

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

Arbeit angefertigt unter Anleitung
von
Univ. Prof. Dr. med. vet. habil. R. Köstlin

Röntgenmorphometrie der Halswirbelsäule des Dobermanns
Ein Beitrag zum Wobbler-Syndrom

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Salah Al Masri
aus
Daraa/Syrien

München 2012

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. Köstlin
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. Matiasek

Tag der Promotion: 21. Juli 2012

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
2	LITERATURÜBERSICHT.....	2
2.1	Einleitung.....	2
2.2	Nomenklatur.....	3
2.3	Ätiologie.....	4
2.3.1	Heritabilität.....	4
2.3.2	Körperform.....	5
2.3.3	Ernährung.....	5
2.3.4	Wachstumsrate.....	7
2.3.5	Trauma.....	7
2.4	Klinisches Bild.....	8
2.5	Pathologie.....	9
2.5.1	Veränderungen der Halswirbel.....	9
2.5.2	Veränderungen der Bandscheibe und der Bänder.....	9
2.5.3	Veränderungen des Rückenmarks.....	10
2.6	Pathogenese.....	11
2.6.1	Rolle der Veränderungen der Halswirbel.....	11
2.6.2	Rolle der Veränderungen der Bandscheibe und der Bänder.....	12
2.6.3	Rolle der Veränderungen des Rückenmarks.....	13
2.7	Diagnostik.....	14
2.7.1	Röntgenologische Diagnostik.....	15
2.7.1.1	Nativröntgenuntersuchung.....	15
2.7.1.1.1	Auswertung der Nativröntgenaufnahmen.....	16
2.7.1.2	Myelografische Untersuchung.....	23
2.7.1.2.1	Auswertung der Myelografie.....	24
2.7.2	Computertomografie (CT)	26
2.7.2.1	Auswertung der Computertomografie.....	27
2.7.3	Magnetresonanztomografie.....	28
2.7.3.1	Auswertung der Magnetresonanztomografie.....	29
2.8	Therapie des Wobbler-Syndroms.....	32
2.8.1	Konservative Therapie.....	33
2.8.2	Operative Therapie.....	34

2.8.2.1	Ventrale Dekompression (ventral slot).....	35
2.8.2.2	Dorsale Dekompression (dorsale Laminektomie).....	36
2.8.2.3	Vertebrale Distraktionsstabilisation.....	36
2.8.2.3.1	Metallimplantat mit Knochenzement.....	37
2.8.2.3.2	„Cement-plug“-Methode.....	37
2.8.2.3.3	„Locking plate“.....	38
2.9	Prognose.....	38
3	MATERIAL UND METHODEN.....	40
3.1	Gerätebeschreibung.....	40
3.2	Untersuchte Tiere und Röntgenbildmaterial.....	40
3.3	Röntgenuntersuchung.....	40
3.4	Gruppenunterteilung.....	41
3.5	Durchgeführte Messungen.....	43
3.5.1	Sagittale Wirbelkörperfläche.....	44
3.5.2	Kraniale dorsoventrale Wirbelkörperhöhe.....	44
3.5.3	Kraniokaudale Wirbelkörperlänge.....	45
3.5.4	Kranialer sagittaler Wirbelkanaldurchmesser.....	46
3.5.5	Kaudaler sagittaler Wirbelkanaldurchmesser.....	46
3.5.6	Kranialer Winkel des Wirbelkörpers.....	47
3.5.7	Kaudaler Winkel des Wirbelkörpers.....	47
3.6	Auswertung.....	48
3.6.1	Der Wirbelkanal.....	48
3.6.1.1	Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe.....	48
3.6.1.2	Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des nachfolgenden Wirbels.....	48
3.6.1.3	Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	49
3.6.1.4	Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	49
3.6.2	Der Wirbelkörper.....	49
3.6.2.1	Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge.....	49
3.6.2.2	Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4.....	50
3.6.2.3	Verhältnis der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4.....	50
3.6.3	Endplatten.....	50
3.6.3.1	Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge.....	50
3.6.3.2	Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	50
3.6.3.3	Kranialer Winkel des Wirbelkörpers.....	50

3.6.3.4	Kaudaler Winkel des Wirbelkörpers.....	51
3.7	Statistische Auswertung.....	51
4.	ERGEBNISSE.....	52
4.1	Der Wirbelkanal.....	52
4.1.1	Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe.....	52
4.1.2	Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des nachfolgenden Wirbels..	55
4.1.3	Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	59
4.1.4	Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	62
4.2	Der Wirbelkörper.....	64
4.2.1	Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge.....	64
4.2.2	Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4.....	66
4.2.3	Verhältnis der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4.....	69
4.3	Endplatten.....	71
4.3.1	Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge.....	71
4.3.2	Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	74
4.3.3	Kranialer Winkel des Wirbelkörpers.....	78
4.3.4	Kaudaler Winkel des Wirbelkörpers.....	83
4.4	Trennwerte.....	84
5	DISKUSSION.....	88
5.1	Methodik der Untersuchung.....	88
5.2	Morphologische Besonderheiten der Halswirbelsäule beim Dobermann im Vergleich zu anderen Hundegruppen.....	89
5.2.1	Der Wirbelkörper.....	89
5.2.2	Endplatten.....	93
5.2.3	Der Wirbelkanal.....	96
5.3	Trennwerte.....	102
6	ZUSAMMENFASSUNG.....	104
7	SUMMARY.....	106
8	LITERATURVERZEICHNIS.....	108
9	DANKSAGUNG.....	114

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Messung der Stufenbildung nach Lewis (1991).....	19
Abbildung 2:	Die Messungen am Halswirbel nach Dorst et al. (2002).....	20
Abbildung 3:	Messpunkte der dorsoventralen Spinalkanalhöhe nach Lautersack (2002).....	21
Abbildung 4:	Die Messungen am Halswirbel nach De Decker et al. (2011).....	23
Abbildung 5:	Geschlechterverteilung der untersuchten Gruppen.....	43
Abbildung 6:	Die sagittale Wirbelkörperfläche des 5. Halswirbels eines Dobermanns.....	44
Abbildung 7:	Die kraniale dorsoventrale Wirbelkörperhöhe des 6. Halswirbels eines Dobermanns.....	45
Abbildung 8:	Die kraniokaudale Wirbelkörperlänge des 4. Halswirbels eines Dobermanns....	45
Abbildung 9:	Kranialer und kaudaler sagittaler Wirbelkanaldurchmesser des 7. Halswirbels eines Dobermanns.....	46
Abbildung 10:	Der kraniale und kaudale Winkel des Wirbelkörpers des 5. Halswirbels eines Dobermanns.....	47
Abbildung 11:	Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe \pm Standardabweichung.....	53
Abbildung 12:	Wirbelkanalform von C7 bei verschiedenen Hunderassen.....	54
Abbildung 13:	Arithmetisches Mittel und Minimal-Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe von C7.....	55
Abbildung 14:	Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des folgenden Wirbels \pm Standardabweichung.....	56
Abbildung 15:	Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe von C6 zur kranialen Wirbelkanalhöhe von C7.....	58
Abbildung 16:	Standardabweichung des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen Wirbelkanalhöhe des folgenden Wirbels.....	59
Abbildung 17:	Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	60
Abbildung 18:	Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe von C6 zur Wirbelkörperlänge von C4.....	61
Abbildung 19:	Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4.....	62
Abbildung 20:	Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	64

Abbildung 21: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.....	66
Abbildung 22: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	68
Abbildung 23: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	70
Abbildung 24: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.....	72
Abbildung 25: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C7.....	73
Abbildung 26: Standardabweichung des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge.....	74
Abbildung 27: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	75
Abbildung 28: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4.....	77
Abbildung 29: Standardabweichung des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.....	78
Abbildung 30: Arithmetisches Mittel des kranialen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.....	80
Abbildung 31: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des kranialen Winkels des Wirbelkörpers von C7.....	81
Abbildung 32: Standardabweichung des kranialen Winkels des Wirbelkörpers.....	82
Abbildung 33: Arithmetisches Mittel des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.....	84
Abbildung 34: ROC-Kurven für ausgewählte Parameter, bei denen Werte kleiner als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen.....	85
Abbildung 35: ROC-Kurven für ausgewählte Parameter, bei denen Werte größer als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen.....	87

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einteilung der zervikalen Spondylomyelopathie mit ihrer Prognose nach Seim und Withrow (1982) modifiziert von Lautersack (2002).....	39
Tabelle 2: Gruppenunterteilung und das arithmetische Mittel des Alters für jede Gruppe \pm Standardabweichung.....	42
Tabelle 3: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe \pm Standardabweichung.....	52
Tabelle 4: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	54
Tabelle 5: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des folgenden Wirbels \pm Standardabweichung.....	56
Tabelle 6: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kraniale des folgenden relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	57
Tabelle 7: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	60
Tabelle 8: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	63
Tabelle 9: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	63
Tabelle 10: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.....	65
Tabelle 11: Signifikanz (p-Werte) der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	66
Tabelle 12: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	67
Tabelle 13: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	67
Tabelle 14: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	69

Tabelle 15: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.....	70
Tabelle 16: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	70
Tabelle 17: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.....	75
Tabelle 18: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	76
Tabelle 19: Arithmetisches Mittel des kranialen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.....	79
Tabelle 20: Signifikanz (p-Werte) des kranialen Winkels des Wirbelkörpers relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	79
Tabelle 21: Arithmetisches Mittel des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.....	83
Tabelle 22: Signifikanz (p-Werte) des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).....	83
Tabelle 23: Mögliche Trennwerte mit ihrer Sensitivität und Spezifität für ausgewählte Parameter, bei denen Werte kleiner als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen.....	86
Tabelle 24: Mögliche Trennwerte mit ihrer Sensitivität und Spezifität für ausgewählte Parameter, bei denen Werte größer als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen.....	86

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

C	Halswirbel
n	Anzahl der Patienten
p	statistische Signifikanz
S	Standardabweichung
T	Brustwirbel

1 EINLEITUNG

Die kaudale zervikale Spondylomyelopathie, auch Wobbler-Syndrom genannt, bezeichnet eine Reihe von Erkrankungen, die Wirbel, Bandscheiben und ligamentöse Strukturen der Halswirbelsäule beeinträchtigen und zur Kompression des Rückenmarks und neurologischen Defiziten führen (VANGUNDY 1988; SHARP u. WHEELER 2005). Die Krankheit betrifft mit ca. 80 % der gemeldeten Fälle am häufigsten junge Deutsche Doggen und Dobermänner mittleren oder hohen Alters (SEIM u. WITHROW 1982). In der Studie von Lewis (1989) liegt der Anteil der Rasse Dobermann bei ca. 68%. Die typische Halswirbel-Morphometrie und -Morphologie beim Dobermann sowie das Vorhandensein kaudaler zervikaler vertebraler Malformationen sollen prädisponierende Faktoren für die Entstehung kaudaler zervikaler Spondylomyelopathien (Wobbler-Syndrom) darstellen. So ist auch Lautersack (2002) davon ausgegangen, dass diese Erkrankung durch die für den Dobermann typische Halswirbel-Morphologie bedingt ist. Das bedeutet, dass zunächst klinisch unauffällige Dobermänner durch das "anatomische Risiko" später erkranken könnten. So wird seit der Erstbeschreibung der Erkrankung beim Dobermann anhand der Morphometrie der Halswirbel versucht, die anatomischen Besonderheiten bei dieser Rasse hinzuweisen, die das häufige Auftreten der Erkrankung erklären könnten. In den vorgenommenen Messungen bestand allerdings entweder ein Unterschied in den Koordinaten der Messpunkte, in der Auswahl der untersuchten Tiere oder in der Darstellungsmethode der Ergebnisse der verschiedenen Parameter (absolute Werte oder Quotient zueinander). Dementsprechend war es Ziel dieser Untersuchungen, nach definierten, objektiven Messtechniken zu suchen um nach möglichen anatomischen Unterschiede der Halswirbel von Dobermännern mit und ohne vertebrale Malformationen zu finden, ebenso im Vergleich zu anderen groß- und kleinwüchsigen Rassen.

Ferner sollte Messtechniken geschaffen werden die u.U. als Screeningprogramm bei jungen Dobermännern dienen könnten.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Einleitung

Zervikale Spondylomyelopathie, auch als Wobbler-Syndrom bekannt, ist die häufigste neurologische Erkrankung der Halswirbelsäule großwüchsiger Hunderassen (BURBIDGE 1999). Sie ist gekennzeichnet durch Anomalien der Halswirbelsäule, die zu neurologischen Defiziten und/oder zervikaler Hyperästhesie führen (VANGUNDY 1988; DA COSTA et al. 2006a). Das Syndrom bei Hunden wurde erstmals von Palmer und Wallace (1967) beschrieben, die die klinischen Symptome und die Pathologie der Krankheit beim jungen männlichen Bassett Hound registrierten. Der 1. Fall bei einem Dobermann wurde von Geary (1969) beschrieben. Seither wurden zahlreiche Artikel über das Syndrom veröffentlicht und es ist mittlerweile bekannt, dass vor allem die großwüchsigen Hunderassen betroffen sind. Die am häufigsten betroffenen Rassen sind Dobermann, Deutsche Dogge und Basset Hound, wobei auch andere Rassen erkranken können (LEWIS 1989).

Bei den Dobermännern treten die klinischen Symptome normalerweise im mittleren Alter auf (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989). Die Symptome variieren von milder Ataxie, vor allem an den Hinterbeinen, zu einem akuten Beginn von Tetraplegie. Darüber hinaus leiden viele Patienten entweder unter akuten intensiven oder unter chronischen geringgradigen Schmerzen der Halswirbelsäule (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Es wurde angenommen, dass die klinischen Symptome als Folge einer Kompression des Halsrückemarks auftreten, die durch eine Kombination von missgebildeten kaudalen Halswirbeln, einem hypertrophierten Annulus und/oder Ligamentum flavum und/oder einer degenerativen Bandscheibenerkrankung hervorgerufen werden und die genaue Pathologie der Anomalien von Hund zu Hund unterschiedlich ist (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989 1991). Ein konsistentes Merkmal der meisten Fälle ist das Vorhandensein einer bestimmten Form von Wirbelmissbildungen, die den Wirbelkanal, den Wirbelkörper, den Wirbelbögen und/oder die Gelenkfacetten betreffen können (WRIGHT et al. 1973; TROTTER et al. 1976; SEIM u. WITHROW 1982).

Bei der Deutschen Dogge betrifft die Wirbelmissbildung einen oder mehrere Halswirbel im Bereich des 3. bis 7. Halswirbels (OLSSON et al. 1982; SEIM u. WITHROW 1982). Die Patienten zeigen Verengungen der kranialen Öffnung des Wirbelkanals eines oder mehrerer Halswirbel und nicht selten Missbildungen der Gelenkfacetten, die in den Wirbelkanal der betroffenen Hunde eindringen (TROTTER et al. 1976; SEIM u. WITHROW 1982). Dies scheint im Ruhezustand eine statische Kompression des Rückenmarks zu bewirken und bei Bewegung durch den dynamischen Druck verstärkt zu werden. Bei dieser Rasse treten in den

meisten Fällen die klinischen Symptome eines Wobbler-Syndroms im Alter von weniger als 2 Jahren auf (LEWIS 1989). Beim Basset Hound sind in erster Linie der 3. und 4. Halswirbel von der Missbildung betroffen (PALMER u. WALLACE 1967; LEWIS 1989).

Die Vielfältigkeit des Krankheitsbilds unter dem Oberbegriff Wobbler-Syndrom führte zu der Entwicklung zahlreicher möglicher Therapien mit unterschiedlichen Ergebnissen (BURBIDGE 1999).

Sorgfältige bildgebende Untersuchungen der Halswirbel sind für eine sichere Diagnosestellung sowie für die Planung, Führung und Kontrolle des therapeutischen Managements der betroffenen Hunde unverzichtbar (SHARP u. WHEELER 2005).

2.2 Nomenklatur

Der Begriff Wobbler-Syndrom bezieht sich auf die grafische Beschreibung des unkoordinierten Gangbilds der betroffenen Tiere (DIMOCK u. ERRINGTON 1939; SELCER u. OLIVER 1975). Diese reine Gangbeschreibung hat dazu geführt, dass der Begriff Wobbler-Syndrom für mehrere ätiologisch unterschiedliche Erkrankungen genutzt wird und bei vielen Tierarten (z.B. Pferd, Hund und Maus) beschrieben ist, deren Erkrankungsformen jedoch kaum Gemeinsamkeiten aufweisen (LAUTERSACK 2002).

Zahlreiche Begriffe wurden bisher in der Literatur verwendet, um die einzelnen Krankheitsbilder besser definieren zu können (BURBIDGE 1999). Viele waren deskriptiv und basierten auf den gefundenen pathologischen Veränderungen. Zu den Begriffen zählen zervikale Spondylopathie (SELCER u. OLIVER 1975; CHAMBERS u. BETTS 1977; JAGGY et al. 1988; MCKEE et al. 1990), zervikale vertebrale Malformation/Malartikulation (TROTTER et al. 1976; SHORES, 1984; LINCOLN 1992) und kaudale zervikale Spondylomyelopathie (READ et al. 1983; ELLISON et al. 1988; BRUECKER u. SEIM III 1989; LEWIS 1989; WILSON et al. 1994; RUSBRIDGE et al. 1998).

Der Begriff zervikale Spondylolisthesis (DUELAND et al. 1973; GAGE u. HOERLEIN 1973) wurde ebenfalls verwendet. Dieser Begriff bezieht sich auf eine Krankheit des Menschen, wobei es zu einer Spaltbildung zwischen Wirbelkörper und Wirbelbogen kommt. Daraus resultiert eine Verschiebung der betroffenen Wirbel gegeneinander. Da solche Schäden bei Hunden mit Wobbler-Syndrom nicht gefunden wurden, wurde der Begriff als ungeeignet beurteilt (WRIGHT et al. 1973).

Chronische degenerative Bandscheibenschäden scheinen beim Dobermann eine große Rolle bei der Entstehung der Erkrankung zu spielen, sodass einige Autoren den Begriff „disk-assoziiertes Wobbler-Syndrom“ vorschlugen (VANGUNDY 1988; JEFFERY u. MCKEE,

2001). Andere Begriffe, wie vertebrale Subluxation (GAGE u. HALL 1972) und zervikale vertebrale Instabilität (PARKER et al. 1973; HUROV 1979; MASON 1979), waren auf die vermutlich bestehenden biomechanischen Eigenschaften der Krankheit zurückzuführen.

In der vorliegenden Dissertation werden die von Burbidge (1999) beschriebenen folgenden 3 Begriffe zur Beschreibung der Krankheit verwendet: Der Begriff „Wobbler-Syndrom“ wird verwendet, um die klinische und neurologische Symptomatik bei den betroffenen Hunden zu beschreiben. Der Begriff „kaudale zervikale vertebrale Malformation“ wird verwendet, um die vertebralen Missbildungen, Anomalien und/oder Malartikulation, die mit dem Wobbler-Syndrom beim Dobermann in Verbindung stehen, zu beschreiben. Der Begriff „kaudale zervikale Spondylomyelopathie“ wird verwendet, um die Kombination von klinischen Symptomen des Wobbler-Syndroms, die Anwesenheit von zervikaler vertebraler Malformation und das Vorhandensein einer Rückenmarkskompression am kaudalen Halsbereich zu beschreiben.

2.3 Ätiologie

Es gibt zahlreiche veröffentlichte Studien über den klinischen Verlauf des Syndroms und ein breites Spektrum von Behandlungsmethoden, es gibt aber wenige Informationen über seine Pathogenese und Ätiologie (BURBIDGE 1999; DE DECKER et al. 2011).

Mehrere kausale Hypothesen wurden diskutiert, keine wurde bewiesen. Die möglichen beteiligten kausalen Faktoren sind Heritabilität, Körperform, falsche Ernährung, Wachstumsrate und Trauma (BURBIDGE 1999).

2.3.1 Heritabilität

Keine uns bekannte Studie untersuchte ausschließlich die Erblichkeit des Wobbler-Syndroms bei Dobermännern. Der beschriebene Beweis, dass die Erblichkeit eine Rolle in der Ätiologie des Wobbler-Syndroms spielt, kam hauptsächlich aus 2 Studien (PALMER u. WALLACE 1967; JAGGY et al. 1988). Die Autoren hatten aber unterschiedliche Ansichten über die genaue Methode der Vererbung. Während Palmer und Wallace (1967) nach einer Untersuchung von 6 eng verwandten kranken Basset Hounds zu dem Entschluss kamen, dass entweder eine X-linked-Gen oder ein Modus der unperfekten Penetranz vorhanden sein könnte, wurden von Jaggy et al. (1988) nach Ahnentafelanalysen auf 57 Nachkommen aus 17 Würfen von verwandten Barsoi Hunden der Schluss gezogen, dass ein rezessiver Vererbungsmodus existiert. Der 1. Bericht über die Erblichkeit bei Dobermännern mit kaudaler zervikaler Spondylomyelopathie war von Mason (1977). Er behauptete nach Analyse der Ahnentafeln eine familiäre Herkunft, ohne die beteiligten genetischen Mechanismen

genau zu definieren. Darüber hinaus berichteten Selcer und Oliver (1975) auch, dass das Syndrom durch ein einfaches rezessives Gen übertragen wird. Sie gaben jedoch keine Information, wie sie zu diesem Schluss kamen. Dagegen konnte Lewis (1989) nach einer Untersuchung der Ahnentafeln einer großen Anzahl betroffener Dobermänner keine vererbte Grundlage für das Syndrom finden. Ein Versuch von Burbidge (1995), einen Mechanismus der Vererbung bei Dobermännern zu identifizieren, war aus Mangel an verfügbaren Daten nicht möglich. Sie betonte aber, dass die Tatsache, dass eine vertebrale Malformation und Wirbelkanalstenose bei der Geburt vorhanden sein könnte, bedeutet, dass die Krankheit entweder angeboren oder vererbt ist.

2.3.2 Körperform

Wright et al. (1973) vermuteten, dass sich die aufgetretenen Halswirbelmissbildungen bei zervikaler Spondylomyelopathie als Folge anormaler Kräfte entwickeln können, die das Wachstum dieser Knochen beeinflussen. Die Grundlage für diese Behauptung war, dass die Kraftaktion auf einen Halswirbel eine Kombination von 2 Kräften (das Gewicht des Kopfes und die Länge des Halses) sei. Sollte sich das Gleichgewicht dieser Kräfte ändern, unterliegen einer oder mehrere Halswirbel abnormer Kräfte. Die Hypothese war, dass diese abnorme Kraft bei jungen wachsenden Hunden die Größe und Form des sich entwickelnden Wirbels beeinträchtigen könne. Darauf basierend seien die Hunderassen mit schweren Köpfen, langen Hälsen und schnellen Wachstumsraten mehr gefährdet. Dagegen ziehen 2 Studien von Burbidge et al. (1994; 1995) es in Zweifel, dass die Körperform einen Einflussfaktor auf die Entwicklung der Halswirbelmissbildung bei Dobermännern darstellt. In der 1. Studie konnte keine Korrelation zwischen der Körperform (Kopfgröße, Halslänge, Körperlänge und Widerristhöhe) und dem röntgenologischen Befund von Halswirbelmissbildung festgestellt werden. Die 2. Studie zeigte, dass Halswirbelmissbildungen bei Neugeborenen vorhanden waren. Es wurde davon ausgegangen, dass die Körperform, im Hinblick auf die gemessenen Parameter, keinen Einfluss auf die postnatale Entwicklung der Halswirbelmissbildung hat.

2.3.3 Ernährung

Die beiden Ernährungsfaktoren Überfütterung und Exzess diätetisches Kalziums wurden als ätiologische Faktoren angesehen (HEDHAMMER et al. 1974; HAZEWINKEL et al. 1985, HAZEWINKEL 1989). Der Nachweis, dass die überschüssige Einnahme von Energie, Protein und Kalzium eventuell an der Erkrankung beteiligt seien, wurde von Hedhammer et al. (1974) erbracht. Sie beschrieben nach Überfütterung an Welpen der Deutschen Dogge unterschiedliche Skelettmissbildungen, unter anderem auch vertebrale Malformationen. Sie

stellten bei ad libitum gefütterten Hunden fest, dass die Halswirbel größer waren und die Foramen vertebrale asymmetrisch mit reduziertem dorsoventralen Durchmesser. Darüber hinaus zeigten die Gelenkfortsätze der betroffenen Wirbel eine unvollständige Knorpelabdeckung und eine Osteochondrosis dissecans. Nur bei 2 der 12 ad libitum gefütterten Hunde entwickelte sich eine milde Ataxie am Hinterbein. Es wurde der Schluss gezogen, dass ein Zusammenhang zwischen einer übermäßigen Nahrungsaufnahme (insbesondere Energie, Eiweiß und Kalzium) und der Entwicklung der Halswirbelmissbildung insbesondere, bei reduziertem Wirbelkanaldurchmesser, besteht. Eine Verengung des Wirbelkanals wurde dabei auf die ungleichmäßige osteozytäre Osteolyse „osteocytic osteolysis“ der einbildenden Knochen zurückgeführt. Dieser Effekt wurde sekundär auf das überschüssige Kalzium im Futter und den daraus resultierenden Hyperkalzitonismus zurückgeführt.

Eine Untersuchung der Wirkung von Kalzium in der Ernährung (das 3-fache der empfohlenen Werte) zeigte bei Deutschen Doggen, dass bei Welpen eine hohe Kalziumaufnahme zur Entwicklung unterschiedlicher Knochenmissbildungen führen kann, wie Osteochondrose, vorzeitige Verknöcherung der distalen Epiphysenfuge der Ulna, „radius curvature syndrome“ und Kleinwuchs, (HAZEWINKEL et al. 1985). Es wurde vermutet, dass solche Missbildungen eine Folge der Wirkung des chronischen überschüssigen Kalziumgehalts sind, der wiederum zu einer Hyperkalzämie, einer Hypophosphatämie, einer erhöhten Knochenmineralisation und einer verminderten Osteoklastenaktivität mit unzureichendem Knochen-Remodelling führe (HAZEWINKEL et al. 1985).

In vivo stimuliert ein hoher Kalziumspiegel im Blut die Freigabe von Calcitonin und verringert die Konzentration des zirkulierenden Parathyroidhormons (GOEDEGEBUURE u. HAZEWINKEL 1986). Da eine wichtige Funktion von Calcitonin die Senkung des Blutkalziumspiegels durch direkte Hemmung des Knochenabbaus ist, verursacht ein Hyperkalzitonismus eine verminderte Osteoklastenaktivität und reduziert daher den Knochenumbau. Es wurde davon ausgegangen, dass die durch den verzögerten Knochenabbau verursachte abnormale Erweiterung des Halswirbelkanals zu einer Wirbelkanalstenose und einer damit verbundenen lokalen Kompression des Rückenmarks führt (GOEDEGEBUURE u. HAZEWINKEL 1986; HAZEWINKEL 1989).

Im Gegensatz dazu bezweifelte Burbidge (1999), dass es einen Zusammenhang zwischen überschüssigem Kalzium und Eiweiß in der Ernährung und der Entwicklung der Halswirbelmissbildung gibt. Sie fand radiologisch erkennbare Veränderungen bei 5 von 15

Dobermannwelpen, deren Nahrung entweder ausgewogen oder vorübergehend über oder unter dem empfohlenen Nährstoffgehalt lag. Die Ernährung bei diesen Welpen hat dabei zu wenig Zeit, um solche Veränderungen zu bewirken. Sie konnte außerdem einige der vertebraalen Veränderungen im Alter von 6 Wochen bei 2 der Welpen nachweisen, deren Nahrung ausschließlich in der Zeit aus Muttermilch bestand. Es wurde davon ausgegangen, dass die Halswirbelmissbildungen angeboren waren (BURBIDGE 1999).

Ähnlich wie Hedhammer et al. (1974) sowie Goedegebuure und Hazewinkel (1986) fand Burbidge (1999) Halswirbelmissbildungen und Myelindegenerationen bei Welpen der Kontrollgruppe und der Gruppe mit Kalziumüberschuss, daraus ergab sich ein Zweifel daran, ob überschüssiges Kalzium in der Ernährung eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Halswirbelmissbildung spielt. Darüber hinaus stellte Hazewinkel (1991) fest, dass mit überschüssigem Kalzium gefütterte Hunde in der Lage waren, die Aufnahme durch den Darm durch die Verringerung des Kalzium-Koeffizienten auf bis zu 30–40 % zu regulieren. Anhand ihrer Beobachtung ist Burbidge (1999) zum Entschluss gekommen, dass eine unausgewogene Ernährung den Schweregrad einer bereits vorhandenen Wirbelmissbildung verschärft und dies die gesehenen massiven Veränderungen bei ad libitum gefütterten Hunden in der experimentellen Untersuchung von Hedhammer et al. (1974) erklärt.

2.3.4 Wachstumsrate

Rasches Wachstum wurde für eine Reihe von Skeletterkrankungen als Risikofaktor beurteilt, z.B. Hüftgelenkdysplasie, vorzeitige Verknöcherung der distalen Epiphysenfuge der Ulna, „radius curvature syndrome“ und zervikale vertebrale Malformation (HEDHAMMAR et al. 1974; HAZEWINKEL et al. 1985). Die Wirkung der schnellen Wachstumsrate wurde in den oben genannten Studien vermutet, konnte aber nicht bewiesen werden. Burbidge et al. (1999) konnte nach einer Studie über den Zusammenhang zwischen Wachstum, Ernährung und dem Vorhandensein von kaudaler zervikaler Malformation beim Dobermannwelpen keine Korrelation zwischen dem Wachstum und der Anwesenheit der kaudalen zervikalen vertebraalen Malformation feststellen.

2.3.5 Trauma

Obwohl es keine objektiven Untersuchungen über die Rolle des Traumas bei der Entwicklung des Wobbler-Syndroms gibt, beschrieben Chambers und Betts (1977), Read et al. (1983), Sharp und Wheeler (2005) einen Zusammenhang zwischen Überanstrengung und einem plötzlichen Beginn der Tetraplegie bei erwachsenen Hunden.

2.4 Klinisches Bild

Das Wobbler-Syndrom kann Dobermänner in jedem Alter betreffen. Der Großteil der gemeldeten Fälle betrifft vor allem Hunde im mittleren Erwachsenenalter (TROTTER et al. 1976; CHAMBERS u. BETTS 1977; DENNY et al. 1977; MASON 1977; RAFFE u. KNECHT 1980; LEWIS 1989). Es ist allgemein bekannt, dass Rüden häufiger betroffen sind als Hündinnen (DENNY et al. 1977; MASON 1977; LINCOLN u. PETTIT 1985; LEWIS 1989). Dennoch beschreiben einige Autoren eine gleichmäßigere Geschlechtsverteilung bei der Erkrankung (SELCER u. OLIVER 1975; TROTTER et al. 1976).

Junge Dobermänner mit Wobbler-Syndrom zeigen typischerweise eine progressive Ataxie an den Hintergliedmaßen mit Propriozeptionsdefiziten (PARKER et al. 1973; LEWIS 1989). Darüber hinaus kann eine Tetraplegie auftreten, im Gegensatz zu Erwachsenen scheinen aber Nackenschmerzen kein Merkmal der Krankheit bei jungen Dobermännern zu sein (PARKER et al. 1973; LEWIS 1989).

Ältere Hunde zeigen oft eine langsam progrediente Ataxie vor allem an den Hinterbeinen (LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Die neurologische Untersuchung eines betroffenen Hundes im frühen Stadium zeigt eine Ataxie der Hintergliedmaßen, Propriozeptionsdefizite und hyperaktive Patellareflexe (LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994; LAUTERSACK 2002). Betroffene Hunde fallen häufig durch einen breitbeinigen Stand und einen hypermetrischen Gang auf. Die Tiere bewegen sich unsicher und zeigen oft hörbares und sichtbares Zehensleifen, wodurch die Krallen entsprechend abgenutzt werden (BURBIDGE 1999). Eine fortschreitende Verschlechterung über viele Wochen oder Monate kann zur Beteiligung des Vorderbeins mit Atrophie der Schultermuskulatur, Koordinationsstörungen und einem kleinschrittigen Gangbild führen. Eine Dysfunktion der Hinterbeine überwiegt bei den betroffenen Hunden, einige Hunde werden paraplegisch (LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Neben den propriozeptiven und motorischen Defiziten können Hunde unterschiedlich starke Nackenschmerzen haben. Diese Hunde verhalten sich während der klinischen Untersuchung abwehrend, beugen typischerweise ihren Hals gegen die Manipulation und schreien vor Schmerzen (DENNY et al. 1977; READ et al. 1983; LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Die betroffenen Dobermänner können gelegentlich einen plötzlichen Beginn der klinischen Symptome, variierend von Nackenschmerzen zur akuten Tetraplegie, zeigen (DENNY et al. 1977; MASON 1979; READ et al. 1983). Seim und Withrow (1982) fanden bei der Untersuchung von 45 Hunden mit Wobbler-Syndrom folgende Ergebnisse heraus: Bei 29 Patienten bestand eine langsame Progression der Erkrankung, bei

9 Patienten eine langsame Progression mit akuter Verschlechterung und bei 7 Patienten ein akutes Auftreten klinischer Symptome ohne vorherige Erkrankung.

2.5 Pathologie

Die mit einer kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie verbundenen pathologischen Veränderungen bei erwachsenen Dobermännern gehen mit einem verengten Wirbelkanal einher und mit abnormen Bändern- und Bandscheibenveränderungen, die zur Kompression des Rückenmarks beitragen (TROTTER et al. 1976).

2.5.1 Veränderungen der Halswirbel

Obwohl die knöcherne Missbildung der Halswirbelsäule als Grundlage der kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie angenommen wurde, gibt es nur wenige detaillierte Beschreibungen der pathologischen Veränderungen der betroffenen Knochen (BURBIDGE 1999). Die makroskopischen knöchernen Veränderungen der missgebildeten Wirbel in Form eines verengten kranialen und/oder asymmetrischen Wirbelkanal sowie verformten und degenerativen Gelenkfacetten wurden von einigen Autoren registriert (TROTTER et al. 1976; WRIGHT 1977; SHORES 1984). Wright et al. (1977) beschrieben die genauen mikroskopischen knöchernen Veränderungen der missgebildeten Wirbel. Sie registrierten einen Verlust des Knochenmarks der kranioventralen Seite der betroffenen Wirbelkörper, verdickte und ungleichmäßige kalzifizierte Knochen trabekel und deformierte Lamellenstrukturen. Sie betrachteten die Entstehung von amorphen hyalinisierten Kollagen- und Prä-Kollagenfasern als Hinweis dafür, dass andauernd ein gleichzeitiger gesteigerter Knochenabbau mit Knochen- und Knorpelneubildung stattfindet.

2.5.2 Veränderungen der Bandscheibe und der Bänder

Die umfassende Beschreibung der pathologischen Veränderungen der Bandscheibe und der Bänder an der Stelle der Rückenmarkskompression wurde von einigen Autoren beschrieben (SEIM u. WITHROW 1982; READ et al. 1983; SHORES 1984; VANGUNDY 1989). In den oben genannten Studien waren die beschriebenen pathologischen Veränderungsmerkmale fast ähnlich. Seim und Withrow (1982) fanden bei den meisten Hunden mit Wobbler-Syndrom, dass die komprimierende Masse ein Bandmaterial ist und sich ventral im Spinalkanal befindet. Die hauptsächlich an der komprimierenden Masse beteiligte Struktur ist der dorsale Anulus fibrosus, der entweder hypertrophiert ist oder sich sekundär durch Herniation des Nucleus pulposus in den Spinalkanal vorwölbt. Das Ligamentum longitudinale dorsale trägt

dabei wenig zur Masse des vorfallenden Weichgewebes bei. Darüber hinaus stellten sie fest, dass die dorsale Rückenmarkskompression durch Hypertrophie oder Vorwölbung des Ligamentum flavum verursacht wird.

Die Rolle der degenerativen Bandscheibenveränderungen wird kontrovers diskutiert (DA COSTA et al. 2006a). Seim und Withrow (1982) berichteten, dass eine Herniation des Nukleus bei der Obduktion nur bei etwa 25 % der Fälle zur komprimierenden Läsion beiträgt. Sie fanden keinen Fall, bei dem die Extrusion des Nukleus allein die Ursache für die Kompression des Rückenmarks ist. Darüber hinaus fanden da Costa et al. (2006a) nach einer MRT-Untersuchung an 16 klinisch unauffälligen und 16 kranken Dobermännern, sowohl bei allen betroffenen Hunden als auch bei 11 klinisch unauffälligen Hunden degenerative Bandscheibenveränderungen.

Mason (1979) beschrieb makroskopische degenerative Veränderungen am Nucleus pulposus und Annulus fibrosus bei 6 von 8 erkrankten Dobermännern. Bei diesen Hunden erscheint der Nucleus pulposus mehr organisiert und kollagenartig. Selten wurde degeneriertes Material von ihm im Spinalkanal erkrankter Hunde gefunden.

2.5.3 Veränderungen des Rückenmarks

Makroskopische Veränderungen des Rückenmarks wurden bei Hunden mit kaudaler zervikaler Spondylomyelopathie festgestellt (WRIGHT et al. 1973; TROTTER et al. 1976; READ et al. 1983), darunter befanden sich Kompressionen des Rückenmarks oder dorsoventrale Abflachungen kombiniert mit einer größeren Breite an der Stelle der Kompression im Vergleich zu den übrigen Bereichen des Halsrückenmarks. Histologisch zeigten die meisten Funiculi der weißen Substanz eine fokale demyelinisierte Fläche, eine axonale Disruption oder einen Verlust und eine Astrozytose.

Die Degeneration der weißen Substanz kranial zu der fokalen Läsion betrifft dabei die aufsteigenden Trakte in die dorsalen und dorsolateralen Funiculi, kaudal zur fokalen Läsion betrifft die Degeneration hingegen die absteigenden Trakte in die ventralen und tiefen lateralen Funiculi (TROTTER et al. 1976). Die meisten Berichte der oben genannten Studien wiesen auf unterschiedliche Nekrosegrade der grauen Substanz mit dem Vorhandensein hypertrophierter Astrozyten hin.

2.6 Pathogenese

2.6.1 Rolle der Veränderungen der Halswirbel

Die Rolle der missgebildeten Wirbel bzw. der Wirbelfehlstellung in der Pathogenese der kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie ist vermutlich davon abhängig, ob diese Strukturen zur statischen (d.h. knöchernen) oder dynamischen (d.h. Instabilität/Weichteile) Kompression des Rückenmarks führen (OLSSON et al. 1982; SEIM u. WITHROW 1982). Statische Kompression tritt auf, wenn eine konstante Kompression auf das Rückenmark ausgeübt wird, die unabhängig von der Position des Halses ist (VANGUNDY 1989). Dieses Problem tritt auf, wenn der missgebildete Wirbel verformte Gelenkfacetten und einen verengten dorsoventral abgeflachten Spinalkanal hat. Diese Faktoren wirken auf die kraniale Spinalkanalöffnung und lösen eine statische Rückenmarkskompression aus. Diese Form der Kompression scheint die Ursache der klinischen Symptome bei Hunden zu sein, die jünger als 2 Jahre sind (SEIM u. WITHROW 1982). Im Gegensatz dazu wird bei erwachsenen Hunden eine Kompression des Rückenmarks häufiger durch Bandscheibendegeneration und Herniation oder Hypertrophie des Ligamentum flavum hervorgerufen. Dies führt in Abhängigkeit von der Bewegung des Halses zur dynamischen Kompression, die einen intermittierenden Druck auf das Rückenmark ausübt (MASON 1979; SEIM u. WITHROW 1982; ELLISON et al. 1988; MCKEE et al. 1990). Diese Form der Kompression spielt eine wichtige Rolle bei der Entstehung des Syndroms bei erwachsenen Dobermännern.

Die Rolle der Halswirbelinstabilität ist nach wie vor umstritten (DA COSTA et al. 2006a). Der Begriff wurde als die anormale Bewegung der umgebenden Knochen oder Bänder definiert, die das Rückenmark und/oder die Nervenwurzeln beeinträchtigen kann (VASSEUR et al. 1981). Die Instabilität wurde häufig im Bezug auf das Wobbler-Syndrom erwähnt (TROTTER et al. 1976; HUROV 1979; MASON 1979; SEIM u. WITHROW 1982; READ et al. 1983; SHORES 1984). Es wurden viele Versuche zur Messung des Unterschieds in der Ausrichtung des ventralen Bodens des Spinalkanals der Halswirbel zwischen gesunden und betroffenen Hunden anhand von gebeugten, überstreckten und neutralen seitlichen Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule durchgeführt (WRIGHT 1977; LEWIS 1991; LAUTERSACK 2002). Allerdings ist die Bewertung dieser Messungen aufgrund der großen Variation der Winkelung zwischen den unterschiedlichen Projekten bei gesunden Hunden fraglich. Da Costa et al. (2006a) suchten vergeblich nach Unterschieden in der Bandscheibenmobilität in der longitudinalen Ebene bei gesunden und kranken Dobermännern durch Messung der Differenz der Breite der Intervertebralspalt auf MRT-Bildern ohne

Traktion und nach Traktion der Halswirbelsäule. Es wurde davon ausgegangen, dass die Bandscheibenmobilität in der longitudinalen Ebene bei gesunden und kranken Dobermännern gleich ist und dies die Instabilitätstheorie anzweifeln lässt.

Unabhängig von ihrer Ursache scheint die Halswirbelmissbildung ein Risikofaktor für die spätere Entwicklung des Wobbler-Syndroms zu sein (LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1995; BURBIDGE et al. 1999).

2.6.2 Rolle der Veränderungen der Bandscheibe und der Bänder

Bei Dobermännern wurde die Bandscheibendegeneration als wichtiger Faktor für die Entwicklung neurologischer Symptomen angesehen (MASON 1977; 1979; SEIM u. WITHROW 1982; VANGUNDY 1988; LEWIS 1991). Der Begriff Disc-assoziiertes Wobbler-Syndrom etablierte sich bei vielen Autoren im Laufe der Zeit bei der Beschreibung der Erkrankung von Dobermännern (DA COSTA et al. 2006a; DE DECKER et al. 2009; DE DECKER et al. 2012).

Die strukturelle Veränderung des Nucleus pulposus reduziert seine Fähigkeit als Stoßdämpfer und führt zu einer erhöhten Belastung des Anulus fibrosus und daher zu einem mechanischen Versagen mit Disruption der Fasern des Anulus fibrosus (SEIM u. WITHROW 1982). Dies verursacht eine Hansen-Typ-II-Herniation von Kernmaterial in den Spinalkanal, bei der das typische neurologische Bild eines Vorfalles des Nucleus pulposus meist fehlt (SEIM u. WITHROW 1982). Dies hat mehrere Auswirkungen zur Folge. Zum einen kann das Vorhandensein von Bandscheibenmaterial innerhalb des Spinalkanals zur Kompression des Rückenmarks oder der Nervenwurzel führen. Als Folge verengt sich oder kollabiert der Zwischenwirbelspalt, der dorsale Anulus fibrosus wölbt sich in den Spinalkanal vor und verstärkt die Rückenmarkskompression. Zum anderen kann ein Kollaps des Zwischenwirbelspalts zur Vorwölbung des Ligamentum flavum in den Spinalkanal führen, wodurch die Rückenmarkskompression verstärkt wird. Nach einer Studie von Lewis et al. (1989) an 224 erkrankten Hunden wurde die Kompression bei den meisten Patienten der Rasse Dobermann durch Hypertrophie des dorsalen Anulus fibrosus und bei etwa 75 % zusätzlich durch Hypertrophie des Ligamentum flavum hervorgerufen. Da der Grad der Kompression sich je nach Position des Halses verändern kann, wurde die Veränderung als dynamisch klassifiziert und als zervikale vertebrale Instabilität bezeichnet.

Darüber hinaus fanden da Costa et al. (2006a) nach einer MRT-Untersuchung an 16 klinisch unauffälligen und 16 kranken Dobermännern bei allen klinisch gesunden Hunden eine gewisse Protrusion. Diese war mild bei 11 Hunden, moderat bei 2 Hunden und massiv bei 3

Hunden. Die Befunde bei den kranken Hunden waren ähnlich wie bei den gesunden Tieren, da alle Hunde eine Protrusion zeigten, allerdings war das gesamte Ausmaß bei den Kranken massiver (mild: 1-mal, moderat: 2-mal, massiv: 3-mal). Es wurde das Fazit gezogen, dass klinisch gesunde Dobermänner eine hohe Inzidenz für Degenerationen und Protusionen der Bandscheiben und keine klinische Rückenmarkskompressionen zeigen. Man sollte daher vorsichtig bei der Beurteilung der klinischen Bedeutung der Bandscheibendegeneration und milden Rückenmarkskompression bei Dobermännern sein.

2.6.3 Rolle der Veränderungen des Rückenmarks

Es ist nachgewiesen, dass die Schwere der Schädigung des Rückenmarks bei einer Kompression vom Umfang und der Geschwindigkeit der Entwicklung der komprimierenden Kraft abhängig ist (WRIGHT et al. 1974). Je kleiner und langsamer die auf das Rückenmark wirkende Kompression ist, desto weniger die daraus resultierenden neurologischen Defizite. Es wurde angenommen, dass die komprimierende Masse 2 Auswirkungen auf das Rückenmark hat, eine direkte mechanische Wirkung auf die Axone und eine indirekte Schädigung der Mikrozirkulation des Rückenmarks, die zu Ischämie und Hypoxie der Axone an der betroffenen Stelle führt (WRIGHT et al. 1974; BOHLMAN u. EMERY 1988). Dieser letztgenannte Effekt galt als der schädigende Hauptfaktor und kann zu intramedullären Ödemen führen, die wiederum zu einer Verstärkung der bereits vorhandenen Kompression beitragen. Es ist anzunehmen, dass es bei einer langsamen komprimierenden Rückenmarksschädigung zur bedeutenden Kompensierung der neurologischen Funktion kommt. Ob dies durch Erholung der verletzten Nerven oder die Anpassung der geschonten motorischen Trakte bedingt ist, bleibt unbekannt (VANGUNDY, 1989). Das spricht gegen den plötzlichen Beginn der klinischen Symptome bei einigen Wobbler-Fällen, insbesondere bei erwachsenen Dobermännern, die seit langem unter unterschiedlichen Missbildungen der Halswirbelsäule leiden. Wright et al. (1974) sind der Meinung, dass bei den letztgenannten Tieren die Rückenmarksschädigung durch wiederholte kleine Verletzungen des Rückenmarks verursacht werden können, während der Beginn der klinischen Symptome entweder durch eine plötzlich starke oder eine Akkumulation des Rückenmarksschadens zu einem Punkt, bei dem die Nervenleitung versagt, ausgelöst werden kann. Diese Theorie stimmt mit der Feststellung der Rückenmarksatrophie an der Kompressionsstelle (SHARP et al. 1992) und dem Ergebnis von da Costa et al. (2006b) überein, dass die transversale Fläche des Halsrückenmarks bei Dobermännern mit Wobbler-Syndrom wesentlich kleiner als bei klinisch gesunden Dobermännern ist. Darüber hinaus wurden in vielen MRT-Studien an

Hunden mit zervikaler Spondylomyelopathie Signalveränderungen am Parenchym des Rückenmarks festgestellt (LIPSITZ et al. 2001; DA COSTA et al. 2006b; DA COSTA et al. 2006a; DA COSTA u. PARENT 2007). Da Costa et al. (2006a) stellten fest, dass die Signalveränderung des Parenchyms mit dem Schwergrad der klinischen Symptome verbunden ist, da 75 % der Hunde mit moderater und schwerer Ataxie sowie nicht mobile Hunde eine Signalveränderung des Parenchyms an der Kompressionsstelle zeigten. Dies war nicht der Fall bei 16 klinisch gesunden Dobermännern, obwohl einige von ihnen eine Kompression des Rückenmarks aufwiesen. Als Ursache für die Signalveränderung wurde eine direkte Kompression des Rückenmarks und Ischämie angenommen.

Da die Kompressionsmasse die ventrale/ventrolaterale Grenze des Rückenmarks verformt, ist der Funiculus ventrolateralis hauptsächlich betroffen (SEIM u. WITHROW 1982; BURBIDGE 1999). Der ventrolaterale Strang enthält motorische Bahnen der Skelettmuskulatur sowie sensible Bahnen und ist verantwortlich für die Körperhaltung sowie für anspruchsvolle Muskelbewegungen. Da die Bahnen der Hintergliedmaße oberflächlicher im Rückenmark liegen, sind sie vor allem betroffen (BURBIDGE 1999). Daher ist die Parese mit Defiziten der oberen motorischen Axone typisch für die klinischen Symptome des Wobbler-Syndroms. In einigen Fällen wird auch die Vorderbeinaktion beeinträchtigt, wenn entweder die Nervenwurzeln des Plexus brachialis oder die tieferen Trakte verletzt werden (SEIM u. WITHROW 1982; BURBIDGE 1999). Jeder Druck auf den dorsalen Teil des Rückenmarks, entweder als Folge des nach dorsal verlagerten Rückenmarks und/oder sekundär durch eine Vorwölbung des Ligamentum flavum in den Spinalkanal, kann zu einer Kompression des Fasciculus cuneatus und des Fasciculus gracilis führen, was wiederum zu propriozeptiven Defiziten führt (OLSSON et al. 1982; BURBIDGE 1999). Diese Trakte sind afferent in der Natur und übertragen Informationen über die Oberflächen- und Tiefensensibilität (BURBIDGE 1999). Die für die Bewegung der Hintergliedmaßen zuständigen Axone laufen in der Nähe der Mittellinie des Rückenmarks, während die der Vordergliedmaßen sich weiter lateral befinden, sodass eine dorsale Kompression des Rückenmarks auch eine größere Wirkung auf die Fortbewegung und Koordination der Hintergliedmaßen zur Folge hat (BURBIDGE 1999).

2.7 Diagnostik

Die Diagnose der zervikalen kaudalen Spondylomyelopathie kann aufgrund der Rasse, den typischen klinischen und neurologischen Symptomen (siehe Kapitel 2.4), dem Alter und dem Geschlecht vermutet werden (BURBIDGE 1999). Die am häufigsten betroffenen Rassen sind

Dobermann und Deutsche Dogge (80 % der Fälle). Bei Dobermännern sind klinische Symptome am häufigsten erst im mittleren Alter zu sehen (OLSSON et al. 1982; SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989). Männliche Hunde sind ca. 2-mal häufiger betroffen als weibliche (GAGE u. HOERLEIN 1973; CHAMBERS u. BETTS 1977). Die Diagnose ist von anderen neurologischen Erkrankungen, die ähnliche Symptome zeigen könnten, durch klinisch-neurologische, klinisch-orthopädische und radiologische Untersuchungen der Halswirbelsäule zu unterscheiden. Krankhafte Veränderungen sind am häufigsten am 5., 6. und 7. Halswirbel zu sehen (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989). Ein diagnostisches Problem stellt die falsche Annahme der Krankheit anhand radiologisch nachweisbarer Veränderungen der Halswirbelsäule im MRT ohne jeden Bezug auf die klinischen Symptome dar (SHARP u. WHEELER 2005; DA COSTA et al. 2006a). Da Costa et al. (2006a) stellten fest, dass milde Bandscheibenläsionen (Degeneration, Protrusion) bei klinisch symptomfreien Dobermännern in der zervikalen Region vorhanden sein können.

2.7.1 Röntgenologische Diagnostik

2.7.1.1 Nativröntgenuntersuchung

Es ist zu empfehlen, die Untersuchung in Narkose durchzuführen, um eine erforderliche Manipulation an der Halswirbelsäule zu ermöglichen und unerwünschte Verkippen und Rotationen in der Längs- und/oder Querachse zu vermeiden (SHARP et al. 1992). Zur Anfertigung der Röntgenuntersuchung wird der Hund auf der linken oder rechten Seite gelagert und unter dem kaudalen Halsbereich eine röntgenstrahlendurchlässige Unterlage gelegt. Zusätzlich müssen die beiden Vorderbeine kaudal überstreckt werden, sodass eine parallele Lagerung der Wirbelsäule zum Tisch und überlagerungsfreie Wirbelsäule gewährleistet werden kann (SHARP et al. 1992; LAUTERSACK 2002). Der Zentralstrahlung muss auf den 4. Halswirbel gerichtet werden (SHARP et al. 1992). Um eine korrekte Lagerung zu gewährleisten, müssen sich sowohl beide Atlasflügel als auch beide Laminae ventrales des 6. Halswirbels exakt überdecken und die Zwischenwirbelspalten überlagerungsfrei abgebildet sein (SHARP et al. 1992; LAUTERSACK 2002). Für die ventrodorsale Projektion muss der Hund auf dem Rücken gelagert werden, ebenfalls müssen beide Vorderbeine nach kaudal gezogen werden. Durch leichten Zug am Kopf wird die Halswirbelsäule parallel zum Röntgentisch ausgerichtet. Dabei müssen die Dornfortsätze exakt in der Wirbelmitte abgebildet werden. Neben den obenbeschriebenen Standardaufnahmen können multiple Projektionen erforderlich sein, um den interessanten

Bereich zu fokussieren oder Belichtungsfaktoren zu korrigieren, so z.B. der am meisten betroffene kaudale Halsabschnitt bei Dobermännern (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989) oder gehaltene Aufnahmen (dorsale Überstreckung, ventrale Überbeugung) um Beweglichkeit der Halswirbel ermitteln zu können (WRIGHT 1977; LEWIS 1991; LAUTERSACK 2002).

2.7.1.1.1 Auswertung der Nativröntgenaufnahmen

Nativröntgenaufnahmen sind nützlich, um potenzielle Differenzialdiagnosen auszuschließen, sie sind aber nicht maßgeblich für eine endgültige Diagnose. Röntgenologische Befunde können auf eine zervikale Spondylomyelopathie hinweisen, sie können aber nicht zuverlässig die Stelle der Rückenmarkskompression zeigen (SHARP u. WHEELER 2005). Darüber hinaus können Nativröntgenaufnahmen bei Hunden mit Wobbler-Syndrom völlig unauffällig sein, sodass eine Rückenmarkskompression nur durch eine Myelografie ermittelt werden kann (SHARP et al. 1992). Trotzdem bleibt das Vorhandensein zervikaler Malformationen ein Hinweis auf die mögliche spätere Entwicklung des Wobbler-Syndroms (LEWIS 1991; LAUTERSACK 2002).

Auf einer lateralen Röntgenaufnahme der Halswirbelsäule können verschiedene vertebrale Malformationen ermittelt werden (WRIGHT et al. 1973; TROTTER et al. 1976; CHAMBERS u. BETTS 1977; DENNY et al. 1977; READ et al. 1983; LEWIS 1989; SHARP et al. 1992). Die am häufigsten beschriebenen Veränderungen sind ein durch Missbildung des Wirbelkörpers, des Wirbelbogens und der Gelenkfacetten verursachter verengter kranialer Wirbelkanal und eine Fehlstellung zweier oder mehrerer benachbarter Halswirbel. Diese Veränderungen betreffen vor allem die klinisch auffälligen jungen Dobermänner (jünger als 2 Jahre) (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Die ventrale Kante des betroffenen Wirbelkörpers ist am meisten kaudal abgeflacht, sodass die kranioventrale Kante abgerundet erscheint. Im extremen Fall wird der betroffene Wirbelkörper dreieckig. Nativröntgenaufnahmen zeigen oft auch „tipping“ des Wirbelkörpers, sodass seine kraniodorsale Kante dorsal in den Spinalkanal kippt.

Bei älteren Dobermännern können zusätzlich radiologische Anzeichen für chronische degenerative Bandscheibenerkrankungen nachgewiesen werden (TROTTER et al. 1976; CHAMBERS u. BETTS 1977; SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1991; SHARP et al. 1992). Diese Anzeichen sind kollabierte oder schmale keilförmige Zwischenwirbelspalten, das Vorhandensein von verkalktem Bandscheibenmaterial entweder innerhalb der Zwischenwirbelspalten oder im Spinalkanal und die Entwicklung ventraler Spondylosen. Der

am häufigsten betroffene Zwischenwirbelspalt liegt zwischen dem 6. und 7. Halswirbel. Veränderungen der Gelenkfacetten lassen sich am besten in der ventrodorsalen Projektion der Halswirbelsäule nachweisen (TROTTER et al. 1976). Obwohl dieses Merkmal bei den Dobermännern selten ist, sollte diese Röntgenaufnahme in die Untersuchung eingezogen werden (RENDANO JR u. SMITH 1981; SHARP et al. 1992).

Viele Autoren setzten sich mit der Bedeutung der auf Nativröntgenaufnahmen erkennbaren Veränderungen auseinander (WITHROW 1982; READ et al. 1983; LEWIS 1991; SHARP et al. 1992). Es konnte bewiesen werden, dass nativröntgenologische Veränderungen nicht immer dem myelografischen Nachweis für Rückenmarkskompressionen entspricht. Seim und Withrow (1982) fanden nur bei 24 von 37 Patienten mit nativröntgenologischen Halswirbelveränderungen, dass die Stelle dieser Veränderungen mit der auf Myelografie erkennbaren tatsächlichen Kompressionsstelle stimmig ist. Lewis (1991) kam zu denselben Ergebnissen. Read et al. (1983) stellten fest, dass ein verengter Zwischenwirbelspalt nicht immer mit der Kompressionsstelle stimmig ist und bei den dorsal gekippten Wirbeln die Kompressionsstelle oft kaudal der Neigung liegt. Es wurde davon ausgegangen, dass Nativröntgenaufnahmen allein nicht ausreichend aussagekräftig sind, um eine vollständige Beurteilung der Halswirbelsäule bei Hunden mit Verdacht auf eine kaudale zervikale Spondylomyopathie zu gewährleisten (SHARP et al. 1992).

Da sich die Kompression des Rückenmarks bei bestehender Diskopathie besonders durch eine gleichzeitig vorhandene Stenose des Wirbelkanals oder eine Instabilität erhöht, versuchten manche Autoren (WRIGHT 1979; LEWIS 1991; DROST et al. 2002; LAUTERSACK 2002; DE DECKER et al. 2011) anhand von Nativröntgenaufnahmen anatomische Unterschiede des Wirbelkanals und der Beweglichkeit zwischen klinisch auffälligen und symptomlosen Hunden zu quantifizieren.

Lewis (1991) beschrieb die Vermessung des Wirbelkanals bei 28 Dobermännern mit Wobbler-Syndrom und 24 symptomlosen Hunden anderer Rassen. Dabei wurde der sagittale Wirbelkanaldurchmesser sowohl kranial als auch kaudal für jeden einzelnen Wirbel von C3 bis C7 gemessen. Als Messpunkte für den kranialen Wirbelkanaldurchmesser wurden die kraniodorsale Kante des Wirbelkörpers und der ventrokraniale Punkt der Lamina vertebralis herangezogen und für den kaudalen Wirbelkanaldurchmesser die kaudodorsale Kante des Wirbelkörpers und der ventrokaudale Punkt der Lamina vertebralis. Lewis (1991) stellte fest, dass Dobermänner mit einem Wobbler-Syndrom einen engeren Wirbelkanal im Vergleich zu unauffälligen Hunden anderer Rassen besitzen. Der Unterschied zwischen kranialer und

kaudaler Öffnung des Wirbelkanals vergrößerte sich kontinuierlich zur distalen Halswirbelsäule. Um eine bessere Vorhersage über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Erkrankung stellen zu können, führte Lewis (1991) dieselben Messungen bei weiteren 115 klinisch symptomfreien Dobermännern durch. Er fand, dass bei allen klinisch gesunden Hunden der Rasse Dobermann die kraniokaudale Differenz des sagittalen Durchmessers geringer als 3 mm war. Im Gegensatz dazu lag die Differenz bei 13 erkrankten Dobermännern an der prädisponierten Stelle bei C6/7 über 3 mm. Er versuchte zusätzlich die Stufenbildung zwischen 2 benachbarten Wirbelkörpern als Beweis für die Instabilität zwischen den Wirbeln zu bestimmen. Dazu wurde eine Linie entlang dem Wirbelkanalboden von der dorsalen Kante der kranialen Endplatte zur entsprechenden Kante der kaudalen Endplatte auf Nativröntgenaufnahmen in verschiedenen Halspositionen (Standardlagerung, Extension und Flexion) gezogen. Die Höhendifferenz des Wirbelkanalbodens am kaudalen Ende des vorderen Wirbels zum kranialen Ende des nachfolgenden wurde in den verschiedenen Lagerungen vermessen (Abbildung 1). Bei 27 von 28 Patienten zeigte sich bei ventral überbeugten Aufnahmen eine Stufenbildung von 3 mm oder mehr, dagegen überschritt der Abstand bei 87 von 125 klinisch gesunden Dobermännern die 3 mm nicht. Lewis (1991) beobachtete 28 klinisch symptomlose Hunde der Rasse Dobermann, die auf Nativröntgenaufnahmen einen Unterschied zwischen 2 benachbarten Wirbeln oder zwischen kranialer und kaudaler Wirbelkanalöffnung von über 3 mm sowie eine vertebrale Malformation, Kanalstenose und/oder eine ventrale Spondylose zeigten. Bei 20 Hunden entwickelten sich innerhalb von 5 Jahren Symptome einer zervikalen Spondylomyelopathie, während sich diese bei Hunden ohne entsprechende Veränderungen im Laufe der Studie nicht entwickelten. Es wurde das Fazit gezogen, dass ein Unterschied von 3 mm oder mehr zwischen dem sagittalen Durchmesser kranialer und kaudaler Wirbelkanalöffnungen ggf. zwischen 2 benachbarten Wirbelkanalböden ein Pathogenitätsmerkmal für die mögliche spätere Entstehung der zervikalen Spondylomyelopathie darstellt.

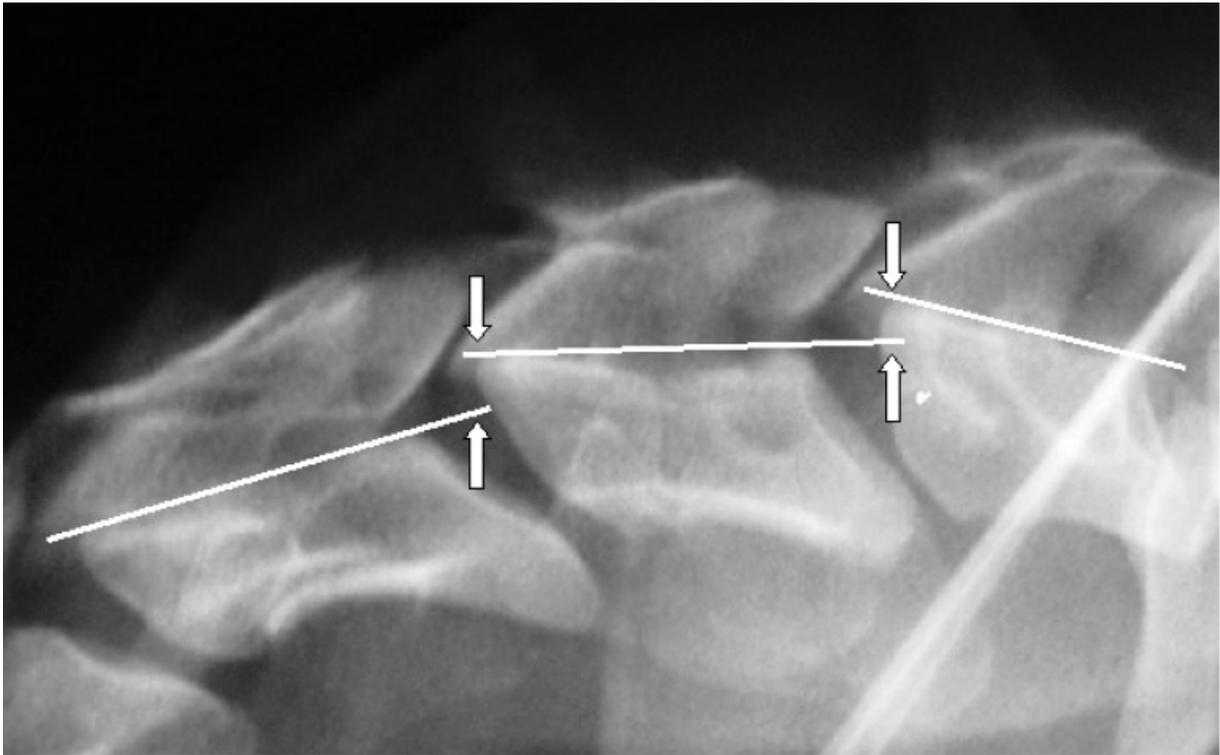


Abbildung 1: Messung der Stufenbildung nach Lewis (1991). Die Pfeile markieren die Referenzpunkte (aus LAUTERSACK 2002).

Später versuchten Lautersack (2002) bzw. Dorst et al. (2002) die Ergebnisse von Lewis (1991) zu reproduzieren. Da sie die Auswertung absoluter Zahlen für problematisch hielten, berechneten sie das Verhältnis des Wirbelkanaldurchmessers zu anderen anatomischen Parametern. Dadurch sollen Fehlinterpretationen durch individuelle Größenunterschiede minimiert werden. Dorst et al. (2002) berechneten das Verhältnis des Wirbelkanaldurchmessers zur kranialen Wirbelkörperhöhe sowie zur Wirbelkörperlänge für den 6. und 7. Halswirbel bei 24 Dobermännern und 8 Deutschen Doggen. Als Messpunkte gaben sie für den kranialen Wirbelkanaldurchmesser den engsten Punkt im kranialen Viertel des Spinalkanals an, auf den sie eine Senkrechte einzeichneten. Für die Wirbelkörperhöhe definierten sie die maximale Wirbelkörperhöhe in dem kranialen Viertel des Wirbelkörpers. Für die Wirbelkörperlänge wurde eine parallele Linie zum Spinalkanalboden gelegt, die sich durch den Mittelpunkt der kranialen Endplatte zieht (Abbildung 2).

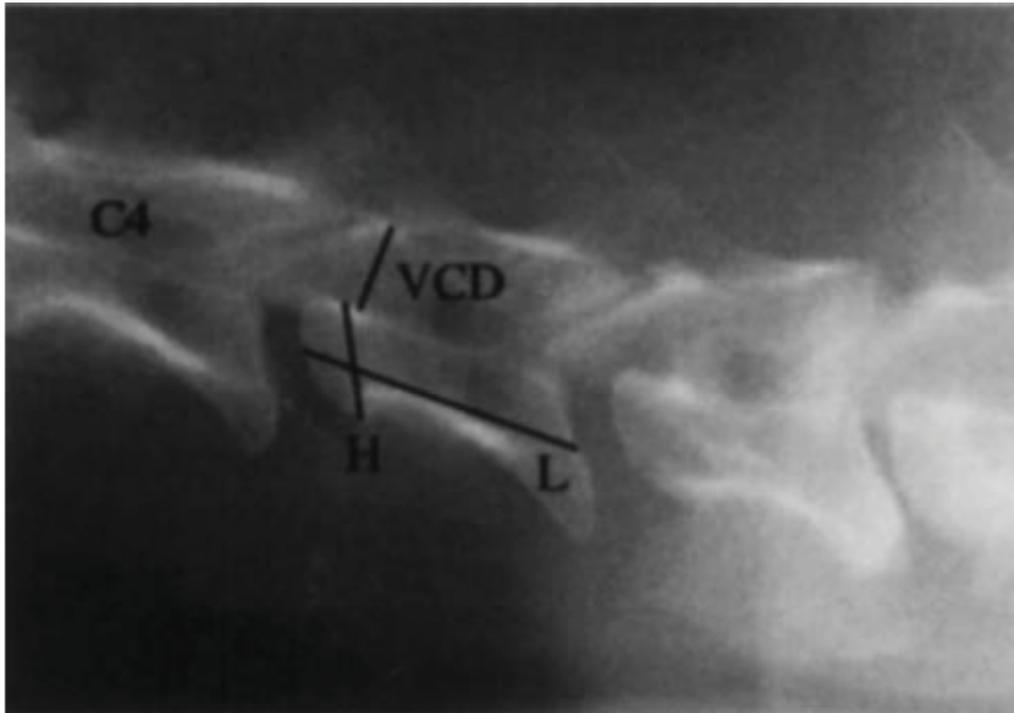


Abbildung 2: Die Messungen am Halswirbel nach Dorst et al. (2002) VCD: Wirbelkanaldurchmesser, H: Wirbelkörperhöhe, L: Wirbelkörperlänge.

Sie konnten beim Dobermann für den 6. und 7. Halswirbel Unterschiede zwischen unauffälligen Hunden und Hunden mit einem Wobbler-Syndrom im Verhältnis der Wirbelkanalhöhe (der Wirbelkanaldurchmesser) zur Wirbelkörperhöhe feststellen. Das Verhältnis war bei unauffälligen Dobermännern größer als bei erkrankten und statistisch signifikant. Dagegen zeigte das Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge keine statistisch signifikanten Unterschiede. Im Gegensatz dazu war bei Deutschen Doggen der Unterschied im Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge statistisch signifikant und der Unterschied im Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperhöhe nicht signifikant. Obwohl die verwendeten Parameter für die Berechnung der Verhältnisse (Wirbelkörperhöhe und –Länge) auf ihre Variabilität nicht überprüft wurden, behaupteten die Autoren, dass durch die Errechnung der beschriebenen Quotienten die Wahrscheinlichkeit der Entstehung der Erkrankung bestimmt werden kann.

Lautersack (2002) berechnete das Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe zur kaudalen Wirbelkanalhöhe für jeden Wirbel von C2 bis T1 sowie das Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen Wirbelkanalhöhe des nachfolgenden Wirbels von C2 bis T1 bei 20 klinisch erkrankten und 77 klinisch unauffälligen Dobermännern. Als Messpunkte des dorsoventralen Wirbelkanaldurchmessers wurden das kraniale Ende des Wirbeldachs und der ermittelte Punkt am Wirbelkanalboden, der im rechten Winkel zum Boden steht, angegeben.

Die kaudalen Punkte wurden durch den Schnittpunkt vom kaudalen Ende des Spinalkanals mit einer zu diesem Punkt senkrechten Linie auf das Wirbeldach festgelegt (Abbildung 3).

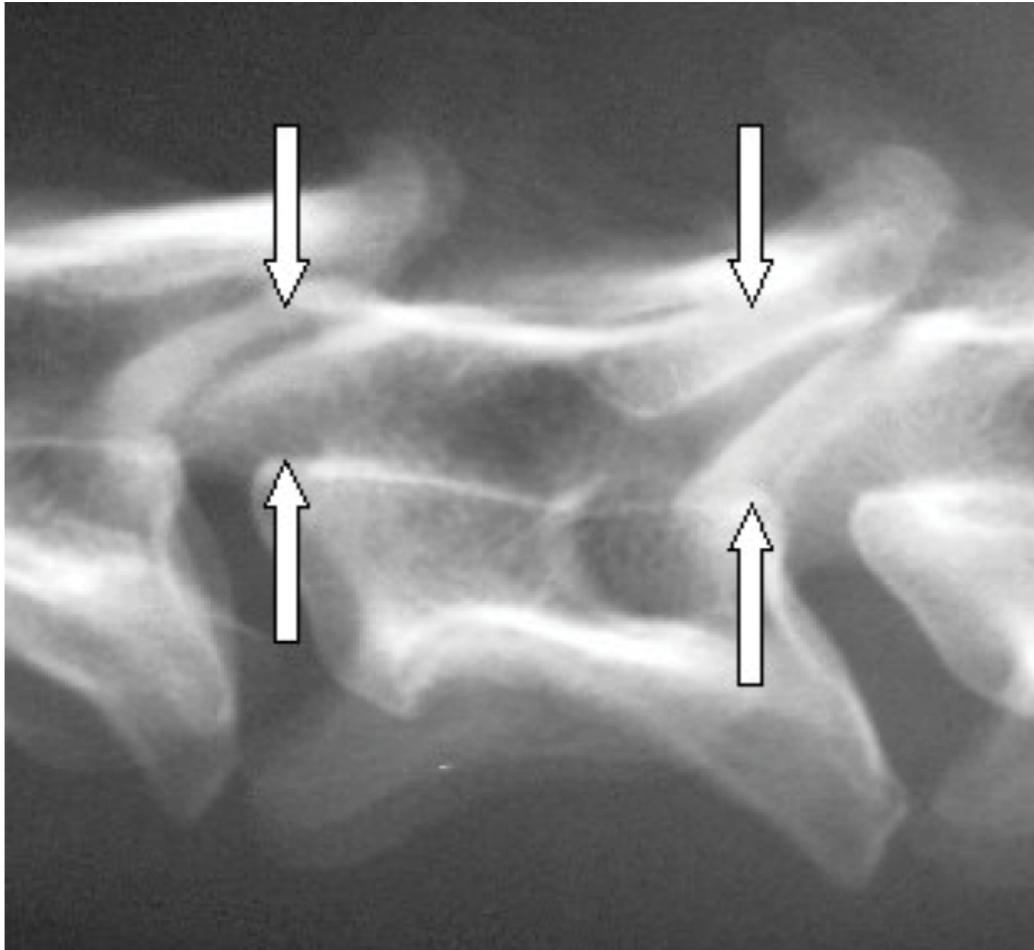


Abbildung 3: Messpunkte der dorsoventralen Spinalkanalhöhe (Pfeile) nach Lautersack (2002).

Lautersack (2002) konnte an keiner Stelle einen signifikanten Unterschied zwischen klinisch unauffälligen und an einem Wobbler-Syndrom erkrankten Tieren der Rasse Dobermann beim Vergleich des Verhältnisses von kranialer zu kaudaler und kaudaler zur nachfolgenden kranialen Wirbelkanalhöhe feststellen. Er begründete die Unstimmigkeit zwischen seinen Ergebnissen und den Ergebnissen von Dorst et al. (2002) durch die unterschiedliche Definition der Messpunkte in beiden Studien. Darüber hinaus wurde in beiden letztgenannten Studien auf das Problem hingewiesen, dass trotz physiologischer Wirbelkanalhöhe ein pathologischer Quotient errechnet werden kann, wenn Abweichungen von der vorausgesetzten Norm beim 2. Parameter des Quotienten auftreten.

De Decker et al. (2011) verglichen das Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperhöhe bzw. zur Wirbelkörperlänge für jeden Wirbel von C3 bis C7 von 81 Dobermännern mit einem Wobbler-Syndrom mit denen von 39 Dobermännern ohne Wobbler-Syndrom. Die Wirbelkanalhöhe wurde als der gemessene Abstand von der Mitte der Dorsalkante des Wirbelkörpers zum nächsten Punkt der spino-laminaren Linie definiert (Abbildung 4, A). Die Wirbelkörperhöhe wurde der Abstand vom Mittelpunkt der dorsalen Kante des Wirbelkörpers zur ventralen Kante parallel zur kranialen Endplatte definiert (Abbildung 4, B). Als Messpunkte für die Wirbelkörperlänge wurden der dorsokranialste Punkt und der dorsokaudalste Punkt des gleichen Wirbelkörpers angegeben (Abbildung 4, E). De Decker et al. (2011) konnten für jeden untersuchten Halswirbel von C3 bis C7 Unterschiede zwischen klinisch unauffälligen Hunden und Hunden mit einem Wobbler-Syndrom im Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperhöhe feststellen. Das Verhältnis war bei erkrankten Dobermännern kleiner als bei gesunden und statistisch signifikant. Dagegen zeigte das Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge signifikante Ergebnisse lediglich für den 5., 6. und 7. Halswirbel. Darüber hinaus berechneten sie das Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen Wirbelkanalhöhe für jeden Wirbel von C3 bis C7. Sie konnten an keiner Stelle außer an C7 einen signifikanten Unterschied zwischen klinisch unauffälligen und betroffenen Dobermännern feststellen. Das Verhältnis der kaudalen zur kranialen Wirbelkanalhöhe von C7 war signifikant größer bei Hunden mit einem Wobbler-Syndrom als bei unauffälligen Hunden (1,53 bzw. 1,41). Die Autoren konnten dennoch keine klaren Grenzwerte für die errechneten Quotienten zwischen den gesunden Hunden und Hunden mit einem Wobbler-Syndrom feststellen. Es wurde das Fazit gezogen, dass sich bei betroffenen Dobermännern eine generalisierte relative Stenose des gesamten Halswirbelkanals entwickelt. Es wurde aber darauf hingewiesen, dass die Verwendung der in dieser Studie errechneten Verhältnisse als Screeningtool für eine relative Wirbelkanalstenose bei Dobermännern nicht geeignet ist und zur Fehldiagnose führen kann.

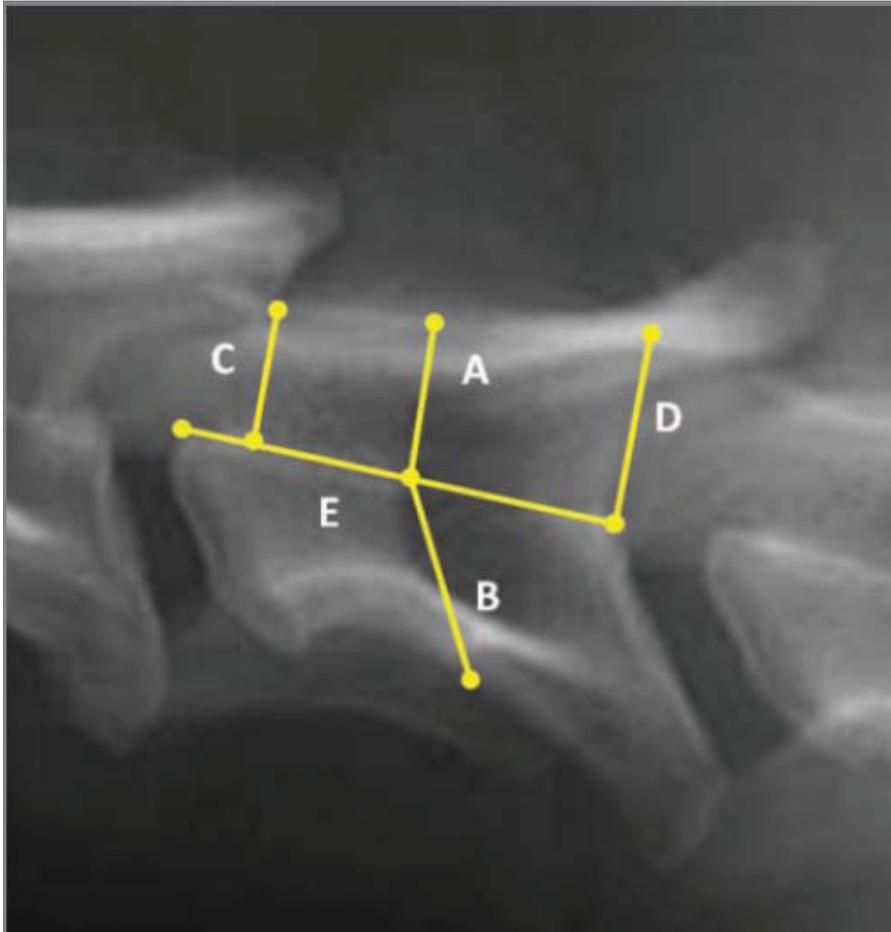


Abbildung 4: Die Messungen am Halswirbel nach De Decker et al. (2011).

A: Wirbelkanalhöhe; B: Wirbelkörperhöhe; C: kraniale Wirbelkanalhöhe; D: kaudale Wirbelkanalhöhe; E: Wirbelkörperlänge.

2.7.1.2 Myelografische Untersuchung

Seim and Withrow (1982) stellten fest, dass Nativröntgenaufnahmen die tatsächliche Stelle der Rückenmarkskompression nur bei 65 % der Fälle zeigen können. Ähnliche Feststellungen wurden auch von anderen Autoren beschrieben (READ et al. 1983; LEWIS 1991). Daher ist die Myelografie von wesentlicher Bedeutung, nicht nur zur Bestimmung der Läsion, sondern auch, um ihre genaue Art und den Umfang zu identifizieren. Die Kontrastmitteldarstellung des Rückenmarks ist ein invasiver Eingriff, dessen Durchführung in keinem Fall ungefährlich ist. Durch die Applikation eines Kontrastmittels in den Subarachnoidalraum kann es zu Nebenwirkungen, wie Exzitationen und neurologischen Verschlechterungen, kommen (SHARP et al. 1992). Seim und Withrow (1982) stellten bei 6 von 30 Hunden mit zervikaler Spondylomyelopathie eine Verschlechterung des klinischen Bildes nach einer myelografischen Untersuchung fest. Solche Beobachtungen wurden auch von Sharp (1992) bestätigt. Dennoch war die beschriebene Verschlechterung vorübergehend und das Befinden

der betroffenen Tiere verbesserte sich im Laufe weniger Tage. Ob eine Manipulation an der Halswirbelsäule während der Untersuchung eine Rolle beim Auftreten dieser Nebenwirkungen spielt, bleibt fraglich (SHARP et al. 1992). Sharp et al. (1992) empfehlen dennoch in Fällen, in denen die Läsion deutlich auf standardisierten Röntgenaufnahmen zu erkennen ist, auf die Stressuntersuchungen zu verzichten.

Die Durchführung der Myelografie erfolgt in Vollnarkose, als Prämedikation wurde Diazepam durch intravenöse Injektion (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1991) verwendet. Zur Einleitung verwendete Lewis (1991) Thiobarbiturate, während Lautersack (2002) Levomethadon in Kombination mit Propofol nutzte, deren Wirkung durch Inhalationsnarkotika aufrechterhalten wurde. Der Hund wird zur Punktion des Subarachnoidalraums in Seitenlage verbracht und der okzipitale Bereich unter aseptischen Kriterien zur Punktion vorbereitet. Die Myelografie wird in der Cisterna magna zwischen dem Os occipitale und dem Atlas durchgeführt (LAUTERSACK 2002). Es muss dabei vor der Kontrastmittelinjektion Liquor in ausreichender Menge für die Untersuchung und Druckentlastung des Spinalkanals abgenommen werden (LAUTERSACK 2002). Als Kontrastmittel werden iodhaltige, nicht ionische, wässrige Lösungen (Iohexol oder Iopamidol) verwendet (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1991; SHARP et al. 1992). Das Kontrastmittel sollte zunächst an der Läsionsstelle durch die Positionierung der fraglichen Stelle der Wirbelsäule am tiefsten Punkt für mehrere Minuten konzentriert werden (MCKEE et al. 2000). Danach werden Röntgenaufnahmen in einer laterolateralen und ventrodorsalen (für kraniale Halswirbel) oder dorsoventralen (für kaudale Halswirbel) Projektion angefertigt. Anschließend werden auch Aufnahmen bei maximaler dorsaler Überstreckung und ventraler Überbeugung sowie Traktion der Halswirbelsäule angefertigt (RENDANO u. SMITH 1981; SEIM u. WITHROW 1982; SHARP u. WHEELER 2005).

2.7.1.2.1 Auswertung der Myelografie

Der am häufigsten auf einer lateralen Röntgenaufnahme erkennbare Befund bei betroffenen Dobermännern ist das Vorhandensein einer ventralen extraduralen Masse, die eine Verengung des Subarachnoidalraums und in einigen Fällen eine Kompression des Rückenmarks verursacht (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989 1991). Diese Masse besteht vermutlich aus dem Weichgewebe der Bandscheibe und aus dem vorfallenden Nucleus pulposus (SEIM u. WITHROW 1982). Obwohl oft mehrere Kompressionsstellen erkannt werden können, gibt es in der Regel nur eine Läsion, wobei die Kompression am stärksten ist (SHARP et al. 1992). Das Ausmaß der ventralen extraduralen Masse kann ausreichend sein, um den Fluss des

Kontrastmittels aufzuhalten, eine Asymmetrie der Läsion kann gelegentlich zur Spaltung der ventralen Säule des Kontrastmittels führen. Bei einer durch deformierte, instabile oder rotierte Wirbel verursachten Kompression des Rückenmarks kommt es ebenfalls zur Verdrängung des Kontrastmittels von ventral, die bei entsprechendem Ausmaß auch die dorsale Kontrastmittelsäule unterbricht (SHARP et al. 1992). Die dorsale Veränderung des Subarachnoidalraums wird vermutlich durch Hypertrophie des Ligamentum flavum oder Veränderungen der Gelenkfacetten verursacht, indem diese Strukturen in den Spinalkanal hineingreifen. Außerdem kann dies mit einer ventralen Kompression in dem gleichen Zwischenwirbelspalt kombiniert werden (OLSSON et al. 1982; SEIM u. WITHROW 1982). Eine seitliche Kompression des Spinalkanals kann auf der ventrodorsalen sowie dorsoventralen Röntgenaufnahme identifiziert werden. Eine solche Kompression ist in der Regel auf eine Malformation des Wirbelbogens und der Gelenkfacetten zurückzuführen und kommt vor allem bei Deutschen Doggen vor (RENDANO u. SMITH 1981; OLSSON et al. 1982).

Die Verwendung von Stressaufnahmen während der Myelografie ist von großem Wert für die Beurteilung der Situation bei Hunden mit Kompression am Halsrückenmark (SHARP u. WHEELER 2005). Seim und Withrow (1982) betonten die Bedeutung der Unterscheidung zwischen „dynamischen“ und „statischen“ Kompressionen bei der Planung für die chirurgische Behandlung. Dynamische Kompressionen werden in der Regel durch Weichteilstrukturen verursacht, dagegen deuten statische Kompressionen auf feste Massen, wie Knochen oder einen vorgefallenen Nucleus pulposus hin. Darüber hinaus beschrieben Sharp und Wheeler (2005) andere Kriterien für die Beurteilung der Beschaffenheit der komprimierenden Läsion. Diesen Kriterien nach können dynamische Läsionen weiter unterteilt werden, 1. dadurch, ob sie auf Halstraktion reagieren oder nicht (Traktion-responsive oder Traktion-nicht-responsive) und dann dadurch, ob sie sich während der Flexion und der Extension verändern oder nicht (wenn ja, lagebedingt „positionell“). Diese Unterteilung der Läsionstypen soll dem Operateur bei der Entscheidung zur passenden Prozedur verhelfen.

Unter Traktion-responsiven Läsionen versteht man komprimierende Läsionen, die sich bei der Durchführung einer Halstraktion verbessern (SHARP u. WHEELER 2005). Die Halstraktion führt in der Regel zur Erhöhung des Durchmessers des Duralschlauchs, dadurch wird die durch den Anulus fibrosus oder Bänder verursachte Rückenmarkskompression vermindert (RUSBRIDGE et al. 1998). Diese Art von Läsion wurde auch als „dynamisch“ bezeichnet (SEIM u. WITHROW 1982). Ein operativer Eingriff mit dem Ziel einer

Distraktionsstabilisation soll solche Traktion-responsiven Läsionen heilen (SHARP u. WHEELER 2005). Einige komprimierende Läsionen verbessern sich durch Halstraktion nicht, sie wurden als Traktion-nicht-responsive Läsionen bezeichnet (SHARP u. WHEELER 2005). Diese Läsionen werden in der Regel durch neue Knochenbildung oder Extrusion des Nucleus pulposus verursacht. Solche Läsionen wurden auch als „statisch“ bezeichnet und sind seltener als Traktion-responsive Läsionen (SEIM u. WITHROW 1982). Bei solchen Veränderungen soll ein „ventral slot“ oder eine dorsale Dekompression behilflich sein (SHARP u. WHEELER 2005). Darüber hinaus wiesen Sharp und Wheeler (2005) darauf hin, dass einige von den oben beschriebenen Läsionen auch eine positionelle Komponente zeigen können und dann eine Entscheidung getroffen werden muss, welche Komponente am bedeutendsten ist. Sie beschrieben auch, dass manche Hunde eine minimale Rückenmarkskompression bei einer neutralen Halsposition haben und daher kaum eine Veränderung bei der Durchführung einer Halstraktion zeigen. Trotzdem können bei ihnen deutliche Kompressionen bei Änderung der Halsposition auftreten. Diese Arten von dynamischen Läsionen wurden als positionelle Läsionen bezeichnet. Bei solchen Hunden verändert sich das Ausmaß der Kompression, wenn der Hals zwischen gebeugten, neutralen and überstreckten Positionen verschoben wird. Es wurde angenommen, dass bei diesen Hunden die normale Bewegung des Halses kleine wiederholte Verletzungen des Rückenmarks verursachen kann. Um die wiederholten, geringfügigen Verletzungen des Rückenmarks zu vermeiden, soll eine Stabilisierungsprozedur für diese Hunde durchgeführt werden (SHARP u. WHEELER 2005).

Sharp et al. (1992) wiesen auf die Gefahr einer Verschlechterung des neurologischen Status nach Stressaufnahmen hin, insbesondere bei dorsaler Überstreckung des Halses. Es wurde empfohlen, dass Stressaufnahmen, insbesondere die dorsale Halsüberstreckung, nur bei Verdacht auf positionelle Läsionen oder zur Identifizierung subklinischer Läsionen durchgeführt werden soll (SHARP u. WHEELER 2005).

2.7.2 Computertomografie (CT)

Sharp et al. (1992) beschreibt die CT für die Diagnostik der zervikalen Spondylomyelopathie. Die Durchführung der CT muss unter Vollnarkose erfolgen. Das Tier wird zur Untersuchung in eine symmetrische Brust-Bauch- oder Seitenlage gebracht und die Vorderbeine werden kaudal gestreckt, um die kaudalen Halswirbel überlagerungsfrei darzustellen. Nach einer Übersichtsaufnahme wird die zu untersuchende Region bestimmt, die sich gewöhnlich von der oberen Halswirbelsäule bis zum 1. Brustwirbel erstrecken sollte. Falls das CT-Gerät keine

Übersichtsaufnahme liefern kann, ist es am besten, die Untersuchung am 1. oder 2. Brustwirbel zu starten. Als Orientierungspunkte dienen die hohen Dornfortsätze der Brustwirbel. Die Untersuchung kann dann vorwärts durch die letzten 3 Halswirbel fortgesetzt werden. Als Orientierungspunkte zur Bestimmung der exakten Position dienen Rippen und die hohen Processus spinosi der Brustwirbel, die kurzen Processus transversi des 7. Halswirbels sowie die großen und ventral gekrümmten Processus transversi des 6. Halswirbels. Um die zu untersuchende Region einzugrenzen, wurde empfohlen, eine Myelografie voranzustellen (SHARP et al. 1992; LAUTERSACK 2002). Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die geeignete Kontrastmittelmenge für die CT nur 1/5 bis 1/3 der benötigten Menge der Myelografie beträgt. Da die Myelografie vor der CT durchgeführt wird, muss das applizierte Kontrastmittelvolumen daher an der unteren üblichen Grenze gewählt und die Reduktion des Kontrastmittels im Subarachnoidalraum durch Resorption und Abfluss in die kaudalen Bereiche durch Hochlagerung des vorderen Bereichs des Patienten erreicht werden. Die geeignete Kontrastmittelkonzentration ist dann erreicht, wenn röntgenologisch nur noch ein schmaler Streifen sichtbar ist (SHARP et al. 1992; LAUTERSACK 2002). Die Anfertigung gehaltener Aufnahmen ist im Prinzip möglich, aber nicht empfehlenswert, weil die räumliche Begrenzung durch die Gantry bei großwüchsigen Hunden dies unmöglich macht. Darüber hinaus kann die Haltung des Halses in einer Überstreckungsposition während der Untersuchungszeit schwere Verletzungen verursachen (SHARP u. WHEELER 2005).

2.7.2.1 Auswertung der Computertomografie

Im Idealfall sollte nach einer konventionalen Myelografie bei Hunden mit Wobbler-Syndrom eine CT durchgeführt werden (SHARP et al. 1992). Die CT bietet eine ausgezeichnete Knochendarstellung und stellt mit Kontrastmittel auch ein gutes transversales Bild des Rückenmarks dar. Sagittale oder dreidimensionale Rekonstruktionen können auch nützlich sein. Diese Untersuchung kann die Operationsplanung verbessern und ebenfalls prognostische Informationen durch die Beurteilung des Zustands des Rückenmarks (Vorhandensein einer Rückenmarksatrophie) liefern (CHAMBERS u. BETTS 1977; SHARP u. WHEELER 2005). Der Subarachnoidalraum und das Rückenmark sind besonders im CT-Myelogramm gut darstellbar (SHARP et al. 1992). Der Liquorraum stellt sich durch das Kontrastmittel deutlich als unterschiedlich weit ausgeprägter Spalt dar, der an keiner Stelle durch umliegende Strukturen eingengt sein darf. Protrusionen oder Extrusionen der Bandscheiben sind im CT-Myelogramm als schwarze Masse sichtbar, die das Kontrastmittel und das Rückenmark in der entsprechenden Richtung verdrängt (SHARP et al. 1992). Die Zentralisierung des

Rückenmarks und die Vergrößerung des mit Kontrastmittel gefüllten Subarachnoidalraums wurden als Hinweis auf eine Atrophie des Rückenmarks angesehen (SHARP et al. 1992). Diese Veränderung ist typisch bei Menschen mit zervikaler Spondylomyelopathie und deutet auf eine ungünstige Prognose nach der Operation hin. Darüber hinaus verwendeten Burbidge et al. (1999) Röntgen und CT, um das Vorhandensein der kaudalen zervikalen Malformation bei neugeborenen Welpen der Rasse Dobermann zu ermitteln. Dabei wurde festgestellt, dass die CT aufgrund der nicht vollständigen Verknöcherung der Halswirbel effizienter als das Röntgen bei der Feststellung von Halswirbelsäulenmissbildungen bei Welpen ist. Bei den neugeborenen Welpen ist die CT die zuverlässigste und sensitivste Methode. Es kann eine Reihe von individuellen Variationen an der Halswirbelsäule (z.B. Wirbelkörperasymmetrie und kraniale Kanalstenose) zeigen, die einen subtilen Beweis für eine vertebrale Malformation sein könnten. Eine weitere Einsatzmöglichkeit der CT ist die postoperative Kontrolle, z.B. die Sicherstellung von einer vollständigen Entfernung komprimierender Strukturen oder der Nachweis für die erneute Ausdehnung des atrophierten Rückenmarks (SHARP et al. 1992; SHARP u. WHEELER 2005).

2.7.3 Magnetresonanztomografie

Die Magnetresonanztomografie/Kernspintomografie, abgekürzt auch MRT, ist ein Untersuchungsverfahren, das ganz ohne Strahlen auskommt (LAUBENBERGER u. LAUBENBERGER 1999). Mithilfe eines Magnetfelds und elektromagnetischer Wellen werden die Wasserstoffatome des Körpers angeregt, computergesteuerte Messungen vorgenommen und das Ergebnis in dreidimensionalen Bildern dokumentiert. Die Magnetresonanztomografie ist das am besten geeignete bildgebende Verfahren zur Darstellung von Weichteilen, insbesondere dem zentralen Nervensystem und der umgebenden Weichteile, bei Patienten mit degenerativen Erkrankungen der Halswirbelsäule (KAISER u. HOLLAND 1998; LEVITSKI et al. 1999; LIPSITZ et al. 2001). Eine MRT ist nicht invasiv und bietet auch eine bessere Weichteilauflösung als die Myelografie (DA COSTA 2006b). Es erlaubt im Gegensatz zum Röntgen die exakte Beurteilung des Rückenmarkparenchyms, der Bandscheiben sowie des Extra- und Subduralraums. Da Costa et al. (2006b) stellten fest, dass die MRT-Untersuchung bei Dobermännern mit zervikaler Spondylomyelopathie für die Identifizierung der Abnormalität effizienter als eine zervikale Myelografie ist. Obwohl die Myelografie den Ort der Läsion bei den meisten Patienten identifizieren konnte, war eine MRT präziser für die Feststellung des Bereichs, des Schweregrads und der Art der Rückenmarkskompression. Kompressionen des Rückenmarks lassen sich durch das

konventionelle MRT gut erkennen. Dynamische Untersuchungen sind möglich (PENDERIS u. DENNIS 2004; DA COSTA et al. 2006b), aber sie verlangen, dass der Patient neu positioniert und dann neu untersucht wird. Darüber hinaus hielten Sharp und Wheeler (2005) eine dynamische Untersuchung bei der Verwendung der chirurgischen Technik „cement plug distraction-stabilization“ zur Behandlung der Erkrankung für nicht nötig, weil diese Technik sich für alle Läsionsarten eignet. Nachteile der MRT sind ihre begrenzte Verfügbarkeit, die hohen Kosten und, je nach dem Gerätetyp, die lange Untersuchungszeit (SHARP u. WHEELER 2005).

Lipsitz et al. (2001) beschrieben MRT-Untersuchungen für die Diagnostik der zervikalen Spondylomyelopathie bei Hunden. Die Hunde wurden erst narkotisiert mit einem injizierbaren Anästhetikum, dann wurde die Narkose durch Inhalationanästhetika und Sauerstoff aufrechterhalten. Die Tiere wurden zur Untersuchung in eine symmetrische Rückenlage gebracht und die Vorderbeine nach kaudal gestreckt. Zunächst wurden sagittale und dorsale T1-gewichtete Übersichtsaufnahmen mit Repetitionzeit (TR = 300 Millisekunde) und Echozeit (TE = 20 Millisekunde) als Lokalizer angefertigt. Danach wurden sagittale Bilder mit 3 mm Schichtdicke unter T1-Wichtung (Spin-Echo: TR = 450–650, TE = 12–30) sowie T2-Wichtung (Spin-Echo: TR = 2000–3500, TE = 55–100) angefertigt. Für einige Hunde wurde ein T2-gewichtetes Gradientenecho (TR = 1200, TE = 30) mit einem 30°-Flip-Winkel verwendet, das soll ein Bild mit höherer Protonendichte liefern. Zur Reduzierung der Untersuchungs- und Anästhesiezeit wurde empfohlen, dass transversale Bilder nur an den betroffenen Bereich angefertigt werden sollen. Für den fraglichen Halswirbelbereich, der schon auf den sagittalen MRT-Bildern oder bei einer früheren myelografischen Untersuchung pathologische Veränderungen zeigte, wurden transversale Bilder unter denselben Sequenzen (T1-Wichtung Spin-Echo: TR = 450–650, TE = 12–30; T2-Wichtung Spin-Echo: TR = 2000–3500, TE = 55–100 und T2-Wichtung Gradientenecho: TR = 1200, TE = 30) angefertigt. Transversale und/oder sagittale T1-gewichtete MRT-Studien mit Kontrastmittel könnten bei Bedarf ebenfalls durchgeführt werden. Dafür wird ein paramagnetisches Kontrastmittel (Gd-DTPA, 0,2–0,4 mmol/kg intravenös) verwendet.

2.7.3.1 Auswertung der Magnetresonanztomografie

Das grundlegende Aussehen der MRT-Aufnahmen der Halswirbelsäule bei Hunden ist dem des Menschen ähnlich (LEVITSKI et al. 1999). Die Graustufen vom hellsten zum dunkelsten Farbton in T1-Wichtung für die Wirbelsäule erstrecken sich von Fett als die hellsten, über

Markhöhle und spongiösen Knochen, Nucleus pulposus, Rückenmark, Muskel, Liquor, Annulus fibrosus, Bänder bis zum kompakten und kortikalen Knochen als die dunkelsten Töne. Die Graustufen in T2-Wichtung sind ähnlich wie in der T1-Wichtung, Liquor und Nucleus pulposus sind etwas hypointensiver als Fett (etwas dunkler), aber hyperintensiver als die übrigen Strukturen (heller) (KARKKAINEN et al. 1993; LEVITSKI et al. 1999). Die MRT ist eine sichere Diagnostikmethode für die Spondylomyelopathie. Anhand der MRT ist es möglich sowohl Veränderungen der Weichteile, wie die Bandscheibendegeneration und/oder Protrusion, intradurale extramedulläre Läsionen, Nervenwurzeltumoren, intramedulläre Läsionen, extradurale Synovialzysten und dorsolaterale Rückenmarkskompressionen sekundär zur Weichgewebs- und Bandhypertrophie als auch knöcherne Veränderungen zu erkennen (LEVITSKI et al. 1999; LIPSITZ et al. 2001; DA COSTA et al. 2006b). Der überwiegende Befund bei Hunden mit zervikaler Spondylomyelopathie sind degenerative Bandscheiben und/oder Protrusionen (12 von 27 Hunden, 45 % der Fälle laut Levitski et al. (1999); 15 von 16 Dobermännern laut Da Costa et al. (2006a)), die wiederum zur ventralen Rückenmarkskompression führen. Bandscheibendegenerationen (Dehydration) und eine Verengung der Zwischenwirbelspalten sind am besten in der Sagittalebene zu erkennen. Eine Bandscheibendegeneration lässt sich durch einen Verlust der Signalintensität des Nucleus pulposus auf T2-Spin-Echo-Bildern gut identifizieren (LEVITSKI et al. 1999; LIPSITZ et al. 2001). Eine Verdrängung des epiduralen Fettes im unterschiedlichen Grad sekundär zur Protrusion wurde ebenfalls auf sagittalen und transversalen Bildern bei allen betroffenen Hunden festgestellt (LEVITSKI et al. 1999; LIPSITZ et al. 2001; DA COSTA et al. 2006a). Eine Protrusion und eine Rückenmarkskompression sind an einem Verlust des epiduralen Fettes und einer Formänderung des Rückenmarks zu erkennen. Die Formänderung des Rückenmarks und der Verlust der normalen ovoiden Bandscheibenform sind am besten auf den transversalen Bildern zu sehen (LEVITSKI et al. 1999). Da Costa et al. (2006b) wies darauf hin, dass auf der Bandscheibenhöhe von C7 bis T1 der transversale Rückenmarksschnitt eine Trapezform sowohl bei klinisch unauffälligen Dobermännern als auch bei betroffenen Dobermännern zeigt. Diese Bemerkung ist auch klinisch relevant, weil diese Form als bilaterale dorsolaterale Kompression verwechselt werden könnte.

Da Costa et al. (2006a) führten eine vergleichende MRT-Untersuchung an 16 klinisch unauffälligen und 16 Hunden mit einem Wobbler-Syndrom durch, um mögliche morphologische und morphometrische Unterschiede der Halswirbelsäule und des Rückenmarks zwischen beiden Gruppen zu ermitteln. Dabei wurde jede Halswirbelsäule

sowohl ohne Traktion als auch mit Traktion untersucht. Morphologisch wurden die MRT-Abnormalitäten auf Höhe jeder einzelnen Bandscheiben von C2/3 bis C7/T1 nach einer Skala für die Rückenmarkskompression klassifiziert, foraminale Stenosen und Bandscheibendegenerationen und/oder Protrusionen wurden ebenfalls dokumentiert. Bei der Analyse aller Bandscheibenregionen der 16 klinisch gesunden Hunde (6 Bandscheibenregionen für jeden Hund) waren 60 von 96 Bandscheibenregionen (62,50 %) abnormal, darunter 49 partielle subarachnoidale Kompressionen (bei allen Hunden) und 7 komplette subarachnoidale Kompressionen (bei 5 Hunden). Darüber hinaus zeigten 4 Hunde eine Rückenmarkskompression, es gab aber jedoch keine Signalabnormalität des Rückenmarks. Bei der Analyse aller Bandscheibenregionen der 16 erkrankten Hunde waren 68 von 96 Bandscheibenregionen (71 %) abnormal, darunter lagen 19 Rückenmarkskompressionen bei 15 Hunden vor. 9 erkrankte Hunde zeigten zusätzlich eine Signalabnormalität des Rückenmarks an der Kompressionsstelle. Dabei wurde eine Hyperintensität des Rückenmarks in T2-Wichtung bei allen Hunden und eine Hypointensität des Rückenmarks in T1-Wichtung nur bei 1 Hund ermittelt. Darüber hinaus zeigten 12 klinisch gesunde Hunde und alle erkrankten Hunde ein unterschiedliches Ausmaß an Bandscheibendegenerationen, die am häufigsten (in absteigender Reihenfolge) an C6/C7, C5/C6 und C7/T1 zu sehen waren. Alle klinisch gesunden Hunde zeigten eine gewisse Protrusion, diese galt als mild bei 11 Hunden, als moderat bei 2 Hunden und als massiv bei 3 Hunden. Die Befunde bei erkrankten Hunden waren denen klinisch gesunder Hunde ähnlich, da alle Hunde eine Protrusion zeigten. Das gesamte Ausmaß dieser Abnormalität war doch massiver bei erkrankten Hunden (mild bei 1 Hund, moderat bei 2 Hunden, massiv bei 13 Hunden). Schließlich zeigten 11 klinisch gesunde und alle erkrankten Hunde eine foraminale Stenose, dabei war das Foramen C6/C7 am häufigsten betroffen gefolgt, von C5/C6 in beiden Gruppen. Es wurde das Fazit gezogen, dass klinisch normale Dobermänner eine hohe Inzidenz für Bandscheibendegenerationen und Protrusionen, foraminale Stenosen und nicht klinische Rückenmarkskompressionen haben. Daher sollte man große Acht bei der Beurteilung der klinischen Bedeutung der Bandscheibendegeneration und milden Rückenmarkskompression bei Dobermännern geben. Dies ist ebenfalls bei einer Operationenplanung bei Hunden mit scheinbar multiplen Läsionen zu berücksichtigen.

In der oben genannten Studie wurde versucht, die morphometrischen Besonderheiten an der Halswirbelsäule bei erkrankten Dobermännern festzustellen, dafür wurden verschiedene Messungen an der Halswirbelsäule und dem Rückenmark in sagittalen und transversalen Ebenen durchgeführt (DA COSTA 2006a). Um den durch das Rückenmark besetzten

Wirbelkanalraum zu bestimmen, wurde die Fläche, die Höhe und die Breite des Wirbelkanals und des Rückenmarks für jeden Wirbel von C2/C3 bis C7/T1 auf Höhe des kranialen Wirbelkörpers (vertebrale Ebene) und auf Höhe der Bandscheibe (Disk-Ebene) gemessen (DA COSTA 2006a). Es wurde festgestellt, dass sowohl die transversale Wirbelkanalfläche als auch die transversale Rückenmarkfläche an beiden Ebenen bei erkrankten Hunden deutlich kleiner als die entsprechenden Flächen bei den symptomlosen Hunden sind und der Wirbelkanal eines erkrankten Dobermanns nicht nur an der kaudalen Halswirbelsäule, sondern an der gesamten Halswirbelsäule stenotisch ist. Es wurde davon ausgegangen, dass erkrankte Dobermänner eine relative Stenose durch die gesamte Halswirbelsäule haben, was einen kleinen Raum für das Rückenmark bietet. Zusätzlich wurde die Breite für jeden Zwischenwirbelspalt von C2/C3 bis C7/T1 vor und nach der Halstraktion auf sagittalen T2-gewichteten Bildern gemessen. Es wurde festgestellt, dass die durchschnittliche Breite der intervertebralen Räume bei erkrankten Hunden deutlich größer als die entsprechende Breite bei klinisch gesunden Hunden sowohl ohne Halstraktion (krank: 4,66 mm; gesund: 3,31 mm) als auch mit Halstraktion (krank: 5,75 mm; gesund: 5,29 mm) ist. Dies war ein unerwarteter Befund, da eines der Merkmale der Bandscheibendegeneration eine Verengung des Zwischenwirbelspalts ist. Da Costa (2006a) berechneten die Differenz in der Breite der Bandscheiben ohne Traktion und nach Traktion der Halswirbelsäule. Die Differenz betrug dabei bei klinisch gesunden Hunden 22,7 % und bei erkrankten Hunden 23,3 %. Damit war der Unterschied zwischen beiden Gruppen statistisch nicht signifikant. Es wurde davon ausgegangen, dass die Bandscheibenmobilität in der longitudinalen Ebene ähnlich zwischen klinisch gesunden und erkrankten Dobermännern ist. Das zieht wiederum die Instabilitätstheorie in Zweifel. Schließlich wurde große Aufmerksamkeit auf die transversale Wirbelkanalfläche und Breite der Bandscheibe gelegt, weil sich die erkrankten Dobermänner nur durch diese Merkmale von klinisch gesunden Dobermännern unterscheiden lassen. Es wurde angenommen, dass je breiter die Bandscheiben sind, desto höher das Risiko für eine Herniation sein kann. Da die Bandscheiben bei erkrankten Dobermännern größer als bei klinisch gesunden Dobermännern sind, wäre das Volumen der in den Wirbelkanal vorgewölbten Bandscheibe größer. Dieser Befund zusammen mit einer relativen Kanalstenose könnte die Entwicklung der klinischen Symptome bei erkrankten Dobermännern erklären.

2.8 Therapie des Wobbler-Syndroms

Ziel der Behandlung von Hunden mit einem Wobbler-Syndrom ist die Wiederherstellung neurologischer Funktionen und das Verhindern der späteren Verletzung des Rückenmarks

(FOSSUM 2007). Um die Wirkung der Kompression auf das Rückenmark zu reduzieren, sollte die Therapie auf die aufgetretenen biomechanischen und strukturellen Veränderungen ausgerichtet werden (FOSSUM 2007). Sowohl konservative als auch chirurgische Verfahren sind zu diesem Zweck verwendet worden. Die Entscheidung über die beste Methode zur Behandlung jedes Patienten basiert auf dem neurologischen Status, den Ergebnissen der röntgenologischen Untersuchung und auf den Möglichkeiten des Besitzers, ob er die notwendige Nachsorge gewährleisten kann (SHARP u. WHEELER 2005).

2.8.1 Konservative Therapie

Eine konservative Therapie ist vorteilhaft, da sie wirksam sein kann, relativ kostengünstig, nicht invasiv ist und eine geringe Morbidität hat (SHARP u. WHEELER 2005). Der Nachteil ist, dass Rückfälle auftreten können, weil die Methode keine Lösung der grundlegenden Ursache der Rückenmarkskompression bietet. Darüber hinaus sollten die negativen Auswirkungen der medikamentösen Therapie, wie Magen-Darm-Blutungen, in Betracht gezogen werden.

Sharp und Wheeler (2005) hielten eine konservative Therapie in 2 Situationen für angebracht: Zum einen, wenn sich neurologische Defizite bei einem gesunden Hund nach einem kleinen Trauma entwickeln. Die Behandlung kann in diesem Fall ein paar Wochen Zeit in Anspruch nehmen, es sei denn, der Hund hat eine schwere Verletzung. Zum anderen, wenn ein Hund eine zervikale Spondylomyelopathie zeigt, bevor er ausgewachsen ist. So kann er aus einer Korrektur der unausgewogenen Ernährung samt einer starken Kalorienreduktion profitieren.

In einigen Studien wurde eine konservative Behandlung bestehend aus möglichst strikter Ruhigstellung des Patienten und dem Anlegen eines Brustgeschirrs versucht (DENNY et al. 1977; MASON 1977). Die Ergebnisse waren enttäuschend und 70 % der Patienten wurden aufgrund der Progression der klinischen Symptome euthanasiert. Die meisten übrigen Hunde konnten sich nicht langfristig verbessern.

Die konservative Therapie durch strikte Ruhigstellung des Patienten kann durch den Einsatz von Antiphlogistika begleitet werden (FOSSUM 2007). Da der Patient durch die medikamentöse Therapie sehr aktiv werden kann und eine starke Parese als Folge einer akuten Kontusion des Rückenmarks auftreten kann, muss die strikte Ruhigstellung während der medikamentösen Therapie aufrechterhalten werden. Sowohl kortikosteroidale als auch nicht steroidale Antiphlogistika können für das Management des Wobbler-Syndroms verwendet werden. Nicht steroidale Antirheumatika können zu schweren Magen-Darm-Blutungen und Ulzerationen führen, insbesondere wenn sie über den empfohlenen

Dosierungen und für lange Zeit oder in Kombination mit Kortikosteroiden verwendet werden (FOSSUM 2007). Der Einsatz von Kortikosteroiden für die Behandlung von klinischen Fällen wurde von einigen Autoren berichtet (HUROV 1979; READ et al. 1983). 5 von 6 Patienten verbesserten sich für mehrere Monate, 2 waren tetraparetisch vor der Behandlung. Da Costa et al. (2008) führten eine komparative Studie durch, dabei wurden die Behandlungsergebnisse und die Überlebenszeit bei Patienten, die entweder chirurgisch oder medikamentös therapiert worden waren, miteinander verglichen. 30 von 37 (81 %) der chirurgisch behandelten Hunde verbesserten sich, dagegen wurde bei lediglich 36 von 67 (54 %) der medikamentös behandelten Hunde eine Verbesserung festgestellt. Statistisch war aber das Behandlungsergebnis nicht signifikant unterschiedlich zwischen beiden Gruppen. Das Median und der Mittelwert der Überlebenszeit waren 36 bzw. 48 Monate für medikamentös behandelte Hunde und 36 bzw. 46,5 Monate für chirurgisch behandelte Hunde. Es wurde davon ausgegangen, dass eine medikamentöse Behandlung eine praktikable und wertvolle Option für das Management des Wobbler-Syndroms darstellt.

De Decker et al. (2009) untersuchten die klinische Situation bei 51 konservativ behandelten Patienten, sie registrierten lediglich bei 23 Patienten (45 %) eine erfolgreiche Behandlung. Das Median der Dauer der Verlaufsuntersuchung betrug 18,5 Monate und das Median der Überlebenszeit 47 Monate. Es wurde festgestellt, dass der Erfolg der Behandlung durch die Art der neurologischen Symptome und zusätzlich durch röntgenologische und myelografische Veränderungen beeinflusst wurde. Es wurde das Fazit gezogen, dass die konservative Therapie des Wobbler-Syndroms in einigen Fällen sinnvoll ist, wenn nicht alle 4 Gliedmaßen betroffen sind und keine zusätzliche röntgenologische und/oder myelografische Veränderung vorliegt.

2.8.2 Operative Therapie

Das Ziel des chirurgischen Eingriffs bei Hunden mit einem Wobbler-Syndrom ist es, das Rückenmark zu dekomprimieren, wenn es nötig ist, die Wirbelsäule zu stabilisieren und letztendlich die neurologischen Funktionen wiederherzustellen (FOSSUM 2007). Zahlreiche chirurgische Verfahren wurden verwendet, um Patienten von den neurologischen Symptomen der kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie zu befreien (CHAMBERS et al. 1982; BRUECKER et al. 1989; MCKEE et al. 1989; MCKEE et al. 1990; SHARP u. WHEELER 2005; FOSSUM 2007). Der Begriff "Erfolg" der Behandlung wurde so definiert, dass der Hund wieder mobil und schmerzfrei ist. Unterschiedliche postoperative Beobachtungszeiträume machen den direkten Vergleich der verschiedenen chirurgischen

Verfahren schwer (SHARP u. WHEELER 2005). Die gemeldeten kurzfristigen Erfolgsraten nach der Operation sind hoch (rund 80 %), es gibt aber eine hohe Rückfallquote. Dies ist meist aufgrund der Entwicklung der Krankheit am benachbarten Segment (Domino-Läsion) begründet und tritt bei 20–30 % der zunächst erfolgreich behandelten Hunde unabhängig von der Operationstechnik auf (RUSBRIDGE et al. 1998; JEFFERY u. MCKEE 2001).

Sharp und Wheeler (2005) ließen die verschiedenen Operationstechniken je nach ihrer Wirkung in 3 Kategorien gruppieren. Diese Kategorien sind die ventrale Dekompression, die dorsale Dekompression und die vertebrale Distraktionsstabilisation. Sie beurteilten die Darstellung des Rückenmarks bei der röntgenologischen Untersuchung, insbesondere bei Traktion und Flexion nach Myelografie für den wichtigsten Faktor zur Auswahl der Operationsmethode (siehe Kapitel 2.7.1.2.1). Die Autoren wiesen darauf hin, wenn einige Läsionen eine Kombination verschiedener Kompressionsarten zeigen, müsse eine Entscheidung getroffen werden, welche die wesentliche Komponente sei.

2.8.2.1 Ventrale Dekompression (ventral slot)

Ein „ventral slot“ stellt einen ventralen Zugang zur Wirbelsäule und die Beseitigung des Knochens samt Weichgewebe der betroffenen Bandscheibe an der Mittellinie dar (FOSSUM 2007). Die Operation schafft einen Zugang zu dem Wirbelkanal, um die Entfernung der komprimierenden Masse zu ermöglichen. Diese Technik ist am besten geeignet für die Entlastung einer „single-Level-Kompression“ des Rückenmarks, die durch dorsale Extrusion von Bandscheibenmaterial verursacht ist (VANGUNDY 1988). Sharp und Wheeler (2005) hielten diese Technik, insbesondere für eine einfache, ventrale, statische Rückenmarkskompression geeignet. Bei solchen Läsionen sollte das Verfahren die Entfernung einer großen Menge des Nucleus pulposus oder des Anulus aus dem Wirbelkanal zulassen. Wenn es Zweifel an der Angemessenheit der Dekompression nach einem „ventral slot“ gibt, sollte auf eine Distraktionsstabilisationstechnik, wie „ventral slot“ mit Metall und Knochenzement oder „synthes locking plate“, umgestellt werden (SHARP u. WHEELER 2005). Der große Nachteil bei der Verwendung des Verfahrens für Hunde mit einem Wobbler-Syndrom ist, dass das Vorhandensein von ventralen Osteophyten, einem missgebildeten Wirbelkörper, einem zerbrechlichen Anulus fibrosus oder einer Kombination dieser Veränderungen die Durchführung dieser Technik schwierig macht (SHARP u. WHEELER 2005). Darüber hinaus wurde festgestellt, dass etwa 30 % der Hunde, die einer einseitigen ventralen Dekompression unterzogen wurden, erneut neurologische Symptome innerhalb von 2–3 Jahren nach der Operation zeigten (BRUECKER et al. 1989; RUSBRIDGE

et al. 1998). In den meisten Fällen wurde dies auf ein Wiederauftreten der Originalläsion oder eine Domino-Läsion an einem angrenzenden Zwischenwirbelraum zurückgeführt. Es wurde vorgeschlagen, dass die dem „ventral slot“ angrenzenden hochgefährdeten Zwischenwirbelräume einer prophylaktischen Prozedur unterzogen werden sollten, um die Inzidenz von Domino-Läsionen zu reduzieren (SHARP u. WHEELER 2005).

2.8.2.2 Dorsale Dekompression (dorsale Laminektomie)

Die dorsale Laminektomie ist die Entfernung des Processus spinosus und der Lamina arcus vertebrae, um einen Zugang zu dem Wirbelkanal zu gewinnen und das Rückenmark zu dekomprimieren (FOSSUM 2007). Dies soll es dem Rückenmark ermöglichen, sich dorsal in den offenen Raum zu verschieben. Je nach Kompression kann die Laminektomie von einem einzelnen Wirbel bis zu einer kontinuierlichen dorsalen Laminektomie von C4 bis T1 (LYMAN 1991) oder von C3 bis C7 (DE RISIO et al. 2002) reichen. Diese Technik soll eine Alternative für Hunde mit einer einzelnen dorsalen statischen Rückenmarkskompression sowie diejenigen mit mehreren dorsalen Läsionen darstellen und bietet auch eine Option für Hunde mit ventralen Läsionen an mehreren Zwischenwirbelräumen (SHARP u. WHEELER 2005). Die langfristigen Ergebnisse scheinen sehr gut zu sein und die Operation verursacht keine Domino-Läsion (DE RISIO et al. 2002). Ihr großer Nachteil ist, dass die signifikanten kurzfristigen Morbidität mit einer Verschlechterung des neurologischen Status einhergeht (DE RISIO et al. 2002; SHARP u. WHEELER 2005). Darüber hinaus ist ein extensiver Weichteilansatz (Durchtrennung der dorsalen Halsmuskulatur) erforderlich und das ventral gelegene Bandscheibenmaterial kann nicht entfernt werden (VANGUNDY 1988).

2.8.2.3 Vertebrale Distraktionsstabilisation

Es handelt sich um eine kombinierte Technik aus Dekompression und Stabilisierung für Patienten mit dynamischen Rückenmarkskompressionen (SHARP u. WHEELER 2005). Ziel dieser Technik ist die Entlastung der durch Verwölbung von Annulus und/oder Nukleus verursachten Rückenmarkskompression durch Streckung dieses Gewebe. Dies wird durch die Schaffung und Erhaltung von kraniokaudaler Traktion auf die beiden angrenzenden Wirbelkörper bis hin zur Fusion erreicht. Die primären Indikationen für das Verfahren sind das Vorhandensein einer Traktion-responsiven Läsion und die Entlastung der Nervenwurzelkompression (SHARP u. WHEELER 2005). Darüber hinaus eignet sich diese Technik sowohl für „single Läsionen“ als auch für multiple Läsionen sowie für dorsale und ventrale Rückenmarkskompressionen (SHARP u. WHEELER 2005).

Bisher wurden zahlreiche Methoden zur dauerhaften Stabilisation beschrieben. Sie lassen sich in Verfahren unterteilen, die Fremdmaterial in den distrahierten Zwischenwirbelspalt einbringen oder die durch interne Stabilisation mit Fremd- oder Eigenmaterial die Distraction erhalten (LAUTERSACK, 2002). Sharp und Wheeler (2005) hielten nur 3 Techniken zur vertebrealen Distractionstabilisation angesichts ihres langfristigen Erfolgs und ihrer vielfältigen Einsatzmöglichkeit für empfehlenswert: „cement plug“, „synthes locking plate“ und Metallimplantate mit Knochenzement. Ein Vorteil aller Distractionstabilisationstechniken ist, dass sie oft eine rasche Linderung von Nackenschmerzen im Bezug auf die Dekompression der Nervenwurzel bewirken und im Gegensatz zum „ventral slot“ der Eintritt in den Wirbelkanal dabei nicht nötig ist. Daher reduziert dieses Verfahren das Risiko eines iatrogenen Rückenmarktraumas und verbessert die Erholung. Ihr Nachteil ist die hohe Inzidenz des Implantatsversagens oder anderer Implantat-assoziiertes Komplikationen (SHARP u. WHEELER 2005; FOSSUM 2007).

2.8.2.3.1 Metallimplantat mit Knochenzement

Das Verfahren ist eine gut getestete Technik mit guten langfristigen Ergebnissen (SHARP u. WHEELER 2005). Es handelt sich um die standardisierte Rettungstechnik für ein fehlgeschlagenes „ventral slot“ (SHARP u. WHEELER 2005). Der Hauptnachteil dieses Verfahrens ist die hohe Rate an Domino-Läsionen. Subklinische Läsionen benachbarter Zwischenwirbelräume sollten daher behandelt werden (SHARP u. WHEELER 2005).

2.8.2.3.2 „Cement-plug“-Methode

„Cement plug“ kann bei verschiedenen Arten von Läsionen verwendet werden, die sinnvollste Indikation ist aber für die Traktion-responsive Läsion (dynamische Kompressionen des Rückenmarks) (SHARP u. WHEELER 2005). Ihr Hauptvorteil ist, dass sie leicht auf mehr als 1 Zwischenwirbelraum angewandt werden kann, diese Technik kann daher auf alle benachbarten Zwischenwirbelräume übertragen werden, die zum Domino-Problem führen können (MCKEE et al. 1999). Ihr Hauptnachteil ist, dass es unklar ist, ob eine externe Schiene in der postoperativen Phase eingesetzt werden muss (SHARP u. WHEELER 2005). Schienen werden nicht von allen Hunden gut vertragen, sie müssen häufig geändert oder ersetzt werden und können Geschwüre verursachen. Eine Alternative ist die Verwendung von Fixationsschrauben oder Pins, um das Herausfallen des Zements zu verhindern. Stattdessen kann eine „locking plate“ verwendet werden (SHARP u. WHEELER 2005).

2.8.2.3.3 „Locking plate“

„Locking plate“ ist eine effektive und nahezu sichere Methode zur Behandlung von „single-Level“ Traktions-responsiven Läsionen bei Hunden großwüchsiger Rassen (BERGMAN et al. 2008; TROTTER 2009). Ein schwenkbarer Ring im Plattenloch dient dazu, dass die Schrauben in jedem Winkel in einem Bereich von $\pm 20^\circ$ eingeschraubt werden können. Die Schrauben verschließen sich schließlich in der Platte über einen einzigartigen Verriegelungsmechanismus. Zusätzlich zu „locking plate“ und um die Distraction zu erhalten, wurden verschiedene Präparate als intervertebraler Abstandhalter („spacer“) verwendet, z.B. metallisches Cage (Syncage, Synthes Spine) (SHARP u. WHEELER 2005), „cortical ring allograft“ (BERGMAN et al. 2008) und „cancellous bone block allograft“ (TROTTER 2009). Vorläufige Ergebnisse dieser Technik sind ermutigend (BERGMAN et al. 2008). Bergman et al. (2008) registrierten bei 7 von 8 behandelten Hunden eine moderate zur kompletten Verbesserung (mittlere Nachbeobachtungszeit: 2,48 Jahre). Nachteile sind die hohen Kosten und die anatomischen Unterschiede bei Hunden, da das System ursprünglich für den Menschen entwickelt worden ist (BERGMAN et al. 2008). Darüber hinaus könnte es zu Domino-Läsionen an den benachbarten Zwischenwirbelräumen kommen. Es wäre daher vernünftig, ein nicht invasives prophylaktisches Verfahren, wie Forage und Spongiosa-Grafting, an den anderen hochgefährdeten Bandscheiben unmittelbar neben der Hauptläsion durchzuführen (TROTTER 2009). Letztlich ist ihr Nutzen für die multiplen Läsionen bei Hunden noch nicht klar.

2.9 Prognose

Die Prognose für Patienten mit Wobbler-Syndrom ist abhängig von der Klassifizierung der Krankheit, der Schwere neurologischer Defizite, der Anzahl der Läsionen, der Therapiemethode und der Qualität der Nachsorge (FOSSUM 2007). Hunde mit mehr als einer Läsion haben in der Regel eine schlechtere Prognose als Hunde mit einer einzelnen Läsion. Hunde mit chronischer Tetraparese haben eine vorsichtige Prognose. Das Ergebnis wird besser, wenn die Operation in einem frühen Krankheitsstadium durchgeführt wird, weil so ein erheblicher Verlust von Nervengewebe an der Läsionsstelle vermieden werden kann (SHARP u. WHEELER 2005). Unterschiedliche postoperative Beobachtungszeiträume erschweren jedoch in vielen Fällen den direkten Vergleich der verschiedenen Therapien. Darüber hinaus stellten Jeffrey und McKee (2001) fest, dass es keine statistisch erkennbaren signifikanten Unterschiede in Erfolgsraten zwischen den verschiedenen Techniken gibt. Sharp und Wheeler

(2005) betrachteten die von Seim und Withrow (1982) dargelegte Einschätzung immer noch als nützlich, um das postoperative Ergebnis vorherzusagen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Einteilung der zervikalen Spondylomyelopathie mit ihrer Prognose nach Seim und Withrow (1982) modifiziert von Lautersack (2002).

Klassifikation	Alter/Rasse	Lokalisation	Ursache der Kompression	Prognose
chronisch degenerative Bandscheibenerkrankung	adulter, häufig männlicher Dobermann	Kompression von ventral zwischen C5 und C7	Bandscheibendegeneration und Hypertrophie des ventralen Anulus fibrosus	günstig
vertebrales „Tipping“	adulter, häufig männlicher Dobermann	Kompression von ventral zwischen C5 und C7	Fehlstellung des Wirbelkörpers durch dorsale Rotation	günstig
kongenitale Malformation des Wirbelkörpers	junge Deutsche Dogge und junger Dobermann	Kompression von ventral zwischen C3 und C7	angeborene Malformation eines Wirbelkörpers	vorsichtig bis ungünstig
Malformation des Wirbelbogens oder der Gelenkfortsätze und Hypertrophie des Ligamentum flavum	junge Deutsche Dogge	Kompression von dorsal oder lateral zwischen C4 und C7	Hypertrophie und/oder Hyperplasie des Ligamentum flavum; Missbildung des Arcus vertebralis oder der Gelenkfortsätze	günstig bis vorsichtig
Uhrglaskompression	junge Deutsche Dogge	Kompression von allen Seiten zwischen C2 und C7	Hypertrophie des Ligamentum flavum und Anulus fibrosus; Malformation des Wirbelkörpers, der Arcus vertebrales oder der Gelenkfortsätze; degenerative Bandscheibenerkrankung	vorsichtig bis ungünstig

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Gerätebeschreibung

Alle Röntgenbilder wurden mit dem Röntgengerät AXIOM Luminos dRF der Firma Siemens mit Obertischröhre und Fluorskopiefunktion angefertigt. Dieses Gerät bietet eine komplett digitale Darstellung mit einem 43 cm x 43 cm integrierten Flachdetektor. Der Film-Fokus-Abstand betrug bei allen Aufnahmen 1,15 m. Die Strahlendosis wurde der Körpermasse des untersuchten Tieres angepasst.

3.2 Untersuchte Tiere und Röntgenbildmaterial

Bei unserer Studie wurden digitale Nativröntgenaufnahmen der Halswirbelsäule von 175 Hunden ausgewertet, die zwischen 2005 und 2010 aufgrund unterschiedlicher Erkrankungen in der chirurgischen und gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität therapiert wurden. Es wurden nur digitale Röntgenaufnahmen von erwachsenen Hunden mit geschlossenen Epiphysenfugen der Wirbelkörper verwendet. Da die seitliche Aufnahme der Halswirbelsäule eine größere Aussagekraft hinsichtlich der Veränderungen eines Wobbler-Syndroms als eine ventrodorsale Aufnahme hat (TROTTER et al. 1976; CHAMBERS u. BETTS 1977; READ et al. 1983; LEWIS 1989), wurden nur laterolaterale Röntgenbilder der Halswirbelsäule eingesetzt. Zusätzlich wurden für die selbst angefertigten Röntgenaufnahmen 60 Röntgenbilder der Halswirbelsäule von Hunden der Rasse Dobermann sowie 39 Röntgenbilder der Halswirbelsäule von Hunden anderer Rassen aus dem Archiv der chirurgischen und gynäkologischen Kleintierklinik der LMU entnommen. Ein Kriterium für die Bilderauswahl war, dass die Röntgenbilder eine ausreichende Belichtung und einen guten Kontrast hatten, die eine klare Beurteilung der knöchernen Strukturen ermöglichen. Um die vorgesehene morphometrische Untersuchung durchführen zu können, wurden nur die gut gelagerten bzw. zur Messung geeigneten Röntgenbilder ausgewählt. Ein gut gelagertes Röntgenbild der Halswirbelsäule ist daran zu erkennen, dass sich die Alae atlas und die Laminae ventrales des 6. Halswirbels überdecken und die Intervertebralspalten überlagerungsfrei sind (LAUTERSACK 2002).

3.3 Röntgenuntersuchung

Die Röntgenuntersuchung erfolgte nach dem von Sharp et al. (1992) und Lautersack (2002) beschriebenen Protokoll. Da das verwendete Röntgengerät über eine Fluoroskopiefunktion verfügt, die eine perfekte Lagerung vor der Anfertigung eines Röntgenbilds beurteilen lässt,

wurde auf die Narkose verzichtet und die Tiere im Wachzustand geröntgt. Die röntgenologische Darstellung der Halswirbelsäule erfolgte durch eine zentrierte laterolaterale Projektion. Der Zentralstrahl wurde dabei auf den 4. Halswirbel gerichtet. Bei großwüchsigen Hunden wurde der distale Halsanteil mit einem strahlendurchlässigen Zellstoff unterlagert, um das Absenken im unteren und mittleren Bereich zu vermeiden. Durch leichten Zug am Kopf wurde die Halswirbelsäule parallel zum integrierten Röntgendetektor ausgerichtet. Bei kleinen Patienten genügte ein geringer Zug zur orthograden Ausrichtung ohne den kaudalen Halsabschnitt zu unterstützen. Um Überlagerungen der kaudalen Halswirbelsäule mit den Vordergliedmaßen zu vermeiden, wurden diese mit mäßiger Kraft nach kaudal gezogen, bis die Skapula möglichst weit aus dem eingeblendeten Bereich der hinteren Halswirbelsäule herausgelagert war. Bei paralleler Lagerung überdeckten sich jeweils die Prozessus transversi des Atlas und die des 6. Halswirbels.

3.4 Gruppenunterteilung

Für die vorliegende Arbeit wurden alle Röntgenaufnahmen von Dobermännern und nur die unauffälligen Röntgenaufnahmen von anderen Rassen herangezogen, die die oben beschriebenen Auswahlkriterien erfüllten. Geschlecht, Alter und der klinische Zustand blieben ohne Bedeutung. 85 Patienten waren weiblich, 89 männlich. Bei einem Hund war das Geschlecht in den Patientenunterlagen nicht vermerkt (Abbildung 5).

Die Dobermänner wurden anhand der auf der Nativröntgenaufnahme erkennbaren Veränderungen in 2 Gruppen unterteilt. Besonderes wurde auf Wirbeldeformationen, Spondylostenbildung, massive Verengungen des Zwischenwirbelspalts und Fehlstellung eines Wirbels (Stufenbildungen zwischen 2 benachbarten Wirbeln) geachtet. Die 1. Gruppe umfasste alle unauffälligen Dobermänner und diente als Kontrollgruppe. Die 2. Gruppe umfasste die röntgenologisch auffälligen Dobermänner (Tabelle 2). Hunde anderer Rassen wurden nach ihren Körpermassen auch in 2 Gruppen unterteilt. Die 3. Gruppe enthielt weitere großwüchsige Hunderassen und die 4. Gruppe kleinwüchsige Rassen (Tabelle 2).

Tabelle 2: Gruppenunterteilung und das arithmetische Mittel des Alters für jede Gruppe \pm Standardabweichung.

Gruppe	Rasse	Anzahl der Hunde von jeder Rasse	Alter in Jahren \pm SD	Anzahl der Hunde in der Gruppe
1	unauffällige Dobermänner	70	5,83 \pm 3,18	70
2	auffällige Dobermänner	29	5,72 \pm 3,10	29
3	Deutscher Schäferhund	8	7,44 \pm 3,23	39
	Golden Retriever, Husky	je 4		
	Labrador Retriever, Leonberger	je 3		
	Briard, Podenco	je 2		
	Irish Setter, Foxhound, Rottweiler, Whippet, Hovawart, Kuvasz, Ridgeback-Mix, Dalmatiner, Malamute-Mix, Vizsla, Neufundländer, Deutsch Drahthaar, Pointer	je 1		
4	Yorkshire Terrier	13	5,16 \pm 3,66	37
	Chihuahua	11		
	Rehpinscher, Prager Rattler	je 4		
	Malteser	2		
	Pinscher-Mix, Zwergpudel, Cavalier King Charles Spaniel	je 1		
Summe			6,02 \pm 3,35	175

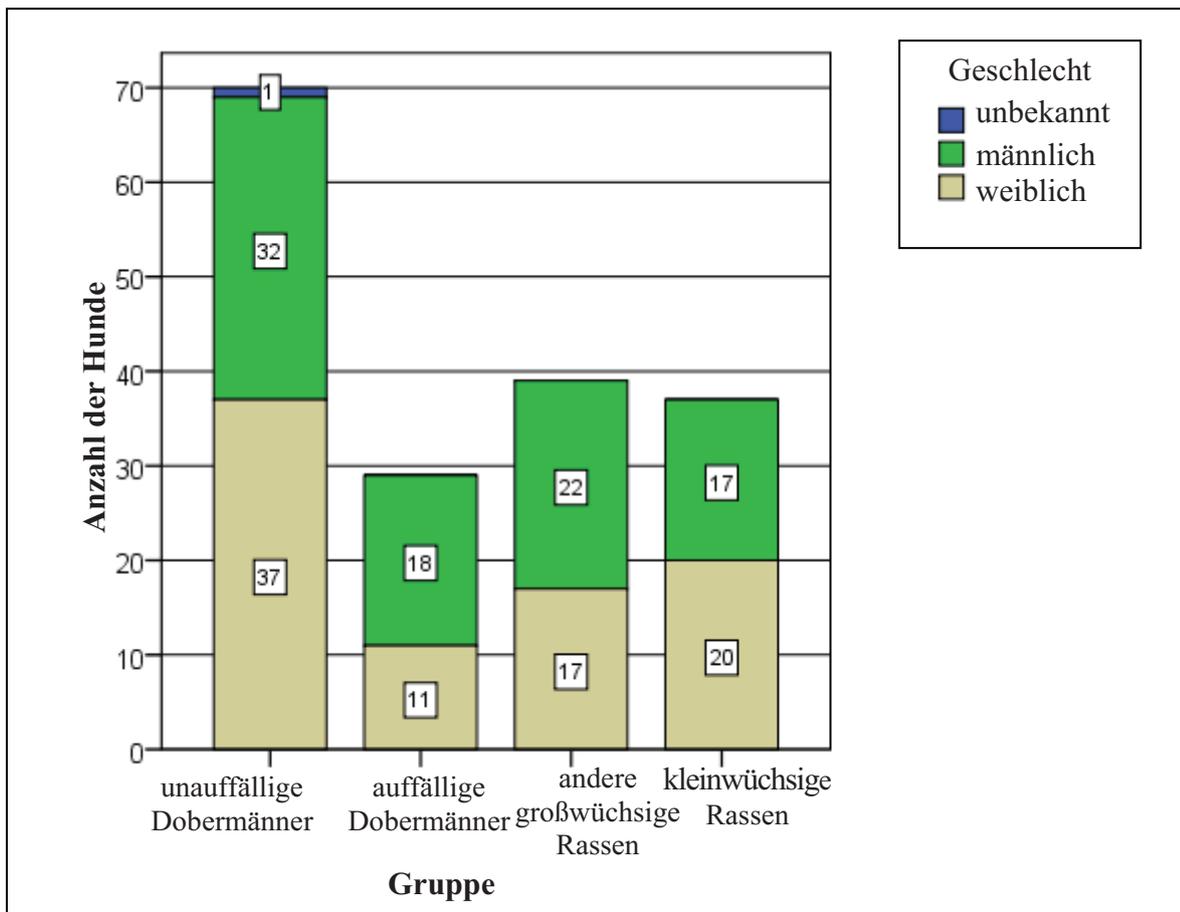


Abbildung 5: Geschlechterverteilung der untersuchten Gruppen.

3.5 Durchgeführte Messungen

Es wurden verschiedene Messungen an den Halswirbeln angefertigt. Alle Messungen wurden mittels Computer mithilfe eines speziellen Programms (Dicomworks) durchgeführt, weil dieses Programm die Vermessung der sagittalen Wirbelkörperfläche erlaubt, die beim konventionellen Messverfahren unmöglich ist. Dabei wurden verschiedene anatomische Parameter an der Halswirbelsäule vom 3. bis 7. Halswirbel oder zum 1. Brustwirbel gesetzt. Zeigte ein Wirbel eine Veränderung an der ventralen Seite (z.B. Spondylose), die die Wirbelaußenkontur verdeckte oder eine Messpunktfeststellung verhinderte, wurde der betroffene Parameter von der statistischen Auswertung ausgeschlossen.

Dabei wurden die folgenden anatomischen Parameter gemessen:

- 1) sagittale Wirbelkörperfläche
- 2) kraniale dorsoventrale Wirbelkörperhöhe
- 3) kraniokaudale Wirbelkörperlänge
- 4) kranialer sagittaler Wirbelkanaldurchmesser
- 5) kaudaler sagittaler Wirbelkanaldurchmesser

- 6) kranialer Winkel des Wirbelkörpers
- 7) kaudaler Winkel des Wirbelkörpers

Diese erworbenen anatomischen Parameter dienen zur Bildung verschiedener Quotienten, um die morphometrischen und morphologischen Eigenschaften der Halswirbelsäule bei den untersuchten Gruppen zu bestimmen.

3.5.1 Sagittale Wirbelkörperfläche

Die digitale Messung erfolgte entlang der Außerkontur der sagittalen Wirbelkörperfläche. Bei Aufnahmen, auf denen kranial und kaudal jeweils nur 1 Linie der Wirbelkörperendplatten sichtbar war, wurden diese beiden Linien als die kraniale bzw. kaudale Wirbelkörperbegrenzung behandelt. War kranial 1, kaudal jedoch 2 Linien erkennbar, so erfolgte eine Messung von der kranialen Linie zu beiden kaudalen Linien. Der Mittelwert der Messungen ergibt die sagittale Fläche des Wirbelkörpers (Abbildung 6).

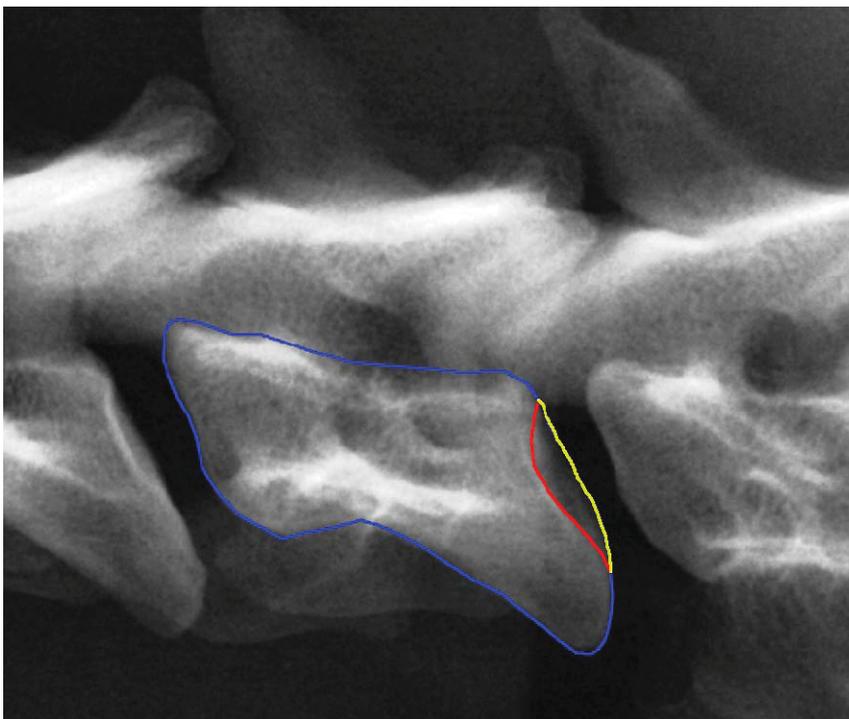


Abbildung 6: Die sagittale Wirbelkörperfläche des 5. Halswirbels eines Dobermanns. Die blaue Markierung zeigt die Außerkontur der sagittalen Wirbelkörperfläche. Die gelbe Linie zeigt die kaudale Begrenzung des Wirbelkörpers bei der 1. Messung. Die rote Linie zeigt die kaudale Begrenzung bei der 2. Messung.

3.5.2 Kraniale dorsoventrale Wirbelkörperhöhe

Es wurden die von Lautersack (2002) beschriebenen Messpunkte gewählt, weil sie anatomisch klar definiert und leicht zu finden sind. Als Messpunkte wurden der kraniodorsale

Endpunkt des Wirbelkörpers und der ventrale Übergang von der Endplatte zur Crista ventralis des Wirbelkörpers angegeben (Abbildung 7).

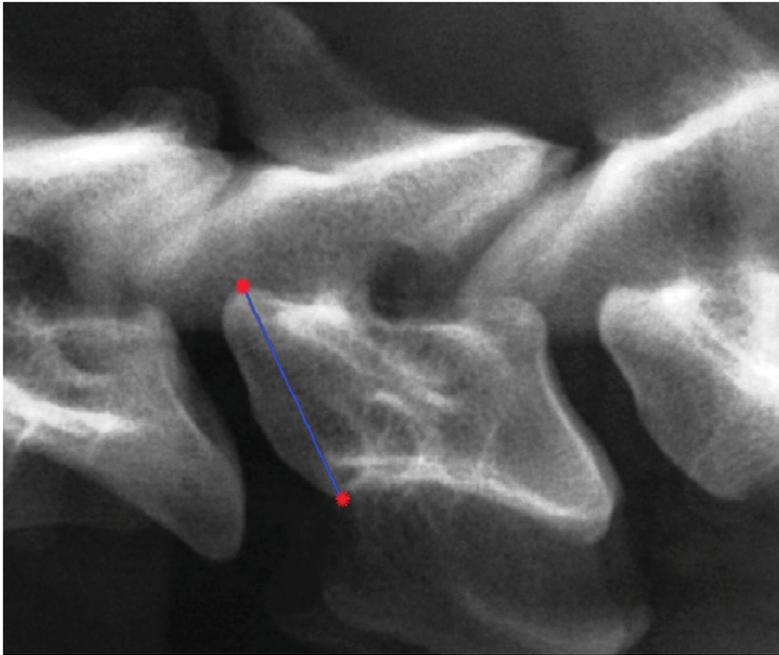


Abbildung 7: Die kraniale dorsoventrale Wirbelkörperhöhe des 6. Halswirbels eines Dobermanns.

3.5.3 Kraniokaudale Wirbelkörperlänge

Die kraniokaudale Wirbelkörperlänge beschreibt eine Strecke, die vom kraniodorsalen zum kaudodorsalen Endpunkt des Wirbelkörpers gelegt wurde (LAUTERSACK 2002; DE DECKER et al. 2011) (Abbildung 8).



Abbildung 8: Die kraniokaudale Wirbelkörperlänge des 4. Halswirbels eines Dobermanns.

3.5.4 Kranialer sagittaler Wirbelkanaldurchmesser

Viele Autoren beschrieben mit unterschiedlichen Messpunkten die Messung des sagittalen Wirbelkanaldurchmessers sowohl kranial als auch kaudal (WRIGHT 1977; LEWIS 1991; DROST et al. 2002; LAUTERSACK 2002; DE DECKER et al. 2011). In dieser Arbeit wurden die von Lewis (1991) beschriebenen Messpunkte verwendet, weil er durch die Anwendung von sagittalen Wirbelkanaldurchmessern nicht nur eine klare signifikante Differenz zwischen erkrankten und symptomfreien Dobermännern feststellen konnte, sondern auch eine präzisere Aussage über die Wahrscheinlichkeit der Entstehung des Wobbler-Syndroms bei erwachsenen Dobermännern treffen konnte (siehe Auswertung der Nativröntgenaufnahmen). Als Messpunkte wurden die kraniodorsale Kante des Wirbelkörpers und der ventrokraniale Punkt der Lamina vertebralis herangezogen (Abbildung 9).

3.5.5 Kaudaler sagittaler Wirbelkanaldurchmesser

Als Messpunkte wurde die kaudodorsale Kante des Wirbelkörpers und der ventrokaudale Punkt der Lamina vertebralis herangezogen (LEWIS 1991), (Abbildung 9).

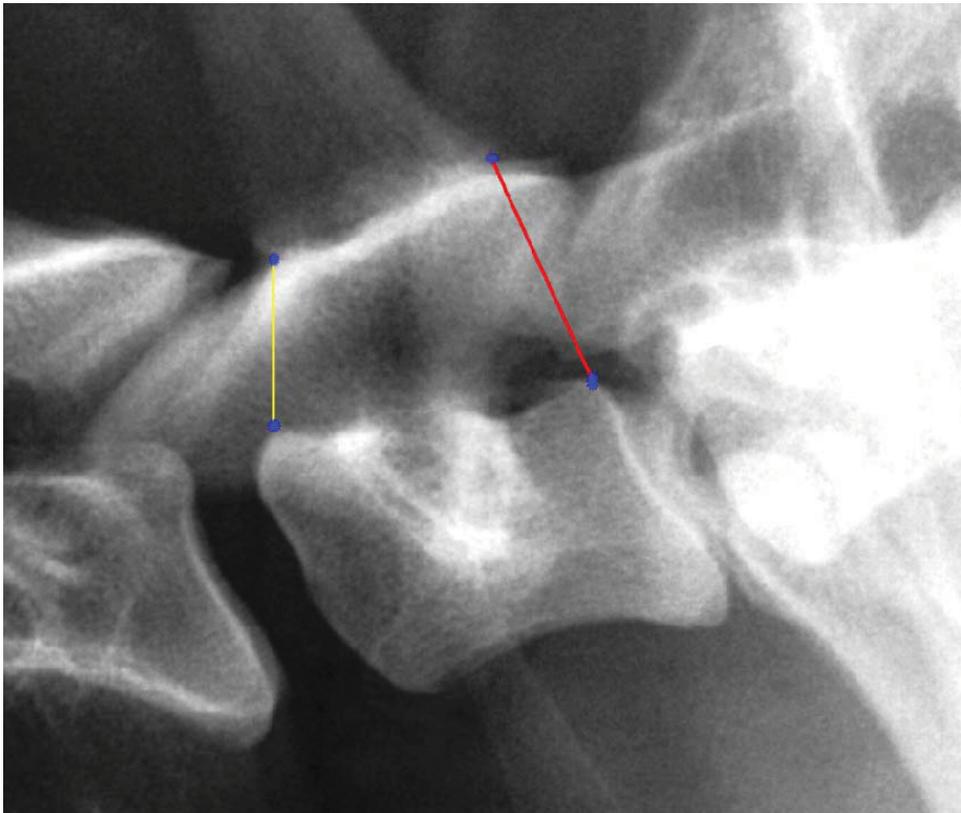


Abbildung 9: Kranialer (gelb) und kaudaler (rot) sagittaler Wirbelkanaldurchmesser des 7. Halswirbels eines Dobermanns.

3.5.6 Kranialer Winkel des Wirbelkörpers

Es wurde eine Tangente zur kranialen Endplatte gezogen sowie eine Linie vom kraniodorsalen zum kaudodorsalen Eckpunkt des Wirbelkörpers, die beidseitig verlängert wurde. Der spitze Winkel (a) zwischen der oben beschriebenen Linie und der Tangente wurde gemessen (Abbildung 10).

3.5.7 Kaudaler Winkel des Wirbelkörpers

Es wurde eine Tangente zur kaudalen Endplatte gezogen sowie eine Linie vom kraniodorsalen zum kaudodorsalen Eckpunkt des Wirbelkörpers, die beidseitig verlängert wurde. Der spitze Winkel (b) zwischen der oben beschriebenen Linie und der Tangente wurde gemessen (Abbildung 10).

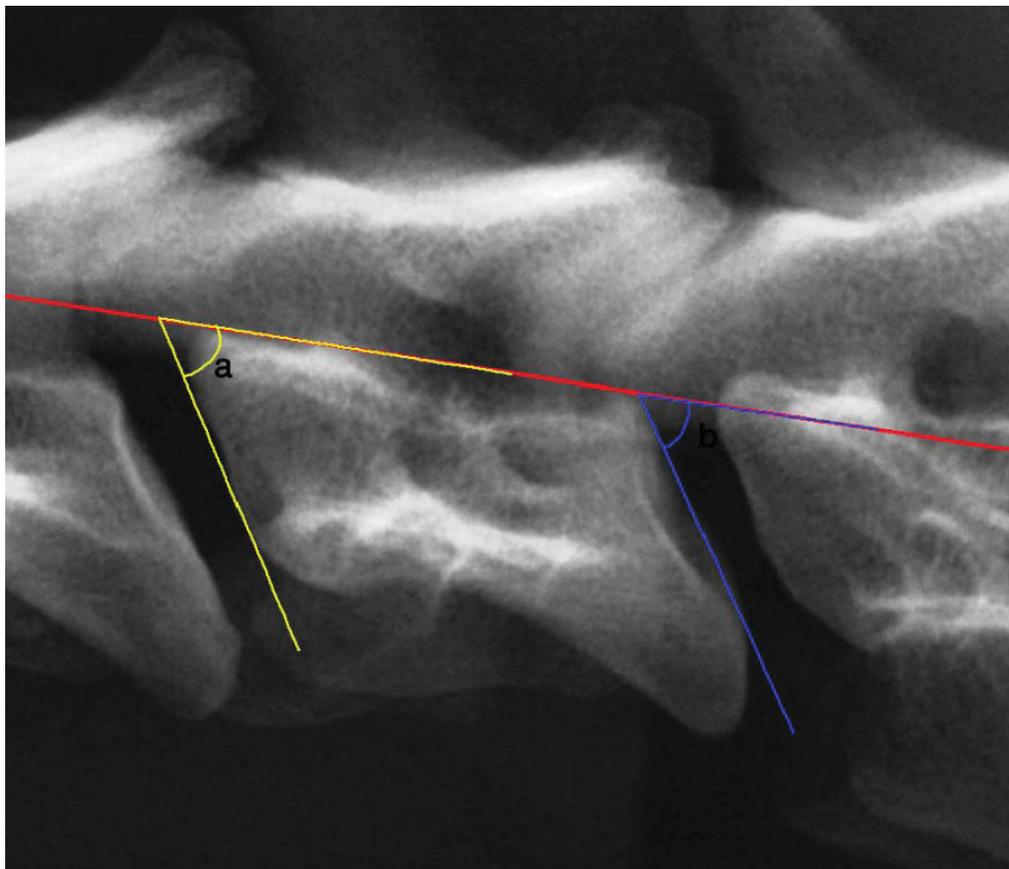


Abbildung 10: Der kraniale (gelb) und kaudale (blau) Winkel des Wirbelkörpers des 5. Halswirbels eines Dobermanns. Die rote Markierung zeigt die verlängerte Linie zwischen dem kraniodorsalen und kaudodorsalen Eckpunkt des Wirbelkörpers.

3.6 Auswertung

Da sich die anatomischen Strukturen im Röntgenbild immer leicht vergrößert darstellen und um die durch die individuelle Tiergröße bedingte Größenabweichung zu vermeiden, wurden verschiedene Quotienten aus den erworbenen anatomischen Parametern gebildet. Darüber hinaus ermöglichen solche Quotienten einen direkten Vergleich zwischen den untersuchten Gruppen, um mögliche anatomische Unterschiede in der Morphologie und Morphometrie der Halswirbelsäule feststellen zu können. Es wurden für jeden Wirbel Quotienten aus den eigenen anatomischen Parametern errechnet. Dies soll Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Wirbel- bzw. Halswirbelsäulenform (Wirbelkanal, Wirbelkörper, Intervertebralspalt) liefern. Um die Variabilität jedes einzelnen anatomischen Parameters zu untersuchen, wurden für jede Halswirbelsäule zusätzliche Quotienten aus den verschiedenen ermittelten Parametern und der Wirbelkörperlänge von C4 errechnet. Der 4. Halswirbel wurde gewählt, da er zum einen in der Mitte der Halswirbelsäule liegt und zum anderen, weil bei einer standardisierten Röntgenaufnahme der Halswirbelsäule der Zentralstrahl auf ihn gerichtet wird (siehe Nativröntgenuntersuchung). Darüber hinaus konnte in einer osteometrischen Studie von Breit und Künzel (2004) kein Unterschied in der Wirbelkörperlänge von C4 im Verhältnis zur Tierkörpergröße zwischen großwüchsigen und kleinwüchsigen Hunderassen festgestellt werden.

3.6.1 Der Wirbelkanal

Eine kraniale Wirbelkanalstenose, die zu einem trichterförmigen Wirbelkanal führt, wurde als prädisponierender Faktor für die Entwicklung einer kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie beim Dobermann angesehen (LEWIS 1991; BREIT u. KÜNZEL 2001; DA COSTA et al. 2006a; DE DECKER et al. 2011). Um die Form des Halswirbelkanals beim Dobermann genau zu untersuchen und mit anderen Hunderassen vergleichen zu können, wurde für jeden Halswirbel von C3 bis C7 das Verhältnis zwischen kranialer und kaudaler Wirbelkanalhöhe sowie das Verhältnis zwischen kaudaler und kranialer Wirbelkanalhöhe des nachfolgenden Wirbels ermittelt.

3.6.1.1 Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde die gemessene kraniale durch die kaudale Wirbelkanalhöhe für den gleichen Wirbel dividiert.

3.6.1.2 Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des nachfolgenden Wirbels

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde die gemessene kaudale Wirbelkanalhöhe durch die kraniale des nachfolgenden Wirbels dividiert.

Da beide Messgrößen (kraniale bzw. kaudale Wirbelkanalhöhe) pathologisch verändert sein können und um die Annahme von Da Costa et al. (2006a) und De Decker et al. (2011), dass die betroffenen Dobermänner eine generalisierte relative Wirbelkanalstenose im gesamten Halswirbelkanal zeigen, überprüfen zu können, wurden für jeden Wirbel von C3 bis C7 weitere Verhältnisse zwischen kranialer sowie kaudaler Wirbelkanalhöhe einerseits und der Wirbelkörperlänge von C4 andererseits errechnet.

3.6.1.3 Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde die gemessene kraniale Wirbelkanalhöhe durch die Wirbelkörperlänge von C4 dividiert.

3.6.1.4 Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde die gemessene kaudale Wirbelkanalhöhe durch die Wirbelkörperlänge von C4 dividiert.

3.6.2 Der Wirbelkörper

Unabhängig von ihrer Ursache wurde die Wirbelkörperdeformation vor allem bei jungen Hunden als Risikofaktor für die spätere Entwicklung des Wobbler-Syndroms beurteilt (LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1995; BURBIDGE et al. 1999). Um die Wirbelkörpermissbildung möglichst zu quantifizieren und festzustellen, ob Unterschiede in der Morphologie des Wirbelkörpers zwischen Dobermännern und anderen Hunderassen bestehen, wurden anhand der erworbenen Messungen die folgenden Verhältnisse errechnet:

3.6.2.1 Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde für jeden Wirbel von C3 bis C7 die gemessene sagittale Wirbelkörperfläche durch das Quadrat der Wirbelkörperlänge desselben Wirbels dividiert.

3.6.2.2 Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde für jeden Wirbel von C3 bis C7 die gemessene sagittale Wirbelkörperfläche durch das Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 dividiert. Durch die Verwendung des Quadrats der Wirbelkörperlänge bei Bildung der Verhältnisse im Bezug auf die Wirbelkörperfläche wurde versucht, die auf dem Röntgenbild entstehende Größenabweichung zu neutralisieren.

3.6.2.3 Verhältnis der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde für jeden Wirbel von C3 bis C7 die gemessene Wirbelkörperlänge durch die Wirbelkörperlänge von C4 dividiert.

3.6.3 Endplatten

Die Hauptstabilität der Wirbelsäule wird durch Bandscheiben und die angrenzenden Wirbelkörperendplatten gewährleistet. Veränderungen der Endplattenform können dazu führen, dass sie ihre Abstützfunktion nicht ausreichend erfüllen und die Bandscheiben sekundär geschädigt werden (LAUTERSACK 2002). Eine übermäßig lange, nach kaudoventral abgeflachte kraniale Endplatte ist häufig ein Merkmal für die bei betroffenen Hunden beschriebene Wirbelkörpermissbildung (WRIGHT et al. 1973; LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Es ist daher sehr wichtig, eine Veränderung an der Länge und der Orientierung der Endplatten zu bestimmen. Zur Beurteilung der Endplatten wurden die folgenden Verhältnisse und Parameter ermittelt:

3.6.3.1 Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde für jeden Wirbel von C3 bis C7 die gemessene kraniale Endplattenhöhe durch die Wirbelkörperlänge desselben Wirbels dividiert.

3.6.3.2 Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4

Um dieses Verhältnis zu errechnen, wurde für jeden Wirbel von C3 bis C7 die gemessene kraniale Endplattenhöhe durch die Wirbelkörperlänge von C4 dividiert.

3.6.3.3 Kranialer Winkel des Wirbelkörpers

Um Orientierung der kranialen Endplatten zu bestimmen, wurde der kraniale Winkel für jeden Wirbelkörper von C3 bis C7 bewertet.

3.6.3.4 Kaudaler Winkel des Wirbelkörpers

Um Orientierung der kaudalen Endplatten zu bestimmen, wurde der kaudale Winkel für jeden Wirbelkörper von C3 bis C7 bewertet.

3.7 Statistische Auswertung

Anhand des statistischen Analyseprogramms SPSS 17.0 für Windows wurde eine einfaktorielle Varianzanalyse (einfaktorielle ANOVA) zum Vergleich aller Gruppen untereinander im Bezug auf die von den morphologischen Werten erworbenen einzelnen Variablen durchgeführt. Als Voraussetzung für die Durchführung einer Varianzanalyse sollte die Varianz der betrachteten Variablen in den verschiedenen Fallgruppen gleich groß sein. Um diese Voraussetzung zu überprüfen, wurde zuerst der Levene-Test für jede einzelne Variable durchgeführt. Zeigte eine Variable keine Varianzgleichheit, wurde die vom Test vorgeschlagene Transformation vorgenommen. Darüber hinaus wurde durch den Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“) ein paarweiser Vergleich mit der 1. Gruppe (unauffällige Dobermänner) als Kontrollgruppe durchgeführt. Es wurden für jede Gruppe der Mittelwert, die Standardabweichung, die Minimal- und Maximalwerte sowie die statistische Signifikanz (p-Wert) errechnet. Um die durchgeführte Vergleichbarkeit statistisch abzusichern und in der Praxis brauchbar zu machen, wurde der α -Fehler = 1 % (p-Wert < 0,01) gewählt.

Schließlich wurde eine ROC-Kurve für bestimmte Variablen von der 1. Gruppe (unauffällige Dobermänner) sowie der 2. Gruppe (auffällige Dobermänner) angefertigt. Eine ROC-Kurve ermöglicht es, Trennwerte zwischen einem normalen und anormalen Wert festzustellen. Ein Trennwert wurde von Weiß (1999) als ein Schwellenwert definiert, der den pathologischen vom physiologischen Bereich trennt. Der Messwert einer Person, die sich dem Test unterzieht, wird mit diesem Schwellenwert verglichen. Ist er größer oder kleiner als der Schwellenwert, spricht man von einem positiven oder einem negativen Testergebnis. Dieser Schwellenwert beeinflusst die Sensitivität, die Spezifität und damit auch die Vorhersagewerte. Jeder Wert auf der ROC-Kurve stellt einen Kompromiss zwischen Sensitivität (die Wahrscheinlichkeit, dass der Test bei einer kranken Person richtig (d. h. positiv) reagiert) und 1-Spezifität dar (die Wahrscheinlichkeit, dass eine nicht erkrankte Person ein positives Testergebnis (d. h. eine falsche positive Diagnose) erhält) (WEIß 1999). Die Fläche unter einer ROC-Kurve kennzeichnet die Fähigkeit des Testes. Ein nutzloser Test (keine Differenzierung) hat eine Fläche von 0,5 und ein optimal nützlicher Test hat eine Fläche von 1,0 (DE DECKER et al. 2011).

4. ERGEBNISSE

4.1 Der Wirbelkanal

Eine generalisierte relative Wirbelkanalstenose sowie ein trichterförmiger Wirbelkanal wurden im Zusammenhang mit dem Wobbler-Syndrom bei Dobermännern beschrieben (LEWIS 1991; BREIT u. KÜNZEL 2001; DA COSTA et al. 2006a; DE DECKER et al. 2011). Durch den Vergleich der Parameter des Wirbelkanals von unauffälligen Dobermännern mit auffälligen Hunden derselben Rasse sowie mit den Vergleichsgruppen wurde untersucht, ob sich die eigenen Ergebnisse durch diese Abgrenzung bestätigen lassen.

4.1.1 Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe

Die mittlere gemessene kaudale Wirbelkanalhöhe von C3 bis C7 ist größer als die kraniale bei den Gruppen 1, 2 und 3. Die kraniale Wirbelkanalhöhe des 3. und 7. Halswirbels ist dagegen bei der Gruppe 4 etwas größer als die kaudale Wirbelkanalhöhe (Tabelle 3).

Tabelle 3: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,9 \pm 0,07	0,791 \pm 0,069	0,761 \pm 0,069	0,716 \pm 0,068	0,687 \pm 0,056
Gruppe 2	0,887 \pm 0,077	0,787 \pm 0,086	0,758 \pm 0,07	0,722 \pm 0,073	0,601 \pm 0,055*
Gruppe 3	0,804 \pm 0,075*	0,746 \pm 0,052*	0,723 \pm 0,057*	0,733 \pm 0,063	0,787 \pm 0,061*
Gruppe 4	1,007 \pm 0,049*	0,921 \pm 0,052*	0,861 \pm 0,045*	0,927 \pm 0,047*	1,021 \pm 0,061*

Das Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe nimmt bei Dobermännern (Gruppe 1 und 2) nach kaudal von C3 zu C7 ab. Ähnlich wie bei Dobermännern nimmt das Verhältnis bei Gruppe 3 und 4 von C3 bis C5 ab, um ab C6 zu C7 wieder zuzunehmen (Tabelle 3, Abbildung 11). Wenn das Verhältnis annähernd 1 beträgt, deutet das darauf hin, dass der Wirbelkanal mehr oder weniger zylinderförmig ist, das ist der Fall bei Gruppe 4 (kleinwüchsige Rassen). Dagegen bedeutet ein Verhältnis deutlich kleiner als 1, dass die

Höhendifferenz zwischen dem Wirbelkanaleingang und dem Ausgang relativ groß ist, deshalb nimmt der Wirbelkanal eine Trichterform an, das ist deutlich bei großwüchsigen Hunderassen zu sehen (Gruppe 1, 2 und 3) (Abbildung 12).

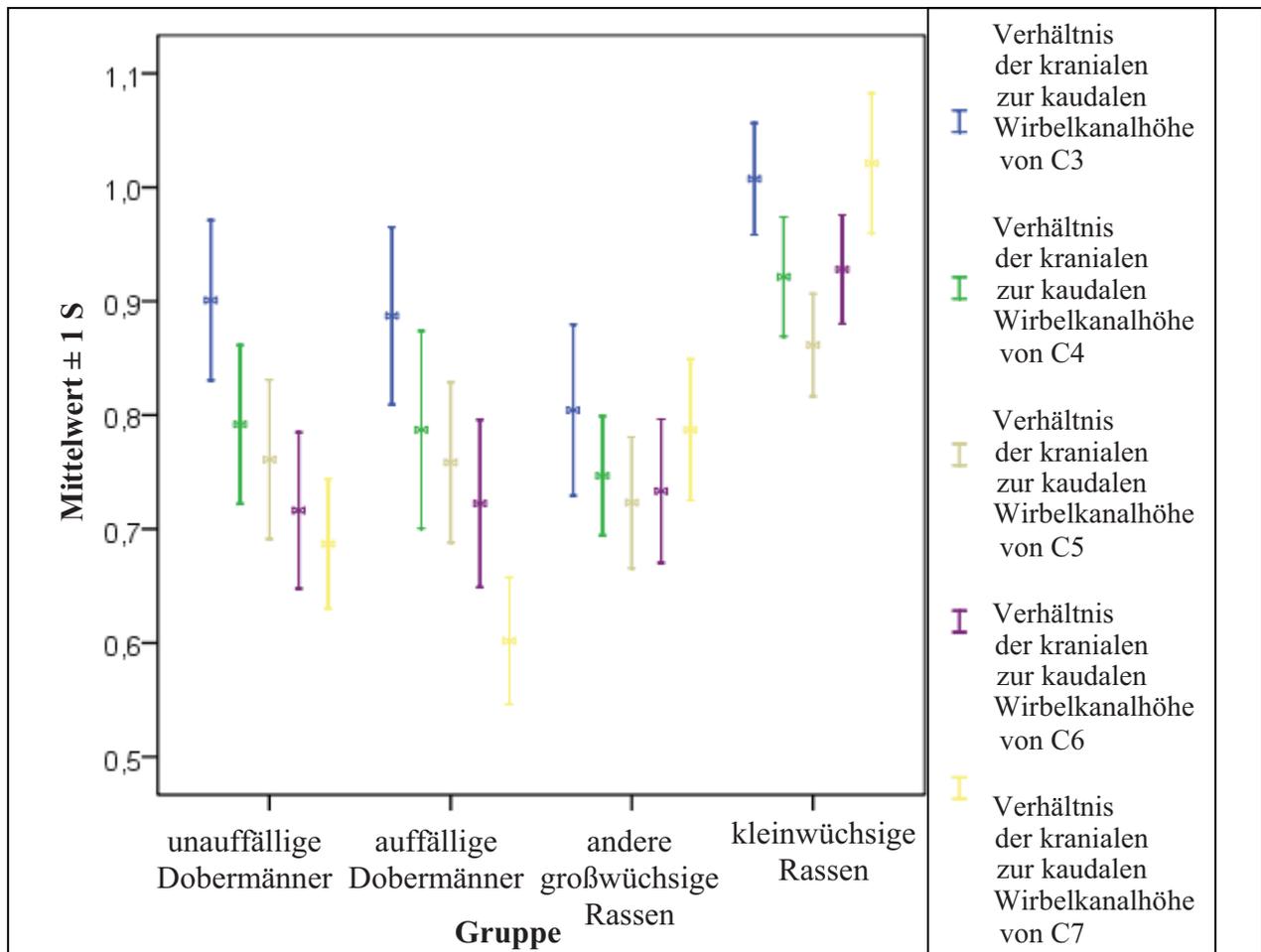


Abbildung 11: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe \pm Standardabweichung.

Der Vergleich dieses errechneten Verhältnisses zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied an allen Wirbeln von C3 bis C7 zwischen der Kontrollgruppe (unauffällige Dobermänner) und der Gruppe 4 (kleinwüchsige Rassen). Das Verhältnis ist bei Gruppe 4 an allen Stellen größer als bei der Kontrollgruppen und ist nahezu 1 (Tabelle 3, 4). Unerwartet zeigt sich dieses Verhältnis bei der Gruppe 3 (andere großwüchsige Rasse) an C3, C4, C5 kleiner als bei der Kontrollgruppe und ist statistisch signifikant. Ab C6 wird es erst größer und ist dann lediglich ab C7 statistisch signifikant (Tabelle 3, 4).

Auffällig ist das Verhältnis von Wirbelkanaleingang zum Ausgang von C7 bei Dobermännern. Dieser Wirbel zeigt das niedrigste Verhältnis im Vergleich zu anderen Hunderassen und damit die größte Differenz zwischen kranialer und kaudaler

Wirbelkanalhöhe (Abbildung 13). Darüber hinaus zeigt der Vergleich dieses Verhältnisses von C7 einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen unauffälligen Dobermännern und auffälligen Dobermännern (p -Wert $< 0,001$) (Tabelle 3, 4). Die Minimalwerte des Verhältnisses von kranialer zu kaudaler Wirbelkanalhöhe für C7 ist bei betroffenen Dobermännern besonders auffällig (Verhältnis: 0,49), sodass der kraniale Wirbelkanaleingang nur die Hälfte der Höhe des Ausgangs beträgt (Abbildung 13).

Tabelle 4: Signifikanz (p -Werte) des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,771	0,979	0,996	0,954	$< 0,001$
Gruppe 3	$< 0,001$	0,002	0,010	0,569	$< 0,001$
Gruppe 4	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$	$< 0,001$

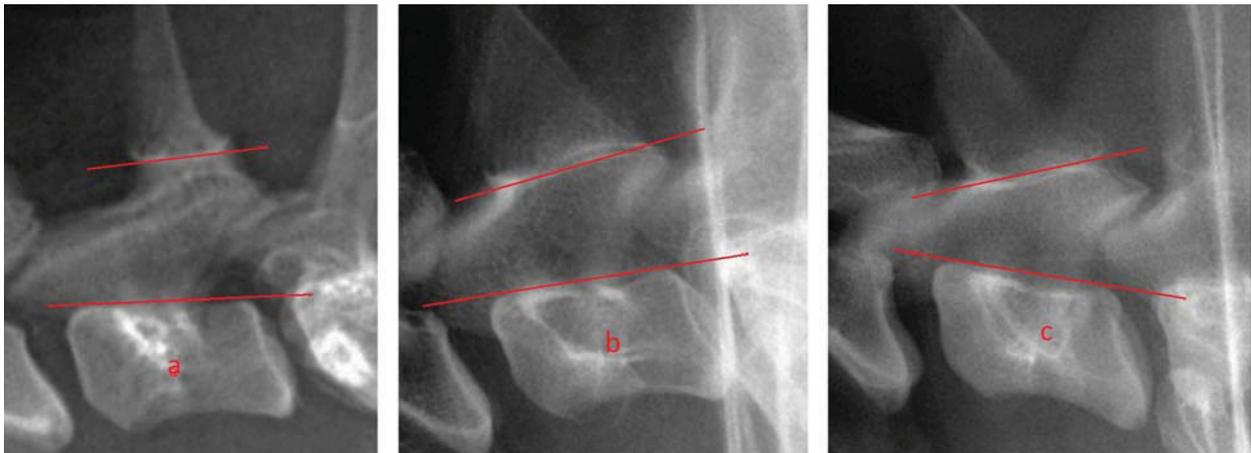


Abbildung 12: Wirbelkanalform von C7 bei verschiedenen Hunderassen:

8 Jahre alter Yorkshire-Terrier (a), 11 Jahre alter Rottweiler (b), 9 Jahre alter Dobermann (c).

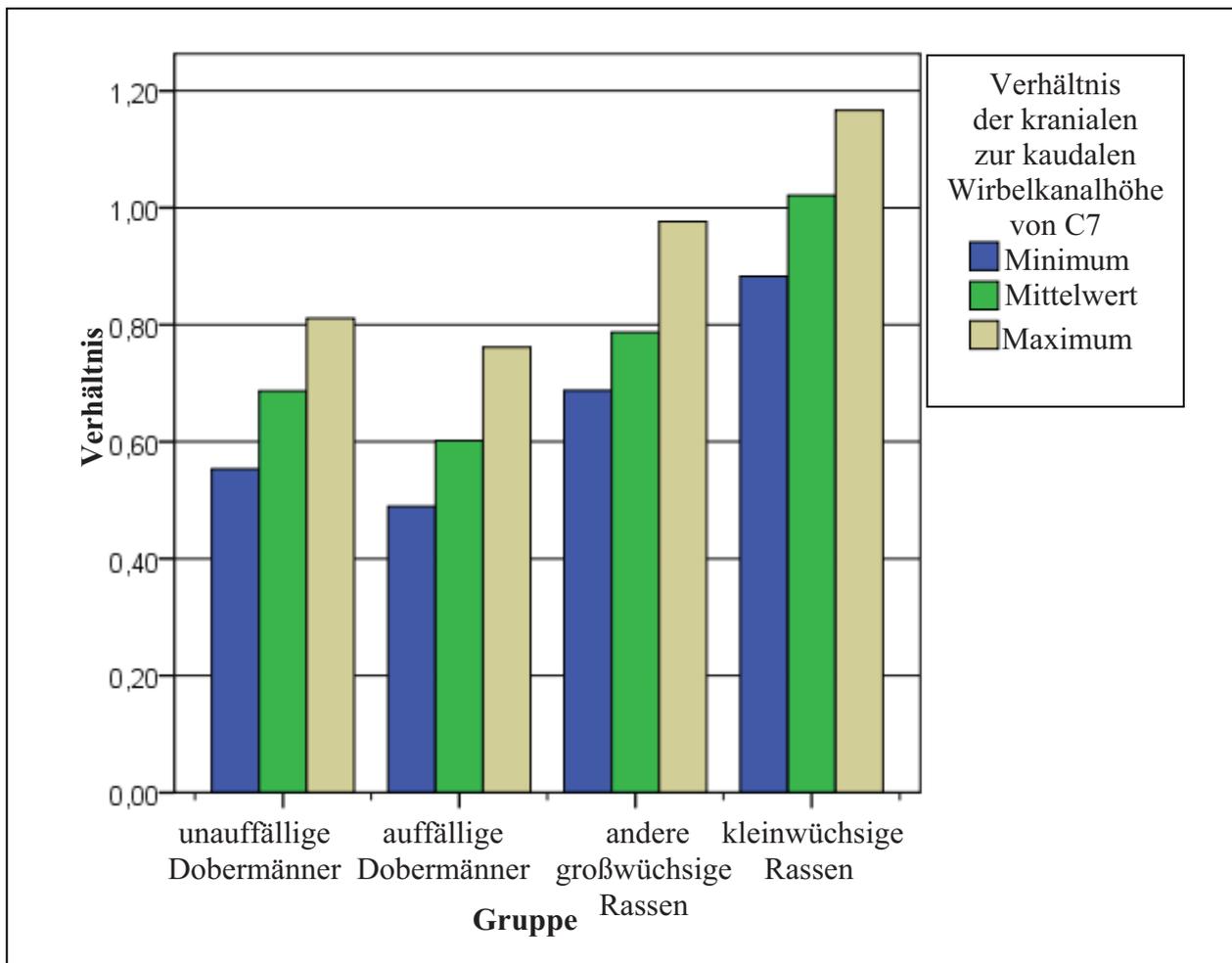


Abbildung 13: Arithmetisches Mittel und Minimal-Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe von C7.

4.1.2 Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des nachfolgenden Wirbels

Bei großwüchsigen Rassehunden (Gruppe 1, 2 und 3) ist die kaudale Wirbelkanalhöhe größer als die kraniale des nachfolgenden Wirbels (Verhältnis > 1). Bei kleinwüchsigen Rassehunden (Gruppe 4) sind dagegen die kaudale Wirbelkanalhöhe und die kraniale des nachfolgenden Wirbels fast gleich groß (Verhältnis ≈ 1). Das bedeutet, dass der Spinalkanal in diesem Bereich zylinderförmig ist. Darüber hinaus ist dieses Verhältnis innerhalb der Gruppen relativ konstant (Tabelle 5, Abbildung 14).

Tabelle 5: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des folgenden Wirbels \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3/C4	C4/C5	C5/C6	C6/C7	C7/T1
Gruppe 1	1,281 \pm 0,107	1,217 \pm 0,092	1,220 \pm 0,111	1,290 \pm 0,096	1,218 \pm 0,082
Gruppe 2	1,296 \pm 0,130	1,222 \pm 0,132	1,257 \pm 0,123	1,388 \pm 0,129*	1,247 \pm 0,112
Gruppe 3	1,309 \pm 0,120	1,286 \pm 0,104*	1,248 \pm 0,092	1,257 \pm 0,084	1,259 \pm 0,113
Gruppe 4	1,007 \pm 0,043*	1,01 \pm 0,052*	1,014 \pm 0,041*	1,032 \pm 0,059*	1,01 \pm 0,071*

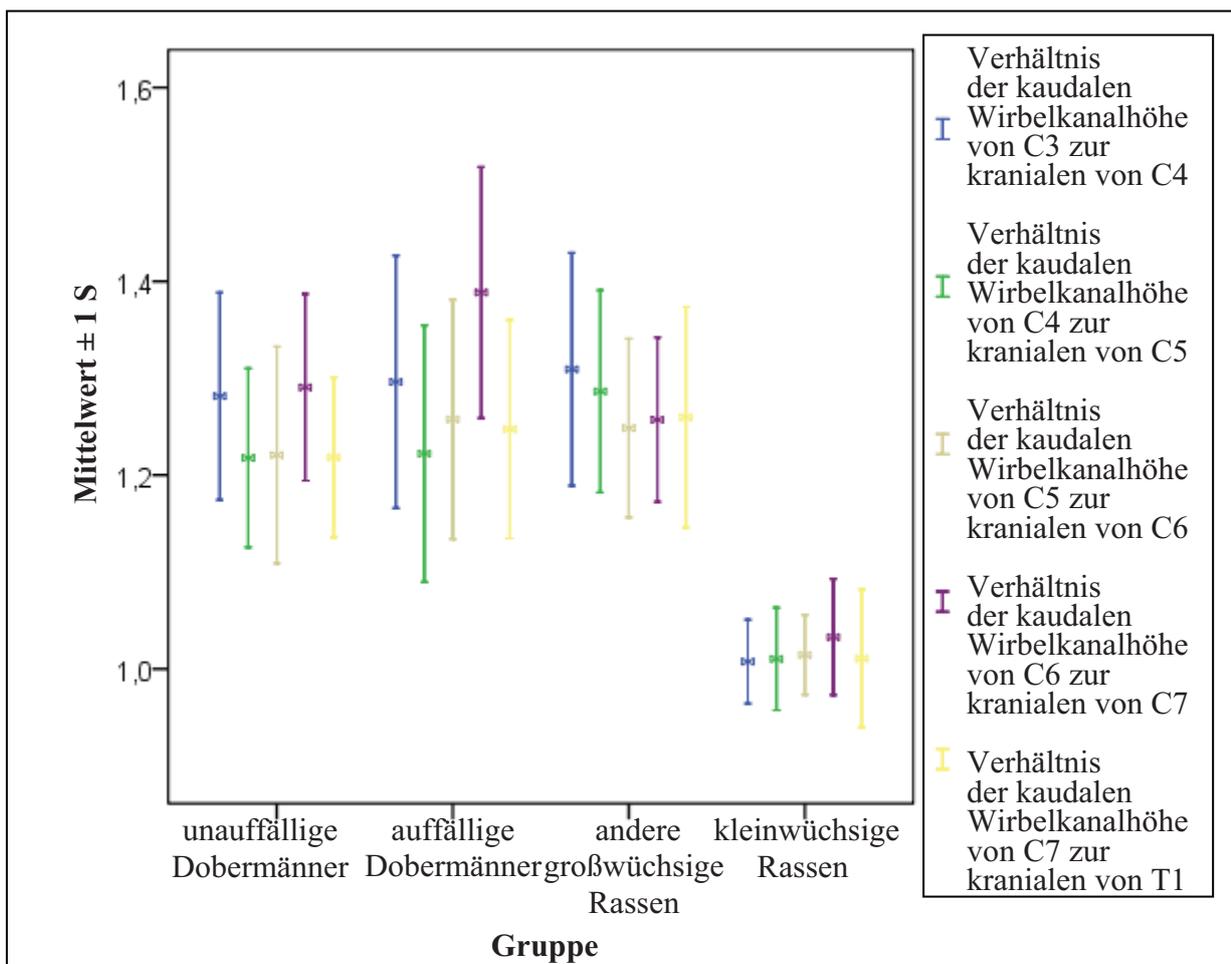


Abbildung 14: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des folgenden Wirbels \pm Standardabweichung.

Der Vergleich dieses errechneten Verhältnisses zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied an allen Stellen von C3 bis T1 zwischen der Kontrollgruppe (unauffällige Dobermänner) und der Gruppe 4 (kleinwüchsige Rassen). Der Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) ist dagegen nur an C4/C5 statistisch signifikant. Besonders bedeutend ist der Unterschied des Verhältnisses des Wirbelkanalausgangs des 6. Halswirbels zum Eingang des 7. Halswirbels zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe 2 (auffällige Dobermänner) (Tabelle 5, 6). Dies war bei betroffenen Tieren deutlich statistisch signifikant (p-Wert = 0,001). Dies bedeutet, dass die Höhendifferenz zwischen beiden Wirbelkanalöffnungen bei auffälligen Dobermännern relativ größer als bei unauffälligen Dobermännern ist.

Tabelle 6: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen des folgenden Wirbels relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).

	C3/C4	C4/C5	C5/C6	C6/C7	C7/T1
Gruppe 2	0,996	0,977	0,406	0,001	0,597
Gruppe 3	0,688	0,007	0,250	0,254	0,210
Gruppe 4	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Die hohe Standardabweichung vor allem bei Gruppe 2 (auffällige Dobermänner) deutet darauf hin, dass die Minimal- und Maximalwerte stark auseinanderweichen. Das macht sich vor allem an C3/C4, C4/C5 und C6/C7 bemerkbar (Abbildung 15, 16).

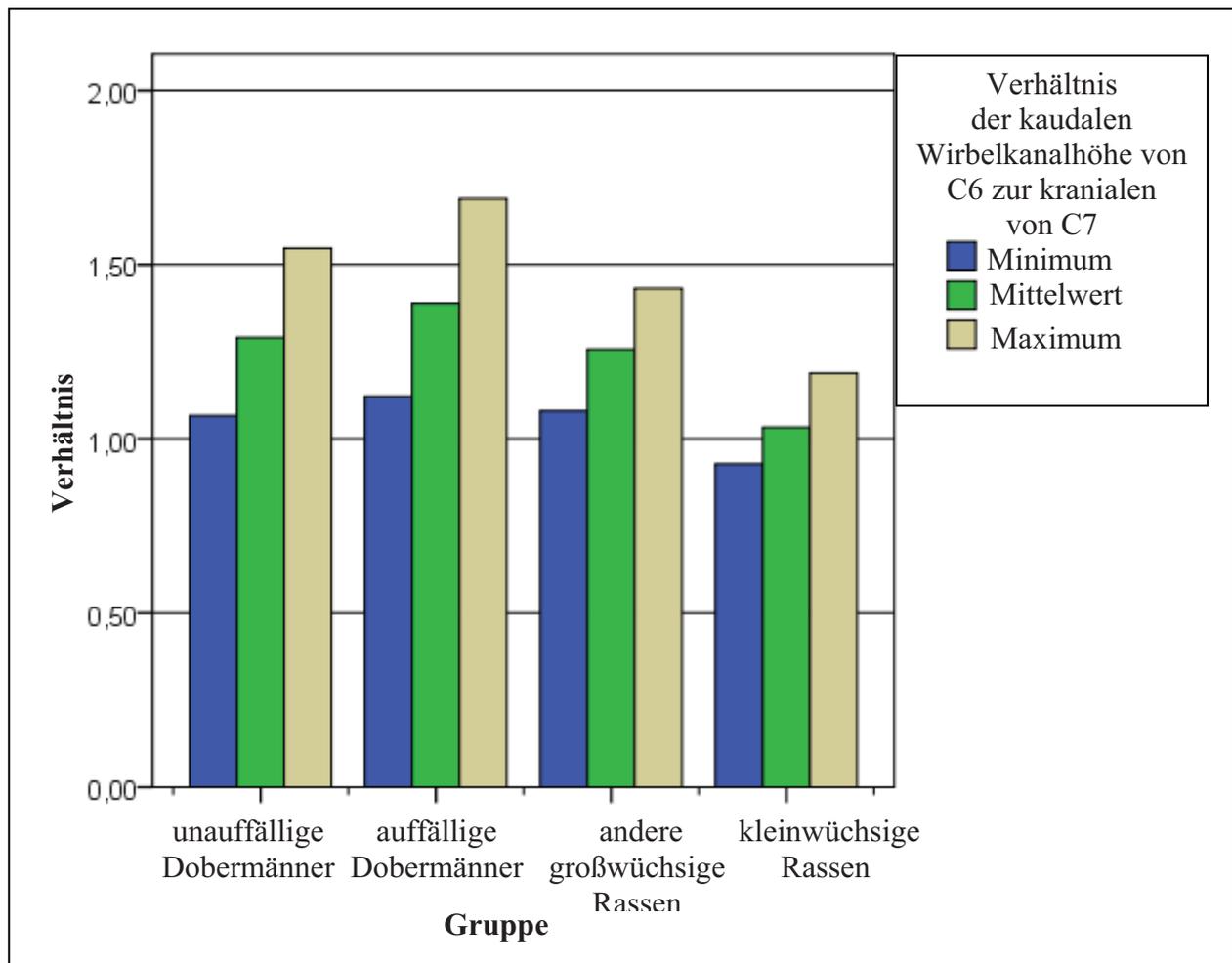


Abbildung 15: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe von C6 zur kranialen Wirbelkanalhöhe von C7.

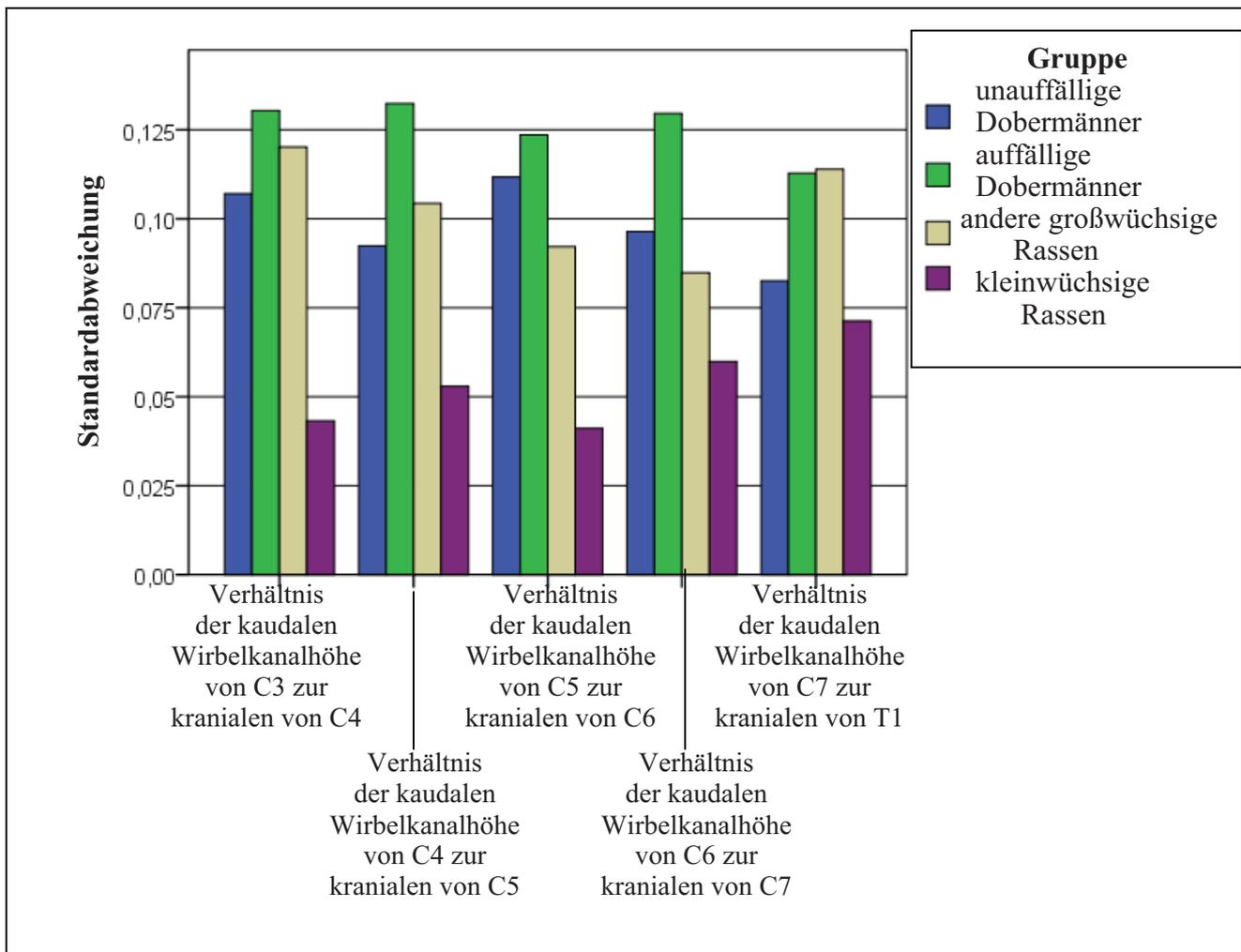


Abbildung 16: Standardabweichung des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur kranialen Wirbelkanalhöhe des folgenden Wirbels.

4.1.3 Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4

Bei allen Gruppen stellt sich die kraniale Wirbelkanalöffnung von C7 als die weiteste und die von C4 als die engste dar. Bei den Gruppen 3 und 4 ist die kraniale Wirbelkanalöffnung von C6 die zweitweiteste gefolgt von C5 und dann C3. Bei der Rasse Dobermann ist hingegen das kraniale Orifizium von C6 und C3 fast gleich groß, gefolgt vom kranialen Orifizium von C5 (Tabelle 7, Abbildung 17).

Beim Vergleich der Werte der gebildeten Gruppen fallen besonderes die Werte von Gruppe 4 (kleinwüchsige Rassen) auf. Die Tiere dieser Gruppe besitzen mit Abstand die weitesten kranialen Wirbelkanalöffnungen an allen Halswirbelsegmenten im Vergleich mit denen anderer Gruppen. Das macht sich vor allem im kaudalen Halswirbelbereich bemerkbar, wo der Unterschied doppelt so groß ist (Tabelle 7, Abbildung 17).

Tabelle 7: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,326 \pm 0,028	0,285 \pm 0,026	0,298 \pm 0,026	0,323 \pm 0,032	0,352 \pm 0,035
Gruppe 2	0,321 \pm 0,028	0,283 \pm 0,037	0,298 \pm 0,041	0,315 \pm 0,04	0,316 \pm 0,039*
Gruppe 3	0,318 \pm 0,031	0,304 \pm 0,03*	0,319 \pm 0,034*	0,356 \pm 0,043*	0,387 \pm 0,033*
Gruppe 4	0,523 \pm 0,052*	0,516 \pm 0,052*	0,556 \pm 0,053*	0,637 \pm 0,054*	0,668 \pm 0,067*

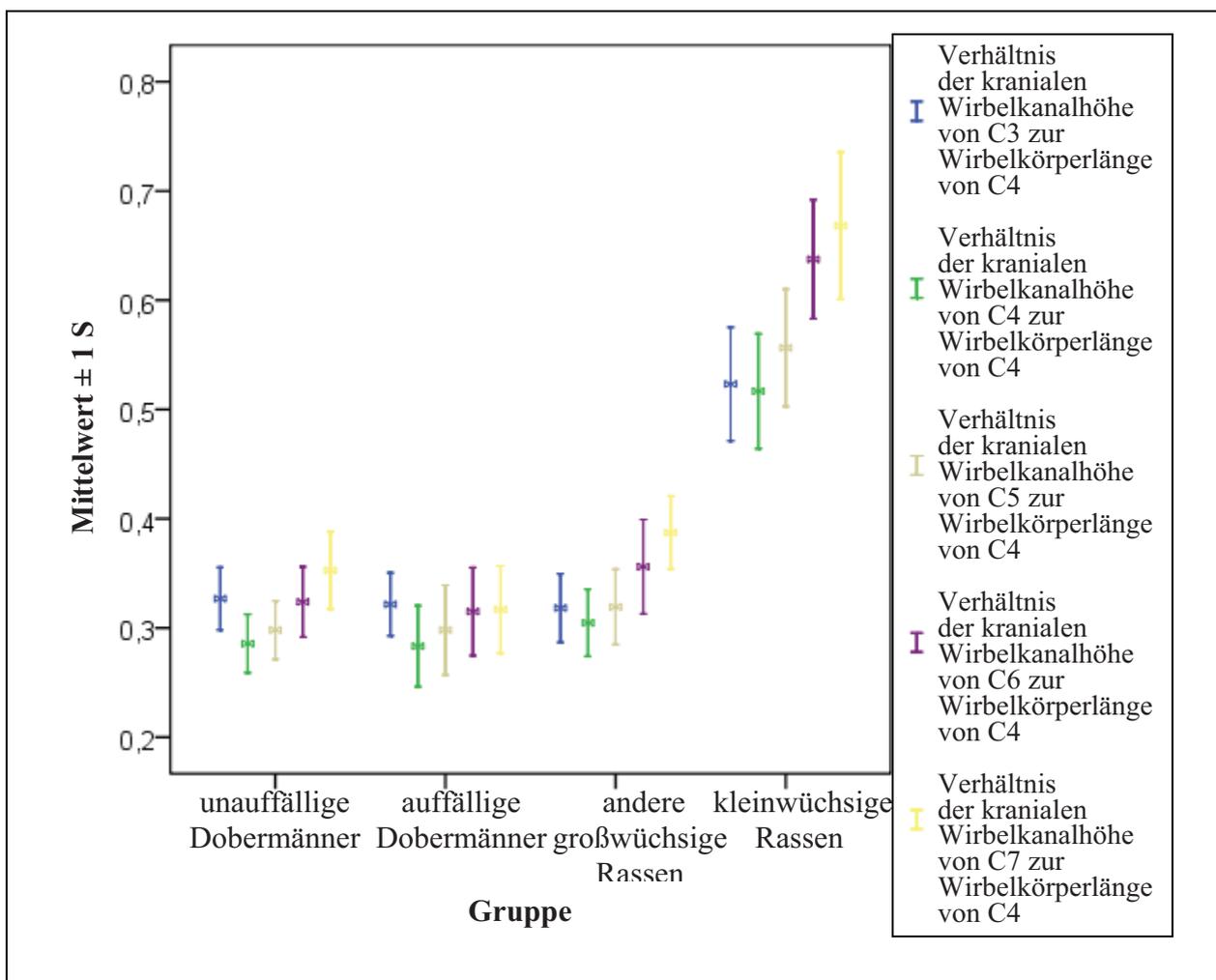


Abbildung 17: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe haben die Hunde der Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) relativ größere kraniale Wirbelkanalöffnungen, insbesondere am 6. sowie 7. Halswirbel. Diese beiden Wirbel stellen die kritische Stelle im Zusammenhang mit einer kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie beim Dobermann dar (Abbildung 18, 19).

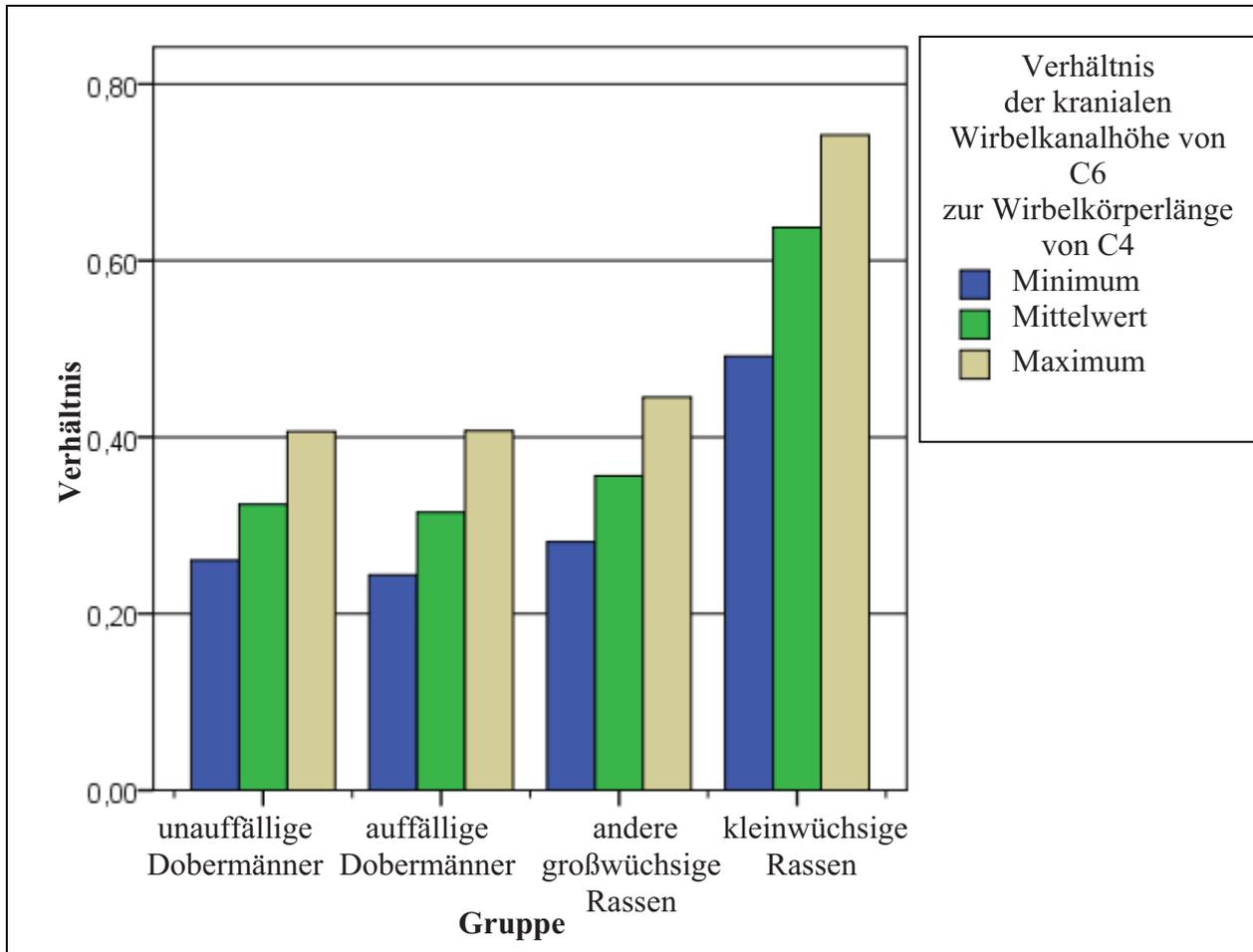


Abbildung 18: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe von C6 zur Wirbelkörperlänge von C4.

Beim Vergleich der kranialen Wirbelkanalhöhe zwischen Gruppe 1 und 2 (unauffällige und auffällige Dobermänner) fällt die Differenz der Mittelwerte bei C7 (p-Wert < 0,001) auf (Abb. 18, 19). Eine weitere Signifikanz besteht jedoch in keinem anderen Bereich.

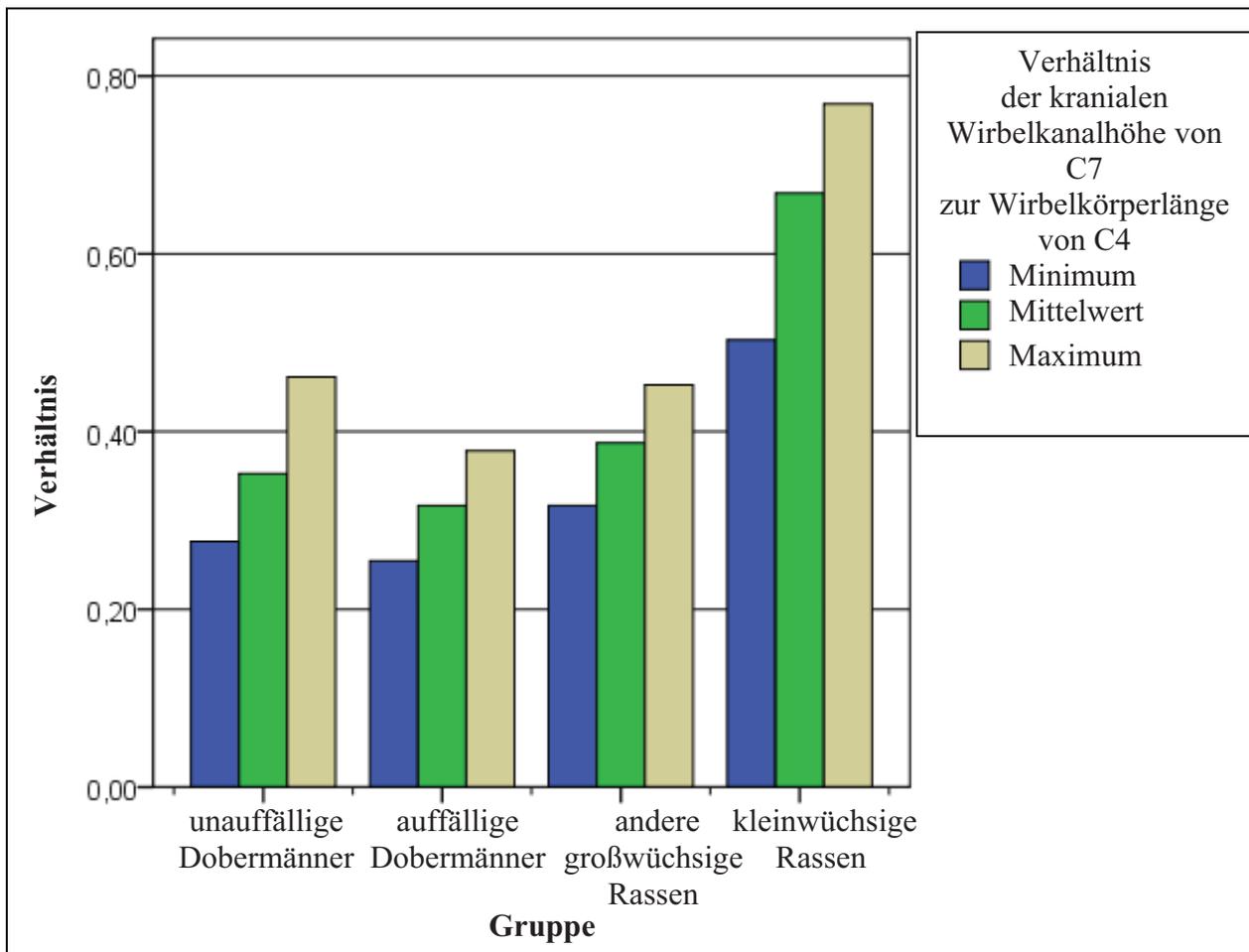


Abbildung 19: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Wirbelkanalhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4.

4.1.4 Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4

Bei allen Gruppen nimmt die kaudale Wirbelkanalhöhe in Kaudalrichtung von C3 zu C7 zu. Eine Ausnahme stellt das kaudale Orifizium von C3 bei großwüchsigen Rassen (Gruppe 1, 2 und 3) und von C7 bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) dar. Bei großwüchsigen Hunderassen ist die kaudale Wirbelkanalhöhe von C3 und C4 fast gleich groß. Im Gegensatz zu anderen Gruppen stellt sich bei kleinwüchsigen Hunderassen das kaudale Orifizium von C6 als am weitesten gefolgt von dem kaudalen Orifizium von C7 dar (Tabelle 8, Abbildung 20).

Tabelle 8: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,363 \pm 0,029	0,361 \pm 0,025	0,392 \pm 0,029	0,454 \pm 0,045	0,515 \pm 0,048
Gruppe 2	0,364 \pm 0,037	0,360 \pm 0,034	0,392 \pm 0,032	0,437 \pm 0,049	0,527 \pm 0,056
Gruppe 3	0,397 \pm 0,041*	0,408 \pm 0,036*	0,441 \pm 0,036*	0,485 \pm 0,039*	0,493 \pm 0,039
Gruppe 4	0,520 \pm 0,050*	0,561 \pm 0,055*	0,646 \pm 0,054*	0,688 \pm 0,060*	0,655 \pm 0,060*

Der Vergleich der Werte der gebildeten Gruppen miteinander zeigt, dass Hunde der Gruppe 4 (kleinwüchsige Rassen) die weitesten und Dobermänner die engsten kaudalen Wirbelkanalöffnungen bei allen Halswirbelsegmenten von C3 bis C7 besitzen. Eine einzige Ausnahme stellt das kaudale Orifizium von C7 bei Dobermännern (Gruppe 1) dar, bei denen das kaudale Orifizium von C7 größer als es bei anderen großwüchsigen Rassen (Gruppe 3) ist. Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant (Tabelle 9).

Der Vergleich des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zu Wirbelkörperlänge von C4 zwischen Gruppe 1 und 2 (unauffällige und auffällige Dobermänner) ergibt bei allen Halswirbeln keine statistische Signifikanz (Tabelle 9).

Tabelle 9: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	1,000	0,984	1	0,302	0,597
Gruppe 3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	0,005	0,070
Gruppe 4	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

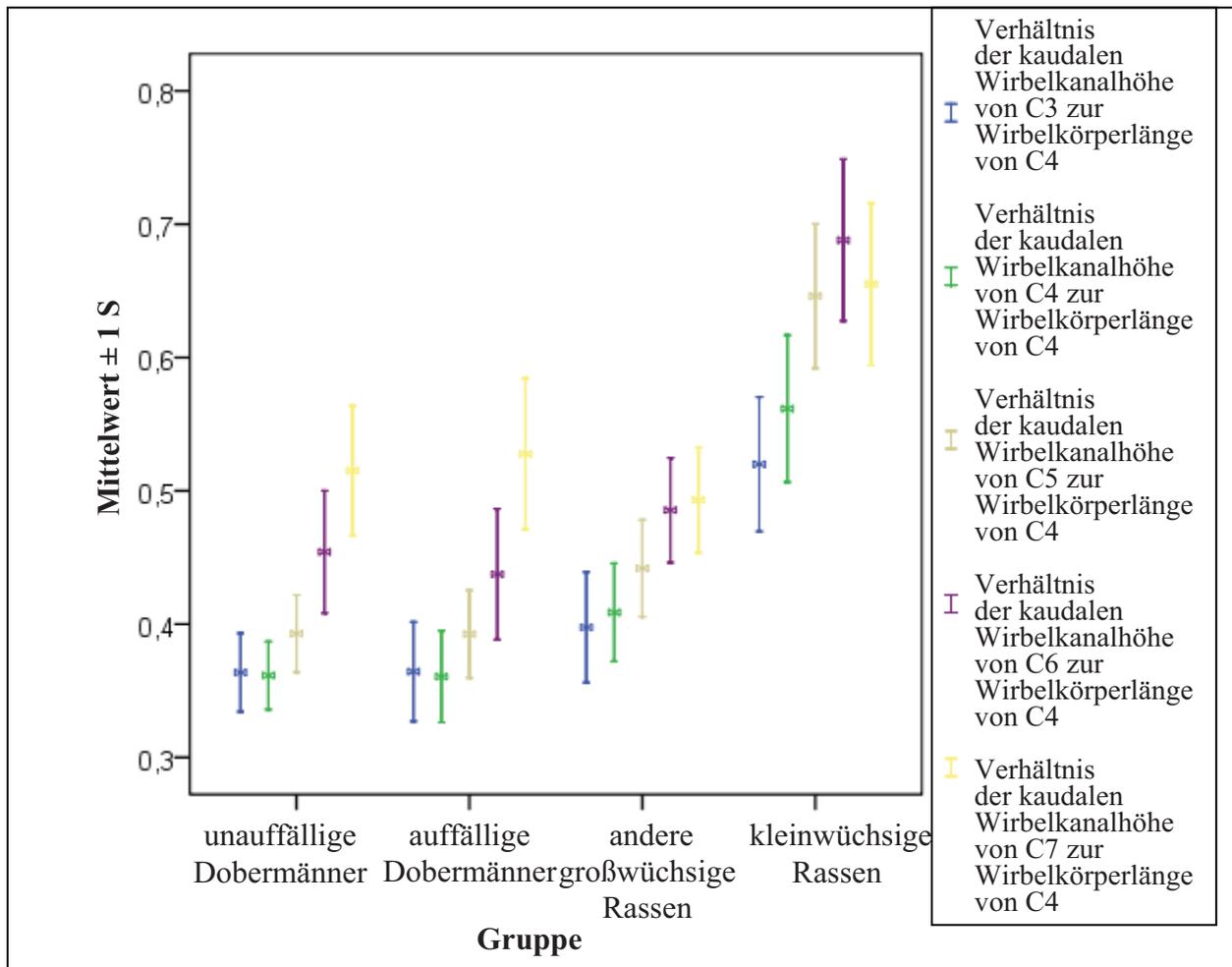


Abbildung 20: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

4.2 Der Wirbelkörper

Es wurde untersucht, ob auffällige anatomische Unterschiede des Halswirbelkörpers einerseits zwischen Hunden der Gruppen 1, 3 und 4, andererseits zwischen unauffälligen und auffälligen Hunden der Rasse Dobermann (Gruppe 1 und 2) bestehen.

4.2.1 Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge

Bei allen Gruppen nimmt das Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge nach kaudal von C3 bis C7 zu. Dies beschreibt die zunehmende dorsoventrale Erweiterung des Wirbelkörpers der entsprechenden Wirbel nach kaudal von C3 bis C7. Alle Durchschnittswerte sind dabei kleiner als 1, sodass das Quadrat der Wirbelkörperlänge immer größer als die sagittale Wirbelkörperfläche ist (Tabelle 10,

Abbildung 21). In den kaudalen Halswirbeln nähert sich vor allem bei Dobermännern das Verhältnis von 1 (C7: 0,905).

Tabelle 10: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,468 \pm 0,050	0,534 \pm 0,056	0,609 \pm 0,054	0,726 \pm 0,072	0,905 \pm 0,091
Gruppe 2	0,487 \pm 0,039	0,531 \pm 0,055	0,601 \pm 0,050	0,776 \pm 0,087	0,938 \pm 0,089
Gruppe 3	0,400 \pm 0,039*	0,442 \pm 0,037*	0,516 \pm 0,045*	0,636 \pm 0,069*	0,803 \pm 0,071*
Gruppe 4	0,472 \pm 0,056	0,523 \pm 0,054	0,584 \pm 0,061	0,705 \pm 0,084	0,824 \pm 0,095*

Der Vergleich der Werte der gebildeten Gruppen mit der Kontrollgruppe (Gruppe 1) zeigt, dass Hunde der Gruppe 3 die kleinsten Werte bei allen Halswirbeln zwischen C3 bis C7 haben. Der Unterschied ist bei allen Stellen statistisch signifikant (Tabelle 11). Das heißt, dass Hunde dieser Gruppe die schmalsten Wirbelkörper besitzen. Hingegen sind die Werte der Hunde der Gruppe 1 und 4 bei allen Stellen zwischen C3 bis C6 fast gleich groß. Das heißt wiederum, dass die Wirbelkörper in einer sagittalen Ebene bei diesen Gruppen die gleiche Form zu haben scheinen. Eine einzige Ausnahme stellt dabei der Wert von C7 dar, der bei kleinwüchsigen Rassen deutlich kleiner als bei Dobermännern ist. Der Unterschied ist statistisch signifikant (Tabelle 11).

Obwohl die Werte von C6 und C7 bei auffälligen Dobermännern relativ größer als die bei unauffälligen Dobermännern sind, ergibt dennoch der Vergleich zwischen beiden Gruppen keine statistische Signifikanz (Tabelle 10, 11). Das lässt sich durch die relative hohe Standardabweichung, die auf eine hohe Varianz hindeutet, erklären.

Tabelle 11: Signifikanz (p-Werte) der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“ ; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,211	0,988	0,841	0,017	0,274
Gruppe 3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Gruppe 4	0,972	0,612	0,064	0,446	< 0,001

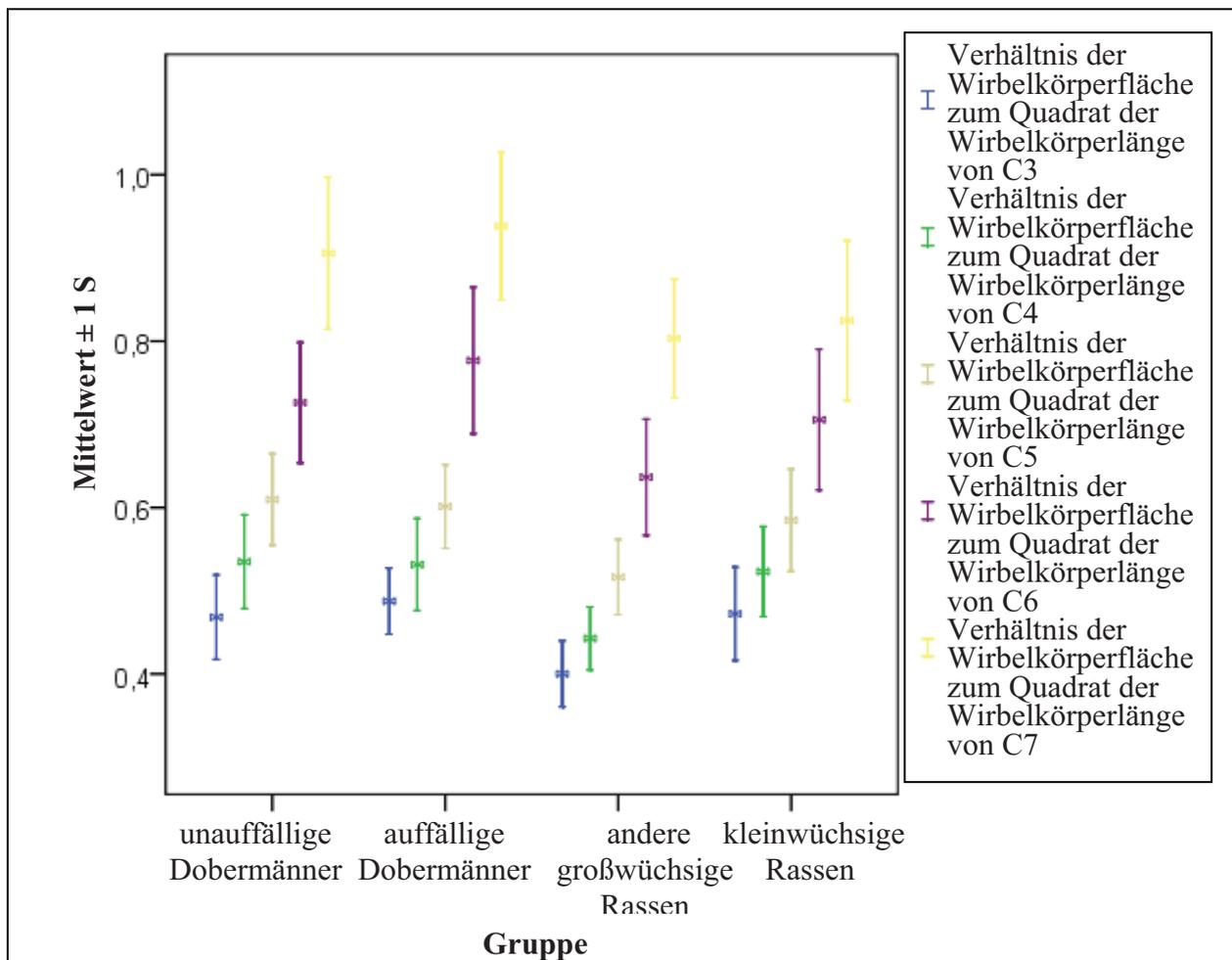


Abbildung 21: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.

4.2.2 Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4

Bei allen Gruppen nimmt die Wirbelkörperfläche nach kaudal von C3 bis C6 ab, um dann bei C7 wieder zuzunehmen, sie bleibt jedoch kleiner als die Wirbelkörperfläche von C5. Nur bei den betroffenen Dobermännern (Gruppe 2) ist die Wirbelkörperfläche von C7 noch größer als die von C5 (Tabelle 12, Abbildung 22).

Tabelle 12: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,534 \pm 0,060	0,534 \pm 0,056	0,503 \pm 0,051	0,475 \pm 0,053	0,488 \pm 0,050
Gruppe 2	0,545 \pm 0,049	0,531 \pm 0,055	0,505 \pm 0,041	0,504 \pm 0,057	0,516 \pm 0,061
Gruppe 3	0,450 \pm 0,043*	0,442 \pm 0,037*	0,419 \pm 0,036*	0,392 \pm 0,037*	0,411 \pm 0,034*
Gruppe 4	0,537 \pm 0,056	0,523 \pm 0,054	0,485 \pm 0,056	0,464 \pm 0,055	0,476 \pm 0,047

Beim Vergleich der gebildeten Gruppen mit der Kontrollgruppe (Gruppe 1) fällt besonders die Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) auf. Tiere dieser Gruppe besitzen das kleinste Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 bei allen Halswirbeln zwischen C3 bis C7. Der Unterschied ist bei allen Stellen statistisch signifikant (Tabelle 13). Hingegen zeigt der Vergleich der Gruppe 2 und 4 mit der Kontrollgruppe an keiner Stelle zwischen C3 bis C7 eine statistische Signifikanz (Tabelle 13). Genauso wie beim vorherigen Verhältnis ist der Wert von C6 bzw. C7 bei auffälligen Dobermännern relativ größer als bei unauffälligen Dobermännern, der Unterschied ist aber statistisch nicht relevant. Das lässt sich wiederum durch die relative hohe Standardabweichung, die auf eine hohe Varianz hindeutet, erklären (Tabelle 12, Abbildung 22).

Tabelle 13: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,732	0,988	0,995	0,050	0,040
Gruppe 3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Gruppe 4	0,987	0,612	0,190	0,658	0,502

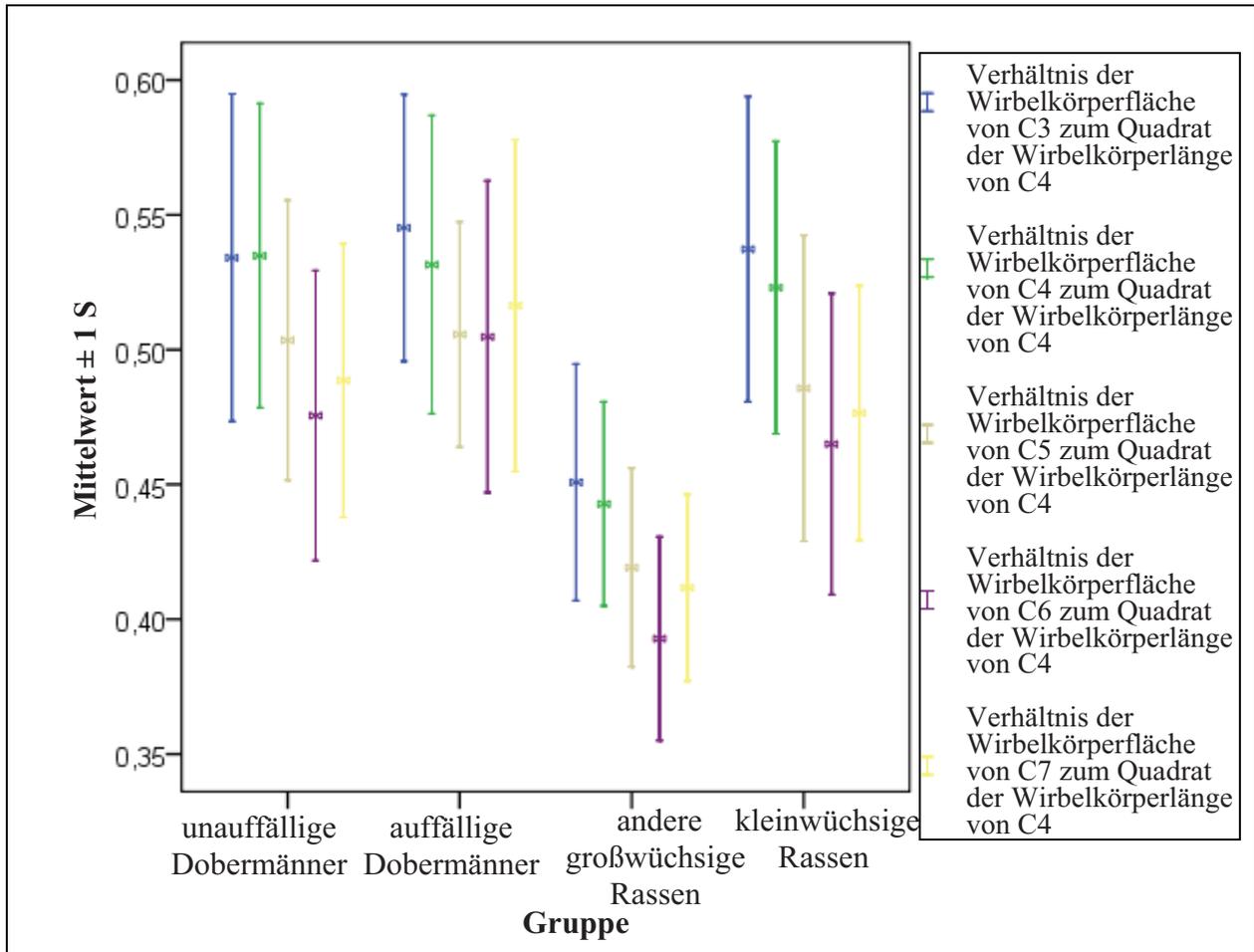


Abbildung 22: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 ± Standardabweichung.

4.2.3 Verhältnis der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4

Bei allen Gruppen nimmt die Wirbelkörperlänge nach kaudal von C3 bis C7 ab (Tabelle 14, Abbildung 22). Die Abnahme der Wirbelkörperlänge ist in der kaudalen Halswirbelsäule ausgeprägter.

Tabelle 14: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	1,068 \pm 0,031	1	0,908 \pm 0,034	0,809 \pm 0,037	0,735 \pm 0,031
Gruppe 2	1,057 \pm 0,029	1	0,917 \pm 0,037	0,810 \pm 0,044	0,743 \pm 0,039
Gruppe 3	1,062 \pm 0,030	1	0,901 \pm 0,026	0,786 \pm 0,030	0,716 \pm 0,025
Gruppe 4	1,067 \pm 0,033	1	0,911 \pm 0,026	0,812 \pm 0,032	0,761 \pm 0,029*

Der Vergleich der gebildeten Gruppen mit der Kontrollgruppe zeigt bei allen Halswirbeln bis auf bei C7 bei kleinwüchsigen Rassen keine statistische Signifikanz. Das Verhältnis der Wirbelkörperlänge von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4 bei kleinwüchsigen Rassen stellt sich als einzige Ausnahme größer als das bei der Gruppe 1 dar (p-Wert < 0,001). Hingegen ist das Verhältnis der Wirbelkörperlänge von C7 sowie von C6 zur Wirbelkörperlänge von C4 bei Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) kleiner als das bei der Kontrollgruppe, es ist aber statistisch nicht relevant (p-Wert = 0,011 bzw. 0,013).

Schließlich deutet eine relativ kleine Standardabweichung bei allen Stellen auf eine niedrige Varianz an der Wirbelkörperlänge bei den untersuchten Tieren hin (Tabelle 14, Abbildung 23).

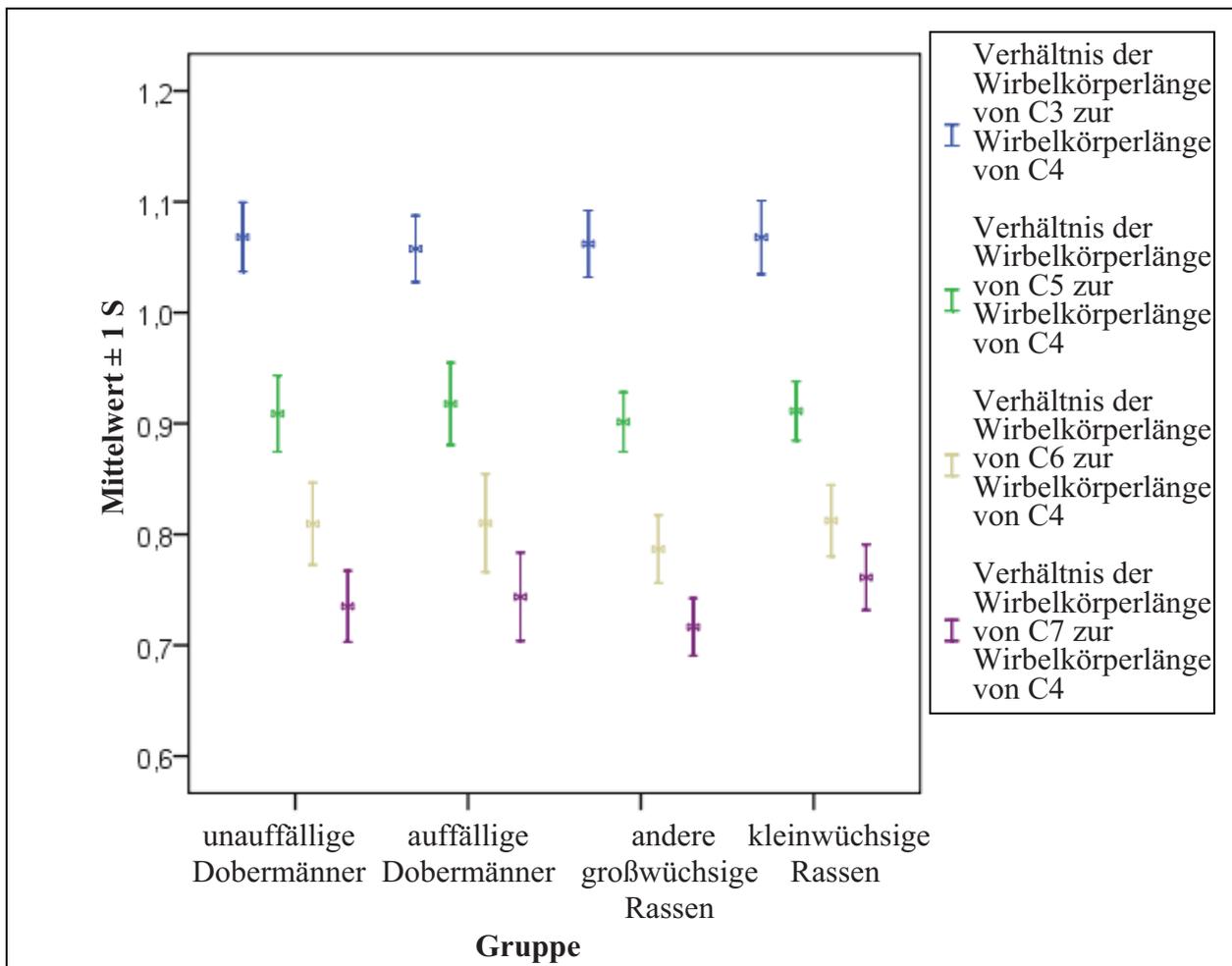


Abbildung 23: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4 ± Standardabweichung.

4.3 Endplatten

Veränderungen der Endplattenform können dazu führen, dass sie ihre Abstützfunktion nicht ausreichend erfüllen und die Bandscheiben sekundär geschädigt werden (LAUTERSACK 2002). Eine übermäßig lange, nach kaudoventral abgeflachte kraniale Endplatte ist häufig ein Merkmal bei betroffenen Hunden (WRIGHT et al. 1973; LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1994). Es wird versucht, Unterschiede bzw. Veränderungen an der Länge und der Orientierung der Endplatten zu bestimmen.

4.3.1 Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge

Bei allen Gruppen nimmt das Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge nach kaudal von C3 bis C7 zu (Tabelle 15, Abbildung 24). Der Mittelwert der kranialen Endplattenhöhe ist bei allen Gruppen von C3 bis C7 kleiner als der der entsprechenden Wirbelkörperlänge (Verhältnis < 1). Eine Ausnahme stellt das Verhältnis von C7 bei der

Gruppe 2 (auffällige Dobermänner) dar, bei denen die kraniale Endplattenhöhe von C7 die Wirbelkörperlänge des entsprechenden Wirbels überragt (Tabelle 15, Verhältnis > 1).

In Gruppe 1 fällt bei C7 das hohe Verhältnis (= 0,937) auf, dies ist auf eine relativ große kraniale Endplattenhöhe zurückzuführen.

Tabelle 15: Arithmetische Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,509 \pm 0,036	0,552 \pm 0,039	0,650 \pm 0,040	0,776 \pm 0,056	0,937 \pm 0,065
Gruppe 2	0,528 \pm 0,032	0,549 \pm 0,035	0,642 \pm 0,045	0,807 \pm 0,074	1,111 \pm 0,128*
Gruppe 3	0,447 \pm 0,037*	0,484 \pm 0,036*	0,566 \pm 0,045*	0,681 \pm 0,053*	0,801 \pm 0,055*
Gruppe 4	0,510 \pm 0,045	0,556 \pm 0,040	0,632 \pm 0,051	0,745 \pm 0,059	0,846 \pm 0,073*

Tabelle 16: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“ ; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,096	0,989	0,823	0,058	< 0,001
Gruppe 3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Gruppe 4	0,999	0,908	0,152	0,029	< 0,001

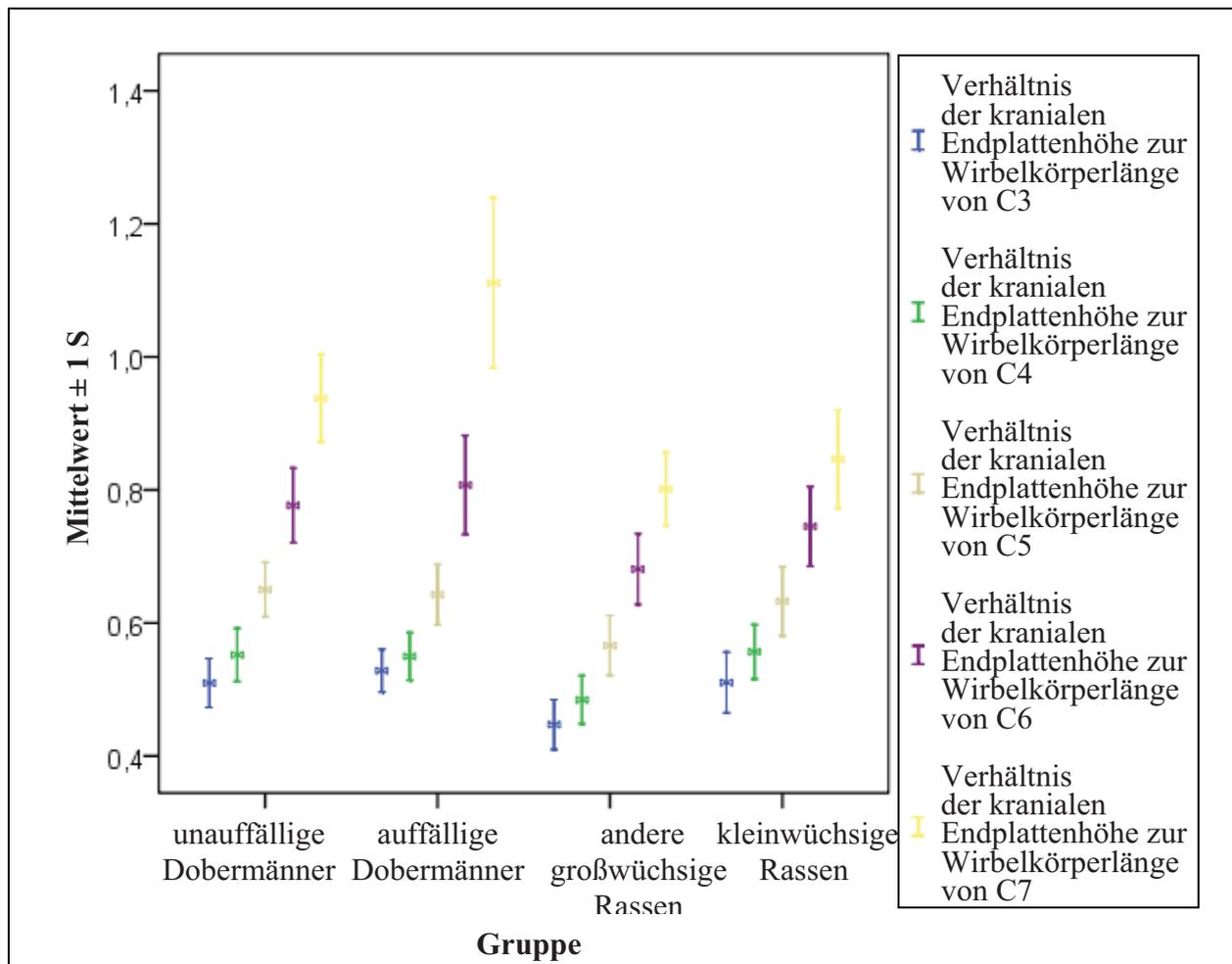


Abbildung 24: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge \pm Standardabweichung.

Während die Gruppe 3 sich deutlich von der Kontrollgruppe (Gruppe 1) an allen Stellen unterscheiden lässt, stellt sich der Unterschied zwischen der Gruppe 4 und der Kontrollgruppe lediglich bei C7 dar. Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) zeigt unter den gebildeten Gruppen das niedrigste Verhältnis bei allen Halswirbeln. Der Unterschied gegenüber der Kontrollgruppe ist statistisch signifikant (Tabelle 16). Das errechnete Verhältnis bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) unterscheidet sich kaum von dem bei der Kontrollgruppe bei allen Halswirbeln bis auf bei C7, bei dem das Verhältnis deutlich kleiner ist.

Bei Vergleich der Werte von unauffälligen Dobermännern mit denen von auffälligen Dobermännern fällt besonderes das Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C7 auf. Der Mittelwert des Verhältnisses von C7 bei auffälligen Dobermännern (Gruppe 2) ist deutlich größer als der bei Gruppe 1. Dies ist statistisch signifikant und liegt > 1 (Tabelle 15, Abbildung 25). Das heißt, dass bei den meisten

betroffenen Dobermännern die kraniale Endplattenhöhe des 7. Halswirbels größer als die Wirbelkörperlänge desselben Halswirbels ist.

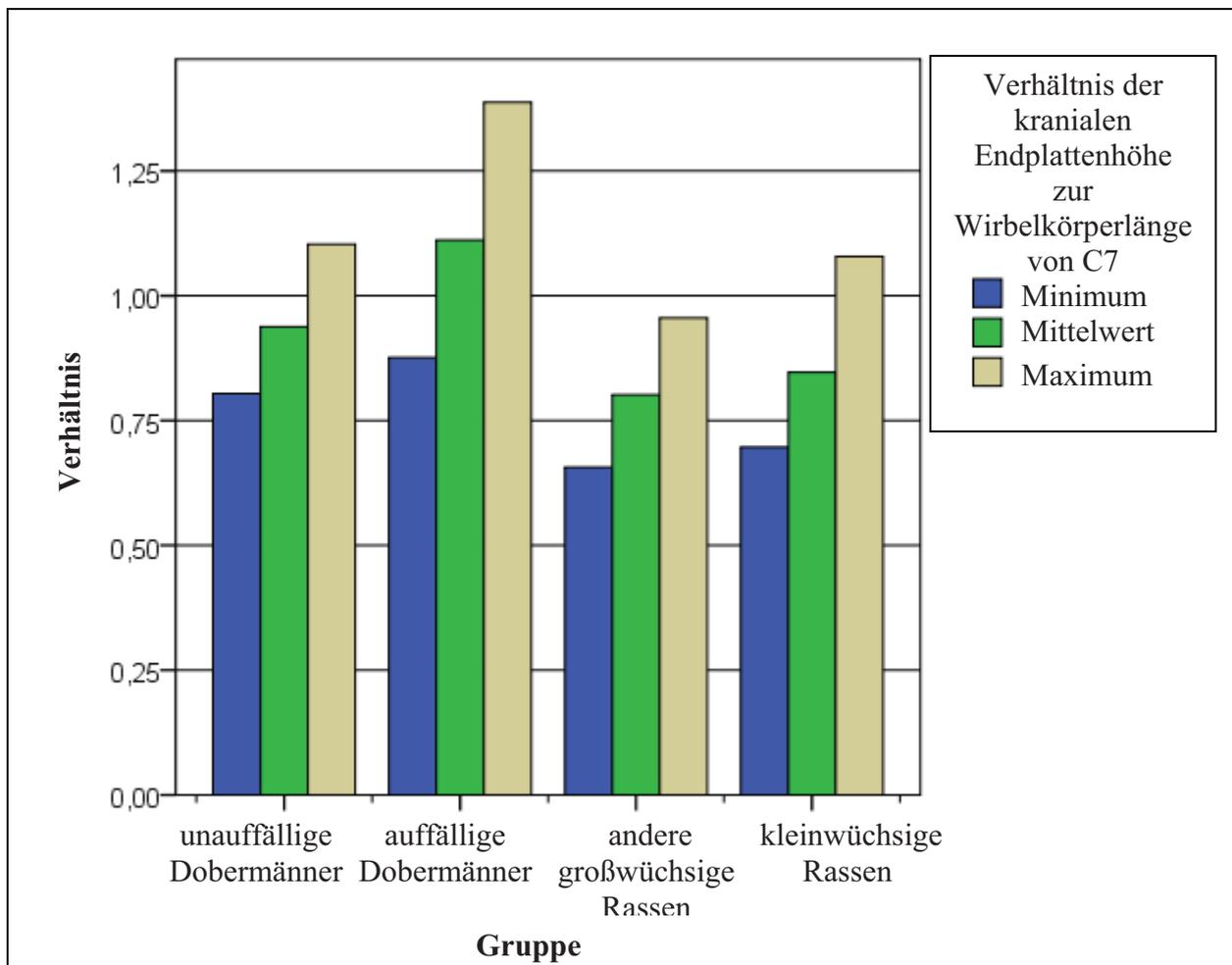


Abbildung 25: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C7.

Die Minimal- und Maximalwerte des Verhältnisses von kranialer Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge weichen bei der Gruppe 2 auffällig auseinander. Die Schwankungsbreite dieses Verhältnisses ist besonderes bei C7 auffällig, wo beim Minimalwert die kraniale Endplattenhöhe nur das 0,88-fache der Wirbelkörperlänge beträgt und beim Maximalwert die kraniale Endplattenhöhe das 1,39-fache der Wirbelkörperlänge erreicht (Abbildung 25). Dies kann durch die hohe Standardabweichung nachvollzogen werden (Abbildung 26). Eine so hohe Standardabweichung deutet darauf hin, dass die Varianz an diesem Parameter sehr groß ist. Das lässt sich wiederum durch die Vielfältigkeit des Erkrankungsbilds bei betroffenen Dobermännern erklären.

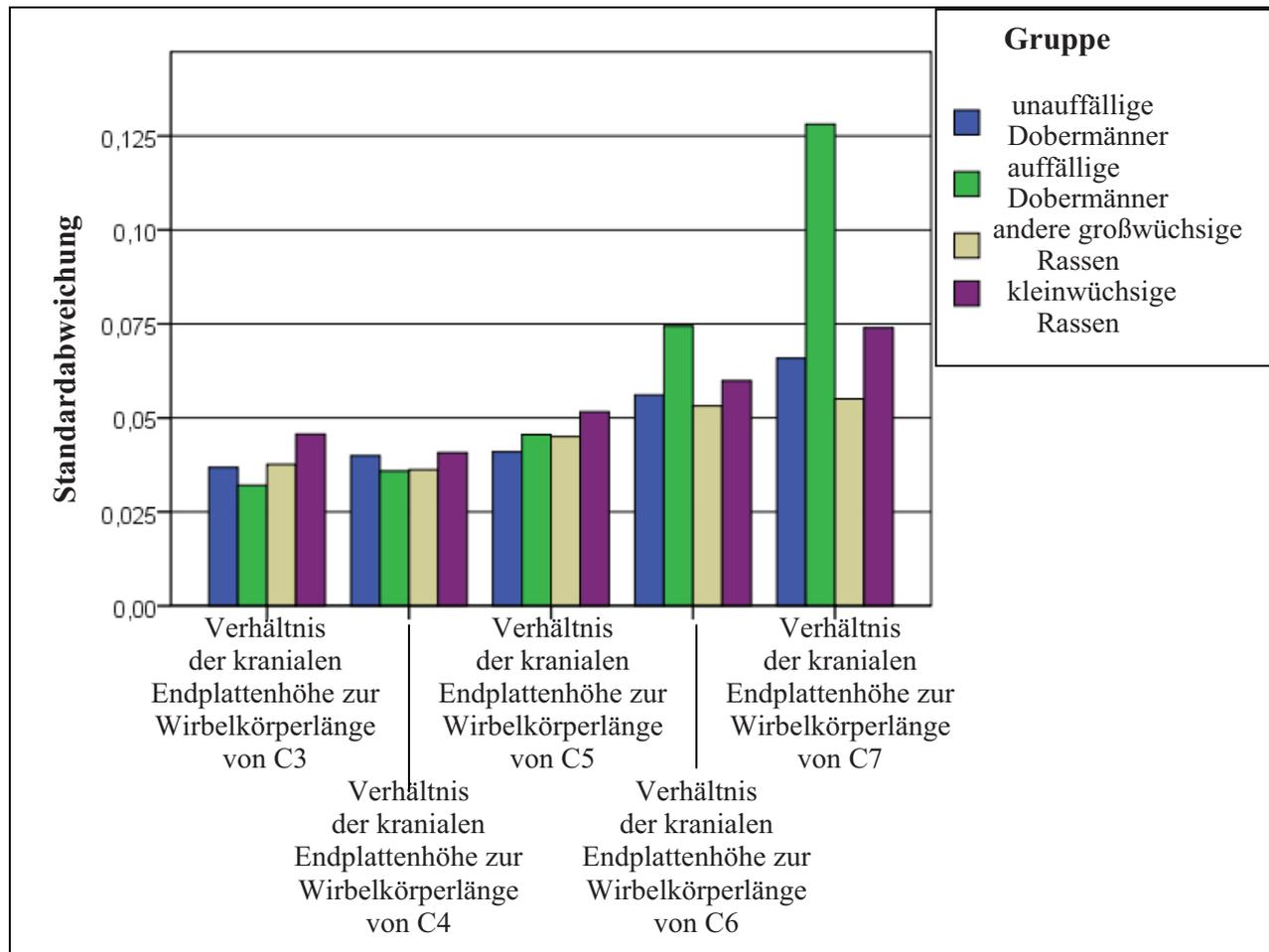


Abbildung 26: Standardabweichung des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge.

4.3.2 Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4

Die kraniale Endplattenhöhe nimmt bei allen Gruppen von C3 bis C7 nach kaudal zu. Die Zunahme an der kranialen Endplattenhöhe wird ab C5 zu C7 deutlicher (Tabelle 17). Die Größenzunahme der kranialen Endplattenhöhe ist bei der Rasse Dobermann an der kaudalen Halswirbelsäule am deutlichsten im Vergleich zu anderen Rassen. Während der Unterschied zwischen der kranialen Endplattenhöhe von C3 und C7 bei der Gruppe 1 0,145 und bei der Gruppe 2 0,27 beträgt, beträgt derselbe Unterschied bei der Gruppe 3 und Gruppe 4 0,10.

Tabelle 17: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	0,544 \pm 0,040	0,552 \pm 0,039	0,590 \pm 0,045	0,628 \pm 0,050	0,689 \pm 0,054
Gruppe 2	0,558 \pm 0,035	0,549 \pm 0,035	0,589 \pm 0,041	0,653 \pm 0,060	0,827 \pm 0,104*
Gruppe 3	0,474 \pm 0,038*	0,484 \pm 0,036*	0,509 \pm 0,037*	0,534 \pm 0,035*	0,573 \pm 0,039*
Gruppe 4	0,544 \pm 0,045	0,556 \pm 0,040	0,576 \pm 0,045	0,604 \pm 0,047	0,643 \pm 0,050*

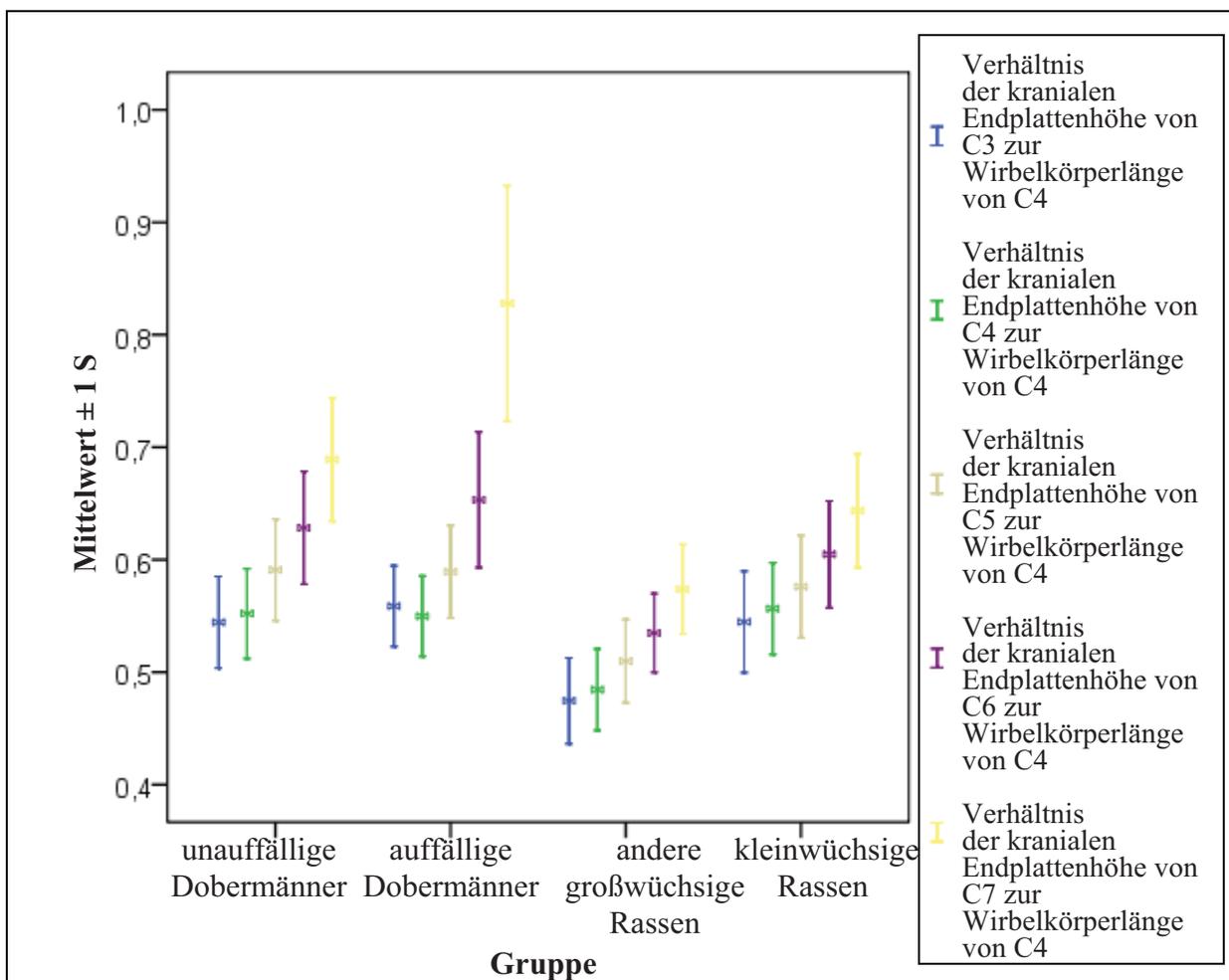


Abbildung 27: Arithmetisches Mittel des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 \pm Standardabweichung.

Der Vergleich der gebildeten Gruppen mit der Kontrollgruppe (Gruppe 1) zeigt einen relevanten Unterschied im errechneten Verhältnis bei allen Halswirbeln zwischen der Gruppe 1 und 3. Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) zeigt unter den gebildeten Gruppen das niedrigste Verhältnis bei allen Halswirbeln. Der Unterschied gegenüber der Kontrollgruppe ist statistisch signifikant (Tabelle 17, 18). Das errechnete Verhältnis bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) unterscheidet sich von dem bei der Kontrollgruppe lediglich bei C7, bei dem das Verhältnis deutlich kleiner ist (Tabelle 17, 18).

Tabelle 18: Signifikanz (p-Werte) des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“ ; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,301	0,989	0,997	0,141	< 0,001
Gruppe 3	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
Gruppe 4	1,000	0,908	0,229	0,056	< 0,001

Ähnlich wie beim vorherigen Verhältnis ergibt der Vergleich zwischen unauffälligen und auffälligen Dobermännern lediglich bei C7 einen statistisch relevanten Unterschied (Tabelle 17, 18). Der Mittelwert des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4 ist bei auffälligen Dobermann deutlich größer als der bei unauffälligen Dobermännern. Der Unterschied beträgt 0,138 (Tabelle 17). Dies ist auf eine überlängerte kraniale Endplatte bei dem betroffenen Wirbel zurückzuführen.

Die Schwankungsbreite des berechneten Verhältnisses bei C7 ist beim auffälligen Dobermann besonders groß. Bei einzelnen Patienten erreicht der Minimalwert 0,65 und der Maximalwert 1,03 (Abbildung 28). Dies kann durch die hohe Standardabweichung (1,04) nachvollzogen werden (Abbildung 29). Eine so hohe Standardabweichung deutet darauf hin, dass die Varianz an diesem Parameter sehr groß ist. Das lässt sich wiederum durch die Vielfältigkeit des Erkrankungsbilds bei betroffenen Dobermännern erklären.

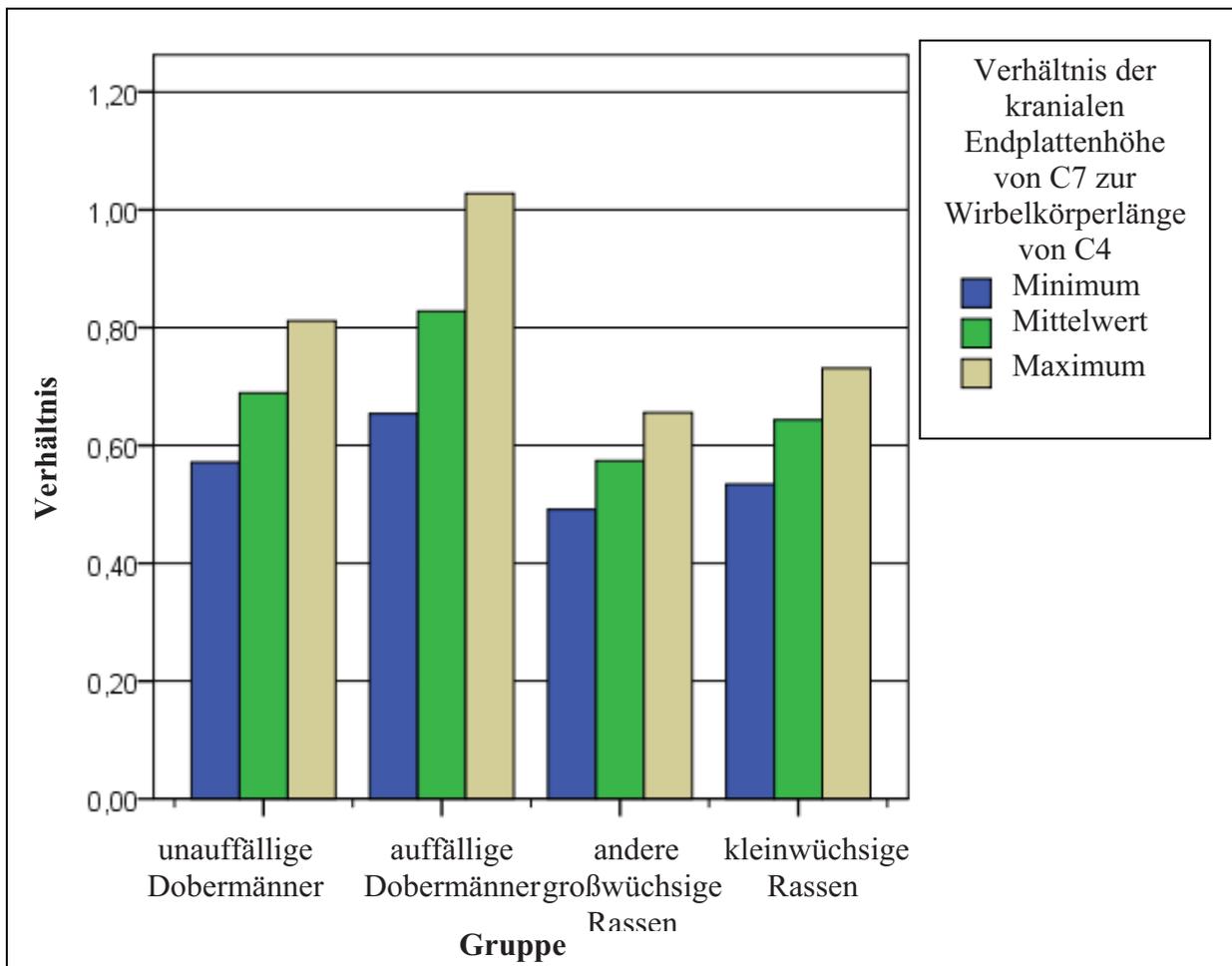


Abbildung 28: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4.

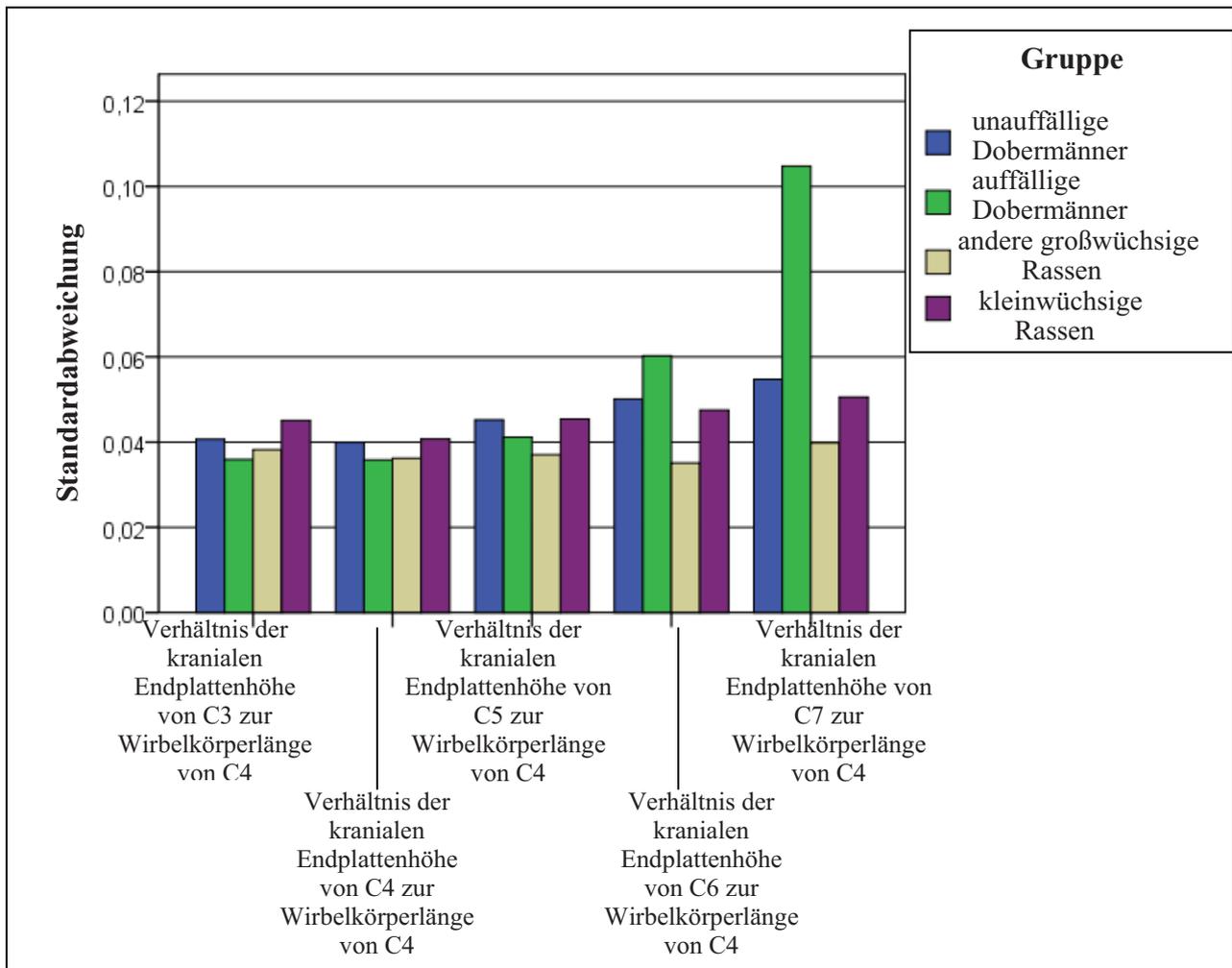


Abbildung 29: Standardabweichung des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4.

4.3.3 Kranialer Winkel des Wirbelkörpers

Das arithmetische Mittel des kranialen Winkels des Wirbelkörpers nimmt bei allen Gruppen nach kaudal von C3 bis C5 ab, um ab C6 zu C7 wieder zuzunehmen (Tabelle 19, Abbildung 30). Dabei ist bei allen Gruppen der Winkel von C7 am größten und der von C5 am kleinsten (Tabelle 19). Das heißt, dass die kraniale Endplatte von C5 am stärksten ventrokaudal abgeflacht ist und die von C7 am geringsten abgeflacht ist. Es ist bemerkenswert, dass der höchste Unterschied des Winkels zwischen 2 benachbarten Wirbeln bei allen Gruppen im kaudalen Halswirbelbereich auffällig ist und dieser insbesondere zwischen dem 6. und 7. Halswirbel liegt (Gruppe 1: 8,2°, Gruppe 3: 9,6°, Gruppe 4: 6,3°) (Tabelle 19). Bei der Betrachtung jeder einzelnen Gruppe fallen die Mittelwerte des kranialen Winkels von C4 und C5 auf. Während sie bei Gruppe 3 und 4 fast gleich sind, ist bei Dobermännern (Gruppe 1, 2) der Mittelwert des kranialen Winkels von C4 deutlich größer als der von C5 (Tabelle 19).

Tabelle 19: Arithmetisches Mittel des kranialen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	63,030 \pm 2,455	59,342 \pm 2,327	55,671 \pm 3,015	61,471 \pm 3,598	69,6 00 \pm 3,490
Gruppe 2	62,518 \pm 2,792	59,586 \pm 3,088	54,620 \pm 3,849	60,482 \pm 3,621	62,148 \pm 8,098*
Gruppe 3	58,666 \pm 3,097*	56,435 \pm 3,370*	56,051 \pm 2,523	61,846 \pm 2,987	71,461 \pm 3,210
Gruppe 4	69,459 \pm 3,790*	65,648 \pm 3,838*	65,243 \pm 3,925*	70,567 \pm 3,594*	76,891 \pm 3,478*

Beim Vergleich der unterschiedlichen Gruppen untereinander fällt die Gruppe 4 (kleinwüchsige Rassen) besonders auf. Die Hunde dieser Gruppe besitzen mit Abstand die größten kranialen Winkel bei allen Halswirbelsegmenten von C3 bis C7 (Tabelle 19, Abbildung 30). Damit stehen bei denen die kranialen Endplatten steiler als die bei Hunden der anderen Gruppen. Der Unterschied gegenüber der Kontrollgruppe (Gruppe 1) bei allen Stellen von C3 bis C7 ist statistisch signifikant (Tabelle 20). Der statistische Vergleich zwischen der Kontrollgruppe und der Gruppe 3 (andere großwüchsige Rassen) zeigt lediglich einen relevanten Unterschied an der kranialen Halswirbelsäule (C3, C4), wo die Mittelwerte des kranialen Winkels bei Gruppe 3 kleiner und damit ihre kraniale Endplatten mehr nach ventrokaudal abgeflacht sind (Tabelle 19, 20). Ein weiterer Unterschied an der kaudalen Halswirbelsäule besteht jedoch nicht.

Tabelle 20: Signifikanz (p-Werte) des kranialen Winkels des Wirbelkörpers relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“ ; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,820	0,993	0,361	0,461	< 0,001
Gruppe 3	< 0,001	< 0,001	0,905	0,922	0,116
Gruppe 4	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

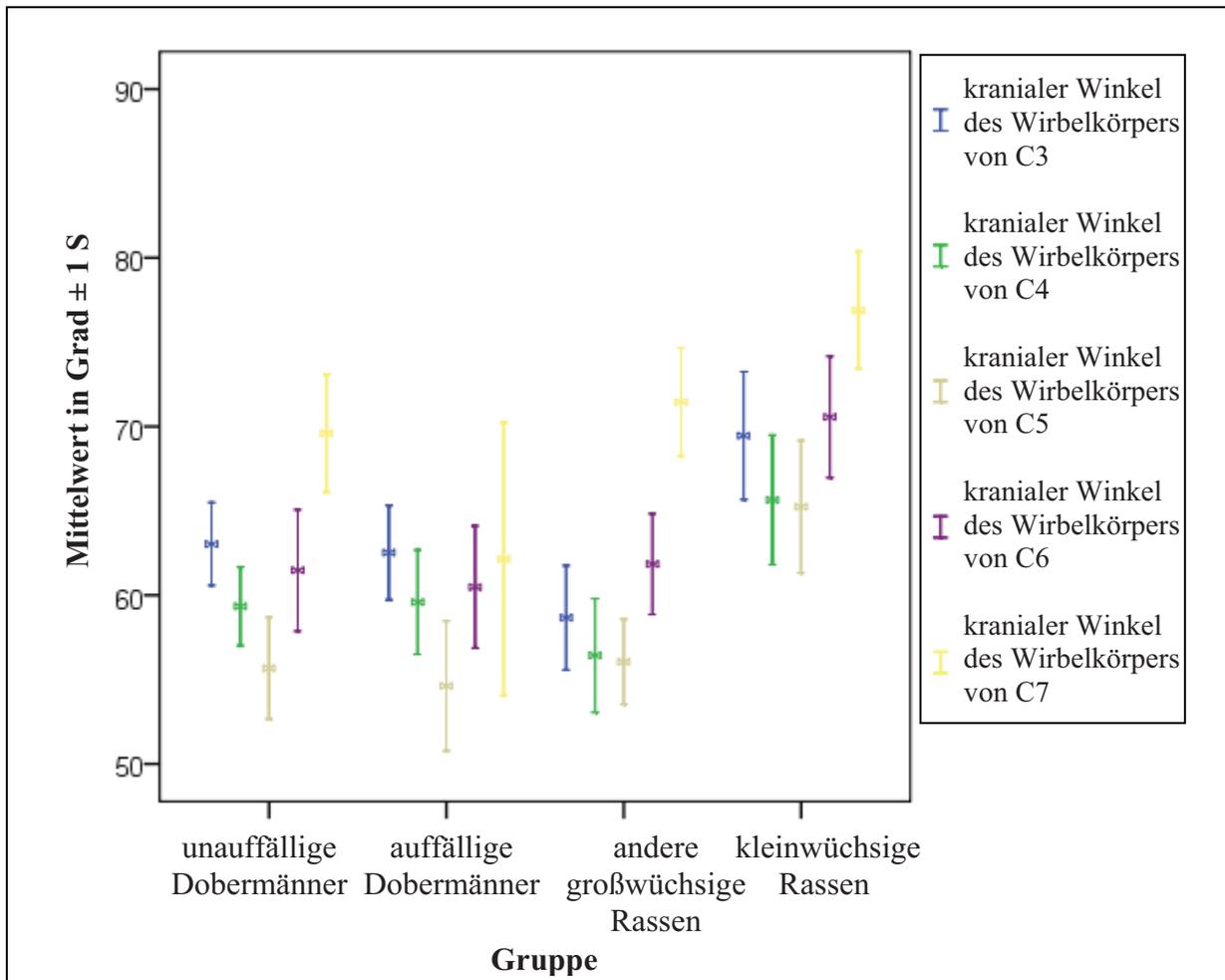


Abbildung 30: Arithmetisches Mittel des kranialen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.

Der Vergleich des Mittelwerts des kranialen Winkels zeigt an keiner Stelle außer bei C7 einen signifikanten Unterschied zwischen unauffälligen und auffälligen Tieren der Rasse Dobermann (Tabelle 20). Der Mittelwert des kranialen Winkels des 7. Halswirbels ist bei auffälligen Dobermännern deutlich kleiner (Tabelle 19, Abbildung 30, 31) und damit ist bei den betroffenen Tieren die kraniale Endplatte stärker nach ventrokaudal abgeflacht.

Der Minimalwert des kranialen Winkels des 7. Halswirbelkörpers ist bei der Gruppe 1 im Vergleich zur Gruppe 2 auffällig hoch (63° bzw. 45°) (Abbildung 31). Der Vergleich der Minimal- und Maximalwerte zeigt bei Gruppe 2 vor allem am 7. Halswirbel eine deutliche Abweichung (Minimalwert: 45° , Maximalwert: 74°). Dies bzw. eine hohe Standardabweichung ($8,098^\circ$) deutet auf eine große Varianz an diesem Winkel bei auffälligen Dobermännern hin, die auf die Vielfältigkeit des Erkrankungsbilds zurückzuführen ist (Abbildung 32).

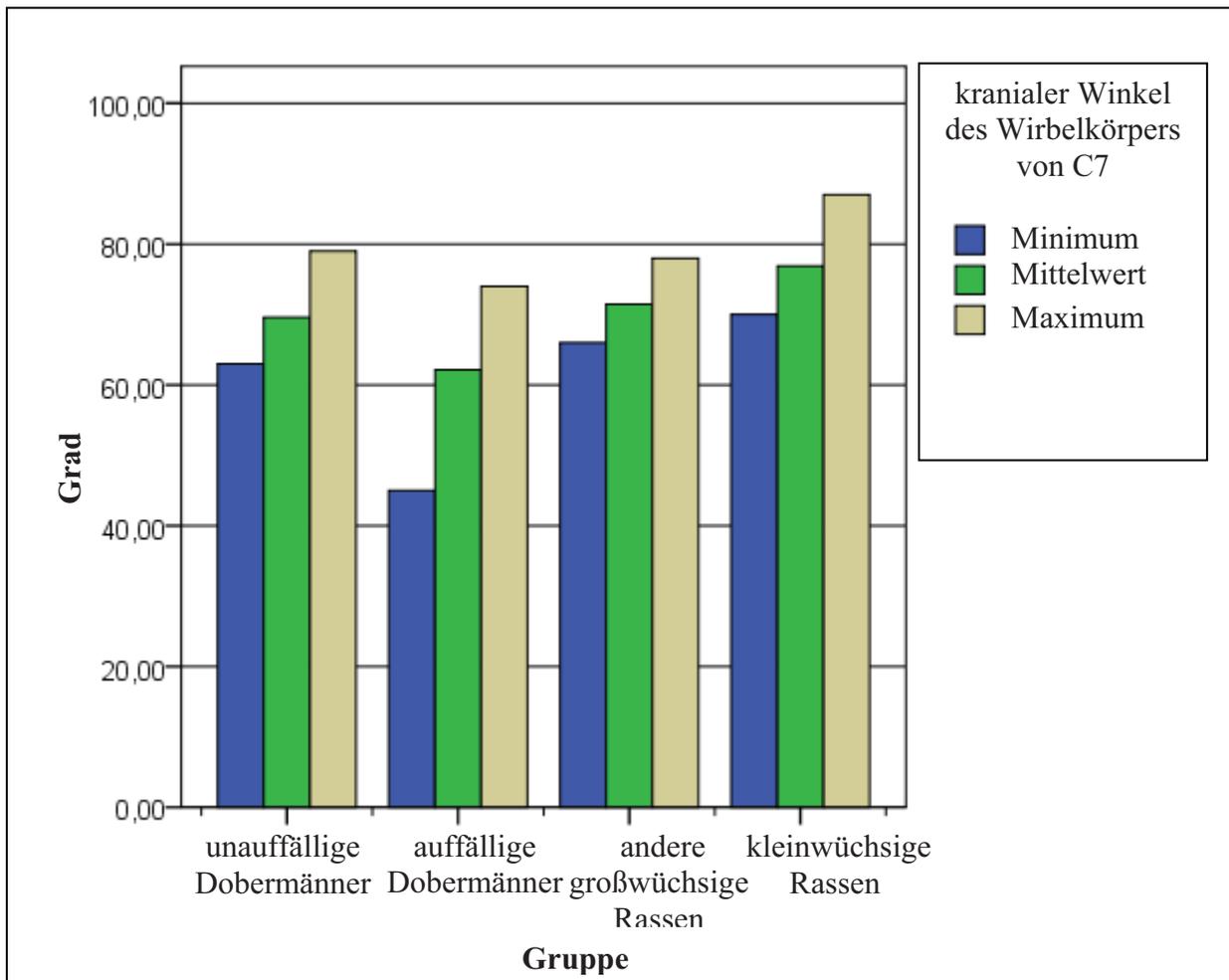


Abbildung 31: Arithmetisches Mittel und Minimal-/Maximalwerte des kranialen Winkels des Wirbelkörpers von C7.

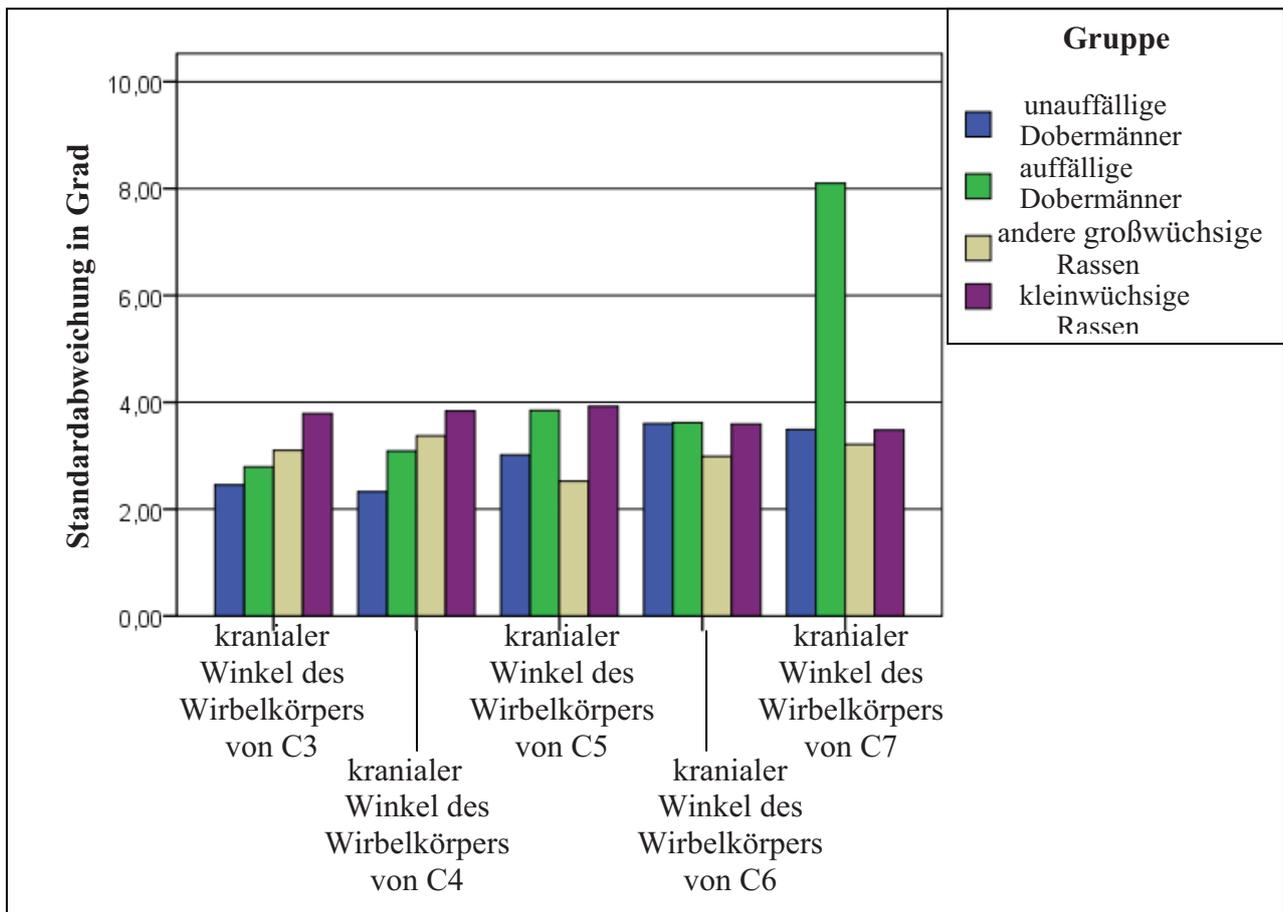


Abbildung 32: Standardabweichung des kranialen Winkels des Wirbels.

4.3.4 Kaudaler Winkel des Wirbelkörpers

Ähnlich wie beim kranialen Winkel des Wirbelkörpers nimmt der kaudale Winkel des Wirbelkörpers bei allen Gruppen nach kaudal von C3 bis C5 ab, um ab C6 zu C7 wieder zuzunehmen (Tabelle 21, Abbildung 33). Eine einzige Ausnahme stellt die Gruppe 4 dar, bei der der Mittelwert des kaudalen Winkels erst ab C7 wieder zunimmt.

Tabelle 21: Arithmetisches Mittel des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.

Die Abkürzung (*) zeigt signifikante Werte relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 1	68,030 \pm 3,167	61,614 \pm 2,969	56,785 \pm 3,035	61,485 \pm 4,013	65,071 \pm 2,955
Gruppe 2	67,518 \pm 2,991	62,206 \pm 2,350	56,965 \pm 3,417	61,137 \pm 4,331	64,206 \pm 3,20
Gruppe 3	68,923 \pm 3,003	61,666 \pm 3,271	59,000 \pm 3,203*	59,846 \pm 3,056	67,948 \pm 3,811*
Gruppe 4	66,891 \pm 3,784	64,405 \pm 4,512	62,216 \pm 4,236*	61,972 \pm 3,227	68,675 \pm 3,136*

Der Vergleich der gebildeten Gruppen untereinander zeigt kleine Abweichungen am Mittelwert des kaudalen Winkels bei allen Halswirbeln von C3 bis C7. Die Gruppe 3 und 4 zeigen lediglich einen statistisch relevanten Unterschied relativ zur Kontrollgruppe (Gruppe 1) an 2 Stellen (C5, C7). An den entsprechenden Bereichen ist der Mittelwert des kaudalen Winkels des 5. bzw. 7. Halswirbels größer als der des entsprechenden Wirbels bei der Kontrollgruppe (Tabelle 21, 22).

Tabelle 22: Signifikanz (p-Werte) des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers relativ zu der Kontrollgruppe (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner) beim Dunnett-Test („many-to-one-Vergleich“; $\alpha = 1\%$).

	C3	C4	C5	C6	C7
Gruppe 2	0,852	0,663	0,992	0,960	0,514
Gruppe 3	0,417	0,964	0,004	0,080	< 0,001
Gruppe 4	0,232	0,307	< 0,001	0,876	< 0,001

Der Vergleich des Mittelwerts des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers zeigt an keiner Stelle einen signifikanten Unterschied zwischen unauffälligen und auffälligen Tieren der Rasse Dobermann (Tabelle 21, 22).

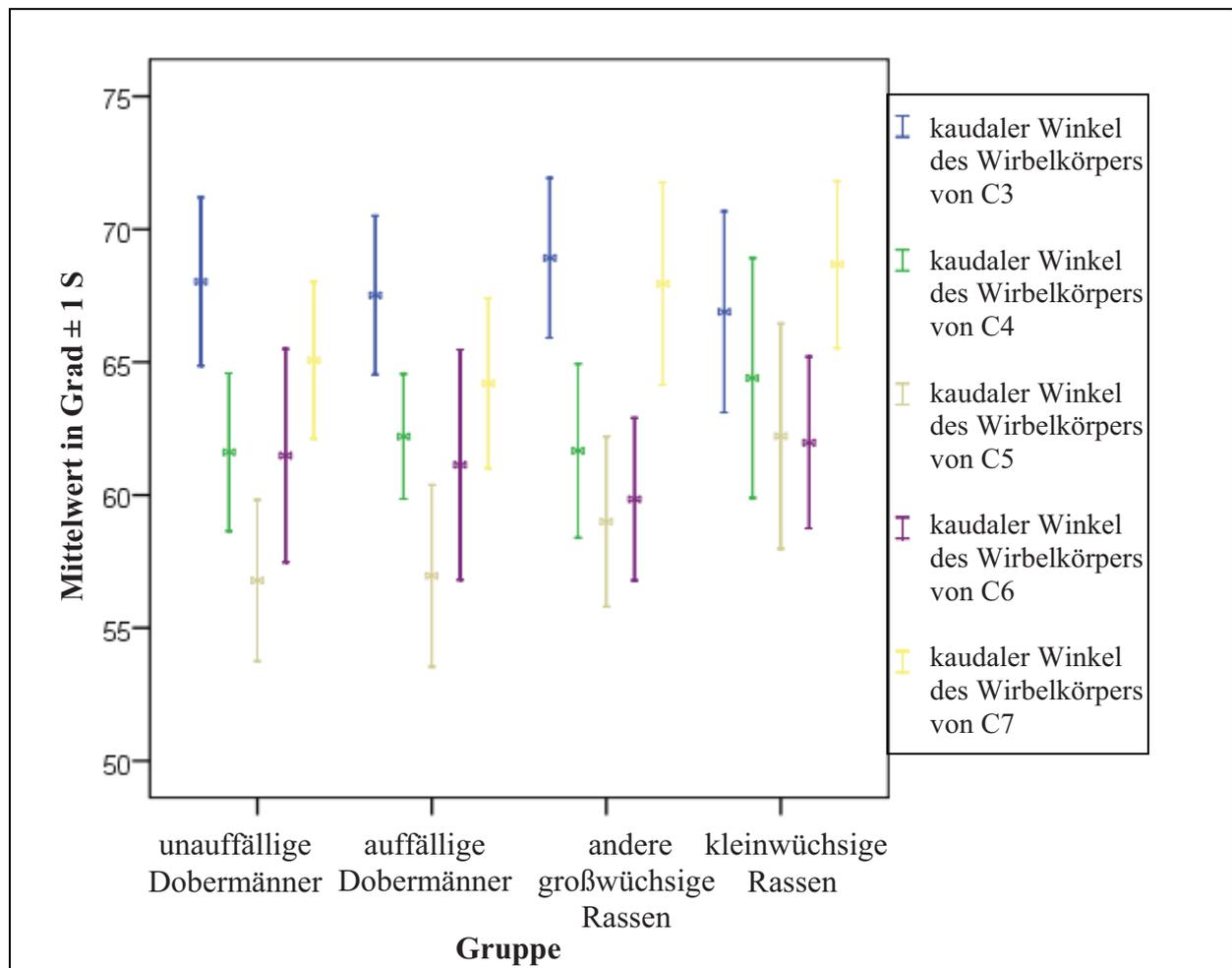


Abbildung 33: Arithmetisches Mittel des kaudalen Winkels des Wirbelkörpers \pm Standardabweichung.

4.4 Trennwerte

Um mögliche Trennwerte zwischen unauffälligen Dobermännern und Dobermännern mit kaudalen zervikalen Malformationen feststellen zu können, wurden nur Parameter berücksichtigt, die in der statistischen Auswertung einen signifikanten Unterschied zeigten. Es wurde für jeden einzelnen Parameter eine ROC-Kurve angefertigt.

Durch die visuelle Betrachtung der ROC-Kurve wurden bestimmte Schwellenwerte mit ausreichender Sensitivität und Spezifität ermittelt, die eine Unterscheidung zwischen unauffälligen und auffälligen Hunden ermöglichen können (Abbildung 34, 35, Tabelle 23, 24).

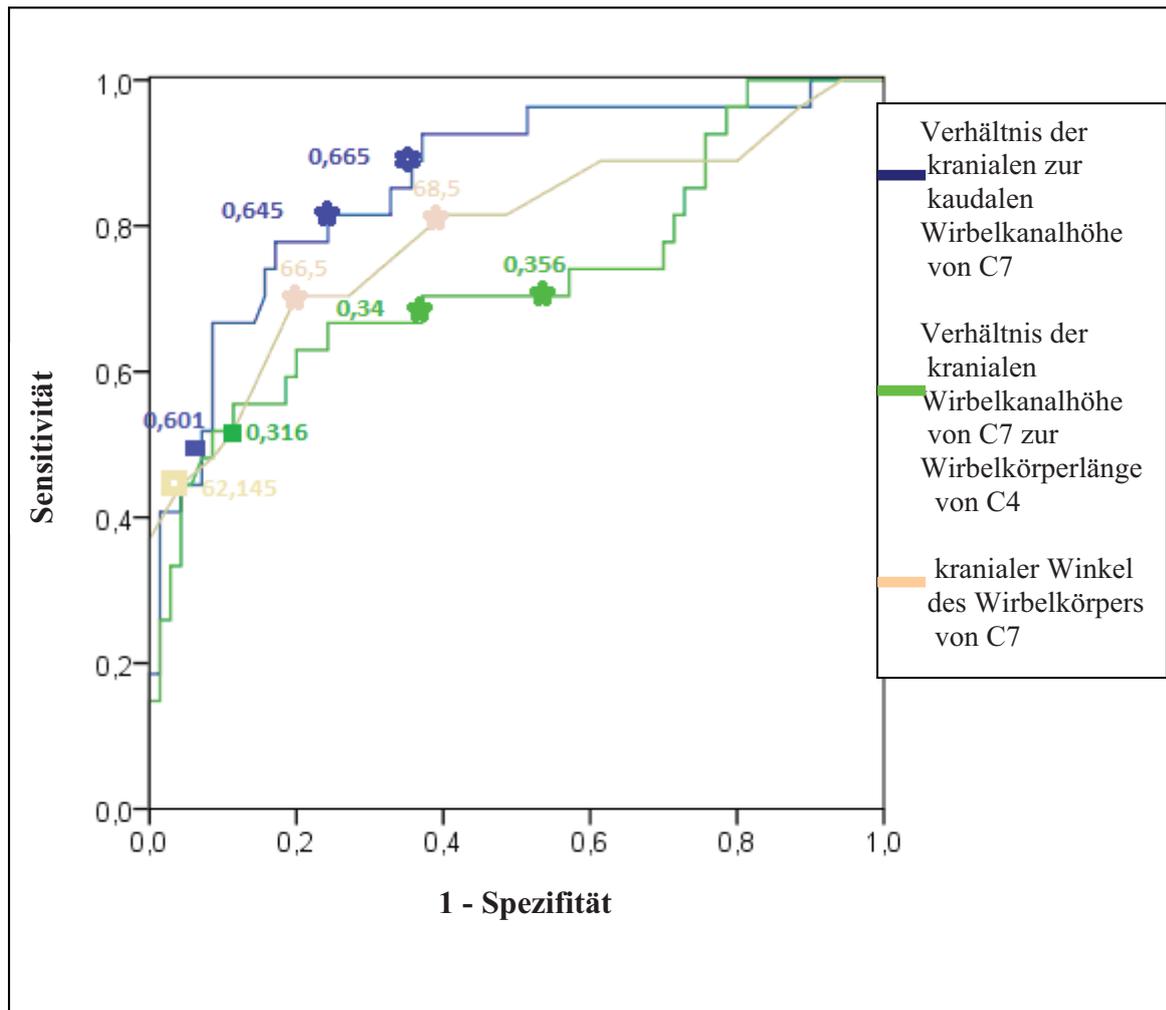


Abbildung 34: ROC-Kurven für ausgewählte Parameter, bei denen Werte kleiner als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen.

Die Punkte auf den ROC-Kurven, bei denen die höchste Sensitivität mit der höchsten Spezifität für jeden Parameter vereint ist, sind mit einem Sternchen gekennzeichnet. Viereck-Symbole zeigen die Position des arithmetischen Mittels auf der Roc-Kurve für jeden Parameter bei auffälligen Dobermännern.

Tabelle 23: Mögliche Trennwerte mit ihrer Sensitivität und Spezifität für ausgewählte Parameter, bei denen Werte kleiner als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen. Das arithmetische Mittel für jeden Parameter ist mit einem Sternchen gekennzeichnet.

Parameter	Trennwert	Sensitivität	Spezifität	Fläche unter Roc-Kurve
Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe von C7	0,645	0,815	0,757	0,859
	0,665	0,926	0,629	
	0,601*	0,481	0,929	
Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4	0,34	0,704	0,629	0,729
	0,356	0,741	0,429	
	0,316*	0,556	0,871	
kranialer Winkel des Wirbelkörpers von C7	66,5	0,704	0,8	0,789
	68,5	0,815	0,6	
	62,145*	0,444	0,957	

Tabelle 24: Mögliche Trennwerte mit ihrer Sensitivität und Spezifität für ausgewählte Parameter, bei denen Werte größer als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen. Das arithmetische Mittel für jeden Parameter ist einem mit Sternchen gekennzeichnet.

Parameter	Trennwert	Sensitivität	Spezifität	Fläche unter Roc-Kurve
Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe von C6 zur kranialen von C7	1,35	0,643	0,729	0,727
	1,285	0,786	0,5	
	1,388*	0,464	0,843	
Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C7	1,002	0,821	0,829	0,877
	0,955	0,857	0,614	
	1,111*	0,536	1	
Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4	0,749	0,75	0,871	0,877
	0,715	0,821	0,657	
	0,827*	0,536	1	

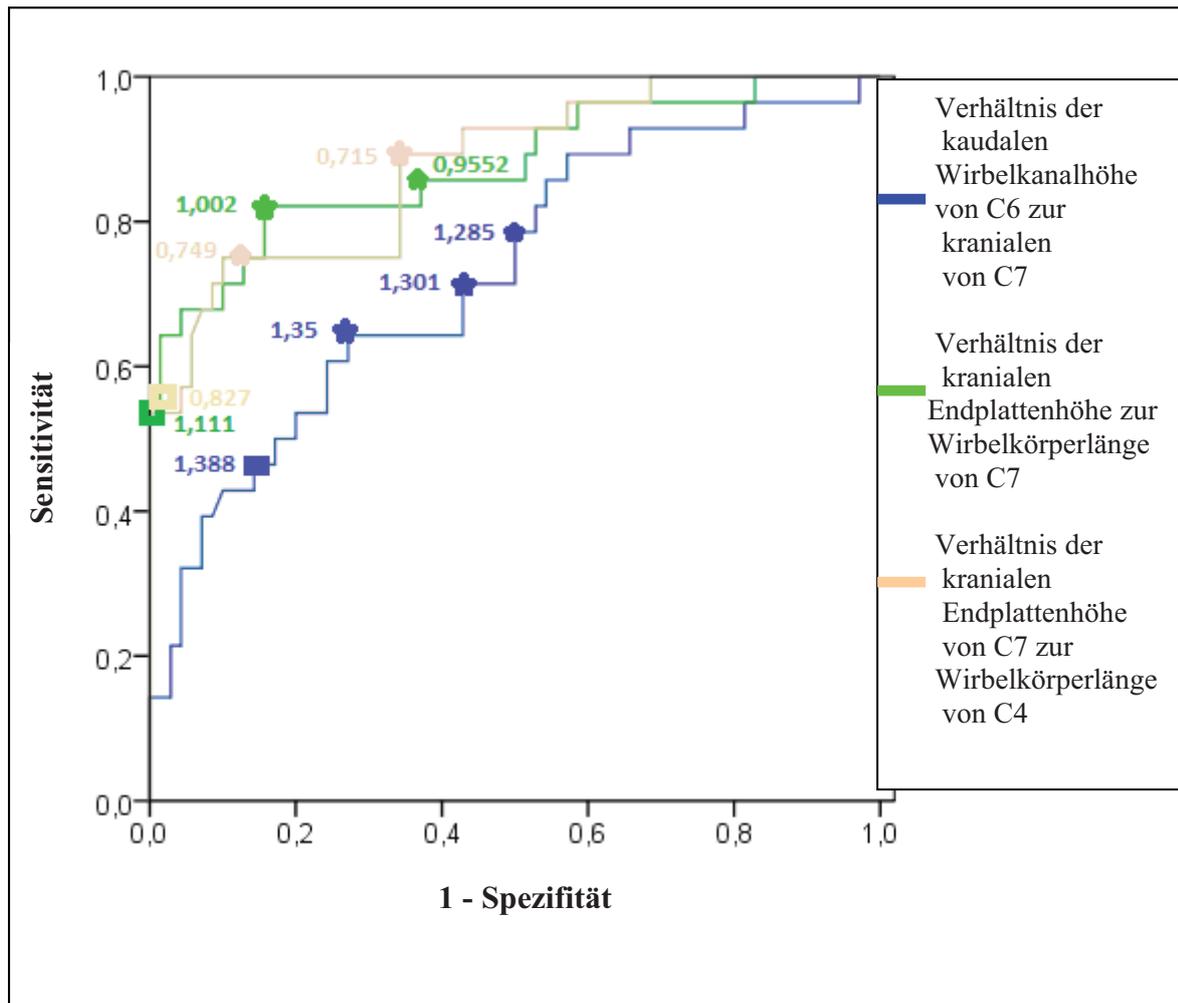


Abbildung 35: ROC-Kurven für ausgewählte Parameter, bei denen Werte größer als der Trennwert ein positives Testergebnis zeigen.

Die Punkte auf den ROC-Kurven, bei denen die höchste Sensitivität mit der höchsten Spezifität für jeden Parameter vereint ist, sind mit einem Sternchen gekennzeichnet. Viereck-Symbole zeigen die Position des arithmetischen Mittels auf der Roc-Kurve für jeden Parameter bei auffälligen Dobermännern.

5 DISKUSSION

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Röntgenmorphometrie der Halswirbelsäule, ihre biomechanische Bedeutung und deren Einfluss auf das häufige Auftreten des Wobbler-Syndroms bei der Rasse Dobermann festzustellen. Zum einen wurden bestimmte Parameter im Bezug auf den Wirbelkanal, den Wirbelkörper und die Endplatten ermittelt und diese zwischen Hunden der Rasse Dobermann und anderen Rassen verglichen. Zum anderen wurde überprüft, ob Unterschiede in den ermittelten Parametern zwischen unauffälligen Dobermännern und Dobermännern mit zervikalen vertebrealen Malformationen bestehen. Außerdem wurde versucht, Trennwerte zwischen unauffälligen und auffälligen Dobermännern für die ermittelten Parameter zu bestimmen.

5.1 Methodik der Untersuchung

Veränderungen anatomischer Strukturen der Halswirbelsäule können durch das konventionelle Röntgen, die Computertomografie (CT) und die Magnetresonanztomografie (MRT) untersucht werden (LAUTERSACK 2002; DE DECKER et al. 2011; DE DECKER et al. 2012). Für die vorliegenden Untersuchungen wurde das konventionelle Röntgen angewandt, weil diese Technik einfach verfügbar und anwendbar ist und mit einer hohen Genauigkeit die knöchernen Strukturen an der Halswirbelsäule darstellt (LAUTERSACK 2002). Darüber hinaus werden die meisten Hunde mit dieser Erkrankung zuerst in der tierärztlichen Praxis vorgestellt. Erst die vorselektierten Patienten gelangen in der Regel an Einrichtungen, denen moderne bildgebende Verfahren, wie CT oder MRT, zur Verfügung stehen (LAUTERSACK 2002). Für die vorliegende Arbeit wurden ausschließlich digitale Röntgenaufnahmen bewertet. Da das in unserer Arbeit verwendete Röntgengerät über eine Fluoroskopiefunktion verfügt, die eine perfekte Lagerung vor der Anfertigung eines Röntgenbilds beurteilen lässt, wurde auf die Narkose verzichtet und die Tiere im Wachzustand geröntgt. Die aus dem Archiv gezogenen Röntgenbilder wurden auf ihre Qualität und ihre Eignung zur morphologischen Untersuchung überprüft. Die untersuchten Dobermänner wurden anhand der röntgenologischen Befunde in 2 Gruppen unterteilt (Gruppe 1: unauffällige Dobermänner, Gruppe 2: auffällige Dobermänner). Hunde anderer Rassen wurden nach ihren Körpermassen in 2 Gruppen unterteilt (Gruppe 3: andere großwüchsige Rassen, Gruppe 4: kleinwüchsige Rassen). Die ungleichmäßige Verteilung der Hundegrößen innerhalb der großwüchsigen Hunde (Gruppe 3) kann eventuell Auswirkungen auf die Ergebnisse haben, die jedoch nicht berücksichtigt werden.

Frühere morphologische Studien an der Halswirbelsäule zeigten, dass insbesondere die Halswirbelsäule des Dobermanns in bestimmten Bereichen sehr variabel ist (LEWIS 1991; BREIT u. KÜNZEL 2001; DROST et al. 2002; LAUTERSACK 2002; DE DECKER et al. 2011). Deshalb wurden die absoluten Werte der verschiedenen gemessenen Parameter durch die Bildung definierter Quotienten relativiert. Da die zur Bildung der Quotienten verwendeten 2 Parameter in der gleichen anatomischen Ebene parallel zum Röntgendetektor bzw. Röntgenfilm liegen, sind sie gleichermaßen von der Größenabweichung betroffen (LAUBENBERGER u. LAUBENBERGER 1999). Dadurch sind die gebildeten Quotienten unabhängig von der Größenabweichung. Darüber hinaus ermöglichen solche Quotienten einen direkten Vergleich zwischen den unterschiedlichen untersuchten Gruppen.

Ein Vergleich unserer Untersuchungen mit den oben genannten morphologischen Studien ist wegen der unterschiedlichen Definition der Messpunkte und der Darstellungsmethode der Ergebnisse nur mit Einschränkungen möglich. Darüber hinaus wurde in einigen Studien (DROST et al. 2002; DE DECKER et al. 2011) die Variabilität der verwendeten Parameter, z.B. Wirbelkörperhöhe oder -länge, vernachlässigt. Im Gegensatz dazu haben wir jeden einzelnen Parameter in Bezug auf seine Variabilität überprüft und konnten zeigen, dass gerade im fraglichen Bereich C6 und C7 beim Dobermann starke Schwankungen auftreten können.

5.2 Morphologische Besonderheiten der Halswirbelsäule beim Dobermann im Vergleich zu anderen Hundegruppen

5.2.1 Der Wirbelkörper

Unabhängig von ihrer Ursache scheint die Wirbelkörpermissbildung ein Risikofaktor für die spätere Entwicklung des Wobbler-Syndroms zu sein (OLSSON et al. 1982; LEWIS 1989; BURBIDGE et al. 1995; BURBIDGE et al. 1999). Darüber hinaus stellen die aneinander grenzenden Wirbel an der Wirbelsäule Hebel dar, deren Bewegungszentrum in der Mitte des Nucleus pulposus liegt (NICKEL et al. 1992; LAUTERSACK 2002). Ändern sich die Hebelkräfte, weil die Wirbel länger oder kürzer als die physiologische Norm sind, ändert sich zufolge die bei der Bewegung entstehende Kraft, die auf den Drehpunkt (den Nucleus pulposus) einwirkt. Das könnte zu Veränderungen im Bandscheibenstoffwechsel und letztlich zur Diskopathie führen (LAUTERSACK 2002).

In unserer Arbeit wurden grundsätzlich 2 Messgrößen (die sagittale Wirbelkörperfläche und die kraniokaudale Wirbelkörperlänge) zur Untersuchung der Variabilität des Wirbelkörpers zwischen den gebildeten Hundegruppen ermittelt.

Die Wirbelkörperlänge verkürzt sich bei allen Hundegruppen nach kaudal von C3 bis C7 (Tabelle 14, Abbildung 22). Dies bestätigen Breit und Künzel (2004), die Messungen an verschiedenen Hunderassen durchführten. Die Halswirbelsäule des Dobermanns unterscheidet sich darin lediglich von kleinwüchsigen Hunderassen. Bei unauffälligen Dobermännern (Gruppe 1) ist der Quotient aus der Wirbelkörperlänge von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4 kleiner als der bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4). Dies ist auf einen relativ kurzen 7. Halswirbel beim Dobermann im Vergleich zu kleinwüchsigen Rassen zurückzuführen. Ein weiterer Unterschied zwischen den untersuchten Gruppen und der Rasse Dobermann besteht jedoch nicht. Dies widerspricht den Angaben von Lautersack (2002), der beim Dobermann einen ungewöhnlich langen 5. und kurzen 7. Halswirbel im Vergleich zu anderen Hundegruppen feststellte. Im Gegensatz dazu zeigt unsere Untersuchung, dass der 7. Halswirbel des Dobermanns länger als der bei anderen großwüchsigen Rassen (Gruppe 3) ist. Der Unterschied ist aber statistisch nicht relevant (p -Wert = 0,013). Die Unstimmigkeit zwischen den Ergebnissen von Lautersack (2002) und unseren Ergebnissen lässt sich durch den Unterschied im Aufbau der untersuchten Hundegruppen sowie in den verwendeten berechneten Verhältnissen klären. Lautersack (2002) unterteilte die untersuchten Hunde anhand der Körpermasse in 7 Gruppen. Dabei umfasste die 1. Gruppe alle untersuchten Hunde der Rasse Dobermann (sowohl klinisch unauffällige als auch klinisch auffällige Hunde, das galt für alle Gruppen). In der vorliegenden Arbeit wurden lediglich 4 Gruppen gebildet (röntgenologisch unauffällige Dobermänner, röntgenologisch auffällige Dobermänner, großwüchsige Rassen, kleinwüchsige Rassen). Darüber hinaus berechnete Lautersack 3 verschiedene Verhältnisse, um die Wirbelkörperlänge zu studieren: Das Verhältnis der dorsalen zur ventralen Wirbelkörperlänge für jeden einzelnen Halswirbel und das Verhältnis der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge des nachfolgenden Wirbels sowohl dorsal als auch ventral. Wir haben dagegen ein einziges Verhältnis (Verhältnis der Wirbelkörperlänge zur Wirbelkörperlänge von C4) berechnet. Daher ist ein direkter Vergleich zwischen unserer Ergebnissen und den Ergebnissen von Lautersack (2002) nicht möglich. Für die Wirbelkörperlänge konnten wir keine signifikante und für das Wobbler-Syndrom relevante Differenz zwischen unauffälligen (Gruppe 1) und auffälligen Hunden der Rasse Dobermann feststellen.

Allerdings deutet eine relativ kleine Standardabweichung bei allen Halswirbelsegmenten auf eine niedrige Variabilität an der Wirbelkörperlänge innerhalb jeder untersuchten Gruppe hin. Das kann man sich zunutze machen, indem man die Wirbelkörperlänge als Maßstab für weitere Messungen an der Halswirbelsäule verwendet.

Das Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 zeigt, dass die sagittale Wirbelkörperfläche bei allen Gruppen nach kaudal von C3 bis C6 leicht abnimmt, um dann bei C7 wieder zuzunehmen, sie bleibt jedoch kleiner als die Wirbelkörperfläche von C5 (Tabelle 12, Abbildung 22). Der Flächenunterschied zwischen den einzelnen Halswirbeln innerhalb jeder Gruppe ist so gering, dass der Unterschied zwischen der kleinsten und der größten Wirbelkörperfläche (C6 bzw. C3) kaum 0,07 beträgt. Der Vergleich dieses Verhältnisses zwischen den unauffälligen Dobermännern und den übrigen Gruppen ergab einen bemerkenswerten Unterschied zwischen Hunden der Rasse Dobermann (Gruppe 1) und Hunden anderer großwüchsigen Rassen (Gruppe 3). Obwohl Hunde der Rasse Dobermann zu den großwüchsigen Hunderassen geordnet werden können, ist der errechnete Quotient aus der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4 bei dieser Rasse an allen Halswirbeln von C3 bis C7 deutlich größer als der entsprechende Quotient bei anderen großwüchsigen Rassen (Gruppe 3). Hingegen konnte ein solcher Unterschied zwischen Dobermännern und kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) statistisch nicht nachgewiesen werden.

Obwohl die sagittale Wirbelkörperfläche in kaudaler Richtung von C3 bis C7 wie zuvor beschrieben leicht abnimmt, nimmt das Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat derselben Wirbelkörperlänge bei allen Gruppen nach kaudal von C3 bis C7 zu (Tabelle 10, Abbildung 21). Diese Zunahme ist offensichtlich auf die Abnahme an der Wirbelkörperlänge des entsprechenden Halswirbels zurückzuführen. Das begründet, warum die kranialen Halswirbel schmäler als die kaudalen Halswirbel auf dem Röntgenbild scheinen, obwohl die sagittale Wirbelkörperfläche der kranialen Halswirbel größer als die der kaudalen Halswirbel ist. Der Vergleich des Verhältnisses der Wirbelkörperfläche zum Quadrat derselben Wirbelkörperlänge zeigt, dass Hunde anderer großwüchsiger Rassen (Gruppe 3) die kleinsten Werte bei allen Halswirbeln von C3 bis C7 und damit die schmalsten Wirbelkörper haben. Hingegen sind die Werte der Hunde der Gruppe 1 (unauffällige Dobermänner) und 4 (kleinwüchsige Rasse) bei allen Halswirbeln mit Ausnahme von C7 fast gleich groß. Damit scheinen die Halswirbelkörper bei beiden Gruppen auf dem Röntgenbild mehr oder weniger die gleiche Form zu haben. Das errechnete Verhältnis für C7 bei kleinwüchsigen Rassen ist deutlich kleiner als das beim Dobermann. Das ist offensichtlich auf den im Vergleich zum Dobermann relativ längeren 7. Halswirbelkörper bei kleinwüchsigen Rassen zurückzuführen.

Ein Verlust oder eine neue Bildung von Knochen an der ventralen Seite der betroffenen Wirbelkörper aufgrund des abnormalen mechanischen Drucks auf diesen Wirbel wurde im

Zusammenhang mit dem Wobbler-Syndrom beschrieben (TROTTER et al. 1976). Eine quantitative Untersuchung für den beschriebenen Knochenumbau liegt dennoch bisher nicht vor. Obwohl sich die Werte der sagittalen Wirbelkörperfläche zwischen den unauffälligen und auffälligen Hunden der Rasse Dobermann nicht signifikant unterscheiden, lassen sich doch deutliche Tendenzen erkennen. Beide Verhältnisse aus der sagittalen Wirbelkörperfläche zur Wirbelkörperlänge bzw. zur Wirbelkörperlänge von C4 sind bei auffälligen Dobermännern (Gruppe 2) für C6 und C7 größer als die bei unauffälligen Dobermännern (Gruppe 1) ($p = 0,05$ bei C6 und $0,04$ bei C7 für das Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C4). Dieses Resultat war zu erwarten, da wie zuvor beschrieben der missgebildete Wirbelkörper sowohl einen Verlust als auch eine neue Bildung von Knochen erfahren kann (TROTTER et al. 1976). Diese Behauptung lässt sich durch die auffällig große Schwankungsbreite der berechneten Quotienten bei auffälligen Dobermännern erhärten. Bei einzelnen Patienten beträgt das Verhältnis der Wirbelkörperfläche zum Quadrat der Wirbelkörperlänge von C7 $0,72$, während es bei anderen $1,11$ beträgt.

Die erhöhte Standardabweichung bei allen Gruppen in Bezug auf die Wirbelkörperfläche vor allem in der kaudalen Halswirbelsäule zeigt, dass die gemessene sagittale Wirbelkörperfläche sehr variabel ist. Diese hohe Variabilität kann ebenfalls auf Messungenauigkeiten zurückgeführt werden, die durch die bei der Röntgenuntersuchung unterschiedlich entstehenden Linien der Wirbelkörperkanten verursacht werden können (siehe Kapitel 3.5.1). Dabei kann eine geringe ungenaue Lagerung der Halswirbelsäule zum Messfehler führen.

Bei Betrachtung der neu gewonnenen Erkenntnisse über die Wirbelkörperlänge und die sagittale Wirbelkörperfläche lässt sich schlussfolgern, dass die Morphologie des Halswirbelkörpers des Dobermanns mehr Gemeinsamkeiten mit der der kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) zeigen als mit der Morphologie des Halswirbelkörpers der anderen großwüchsigen Rassen (Gruppe 3). Der relevante Unterschied zwischen Hunden der Rasse Dobermann und anderen großwüchsigen Rassen ist die sagittale Wirbelkörperfläche. Die Wirbelkörperform beeinflusst die dynamischen Eigenschaften der Halswirbelsäule entscheidend (LAUTERSACK 2002). Dobermänner haben relativ dickere Halswirbelkörper und damit mehr Knochenmasse im Vergleich zu anderen großwüchsigen Rassen. Eine biomechanische Fehlbelastung der benachbarten Bandscheiben durch die relativ großen Wirbelkörper beim Dobermann ist daher nicht ausgeschlossen.

5.2.2 Endplatten

Das Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 zeigt, dass die Länge der kranialen Endplatten bei allen Gruppen von C3 bis C7 zunimmt. Die kranialen Endplatten verlängern sich bei der Rasse Dobermann (Gruppe 1) im kaudalen Halsabschnitt stärker als bei den Vergleichsgruppen. Im Vergleich zu Hunden anderer großwüchsiger Rassen (Gruppe 3) haben Dobermänner (Gruppe 1) relativ länger kraniale Endplatten in der gesamten Halswirbelsäule von C3 bis C7. Hingegen ist der Unterschied zwischen Dobermännern (Gruppe 1) und Hunden kleinwüchsiger Rassen (Gruppe 4) nur am 7. Halswirbel statistisch relevant. Die kraniale Endplatte von C7 beim Dobermann ist länger als die bei kleinwüchsigen Rassen angelegt.

Das Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge nimmt auch stark bei allen Gruppen nach kaudal von C3 bis C7 zu. Der Mittelwert der kranialen Endplattenhöhe ist dabei bei allen Gruppen von C3 bis C7 kleiner als der der entsprechenden Wirbelkörperlänge (Verhältnis < 1). Das Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge von C7 ergibt für den Dobermann (Gruppe 1) im Vergleich zu den übrigen untersuchten Gruppen einen großen Wert (0,937), da sich die kraniale Endplatte von C7 bei dieser Rasse stärker als bei den Vergleichsgruppen verlängert. Dies beobachtete auch Lautersack (2002). Dies bestätigt auch in Bezug auf die kraniale Endplattenhöhe die Sonderstellung des 7. Halswirbels bei der Rasse Dobermann. Die kraniale Endplatte des 7. Halswirbels ist bei diesen Hunden im Vergleich zu anderen Halswirbeln deutlich länger angelegt als bei den Vergleichsgruppen. Damit ist der Zwischenwirbelspalt C6/C7, insbesondere beim Dobermann, besonders lang. Das stimmt mit den Ergebnissen von Lautersack (2002) überein. Breit und Künzel (2004) stellten fest, dass unter anderem längere Endplatten in den kaudalen Halswirbeln aufgrund des zunehmenden Abstands zwischen dem Kopf und den Wirbeln (d.h. Zunahme an Länge und Gewicht des Hebelarms) notwendig sind, um die Halswirbelsäule zu verstärken. Da Dobermänner vergleichsweise lange Hälsen (d.h. einen längeren Hebelarm) haben, erklärt das eventuell die relativ langen kranialen Endplatten in der kaudalen Halswirbelsäule vor allem an C7 bei dieser Rasse.

Der Vergleich zwischen unauffälligen und auffälligen Dobermännern in Bezug auf die kraniale Endplattenhöhe ergibt für den 7. Halswirbel eine weitere Besonderheit. Die kraniale Endplattenhöhe des 7. Halswirbels ist bei auffälligen Dobermännern besonders groß (p -Wert $< 0,001$). Dabei ist der Mittelwert des Verhältnisses der kranialen Endplattenhöhe zur Wirbelkörperlänge größer als 1. Damit ist bei den meisten betroffenen Dobermännern die

kraniale Endplattenhöhe des 7. Halswirbels größer als die Wirbelkörperlänge desselben Halswirbels. Darüber hinaus ist die kraniale Endplatte des 7. Halswirbels bei auffälligen Dobermännern sehr variabel angelegt (Standardabweichung = 0,104 für das Verhältnis der kranialen Endplattenhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4). Dabei erreicht die ermittelte Schwankungsbreite bei dieser Gruppe das 0,65- bis 1,03-fache der Wirbelkörperlänge von C4. Diese hohe Schwankungsbreite ist offensichtlich auf die Vielfältigkeit des Erkrankungsbilds zurückzuführen. Besonders bei Hunden mit deutlichen degenerativen und arthrotischen Veränderungen im ventralen Wirbelkörperbereich verlängert sich die kraniale Endplatte stark. Das beobachtete auch Lautersack (2002). Dabei ist bei dieser Formveränderung nicht immer erkennbar, ob es sich um sekundäre, degenerative Umbau- oder Anpassungsprozesse, oder um anlagebedingte Veränderungen handelt (LAUTERSACK 2002).

In manchen Studien (DROST et al. 2002; DE DECKER et al. 2011) wurden die verwendeten Messgrößen (Endplattenhöhe, Wirbelkörperhöhe, Wirbelkörperlänge) der berechneten Verhältnisse nicht in Bezug auf Ihre Variabilität überprüft. Daraus resultierten widersprüchliche Ergebnisse (siehe Kapitel 2.7.1.1.1). Unsere Ergebnisse konnten jedoch zeigen, dass gerade im fraglichen Halswirbelbereich (C6 und C7) bei betroffenen Dobermännern in der Endplattenhöhe und der Wirbelkörperfläche stärkere Schwankungen auftreten als diese in der Wirbelkörperlänge der Fall ist. Darüber hinaus zeigen viele betroffene Hunde degenerative und arthrotische Veränderungen im ventralen Wirbelkörperbereich (TROTTER et al. 1976; SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989), die die Ermittlung der Endplattenhöhe sowie der Wirbelkörperhöhe beeinflussen (DROST et al. 2002). Daher raten wir von der Verwendung der Endplattenhöhe bzw. Wirbelkörperhöhe für die Berechnung der Verhältnisse zum Nachweis von Wirbelkanalstenosen beim Dobermann ab, weil das zur Fehldiagnose führen kann. Im Gegensatz dazu hat sich gezeigt, dass die Wirbelkörperlänge aufgrund ihrer geringen Schwankungsbreite besser dafür geeignet ist (siehe Kapitel 5.2.1).

Um mögliche Unterschiede in der Orientierung der Endplatten zwischen den untersuchten Gruppen festzustellen, wurden der kraniale und kaudale Winkel des Wirbelkörpers für jeden Wirbel von C3 bis C7 gemessen (Abbildung 10). Das arithmetische Mittel beider Winkel des Wirbelkörpers nimmt bei allen Gruppen nach kaudal von C3 bis C5 ab, um ab C6 zu C7 wieder zuzunehmen. Dabei ist bei allen Gruppen der kraniale Winkel von C7 am größten und

der von C5 am kleinsten. Darüber hinaus fällt bei allen Gruppen der hohe Unterschied im kranialen Winkel am kaudalen Halswirbelbereich auf, insbesondere zwischen dem 6. und 7. Halswirbel. Ein großer kranialer Winkel von C7 bedeutet, dass die kraniale Endplatte des 7. Halswirbels steiler als die von den übrigen Halswirbeln steht. Dies bestätigt noch mal im Bezug auf die kraniale Endplatte die Sonderstellung des 7. Halswirbels. Eine lange steile kraniale Endplatte des 7. Halswirbels sorgt für zusätzliche Stabilität in der sagittalen Ebene im Zwischenwirbelspalt C6/C7 gegen die enorme Hebelkraft, die auf diesen Zwischenwirbelspalt einwirkt. Dies beobachtete auch Lautersack (2002), der dynamische Untersuchungen an der Halswirbelsäule bei verschiedenen Hundrassen durchgeführt hat. Er ist davon ausgegangen, dass beim Hund die gesamte Biegefähigkeit der Halswirbelsäule im Zwischenwirbelspalt C6/C7 am geringsten ist.

Der Vergleich der kranialen Winkel zeigt, dass Hunde kleinwüchsiger Rassen (Gruppe 4) mit Abstand die größten kranialen Winkel bei allen Halswirbelsegmenten von C3 bis C7 haben. Damit stehen die kranialen Endplatten steiler als die bei Hunden anderer Gruppen.

Massive Fehlstellungen der kranialen Endplatte, wie die bei Dobermännern mit Wobbler-Syndrom deutlich nach kaudoventral abgeflachte kraniale Endplatte (TROTTER et al. 1976; LEWIS 1989), kann aus biomechanischer Sicht zur erhöhten Beweglichkeit in betroffenen Zwischenwirbelspalten und damit zur Überlastung der Bandscheiben führen. Im Vergleich zu unauffälligen Dobermännern (Gruppe 1) ist der kraniale Winkel des 7. Halswirbelkörpers bei auffälligen Dobermännern (Gruppe 2) deutlich kleiner (p -Wert $< 0,001$). Damit scheint die kraniale Endplatte von C7 bei auffälligen Dobermännern mehr nach kaudal gezogen zu sein. Das bietet dem betroffenen Zwischenwirbelspalt C6/C7 bzw. der Bandscheibe mehr Raum vor allem auf der ventralen Seite. Das steht im Einklang mit den Ergebnissen von Da Costa et al. (2006a), die feststellten, dass die betroffenen Zwischenwirbelspalten bei Dobermännern mit Wobbler-Syndrom breiter (dicker) als die bei klinisch unauffälligen Dobermännern sind. Dickere Bandscheiben und ein verlagerter Drehpunkt führen zu erhöhter Beweglichkeit bzw. Flexibilität der Wirbelsäule (LAUTERSACK 2002; BREIT u. KÜNZEL 2004). Daher kann eine anormale Orientierung der Endplatten zur Veränderung in der Breite des betroffenen Zwischenwirbelspalts und im Verlauf der Hebelachse (Drehpunkt) und damit zur anormalen Beweglichkeit bzw. Flexibilität im betroffenen Zwischenwirbelspalt führen. Daraus würde eine erhöhte Belastung der Bandscheiben folgen.

Die erhöhte Standardabweichung ($8,098^\circ$) des kranialen Winkels von C7 bei auffälligen Dobermännern zeigt, dass dieser Winkel auffällig variabel (Minimalwert: 45° , Maximalwert:

74°) ist. Diese hohe Schwankungsbreite kann auf die Vielfältigkeit des Erkrankungsbilds zurückgeführt werden und stützt damit die Theorie der multifaktoriellen Entstehungsweise der Erkrankung (SEIM u. WITHROW 1982; SHARP u. WHEELER 2005).

Unsere Untersuchungen im Bezug auf den Wirbelkörper und seine Endplatten zeigen, dass sich die Form der Halswirbelkörper bis auf den 7. Halswirbel beim Dobermann von denen bei kleinwüchsigen Rassen nur durch Orientierung der Endplatten unterscheiden lassen. Im Gegensatz dazu zeigen Hunde anderer großwüchsiger Rassen im Bezug auf die Form der Halswirbelkörper kaum Gemeinsamkeiten mit Hunden der Rasse Dobermann. Die Halswirbel des Dobermanns sind gekennzeichnet durch ihre dicken Körper und ihre vergleichsweise langen kranialen Endplatten, die aus biomechanischer Sicht zur mehr Verstärkung bzw. Stabilisierung der Halswirbelsäule dienen sollen. Das macht sich deutlich bemerkbar im kaudalen Halswirbelbereich, vor allem am 7. Halswirbel, wo die durch den langen Hals einwirkende Hebelkraft am stärksten ist. Das gilt auch für Hunde kleinwüchsiger Rassen. Es ist daher denkbar, dass Dobermänner im Vergleich zu Hunden kleinwüchsiger Rassen durch ihre mehr nach kaudal geneigten kranialen Endplatten gefährdet sind. Der Befund, dass der größte Unterschied im kranialen Winkel zwischen Hunden der Rasse Dobermann und kleinwüchsigen Rassen im kaudalen Halsbereich liegt, steht im Einklang mit der typischen Lokalisation des Wobbler-Syndroms beim Dobermann an der kaudalen Halswirbelsäule (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989). Manche Tiere können aber diese überdurchschnittliche Neigung der kranialen Endplatte der kaudalen Halswirbel (z.B. Hunde der Gruppe 2) übertreffen, sodass insbesondere bei diesen Hunden die Wahrscheinlichkeit für eine hohe Belastung der Bandscheiben und damit für eine Diskopathie erhöht ist. Diese anatomischen Abweichungen vor allem am 7. Halswirbel können beim Dobermann im Vergleich mit den Vergleichsgruppen wichtige Risikofaktoren für die degenerativen Veränderungen der Bandscheiben darstellen.

5.2.3 Der Wirbelkanal

Das Verhältnis vom kaudalen Wirbelkanalausgang zum kranialen Eingang des folgenden Wirbels ist bei allen untersuchten Gruppen von C3/C4 bis C7/T1 annähernd konstant. Auffällig ist das Verhältnis zwischen Aus- und Eingang des Wirbelkanals bei kleinwüchsigen Rassen. Bei ihnen ist die kaudale Wirbelkanalhöhe und die kraniale des nachfolgenden Wirbels fast gleich groß (Verhältnis ≈ 1). Das bedeutet, dass der Spinalkanal in diesem Bereich zylinderförmig ist. Dieser Befund zeigt im Zusammenhang mit dem ebenfalls sehr

niedrigen Unterschied zwischen kranialem und kaudalem Wirbelkanal der einzelnen Wirbel, dass Hunde kleinwüchsiger Rassen durchgehend von C3 bis C7 fast einen zylinderförmigen Halsspinalkanal haben. Die Gruppe unauffälliger Dobermänner (Gruppe 1) weicht dabei kaum von der Gruppe 3 (andere großwüchsige Rasse) ab, da das Verhältnis an allen Wirbelsegmenten von C3/C4 bis C7/T1 immer größer als 1 ist. Das bedeutet, dass bei diesen Gruppen der Wirbelkanalausgang immer größer als der Wirbelkanaleingang des nachfolgenden Wirbels ist. Damit bildet dieser Teil des Spinalkanals einen Trichter, seine große Öffnung liegt kranial. Dieser Teil des Spinalkanals ist vom flächigen elastischen Ligamentum flavum bedeckt, das die Wirbelbögen benachbarter Wirbel verbindet (NICKEL 1992). Eine Studie von Lewis et al. (1989) an 224 erkrankten Hunden zeigt, dass beim Dobermann die Rückenmarkskompression in den meisten Fällen durch Hypertrophie des dorsalen Anulus fibrosus und bei etwa 75 % zusätzlich durch Hypertrophie des Ligamentum flavum verursacht wurde. Eine Bandhypertrophie entsteht durch erhöhte Belastung infolge unphysiologischer Beweglichkeit und führt isoliert selten zu klinischen Ausfällen, wobei sie in Kombination mit der Missbildung des betreffenden Wirbels oder lokaler Bandscheibenveränderungen die Kompression zusätzlich verstärkt (LAUTERSACK 2002). Daher könnte bei Hunden großwüchsiger Rassen die durch den großen Höhenunterschied zwischen kaudalem Wirbelkanalausgang und kranialem Eingang des folgenden Wirbels bedingte schiefe Lage des Ligamentum flavum zur Überlastung und damit zur Hypertrophie dieses Ligamentum führen. Beim Dobermann liegt der größte Höhenunterschied zwischen dem kaudalen Wirbelkanalausgang und dem kranialen Eingang 2-er benachbarter Wirbel zwischen C6 und C7, wo der Mittelwert der kaudalen Wirbelkanalhöhe von C6 das 1,29-fache der kranialen Wirbelkörperhöhe von C7 beträgt.

In unserer Untersuchung stellte sich eine kraniale Stenose eines Wirbelkanals, die durch dorsoventrale Abflachung des Wirbelkanals bedingt ist, in einem großen Verhältnis zwischen kaudaler Wirbelkanalöffnung und kranialer Wirbelkanalöffnung des nachfolgenden Wirbels dar. Wir konnten einen deutlichen Unterschied zwischen unauffälligen (Gruppe 1) und auffälligen (Gruppe 2) Dobermännern im Verhältnis des Wirbelkanalausgangs von C6 zum Wirbelkanaleingang von C7 feststellen. Bei auffälligen Dobermännern ist das Verhältnis auffallend groß (p -Wert $< 0,001$), was auf eine überdurchschnittlich große Differenz zwischen den beiden Messpunkten zurückzuführen ist. Das kann ein Hinweis sowohl auf eine enge kraniale Wirbelkanalöffnung von C7 als auch auf eine große kaudale Wirbelkanalöffnung von C6 bei auffälligen Dobermännern sein.

Ein trichterförmiger Wirbelkanal des 6. und 7. Halswirbels beim Dobermann soll ein Risikofaktor für die Kompression des Rückenmarks an der verengten kranialen Öffnung des jeweiligen Halswirbels darstellen (LEWIS 1991; BREIT u. KÜNZEL 2001; DE DECKER et al. 2011). Diese Trichterform kann durch die Verwendung des Verhältnisses der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe erkannt werden. Ein kleineres Verhältnis bezeichnet einen stärkeren trichterförmigen Wirbelkanal (Abbildung 12). Der Vergleich von kranialer zu kaudaler Wirbelkanalhöhe ergab für den Dobermann eine Besonderheit im Vergleich zu den übrigen Gruppen. Die kaudale Wirbelkanalöffnung nimmt im Vergleich zur kranialen Öffnung bis zum 7. Halswirbel an Größe zu, dagegen nähern sich bei den Gruppen 3 und 4 beide Öffnungen ab dem 6. Halswirbel in ihrer Größe an. Zu denselben Ergebnissen kamen auch Breit und Künzel (2001) und Lautersack (2002). Anders als bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) ist das Verhältnis der kranialen zur kaudalen Wirbelkanalhöhe von C3 bis C7 bei großwüchsigen Rassen kleiner (Gruppe 1 und 3), was auf eine dorsoventrale Verengung der kranialen Wirbelkanalöffnung hinweisen kann. Das stimmt auch mit den Ergebnissen von Breit und Künzel (2001) überein. Eine dorsoventrale Verengung der kranialen Wirbelkanalöffnung ist ein häufiger Befund bei Hunden mit zervikaler vertebraler Malformation (WRIGHT et al. 1973; TROTTER et al. 1976; LEWIS 1991; SHARP et al. 1992; DE DECKER et al. 2011). Aufgrund der fast ähnlichen kranialen und kaudalen Wirbelkanalhöhe der kleinwüchsigen Rassen ist der Wirbelkanal zylinderförmig. Auffällig ist das Verhältnis von Wirbelkanaleingang zum Ausgang von C6 und C7 bei Dobermännern (Gruppe 1). Diese Wirbel, vor allem C7, besitzen das niedrigste Verhältnis im Vergleich zu Hunden anderer großwüchsiger Rassen (Gruppe 3) und damit die größte Differenz zwischen kranialer und kaudaler Wirbelkanalhöhe. Hingegen zeigen Hunde anderer großwüchsiger Rassen das niedrigste Verhältnis von Wirbelkanaleingang zum Ausgang im kranialen Halswirbelbereich (von C3 bis C5). Dies steht in Einklang mit der typischen Lokalisation des Wobbler-Syndroms bei unterschiedlichen Hunderassen, wo die Rückenmarkskompression beim Dobermann an der kaudalen Halswirbelsäule (C5/C6 und C6/C7) und bei anderen Rassen meistens weiter kranial (C2/C3, C3/C4 und C4/C5) liegt (LEWIS 1989).

Der extreme trichterförmige Wirbelkanal des 7. Halswirbels bestätigt die Sonderstellung dieses Halswirbels beim Dobermann und kann ein hoher Risikofaktor für die Kompression des Rückenmarks bei der Entwicklung von Raumforderungen im Wirbelkanal darstellen.

Der Vergleich zwischen unauffälligen und auffälligen Dobermännern zeigt nur einen statistisch signifikanten Unterschied im Verhältnis des Wirbelkanaleingang zum

Wirbelkanalausgang von C7 (p -Wert $< 0,001$). Bei auffälligen Dobermännern ist das Verhältnis auffallend klein, was auf eine überdurchschnittlich große Differenz zwischen den beiden Messpunkten zurückzuführen ist. Im Zusammenhang mit dem ebenfalls sehr großen Verhältnis zwischen kaudaler Wirbelkanalhöhe von C6 zu kranialer Wirbelkanalhöhe von C7 bei auffälligen Dobermännern ist dies ein deutlicher Hinweis auf eine enge kraniale Wirbelkanalöffnung bei diesen Hunden. Lewis (1991) und De Decker et al. (2011) konnten ebenfalls feststellen, dass die Differenz zwischen der kranialen und kaudalen Wirbelkanalhöhe des 7. Halswirbels bei klinisch auffälligen Dobermännern deutlich größer als die bei klinisch unauffälligen Dobermännern ist. In beiden Studien wurde diese auffällige Differenz auf eine verengte kraniale Wirbelkanalöffnung bei betroffenen Hunden zurückgeführt. Die Ursache der auffälligen Differenz zwischen kranialer und kaudaler Wirbelkanalhöhe muss dabei aber nicht in jedem Fall einen pathologischen Zustand beschreiben. Eine große kaudale Wirbelkanalöffnung führt nicht zur Verengung des Wirbelkanals, während eine kleine kraniale Wirbelkanalöffnung die Ursache für eine statische oder dynamische Kompression sein kann. In beiden Fällen ergibt der Quotient aus kranialer zu kaudaler Öffnung einen kleinen Wert. Eine weitere statistische Aufarbeitung zur Differenzierung der Ursache des auffällig kleinen Verhältnisses ist notwendig. Deshalb wurden in unserer Arbeit zwei weitere Quotienten im Bezug auf die Wirbelkanalhöhe gebildet und ausgewertet: Das Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 und das Verhältnis der kaudalen Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperlänge von C4 für jeden Halswirbel von C3 bis C7.

Die statistische Bewertung dieser beiden Verhältnisse zeigt, dass bei allen Gruppen sowohl der kraniale sagittale Wirbelkanaldurchmesser als auch der kaudale sagittale Wirbelkanaldurchmesser von kranial nach kaudal zunimmt. Das stimmt nicht mit der typischen Lokalisation des Wobbler-Syndroms beim Dobermann an der kaudalen Halswirbelsäule (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989) überein. Diese Unstimmigkeit lässt sich aber durch die Lage und Form des Rückenmarks erklären. Am Übergang vom Hals- in das Brustmark ist das Rückenmark zur Halsschwellung (Intumescentia cervicalis) verdickt (FREWEIN 1994). Das ist das Ursprungsgebiet der Nerven für die Vordergliedmaßen, des Plexus brachialis. Die Ausdehnung der Halsschwellung unterliegt individuellen Schwankungen und die Angaben schwanken für den Hund in den Grenzen von C6 bis T1 (FREWEIN 1994). Da Costa et al. (2006a) stellten anhand einer MRT-Studie an der Morphometrie der Halswirbelsäule des Dobermanns fest, dass der durch das Rückenmark beanspruchende Anteil des Halswirbelkanals von kranial nach kaudal zunimmt. Dabei beträgt

dieser Anteil in Höhe des 2. Halswirbels 32 % und in Höhe des 6. bzw. 7. Halswirbels 45 % bzw. 42 %.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) die kaudale Wirbelkanalhöhe des 6. Halswirbels am größten ist. Hingegen stellt sich bei großwüchsigen Rassen (Gruppe 1 und 3) die kaudale Wirbelkanalhöhe des 7. Halswirbels am größten dar. Das widerspricht zum Teil den Ergebnissen von Breit und Künzel (2004), die in einer anatomischen Studie Messungen an der Halswirbelsäule verschiedener Hunderassen durchführten. Sie stellten fest, dass die kaudale Wirbelkanalhöhe des 6. Halswirbels bei großwüchsigen und kleinwüchsigen Hunderassen am größten ist. Sie weisen aber darauf hin, dass es innerhalb der großwüchsigen Hunderassen, insbesondere im kaudalen Halswirbelbereich, zu rasseabhängigen Unterschieden kommen kann. Sie stellten z.B. fest, dass sich der maximale Wirbelkanaldurchmesser bei mehreren Rassen (Dobermann, Dogge, Rottweiler) weiter kaudal im Bereich von C7 befindet. Dieser Befund stimmt mit unseren Ergebnissen überein. Eine Schlussfolgerung ist, dass der sagittale Durchmesser des Halswirbelkanals bei großwüchsigen Hunderassen rasseabhängig individuellen Schwankungen unterliegt.

Eine relative Stenose des Wirbelkanals findet sich in der Literatur als ein Risikofaktor für die Entstehung des Wobbler-Syndroms bei erwachsenen Dobermännern (LEWIS 1991; DA COSTA et al. 2006a; DE DECKER et al. 2011). Bei einer relativen Stenose ist der Wirbelkanaldurchmesser kleiner als „normal“. Er selbst führt aber nicht zur Kompression des Rückenmarks (LINCOLN 1992). Solche Veränderungen bringen trotzdem ein erhöhtes Risiko bei der Entwicklung von Raumforderungen im Wirbelkanal, wie altersbedingte Bandscheibendegenerationen und Protrusionen, klinisch zu werden (LINCOLN 1992; DE DECKER et al. 2011). Eine relative Stenose des Wirbelkanals hängt nicht nur von der Größe des Wirbelkanals, sondern auch von der Größe des Rückenmarks beim gleichen Patienten ab (DA COSTA et al. 2006a). Nur der Wirbelkanal kann aber durch das konventionelle Röntgen untersucht werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass relativ zur Wirbelkörperlänge von C4 der kraniale und kaudale sagittale Durchmesser des Wirbelkanals von C3 bis C7 mit Abstand am größten bei kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) und am kleinsten beim Dobermann (p-Wert < 0,001) ist. Das macht sich vor allem im kaudalen Halswirbelbereich bemerkbar, wo der Unterschied zwischen Hunden der Rasse Dobermann und kleinwüchsigen Rassen etwa doppelt so groß ist (Tabelle 7, Abbildung 17).

Das beobachteten auch Breit und Künzel (2004). Unsere Ergebnisse im Bezug auf den sagittalen Wirbelkanaldurchmesser sind mit den Ergebnissen von Breit und Künzel (2004) weitgehend übereinstimmend. Wir gehen davon aus, dass die Wirbelkörperlänge von C4 eine geeignete Messgröße ist, um sie als ein Maßstab für weitere Messungen an der Halswirbelsäule beim Verdacht auf eine relative Wirbelkanalstenose beim Dobermann zu benutzen.

Darüber hinaus zeigt der Vergleich zwischen unauffälligen und auffälligen Dobermännern einen signifikanten und für Wobbler-Syndrom relevanten Unterschied im Verhältnis der kranialen Wirbelkanalhöhe von C7 zur Wirbelkörperlänge von C4. Ein weiterer Unterschied in der kranialen oder kaudalen Wirbelkanalhöhe zwischen beiden Gruppen besteht jedoch nicht. Die kraniale Wirbelkanalhöhe des 7. Halswirbels relativ zur Wirbelkörperlänge von C4 ist bei auffälligen Dobermännern um 12,5 % geringer als bei unauffälligen Dobermännern. Das stimmt mit den Ergebnissen von Lewis (1991) überein. Er stellte fest, dass die kraniale Wirbelkanalöffnung von C7 männlicher erkrankter Dobermänner um 17 %, die weiblicher erkrankter Tiere um 15 % geringer als die gesunder Hunde ist. Dorst et al. (2002) und De Decker et al. (2011) konnten für jeden untersuchten Halswirbel (C6 und C7 bzw. von C3 bis C7) Unterschiede zwischen klinisch unauffälligen Hunden und Hunden mit Wobbler-Syndrom im Verhältnis der Wirbelkanalhöhe zur Wirbelkörperhöhe feststellen. Es wurde davon ausgegangen, dass sich bei betroffenen Dobermännern eine generalisierte relative Stenose des gesamten Halswirbelkanals entwickelt (DE DECKER et al. 2011). Die Messungen und der Aufbau der untersuchten Gruppen in der vorliegenden Arbeit unterscheiden sich von denen vergleichbarer Studien beim Dobermann (DROST et al. 2002; DE DECKER et al. 2011). In den früheren Studien wurde das Verhältnis des Wirbelkanaldurchmessers zur Wirbelkörperhöhe sowie zur Wirbelkörperlänge mit anderen Messpunkten berechnet (siehe Kapitel 2.7.1.1.1). Daher ist ein direkter Vergleich zwischen unseren Ergebnissen und den Ergebnissen von beiden Studien nicht möglich.

In Übereinstimmung zu den Untersuchungen an der Halswirbelsäule verschiedener Hunderassen (BREIT u. KÜNZEL 2001) konnten wir feststellen, dass großwüchsige Hunderassen im Vergleich zu kleinwüchsigen Hunderassen einen relativ engen zervikalen Spinalkanal haben. Das kann das häufige Auftreten zervikaler Spondylomyelopathien bei großwüchsigen Hunderassen im Vergleich zu kleinwüchsigen Rassen erklären (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989; SHARP u. WHEELER 2005). Darüber hinaus konnten wir

zeigen, dass Dobermänner relativ zur Wirbelkörperlänge von C4 den kleinsten zervikalen Spinalkanal unter den untersuchten großwüchsigen Rassen haben. Dieser Befund kombiniert mit einem extremen trichterförmigen Wirbelkanal von C7 unterstützt die Theorie, dass eine relative Stenose des Wirbelkanals beim Dobermann ein Risikofaktor für die Entwicklung der kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie darstellt (DA COSTA et al. 2006a; DE DECKER et al. 2011).

5.3 Trennwerte

Ein Ziel dieser Arbeit war es, ein Screeningprogramm zu entwickeln, um frühe Wirbelmissbildungen bei jungen Tieren zu erkennen, die zur kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie führen können. Um ein solches Screeningprogramm festzulegen, müssen zuerst Trennwerte für die in dieser Arbeit berechneten Verhältnisse ermittelt werden, die den pathologischen vom physiologischen Bereich trennen können.

Wir konnten durch unsere Arbeit signifikante morphologische und für das Wobbler-Syndrom relevante Unterschiede der Halswirbelsäule bei Patienten der Rasse Dobermann mit zervikalen vertebrealen Malformationen gegenüber röntgenologisch unauffälligen Hunden derselben Rasse feststellen. Beide Gruppen unterscheiden sich statistisch signifikant lediglich in der Morphologie des 7. Halswirbels. Die morphologischen Unterschiede betreffen dabei sowohl den Wirbelkanal als auch den Wirbelkörper und ihre Endplatten. Das unterstützt die Theorie, dass es sich um eine multifaktorielle Ätiologie handelt. Dabei war die Bedeutung einzelner morphologischer Veränderungen für die Wahrscheinlichkeit der Erkrankung nicht möglich zu ermitteln.

Obwohl die in dieser Arbeit verwendeten Verhältnisse ein Potential zeigen, sie als „screening tool“ zu verwenden, scheint es aus verschiedenen Gründen sehr schwierig durch einzelne anatomische Abweichungen der Halswirbelsäule beim Dobermann eine genaue Prognose für die Entstehung des Wobbler-Syndroms zu stellen. Zusätzlich zur multifaktoriellen Natur der Erkrankung zeigen erhöhte Standardabweichungen der berechneten Verhältnisse bei auffälligen Dobermännern, dass die in unserer Arbeit verwendeten anatomischen Parameter auffällig variabel bei diesen Hunden angelegt sind. Dies zeigt sich auch in der hohen Schwankungsbreite einzelner Verhältnisse bei auffälligen Dobermännern im Vergleich zu unauffälligen Dobermännern (Gruppe 1). Die aus den Daten unserer Untersuchungen erstellten Fehlerbalken zeigen ebenfalls eine beträchtliche Überlappung der Verhältniszerte zwischen auffälligen und unauffälligen Dobermännern (Abbildung 11, 14, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 30, 33). Ferner konnte die visuelle Betrachtung der ROC-Kurve nicht für jedes

berechnete Verhältnis einen möglichen Trennwert mit ausreichend hoher Sensitivität und Spezifität feststellen, der eindeutig zwischen röntgenologisch unauffälligen und auffälligen Hunden unterscheiden lässt (Abbildung 34, 35; Tabelle 23, 24). Darüber hinaus beruhen unsere Ergebnisse auf Unterschieden zwischen röntgenologisch auffälligen (mit zervikalen vertebrealen Malformationen) und unauffälligen Dobermännern, abgesehen von ihrem neurologischen klinischen Zustand zur Untersuchungszeit. Lewis (1991) konnte bei 20 von 28 Patienten der Rasse Dobermann mit entsprechenden röntgenologischen Veränderungen die Entstehung des Wobbler-Syndroms innerhalb von 5 Jahren vorhersagen. Diese röntgenologischen Veränderungen können sich aber auch bei klinisch unauffälligen Dobermännern entwickeln (BURBIDGE et al. 1999; DE DECKER et al. 2010). Aus diesen Gründen können die in der vorliegenden Arbeit berechneten Verhältnisse Hinweise für relative Wirbelkanalstenosen und/oder Endplatten- bzw. Wirbelkörpermissbildungen beim Dobermann liefern. Sie können aber keine präzisere Aussage über die Wahrscheinlichkeit der Entstehung des Wobbler-Syndroms treffen.

Wir konnten durch unsere Arbeit signifikante morphologische Unterschiede der Halswirbelsäule, vor allem des kaudalen Halswirbelabschnitts, bei Hunden der Rasse Dobermann gegenüber Hunden der Vergleichsgruppen feststellen, die das Auftreten einer Diskopathie und einer Kompression des Rückenmarks begünstigen können. Einige Tiere, vor allem Hunde der Gruppe 2 (auffällige Dobermänner), übertreffen jedoch nochmals die überdurchschnittlichen anatomischen Parameter der Halswirbelsäule, sodass insbesondere bei diesen Hunden die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten des Wobbler-Syndroms erhöht ist. Dadurch bestätigen unsere Ergebnisse die Aussage von Lautersack (2002), dass die Prädisposition für diese Erkrankung neben möglichen weiteren Faktoren durch die Dobermann typische Wirbelmorphologie bedingt ist und die Summation von Negativeinflüssen die Theorie der multifaktoriellen Entstehungsweise der Erkrankung stützt.

Die in dieser Arbeit berechneten Verhältnisse können zusätzliche Informationen zu Risikofaktoren und zur Pathogenese der kaudalen zervikalen Spondylomyelopathie beim Dobermann anbieten und als Referenzwerte für weitere Untersuchungen dienen. Da bei Dobermännern die klinisch-neurologischen Erscheinungen im Zusammenhang mit dem Wobbler-Syndrom erst im relativen hohen Durchschnittsalter von 6 bis 7 Jahren auftreten (SEIM u. WITHROW 1982; LEWIS 1989), könnten Längsschnittstudien dabei behilflich sein festzustellen, ob diese berechneten Verhältnisse als „screening tool“ dienen können.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Untersuchungen war es, die Röntgenmorphometrie der Halswirbelsäule beim Dobermann im Vergleich zu anderen Hunderassen, ihre biomechanische Bedeutung und deren Einfluss auf die Ätiologie und Pathogenese des Wobbler-Syndroms beim Dobermann zu untersuchen. Außerdem wurde überprüft, ob weitere morphologische Unterschiede der Halswirbelsäule zwischen röntgenologisch unauffälligen Dobermännern und Dobermännern mit zervikaler vertebraler Malformation bestehen. Gleichzeitig liefert die Arbeit Referenzwerte für verschiedene Parameter der Halswirbelsäule beim Dobermann, die für ein prophylaktisches Screening der Hunde dieser Rasse benutzt werden könnte. Im Literaturteil wird ein Überblick zum Krankheitsbild des Wobbler-Syndroms beim Dobermann gegeben. Dabei finden ätiologische, pathogenetische, diagnostische sowie therapeutische Gesichtspunkte Beachtung.

Ausgewertet wurden Röntgenbilder der Halswirbelsäule von insgesamt 175 Hunden, davon 99 der Rasse Dobermann. Die Hunde wurden in insgesamt 4 Gruppen eingeteilt: röntgenologisch unauffällige (= ohne zervikale vertebrale Malformationen) Dobermänner (Gruppe 1, n = 70), röntgenologisch auffällige (= mit zervikale vertebrale Malformationen) Dobermänner (Gruppe 2, n = 29), Hunde anderer großwüchsiger Rassen (Gruppe 3, n = 39) und Hunde kleinwüchsiger Rassen (Gruppe 4, n = 37). Anhand von verschiedenen Messungen an Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule der Gruppe 1 wurden zunächst Grundwerte ermittelt, die mit den Messungen aus den 3 anderen Gruppen (Gruppe 2, 3 und 4 statistisch durch eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) und den „many-to-one-Vergleich“ (Dunnnett-Test) verglichen wurden. Darüber hinaus wurden für bestimmte Parameter Roc-Kurven angefertigt, um mögliche Trennwerte zwischen röntgenologisch unauffälligen und auffälligen Dobermännern festzustellen. Für die untersuchten Hundegruppen wurden vergleichend morphometrisch folgende Parameter ermittelt: Sagittale Wirbelkörperfläche, kraniale und kaudale sagittale Wirbelkanaldurchmesser, kraniale dorsoventrale Wirbelkörperhöhe, kraniokaudale Wirbelkörperlänge und kranialer und kaudaler Winkel des Wirbelkörpers.

Es wurde anhand dieser Untersuchungen festgestellt, dass beim Dobermann (Gruppe 1) anatomische Unterschiede im Vergleich zu anderen großwüchsigen Rassen (Gruppe 3) und kleinwüchsigen Rassen (Gruppe 4) bestehen, die das Auftreten einer Diskopathie und/oder einer Kompression des Rückenmarks begünstigen können. Eine besondere Rolle kommt der Orientierung und der Länge der kranialen Endplatten und der kranialen Wirbelkanalhöhe der

kaudalen Halswirbel, vor allem des 7. Halswirbels zu. Im Vergleich zu den anderen Gruppen haben Dobermänner (Gruppe 1) die kleinste kraniale Wirbelkanalhöhe sowie die längsten und nach kaudal abgeflachtesten kranialen Endplatten.

Röntgenologisch unauffällige Dobermänner und auffällige Dobermänner unterscheiden sich lediglich in Morphologie des 7. Halswirbels. Im Vergleich zur Kontrollgruppe (Gruppe 1) zeigen auffällige Dobermänner (Gruppe 2) relativ zur Wirbelkörperlänge von C4 eine um 12,5 % verringerte kraniale Wirbelkanalhöhe des 7. Halswirbels, die eine statistische und/oder dynamische Kompression des Rückenmarks bewirken kann. Darüber hinaus ist die kraniale Endplatte des 7. Halswirbel bei auffälligen Dobermännern länger und nach kaudal abgeflachter als die bei unauffälligen Dobermännern. Diese Abnormalitäten können sowohl angeboren als auch eine Folge degenerativer Veränderungen sein. Dennoch konnte die visuelle Betrachtung der ROC-Kurve nicht für jedes berechnetes Verhältnis einen möglichen Trennwert zwischen röntgenologisch auffälligen und unauffälligen Dobermännern mit ausreichend hoher Sensitivität und Spezifität feststellen.

Da beim Dobermann die klinisch-neurologischen Erscheinungen im Zusammenhang mit der zervikalen Spondylomyelopathie erst im relativen hohen Durchschnittsalter von 6 bis 7 Jahren auftreten, sind allerdings für das Screeningprogramm weitere Untersuchungen notwendig, um eine Korrelation zwischen Messungen und Auftreten des Krankheitsbildes herzustellen.

7 SUMMARY

Radiographic morphometry of cervical vertebrae in Doberman Pinschers

A contribution to the wobbler syndrome

The aim of this study was to determine the radiographic morphometry of the cervical vertebrae and its influence on the etiology and pathogenesis of wobbler syndrome in the Doberman Pinschers. Furthermore, the morphological differences of the cervical spine between Doberman Pinschers with and without cervical vertebral malformation have been evaluated. At the same time provides this paper reference values for various parameters of the cervical spine of the Doberman Pinschers, which can be used for a prophylactic screening of dogs of this breed. The literature part of this study shows a survey of the current literature of wobbler syndrome in Doberman Pinschers, regarding etiology, pathogenesis, diagnostics, and therapy.

Examinations were carried out on the basis of cervical spine radiographs of 175 dogs; 99 of them were Doberman Pinschers. The dogs have been divided into four groups: Doberman Pinschers without cervical vertebral malformation (group 1, n = 70), Doberman Pinschers with cervical vertebral malformation (group 2, n = 29), dogs of other large breeds (group 3, n = 39) and dogs of small breeds (group 4, n = 37). Basic values were initially determined upon the measurements on radiographs of the cervical spine of the dogs in group 1. These values were compared with those of patients of the 3 comparison groups (groups 2, 3 and 4) and statistically evaluated by one way analysis of variance (ANOVA) and the "many-to-one" comparison (Dunnett's test). In addition, Roc curves were constructed for certain parameters in order to determine possible cut-off points between Doberman Pinschers with and without cervical vertebral malformation. The following comparative morphometric parameters were determined for all groups: Sagittal vertebral body area, cranial and caudal sagittal spinal canal diameter, dorsoventral cranial vertebral body height, craniocaudal vertebral body length, and cranial and caudal angle of the vertebral body.

We were able to detect anatomic differences between the Doberman Pinschers and other large and small breeds (groups 3, 4), which can encourage the incidence of discopathy and / or compression on the spinal cord. The orientation and length of the cranial endplates and the cranial vertebral canal height in the caudal vertebrae, especially in the 7th cervical vertebra, are of special importance. The Doberman Pinschers (group 1) have the lowest cranial vertebral canal height and the longest and most caudally flattened cranial endplates compared to the other groups.

The only statistically significant difference between Doberman Pinschers, with and without cervical vertebral malformation, is in the morphology of the 7th cervical vertebra. Relative to the vertebral body length of C4, the height of cranial vertebral canal of the 7th cervical vertebra is about 12.5% lower, in affected Doberman Pinschers (group 2), than those in Dobermans without cervical vertebral malformation (group1), which can result in a statistical and / or dynamic compression of the spinal cord. Furthermore, The cranial endplate of the 7th cervical vertebra is longer and more caudally flattened, in affected Doberman Pinschers (group 2), than those in Dobermans without cervical vertebral malformation (group1). These abnormalities can be congenital as well as a result of degenerative changes. Nevertheless, the visual inspection of the ROC curves could not determine, for each calculated ratio, cut-off points with a sufficiently high sensitivity and specificity in order to distinguish clearly between Doberman Pinschers with and without cervical vertebral malformation.

Because Doberman Pinschers appear to develop clinical signs related to caudal cervical spondylomyelopathy at a later age (6 to 7 years), further studies are required for the screening program, to establish the correlation between the measurements and the appearance of the clinical symptoms.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- BERGMAN RL, LEVINE JM, COATES JR, BAHR A, HETTLICH BF, KERWIN SC. Cervical spinal locking plate in combination with cortical ring allograft for a one level fusion in dogs with cervical spondylotic myelopathy. *Vet Surg* 2008; 37: 530-536.
- BOHLMAN HH, EMERY SE. The pathophysiology of cervical spondylosis and myelopathy. *Spine* 1988; 13: 843-846.
- BREIT S, KÜNZEL W. Osteological features in pure-bred dogs predisposing to cervical spinal cord compression. *J Anat* 2001; 199: 527-537.
- BREIT S, KÜNZEL W. A morphometric investigation on breed-specific features affecting sagittal rotational and lateral bending mobility in the canine cervical spine (C3–C7). *Anat Histol Embryol* 2004; 33: 244-250.
- BRUECKER K, SEIM III H. Caudal cervical spondylomyelopathy: decompression by linear traction and stabilization with steinmann pins and polymethyl methacrylate. *J Am Anim Hosp Assoc* 1989; 26: 677-683.
- BRUECKER KA, SEIM HB, 3rd, WITHROW SJ. Clinical evaluation of three surgical methods for treatment of caudal cervical spondylomyelopathy of dogs. *Vet Surg* 1989; 18: 197-203.
- BURBIDGE HM. Caudal cervical malformation in the Dobermann pinscher. Dissertation, Massey University, Auckland, New Zealand, 1999.
- BURBIDGE HM, PFEIFFER DU, BLAIR HT. Canine wobbler syndrome: a study of the Dobermann pinscher in New Zealand. *N Z Vet J* 1994; 42: 221-228.
- BURBIDGE HM, PFEIFFER DU, GUILFORD WG. Presence of cervical vertebral malformation in Dobermann puppies and the effects of diet and growth rate. *Aust Vet J* 1999; 77: 814-818.
- BURBIDGE HM, THOMPSON KC, HODGE H. Post natal development of canine caudal cervical vertebrae. *Res Vet Sci* 1995; 59: 35-40.
- CHAMBERS JN, BETTS CW. Caudal cervical spondylopathy in the dog: a review of 20 clinical cases and the literature. *J Am Anim Hosp Assoc* 1977; 13: 571-576.
- CHAMBERS JN, OLIVER JE JR., KORNEGAAY JN, MALNATI GA. Ventral decompression for caudal cervical disk herniation in large- and giant-breed dogs. *J Am Vet Med Assoc* 1982; 180: 410-414.
- DA COSTA RC, PARENT JM. One-year clinical and magnetic resonance imaging follow-up of Doberman Pinschers with cervical spondylomyelopathy treated medically or surgically. *J Am Vet Med Assoc* 2007; 231: 243-250.

- DA COSTA RC, PARENT J, DOBSON H, HOLMBERG D, PARTLOW G. Comparison of magnetic resonance imaging and myelography in 18 Doberman pinscher dogs with cervical spondylomyelopathy. *Vet Radiol Ultrasound* 2006b; 47: 523-531.
- DA COSTA RC, PARENT JM, HOLMBERG DL, SINCLAIR D, MONTEITH G. Outcome of medical and surgical treatment in dogs with cervical spondylomyelopathy: 104 cases (1988-2004). *J Am Vet Med Assoc* 2008; 233: 1284-1290.
- DA COSTA RC, PARENT JM, PARTLOW G, DOBSON H, HOLMBERG DL, LAMARRE J. Morphologic and morphometric magnetic resonance imaging features of Doberman Pinschers with and without clinical signs of cervical spondylomyelopathy. *Am J Vet Res* 2006a; 67: 1601-1612.
- DE DECKER S, BHATTI SF, DUCHATEAU L, MARTLÉ VA, VAN SOENS I, VAN MEERVENNE SA, SAUNDERS JH, VAN HAM LM. Clinical evaluation of 51 dogs treated conservatively for disc-associated wobbler syndrome. *J Small Anim Pract* 2009; 50: 136-142.
- DE DECKER S, GIELEN IM, DUCHATEAU L, VAN BREE HJ, WAELBERS T, BAVEGEMS V, VAN HAM LM. Morphometric dimensions of the caudal cervical vertebral column in clinically normal Doberman Pinschers, English Foxhounds and Doberman Pinschers with clinical signs of disk-associated cervical spondylomyelopathy. *Vet J* 2012; 1: 52-57.
- DE DECKER S, GIELEN IM, DUCHATEAU L, VAN SOENS I, BAVEGEMS V, BOSMANS T, VAN BREE HJJ, VAN HAM LML. Low-field magnetic resonance imaging findings of the caudal portion of the cervical region in clinically normal Doberman Pinschers and Foxhounds. *Am J Vet Res* 2010; 71: 428-434.
- DE DECKER S, SAUNDERS JH, DUCHATEAU L, PEY P, VAN HAM LM. Radiographic vertebral canal and vertebral body ratios in Doberman Pinschers with and without clinical signs of caudal cervical spondylomyelopathy. *Am J Vet Res* 2011; 72: 958-966.
- DENNY HR, GIBBS C, GASKELL CJ. Cervical spondylopathy in the dog--a review of thirty-five cases. *J Small Anim Pract* 1977; 18: 117-132.
- DE RISIO L, MUNANA K, MURRAY M, OLBY N, SHARP NJ, CUDDON P. Dorsal laminectomy for caudal cervical spondylomyelopathy: postoperative recovery and long-term follow-up in 20 dogs. *Vet Surg* 2002; 31: 418-427.
- DIMOCK WW, ERRINGTON BJ. Incoordination of equidae: wobblers. *J Am Vet Med Assoc* 1939; 95: 261-267.
- DROST WT, LEHENBAUER TW, REEVES J. Mensuration of cervical vertebral ratios in Doberman pinschers and Great Danes. *Vet Radiol Ultrasound* 2002; 43: 124-131.
- DUELAND R, FURNEAUX RW, KAYE MM. Spinal fusion and dorsal laminectomy for midcervical spondylolisthesis in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 1973; 162: 366-369.

- ELLISON GW, SEIM HB 3rd, CLEMMONS RM. Distracted cervical spinal fusion for management of caudal cervical spondylomyelopathy in large-breed dogs. *J Am Vet Med Assoc* 1988; 193: 447-453.
- FOSSUM TW. *Small Animal Surgery*, 3. ed. St. Louis: Mosby, Elsevier; 2007.
- FREWEIN J. *Anatomie von Hund und Katze*. Berlin: Blackwell-Wiss.-Verl.;1994.
- GAGE ED, HALL CL. Surgical repair of caudal cervical subluxation in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 1972; 160: 424-426.
- GAGE E, HORLEIN B. Surgical repair of cervical subluxation and spondylolisthesis in the dog. *J Am Anim Hosp Assoc* 1973; 9: 385-390.
- GEARY JC. Canine spinal lesions not involving discs. *J Am Vet Med Assoc* 1969; 155: 2038-2044.
- GOEDEGEBUURE SA, HAZEWINKEL HA. Morphological findings in young dogs chronically fed a diet containing excess calcium. *Vet Pathol* 1986; 23: 594-605.
- HAZEWINKEL HAW. Nutrition in relation to skeletal growth deformities. *J Small Anim Pract* 1989; 30: 625-30.
- HAZEWINKEL HAW, GOEDEGEBUURE SA, POULOS PW, WOLVEKAMP WTC. Influences of chronic calcium excess on the skeletal development of growing Great Danes. *J Am Anim Hosp Assoc* 1985; 21: 377-391.
- HAZEWINKEL HAW, VAN DEN BROM WE, VAN'T KLOOSTER AT, VOORHOUT G, VAN WEES A. Calcium metabolism in Great Dane dogs fed diets with various calcium and phosphorus levels. *Journal of Nutrition* 1991; 121(11 suppl): 99-106.
- HEDHAMMAR A, WU FM, KROOK L, SCHRYVER HF, DE LAHUNTA A, WHALEN JP, KALLFELZ FA, NUNEZ EA, HINTZ HF, SHEFFY BE, RYAN GD. Overnutrition and skeletal disease. An experimental study in growing Great Dane dogs. IV. Clinical observations. *Cornell Vet* 1974; 64: Suppl 5: 5-160.
- HUROV LI. Treatment of cervical vertebral instability in the dog. *J Am Vet Med Assoc* 1979; 175: 278-285.
- JAGGY A, GAILLARD C, LANG J, VANDEVELDE M. Hereditary cervical spondylopathy (wobbler syndrome) in the Borzoi dog. *J Am Anim Hosp Assoc* 1988; 24: 453-460.
- JEFFERY ND, MCKEE WM. Surgery for disc-associated wobbler syndrome in the dog--an examination of the controversy. *J Small Anim Pract* 2001; 42: 574-581.
- KÄRKKÄINEN M, MERO M, NUMMI P, PUNCTO L. Low field magnetic resonance imaging of the canine central nervous system. *Vet Radiol Ultrasound* 1991; 32: 71-74.
- KAISER JA, HOLLAND BA. Imaging of the cervical spine. *Spine* 1998; 23: 2701-2712.

- LAUBENBERGER T, LAUBENBERGER J. Technik der medizinischen Radiologie. 7. Aufl., Köln: Dt. Ärzte-Verl; 1999.
- LAUTERSACK O. Das Wobbler-Syndrom (zervikale Spondylomyelopathie) beim Dobermann im Vergleich mit ausgewählten Rassen. Dissertation, Justus-Liebig-Universität 2002.
- LEVITSKI RE, LIPSITZ D, CHAUVET AE. Magnetic resonance imaging of the cervical spine in 27 dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 1999; 40: 332-341.
- LEWIS D. Cervical spondylomyelopathy ('wobbler's syndrome) in the dog: A study based on 224 cases. *J Small Anim Pract* 1989; 30: 657-665.
- LEWIS D. Radiological assessment of the cervical spine of the dobermann with reference to cervical spondylomyelopathy. *J Small Anim Pract* 1991; 32: 75-82.
- LINCOLN JD. Cervical vertebral malformation/malarticulation syndrome in large dogs. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1992; 22: 923-935.
- LINCOLN JD, PETTIT GD. Evaluation of fenestration for treatment of degenerative disc disease in the caudal cervical region of large dogs. *Vet Surg* 1985; 14: 240-246.
- LIPSITZ D, LEVITSKI RE, CHAUVET AE, BERRY WL. Magnetic resonance imaging features of cervical stenotic myelopathy in 21 dogs. *Vet Radiol Ultrasound* 2001; 42: 20-27.
- LYMAN R. Wobbler syndrome: continuous dorsal laminectomy is the procedure of choice. *Progr Vet Neurol* 1991; 2: 143-146.
- MASON TA. Cervical vertebral instability (wobbler syndrome) in the Doberman. *Aust Vet J* 1977; 53: 440-445.
- MASON TA. Cervical vertebral instability (wobbler syndrome) in the dog. *Vet Rec* 1979; 104: 142-145.
- MCKEE WM, BUTTERWORTH SJ, SCOTT HW. Management of cervical spondylopathy-associated intervertebral, disc protrusions using metal washers in 78 dogs. *J Small Anim Pract* 1999; 40: 465-472.
- MCKEE W, LAVELLE R, MASON T. Vertebral stabilisation for cervical spondylopathy using a screw and washer technique. *J Small Anim Pract* 1989; 30: 337-342.
- MCKEE W, LAVELLE R, RICHARDSON J, MASON T. Vertebral distraction fusion for cervical spondylopathy using a screw and double washer technique. *J Small Anim Pract* 1990; 31: 21-26.
- MCKEE WM, PENDERIS J, DENNIS R. Radiology corner: obstruction of contrast medium flow during cervical myelography. *Vet Radiol Ultrasound* 2000; 41: 342-343.

- NICKEL R, SCHUMMER A, WILLE K.H, WILKENS H. Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem und Gelenklehre, Arthrologia.
In: R. Nickel, A. Schummer und E. Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band 1, 6. Aufl., Berlin: Paul Parey; 1992.
- OLSSON SE, STAVENBORN M, HOPPE F. Dynamic compression of the cervical spinal cord. *Acta Vet Scand* 1982; 23: 65-78.
- PALMER AC, WALLACE ME. Deformation of cervical vertebrae in Basset hounds. *Vet Rec* 1967; 80: 430-433.
- PARKER AJ, PARK RD, CUSICK PK, SMALL E, JEFFERS CB. Cervical vertebral instability in the dog. *J Am Vet Med Assoc* 1973; 163: 71-74.
- PENDERIS J, DENNIS R. Use of traction during magnetic resonance imaging of caudal cervical spondylomyelopathy ("wobbler syndrome") in the dog. *Vet Radiol Ultrasound* 2004; 45: 216-219.
- RAFFE M, KNECHT C. Cervical vertebral malformation-a review of 36 cases. *J Am Anim Hosp Assoc* 1980; 16: 881-883.
- READ RA, ROBINS GM, CARLISLE CAROL H. Caudal cervical spondylo-myelopathy (wobbler syndrome) in the dog: a review of thirty cases. *J Small Anim Pract* 1983; 24: 605-621.
- RENDANO JR V, SMITH L. Cervical vertebral malformation-malarticulation (wobbler syndrome): the value of the ventrodorsal view in defining lateral spinal cord compression in the dog. *J Am Anim Hosp Assoc* 1981; 17: 627-634.
- RUSBRIDGE C, WHEELER SJ, TORRINGTON AM, PEAD MJ, CARMICHAEL S. Comparison of two surgical techniques for the management of cervical spondylomyelopathy in dobermanns. *J Small Anim Pract* 1998; 39: 425-431.
- SEIM HB, WITHROW SJ. Pathophysiology and diagnosis of caudal cervical spondylomyelopathy with emphasis on the Dobermann pinscher. *J Am Anim Hosp Assoc* 1982; 18: 241-251.
- SELCER RR, OLIVER JE. Cervical spondylopathy: wobbler syndrome in dogs. *J Am Anim Hosp Assoc* 1975; 11: 175-179.
- SHARP NJH, WHEELER SJ. *Small Animal Spinal Disorders – Diagnosis and Surgery*. 2nd ed. Edinburgh: Elsevier; 2005.
- SHARP NIH, WHEELER SJ, COFONE M. Radiological evaluation of ‘wobbler’ syndrome caudal cervical spondylomyelopathy. *J Small Anim Pract* 1992; 33: 491-499.
- SHORES A. Canine cervical vertebral malformation/malarticulation syndrome [Continuing education]. *Compend Contin Educ Pract Vet, Princetown Junction, NJ: Vet. Learning Syst. Co. Inc;* 1984; 6: 326-333

- TROTTER EJ. Cervical spine locking plate fixation for treatment of cervical spondylotic myelopathy in large breed dogs. *Vet Surg* 2009; 38: 705-718.
- TROTTER EJ, DELAHUNTA A, GEARY JC, BRASMER TH. Caudal cervical vertebral malformation-malarticulation in Great Danes and Doberman Pinschers. *J Am Vet Med Assoc* 1976; 168: 917-930.
- VANGUNDY T. Disc-associated wobblers syndrome in the Doberman pinscher. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1988; 18: 667-696.
- VANGUNDY T. Canine wobbler syndrome. Part I. Pathophysiology and diagnosis. *Compend Contin Educ Pract Vet, Princetown Junction, NJ: Vet. Learning Syst. Co. Inc;* 1989; 11: 144-157.
- VASSEUR PB, Saunders G, Steinback C. Anatomy and function of the ligaments of the lower cervical spine in the dog. *Am J Vet Res* 1981; 42: 1002-1006.
- WIEß C. *Basiswissen medizinische Statistik*. Berlin : Springer; 1999; 297.
- WILSON ER, ARON DN, ROBERTS RE. Observation of a secondary compressive lesion after treatment of caudal cervical spondylomyelopathy in a dog. *J Am Vet Med Assoc* 1994; 205: 1297-1299.
- WRIGHT JA. A study of the radiographic anatomy of the cervical spine in the dog. *J Small Anim Pract* 1977; 18: 341-357.
- WRIGHT JA. The use of sagittal diameter measurement in the diagnosis of cervical spinal stenosis. *J Small Anim Pract* 1979; 20: 331-344.
- WRIGHT F, PALMER AC, PAYNE JE. Pressure-induced lesions in the spinal cord of rabbits. *Res Vet Sci* 1974; 17: 337-343.
- WRIGHT F, REST JR, PALMER AC. Ataxia of the Great Dane caused by stenosis of the cervical vertebral canal: comparison with similar conditions in the Basset Hound, Doberman Pinscher, Ridgeback and the thoroughbred horse. *Vet Rec* 1973; 92: 1-6.

9 DANKSAGUNG

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. R. Köstlin für die Überlassung dieses interessanten Themas und ihre langjährige, wissenschaftliche und menschliche Unterstützung.

Besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. U. Matis für die Aufnahme und Bereitstellung der Arbeitsmöglichkeiten in der Klinik.

Mein Dank gilt auch Herrn PD. Dr. Reese aus dem Institut für Anatomie für seine Hilfe in allen statistischen Fragen.

Einen herzlichen Dank auch an die Mitarbeiter der Chirurgischen Tierklinik, insbesondere der Röntgenabteilung, für ihre stets gewährte Unterstützung.

Besonderer Dank gilt Herrn Falah Hlalat und Herrn Nour Addeen Najem für ihre freundliche Unterstützung bei der Formulierung des englischen Textes.

Nicht zuletzt bedanke ich mich auch bei allem, die mich freundlich unterstützt haben.

Und vor allem bedanke ich mich herzlich bei meiner Frau Aida für die moralische Unterstützung und ihr grenzenloses Verständnis.