098	79	0,059	0,972	79	0,085
VHFG C6/7	0,069	63	0,200	0,989	63	0,862

**Tabelle 67: Tests auf Normalverteilung der LFG-Werte.**

Tests auf Normalverteilung						
	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistik	df	Signifikanz	Statistik	df	Signifikanz
LFG C2/3	0,061	80	0,200	0,981	80	0,269
LFG C3/4	0,083	83	0,200	0,988	83	0,609
LFG C4/5	0,069	83	0,200	0,977	83	0,153
LFG C5/6	0,055	81	0,200	0,988	81	0,661
LFG C6/7	0,099	64	0,189	0,96	64	0,037

**Tabelle 68: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der MSD-Werte.**

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
MSD C2	Zwischen den Gruppen	369,88	2	184,94	26,083	0,000
	Innerhalb der Gruppen	567,236	80	7,09		
	Gesamt	937,116	82			
MSD C3	Zwischen den Gruppen	182,259	2	91,13	19,974	0,000
	Innerhalb der Gruppen	369,555	81	4,562		
	Gesamt	551,814	83			
MSD C4	Zwischen den Gruppen	156,125	2	78,063	23,585	0,000
	Innerhalb der Gruppen	268,103	81	3,31		
	Gesamt	424,228	83			
MSD C5	Zwischen den Gruppen	176,698	2	88,349	20,465	0,000
	Innerhalb der Gruppen	349,675	81	4,317		
	Gesamt	526,372	83			
MSD C6	Zwischen den Gruppen	439,564	2	219,782	46,626	0,000
	Innerhalb der Gruppen	381,815	81	4,714		
	Gesamt	821,379	83			
MSD C7	Zwischen den Gruppen	712,35	2	356,175	52,796	0,000
	Innerhalb der Gruppen	539,696	80	6,746		
	Gesamt	1252,046	82			

**Tabelle 69: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der IVV-Werte.**

		Quadratsu mme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
IVV C3	Zwischen den Gruppen	0,06	2	0,03	11,759	0,000
	Innerhalb der Gruppen	0,205	81	0,003		
	Gesamt	0,265	83			
IVV C4	Zwischen den Gruppen	0,037	2	0,018	10,714	0,000
	Innerhalb der Gruppen	0,138	81	0,002		
	Gesamt	0,175	83			
IVV C5	Zwischen den Gruppen	0,044	2	0,022	11,926	0,000
	Innerhalb der Gruppen	0,149	81	0,002		
	Gesamt	0,192	83			
IVV C6	Zwischen den Gruppen	0,083	2	0,042	21,441	0,000
	Innerhalb der Gruppen	0,157	81	0,002		
	Gesamt	0,24	83			
IVV C7	Zwischen den Gruppen	0,158	2	0,079	29,256	0,000
	Innerhalb der Gruppen	0,216	80	0,003		
	Gesamt	0,373	82			

**Tabelle 70: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der HFG-Werte.**

		Quadratsu mme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
HFG C2/3	Zwischen den Gruppen	714,96	2	357,479	22,043	0,000
	Innerhalb der Gruppen	1232,5	76	16,218		
	Gesamt	1947,5	78			
HFG C3/4	Zwischen den Gruppen	856,64	2	428,322	25,505	0,000
	Innerhalb der Gruppen	1326,7	79	16,794		
	Gesamt	2183,3	81			
HFG C4/5	Zwischen den Gruppen	1062,7	2	531,346	23,436	0,000
	Innerhalb der Gruppen	1791,1	79	22,672		
	Gesamt	2853,8	81			
HFG C5/6	Zwischen den Gruppen	1800,7	2	900,356	30,32	0,000
	Innerhalb der Gruppen	2316,2	78	29,695		
	Gesamt	4116,9	80			
HFG C6/7	Zwischen den Gruppen	2358	2	1179	37,068	0,000
	Innerhalb der Gruppen	1940,2	61	31,807		
	Gesamt	4298,2	63			

**Tabelle 71: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der VHFG-Werte.**

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
VHFG C4/5	Zwischen den Gruppen	0,008	2	0,004	0,716	0,492
	Innerhalb der Gruppen	0,462	78	0,006		
	Gesamt	0,47	80			
VHFG C5/6	Zwischen den Gruppen	0,058	2	0,029	1,856	0,163
	Innerhalb der Gruppen	1,186	76	0,016		
	Gesamt	1,244	78			
VFG C6/7	Zwischen den Gruppen	0,142	2	0,071	3,908	0,025
	Innerhalb der Gruppen	1,089	60	0,018		
	Gesamt	1,231	62			

**Tabelle 72: Einfaktorielle Varianzanalyse der Gruppenunterschiede der LFG-Werte.**

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
LFG C2/3	Zwischen den Gruppen	1419,4	2	709,721	37,306	0,000
	Innerhalb der Gruppen	1464,9	77	19,024		
	Gesamt	2884,3	79			
LFG C3/4	Zwischen den Gruppen	2089	2	1044,5	46,075	0,000
	Innerhalb der Gruppen	1813,6	80	22,67		
	Gesamt	3902,6	82			
LFG C4/5	Zwischen den Gruppen	2462,8	2	1231,4	38,187	0,000
	Innerhalb der Gruppen	2579,7	80	32,247		
	Gesamt	5042,5	82			
LFG C5/6	Zwischen den Gruppen	2543	2	1271,48	33,967	0,000
	Innerhalb der Gruppen	2919,7	78	37,432		
	Gesamt	5462,7	80			
LFG C6/7	Zwischen den Gruppen	2960,4	2	1480,18	36,159	0,000
	Innerhalb der Gruppen	2497,1	61	40,935		
	Gesamt	5457,4	63			

Tabelle 73: Post-hoc-Test nach Bonferroni der MSD-Werte.

Post-hoc-Test nach Bonferroni	(I) Altersgruppen	(J) Altersgruppen	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
MSD C2	1 Absetzer	2 Jährlinge	-3,9317	0,69609	0,000	-5,6353	-2,2281
		3 Zweijährige	-5,1672	0,74255	0,000	-6,9845	-3,3499
	2 Jährlinge	1 Absetzer	3,9317	0,69609	0,000	2,2281	5,6353
		3 Zweijährige	-1,2355	0,69609	0,240	-2,9391	0,4681
	3 Zweijährige	1 Absetzer	5,1672	0,74255	0,000	3,3499	6,9845
		2 Jährlinge	1,2355	0,69609	0,240	-0,4681	2,9391
MSD C3	1 Absetzer	2 Jährlinge	-2,4016	0,56771	0,000	-3,7906	-1,0126
		3 Zweijährige	-3,7604	0,60947	0,000	-5,2516	-2,2692
	2 Jährlinge	1 Absetzer	2,4016	0,56771	0,000	1,0126	3,7906
		3 Zweijährige	-1,3588	0,56771	0,057	-2,7478	0,0302
	3 Zweijährige	1 Absetzer	3,7604	0,60947	0,000	2,2692	5,2516
		2 Jährlinge	1,3588	0,56771	0,057	-0,0302	2,7478
MSD C4	1 Absetzer	2 Jährlinge	-2,8999	0,47251	0,000	-4,056	-1,7438
		3 Zweijährige	-3,0824	0,50728	0,000	-4,3236	-1,8412
	2 Jährlinge	1 Absetzer	2,8999	0,47251	0,000	1,7438	4,056
		3 Zweijährige	-0,1825	0,47251	1,000	-1,3386	0,9736
	3 Zweijährige	1 Absetzer	3,0824	0,50728	0,000	1,8412	4,3236
		2 Jährlinge	0,1825	0,47251	1,000	-0,9736	1,3386
MSD C5	1 Absetzer	2 Jährlinge	-2,9973	0,54579	0,000	-4,3327	-1,6619
		3 Zweijährige	-3,368	0,58595	0,000	-4,8016	-1,9344
	2 Jährlinge	1 Absetzer	2,9973	0,54579	0,000	1,6619	4,3327
		3 Zweijährige	-0,3707	0,54579	1,000	-1,7061	0,9647
	3 Zweijährige	1 Absetzer	3,368	0,58595	0,000	1,9344	4,8016
		2 Jährlinge	0,3707	0,54579	1,000	-0,9647	1,7061
MSD C6	1 Absetzer	2 Jährlinge	-5,0324	0,55549	0,000	-6,3915	-3,6732
		3 Zweijährige	-4,9628	0,59635	0,000	-6,4219	-3,5037
	2 Jährlinge	1 Absetzer	5,0324	0,55549	0,000	3,6732	6,3915
		3 Zweijährige	0,0696	0,55549	1,000	-1,2896	1,4287
	3 Zweijährige	1 Absetzer	4,9628	0,59635	0,000	3,5037	6,4219
		2 Jährlinge	-0,0696	0,55549	1,000	-1,4287	1,2896
MSD C7	1 Absetzer	2 Jährlinge	-6,213	0,69086	0,000	-7,9038	-4,5221
		3 Zweijährige	-6,7549	0,74053	0,000	-8,5673	-4,9425
	2 Jährlinge	1 Absetzer	6,213	0,69086	0,000	4,5221	7,9038
		3 Zweijährige	-0,5419	0,68271	1,000	-2,2128	1,129
	3 Zweijährige	1 Absetzer	6,7549	0,74053	0,000	4,9425	8,5673
		2 Jährlinge	0,5419	0,68271	1,000	-1,129	2,2128

Tabelle 74: Post-hoc-Test nach Bonferroni der IVV-Werte.

Post-hoc-Test nach Bonferroni	(I)Altersgrup- pen	(J)Altersgrup- pen	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Sig.	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
IVV C3	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,020649	0,01313	0,359	-0,052772	0,011474
		3 Zweijährige	-0,067083	0,01409	0,000	-0,101569	-0,032597
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,020649	0,01313	0,359	-0,011474	0,052772
		3 Zweijährige	-0,046434	0,01313	0,002	-0,078557	-0,014311
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,067083	0,01409	0,000	0,032597	0,101569
		2 Jährlinge	0,046434	0,01313	0,002	0,014311	0,078557
IVV C4	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,028194	0,0105	0,027	-0,053885	-0,002503
		3 Zweijährige	-0,054039	0,01127	0,000	-0,08162	-0,026458
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,028194	0,0105	0,027	0,002503	0,053885
		3 Zweijährige	-0,025845	0,0105	0,048	-0,051536	-0,000154
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,054039	0,01127	0,000	0,026458	0,08162
		2 Jährlinge	0,025845	0,0105	0,048	0,000154	0,051536
IVV C5	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,032251	0,01097	0,013	-0,059103	-0,005399
		3 Zweijährige	-0,059076	0,01178	0,000	-0,087903	-0,030248
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,032251	0,01097	0,013	0,005399	0,059103
		3 Zweijährige	-0,026825	0,01097	0,050	-0,053676	0,000027
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,059076	0,01178	0,000	0,030248	0,087903
		2 Jährlinge	0,026825	0,01097	0,050	-0,000027	0,053676
IVV C6	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,054857	0,01137	0,000	-0,082687	-0,027027
		3 Zweijährige	-0,079171	0,01221	0,000	-0,109048	-0,049293
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,054857	0,01137	0,000	0,027027	0,082687
		3 Zweijährige	-0,024314	0,01137	0,107	-0,052144	0,003517
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,079171	0,01221	0,000	0,049293	0,109048
		2 Jährlinge	0,024314	0,01137	0,107	-0,003517	0,052144
IVV C7	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,080693	0,01349	0,000	-0,113715	-0,047671
		3 Zweijährige	-0,1088	0,01446	0,000	-0,144197	-0,073404
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,080693	0,01349	0,000	0,047671	0,113715
		3 Zweijährige	-0,028107	0,01333	0,115	-0,06074	0,004526
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,1088	0,01446	0,000	0,073404	0,144197
		2 Jährlinge	0,028107	0,01333	0,115	-0,004526	0,06074

Tabelle 75: Post-hoc-Test nach Bonferroni der HFG-Werte.

Post-hoc-Test nach Bonferroni	(I) Altersgruppen	(J) Altersgruppen	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifik anz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
HFG C2/3	1 Absetzer	2 Jährlinge	-6,70238	1,10087	0,000	-9,3974	-4,0073
		3 Zweijährige	-6,50957	1,1751	0,000	-9,3863	-3,6328
	2 Jährlinge	1 Absetzer	6,70238	1,10087	0,000	4,0073	9,3974
		3 Zweijährige	0,19281	1,08744	1,000	-2,4694	2,855
	3 Zweijährige	1 Absetzer	6,50957	1,1751	0,000	3,6328	9,3863
		2 Jährlinge	-0,19281	1,08744	1,000	-2,855	2,4694
HFG C3/4	1 Absetzer	2 Jährlinge	-7,46989	1,09938	0,000	-10,159	-4,7808
		3 Zweijährige	-6,48798	1,1711	0,000	-9,3525	-3,6234
	2 Jährlinge	1 Absetzer	7,46989	1,09938	0,000	4,7808	10,159
		3 Zweijährige	0,9819	1,08658	1,000	-1,6759	3,6397
	3 Zweijährige	1 Absetzer	6,48798	1,1711	0,000	3,6234	9,3525
		2 Jährlinge	-0,9819	1,08658	1,000	-3,6397	1,6759
HFG C4/5	1 Absetzer	2 Jährlinge	-8,02051	1,26945	0,000	-11,1256	-4,9154
		3 Zweijährige	-7,74917	1,37453	0,000	-11,1113	-4,387
	2 Jährlinge	1 Absetzer	8,02051	1,26945	0,000	4,9154	11,1256
		3 Zweijährige	0,27135	1,26945	1,000	-2,8337	3,3764
	3 Zweijährige	1 Absetzer	7,74917	1,37453	0,000	4,387	11,1113
		2 Jährlinge	-0,27135	1,26945	1,000	-3,3764	2,8337
HFG C5/6	1 Absetzer	2 Jährlinge	-10,05522	1,47122	0,000	-13,6549	-6,4556
		3 Zweijährige	-10,94647	1,59009	0,000	-14,837	-7,056
	2 Jährlinge	1 Absetzer	10,05522	1,47122	0,000	6,4556	13,6549
		3 Zweijährige	-0,89125	1,45282	1,000	-4,4459	2,6634
	3 Zweijährige	1 Absetzer	10,94647	1,59009	0,000	7,056	14,837
		2 Jährlinge	0,89125	1,45282	1,000	-2,6634	4,4459
HFG C6/7	1 Absetzer	2 Jährlinge	-13,79943	1,71208	0,000	-18,0142	-9,5847
		3 Zweijährige	-13,64176	1,93441	0,000	-18,4039	-8,8796
	2 Jährlinge	1 Absetzer	13,79943	1,71208	0,000	9,5847	18,0142
		3 Zweijährige	0,15767	1,71208	1,000	-4,0571	4,3724
	3 Zweijährige	1 Absetzer	13,64176	1,93441	0,000	8,8796	18,4039
		2 Jährlinge	-0,15767	1,71208	1,000	-4,3724	4,0571

Tabelle 76: Post-hoc-Test nach Bonferroni der VHFG-Werte.

Post-hoc-Test nach Bonferroni	(I) Altersgruppen	(J) Altersgruppen	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifik anz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
VHFG C4/5	1 Absetzer	2 Jährlinge	0,01174	0,02064	1,000	-0,0388	0,0623
		3 Zweijährige	-0,01292	0,02221	1,000	-0,0673	0,0414
	2 Jährlinge	1 Absetzer	-0,01174	0,02064	1,000	-0,0623	0,0388
		3 Zweijährige	-0,02466	0,02064	0,708	-0,0752	0,0259
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,01292	0,02221	1,000	-0,0414	0,0673
		2 Jährlinge	0,02466	0,02064	0,708	-0,0259	0,0752
VHFG C5/6	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,01045	0,03439	1,000	-0,0946	0,0737
		3 Zweijährige	-0,06443	0,03688	0,254	-0,1547	0,0259
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,01045	0,03439	1,000	-0,0737	0,0946
		3 Zweijährige	-0,05398	0,03352	0,334	-0,136	0,0281
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,06443	0,03688	0,254	-0,0259	0,1547
		2 Jährlinge	0,05398	0,03352	0,334	-0,0281	0,136
VHFG C6/7	1 Absetzer	2 Jährlinge	-0,06283	0,0417	0,411	-0,1655	0,0399
		3 Zweijährige	-0,13103	0,04692	0,021	-0,2466	-0,0155
	2 Jährlinge	1 Absetzer	0,06283	0,0417	0,411	-0,0399	0,1655
		3 Zweijährige	-0,0682	0,04089	0,302	-0,1689	0,0325
	3 Zweijährige	1 Absetzer	0,13103	0,04692	0,021	0,0155	0,2466
		2 Jährlinge	0,0682	0,04089	0,302	-0,0325	0,1689

Tabelle 77: Post-hoc-Test nach Bonferroni der LFG-Werte.

Post-hoc-Test nach Bonferroni	(I) Altersgruppen	(J) Altersgruppen	Mittlere Differenz (I-J)	Standard fehler	Signifik anz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
LFG C2/3	1 Absetzer	2 Jährlinge	-9,60985	1,19233	0,000	-12,528	-6,6917
		3 Zweijährige	-8,85991	1,26021	0,000	-11,9441	-5,7757
	2 Jährlinge	1 Absetzer	9,60985	1,19233	0,000	6,6917	12,528
		3 Zweijährige	0,74994	1,16425	1,000	-2,0995	3,5993
	3 Zweijährige	1 Absetzer	8,85991	1,26021	0,000	5,7757	11,9441
		2 Jährlinge	-0,74994	1,16425	1,000	-3,5993	2,0995
LFG C3/4	1 Absetzer	2 Jährlinge	-9,66309	1,26244	0,000	-12,7502	-6,576
		3 Zweijährige	-12,0972	1,34669	0,000	-15,3903	-8,8041
	2 Jährlinge	1 Absetzer	9,66309	1,26244	0,000	6,576	12,7502
		3 Zweijährige	-2,43411	1,26244	0,172	-5,5212	0,653
	3 Zweijährige	1 Absetzer	12,0972	1,34669	0,000	8,8041	15,3903
		2 Jährlinge	2,43411	1,26244	0,172	-0,653	5,5212
LFG C4/5	1 Absetzer	2 Jährlinge	-10,37109	1,4961	0,000	-14,0296	-6,7126
		3 Zweijährige	-13,29288	1,6228	0,000	-17,2612	-9,3245
	2 Jährlinge	1 Absetzer	10,37109	1,4961	0,000	6,7126	14,0296
		3 Zweijährige	-2,92179	1,51395	0,171	-6,624	0,7804
	3 Zweijährige	1 Absetzer	13,29288	1,6228	0,000	9,3245	17,2612
		2 Jährlinge	2,92179	1,51395	0,171	-0,7804	6,624
LFG C5/6	1 Absetzer	2 Jährlinge	-11,54366	1,6518	0,000	-15,5851	-7,5022
		3 Zweijährige	-13,3913	1,78527	0,000	-17,7593	-9,0233
	2 Jährlinge	1 Absetzer	11,54366	1,6518	0,000	7,5022	15,5851
		3 Zweijährige	-1,84765	1,63115	0,782	-5,8386	2,1433
	3 Zweijährige	1 Absetzer	13,3913	1,78527	0,000	9,0233	17,7593
		2 Jährlinge	1,84765	1,63115	0,782	-2,1433	5,8386
LFG C6/7	1 Absetzer	2 Jährlinge	-15,991	1,94228	0,000	-20,7725	-11,2095
		3 Zweijährige	-14,06294	2,19452	0,000	-19,4654	-8,6605
	2 Jährlinge	1 Absetzer	15,991	1,94228	0,000	11,2095	20,7725
		3 Zweijährige	1,92806	1,94228	0,974	-2,8534	6,7096
	3 Zweijährige	1 Absetzer	14,06294	2,19452	0,000	8,6605	19,4654
		2 Jährlinge	-1,92806	1,94228	0,974	-6,7096	2,8534

**Tabelle 78: Die einzelnen Untersucherabweichungen der Beurteilung der Achse zwischen C2 und C3.**

	Messung	Klasseneinteilung der Messung	Untersucher 1	Untersucher 2
Abweichende Klasseneinteilungen der Untersucher	16,84°	0	1	0
	16,41°	0	1	0
	18,10°	1	0	1
	22,91°	1	2	2
	27,37°	2	2	1
Gradabweichungen der Klasse 1 von beiden US als physiologisch beurteilt	18,76°	1	0	0
	18,30°	1	0	0
	18,82°	1	0	0
	18,17°	1	0	0
	22,48°	1	0	0

## **XII. DANKSAGUNG**

Zuallererst gilt mein Dank meinem Doktorvater Professor Dr. Hartmut Gerhards für die ausgezeichnete und zuverlässige Betreuung meiner Doktorarbeit und dem unermüdlichen Beantworten zahlreicher Fragen.

Mein besonderer Dank gilt meinem Mentor Dr. Volker Sill für die Überlassung des spannenden Themas, die Betrachtung und Beurteilung zahlloser Röntgenbilder sowie der unendlichen Unterstützung in allen Phasen der Studiendurchführung.

Mein Dank gilt außerdem dem Team der Pferdeklinik Bargteheide, ohne dessen Unterstützung diese Arbeit nicht realisierbar gewesen wäre. Insbesondere geht mein Dank an Dr. Werner Jahn für die Beurteilung meiner Röntgenbilder und das großzügige zur Verfügung stellen von Literatur. Außerdem geht ein großes Dankeschön an Alina Schröter, ohne deren Hilfe die Anfertigung der Röntgenaufnahmen nicht möglich gewesen wäre.

Des Weiteren gilt mein grenzenloser Dank dem Team des Gestüts Lewitz, insbesondere TA Stefan Lumpe für die große Unterstützung dieser Doktorarbeit.

Ein großer Dank geht auch an meine Eltern fürs Zuhören, Aufbauen und die Unterstützung in allen Lebenslagen.