

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

Arbeit angefertigt unter Leitung von  
Univ.-Prof. Dr. Dr. med. vet. habil. U. Matis

**Ganganalytische Untersuchung der Rückenbewegung von  
gesunden Hunden der Rassen Dackel und Labrador Retriever**

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

von  
Anna Friederike Layer  
aus  
Dachau

München 2012

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. J. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. U. Matis

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. A. Fischer  
Univ.-Prof. Dr. H. Gerhards  
Univ.-Prof. Dr. K. Matiasek

Tag der Promotion: 21.07.2012

## Meinen Eltern

*Ein Leben ohne Hund ist möglich,  
aber sinnlos.  
Nach Lorient*

# 1 Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	2
2.1	Rassegeschichte.....	2
2.1.1	Dackel.....	2
2.1.2	Labrador Retriever .....	2
2.2	Anatomie.....	3
2.2.1	Knöchernen Strukturen .....	3
2.2.2	Muskulatur .....	6
2.2.3	Gelenke.....	9
2.2.4	Bänder .....	10
2.2.5	Bandscheiben .....	10
2.3	Rassespezifische Prädispositionen und deren Pathoanatomie .....	11
2.3.1	Dackel.....	11
2.3.2	Labrador Retriever .....	12
2.4	Ganganalyse.....	13
2.4.1	Statik.....	13
2.4.2	Bewegung.....	14
2.4.2.1	Zeitlicher Ablauf des Ganges .....	15
2.4.2.2	Kinetik .....	16
2.4.2.3	Kinematik .....	18
2.4.3	Rücken und Ganganalyse .....	19
3	Material und Methoden .....	21
3.1	Patientenauswahl.....	21
3.1.1	Signalement und Anamnese .....	21
3.1.2	Klinische Voruntersuchung.....	21
3.1.3	Radiologische Voruntersuchung.....	22
3.2	Ganganalytische Untersuchung .....	23
3.2.1	Technische Ausstattung des Ganglabors .....	23

3.2.2	Durchführung .....	24
3.2.2.1	Probelauf.....	24
3.2.2.2	Fixation der Marker .....	24
3.2.2.3	Untersuchung.....	28
3.2.3	Verarbeitung der gewonnenen Daten.....	28
4	Ergebnisse .....	31
4.1	Patientengut.....	31
4.2	Kinetik.....	34
4.2.1	Zeitliche Parameter .....	35
4.2.2	Kräfte .....	37
4.3	Kinematik.....	41
4.3.1	Transversalebene .....	42
4.3.1.1	Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	42
4.3.1.1.1	Schritt .....	43
4.3.1.1.1.1	1-phasige Rückenbewegung.....	43
4.3.1.1.1.2	3-phasige Rückenbewegung.....	50
4.3.1.1.2	Trab.....	61
4.3.1.2	Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	62
4.3.1.2.1	Dackel .....	62
4.3.1.2.2	Labrador Retriever.....	66
4.3.1.2.3	Rassevergleich .....	70
4.3.2	Sagittalebene .....	74
4.3.2.1	Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	74
4.3.2.1.1	Schritt .....	74
4.3.2.1.2	Trab.....	83
4.3.2.2	Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	84
4.3.2.2.1	Dackel .....	85
4.3.2.2.2	Labrador Retriever.....	89
4.3.2.2.3	Rassevergleich .....	93
4.3.3	Mediolaterale Hüftbewegung.....	97

4.3.3.1	Dackel.....	98
4.3.3.2	Labrador Retriever .....	99
4.3.3.3	Rassevergleich.....	100
4.3.4	Rutenbewegung.....	102
5	Diskussion .....	105
5.1	Patientengut.....	105
5.2	Kinetik.....	106
5.3	Kinematik.....	107
5.3.1	Transversalebene .....	108
5.3.1.1	Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	108
5.3.1.2	Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	111
5.3.2	Sagittalebene .....	114
5.3.2.1	Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	114
5.3.2.2	Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung.....	115
5.4	Mediolaterale Hüftbewegung.....	118
5.5	Rutenbewegung.....	119
5.6	Limitationen der Studie .....	119
6	Zusammenfassung .....	121
7	Summary .....	123
8	Anhang.....	125
9	Literaturverzeichnis.....	127
10	Danksagung .....	142

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung der Krümmungen der kaninen Wirbelsäule; Schema des Hundeskeletts aus Nickel et al. (2004).....	3
Abb. 2: Schema eines Wirbels; aus Nickel et al. (2004).....	4
Abb. 3: Schema zur Darstellung der Biegsamkeit der isolierten Wirbelsäule von Hund (A) und Pferd (B) jeweils nach oben und unten (a.) und nach seitlich (b.); nach Slijper (1946).....	4
Abb. 4: Wirbelsäule des Hundes; aus Budras (2004). ....	5
Abb. 5: Mm. multifidii des Hundes (Deutscher Schäferhund); aus Nickel et al. (2004).....	8
Abb. 6: Ausschnitt der Brust- und Lendenwirbelsäule kraniolaterale Ansicht; aus Budras (2004).....	10
Abb. 7: Ausschnitt aus der Brustwirbelsäule, kraniokaudale Ansicht; aus Budras (2004). ...	11
Abb. 8: Schematische Darstellung wichtiger Bauelemente des Stammes und der Gliedmaßen beim Hund, sogenannte Normalstellung; aus Seiferle und Frewein (2004).....	14
Abb. 9: Gewöhnlicher Schritt eines Hundes; nach Seiferle und Frewein (2004).....	15
Abb. 10: Mitbewegung von Stamm und Kopf im Schritt beim Pferd; aus Seiferle und Frewein (2004).....	16
Abb. 11: Schema einer Gliedmaße, einer Kraftmessplatte und Richtung der positiven Bodenreaktionskräfte; aus Budsberg et al. (1987).....	17
Abb. 12: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.....	24
Abb. 13: Darstellung der Platzierung der Marker anhand von palpierbaren Knochenpunkten an den Gliedmaßen; Schema des Hundeskeletts aus Nickel et al. (2004). ....	25
Abb. 14: Darstellung der Platzierung der Marker anhand von palpierbaren Knochenpunkten an der Wirbelsäule; Schema des Hundeskeletts aus Nickel et al. (2004).....	26
Abb. 15: Dackel und Labrador mit aufgeklebten Markern auf dem Laufband.....	27
Abb. 16: 3-dimensionale Ansicht der gelabelten Marker eines Labrador Retrievers. ....	28
Abb. 17: Bewegung des Markers <i>LWScr</i> eines Hundes in der Transversalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert.....	29
Abb. 18: Quantile-Quantile-Diagramme der Merkmale Alter und Gewicht für Dackel und Labrador Retriever. ....	32
Abb. 19: Geschlechtsverteilung der Hunde.....	33
Abb. 20: Verhältnis der Rückenlänge zur Widerristhöhe von Dackel und Labrador Retriever; Schemata der Hundeskelette aus Budras (2004) und von Matthias Haab (2009). ....	33
Abb. 21: Gewöhnlicher Schritt eines Hundes; nach Seiferle und Frewein (2004).....	42
Abb. 22: Mittlere Bewegung des Markers <i>BWScr</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	43

Abb. 23: Mittlere Bewegung des Markers <i>LWSca</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	44
Abb. 24: Mittlere Bewegung des Markers <i>SWS1</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	45
Abb. 25: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 1-phasigen Bewegungsablauf. ....	46
Abb. 26: Bewegung der Marker <i>BWScr–SWS1</i> eines Hundes mit 1-phasigem Bewegungsablauf in der Transversalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert. ....	50
Abb. 27: Mittlere Bewegung des Markers <i>LWScr</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	50
Abb. 28: Mittlere Bewegung des Markers <i>LWSmed</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	51
Abb. 29: Mittlere Bewegung des Markers <i>LWSca</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	51
Abb. 30: Mittlere Bewegung des Markers <i>Sacrum</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	52
Abb. 31: Mittlere Bewegung des Markers <i>SWS1</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt. ....	53
Abb. 32: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 3-phasigen Bewegungsablauf. ....	54
Abb. 33: Vorkommen einer 3-phasigen Bewegung an den Markern <i>LWScr–SWS1</i> bei Dackel und Labrador Retriever im Schritt. ....	55
Abb. 34: Vorkommen einer 3-phasigen Bewegung an den Markern <i>LWScr–SWS1</i> bei Dackel und Labrador Retriever im Schritt. ....	55
Abb. 35: Mittlere Bewegung der Marker <i>WS–SWS1</i> eines Labrador Retrievers und eines Dackels mit 3-phasigem Bewegungsverlauf. ....	57
Abb. 36: Bewegung der Marker <i>BWScr–SWS1</i> eines Hundes mit 3-phasigem Bewegungsablauf in der Transversalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert. ....	61
Abb. 37: Mittlere Bewegung der Marker <i>BWScr</i> , <i>WS</i> und <i>LWSca</i> eines Hundes in der Transversalebene im Schritt und im Trab. ....	61
Abb. 38: Gangartvergleich der mittleren maximalen Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker aller Dackel. ....	66
Abb. 39: Gangartvergleich der mittleren maximalen Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker aller Labrador Retriever. ....	70
Abb. 40: Rassevergleich der mittleren Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker im Schritt. ....	72

Abb. 41: Rassevergleich der mittleren Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker im Trab. ....	74
Abb. 42: Mittlere Bewegung des Markers <i>BWScr</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt. ....	75
Abb. 43: Mittlere Bewegung des Markers <i>LWSca</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt. ....	76
Abb. 44: Mittlere Bewegung des Markers <i>Sacrum</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt. ....	77
Abb. 45: Mittlere Bewegung des Markers <i>SWS1</i> eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt. ....	77
Abb. 46: Zeitliches Auftreten der Maxima beim 2-phasigen Bewegungsablauf in der Sagittalebene. ....	79
Abb. 47: Bewegung der Marker <i>BWScr–SWS1</i> eines Hundes mit 2-phasigem Bewegungsablauf in der Sagittalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert. ....	83
Abb. 48: Mittlere Bewegung der Marker <i>BWScr</i> , <i>WS</i> , <i>LWSca</i> und <i>SWS1</i> eines Hundes in der Sagittalebene im Schritt und im Trab. ....	84
Abb. 49: Gangartvergleich der mittleren Bewegung aller Marker nach dorsal und ventral in der Sagittalebene aller Dackel. ....	89
Abb. 50: Gangartvergleich der mittleren Bewegung nach dorsal und ventral aller Marker in der Sagittalebene aller Labrador Retriever. ....	93
Abb. 51: Rassevergleich der mittleren Bewegung nach dorsal und ventral aller Marker in der Sagittalebene im Schritt. ....	95
Abb. 52: Rassevergleich der mittleren Bewegung nach dorsal und ventral aller Marker in der Sagittalebene im Trab. ....	97
Abb. 53: Zeitpunkt der minimalen Vektorlänge zwischen den Markern <i>WS</i> und <i>Iliaca</i> beim Vorführen des gleichseitigen Beines; a) links, b) rechts. ....	98
Abb. 54: Boxplots der mediolateralen Hüftbewegung im Schritt (a) und Trab (b). ....	101
Abb. 55: Passive, minimal angehoben getragene Rute eines Labrador Retrievers. ....	102
Abb. 56: Passive, niedrig getragene Rute eines Dackels. ....	102
Abb. 57: Starkes Wedeln auf Höhe der Kniekehle. ....	103
Abb. 58: Starkes Wedeln auf Höhe der Rückenlinie. ....	103
Abb. 59: Starkes Wedeln passend zur Beinbewegung („symmetrisch“). ....	103
Abb. 60: Starkes Wedeln losgelöst von der Beinbewegung („asymmetrisch“). ....	103
Abb. 61: Schwanzwedeln in 8-er Form („Rudern“). ....	104
Abb. 62: Dieselbe Rutenbewegung wie in Abb. 61 („Rudern“) von der Seite, ....	104
Abb. 63: Rotation mit der Rute. ....	104

Abb. 64: Wechsel von Wedeln zur Rotation.....	104
Abb. 65: Normierte EMG (Medianwert und obere und untere Quartile für jedes Messfenster für 20 Schritte) des M. multifidus lumborum und des M. longissimus thoracis et lumborum an den 3 Aufnahmestellen (T13, L3 und L6) während die Hunde im Schritt gingen (a) und trabten (b).....	109
Abb. 66: Mitbewegung von Rumpf und Kopf.....	110
Abb. 67: Labrador im Trab zu Beginn der linken diagonalen Standphase. ....	110
Abb. 68: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker im Schritt. ....	111
Abb. 69: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker im Trab. ....	112
Abb. 70: Gangartvergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker von Dackel (a) und Labrador Retriever (b).....	113
Abb. 71: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene im Schritt. ....	115
Abb. 72: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene im Trab.....	116
Abb. 73: Gangartvergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Sagittalebene der 9 Rückenmarker von Dackel (a) und Labrador Retriever (b).....	117
Abb. 74: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in beiden Ebenen im Trab. ....	117

## **Tabellenverzeichnis**

Tab. 1: Die dorsale (autochtone) Wirbelsäulenmuskulatur des Hundes; nach Budras (2004).	6
Tab. 2: Die ventrale Wirbelsäulenmuskulatur des Hundes; nach Budras (2004).....	7
Tab. 3: Die Muskelgruppe der dorsalen Kopfbeweger des Hundes; nach Budras (2004). ....	8
Tab. 4: Gelenke der Wirbelsäule; nach Budras (2004). ....	9
Tab. 5: Grunddaten der Probanden. ....	31
Tab. 6: Radiologische Befunde der Probanden. ....	34
Tab. 7: Vergleich der mittleren Standphasendauer beider Vorder- und beider Hintergliedmaßen aller Dackel und aller Labrador Retriever.....	35
Tab. 8: Vergleich der mittleren Standphasendauer der Vorder- und der Hintergliedmaßen von Dackel und Labrador Retriever. ....	36
Tab. 9: Vergleich des Verhältnisses von vorderer zu hinterer Standphasendauer von Dackel und Labrador Retriever.....	36
Tab. 10: Vergleich der mittleren vertikalen Spitzenkraft sowie des vertikalen Impulses beider Vorder- und Hintergliedmaßen aller Dackel und aller Labrador Retriever. ....	38
Tab. 11: Symmetrie-Indices der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses der Vorder- und Hintergliedmaßen aller Dackel und aller Labrador Retriever. ....	39
Tab. 12: Vergleich der mittleren vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses der Vorder- und der Hintergliedmaße von Dackel und Labrador Retriever.....	40
Tab. 13: Vergleich der Kräfteverteilung zwischen vorne und hinten bei Dackel und Labrador Retriever.....	41
Tab. 14: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 3-phasigen Bewegungsablauf.....	53
Tab. 15: Vergleich der mittleren transversalen Markerbewegung nach rechts und links der 9 Rückenmarker von allen Dackeln (n = 13) zwischen Schritt und Trab. ....	63
Tab. 16: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker aller Dackel (n = 13) zwischen Schritt und Trab.....	65
Tab. 17: Vergleich der mittleren transversalen Markerbewegung nach rechts und links der 9 Rückenmarker von allen Labrador Retrievern (n = 15) zwischen Schritt und Trab.....	67
Tab. 18: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker aller Labrador Retriever (n = 15) zwischen Schritt und Trab. ....	69
Tab. 19: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker im Schritt zwischen Dackel und Labrador Retriever.....	71
Tab. 20: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker im Trab zwischen Dackel und Labrador Retriever. ....	73
Tab. 21: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 2-phasigen Bewegungsablauf in der Sagittalebene. ....	78

Tab. 22: Vergleich der mittleren Markerbewegung aller Marker nach dorsal und nach ventral aller Dackel im Schritt und im Trab.....	86
Tab. 23: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene aller Dackel zwischen Schritt und Trab.....	88
Tab. 24: Vergleich der mittleren Markerbewegung aller Marker nach dorsal und ventral aller Labrador Retriever im Schritt und im Trab.....	90
Tab. 25: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene aller Labrador Retriever zwischen Schritt und Trab.....	92
Tab. 26: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene im Schritt zwischen Dackel und Labrador Retriever. ....	94
Tab. 27: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene im Trab zwischen Dackel und Labrador Retriever. ....	96
Tab. 28: Vergleich des Bewegungsumfangs der mediolateralen Hüftbewegung des Dackels rechts und links im Schritt und im Trab.....	98
Tab. 29: Vergleich der mediolateralen Hüftbewegung zwischen Schritt und Trab.....	99
Tab. 30: Vergleich des Bewegungsumfangs der mediolateralen Hüftbewegung des Dackels rechts und links im Schritt und im Trab.....	99
Tab. 31: Vergleich der mediolateralen Hüftbewegung zwischen Schritt und Trab.....	100
Tab. 32: Vergleich des relativen Bewegungsumfangs der mediolateralen Hüftbewegung im Schritt und im Trab zwischen Dackel und Labrador.....	100
Tab. 33: Vergleich des mittleren transversalen Bewegungsumfangs im Schritt zwischen Labrador Retriever und Malinois.....	114
Tab. 34: Vergleich des mittleren sagittalen Bewegungsumfangs im Schritt zwischen Labrador Retriever und Malinois.....	118
Tab. 35: Vergleich mediolaterale Hüftbewegung. ....	118

## **Abkürzungsverzeichnis**

AB – Allgemeinbefinden  
Art., Artt. – Articulatio, Articulationes  
BCS – Body Condition Score  
BRK – Bodenreaktionskraft  
BWS – Brustwirbelsäule  
C – Halswirbel  
FCI – Fédération Cynologique Internationale  
KFZ – kapilläre Füllungszeit  
KGW – Körpergewicht  
KR – Kruppenhöhe  
L – Lendenwirbel  
Lig., Ligg. – Ligamentum, Ligamenta  
LK – Lymphknoten  
LMU – Ludwig-Maximilians-Universität  
LWS – Lendenwirbelsäule  
m – männlich  
M., Mm. – Musculus, Musculi  
Max – Maximum  
Min – Minimum  
MW – Mittelwert  
OSU – Oberschenkelumfang  
Proc., Procc. – Processus, Processus  
PVF – peak vertical force  
RL – Rückenlänge  
ROM – range of motion  
SH – Schleimhaut  
SI – Symmetrie-Index  
SWS – Schwanzwirbel  
Th – Brustwirbel  
TOO – Time of Occurrence  
VI – vertikaler Impuls  
w – weiblich  
WR – Widerrist

## 1 Einleitung

Die ganganalytische Untersuchung hat sich als objektives und reproduzierbares Mittel erwiesen, den Gang und die Effekte von therapeutischen Interventionen auszuwerten (Off und Matis 1997a, Gillette und Angle 2008). Kinematische Daten der Gliedmaßen sowohl von gesunden Hunden als auch von solchen mit orthopädischen Erkrankungen wurden bereits ausführlich beschrieben. Jedoch gibt es unseres Wissens nach wenige bis keine Daten zur Kinematik des Hunderückens in vivo.

Rückenprobleme sind jedoch ein häufiger Vorstellungsgrund in der tiermedizinischen Praxis und ein nicht seltener Grund für das Ausscheiden von Arbeitshunden (Gradner et al. 2007). Zur Kinetik von Teilen der isolierten Wirbelsäule existieren zwar Kadaverstudien, aber diese beschreiben die Kinematik der Gelenke ohne den Einfluss des umgebenden Weichteilgewebes. Die nicht invasive Methode der hautfixierten Marker bietet die Möglichkeit, viele unterschiedliche Rassen zu untersuchen und postoperative oder physiotherapeutische Verlaufskontrollen durchzuführen.

Die vorliegende Studie hat im ersten Schritt zum Ziel, das vorliegende Markermodell für den Rücken hinsichtlich der Durchführbarkeit zu überprüfen, die Rückenbewegung zu beschreiben, eine Vergleichsgruppe für erkrankte Patienten oder postoperative Verlaufskontrollen zu erstellen sowie Limitationen einer ganganalytischen Untersuchung des Rückens aufzuzeigen. Des Weiteren soll ein erster Vergleich einer chondrodystrophen und lang gebauten sowie einer nicht chondrodystrophen und höher gebauten Rasse angestellt werden. Das Ganganalyselabor der LMU München bietet hierzu die Voraussetzungen.

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Rassegeschichte**

#### **2.1.1 Dackel**

Der Dackel wird bei der Fédération Cynologique Internationale (FCI) als Standard Nr. 148 gelistet (Fédération Cynologique Internationale 2001). Er gehört der Gruppe 4 der Dachshunde und darin der Sektion 1 der Dachshunde mit Arbeitsprüfung an.

Die Rasse Dachshund, die Dackel oder Teckel genannt, ist eine seit dem Mittelalter bekannte vielseitige Jagdgebrauchshunderasse mit dem Ursprungsland Deutschland (Fédération Cynologique Internationale 2001). Hier ist auch der älteste Zuchtverein, der Deutsche Teckelklub 1888 e.V., zu finden. Die Rasse entstand aus niederläufigen Hunden, die ursprünglich aus Bracken gezüchtet worden waren und sich besonders für die Jagd unter der Erde eigneten. Der Dachshund wird in 3 verschiedenen Größen (Dackel, Zwergdackel, Kaninchendackel) und in 3 verschiedenen Haararten (Kurzhaar, Rauhaar und Langhaar) gezüchtet. Laut Rassestandard sollte die Gestalt niedrig, kurzläufig, langgestreckt, aber kompakt sein. Der Kopf sollte in einer keck herausfordernden Haltung getragen werden und das Gesicht einen aufmerksamen Ausdruck zeigen. Die im Verhältnis zum langen Körper kurzen Gliedmaßen sollten sehr muskulös sein und die Tiere dadurch sehr beweglich und flink. Bei einem Bodenabstand von etwa 1/3 der Widerristhöhe soll die Körperlänge in einem harmonischen Verhältnis zur Widerristhöhe stehen, etwa 1:1,7–1,8. Der Widerrist sollte ausgeprägt sein und die Rückenlinie sollte harmonisch vom Nacken bis zur leicht abfallenden Kruppe verlaufen.

#### **2.1.2 Labrador Retriever**

Der Labrador Retriever wird bei der Fédération Cynologique Internationale als Standard-Nummer 122 gelistet (Fédération Cynologique Internationale 2012). Er ist eingeordnet in die Gruppe 8 der Apportier-, Stöber- und Wasserhunde und weiter in die Sektion 1 der Apportierhunde mit Arbeitsprüfung.

Der Labrador Retriever ist verglichen zu anderen Hunderassen keine besonders alte Rasse (Fédération Cynologique Internationale 2012). Vom Kennel Club wurde die Rasse 1903 anerkannt. Der erste Rasseclub wurde 1916 und der „Yellow Labrador Club“ 1925 in England gegründet. Über die ursprüngliche Herkunft bestehen verschiedene Meinungen. Weit verbreitet ist die Annahme, dass der Labrador Retriever der Küste Neufundlands entstammt, wo Fischerleute ähnliche Hunde benutzten, um Fische zu apportieren. Seine Eigenschaften als hervorragender Wasserhund, sein wasserabweisendes Fell und sein sogenannter „Otterschwanz“ verstärken diese Spur. In seinem heutigen als Herkunftsland

geltenden Land Großbritannien wurde der jagdfreudige Hund vor allem im Bereich des „field trialing“, einer besonderen Art der Arbeitsprüfung, berühmt. Eingeführt worden war er in die adeligen Jagdkreise von Col Peter Hawker und dem Earl von Malmesbury. Die Bezeichnung Labrador Retriever wurde 1870 erstmals genannt. Die allgemeine Erscheinung wird als kräftig gebaut und aktiv angegeben. Ein breiter Schädel, eine breite und tiefe Brust sowie eine kurze, aber starke Lendenpartie und kräftige Hintergliedmaße gehören ebenfalls zu den kennzeichnenden Merkmalen. Die Körperoberlinie sollte gerade sein und die ideale Körpergröße wird mit einer Widerristhöhe von 56–57 (männlich) und 54–56 (weiblich) angegeben.

## 2.2 Anatomie

### 2.2.1 Knöcherne Strukturen

Die Wirbelsäule des Hundes ist aus 7 Halswirbeln, 13 Brustwirbeln, 7 Lendenwirbeln, dem Kreuzbein sowie 20–23 Schwanzwirbeln aufgebaut (Nickel et al. 2004). Diese Wirbelkette beschreibt 4 Krümmungen: die dorsal konvexe Kopf-Hals-Krümmung, die dorsal konkave Hals-Brust-Krümmung, die dorsal schwach konvexe Brust-Lenden-Krümmung sowie die dorsal konvexe Sakral-Krümmung.

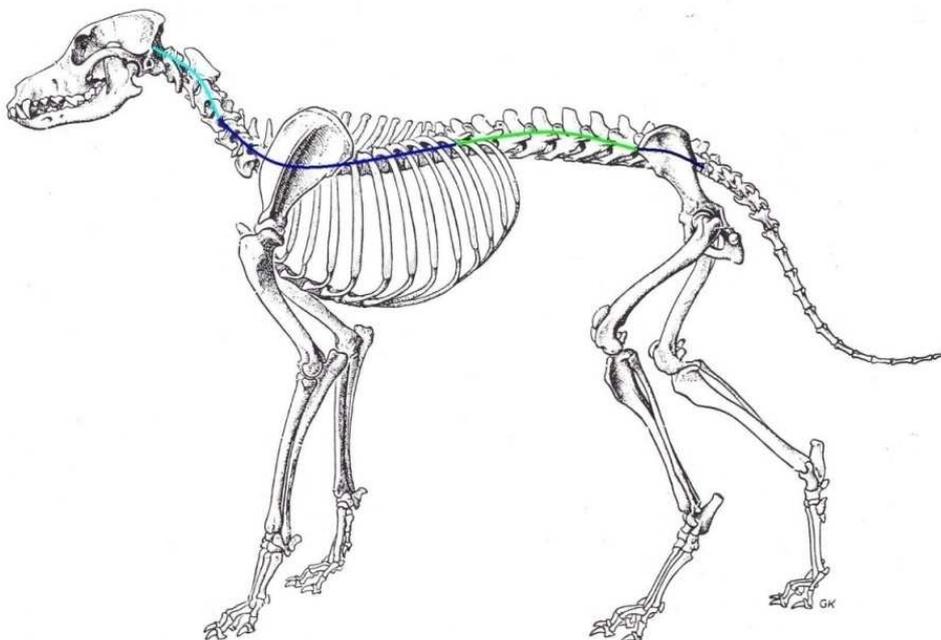


Abb. 1: Darstellung der Krümmungen der kaninen Wirbelsäule; Schema des Hundeskeletts aus Nickel et al. (2004).

Das folgende Schema (Abb. 2) zeigt die gemeinsame Grundform aller Wirbel, die in den verschiedenen Körperregionen durch verschieden starke Abwandlungen den örtlichen Funktionen angepasst ist (Nickel et al. 2004).

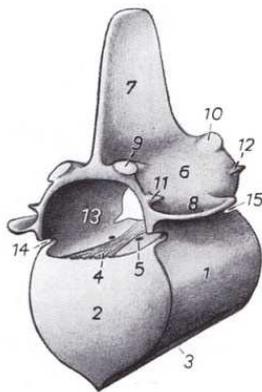


Abb. 2: Schema eines Wirbels; aus Nickel et al. (2004)

1 Corpus vertebrae; 2 Extremitas cranialis; 3 Crista ventralis; 4 Bandleiste; 5 Venenloch; 6 Arcus vertebrae; 7 Proc. spinosus; 8 Proc. transversus; 9 Proc. articularis cranialis; 10 Proc. articularis caudalis; 11 Proc. mamillaris; 12 Proc. accessorius; 13 Foramen vertebrale; 14 Incisura vertebralis cranialis; 15 Incisura vertebralis caudalis

Der Wirbelkanal, der durch die Aneinanderreihung der Wirbel entsteht, ist an seinem kopfnahen Ende, am Brust-Hals-Eingang sowie im Lendengebiet erweitert (Nickel et al. 2004). Zu rassespezifischen anatomischen Unterschieden hinsichtlich des Innendurchmessers des Wirbelkanals konnten Morgan et al. (1987) in einer myelografischen Studie zeigen, dass der Durchmesser des Spinalkanals einer chondrodystrophen Rasse (50 Dackel) im Vergleich zum Durchmesser des Rückenmarks kleiner ist als bei einer nicht chondrodystrophen Rasse (50 Deutsche Schäferhunde). Die Durchlassöffnungen für die Spinalnerven werden jeweils durch die Incisurae vertebrales craniales et caudales gebildet (Budras 2004). Die sogenannten Facettengelenke werden durch die Procc. articulares craniales et caudales gebildet. Der prominenteste Fortsatz ist außer am 1. Halswirbel und an den Schwanzwirbeln stets der Dornfortsatz (Proc. spinosus).

Die von anhängenden Strukturen befreite Wirbelsäule von Hund und Katze zeigt eine viel höhere Beweglichkeit im Vergleich derer von großen Pflanzenfressern (Lang 1972), v.a. in der Lendenwirbelsäule (Seiferle und Frewein 2004).

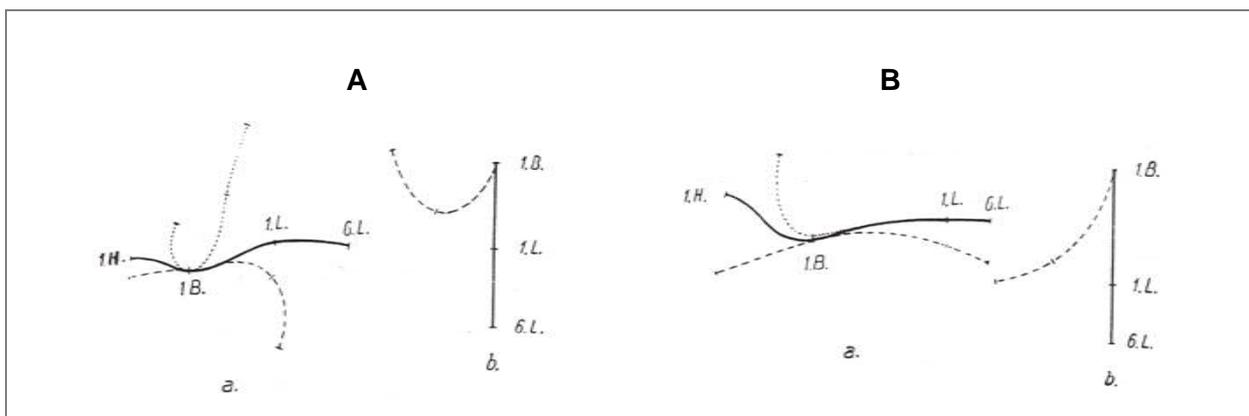


Abb. 3: Schema zur Darstellung der Biegsamkeit der isolierten Wirbelsäule von Hund (A) und Pferd (B) jeweils nach oben und unten (a.) und nach seitlich (b.); nach Slijper (1946).

Studien, die den direkten Vergleich der Wirbelsäule von Labrador Retriever und Dackel erlauben (wie z.B. CT-Studien wie zur Wirbelsäule des Deutschen Schäferhunds (Dabanoglu et al. 2004)) fehlen bislang.

Die Halswirbelsäule: Die Länge der Wirbelkörper nimmt nach kaudal hin ab, die Länge der Dornfortsätze nimmt zu (Nickel et al. 2004). Die Crista ventralis sowie die Querfortsätze (Procc. transversi) sind hier besonders prominent. An der Halswirbelsäule tragen diese Querfortsätze Foramina transversaria, die zusammen den Canalis transversarius bilden.

Die Brustwirbelsäule: Die Dornfortsätze sind zunächst leicht nach kaudal geneigt und nehmen nach dem 6. Brustwirbel an Länge ab (Nickel et al. 2004). Der Dornfortsatz des 10. oder 11. Brustwirbels steht als sogenannter antiklinaler Wirbel senkrecht, die nachfolgenden Dornfortsätze sind leicht nach kranial geneigt. Da das Schulterblatt im kranialen Bereich der Brustwirbelsäule die Dornfortsätze überragt, bildet dessen oberer Rand (Margo dorsalis) die knöcherne Grundlage für den Widerrist. Die Proc. transversi tragen an der Brustwirbelsäule eine Rippengrube (Fovea costalis), um mit dem Rippenhöckerchen zu artikulieren.

Die Lendenwirbelsäule: Die Breite der Lendenwirbelkörper nimmt nach kaudal hin zu, die Kranialneigung der Dornfortsätze ab (Nickel et al. 2004). Die Procc. transversi, die wie in der Halswirbelsäule stark ausgebildet sind, tragen hier als Rippenrudimente die Procc. costales, die nach kranioventral gerichtet und beim Fleischfresser sehr breit ausgebildet sind. Ein selbstständiger Proc. accessorius ist nur im Kranialbereich der Lendenwirbelsäule ausgebildet (Budras 2004).

Das Kreuzbein: Die 3 Sakralwirbel sind knöchern zum Kreuzbein verschmolzen (Budras 2004). Durch die Aneinanderreihung der Fortsätze bildet sich so eine Crista sacralis mediana, eine Crista sacralis lateralis und eine Crista sacralis intermedia. Das Kreuzbein bildet mit dem Darmbein das straffe Iliosakralgelenk.

Die Schwanzwirbelsäule: Der Hund besitzt je nach Rasse 20–23 Schwanzwirbel (Nickel et al. 2004). Ab dem 4. Schwanzwirbel sind beim Fleischfresser die Procc. haemales ausgebildet.

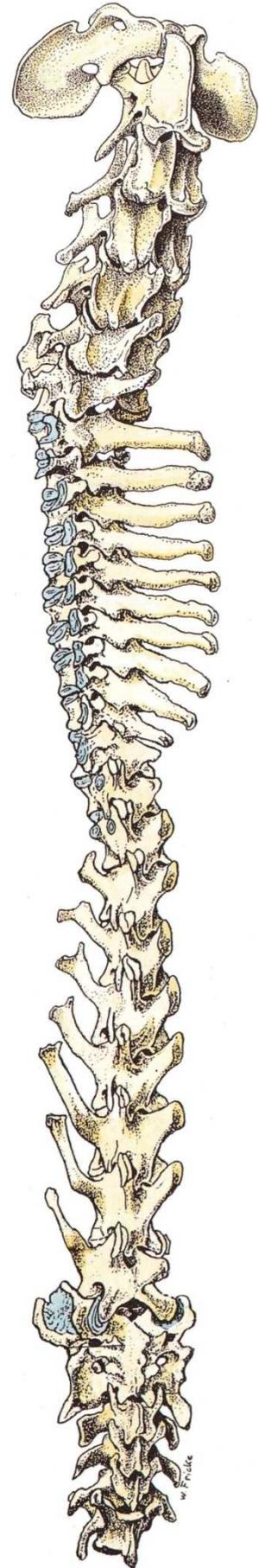


Abb. 4: Wirbelsäule des Hundes; aus Budras (2004).

## 2.2.2 Muskulatur

Die der Wirbelsäule anhängende Muskulatur kann in 3 Gruppen unterschieden werden (Budras 2004): die dorsale oder autochtone Wirbelsäulenmuskulatur, die ventrale Wirbelsäulenmuskulatur und die dorsalen Kopfbeweger. Zur besseren Übersicht sind die Muskeln mit ihrem jeweiligen Ursprung, Ansatz sowie der Hauptfunktion tabellarisch dargestellt.

Tab. 1: Die dorsale (autochtone) Wirbelsäulenmuskulatur des Hundes; nach Budras (2004). Zu jedem Muskel sind Ursprung, Ansatz und Funktion genannt.

<b>Muskel</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Funktion</b>
<i>M. splenius capitis</i>	Dornfortsätze der ersten 3 Brustwirbel	Crista nuchae	Strecken und Seitwärtsbiegen von Kopf und Hals
<i>M. iliocostalis lumborum et thoracis</i>	Darmbeinflügel (Crista iliaca)	Querfortsätze der Lendenwirbel, Rippenwinkel und Querfortsätze der letzten beiden Halswirbel	Feststellen von Lende und Rippen; Aufrichter und Seitwärtsbieger der Wirbelsäule
<i>M. longissimus lumborum, thoracis, cervicis et capitis</i>	Dornfortsätze des Kreuzbeins, der Lenden- und Brustwirbel; Darmbeinflügel; Querfortsätze der Brust- und Halswirbel	Hilfs- und Querfortsätze der Wirbelsäule; Rippenhöckerchen; Atlasflügel und Proc. mastoideus des Schläfenbeins	Feststellen und Strecken der Wirbelsäule; Aufrichten des Oberkörpers; Heben von Hals und Kopf; Halsbieger bei einseitiger Kontraktion
<i>M. spinalis et semispinalis cervicis et thoracis</i>	verkehrt zwischen den Dornfortsätzen des 2. Halswirbels und des 11. Brustwirbels		Feststellen von Rücken und Hals
<i>M. semispinalis capitis (M. biventer cervicis, M. complexus)</i>	Querfortsätze des 4.–2. Brustwirbels; kaudale Gelenkfortsätze des 1. Brustwirbels bis 3. Halswirbels	Squama occipitalis	Heben und Seitwärtsbiegen des Kopfes

Fortsetzung Tab. 1

<b>Muskel</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Funktion</b>
<i>Mm. multifidi</i> ( <i>multifidius cervicis</i> , <i>multifidius thoracis</i> , <i>multifidius lumbalis</i> )	Gelenk- und Zitzenfortsätze vom 2. Halswirbel bis zum Kreuzbein	Dornfortsätze der vorausgehenden Wirbel	Feststeller und Dreher der Wirbelsäule; Heber des Halses
<i>Mm. intertransversarii</i>	Procc. transversi, mammillares, articulares und accessorii der Wirbel		Feststeller und Bieger der Wirbelsäule
<i>Mm. interspinales</i>	verkehren zwischen den Dornfortsätzen der Lenden-, Brust-, und Halswirbel		Feststeller und Bieger der Wirbelsäule
<i>M. sacrococcygeus dorsalis medius</i>	Zitzenfortsätze des 7. Lendenwirbels bis letzten Schwanzwirbels	Dornfortsätze der vorausgehenden Wirbel	Heber und Seitwärtsbieger des Schwanzes
<i>M. sacrococcygeus dorsalis lateralis</i>	Sehnenspiegel des M. longissimus und Zitzenfortsätze des 4. Lendenwirbels bis letzten Schwanzwirbels	zartsehnig am vorausgehenden Wirbel	Heber und Seitwärtsbieger des Schwanzes

Tab. 2: Die ventrale Wirbelsäulenmuskulatur des Hundes; nach Budras (2004). Zu jedem Muskel sind Ursprung, Ansatz und Funktion genannt.

<b>Muskel</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Funktion</b>
<i>Mm. scaleni</i> ( <i>M. scalenus dorsalis</i> , <i>M. scalenus medius</i> )	Querfortsätze des 4. oder 5. Halswirbels	8. Rippe, bzw. 1. Rippe	Heber der Rippen (Hilfsinspirator); Niederzieher und Seitwärtsbieger des Halses
<i>M. longus capitis</i>	ventral an den Querfortsätzen der Halswirbel 1–6	Tuberculum musculare der Schädelbasis	Beuger und Seitwärtszieher von Kopf und Hals
<i>M. longus colli</i>	Querfortsätze des 5.–6. Brustwirbels	Querfortsätze des 1. Halswirbels	Beuger des Halses

Tab. 3: Die Muskelgruppe der dorsalen Kopfbeweger des Hundes; nach Budras (2004); Zu jedem Muskel sind Ursprung, Ansatz und Funktion genannt.

Muskel	Ursprung	Ansatz	Funktion
<i>M. rectus capitis dorsalis major</i>	Proc. spinosus axis	Crista nuchae	Kopfheber
<i>M. rectus capitis dorsalis minor</i>	Atlas	Os occipital	Kopfheber
<i>M. obliquus capitis caudalis</i>	Proc. spinosus axis	Ala atlantis	Dreher des Atlas um den Dens axis
<i>M. obliquus capitis cranialis</i>	Ala atlantis	Crista nuchae	Kopfstrecker und -dreher

Beim Fleischfresser hat die Rückenmuskulatur weniger eine tragende Aufgabe, wie es bei den großen Pflanzenfressern der Fall ist, als vielmehr eine aktiv bei der Lokomotion mitarbeitende Aufgabe (vor allem im Galopp und Sprung) (Seiferle und Frewein 2004). So ist der *M. iliocostalis lumborum* beim Hund von allen Haussäugetieren am stärksten entwickelt und ist außer an der Fixation der Lenden- und Brustpartie auch an der Vorwärtsbewegung im Galopp beteiligt (Strecken der Lendenwirbelsäule). Das Abbiegungsvermögen und die Rotationsfähigkeit der Rückenpartie in alle Richtungen sind deutlich größer als bei den übrigen Haussäugetieren. Vergleichbar zu den großen Haussäugetieren ist jedoch in den schnelleren Gangarten eine aktive Feststellung der sehr beweglichen Wirbelbrücke möglich. Die kurzen Rückenmuskeln (*Mm. multifidii*) sind sehr kräftig, fleischig und gut differenziert. Sie wirken beim Fleischfresser im Lendenteil zusätzlich als Durchbieger und im Brustteil als Dreher der Wirbelsäule.

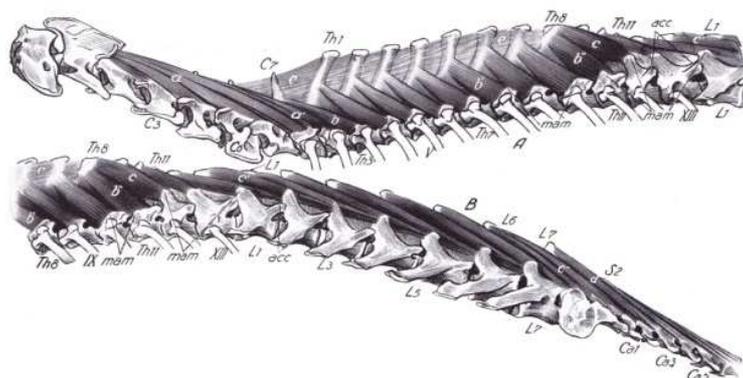


Abb. 5: *Mm. multifidii* des Hundes (Deutscher Schäferhund); aus Nickel et al. (2004).

### 2.2.3 Gelenke

Im Bereich des Rückens findet sich eine Reihe von verschiedenen Arten von Gelenken (Nickel et al. 2004). Im Gegensatz zu den meisten anderen Gelenken besitzen die Wirbelkörper untereinander keine synoviale Gelenkverbindung, sondern durch die Bandscheiben eine synchondrotische Verbindung.

Tab. 4: Gelenke der Wirbelsäule; nach Budras (2004).

Name	beteiligte Knochen	Form	Funktion
<i>Art. atlanto-occipitalis</i>	Condylus occipitalis und Fovea articularis cranialis atlantis	Art. ellipsoidea Art. simplex	Wechselgelenk, „Kopfnicken“
<i>Art. atlantoaxialis</i>	Fovea dentis et Fovea articularis caudalis atlantis und Dens et Facies articularis ventralis dentis	Art. trochoidea Art. simplex	Rotation, „Kopfschütteln“
<i>Artt. processuum articularium</i>	Gelenkfortsätze benachbarter Wirbel	Artt. planae	Schiebegelenk
<i>Art. capitis costae</i>	Facies articularis capitis costae und Fovea costalis caudalis/cranialis des vorzähligen/gleichzähligen Wirbels	Art. sphaeroidea Art. composita	Wechselgelenk
<i>Art. costo-transversaria</i>	Facies articularis tuberculi costae und Fovea costalis processus transversi	Art. plana Art. simplex	Wechselgelenk
<i>Symphysis intervertebralis</i>	Körper der benachbarten Wirbel beginnend mit dem 2. Halswirbel einschließlich der Schwanzwirbel	spaltfreies Gelenk mit Discus intervertebralis	geringe Bewegungsmöglichkeit
<i>Art. sacroiliaca</i>	Facies auricularis ossis sacri und ossis ilii	Art. plana Art. simplex	Amphiarthrosis

Die Facettgelenke (*Artt. processuum articularium*) bieten im Halsbereich eine sehr hohe Beweglichkeit (Breit und Künzel 2002). Im Brust- und Lendenwirbelbereich nimmt die Beweglichkeit ab (Nickel et al. 2004). Während in der kranialen Brustwirbelsäule vor allem Rotationsbewegungen möglich sind, ändern sich die Gelenkflächen zum thorakolumbalen Übergang dahingehend, dass das Auf- und Abbiegen (Kyphose und Lordose) überwiegt. Rassevergleichend wurde die Geometrie der Facettgelenke der thorakolumbalen Wirbelsäule (Th10–L6) von verschiedenen großen Hunderassen untersucht (Breit 2002). Dabei

konnte eine Neigung der größeren Hunde zur Lordose und damit auch zu einer verminderten Stabilität nachgewiesen werden. Das Seitwärtsbiegen (Skoliose) ist an der ganzen Wirbelsäule möglich (Nickel et al. 2004). Die Disci intervertebrales im Zwischenwirbelbereich des Kreuzbeins verknöchern im 2. Lebensjahr (Budras 2004). Die starre Verbindung des Kreuzbeins ermöglicht zusammen mit dem straffen Kreuzdarmbeingelenk eine Übertragung des Impulses der Hintergliedmaßen in der Bewegung.

### 2.2.4 Bänder

Ventral der Wirbelkörper erstreckt sich vom 7. Brustwirbel bis zum Os sacrum das Lig. longitudinale ventrale (Nickel et al. 2004). Am Boden des Wirbelkanals verläuft vom 2. Halswirbel bis zum Os sacrum das Lig. longitudinale dorsale. Beide Bänder heften sich dorsal bzw. ventral an die Zwischenwirbelspalten und stabilisieren dadurch die Bandscheiben. Als paariger elastischer Nackenstrang überspannt das Lig. nuchae vom Axis bis zum Dornfortsatz des 1. Brustwirbels die Halswirbelsäule. Von dort setzt es sich als Lig. supraspinale befestigt an jedem Dornfortsatz bis zum 3. Kreuzwirbel fort. Die Ligg. flava erstrecken sich als kleine Bänder über den Intervertebralspalt. Ligamenta intertransversaria sind nur an der Lendenwirbelsäule ausgebildet.

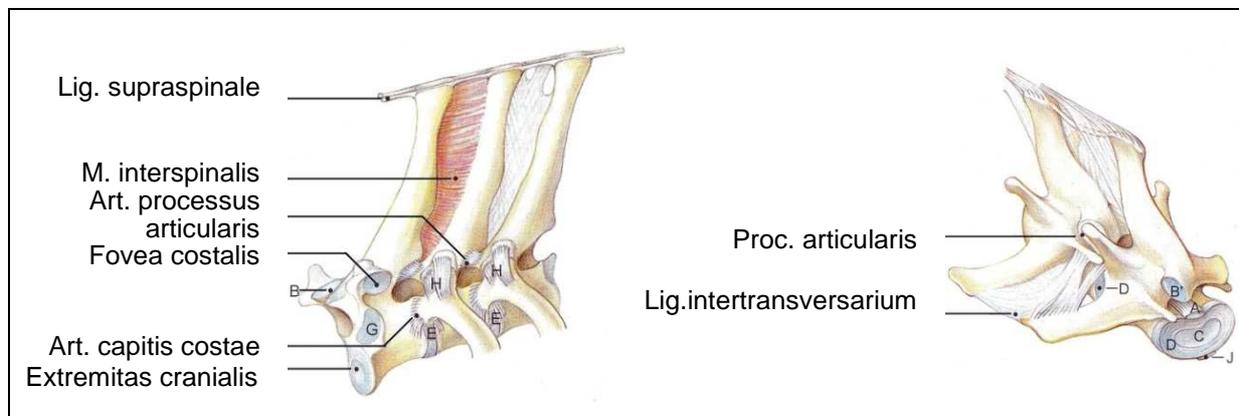


Abb. 6: Ausschnitt der Brust- und Lendenwirbelsäule kranio-laterale Ansicht; aus Budras (2004). A = Lig. longitudinale dorsale, B = Proc. articularis cranialis, C = Nucleus pulposus des Discus intervertebralis, D = Anulus fibrosus des Discus intervertebralis, E = Lig. capitis costae radiatum, F = Lig. capitis costae intraarticulare, G = Fovea costalis cranialis, H = Lig. costotransversarium, J = Lig. longitudinale ventrale

### 2.2.5 Bandscheiben

Vom 2. Halswirbel bis zu den Schwanzwirbeln sind die benachbarten Wirbel spaltfrei durch die Zwischenwirbelscheiben, die Disci intervertebrales, miteinander verbunden und stellen so die synchondrotische Verbindung der Wirbel dar (Nickel et al. 2004). Diese bestehen aus

dem zentralen Gallertkern, Nucleus pulposus und dem ihn umgebenden und mit den Wirbelendflächen verbundenen ringförmigen Anulus fibrosus, der aus bindegewebigen konzentrischen Lamellen besteht. Während die inneren Lamellen des Nucleus pulposus hauptsächlich aus Kollagen Typ II bestehen, das besonders druckresistent ist, findet man in den äußeren Lamellen des Anulus fibrosus vor allem das faserreiche und zugbeständige Kollagen Typ I (Bray und Burbidge 1998a). Durch ihre Lage im Zentrum der Bewegung der Wirbelsäule wirken die Disci intervertebrales als Stoßdämpfer zwischen den Wirbeln (Nickel et al. 2004).

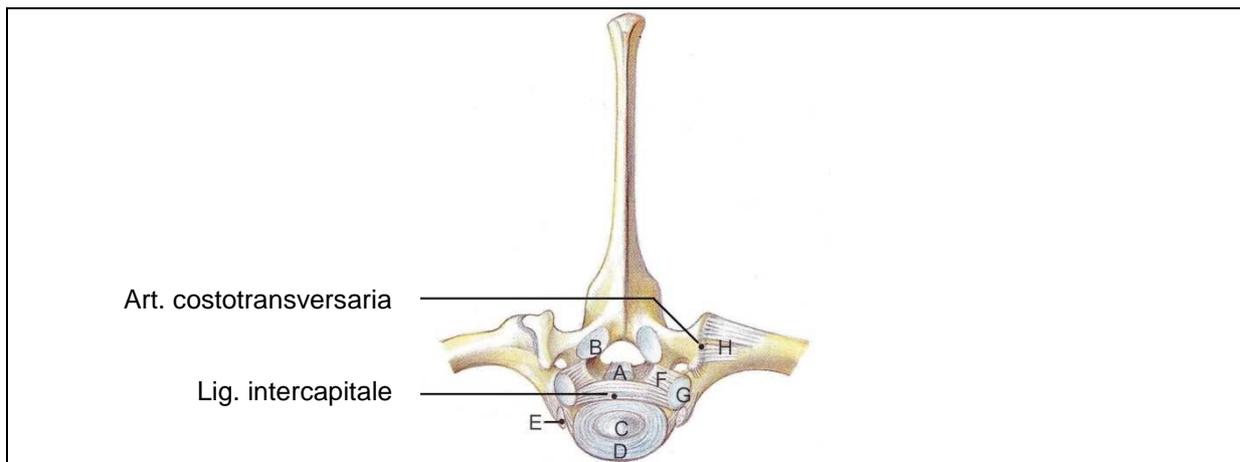


Abb. 7: Ausschnitt aus der Brustwirbelsäule, kraniokaudale Ansicht; aus Budras (2004). A = Lig. longitudinale dorsale, B = Proc. articularis cranialis, C = Nucleus pulposus des Discus intervertebralis, D = Anulus fibrosus des Discus intervertebralis, E = Lig. capitis costae radiatum, F = Lig. capitis costae intraarticulare, G = Fovea costalis cranialis, H = Lig. costotransversarium, J = Lig. longitudinale ventrale

## 2.3 Rassespezifische Prädispositionen und deren Pathoanatomie

### 2.3.1 Dackel

Der Dackel neigt zur Spondylosis deformans (Breit und Künzel 2001). Diese degenerative Gelenkerkrankung, die mit der Bildung von Osteophyten an den Übergängen zwischen den Wirbeln einhergeht, wird vor allem bei älteren Hunden gesehen und steht in engem Zusammenhang zu biomechanischen Gegebenheiten an der Wirbelsäule (Morgan et al. 1967, Walker et al. 1981). Diese Erkrankung scheint jedoch beim Dackel nicht klinisch relevant zu sein (Geary 1969) und auch nicht mit einem erhöhten Risiko für einen Bandscheibenvorfall einherzugehen (Levine et al. 2006a).

Des Weiteren existiert eine Prädisposition der Rasse Dackel für Bandscheibenvorfälle (Gough und Thomas 2009). Die Angaben, wie wahrscheinlich es ist, dass ein Dackel einen Bandscheibenvorfall erleidet, variieren je nach untersuchter Population. Ball et al. (1982)

fand eine Prävalenz von 62 % in zwei Familienlinien mit insgesamt 84 Tieren. Ansonsten wird die Prävalenz zwischen 19 und 24 % angegeben (Hansen 1952, Levine et al. 2006b). Bandscheibenvorfälle beim Hund werden nach Hansen (1952) in 2 verschiedene Typen unterteilt. Chondrodysplastische Rassen, wie der Dackel, erkranken an Typ I, der von einer Extrusion von Bandscheibenmaterial in den Wirbelkanal gekennzeichnet ist. Hierbei reißt der Anulus fibrosus und das Bandscheibenmaterial fällt in den Wirbelkanal vor. Meist sind junge bis mittelalte Hunde betroffen und 75 % der Vorfälle liegen zwischen Th12–L2 (Hansen 1952, Levine und Caywood 1983, Janssens 1990, Schwartau 1996).

Eng verbunden mit dem Bandscheibenvorfall Typ I der chondrodystrophen Rassen und als mögliche Ursache hierfür diskutiert steht der Begriff der Enchondrosis intervertebralis. Hierbei kommt es bereits sehr früh in der Wachstumsphase zu degenerativen Prozessen in den Bandscheiben. Diese Prozesse sind bereits mit 12–14 Monaten abgeschlossen und es kommt anschließend zu einer Kalzifikation des Gewebes (Hansen 1951, Hansen 1952). Jensen (2000) konnte eine Vererbung der kalzifizierten Bandscheiben nachweisen. In der Studie von Stigen (2007) zeigte sich, dass die radiologische Untersuchung auf kalzifizierte Bandscheiben im Vergleich zur histologischen Untersuchung nur eine Sensitivität von 0,6 (und eine Spezifität von 1,0) hat. In einer relativ neuen Studie konnte nachgewiesen werden, dass Dackel ohne radiologisch sichtbare Bandscheibenkalzifizierung genauso häufig an Bandscheibenvorfällen erkrankten wie Dackel mit einer solchen Veränderung (Rohdin et al. 2010).

### **2.3.2 Labrador Retriever**

Hinsichtlich der knöchernen Strukturen der Wirbelsäule kommen beim Labrador Retriever wenig angeborene Erkrankungen vor (Gough und Thomas 2009, Westworth und Sturges 2010). Morgan et al. (1999) fanden jedoch in einer radiologischen Studie mit über tausend Labrador Retrievern bei 5,2 % der Tiere lumbosakrale Übergangswirbel. Beim Labrador Retriever kann es wie bei allen Hunden zu Spondylosen und auch zu Bandscheibenvorfällen kommen (Levine et al. 2006a). Kommt es zu einem Bandscheibenvorfall, handelt es sich wie bei allen älteren, großwüchsigen Hunden der nonchondrodysplastischen Rassen meist um Typ 2 (Hansen), der durch eine Protrusion oder Vorwölbung des Anulus fibrosus gekennzeichnet ist (Hansen 1952, Bray und Burbidge 1998b). Solche Protrusionen treten häufiger, nämlich bei 50 % der Hunde auf als sie zu neurologischen Ausfällen führen (Jadeson 1961, Janssens 1990). Labrador Retriever können wie alle großen Hunde an lumbosakraler Stenose erkranken (Breit und Künzel 2001).

## 2.4 Ganganalyse

Die Ganganalyse kann in verschiedene Gebiete eingeteilt werden (Hatze 1974, Leach 1993, Off und Matis 1997a). Als Gegenstück zur technischen Mechanik prägte Hatze (1974) den Begriff der Biomechanik, geltend für Menschen, Tiere und Pflanzen und teilte diesen in die 3 Gebiete der Biostatik, Biodynamik und Biokinematik ein. Die Biostatik beschäftigt sich mit einem sich im Gleichgewicht befindenden, ruhenden, biologischen System. Die Biodynamik untersucht die Kräfte, die während der Bewegung eines Körpers auftreten. Die Biokinematik schließlich beschreibt die Bewegung eines Körpers in sich mit geometrischen Funktionen. Wie Dalin und Jeffcott (1985) sprechen auch Off und Matis (1997a) von Biokinetik und Biokinematik. Biokinetik berücksichtigt auf einen Körper wirkende Kräfte und die daraus resultierende Bewegung. Biokinematik umfasst die rein geometrischen Beschreibungen der Bewegung ohne Kräfte zu nennen.

Die ganganalytische Untersuchung hat sich in den letzten 2 Jahrzehnten in der Tiermedizin als hilfreiches und präzises Mittel zur In-vivo-Untersuchung von Bewegung und Beweglichkeit erwiesen (Gillette und Angle 2008). In der Diagnostik lassen sich Lahmheitserhebungen messtechnisch dokumentieren und präzisieren und in der klinischen Forschung Belastungsverhältnisse und Kompensationsmechanismen nach orthopädischen Eingriffen genauer definieren (Off und Matis 1997a). In diesen Bereichen sind sie sowohl durch die Messung der Kinetik mit hochsensiblen Kraftmessplatten als auch durch die Kinematik mit den Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung der rein aspektorischen Lahmheitsuntersuchung überlegen (DeCamp 1997, Evans et al. 2005, Voss et al. 2007).

### 2.4.1 Statik

Der Hund bildet mit seinen 4 Gliedmaßen eine viereckige Unterstützungsfläche für den Körper (Seiferle und Frewein 2004). Dabei liegt der Körperschwerpunkt des stehenden Hundes etwas kranial des Schnittpunkts der Diagonalen des Unterstützungsdreiecks und damit näher an den Vorder- als an den Hintergliedmaßen. Die genaue Lage des Körperschwerpunkts eines Hundes ist jedoch rasseabhängig. Er befindet sich bei hochläufigen Hunden bei etwa 43,72 % der Rumpflänge, was in etwa der Höhe des 9. Interkostalraums entspricht (Larche 1962, Roy 1971). Die Vordergliedmaßen tragen dadurch mehr Gewicht als die Hintergliedmaßen.

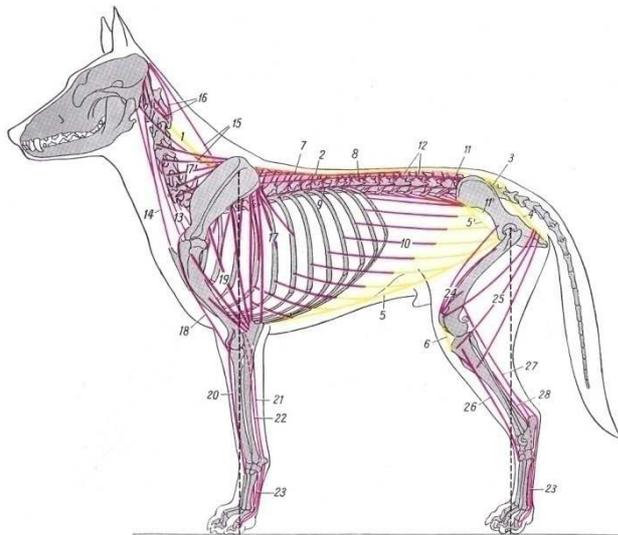


Abb. 8: Schematische Darstellung wichtiger Bauelemente des Stammes und der Gliedmaßen beim Hund, sogenannte Normalstellung; aus Seiferle und Frewein (2004). Grau: Skeletteile; gelb: ligamentöse oder sehnige, rot: muskulöse Verspannungen und Tragvorrichtungen, von denen die muskulösen deutlich überwiegen.

Der Rumpf ist ähnlich einer Brücke oder einem gespannten Bogen konstruiert (Seiferle und Frewein 2004). Beim Fleischfresser, der in Ruhe leichter und häufiger abliegt als die großen Pflanzenfresser, ist der Bewegungsapparat eher für die aktive und wendige Lokomotion als für langes und stabiles Stehen ausgelegt (vergleiche Abb.8).

#### 2.4.2 Bewegung

Die Bewegung der Haussäugetiere wird immer durch Strecken einer Hintergliedmaße initiiert (Seiferle und Frewein 2004). Der zunächst bodenwärts gerichtete Druck wird dann durch Öffnung des Gelenkwinkels in einen nach vorne gerichteten Schub umgewandelt, der sich durch Vermittlung des Beckens in der Bewegungsrichtung auf den Rumpf überträgt. Der Schwerpunkt wird dadurch in den klassischen Gangarten Schritt, Trab und Galopp in Richtung der diagonalen Vordergliedmaße verschoben. Die diagonale Vordergliedmaße hebt sich gefolgt von der Hintergliedmaße, schwingt nach vorne und fängt den Schwerpunkt wieder auf. Die Vorwärtsbewegung, die evolutionsbedingt die Hauptbewegungsrichtung darstellt, kann somit auch als rhythmische Verschiebung des Schwerpunkts nach kranial verstanden werden. Durch das Verschieben auf die diagonale Vordergliedmaße entsteht vor allem bei langsamer Bewegung ein Hin- und Herpendeln des Schwerpunkts von der Medianebene. Dadurch findet neben der Auf- und Abbewegung eine rhythmische Seitwärtsbewegung des Rumpfes statt.

Um diese parasagittale Gliedmaßenkonstruktion und gleichzeitig aber auch eine größere sagittale Beweglichkeit zu vereinbaren, weisen Säugetiere im Gegensatz zu anderen Tetrapoden eine bilaterale Rumpfmuskelaktivität auf (Schilling und Carrier 2010). Die Körperachse ist also von besonders wichtiger Bedeutung für die Lokomotion, da sie aktiv an der Fortbewegung beteiligt ist, die Grundlage für die Erzeugung mechanischer Arbeit durch die Gliedmaße bildet und die koordinierten Aktionen der Gliedmaße und des Rumpfes kombiniert.

### 2.4.2.1 Zeitlicher Ablauf des Ganges

Der Schritt als kleinste sich wiederholende Einheit in der Fortbewegung wurde von Leach (1993) als vollständiger Bewegungszyklus und von DeCamp (1993) als sich wiederholendes Koordinationsmuster definiert. Ein Schritt lässt sich untergliedern in die Standphase und die Schwungphase, wobei die Gliedmaße in der Standphase Kontakt zum Untergrund hat und mehr oder weniger Kraft auf diesen ausübt und in der Schwungphase die Gliedmaße ohne Bodenkontakt nach vorne geführt wird (Dalin et al. 1973, Drevemo et al. 1980, Jeffcott et al. 1982). Das Verhältnis der Stand- und Schwungphase zueinander verändert sich je nach Geschwindigkeit auch innerhalb einer Gangart (Colborne et al. 2006); so verkürzt sich die Standphase in einem schnelleren Trab mehr als die Schwungphase. Außerdem ist dieses Verhältnis unterschiedlich für die Vorder- und Hintergliedmaßen. Das konnten Hutton (1969b) und Leach (1977) in ihren Studien mit Kraftmessplatten bereits zeigen, die eine 1,5-mal größere Kontaktzeit der Vordergliedmaßen im Vergleich zu den Hintergliedmaßen angaben.

Bei Tetrapoden sind die Bewegungszyklen der 4 Gliedmaße (jeweils bestehend aus Anheben, Vorschwingen, Stützen, Stemmen) in den verschiedenen Gangarten gegeneinander verschoben und so überlagern sich die Stand- und Schwungphasen der 4 Gliedmaße in jeder Gangart und Geschwindigkeit in unterschiedlicher Weise (Seiferle und Frewein 2004). Es existiert eine große Anzahl an weiteren Parametern, die meistens rechnerisch erhoben werden (Doppelschrittdauer, Kadenz etc.).

Der gewöhnliche Schritt des Hundes ist ein 4-Takter, wobei beim Vorkommen einer Dreibeinstütze, was im gewöhnlichen Schritt des Hundes der Fall ist, eine Einteilung in 8 Einzelphasen möglich ist (Seiferle und Frewein 2004).

- 1: Standphase auf 3 Extremitäten (beide Vordergliedmaßen und die rechte Hintergliedmaße)
- 2: rechte sagittale Doppelstandphase (rechte Vorder- und Hintergliedmaße)
- 3: Standphase auf 3 Extremitäten (rechte Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen)
- 4: rechte diagonale Doppelstandphase (rechte Vorder- und linke Hintergliedmaße)
- 5: Standphase auf 3 Extremitäten (beide Vordergliedmaßen und die linke Hintergliedmaße)
- 6: linke sagittale Doppelstandphase (linke Vorder- und Hintergliedmaße)
- 7: Standphase auf 3 Extremitäten (linke Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen)
- 8: linke diagonale Doppelstandphase (linke Vorder- und rechte Hintergliedmaße)

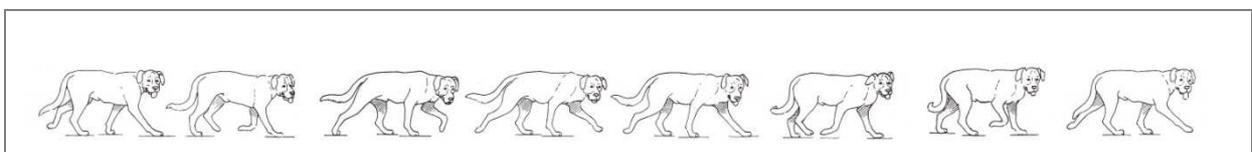


Abb. 9: Gewöhnlicher Schritt eines Hundes; nach Seiferle und Frewein (2004).

Zum Rhythmus der Gliedmaßenbewegung findet auch eine Bewegung des Kopfes und des Schwanzes statt, die wesentlich zur Ausbalancierung des Gleichgewichts beitragen (Seiferle und Frewein 2004).

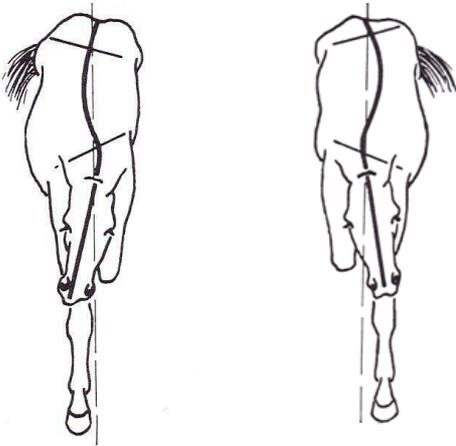


Abb. 10: Mitbewegung von Stamm und Kopf im Schritt beim Pferd; aus Seiferle und Frewein (2004).

Der Trab stellt einen einfachen diagonalen Synchronismus dar und ist als solches ein 2-Takter (Seiferle und Frewein 2004). Im Trab ist diese Seitwärtsverschiebung des Schwerpunkts von der Medianen weg deutlich reduziert, da dieser durch die wechselnden diagonalen Unterstützungsphasen vor allem nach vorne geworfen wird. Die verschiedenen Rassetypen des Hundes zeichnen sich durch mannigfaltige unterschiedliche Trabformen aus, die hier nicht näher erläutert werden sollen (Hildebrand 1968, Seiferle und Frewein 2004).

#### 2.4.2.2 Kinetik

Die Kinetik beschäftigt sich, wie zu Beginn des Kapitels „Ganganalyse“ bereits näher erläutert, mit den auf einen Körper wirkenden Kräften und der daraus resultierenden Bewegung (Off und Matis 1997a). Betrachtet man die oben beschriebene Lage des Schwerpunkts im Stand, so liegt dieser auch in den verschiedenen Gangarten näher an den Vordergliedmaßen (Pandy et al. 1988, Rumph et al. 1994). Dadurch übernehmen die Vorderbeine ungefähr 60 % oder  $\frac{2}{3}$  und die Hinterbeine ungefähr 40 % oder  $\frac{1}{3}$  der Körperlast (Larche 1962, Hutton et al. 1969a, Budsberg et al. 1987, Seiferle und Frewein 2004, Raith 2010). Die genaue Verteilung hängt dabei jedoch vom Körperbau des Hundes und damit auch von der Rasse ab (Larche 1962, Budsberg et al. 1987). Die Hintergliedmaßen wirken dabei als Stemm- und Wurfhebel und sind für den Vorschub verantwortlich (Hutton et al. 1969a, Roy 1971), die Vorderbeine besitzen dagegen eine stützende und raumgreifende Funktion und kompensieren die während der Bewegung entstehende Verlagerung des Schwerpunkts (Seiferle und Frewein 2004).

Die Kräfte, die unter dem sich fortbewegenden Individuum gemessen werden können, werden in der Ganganalyse als Bodenreaktionskräfte (BRK) bezeichnet (Off und Matis 1997a). Budsberg (1987) unterschied erstmals in der Veterinärmedizin 3 Ebenen der Kräfte. Dabei ist  $F_z$  im Stand als die Gewichtskraft definiert, in der Fortbewegung als die vertikale Bodenreaktionskraft.  $F_y$  wirkt in kraniokaudaler Richtung und zeigt je nachdem die Schub- oder Bremskraft an.  $F_x$  gibt die mediolaterale Kraft an. Da sich die vertikale Spitzenkraft beim Hund als größte und konstanteste dieser 3 Bodenreaktionskräfte erwiesen hat und dadurch am leichtesten reproduzierbar ist, wird sie in der Ganganalyse am häufigsten verwendet (Budsberg et al. 1993, Rumph et al. 1994, Budsberg et al. 1995). Sie wird in Newton gemessen und in % KGW angegeben, um Hunde verschiedenen Gewichts vergleichen zu können (Budsberg et al. 1987).

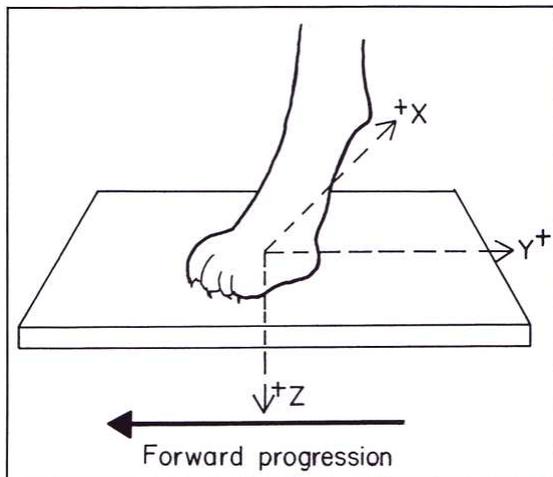


Abb. 11: Schema einer Gliedmaße, einer Kraftmessplatte und Richtung der positiven Bodenreaktionskräfte :  $+z$  = vertikal ,  $+y$  = kaudal,  $+x$  = medial; „forward progression“ = Vorwärtsbewegung; aus Budsberg et al. (1987).

Betrachtet man die gesamte Kraft, die über die Zeit der Standphasendauer wirkt, so kann der Impuls als Integral der Kraft über die Zeit berechnet werden (Budsberg et al. 1987). Da im Schritt und im Trab von einer relativen Symmetrie der Gliedmaßen ausgegangen werden kann (Budsberg et al. 1993, Gillette und Zebas 1999, Unkel-Mohrmann 1999, Raith 2010), unterscheiden sich rechte und linke Vorder- bzw. Hintergliedmaße sowohl in der vertikalen Spitzenkraft als auch im vertikalen Impuls nur geringfügig und tragen je 30 % (Vordergliedmaßen) und 20 % (Hintergliedmaßen) der Körperlast tragen (Budsberg et al. 1987, Unkel-Mohrmann 1999, Raith 2010). Es hat sich gezeigt, dass eine gewisse Varianz in dieser Verteilung auch in der physiologischen Fortbewegung besteht und nicht unbedingt mit einer klinischen relevanten Pathologie einhergeht. In der Literatur bestehen verschiedene Angaben, ab welchem Prozentsatz ein Unterschied als relevant und die Fortbewegung als pathologisch zu werten ist. Budsberg (1993) evaluierte 3 Indices, von denen einer der von uns genutzte ist (Herzog et al. 1989).

$$SI = 200 \times \frac{PVF_{re} - PVF_{li}}{PVF_{re} + PVF_{li}}$$

Die Literatur hat gezeigt, dass geringgradige Lahmheiten im Trab leichter detektiert werden können als im Schritt (Voss et al. 2007). Die Möglichkeit, den Beginn eines Schrittes kinetisch zu definieren, liegt in der Kraftaufnahme einer Gliedmaße und damit im Beginn der Standphase (Poy et al. 2000).

Die Untersuchung der Kinetik erfolgt heute in der Tiermedizin vor allem mit einer oder mehreren Kraftmessplatten über die das Tier geführt wird oder auf denen es auf einem Laufband geht (Gillette und Angle 2008). Der Vorteil eines Laufbandes mit integrierter Kraftmessung liegt in der repetitiven dynamischen Messung bei konstanter Geschwindigkeit (Off und Matis 1997a).

### 2.4.2.3 Kinematik

Die Kinematik (gr.: kinema, Bewegung) befasst sich, wie zu Beginn des Kapitels „Ganganalyse“ bereits näher erläutert, mit den auf einen Körper wirkenden Kräften und die daraus resultierende Bewegung (Off und Matis 1997a).

In der dreidimensionalen Kinematik in der Veterinärmedizin werden klassischerweise folgende Parameter erhoben (Leach 1993, Hottinger et al. 1996, Off und Matis 1997a, Off und Matis 1997b, Gillette und Angle 2008): Die absolute Position eines Markers im dreidimensionalen Raum zu einem bestimmten Zeitpunkt (je nachdem, wie viele Messungen pro Sekunde möglich sind, ergeben sich unterschiedlich viel Zeitfenster für einen kompletten Schrittzklus) wird durch 3 Werte (x-, y-, z-Wert) festgelegt. Die Differenz zwischen den beiden maximalen Werten in einer Ebene ist der Bewegungsumfang (= "range of motion" (ROM)) an diesem Messpunkt. Betrachtet man 3 Punkte in einer Ebene oder 2 Punkten und einer Ebene, so kann weiter der Winkel berechnet werden. Bei der Untersuchung der Gliedmaße können so Gelenkwinkel (maximale Extension und Flexion) in verschiedenen Phasen des Ganges ermittelt werden. Zu einem solchen Winkel können außerdem Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung errechnet werden. Der Zeitpunkt des Auftretens eines kinematischen Ereignisses in Bezug auf den gesamten Schrittzklus kann ermittelt werden und wird als "time of occurrence" (TOO) bezeichnet. Daneben können zusätzlich Parameter, wie Anheben der Gliedmaße in der Schwungphase, Abduktion oder Adduktion oder die mediolaterale Hüftbewegung erhoben werden. Zur Quantifizierung der mediolateralen Hüftbewegung betrachtet man die rhythmische Verkürzung der Strecke zwischen der Crista iliaca und dem Punkt über dem thorakolumbalen Übergang (Poy et al. 2000).

Grundsätzlich wird für die Kinematik die gleiche Einteilung in Schrittzyklen verwendet wie für die Kinetik, d.h. der Beginn des Schrittzklus wird als Beginn der Standphase oder der Schwungphase definiert. Bei bestimmten Fragestellungen oder aber, wenn nur kinematische Daten erhoben werden, sind andere Einteilungen des Schrittzklus sinnvoll. Dabei kann z. B. ein Zeitpunkt gewählt werden, an dem die Markergeschwindigkeit einer gewählten Gliedmaßenspitze (d.h. Pfote oder Huf) gleich Null ist (Licka et al. 2001, Gradner et al. 2007).

Auch wenn die Kinetik bereits viele Informationen in der Lahmheitsdiagnostik bietet, (verminderte Kraftaufnahme einer Gliedmaße, verkürzte Standdauer einer Gliedmaße) ist die Kinematik eine wichtige Ergänzung, da sie im Gegensatz zur Kinetik nicht nur gliedmaßen-, sondern auch gelenkspezifische Aussagen treffen kann (DeCamp 1997, Johnson et al. 2002).

Bei den heutigen Aufnahmesystemen gibt es die Möglichkeit der implantierten Knochenmarker oder der hautfixierten Marker (Gillette und Angle 2008). Implantierte Knochenmarker bieten den Vorteil, dass sie die Bewegung des markierten Knochenpunktes exakt abbilden. Jedoch begrenzen sie durch die operative Implantation ihren Einsatz vor allem auf den Versuchstierbereich und besitzen dadurch keine klinische Einsatzfähigkeit. Die Verwendung von hautfixierten Markern in dieser Studie wird in der Diskussion ausführlich erörtert.

### **2.4.3 Rücken und Ganganalyse**

Da die klassischen kinetischen Parameter am Rücken direkt nicht erhoben werden können, sind hier nur kinematische und elektromyographische Erhebungen möglich, die dann in Kombination mit der Kinetik der Gliedmaßen ein Ableiten der Kraftübertragung der an den Gliedmaßen wirkenden Kräfte auf den Rücken zulassen. Die Kinematik der von den anhängenden Weichteilen isolierten Wirbelsäule wurde bereits in einigen Kadaverstudien untersucht. So untersuchten Johnson et al. (2011) verschiedene Ebenen der isolierte Halswirbelsäulen von 8 Foxhounds und fand eine große axiale Rotation im kaudalen Bereich. Bürger und Lang (1992, 1993) untersuchten ebenfalls in einer Kadaverstudie den lumbosakralen Übergang beim Schäferhund, wobei sie im Lumbosakralgelenk die Rotation als dominierende Bewegungsform fanden. Meij et al. (2007) untersuchten den Effekt von dorsaler Laminektomie, Diskektomie und verschiedenen Fixationsmethoden am lumbosakralen Übergang.

Der Therapieerfolg verschiedener Operationsmethoden am Rücken wurde bereits in folgenden Studien ganganalytisch evaluiert: Die kinetische Studie zur postoperativen Verlaufskontrolle von Suwankong et al. (2007) zog einen Vergleich zwischen dem Ergebnis von Kraftmessplatten und den Besitzerfragebögen bei Hunden nach einer dekompressiven

Operation der degenerativen lumbosakralen Stenose. Obwohl die Besitzer mit der Verbesserung des Patienten zufrieden waren, zeigte die kinetische Untersuchung weiterhin reduzierte Schubkräfte ( $F_y$ ). Van Klaveren et al. (2005) kamen hingegen zu dem Ergebnis, dass eine dekompressive Operation bei degenerativer lumbosakraler Stenose nach 6 Monaten wieder zu normalen Schubkräften ( $F_y$ ) führt.

Unserem Wissen nach existiert bis dato nur eine kinematische In-vivo-Studie zur Rückenbewegung des Hundes und zwar zur Rückenbewegung klinisch gesunder Hunde der Rasse Malinois mit besonderem Augenmerk auf radiologische Veränderungen im lumbosakralen Übergang (Gradner et al. 2007). Dabei konnten signifikante kinematische Unterschiede zwischen radiologisch gesunden und auffälligen Hunden gefunden werden.

Schilling, deren Forschungsbereich in der axialen Muskulatur von Schädeltieren (Cranioten), aber auch im spezielleren von Säugetieren liegt (Schilling und Hackert 2006, Schilling 2011), untersuchte gemeinsam mit Carrier (2009, 2010) mithilfe der Elektromyografie die Aktivierung der mittleren und tiefen Rückenmuskulatur (*M. longissimus thoracis et lumborum* und *M. multifidus lumborum*) des Hundes in verschiedenen Gangarten. Beim Pferd konnte ebenfalls bereits der Nachweis einer veränderten Kinematik der Rückenbewegung bei klinisch auffälligen Tieren geführt werden (Wennerstrand et al. 2004).

## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Patientenauswahl**

#### **3.1.1 Signalement und Anamnese**

Die Untersuchung erfolgte an erwachsenen Hunden der Rasse Dackel und der Rasse Labrador Retriever. Die Tiere entsprachen in Größe und Exterieur dem jeweiligen Rassestandard laut der Fédération Cynologique Internationale (FCI). Bei der Rasse Dackel wurde bezüglich des Haarkleids der Typ Langhaar, aufgrund der Schwierigkeit der Befestigung und Sichtbarkeit der Marker, ausgeschlossen. Ebenso mussten Dackel unter 6 kg aufgrund der Sensitivität der Kraftmessplatten ausgeschlossen werden. Als Mindestalter wurden 18 Monate vorgegeben, um den sicheren vollständigen Schluss aller Wachstumsfugen zu gewährleisten (Waibl et al. 2005). Das Höchstalter wurde beliebig bei 8 Jahren festgesetzt, solange das Tier laut Besitzer aktiv und gesund war. Hinsichtlich des Geschlechts sowie des Ernährungszustands wurde nicht selektiert. Ebenso fand bei beiden Rassen keine Selektion auf Haltungform (Familienhund, Zuchthund) oder Nutzungsrichtung (jagdliche Führung, Agility) statt. Die Tiere sollten laut Besitzer orthopädisch gesund und ohne Vorgeschichte einer Lahmheit sein.

#### **3.1.2 Klinische Voruntersuchung**

Die klinische Voruntersuchung wurde immer von derselben Person (mir selbst) durchgeführt. Die Hunde wurden zunächst allgemein untersucht. Auffälligkeiten, die auf eine Störung des Allgemeinbefindens hinwiesen oder die Leistungsfähigkeit in Frage stellten, führten zum Ausschluss aus der Studie. Im Rahmen der allgemeinen Untersuchung wurde außerdem das Körpergewicht erhoben und der Ernährungszustand mithilfe des Body Condition Score System nach LaFlamme (1997) festgelegt.

Dann erfolgte eine ausführliche orthopädische Untersuchung nach Arthur (2011a, 2011b) und Scharvogel (2004) mit besonderem Augenmerk auf die gesamte Wirbelsäule. Im Rahmen der orthopädischen Untersuchung erfolgte die Vermessung des Oberschenkelumfangs beidseits.

Es folgte eine einfache neurologische Untersuchung. Hierbei wurde das Vorhandensein einer prompten Propriozeption sowie des Flexorreflexes an allen 4 Gliedmaßen getestet.

Um die Tiere später in der Auswertung hinsichtlich des Körperbaus vergleichen zu können, wurden am aufrecht und gerade stehenden Hund folgende Maße erhoben:

- Die Rückenlänge, definiert als Strecke zwischen den Schnittpunkten von den Margo dorsales scapulae bzw. den Tuber coxae mit der Wirbelsäule.
- Der Widerrist, definiert als das Lot am höchsten Punkt des Scapularands.
- Die Höhe der Kruppe, definiert als das Lot am Tuber coxae.

Das Untersuchungsprotokoll zur klinischen Voruntersuchung findet sich im Anhang.

### **3.1.3 Radiologische Voruntersuchung**

Danach wurden Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule und der großen Gelenke angefertigt, um dadurch Hunde mit subklinischen, orthopädischen Erkrankungen zu identifizieren. Die Röntgenaufnahmen wurden in der radiologischen Abteilung der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München mit dem Röntgengerät Axiom Luminos dRF der Firma Siemens angefertigt und bei Bedarf digital nachbearbeitet. Es wurden bei jedem Tier folgende Röntgenaufnahmen am wachen Tier angefertigt:

- Halswirbelsäule, Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule jeweils im laterolateralen Strahlengang
- Humerus beidseits mit Schulter und Ellbogen im mediolateralen Strahlengang
- Tibia mit Knie und Tarsus im mediolateralen Strahlengang
- Becken im ventrodorsalen Strahlengang (Hüfte in maximaler Extension)

Die Befundung der Röntgenbilder erfolgte geblendet immer durch dieselbe Person, einen Diplomate of the European College of Veterinary Diagnostic Imaging (ECVDI). Ausgeschlossen wurden grundsätzlich alle pathologischen Veränderungen im Bereich des Bewegungsapparats. Jedoch mussten aufgrund des Probandenguts einige als geringgradig eingestufte arthrotische Veränderungen der großen Gelenke (Hüfte, Schulter, Ellbogen) sowie andere geringgradige Veränderungen eingeschlossen werden. Jedoch nur dann, wenn sie nicht mit einem Befund in der klinischen Untersuchung oder einer Lahmheit auf dem Laufband einhergingen. Dies gilt nicht für arthrotische Veränderungen an der Wirbelsäule. Hier führten alle arthrotischen Veränderungen zum Ausschluss. Der Einschluss von Veränderungen im Sinne der Enchondrosis intervertebralis beim Dackel wird in der Diskussion näher erläutert.

## 3.2 Ganganalytische Untersuchung

### 3.2.1 Technische Ausstattung des Ganglabors

Die ganganalytische Untersuchung erfolgte im Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München. Der ca. 30 qm große Raum, der nur zu diesem Zwecke genutzt wird, ist abgedunkelt und wird künstlich beleuchtet. Das in ein 5,7 m x 1,2 m großes und 28 cm hohes Podest eingelassene Laufband besteht aus 2 rutschfesten Kunststoffbändern, die über eine Gesamtfläche von 140 x 80 cm zu sehen sind. Die Geschwindigkeit der Bänder wird mithilfe einer Software der Firma Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleißheim, Deutschland und in Schritten von 0,02 m/s gesteuert. Diesen beiden Bändern sind 4 modifizierte piezoelektrische Kistler-Kraftmessplatten (jeweils 70 x 40 cm) untergelagert, die über einen Verstärker und einen Signalwandler mit dem Computer verbunden sind und Messungen aller 3 Kraftkomponenten (x-, y-, z-) erlauben. Die Messung der Bodenreaktionskräfte aller 4 Gliedmaßen erfolgt synchron mit 1000 Hz.

Zeitgleich zu den kinetischen Parametern wurden die kinematischen Daten erhoben, indem das optische System, bestehend aus 4 Highspeed-Infrarot-Kameras Vicon MX3+ (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK), die Reflexion der passiven Marker aufnahm. Die Messung der Markersignale erfolgt mit 100 Hz. Zu diesem System gehören außer den 4 Highspeed-Kameras (Vicon MX 3+), die Wandlungseinheiten MX-LabControl64, das MX Ultraneet HD und 2 Computer. Die passiven Marker bestehen aus Holzkugeln mit einem Durchmesser von 10 mm, die mit reflektierendem Material beklebt sind und auf einen Filzsockel mit einem Durchmesser von ca. 20 mm geklebt sind.

Insgesamt sind 9 digitale Kameras (Sony Exwave HAD) im Raum um das Laufband und darüber angebracht. Für die Ausleuchtung steht ein Belichtungssystem aus der Film- und Fernstehtchnik zur Verfügung. Die Bewegungsanalyse, die Kraftmessung und die Aufnahme digitaler Audio-Video-Aufnahmen aller 4 Gliedmaßen finden zeitgleich statt.



Abb. 12: GanganalySELabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.

## 3.2.2 Durchführung

### 3.2.2.1 Probelauf

Jeder Hund wurde zunächst individuell und solange wie notwendig (einige Minuten bis mehrmals einige Minuten an 1 Tag) an das Laufen auf einem Laufband gewöhnt, bis er gleichmäßig, entspannt und regelmäßig vorwärts ging. Die führende Person (wahlweise Besitzer oder Klinikmitarbeiter) saß dabei vor dem Hund, sodass dieser auf ihn zuging und führte ihn an einem Halsband. Sperrte sich ein Tier gegen das Laufen auf dem Band oder ging auch nach langer Gewöhnungsphase angespannt, wurde es von der Studie ausgeschlossen ( $n = 2$ ).

### 3.2.2.2 Fixation der Marker

Waren die Hunde an das Laufen gewöhnt und gingen entspannt und regelmäßig, wurden entlang der Gliedmaßen und des Rückens die oben beschriebenen Marker mittels doppelseitigen Klebebands zwischen dem gescheitelten Haar möglichst hautnah am Tier angebracht, sodass keine Eigenbewegung mehr möglich war.

Ein bereits etabliertes, 22 Marker umfassendes Modell für die Gliedmaßen, das auf tastbaren Knochenpunkten basiert (Off und Matis 1997b, Raith 2010), wurde als Grundlage verwendet.

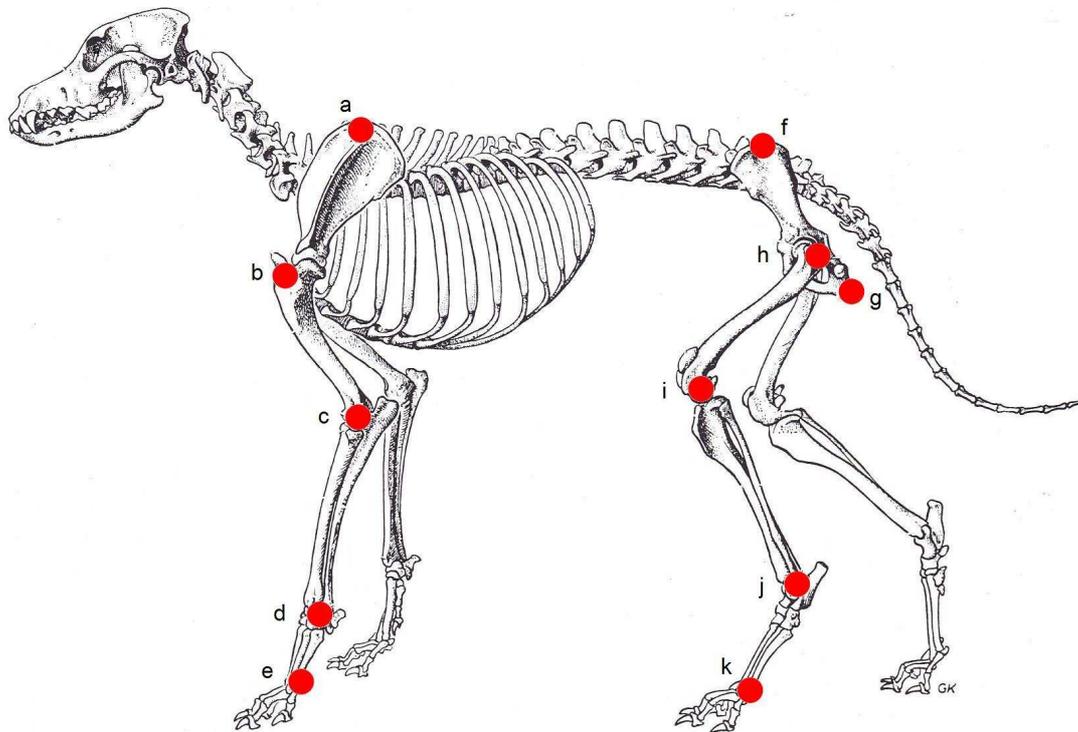


Abb. 13: Darstellung der Platzierung der Marker anhand von palpierbaren Knochenpunkten an den Gliedmaßen; Schema des Hundeskeletts aus Nickel et al. (2004).

- |  |   |
|--|---|
| a) dorsalster Punkt des Cartilago scapulae | f) dorsalster Punkt an der Crista iliaca  |
| b) Tuberculum majus humeri                 | g) kaudalster Punkt des Tuber ischiadicum |
| c) Epicondylus lateralis humeri            | h) Trochanter major ossis femoris         |
| d) Proc. styloideus ulnae                  | i) Epicondylus lateralis ossis femoris    |
| e) distal am Os metacarpale quintum        | j) Malleolus lateralis fibulae            |
|  | k) distal am Os metatarsale quintum       |

Zusätzlich zum Gliedmaßenmodell wurde das folgende Modell für die Wirbelsäule einschließlich des Kopfes und Schwanzes verwendet:

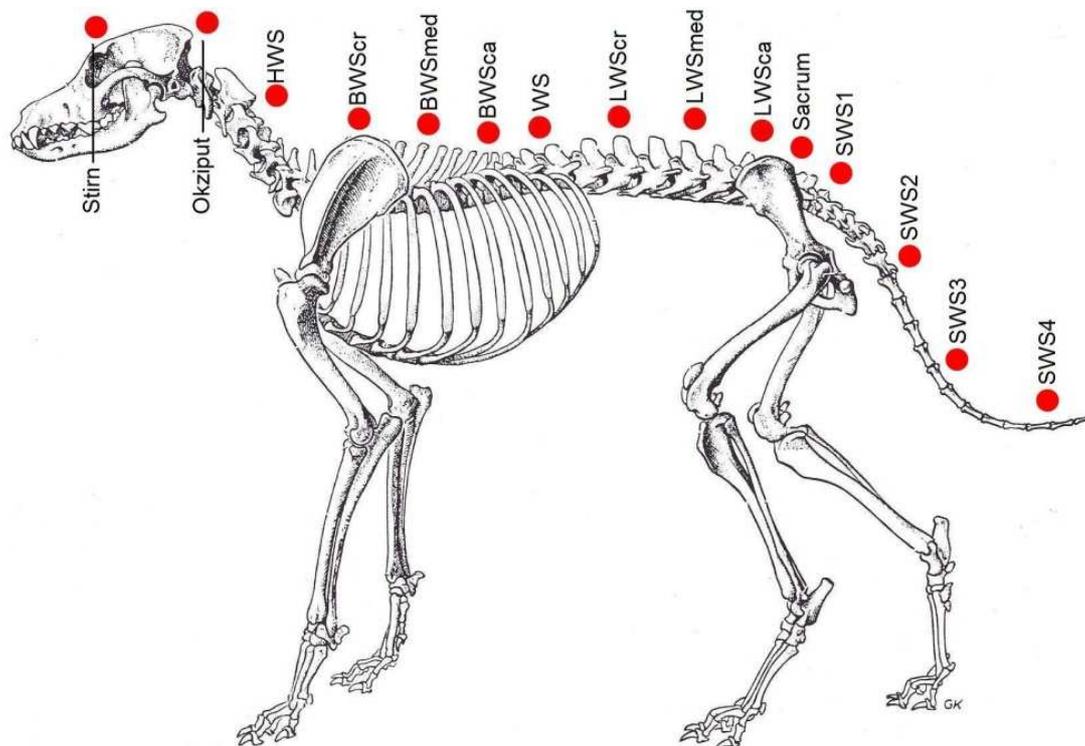


Abb. 14: Darstellung der Platzierung der Marker anhand von palpierbaren Knochenpunkten an der Wirbelsäule; Schema des Hundeskeletts aus Nickel et al. (2004).

<i>Stirn:</i>	Os frontale
<i>Okziput:</i>	Os interparietale
<i>HWS:</i>	Dornfortsatz des 3. Halswirbels
<i>BWSscr:</i>	Dornfortsatz des 3. Brustwirbels
<i>BWSmed:</i>	Dornfortsatz des 6. Brustwirbels
<i>BWSca:</i>	Dornfortsatz des 10. Brustwirbels
<i>WS:</i>	Dornfortsatz des 13. Brustwirbels
<i>LWSscr:</i>	Dornfortsatz des 3. Lendenwirbels
<i>LWSmed:</i>	Dornfortsatz des 5. Lendenwirbels
<i>LWSca:</i>	Dornfortsatz des 7. Lendenwirbels
<i>Sacrum:</i>	Mitte des Os sacrum
<i>SWS1:</i>	Rutenbasis
<i>SWS2–4:</i>	auf den verbleibenden Schwanz wurden nach dem Schwanzbasismarker noch 3 weitere Marker mit gleichem Abstand geklebt und so die Strecke der gesamten Rute gedrittelt

Beim Kleben der Marker wurde auf eine aufrechte und gerade Haltung des Tieres geachtet. Der Sitz der Marker über den angenommenen Knochenpunkten wurde stichprobenartig bei einigen Tieren anhand von Röntgenaufnahmen im Stehen überprüft.

Durch dieses Modell erfolgte die Untersuchung der morphometrisch sehr unterschiedlichen Rassen mit derselben Anzahl an Markern ( $n = 38$ ) und den gleichen relativen Positionen der Marker.

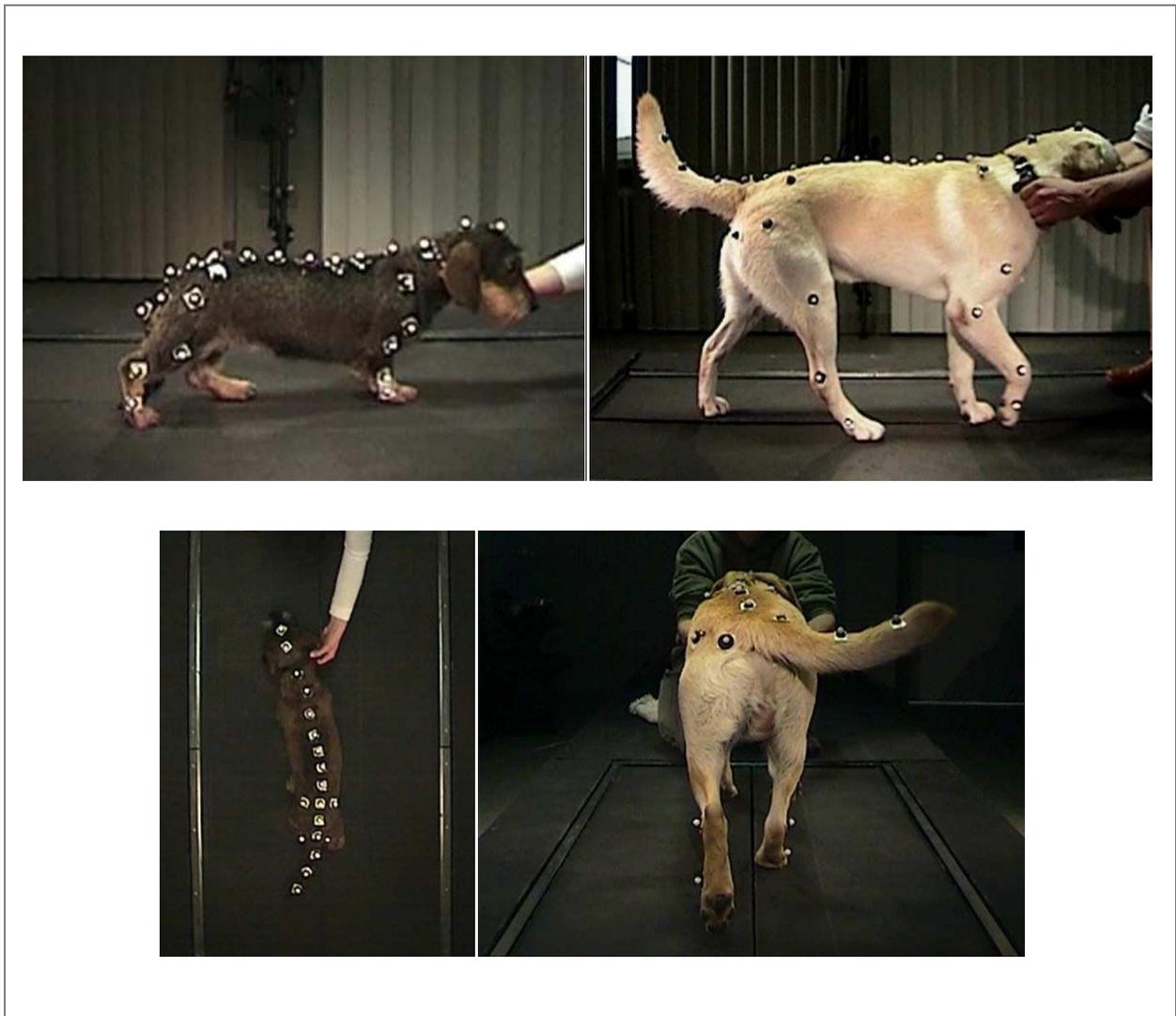


Abb. 15: Dackel und Labrador mit aufgeklebten Markern auf dem Laufband; zu sehen sind Aufnahmen der unterschiedlich platzierten Kameras.

### 3.2.2.3 Untersuchung

Um die beiden unterschiedlich großen Rassen vergleichen zu können, wurden zunächst für jede Rasse anhand einiger Tiere 2 Geschwindigkeiten festgelegt, die ein regelmäßiges Vorwärtsgen im zügigen Schritt einerseits und im Trab andererseits ermöglichten. Als Ausgangsgeschwindigkeiten wurden beim Labrador Retriever 1,1 und 1,8 m/s gewählt, beim Dackel 0,7 und 1,1 m/s. Während der Aufnahme wurde besonders darauf geachtet, dass die Hunde korrekt fußen, das heißt, jeweils nur mit einem Bein auf einer Kraftmessplatte auftraten. Während die Hunde jeweils mehrere Minuten in einer Gangart gingen, erfolgten 1–3 Aufnahmen von mindestens 30 Sekunden. Die Aufnahme wurde erst gestartet, wenn der Hund sich gut in der Gangart eingefunden hatte. Die gesamte ganganalytische Untersuchung dauerte so je nach Tier zwischen 30 min und 1 h.

### 3.2.3 Verarbeitung der gewonnenen Daten

Die gewonnenen kinematischen Rohdaten wurden nach der Aufnahme des Hundes mittels der Software Vicon Nexus nachbearbeitet. Die Marker wurden zunächst rekonstruiert und die rekonstruierten, digitalen Marker entsprechend dem verwendeten Modell benannt (gelabelt).

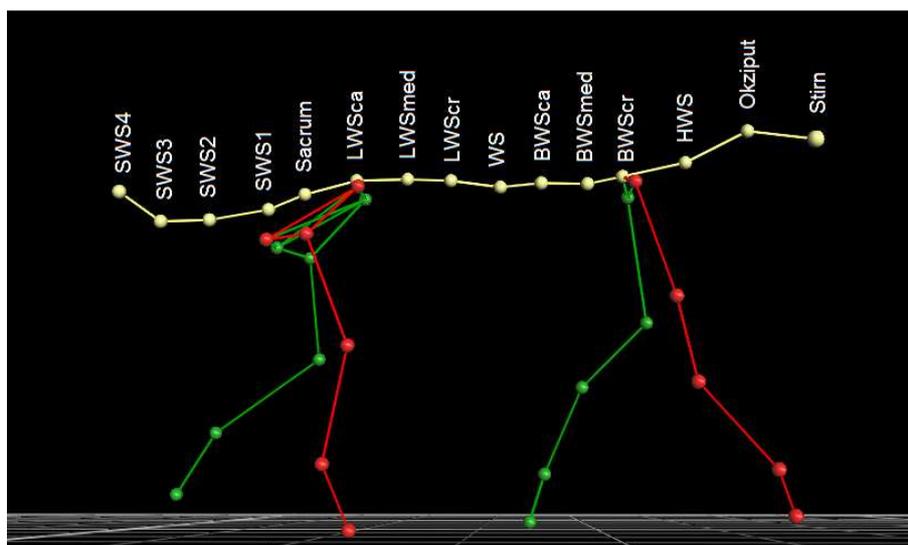


Abb. 16: 3-dimensionale Ansicht der gelabelten Marker eines Labrador Retrievers; der Übersichtlichkeit wegen sind nur die Rückenmarker beschriftet.

Anschließend wurden Artefakte bereinigt und 10 Schritte für die statistische Auswertung ausgewählt. Die Auswahl fand anhand der grafischen Darstellung der einzelnen Markerbewegungen im Programm statt, mit der Schritte, in denen die Rückenbewegung regelmäßig und zyklisch ablief, identifiziert werden konnten. Mithilfe der Darstellung der kinetischen Werte in Nexus 1.5. wurden in der ausgewählten Sequenz Beginn und Ende

eines Schrittes für die kinematische Untersuchung des Rückens ermittelt. Der Beginn eines Schrittzklus wurde definiert als der Beginn der Standphase des rechten Vorderbeins.

Die Koordinaten der 9 Marker wurden für 10 Schritte in eine ASCII-Datei exportiert und mittels des Programms Excel (Version 2007) weiterverarbeitet. Die Bewegung eines Markers in der Transversalebene wurde festgelegt durch die x-Werte, die in der Sagittalebene durch die y-Werte. Die Bewegung eines jeden Markers wurde auf die Nullposition gesetzt, indem die Mittelwerte aller x- und z-Werte eines Schrittzklus von dem individuellen Wert abgezogen wurden. Dadurch konnte eine absolute Rechts- oder Linksposition des Patienten vernachlässigt werden.

Um die Daten der 10 Schrittzklen trotz der unterschiedlich langen Dauer eines einzelnen Schrittzklus übereinander legen und mitteln zu können, wurde ein vollständiger Schrittzklus in 100 Zeitfenster (also in % des Schrittzklus) geteilt und dadurch normiert. Außerdem war nur so ein Vergleich zwischen den Rassen und Gangarten möglich. In beiden Ebenen wurden die 10 Schritte an allen 100 Zeitfenstern des Schrittzklus gemittelt, sodass eine gemeinsame Mittelkurve entstand.

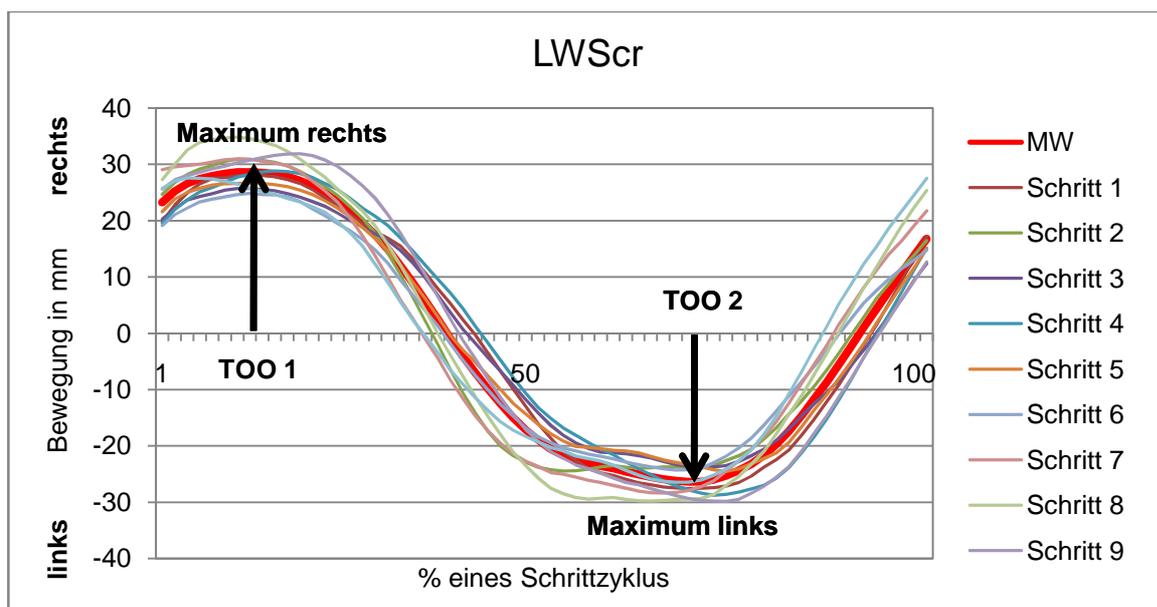


Abb. 17: Bewegung des Markers *LWScr* eines Hundes in der Transversalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert.

Aus dieser Mittelkurve eines jeden Markers wurden jeweils für die Transversalebene (x-Ebene) und die Sagittalebene (z-Ebene) die maximalen Markerpositionen in beiden Richtungen sowie deren "time of occurrence" (TOO) ermittelt. Dann wurde aus der Summe der Beträge beider maximaler Bewegungen von der Achse weg der "range of motion" (ROM) berechnet und die Differenzen der TOO verschiedener Maxima ermittelt.

---

Die Software QuadruPedLocomotion wurde speziell für die zeitgleiche Auswertung aller 4 Gliedmaßen des Hundes entwickelt. Mit ihrer Hilfe wurden die Schritte mit korrekter Fußung, das heißt die Schritte, bei denen nur 1 Pfote die Kraftmessplatte berührt und der Hund gleichmäßig und regelmäßig läuft, identifiziert und die kinetischen und kinematischen Werte dieser Schritte einzeln und als Mittel aller Schritte grafisch und numerisch ausgegeben. Dabei wurden mindestens 8 Schritte pro Tier und Gliedmaße ausgewertet.

Die Kinetik wurde nur in der Gangart Trab ausgewertet, da sich in der Ganganalyse gezeigt hat, dass der Trab dezente Lahmheiten sensitiver detektiert als der Schritt (Voss et al. 2007).

Die Audio-Video-Aufnahmen dienten der Dokumentation und der Auswahl der Sequenzen für die Auswertung sowie der Klassifizierung der Kopfhaltung und Schwanzbewegung.

## 4 Ergebnisse

Im Ergebnisteil werden die Werte jeweils gemittelt (arithmetisches Mittel) für die Rasse Dackel ( $n = 13$ ) und die Rasse Labrador Retriever ( $n = 15$ ) angegeben. Zu jedem dieser Mittelwerte (MW) werden die Standardabweichung ( $\pm$ ) sowie der minimale Wert (Min) und der maximale Wert (Max) innerhalb der Gruppe genannt. Die Erhebung dieser Werte erfolgte mit Excel 2007 (Version 12.0).

Die statistische Auswertung wurde mit dem Programm SPSS (IBM SPSS Statistics 19.0) vorgenommen. Alle Variablen wurden mithilfe des Kolmogorov-Smirnoff-Test oder dem Shapiro-Wilk-Test auf Normalverteilung getestet. Für den Mittelwertvergleich wurde der 2-seitige T-Test für abhängige Werte oder der T-Test für unabhängige Variablen verwendet. Das Signifikanzniveau wurde als  $\alpha = 0,05$  festgelegt;  $p < 0,05$  wurde als signifikant betrachtet.

### 4.1 Patientengut

Es wurden 13 Hunde der Rasse Dackel und 15 Hunde der Rasse Labrador Retriever in die Studie eingeschlossen und ausgewertet. Folgende Tabelle enthält die Merkmale dieser Tiere gemittelt und nach Rasse getrennt.

Tab. 5: Grunddaten der Probanden; BCS = Body Condition Score System nach Laflamme (1997), RL = Rückenlänge, WR = Widerristhöhe, KR = Kruppenhöhe, RL/WR = Verhältnis Rückenlänge zu Widerristhöhe, OSU = Oberschenkelumfang (Mittelwert aus rechts und links).

<b>Dackel</b>								
<i>Merkmale</i>	<i>Alter (Jahre)</i>	<i>Gewicht (kg)</i>	<i>BCS</i>	<i>RL (cm)</i>	<i>WR (cm)</i>	<i>KR (cm)</i>	<i>RL/WR</i>	<i>OSU (cm)</i>
<b>MW</b>	<b>3,98</b>	<b>9,12</b>	<b>5,46</b>	<b>29,92</b>	<b>26,46</b>	<b>25,77</b>	<b>1,14</b>	<b>26,62</b>
$\pm$	1,70	1,68	0,66	1,55	2,22	2,52	0,12	2,29
Min	1,68	6,1	5	27	21	20	0,93	21
Max	7,01	13	7	32	30	29	1,43	29
<b>Labrador Retriever</b>								
<i>Merkmale</i>	<i>Alter (Jahre)</i>	<i>Gewicht (kg)</i>	<i>BCS</i>	<i>RL (cm)</i>	<i>WR (cm)</i>	<i>KR (cm)</i>	<i>RL/WR</i>	<i>OSU (cm)</i>
<b>MW</b>	<b>3,76</b>	<b>29,77</b>	<b>5,20</b>	<b>41,47</b>	<b>56,93</b>	<b>56,13</b>	<b>0,73</b>	<b>42,13</b>
$\pm$	1,43	4,61	0,56	3,40	2,60	3,34	0,06	2,33
Min	1,72	22,7	4	38	54	53	0,60	39
Max	5,83	39,5	6	49	63	65	0,86	45

Das Alter und das Gewicht waren innerhalb der Gruppen gleichmäßig verteilt, was in folgenden Quantile-Quantile-Diagrammen zur Überprüfung der Verteilung eines Merkmals ersichtlich ist. Dabei ist der Beobachtungswert eines Merkmals der Größe nach geordnet. Als Vergleich dienen die Quantile der theoretischen Verteilung, die dem entsprechenden Verteilungswert zugehören.

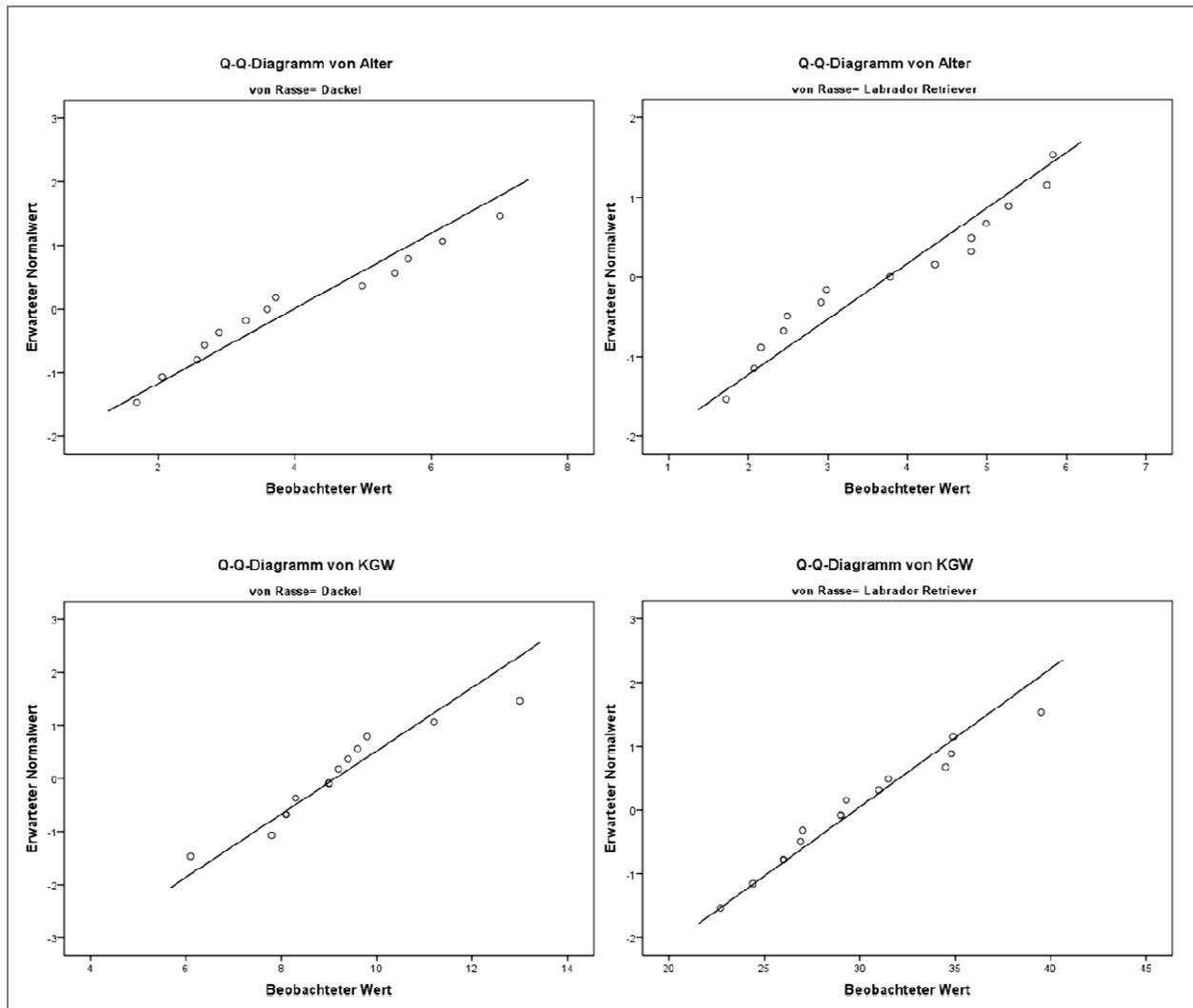


Abb. 18: Quantile-Quantile-Diagramme der Merkmale Alter und Gewicht für Dackel und Labrador Retriever.

Auch die Geschlechterverteilung war in den Gruppen annähernd gleich (s. Abb. 19).

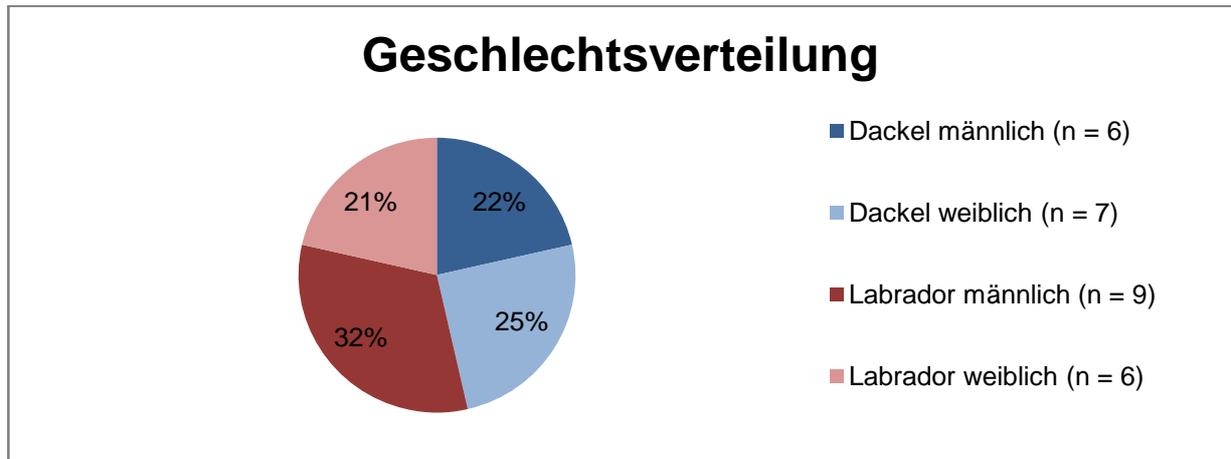


Abb. 19: Geschlechtsverteilung der Hunde.

Das Verhältnis von Rückenlänge zu Widerristhöhe unterschied sich erwartungsgemäß deutlich (s. Abb. 20).

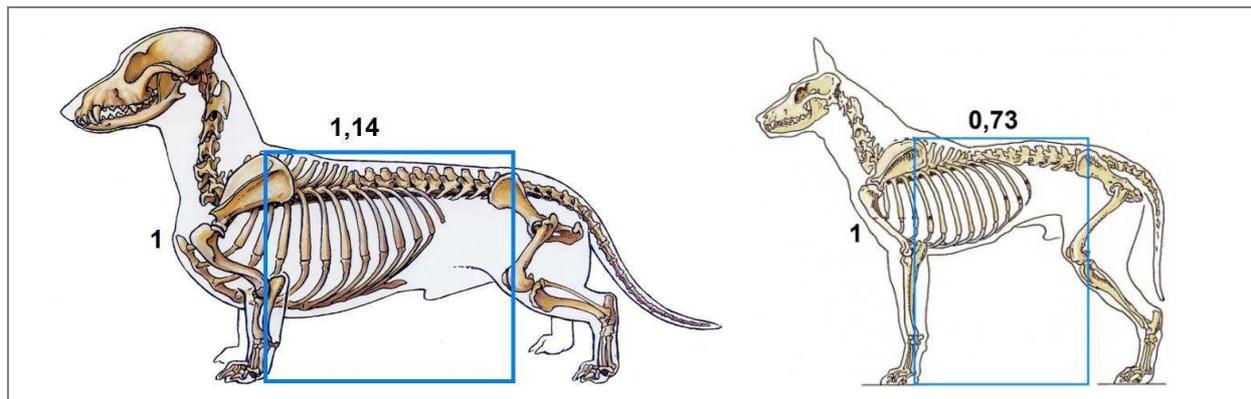


Abb. 20: Verhältnis der Rückenlänge zur Widerristhöhe von Dackel und Labrador Retriever; Schemata der Hundeskelette aus Budras (2004) und von Matthias Haab (2009).

Bei der klinischen Untersuchung ergaben sich keine pathologischen Befunde. Bei der radiologischen Untersuchung ergaben sich die in der unten stehenden Tabelle genannten Befunde. Aufgrund der Patientenzahl und nach Überlegungen zur klinischen Relevanz wurden Tiere mit gewissen radiologischen Befunden nicht von der Studie ausgeschlossen, sofern diese Befunde nicht mit einem klinischen Befund einhergingen. (Es gab auch Tiere mit mehreren Befunden.)

Tab. 6: Radiologische Befunde der Probanden.

<b>Befunde, die nicht zum Ausschluss führten</b>	<b>Dackel</b>	<b>Labrador Retriever</b>
Enchondrosis intervertebralis	6	-
als geringgradig eingestufte arthrotische Veränderungen des Schulter-, Ellbogen- oder Hüftgelenks	2	6
geringgradige dysplastische Veränderungen (Hüft- oder Ellbogendysplasie, "incomplete ossification of the caudal glenoid")	-	2
<b>Befunde, die zum Ausschluss führten</b>	<b>Dackel</b>	<b>Labrador Retriever</b>
als mittel- oder hochgradig eingestufte arthrotische Veränderungen des Schulter-, Ellbogen- oder Hüftgelenks	1	3
Spondylosen	3	5
Übergangswirbel	1	1
überzählige Wirbel	1	-
Hüftdysplasie ab einer Femurkopfüberdachung < 50 %	-	1

## 4.2 Kinetik

Die Kinetik wurde nur in der Gangart Trab ausgewertet, da sich in der Ganganalyse gezeigt hat, dass geringgradige Lahmheiten im Trab leichter detektiert werden können als im Schritt (Voss et al. 2007). 2 Hunde (Labrador Retriever) wollten nicht auf dem Laufband traben. Für sie wurde eine Auswertung im Schritt vorgenommen, um zu zeigen, dass sie lahmheitsfrei waren. Dadurch waren sie nicht mit den kinetischen Werten der anderen Hunde vergleichbar und wurden nicht in die nun folgenden Untersuchungen miteinbezogen. Ihre Werte werden am Ende des Kapitels genannt.

Für die Auswertung der kinetischen Daten wurden mithilfe des Programms QuadruPedLocomotion für jede Gliedmaße einzeln sowie korrekte Schritte der Gangart Trab wie vorhanden (mindestens jedoch 8) ausgewählt. Als Beginn eines Schrittzklus wurde der Beginn der Standphase gewählt. Das Programm gibt anschließend die kinetischen Werte gemittelt grafisch und numerisch aus.

#### 4.2.1 Zeitliche Parameter

Die folgende Tabelle zeigt die mittlere Standphasendauer jeder Gliedmaße von Dackel und Labrador. Sie wird angegeben als % eines vollständigen Schrittzklus. Außerdem wird der p-Wert für den Vergleich zwischen rechter und linker Vorder- bzw. Hintergliedmaße angegeben.

Tab. 7: Vergleich der mittleren Standphasendauer beider Vorder- und beider Hintergliedmaßen aller Dackel und aller Labrador Retriever.

<b>Dackel</b>				
<i>Standphasendauer (% eines Schrittzklus)</i>	<i>vorne rechts</i>	<i>vorne links</i>	<i>hinten rechts</i>	<i>hinten links</i>
<b>MW</b>	<b>55,83</b>	<b>56,38</b>	<b>48,58</b>	<b>48,42</b>
±	4,73	4,56	4,74	5,09
Min	51,00	50,50	42,50	39,00
Max	66,50	66,50	56,00	57,00
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,314</b>		<b>0,836</b>	
<b>Labrador Retriever</b>				
<i>Standphasendauer (% eines Schrittzklus)</i>	<i>vorne rechts</i>	<i>vorne links</i>	<i>hinten rechts</i>	<i>hinten links</i>
<b>MW</b>	<b>63,14</b>	<b>62,27</b>	<b>58,12</b>	<b>57,77</b>
±	5,02	4,89	5,18	4,96
Min	54,50	55,50	48,50	50,50
Max	72,50	72,50	67,00	67,00
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,054</b>		<b>0,568</b>	

Die Standphasendauer der rechten Vorder- bzw. Hintergliedmaße unterschied sich erwartungsgemäß nicht signifikant. Daher wurde für die weiteren Berechnungen der Mittelwert beider Vorder- bzw. Hintergliedmaßen gebildet. Diese Mittelwerte wurden zwischen Dackel und Labrador verglichen (s. Tab. 8).

Tab. 8: Vergleich der mittleren Standphasendauer der Vorder- und der Hintergliedmaßen von Dackel und Labrador Retriever.

<b>Dackel</b>		
<i>Standphasendauer (% eines Schittzyklus)</i>	<i>Mittelwert Vordergliedmaße</i>	<i>Mittelwert Hintergliedmaße</i>
<b>MW</b>	<b>56,10</b>	<b>48,50</b>
±	4,56	4,74
Min	51,25	40,75
Max	66,50	56,00
<b>Labrador Retriever</b>		
<i>Standphasendauer (% eines Schittzyklus)</i>	<i>Mittelwert Vordergliedmaße</i>	<i>Mittelwert Hintergliedmaße</i>
<b>MW</b>	<b>62,70</b>	<b>57,94</b>
±	4,90	4,96
Min	55,25	49,50
Max	72,50	67,00
<b>p-Wert Rasseunterschied</b>	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>

Für den Dackel ergab sich vorne und hinten eine signifikant kürzere mittlere Standphasendauer. Das Verhältnis der mittleren vorderen und hinteren Standphasendauer wurde berechnet, indem die mittlere Standphasendauer der Vordergliedmaße durch die mittlere Standphasendauer der Hintergliedmaße geteilt wurde. Dieses Verhältnis wurde zwischen den Rassen verglichen (s. Tab. 9).

Tab. 9: Vergleich des Verhältnisses von vorderer zu hinterer Standphasendauer von Dackel und Labrador Retriever.

<b>Verhältnis von Standphasendauer vorne zu Standphasendauer hinten</b>		
<i>Rasse</i>	<i>Dackel</i>	<i>Labrador Retriever</i>
<b>MW</b>	<b>1,16</b>	<b>1,09</b>
±	0,15	0,08
Min	0,96	0,90
Max	1,39	1,21
<b>p-Wert Rasseunterschied</b>	<b>0,126</b>	

Das Verhältnis von vorderer zu hinterer mittlerer Standphasendauer unterschied sich zwischen Dackel und Labrador Retriever nicht signifikant.

#### **4.2.2 Kräfte**

Von der gesamten vertikalen Bodenreaktionskraft kann die vertikale Spitzenkraft ermittelt werden. Sie ist angegeben als % KGW. Der Impuls der vertikalen Bodenreaktionskraft ist das Produkt der gesamten aufgebrauchten vertikalen Kraft einer Gliedmaße während einer Standphase und der Standphasendauer selbst und ist so das Integral der Kraft über die Zeit. Der vertikale Impuls trägt die Einheit % KGW x s. Die Spitzenkraft und der Impuls der vertikalen Bodenreaktionskraft wurden bei beiden Rassen zwischen beiden Vorder- und beiden Hintergliedmaßen verglichen (s. Tab. 10).

Tab. 10: Vergleich der mittleren vertikalen Spitzenkraft sowie des vertikalen Impulses beider Vorder- und Hintergliedmaßen aller Dackel und aller Labrador Retriever.

<b>vertikale Spitzenkraft Dackel</b>				
<i>vertikale Spitzenkraft (in % KGW)</i>	<i>vorne rechts</i>	<i>vorne links</i>	<i>hinten rechts</i>	<i>hinten links</i>
<b>MW</b>	<b>89,50</b>	<b>89,92</b>	<b>56,88</b>	<b>57,15</b>
±	13,25	14,88	7,64	6,91
Min	62,50	64,10	39,10	39,90
Max	108,10	115,90	66,40	63,30
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,651</b>		<b>0,607</b>	
<b>vertikale Spitzenkraft Labrador Retriever</b>				
<i>vertikale Spitzenkraft (in % KGW)</i>	<i>vorne rechts</i>	<i>vorne links</i>	<i>hinten rechts</i>	<i>hinten links</i>
<b>MW</b>	<b>81,61</b>	<b>81,74</b>	<b>58,57</b>	<b>58,55</b>
±	10,50	11,01	4,31	4,80
Min	58,40	58,10	51,90	51,30
Max	93,30	93,50	66,50	66,30
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,834</b>		<b>0,963</b>	
<b>vertikaler Impuls Dackel</b>				
<i>vertikaler Impuls (in % KGW x s)</i>	<i>vorne rechts</i>	<i>vorne links</i>	<i>hinten rechts</i>	<i>hinten links</i>
<b>MW</b>	<b>15,55</b>	<b>15,92</b>	<b>8,05</b>	<b>7,90</b>
±	3,39	3,35	1,65	1,88
Min	10,03	9,38	4,85	4,60
Max	22,34	21,83	10,99	11,74
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,091</b>		<b>0,365</b>	
<b>vertikaler Impuls Labrador Retriever</b>				
<i>vertikaler Impuls (in % KGW x s)</i>	<i>vorne rechts</i>	<i>vorne links</i>	<i>hinten rechts</i>	<i>hinten links</i>
<b>MW</b>	<b>17,43</b>	<b>17,09</b>	<b>11,14</b>	<b>10,94</b>
±	2,38	2,12	1,45	1,57
Min	13,30	13,21	9,47	9,18
Max	22,13	20,45	14,40	14,20
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,064</b>		<b>0,161</b>	

Wie aus der Tabelle ersichtlich, unterschieden sich die Spitzenkraft und der Impuls der vertikalen Bodenreaktionskraft bei beiden Rassen nicht signifikant zwischen beiden Vorder- und Hintergliedmaßen.

Um darüberhinaus eine subklinische Lahmheit auszuschließen wurde der Symmetrie-Index (SI) nach Robinson (1987) für die vertikale Spitzenkraft und den vertikalen Impuls erhoben. Er berechnet sich wie folgt:

$$SI = ABS \left( 200 \times \frac{PVF_{re} - PVF_{li}}{PVF_{re} + PVF_{li}} \right)$$

mit ABS = Betrag

PVF re = "peak vertical force" der rechten Vorder- bzw. Hintergliedmaße

PVF li = "peak vertical force" der linken Vorder- bzw. Hintergliedmaße

(Durch Verwendung des Impulses der vertikalen Bodenreaktionskraft erhält man den entsprechenden Symmetrie-Index in Bezug auf den Impuls.)

Tab. 11: Symmetrie-Indices der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses der Vorder- und Hintergliedmaßen aller Dackel und aller Labrador Retriever.

<b>Dackel</b>				
<i>Symmetrie-Index</i>	<i>vertikale Spitzenkraft</i>		<i>vertikaler Impuls</i>	
<i>Körperhälfte</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>
<b>MW</b>	<b>2,840</b>	<b>2,573</b>	<b>4,299</b>	<b>5,072</b>
±	1,639	1,647	2,824	2,017
Min	0,380	0,473	0,932	1,021
Max	6,964	5,732	7,889	8,451
<b>Labrador Retriever</b>				
<i>Symmetrie-Index</i>	<i>vertikale Spitzenkraft</i>		<i>vertikaler Impuls</i>	
<i>Körperhälfte</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>
<b>MW</b>	<b>2,035</b>	<b>2,124</b>	<b>3,196</b>	<b>4,163</b>
±	1,351	2,118	2,677	2,430
Min	0,515	0,000	0,394	0,390
Max	4,605	6,716	8,549	7,539

Dieser Symmetrie-Index sowohl der vertikalen Spitzenkraft als auch des vertikalen Impulses lag bei allen Tieren und für die Vorder- und Hintergliedmaßen unter 8,55. Da der Grenzwert für diesen Symmetrie-Index bei Voss et al. (2007) mit 9 angegeben wird und in eigenen bisher unveröffentlichten Erhebungen zu den Rassen Beagle und Deutscher Schäferhund der Grenzwert bei 8,8 festgesetzt wurde, wurden damit alle Tiere als lahmheitsfrei eingestuft.

Für die weiteren Berechnungen wurde aufgrund des nicht signifikanten Unterschieds zwischen beiden Vorder- bzw. Hintergliedmaßen der Mittelwert der jeweils rechten und linken Vorder- bzw. Hintergliedmaße gebildet. Die mittlere vertikale Spitzenkraft vorne und

hinten sowie der mittlere vertikale Impuls vorne und hinten wurde zwischen den Rassen verglichen.

Tab. 12: Vergleich der mittleren vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses der Vorder- und der Hintergliedmaße von Dackel und Labrador Retriever.

<b>Dackel</b>				
<i>Parameter</i>	<i>vertikale Spitzenkraft (% KGW)</i>		<i>vertikaler Impuls (% KGW x s)</i>	
<i>Körperhälfte</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>
<b>MW</b>	<b>89,71</b>	<b>57,02</b>	<b>15,74</b>	<b>7,97</b>
±	13,81	7,14	3,30	1,73
Min	115,90	66,40	22,34	11,74
Max	62,50	39,10	9,38	4,60
<b>Labrador Retriever</b>				
<i>Parameter</i>	<i>vertikale Spitzenkraft (% KGW)</i>		<i>vertikaler Impuls (% KGW x s)</i>	
<i>Körperhälfte</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>
<b>MW</b>	<b>81,67</b>	<b>58,56</b>	<b>17,26</b>	<b>11,04</b>
±	10,54	4,47	2,21	1,48
Min	93,50	66,50	22,13	14,40
Max	58,10	51,30	13,21	9,18
<b>p-Wert Rasseunterschied</b>	<b>0,113</b>	<b>0,519</b>	<b>0,192</b>	<b>0,000</b>

Bezogen auf das Körpergewicht zeigte der Dackel eine größere vertikale Spitzenkraft in der Vordergliedmaße, der Labrador Retriever eine größere vertikale Spitzenkraft in der Hintergliedmaße. Dies war jedoch statistisch nicht relevant. Der vertikale Impuls war beim Dackel aufgrund der kürzeren Standphasendauer vorne und hinten kleiner. Der Unterschied war aber nur hinten signifikant.

Die folgende Tabelle zeigt jeweils den prozentualen Anteil der Vorder- und Hintergliedmaße an der gesamten vertikalen Spitzenkraft und dem gesamten vertikalen Impuls. Die Formel für die Berechnung lautet:

$$\text{Gewichtsverteilung} = \frac{\text{Summe PVF (VI) der Vorderbeine (Hinterbeine)} * 100}{\text{Summe PVF (VI) aller Gliedmaßen}}$$

Tab. 13: Vergleich der Kräfteverteilung zwischen vorne und hinten bei Dackel und Labrador Retriever; PVF = "peak vertical force" (vertikale Spitzenkraft), VI = "vertical impulse" (vertikaler Impuls).

<b>Dackel</b>				
<i>Kräfteverteilung</i>	<i>PVF (% der gesamten PVF)</i>		<i>VI (% des gesamten VI)</i>	
	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>
<b>MW</b>	<b>60,99</b>	<b>39,01</b>	<b>65,75</b>	<b>34,25</b>
±	4,16	4,16	7,98	7,98
Min	55,58	33,11	54,18	17,63
Max	66,89	44,42	82,37	45,82
<b>Labrador Retriever</b>				
<i>Kräfteverteilung</i>	<i>PVF (% der gesamten PVF)</i>		<i>VI (% des gesamten VI)</i>	
	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>	<i>vorne</i>	<i>hinten</i>
<b>MW</b>	<b>58,07</b>	<b>41,93</b>	<b>60,93</b>	<b>39,07</b>
±	3,20	3,20	3,77	3,77
Min	53,03	37,10	54,56	32,83
Max	62,90	46,97	67,17	45,44
<b>p-Wert Rasseunterschied</b>	<b>0,056</b>		<b>0,075</b>	

Im Vergleich mit dem Labrador übernahm der Dackel mehr Last mit den Vorderbeinen. Für die Hintergliedmaßen ergaben sich höhere Werte für den Labrador Retriever als für den Dackel. Beides galt sowohl für die vertikale Spitzenkraft als auch für den vertikalen Impuls. Dieser Unterschied war jedoch statistisch knapp nicht signifikant, sodass die Überprüfung dieses Trends weiteren Studien vorbehalten bleibt.

### 4.3 Kinematik

Die Bewegung eines jeden einzelnen Markers wurde, wie im Kapitel „Material und Methoden“ beschrieben, in der Transversalebene (= Horizontalebene/Bewegung von rechts nach links) sowie in der Sagittalebene (= Vertikalebene/Bewegung nach oben und unten) über 10 Schritte gemittelt und die kinetischen Parameter erhoben. Die Marker an Stirn, Okziput und Halswirbelsäule unterlagen aufgrund der Führtechnik zu einem gewissen Maße der Fremdbestimmung. Ihre Auswertung diente nur zur Klassifizierung der Kopfhaltung und wird hier nicht ausführlicher betrachtet. Die Marker der Rute wurden bis auf den der Rutenbasis (SWS1) ebenfalls nicht genauer ausgewertet, da die Haltung und Bewegung der Rute nicht nur zwischen den beiden Rassen, sondern auch zwischen den einzelnen Hunden eine große Heterogenität aufwies. Näher beschrieben werden die beobachteten Formen der Rutenbewegung im betreffenden Kapitel „Rutenbewegung“.

Die Benennung der näher betrachteten Marker erfolgt wie im Kapitel „Material und Methoden“ bereits genannt von kranial nach kaudal:

<i>BWScr:</i>	Dornfortsatz des 3. Brustwirbels
<i>BWSmed:</i>	Dornfortsatz des 6. Brustwirbels
<i>BWSca:</i>	Dornfortsatz des 10. Brustwirbels
<i>WS:</i>	Dornfortsatz 13. Brustwirbels
<i>LWScr:</i>	Dornfortsatz des 3. Lendenwirbels
<i>LWSmed:</i>	Dornfortsatz des 5. Lendenwirbels
<i>LWSca:</i>	Dornfortsatz des 7. Lendenwirbels
<i>Sacrum:</i>	Os sacrum
<i>SWS1:</i>	Rutenbasis

Der Beginn des Schrittzklus wurde, wie im Kapitel „Material und Methoden“ näher beschrieben, definiert als der Beginn der Standphase der rechten Vordergliedmaße. Danach folgten die 8 Phasen eines vollständigen Schrittzklus im Schritt.

- 1: Standphase auf 3 Extremitäten (beide Vordergliedmaßen und die rechte Hintergliedmaße)
- 2: rechte sagittale Doppelstandphase (rechte Vorder- und Hintergliedmaße)
- 3: Standphase auf 3 Extremitäten (rechte Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen)
- 4: rechte diagonale Doppelstandphase (rechte Vorder- und linke Hintergliedmaße)
- 5: Standphase auf 3 Extremitäten (beide Vordergliedmaßen und die linke Hintergliedmaße)
- 6: linke sagittale Doppelstandphase (linke Vorder- und Hintergliedmaße)
- 7: Standphase auf 3 Extremitäten (linke Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen)
- 8: linke diagonale Doppelstandphase (linke Vorder- und rechte Hintergliedmaße)



Abb. 21: Gewöhnlicher Schritt eines Hundes; nach Seiferle und Frewein (2004).

### 4.3.1 Transversalebene

#### 4.3.1.1 Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung

Für die Beschreibung des zeitlichen Ablaufs und der Form der Bewegung im Rücken in der Transversalebene wird zunächst die Gangart Schritt beschrieben und nachfolgend die Unterschiede des Trabs zum Schritt beschrieben.

#### 4.3.1.1.1 Schritt

##### 4.3.1.1.1.1 1-phasige Rückenbewegung

Die Bewegung eines Markers in der Transversalebene folgte grundsätzlich einem 1-phasigen oder monozyklischen Verlauf. Das heißt, jeder Marker beschrieb innerhalb eines kompletten Schrittzklus jeweils einen Ausschlag nach rechts und einen nach links.

Das folgende Diagramm zeigt die Bewegung des Markers *BWScr* eines Hundes gemittelt über 10 Schritte.

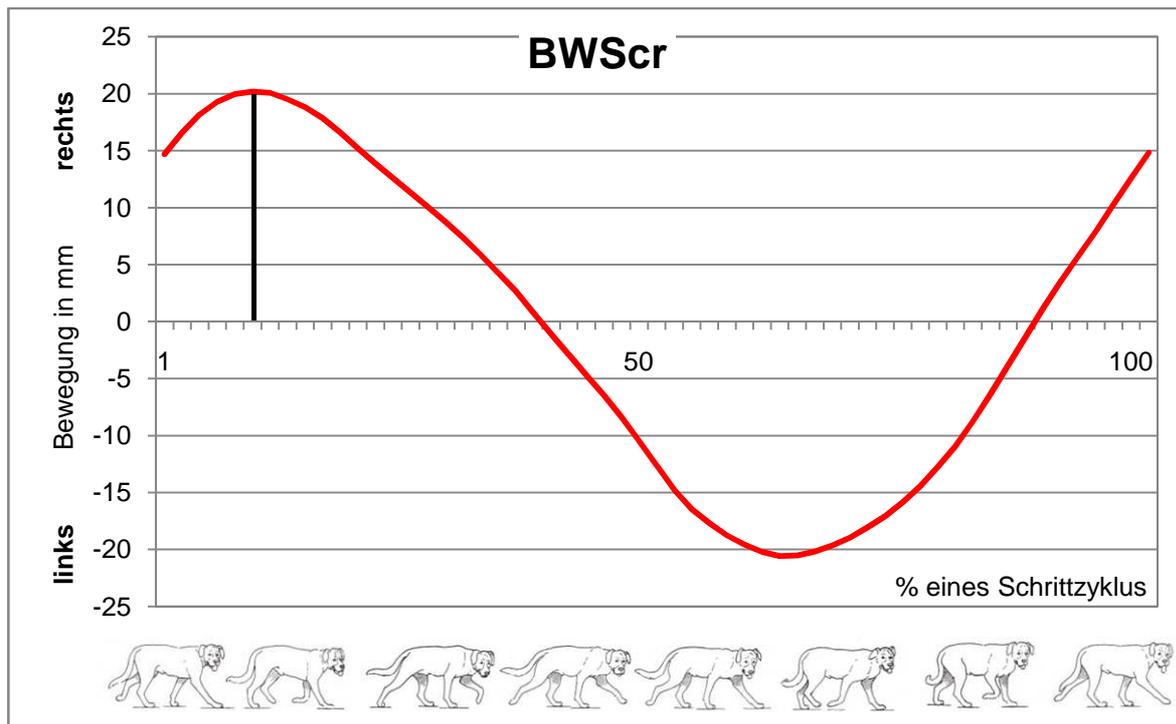


Abb. 22: Mittlere Bewegung des Markers *BWScr* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

Zum Zeitpunkt des Auffußens der rechten Vorderpfote befindet sich der Marker *BWScr* kurz vor seinem maximalen Ausschlag nach rechts. Diesen erreicht der Marker bei der Lastübernahme der rechten Vordergliedmaße und dem Abfüßen der linken Vordergliedmaße. Das rechte Maximum fällt somit auf den Beginn der rechten sagittalen Doppelstandphase. Im weiteren Verlauf der Standphase der rechten Vordergliedmaße findet eine Bewegung nach links statt. Ungefähr beim Wechsel von der Standphase auf 3 Extremitäten (rechte Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen) zur rechten diagonalen Doppelstandphase kreuzt der Marker die Nulllinie. Zum Zeitpunkt des Abfußens der rechten Vordergliedmaße und damit zu Beginn der linken sagittalen Doppelstandphase erreicht der

Marker seine maximale linke Position, um sich in der darauffolgenden Schwungphase der rechten Vordergliedmaße wieder nach rechts zu bewegen.

Die Bewegung auf eine Seite setzt sich innerhalb der Wirbelsäule weiter nach kaudal fort. Dadurch findet, ausgehend vom kranialen Brustwirbelsäulenmarker, eine zeitliche Verschiebung der Rechts-Links-Bewegung entlang der x-Achse statt, das heißt die rechte bzw. linke Maximalposition wird zunehmend später nach dem Aufußen der rechten Vordergliedmaße erreicht, sodass die kaudalen Marker die Bewegung, wie in der nächsten Abbildung ersichtlich, ihre maximale rechte Position wesentlich später innerhalb des Schrittzklus einnehmen. Die folgende Abbildung zeigt einen weiter kaudal liegenden Marker (*LWSca*) desselben Tieres wie im obigen Diagramm.

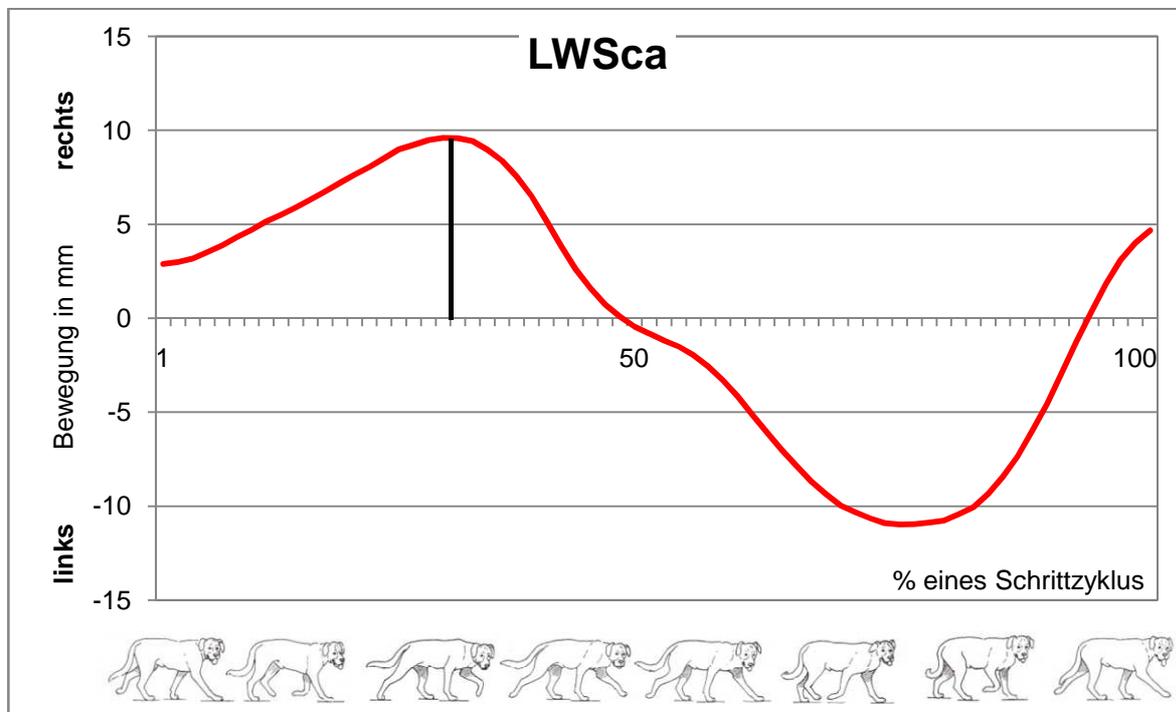


Abb. 23: Mittlere Bewegung des Markers *LWSca* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

Wie in Abb. 23 ersichtlich, tritt die maximale rechte Markerposition am Marker *LWSca* deutlich später innerhalb der rechten sagittalen Doppelstandphase auf. Ab dem *Sacrum*- und *SWS*-Marker findet eine im Vergleich zum kranialen *BWS*-Marker inverse Transversalbewegung statt, die in engem zeitlichen Zusammenhang zur Fußung der Hinterbeine steht. Das folgende Diagramm zeigt den hinter dem Sakrum liegenden Marker (*SWS1*) desselben Tieres wie in den Abb. 22+23.

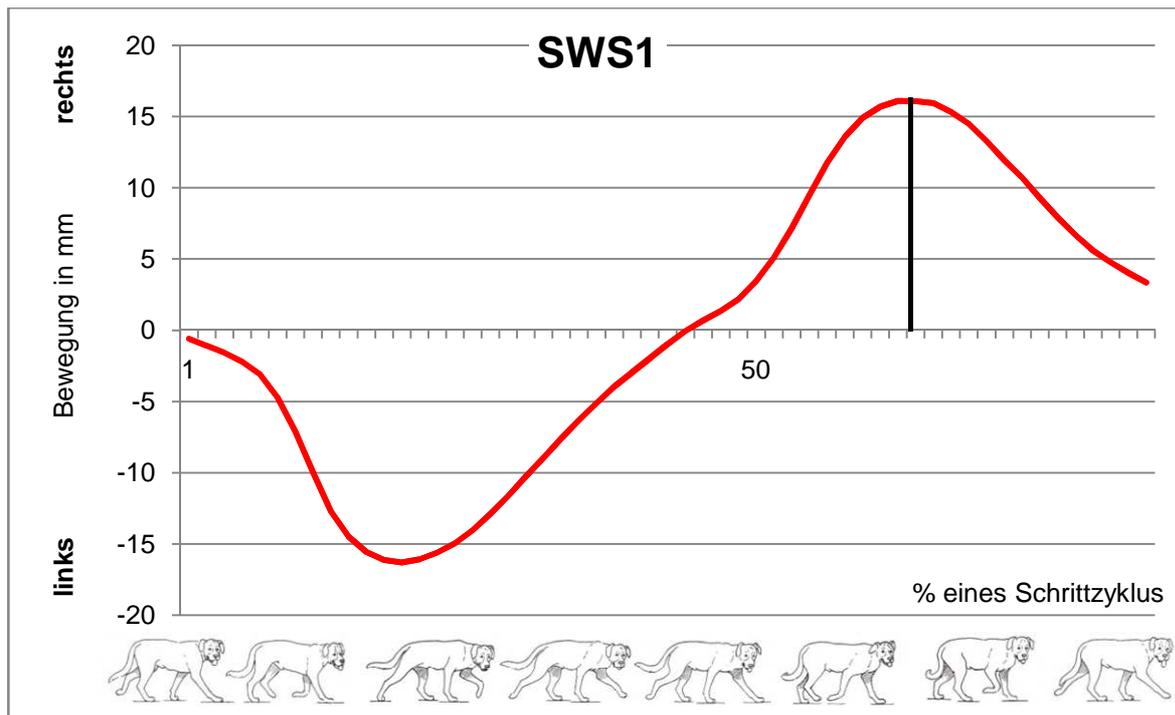


Abb. 24: Mittlere Bewegung des Markers *SWS1* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

Hier wird ab dem Aufsetzen der rechten Vordergliedmaße von der Nulllinie ausgehend zunächst eine Bewegung nach links beschrieben und führt während der rechten sagittalen Standphase zu einer maximalen linken Position. Etwa zum Zeitpunkt der rechten diagonalen Doppelstandphase kreuzt der Marker die Nulllinie. Zum Zeitpunkt des Abfußens der rechten Vordergliedmaße und damit in der linken sagittalen Doppelstandphase erreicht der Marker seine maximale rechte Position, um sich in der darauffolgenden Schwungphase der rechten Vordergliedmaße wieder nach links zu bewegen.

Generell kann zusammengefasst werden, dass die Transversalbewegung ihren maximalen Ausschlag während der ipsilateralen Doppelstandphase der Vorder- und Hintergliedmaße hat und die Nulllinie während der diagonalen Standphase gekreuzt wird. Im Bereich der Rutenbasis läuft eine dazu 180° inverse Bewegung ab. Die Marker der kaudalen Lendenwirbelsäule und des Sakrums stellen je nach Stärke und Art der Rutenbewegung einen Übergang dar.

Die zeitliche Abfolge der beiden maximalen Positionen eines jeden Markers folgt einem strengen zeitlichen Ablauf. Der Abstand zwischen beiden Extremen wurde über die "time of occurrence" (TOO) für alle 1-phasigen Marker gemeinsam berechnet und betrug 50,9 % ( $\pm 1,95$ , 46,89–55,78) des vollständigen Schrittzklus. Das heißt, etwa 50 % des Schrittes nach

dem Auftreten des 1. maximalen Ausschlags trat unabhängig von der Richtung der Bewegung der 2. maximale Ausschlag auf. Dabei ergab sich kein signifikanter Unterschied, weder zwischen den Hunderassen noch zwischen den beiden Gangarten.

Im folgenden Beispiel wurde zur Veranschaulichung das Auftreten der maximalen rechten Markerposition gleich 0 % des Schrittzklus gesetzt.

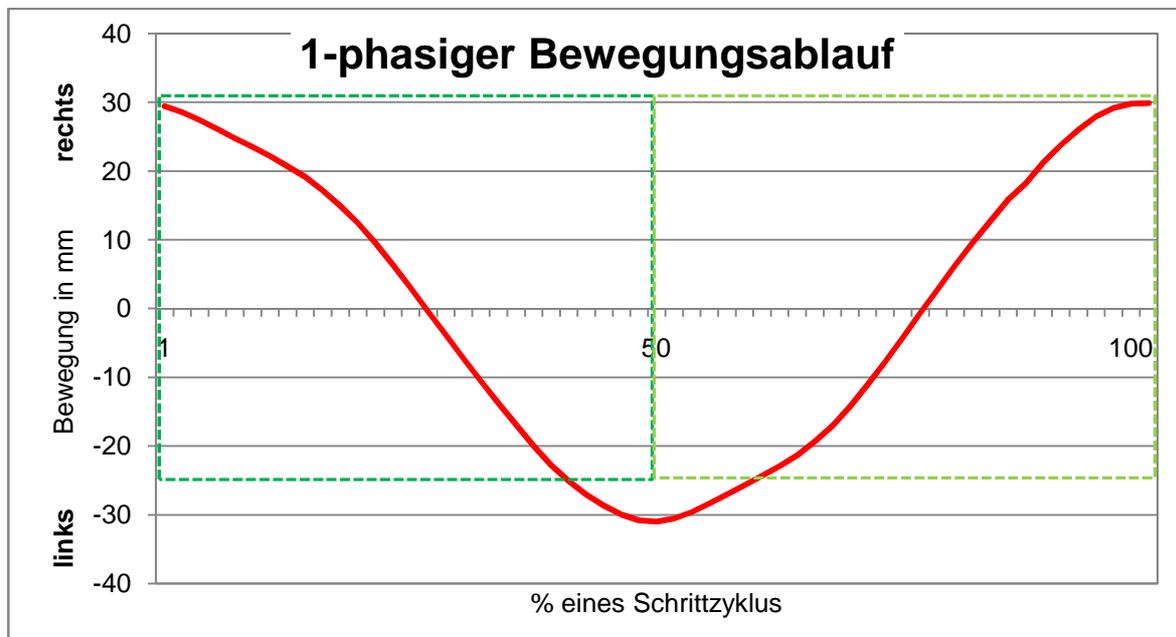
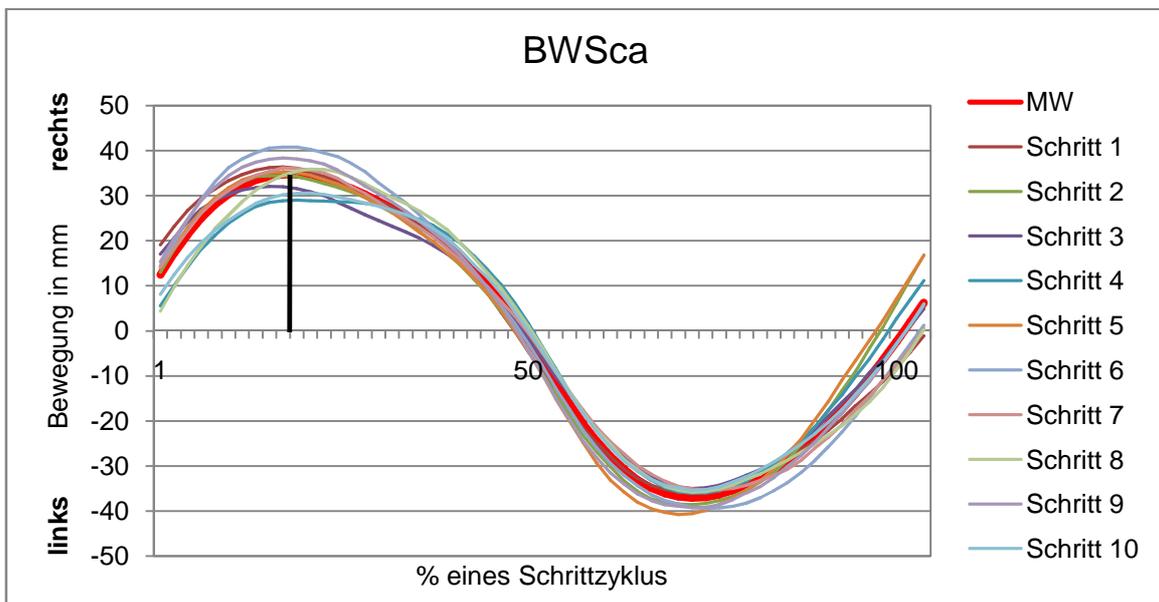
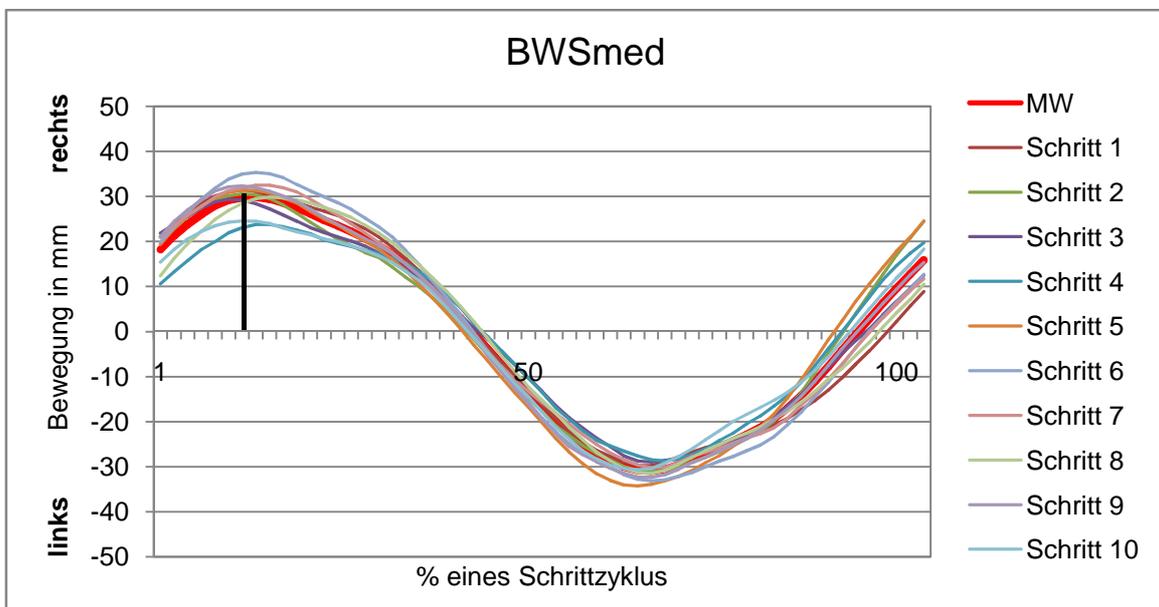
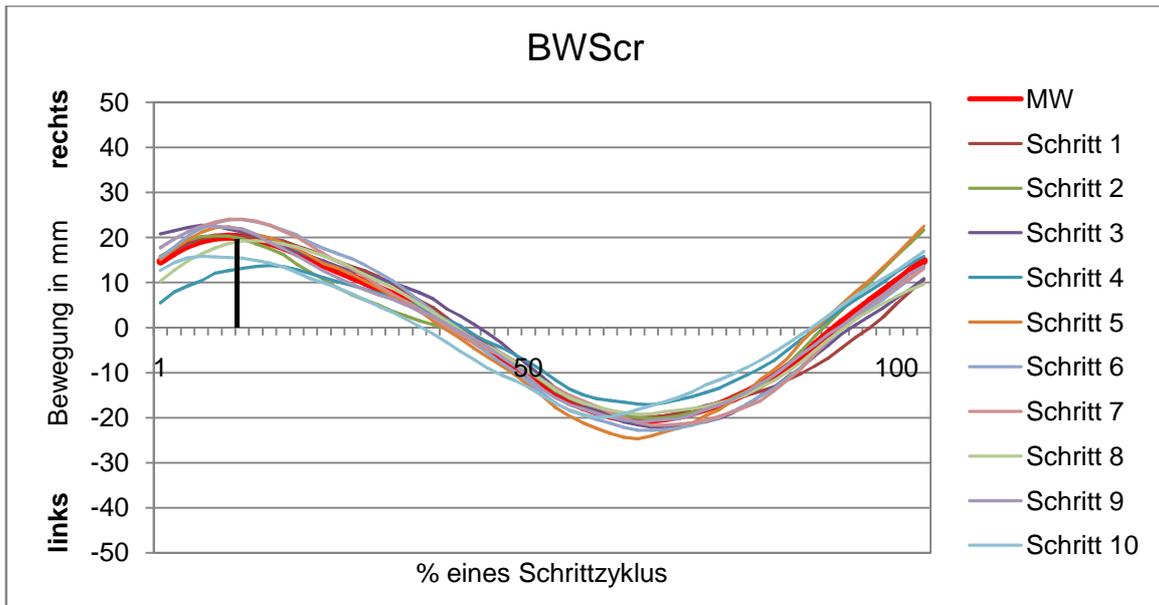
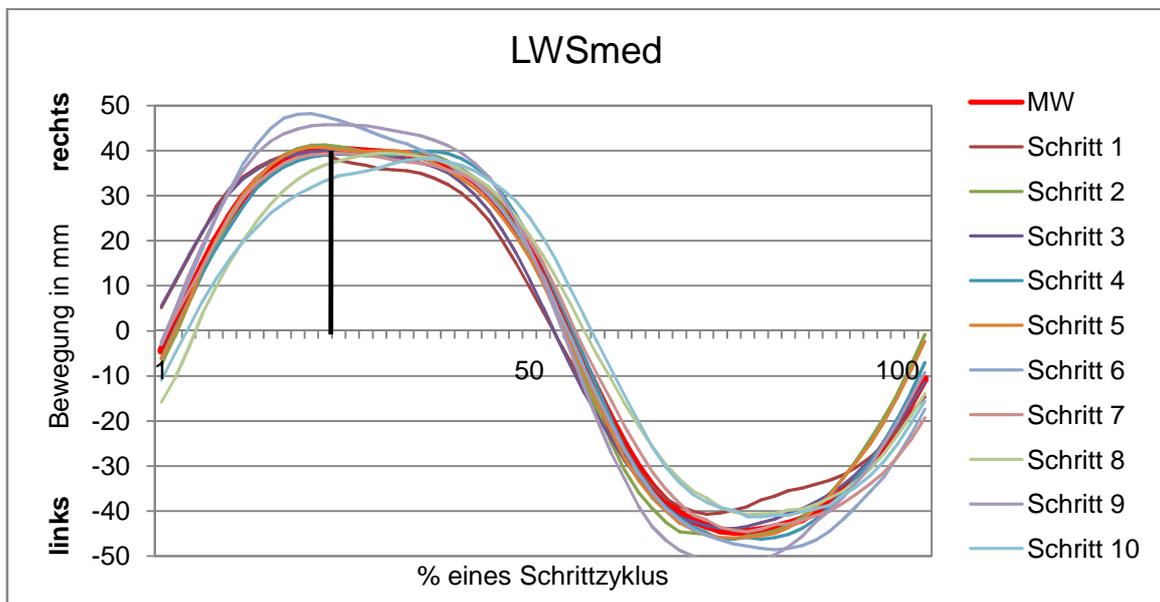
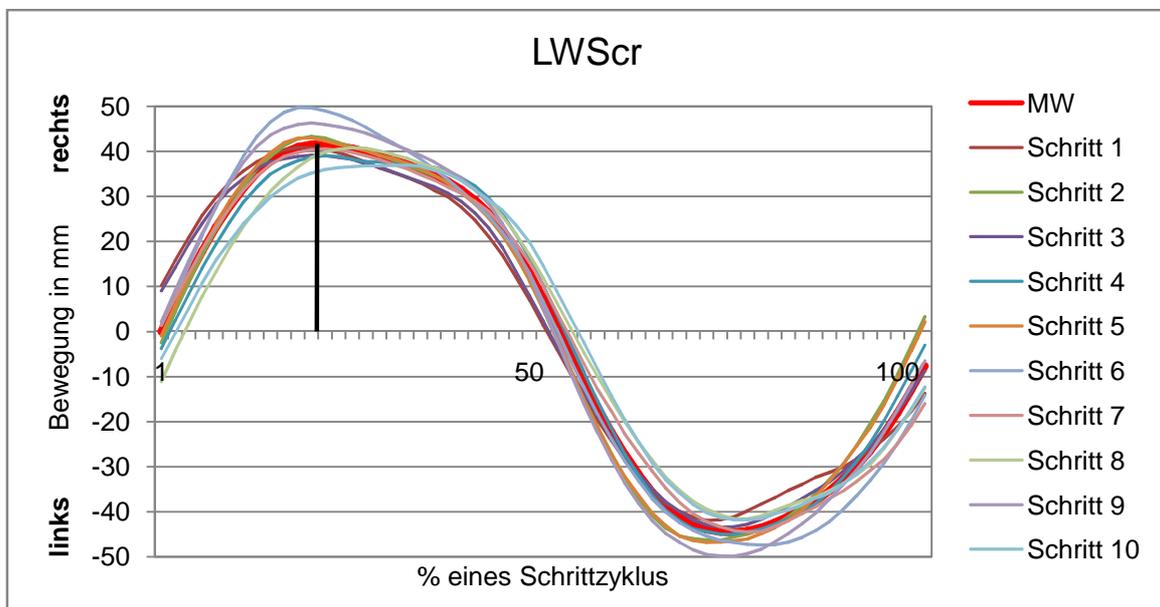
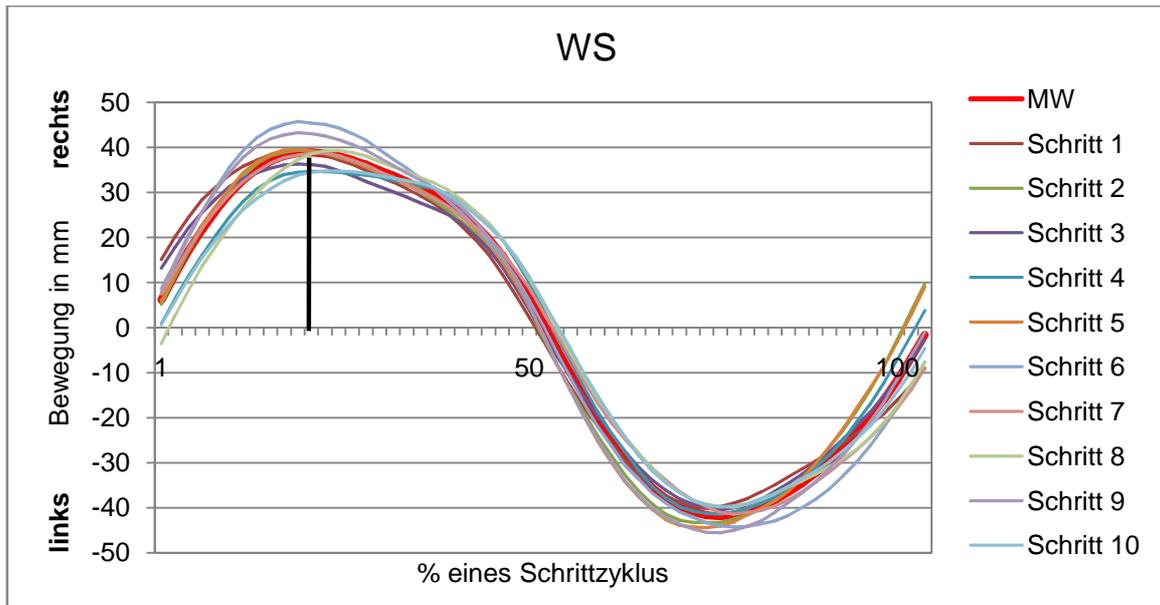


Abb. 25: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 1-phasigen Bewegungsablauf; das Auftreten der maximalen rechten Position ist  $x = 0$  gesetzt. Eingezeichnet ist der erwartungsgemäße Zeitabstand, der sich ergibt, wenn man 100 % des Schrittzklus in 2 Intervalle teilt.

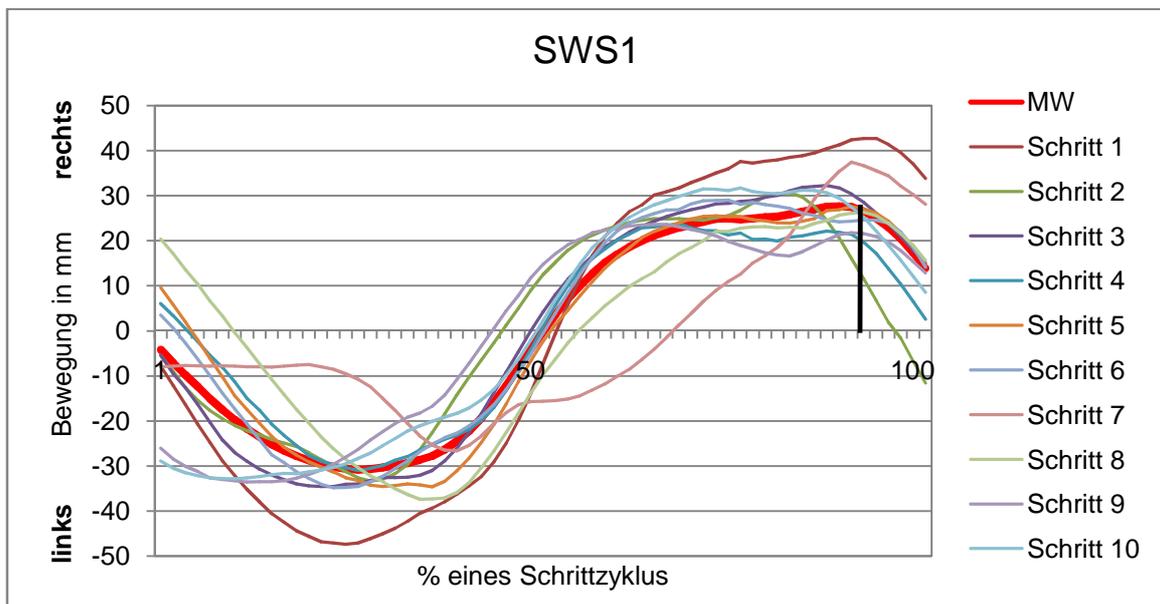
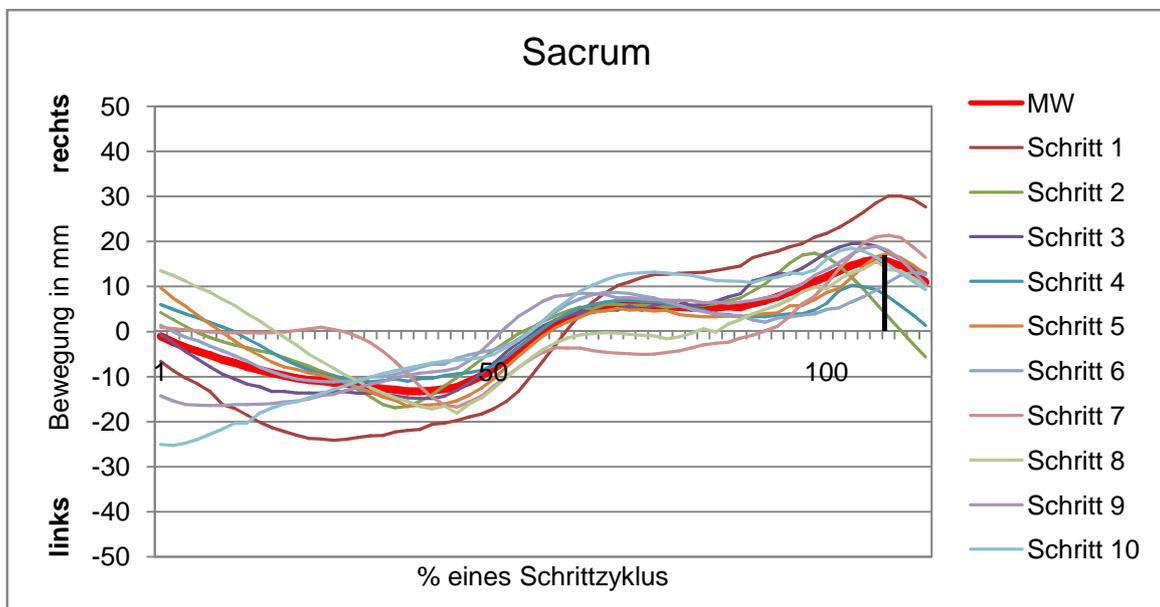
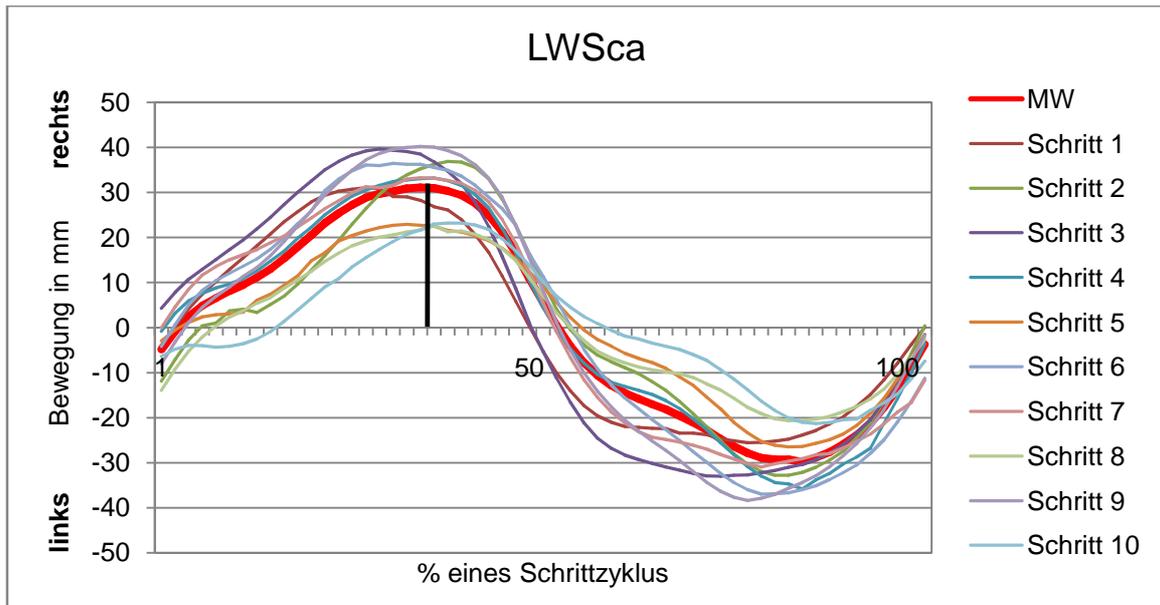
Zur Veranschaulichung der gesamten 1-phasigen Rückenbewegung in der Transversalebene wird auf den nächsten Seiten der Verlauf aller 9 Wirbelsäulenmarker eines Hundes gemittelt über 10 Schritte in Reihe dargestellt. Um beispielhaft für die zeitliche Verschiebung der gesamten Bewegungskurve die Verlagerung des Auftretens des rechten Maximums nachverfolgen zu können, ist dieses markiert (schwarze Linie).



(Legende s. S. 50)



(Legende s. S. 50)



(Legende s. S. 50)

Abb. 26: Bewegung der Marker *BWScr-SWS1* eines Hundes mit 1-phasigem Bewegungsablauf in der Transversalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert. Die Maxima verlagern sich im Verlauf der Wirbelsäule innerhalb des Schrittzklus immer weiter nach hinten; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie). Im Sakrum entwickelt sich die im Vergleich zur kranialen Wirbelsäule inverse Bewegung.

#### 4.3.1.1.2 3-phasige Rückenbewegung

Ausgehend von einer 1-phasigen Rechts-Links-Bewegung im kranialen Bereich der Wirbelsäule entwickelt sich bei den meisten Tieren ungefähr ab der mittleren Lendenwirbelsäule fließend eine 3-phasige Bewegung, bestehend aus 3 vollständigen Rechts-Links-Zyklen. Folgendes Beispiel zeigt eine solche Entwicklung von *LWScr* bis *LWSca*.

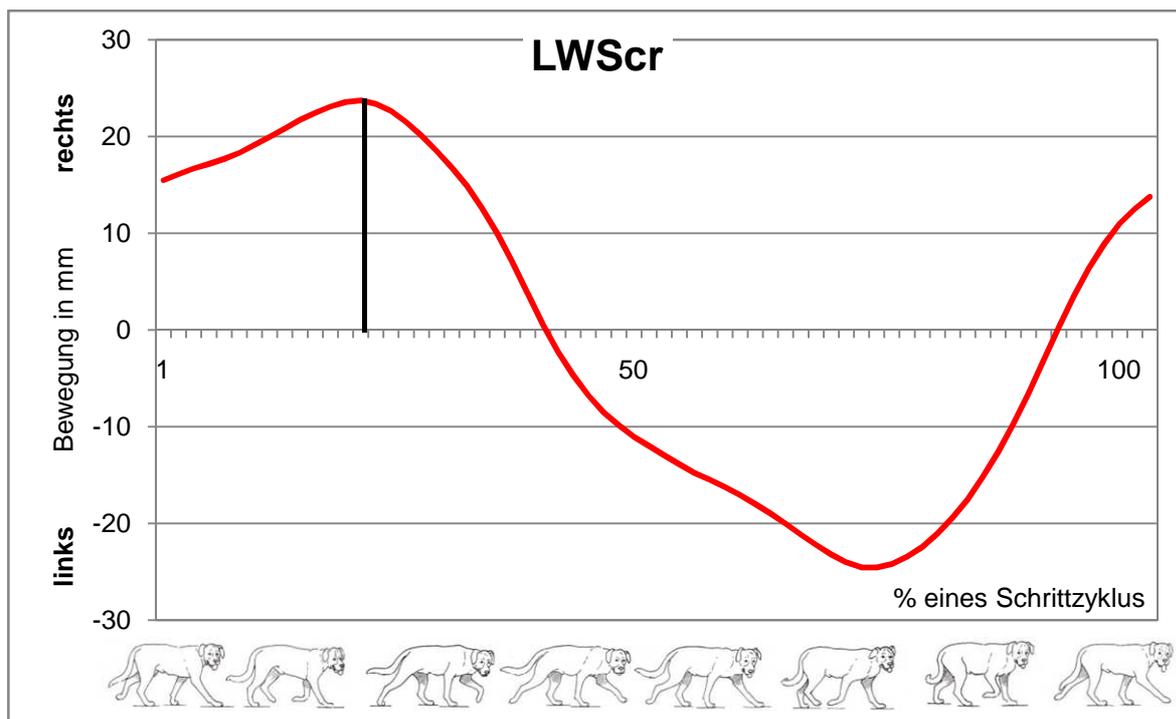


Abb. 27: Mittlere Bewegung des Markers *LWScr* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

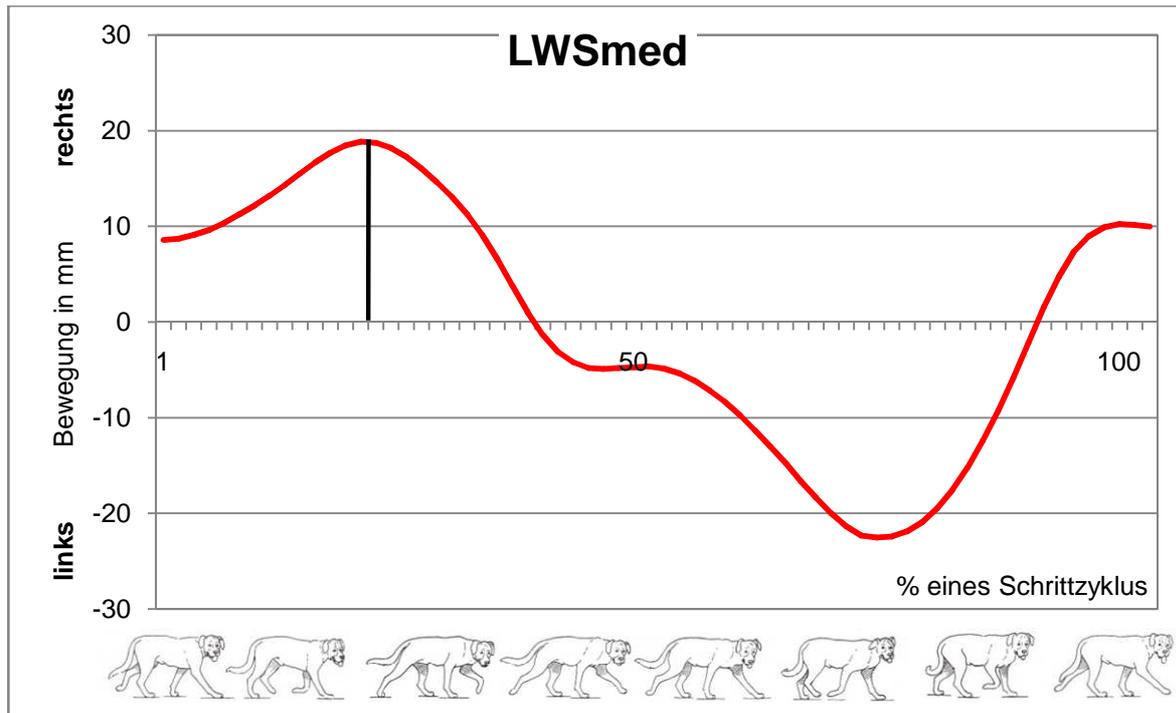


Abb. 28: Mittlere Bewegung des Markers *LWSmed* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

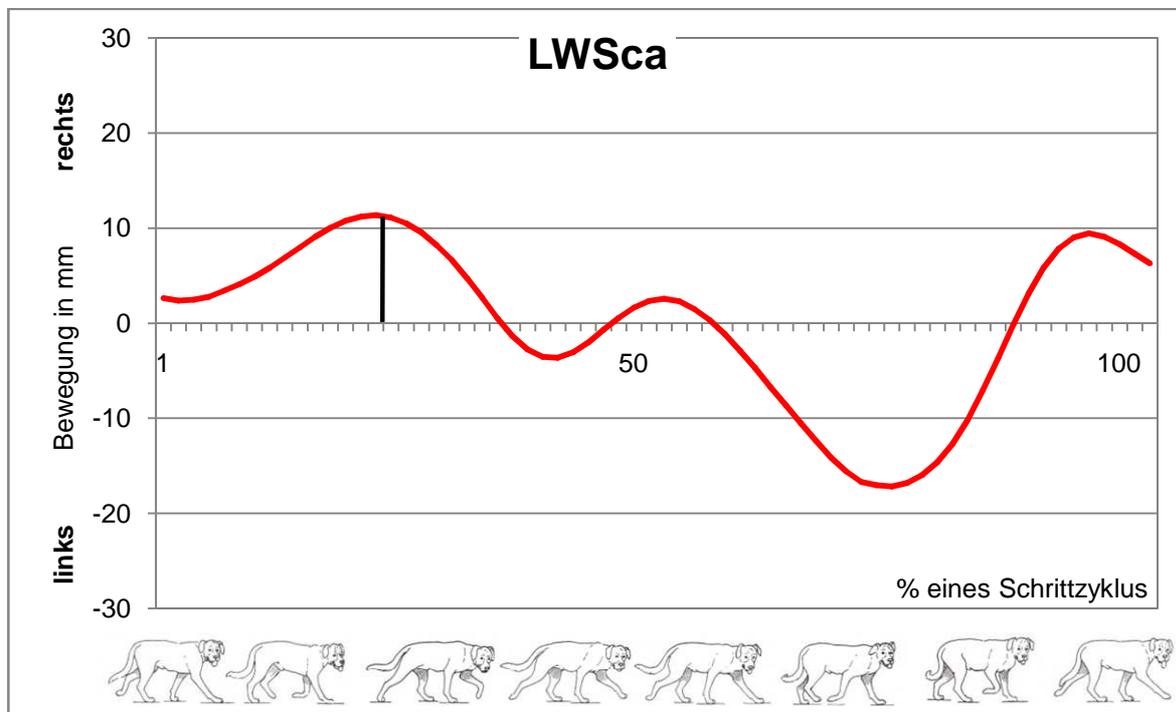


Abb. 29: Mittlere Bewegung des Markers *LWSca* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

Bei *LWScr* ist nur eine Unregelmäßigkeit in der Kurve der Links-Bewegung zu sehen. *LWSmed* stellt eine Übergangsform dar, da die 1-phasige Bewegung durch ein Plateau unterbrochen ist, sich aber nicht eindeutig 3 Maxima und 3 Minima festlegen lassen. Bei der Klassifizierung zur Auswertung der Daten mussten solche Übergangsformen als 1-phasig eingestuft werden. *LWSca* schließlich zeigt eine eindeutige 3-Phasigkeit mit 3 vollständigen Rechts-Links-Zyklen.

Wie in obigem Beispiel ersichtlich, setzt sich auch in der 3-Phasigkeit die Verlagerung des 1. maximalen Punktes rechts innerhalb des Schrittzklus nach hinten weiter fort. Ebenso kehrte die Bewegung im Sakrum um und führte zu einer inversen 3-phasigen Bewegung mit 3 Links-Rechts-Zyklen.

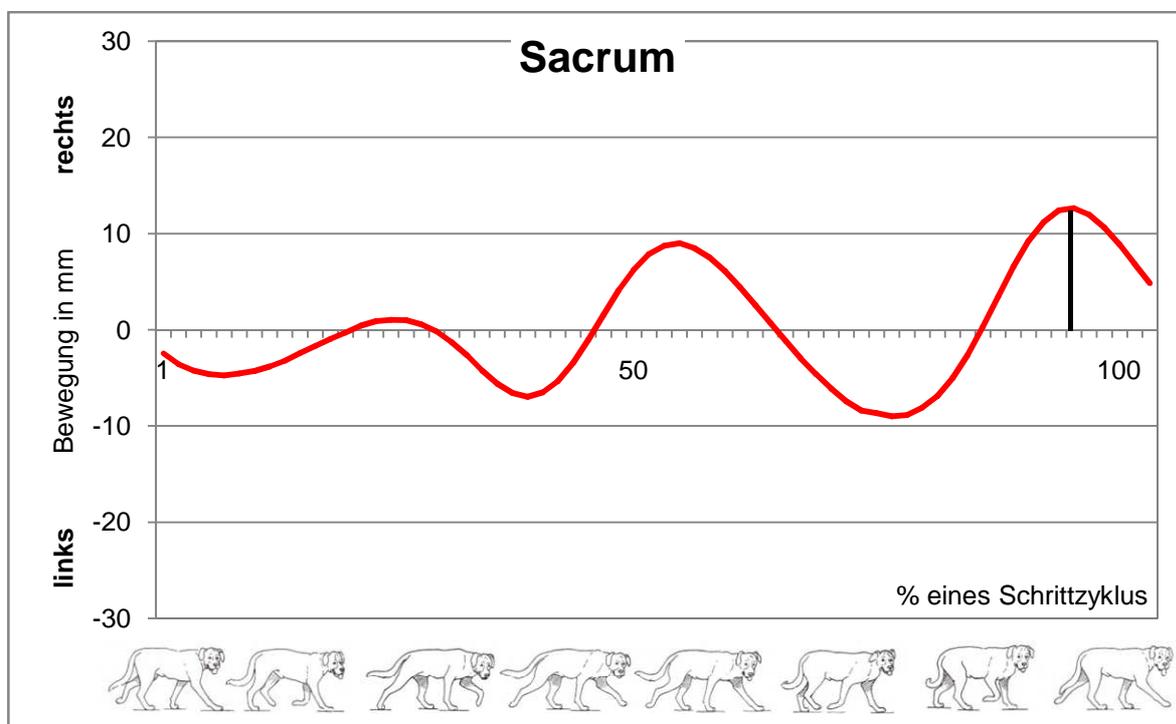


Abb. 30: Mittlere Bewegung des Markers *Sacrum* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

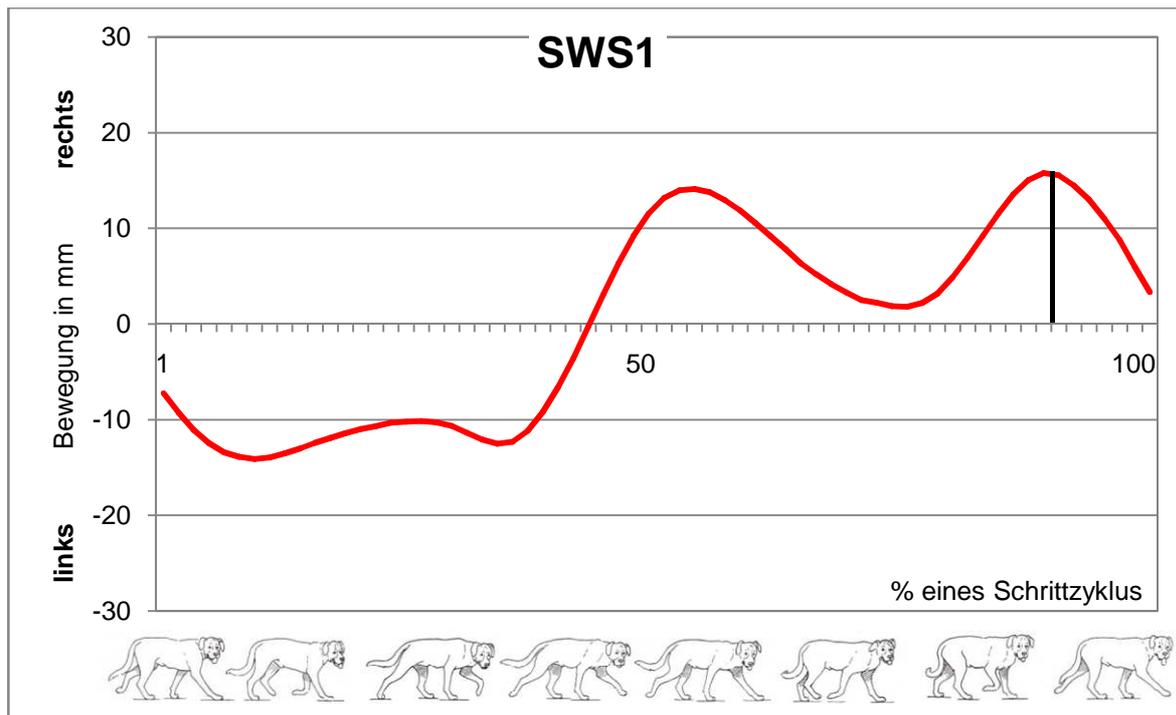


Abb. 31: Mittlere Bewegung des Markers SWS1 eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Transversalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

Betrachtet man die Differenz zwischen dem zeitlichen Auftreten des 1. maximalen Ausschlags (TOO) und dem Auftreten aller weiteren Extreme bei 3-phasigen Markern, so erwartet man unter der Annahme einer regelmäßigen Verteilung Abstände von 16,6–33,3–50,0–66,4–83,0 % des Schrittes. Folgende Tabelle zeigt die tatsächlich ermittelten zeitlichen Differenzen jeweils in Bezug auf die 1. maximal rechte Position.

Tab. 14: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 3-phasigen Bewegungsablauf.

TOO bezogen auf das 1. Maximum in %					
Markerposition	1. linkes Maximum	2. rechtes Maximum	2. linkes Maximum	3. rechtes Maximum	3. linkes Maximum
<b>MW</b>	<b>14,11</b>	<b>30,54</b>	<b>49,54</b>	<b>64,44</b>	<b>81,14</b>
±	3,83	2,36	2,34	3,69	2,61
Min	6,70	27,65	46,44	57,26	78,49
Max	18,67	35,08	53,35	69,14	86,50

Dabei ergab sich kein signifikanter Unterschied, weder zwischen den Hunderassen noch zwischen den beiden Gangarten. Jedoch streuten die Werte stärker als bei den 1-phasigen Markern, das heißt die Bewegung war unregelmäßiger, wie im Beispiel unten ersichtlich.

Im folgenden Beispiel wurde zur Veranschaulichung das Auftreten der maximalen linken Markerposition gleich 0 % des Schrittzklus gesetzt.

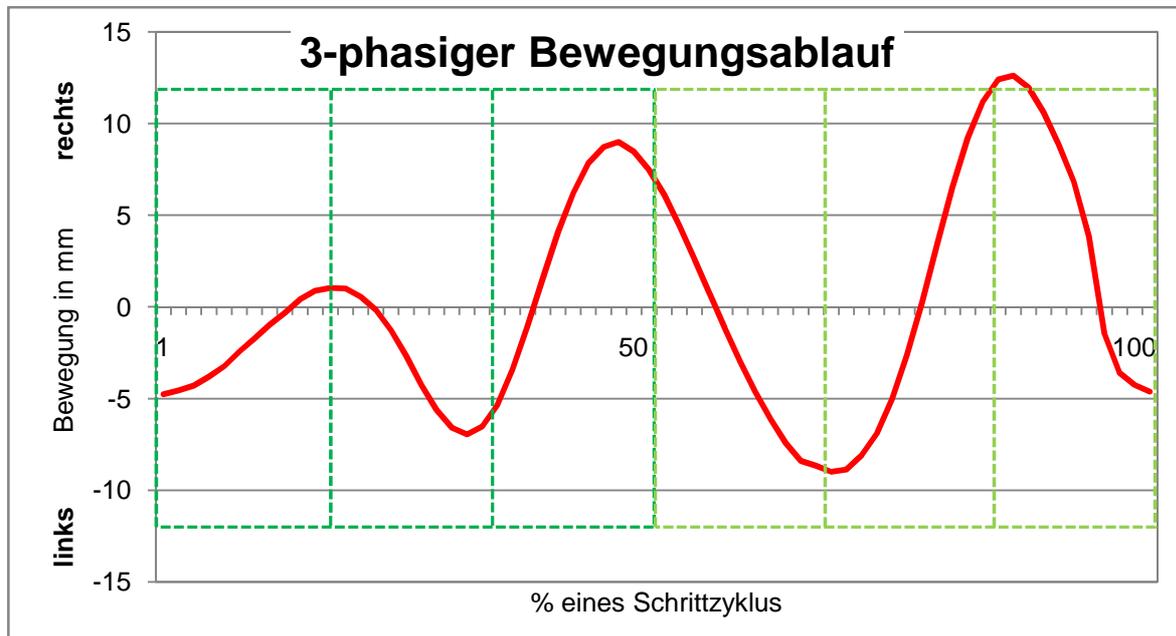


Abb. 32: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 3-phasigen Bewegungsablauf; das Auftreten der 1. maximalen linken Position ist  $x = 0$  gesetzt. Eingezeichnet ist der erwartungsgemäße Zeitabstand, der sich ergibt, wenn man 100 % des Schrittzklus in 6 Intervalle teilt. Wie man sieht, treten die Maxima meist früher oder später als erwartet auf.

85 % der Dackel ( $n = 11$ ) zeigten eine 3-Phasigkeit in der kaudalen Wirbelsäule im Schritt, 69 % der Dackel ( $n = 9$ ) im Trab. 53 % der Labrador Retriever ( $n = 8$ ) zeigten eine 3-phasige Bewegung der kaudalen Wirbelsäule im Schritt, 69 % ( $n = 9$ ) im Trab. Es gab sowohl Tiere, die im Schritt eine 3-Phasigkeit zeigten und im Trab nicht als auch Tiere, die im Trab eine 3-Phasigkeit zeigten und im Schritt nicht. Es schien also keinen Zusammenhang mit der Gangart zu geben. Nur insgesamt 4 Tiere zeigten in keiner Gangart eine 3-phasige Bewegung der kaudalen Wirbelsäule.

Die Entwicklung der 3-Phasigkeit der Bewegung trat je nach Gangart und Individuum auf unterschiedlichen Höhen der Lendenwirbelsäule auf. Das folgende Schaubild zeigt, wie viele Hunde einer Rasse an einem bestimmten Punkt der Wirbelsäule eine 3-Phasigkeit zeigten.

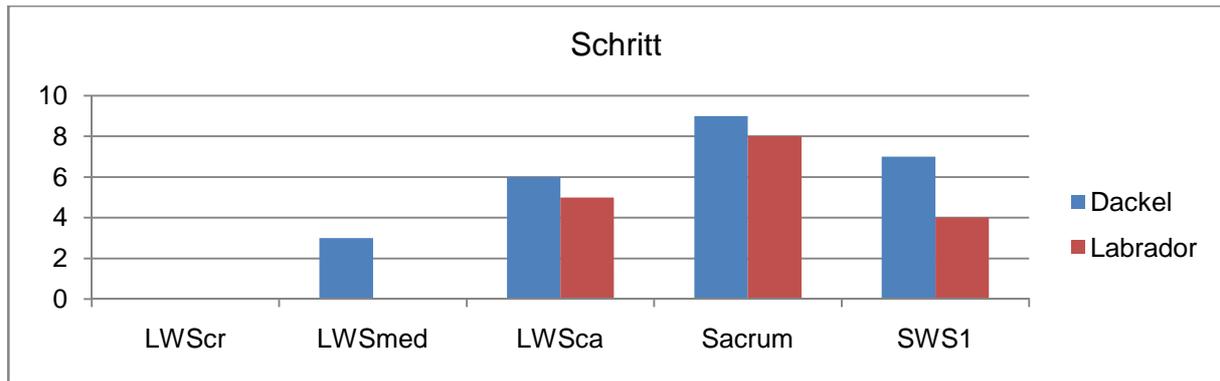


Abb. 33: Vorkommen einer 3-phasigen Bewegung an den Markern *LWScr*–*SWS1* bei Dackel und Labrador Retriever im Schritt.

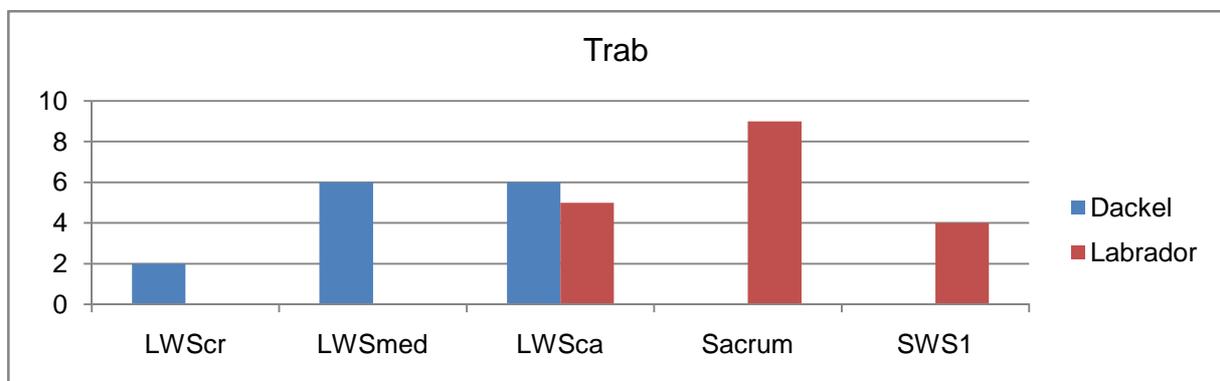
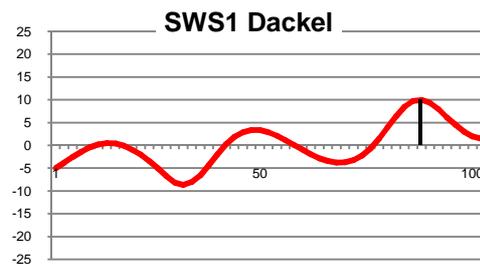
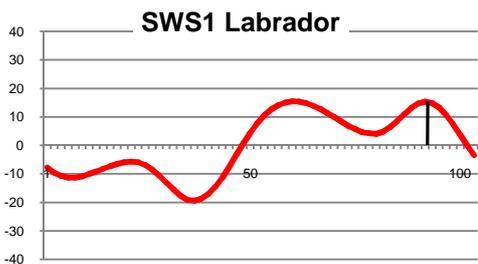
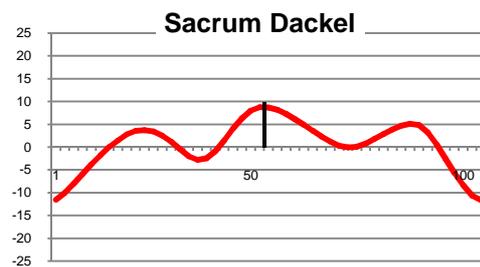
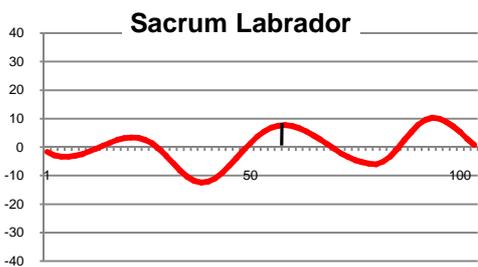
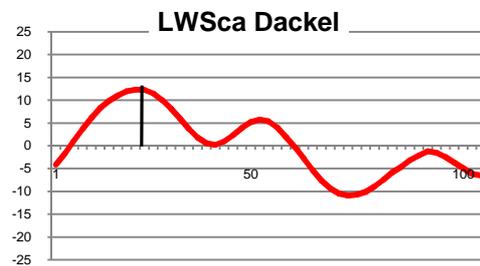
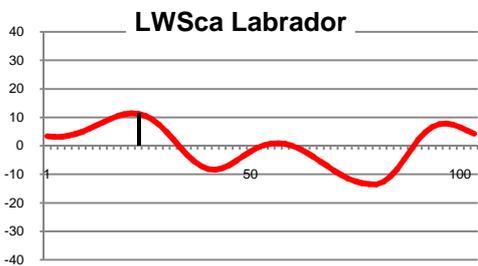
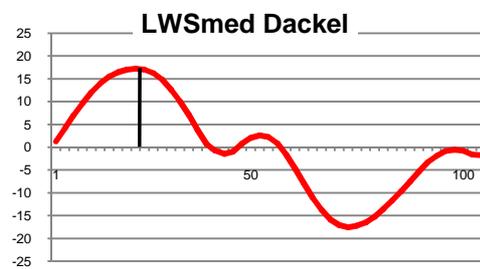
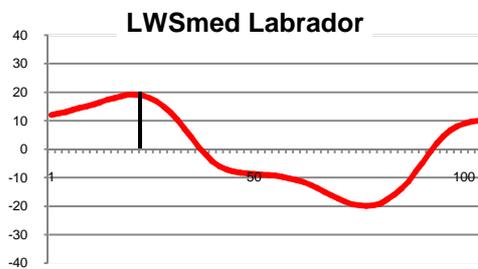
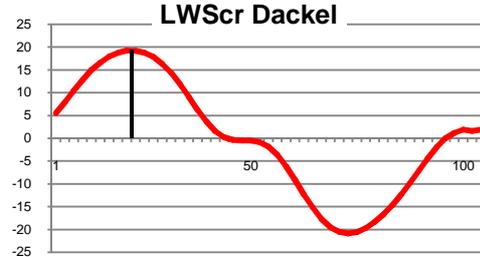
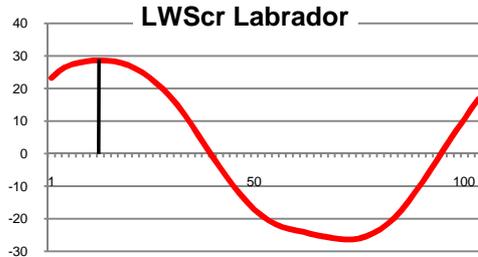
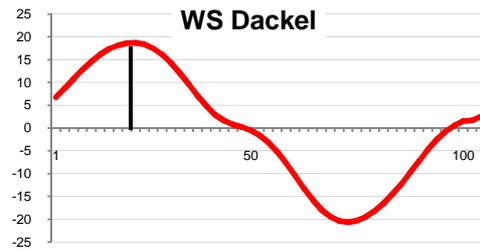
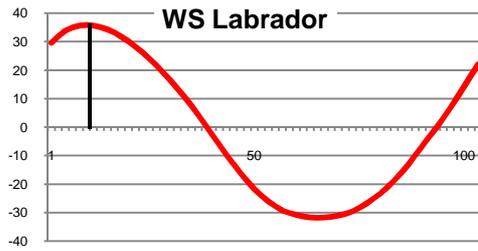


Abb. 34: Vorkommen einer 3-phasigen Bewegung an den Markern *LWScr*–*SWS1* bei Dackel und Labrador Retriever im Schritt.

Hinsichtlich eines Rasseunterschieds konnte, wie in Abb. 34 bereits ersichtlich, festgestellt werden, dass beim Dackel die 3-Phasigkeit im Durchschnitt in beiden Gangarten früher auftrat. Das folgende Schaubild (Abb. 35) zeigt die Bewegung der Marker ab dem thorakolumbalen Übergang eines Labrador Retrievers und eines Dackels.



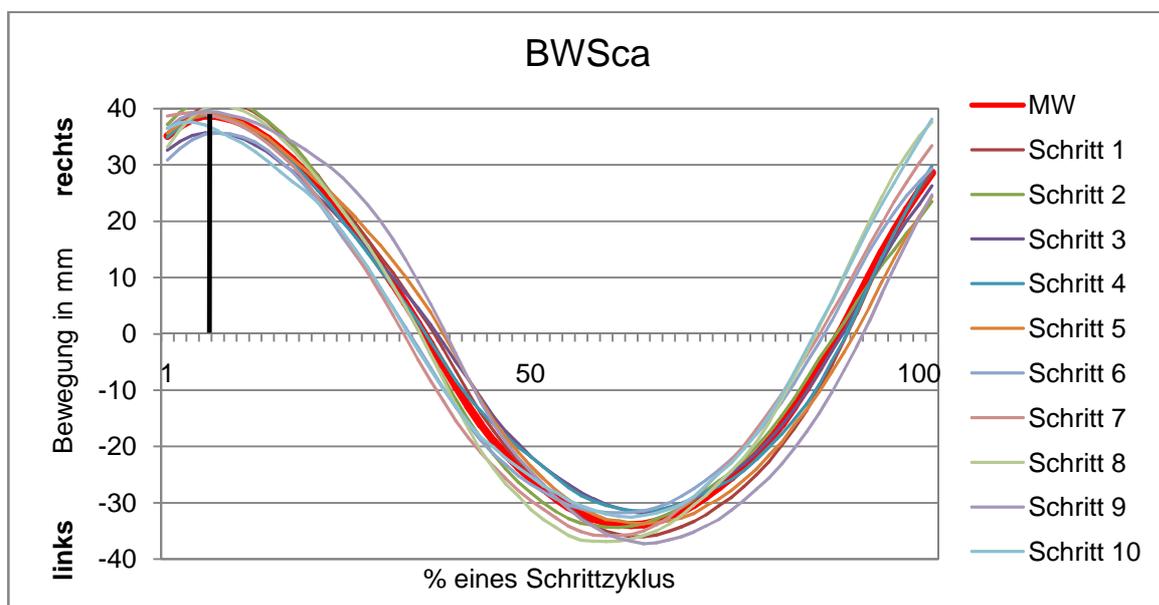
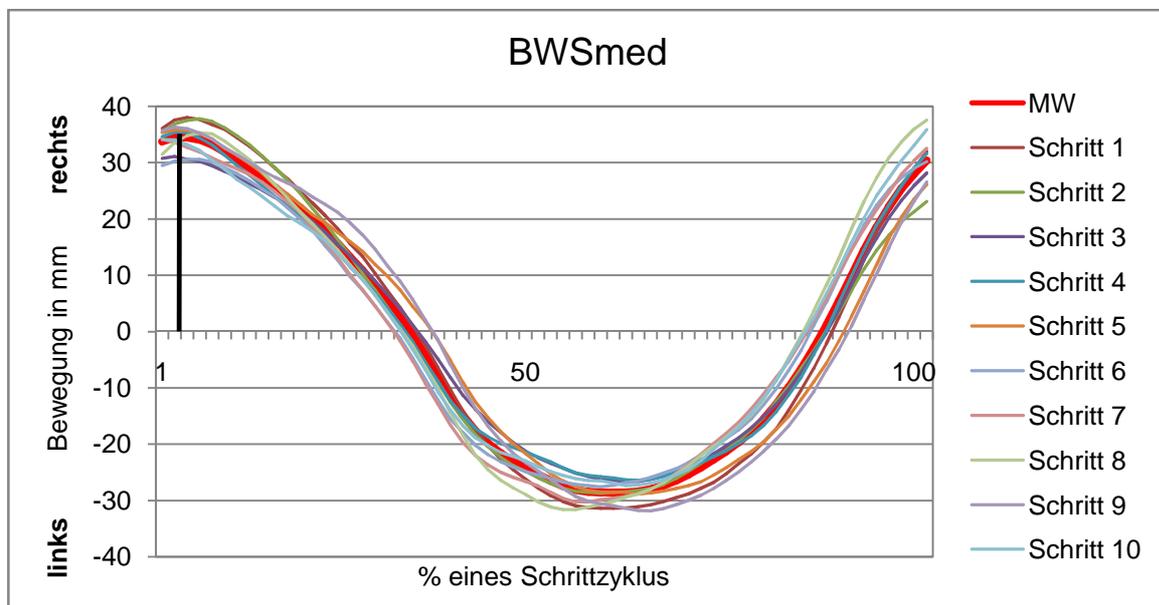
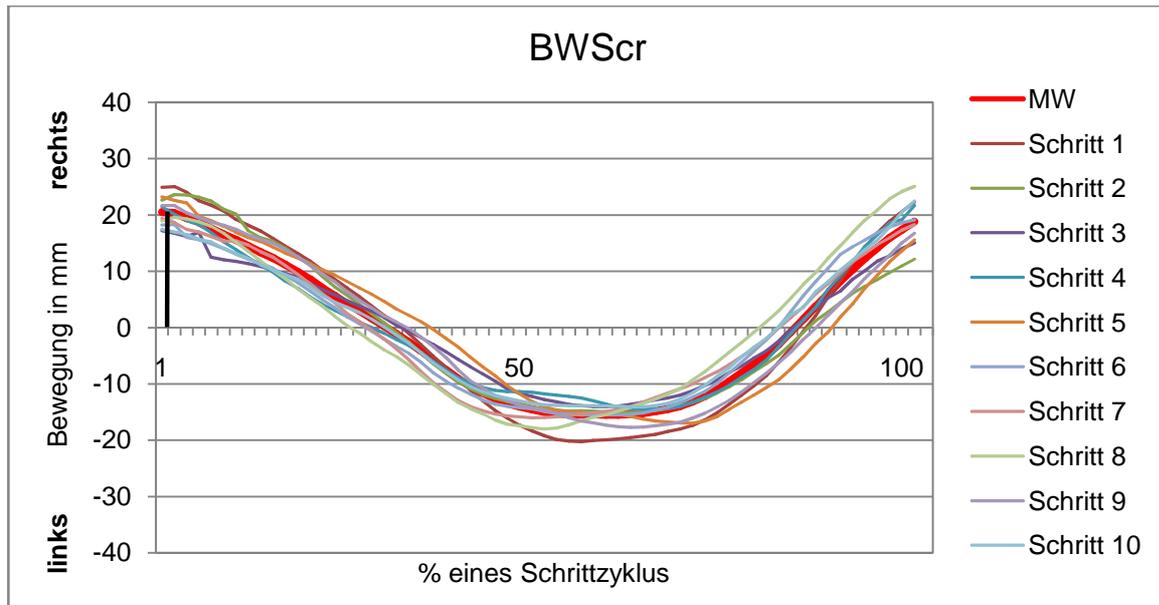
(Legende s. S. 57)

Abb. 35: Mittlere Bewegung der Marker *WS-SWS1* eines Labrador Retrievers und eines Dackels mit 3-phasigem Bewegungsverlauf; die x-Achse zeigt 100 % eines Schrittzklus, die y-Achse zeigt die Bewegung in mm nach rechts (positive Werte) und nach links (negative Werte); eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

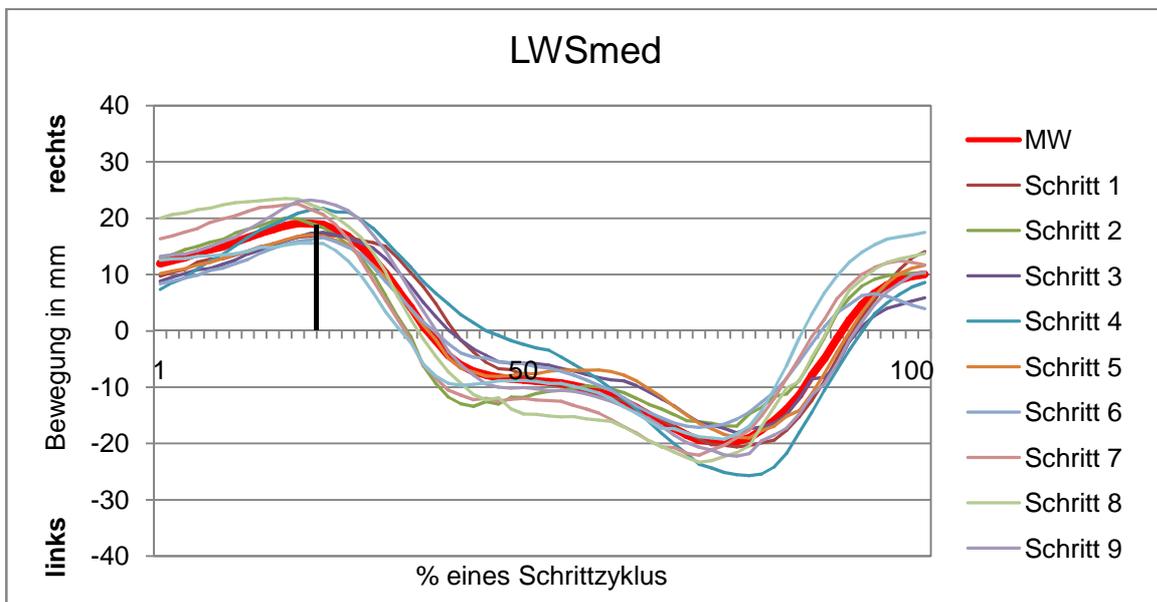
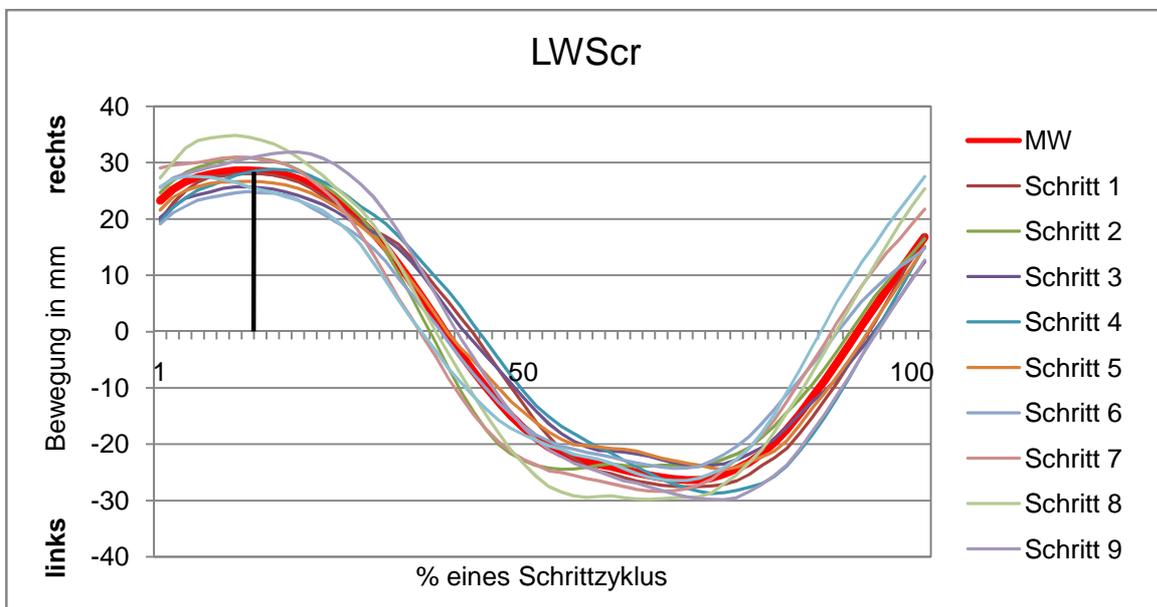
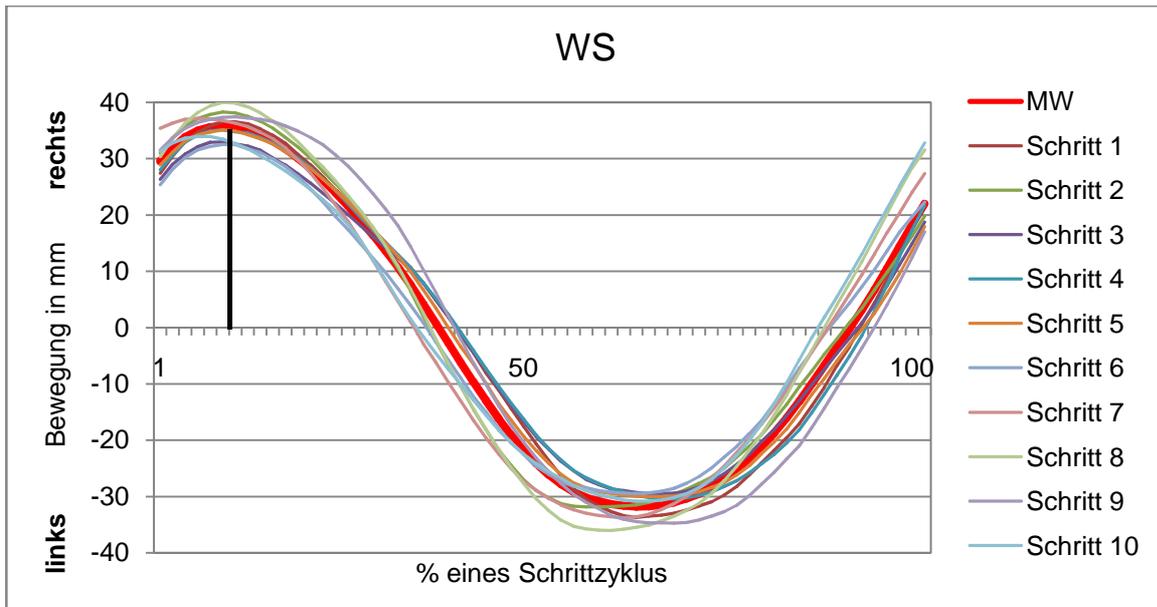
Der Bewegungsumfang der 1- und 3-phasigen Marker unterschied sich deutlich. Dies galt für beide Schrittarten und für beide Rassen. Der Bewegungsumfang aller 1-phasigen Marker von *LWSmed* bis *SWS1* und der Bewegungsumfang aller 3-phasigen Marker von *LWSmed* bis *SWS1* unterschieden sich mit einer Signifikanz von 0,001 %. Der ROM der 3-phasigen Marker war im Mittel um 38,2 % kleiner als die der 1-phasigen.

Untersucht wurde ebenfalls der Zusammenhang zwischen einer aktiven und passiven Schwanzbewegung und dem generellen Auftreten einer 3-phasigen transversalen Markerbewegung im kaudalen Wirbelsäulenabschnitt. 7 von 11 Tieren, die im Schritt den Schwanz passiv trugen, zeigte eine 3-Phasigkeit. 5 von 8 Tieren, die im Trab den Schwanz passiv trugen, zeigten eine 3-Phasigkeit. 6 von 17 Tieren, die im Schritt den Schwanz aktiv trugen, zeigten eine 1-Phasigkeit. 6 von 18 Tieren, die im Trab den Schwanz aktiv bewegten, zeigten eine 1-Phasigkeit. Aufgrund der Heterogenität der Gruppen sowohl die Phasigkeit als auch die Art der Rutenbewegung betreffend (siehe Kapitel „Rutenbewegung“) konnte jedoch keine Kausalität oder ein direkter Zusammenhang nachgewiesen werden.

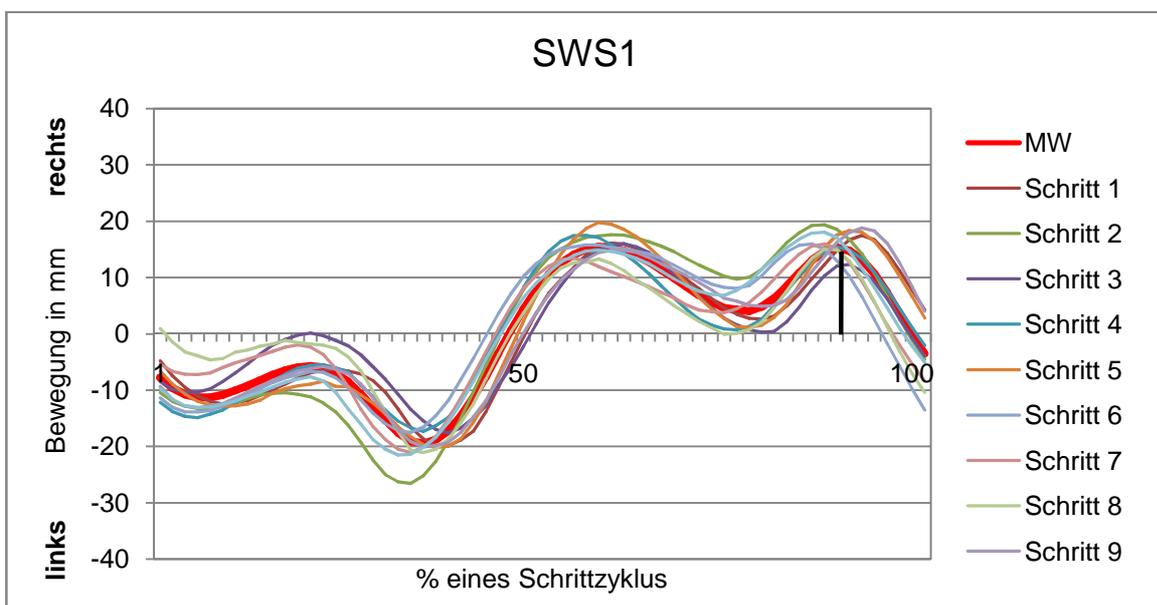
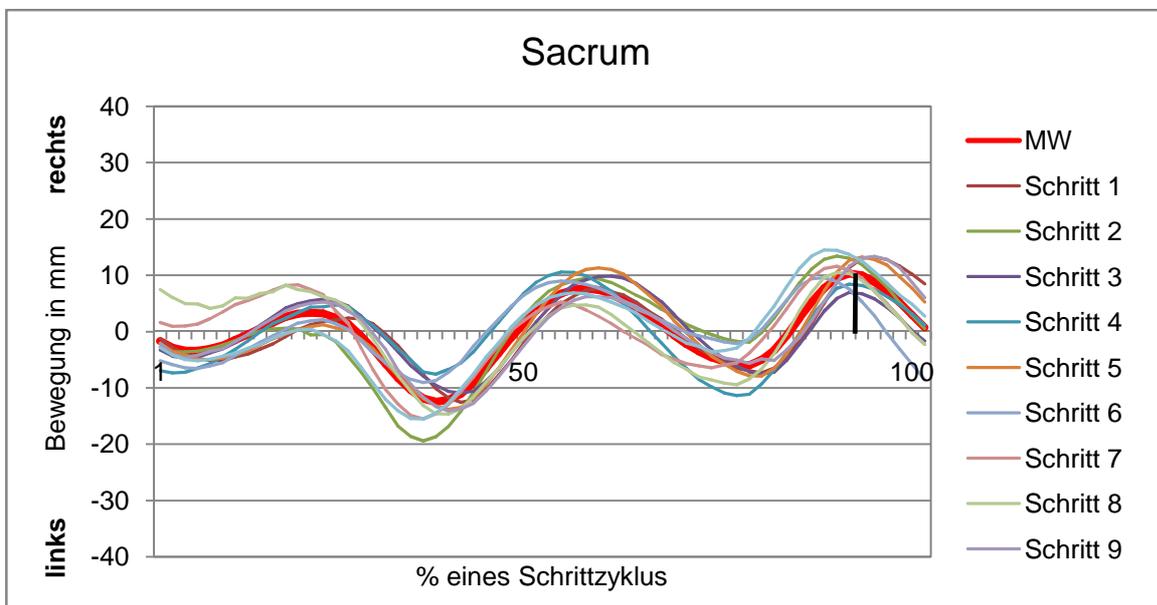
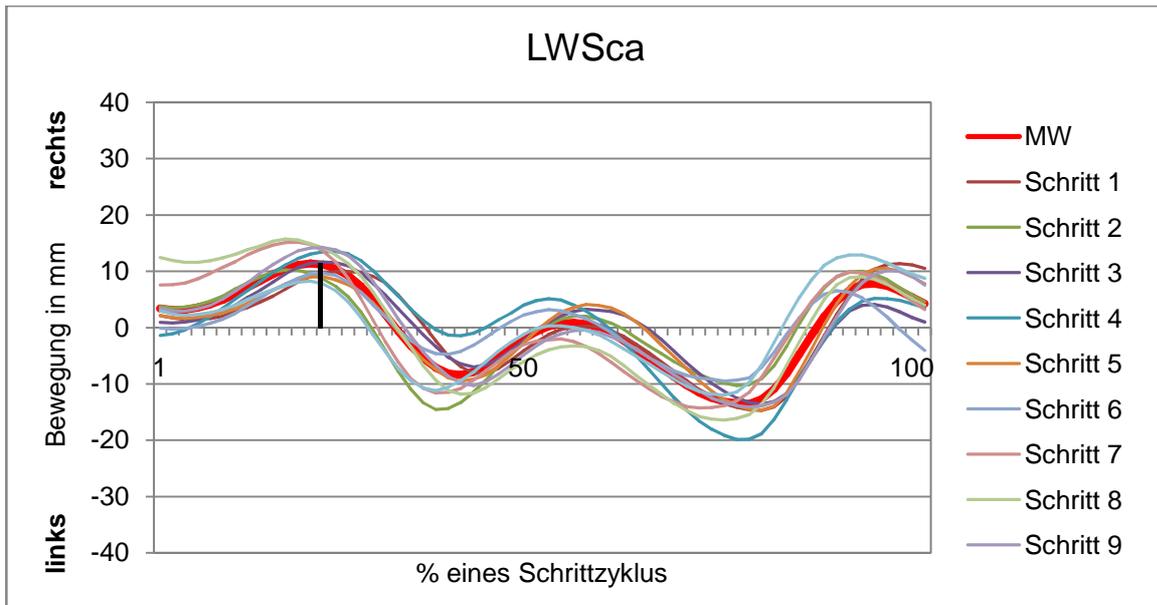
Zur Veranschaulichung der gesamten 3-phasigen Rückenbewegung in der Transversalebene wird auf den nächsten Seiten der Verlauf aller 9 Wirbelsäulenmarker eines Hundes gemittelt über 10 Schritte in Reihe dargestellt. Um die Verlagerung des Auftretens des rechten Maximums nachverfolgen zu können, ist dieses markiert (schwarze Linie).



(Legende s. S. 61)



(Legende s. S. 61)



(Legende s. S. 61)

Abb. 36: Bewegung der Marker *BWScr-SWS1* eines Hundes mit 3-phasigem Bewegungsablauf in der Transversalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert. Alle Maxima verlagern sich im Verlauf der Wirbelsäule innerhalb des Schrittzklus immer weiter nach hinten; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie). Die 3-Phasigkeit entwickelt sich ab *LWSmed* und ist vollständig ausgeprägt ab *LWSca*. Im Sakrum entwickelt sich die im Vergleich zur kranialen Wirbelsäule inverse Bewegung.

#### 4.3.1.1.2 Trab

Im Trab verlief die Bewegung genauso wie im Schritt, d.h. es gab genauso 1-phasige wie auch 3-phasige Markerbewegungen und ab dem Sakrum zeigte sich eine inverse Bewegung. Einziger Unterschied war, dass das Auftreten der Maxima nach rechts und nach links sich im Trab als 2-Takter innerhalb des Schrittzklus nicht verschob. Die rechte Position tritt kurz nach dem Beginn der rechten diagonalen Standphase ein und die linke Position kurz nach dem Beginn der linken diagonalen Standphase.

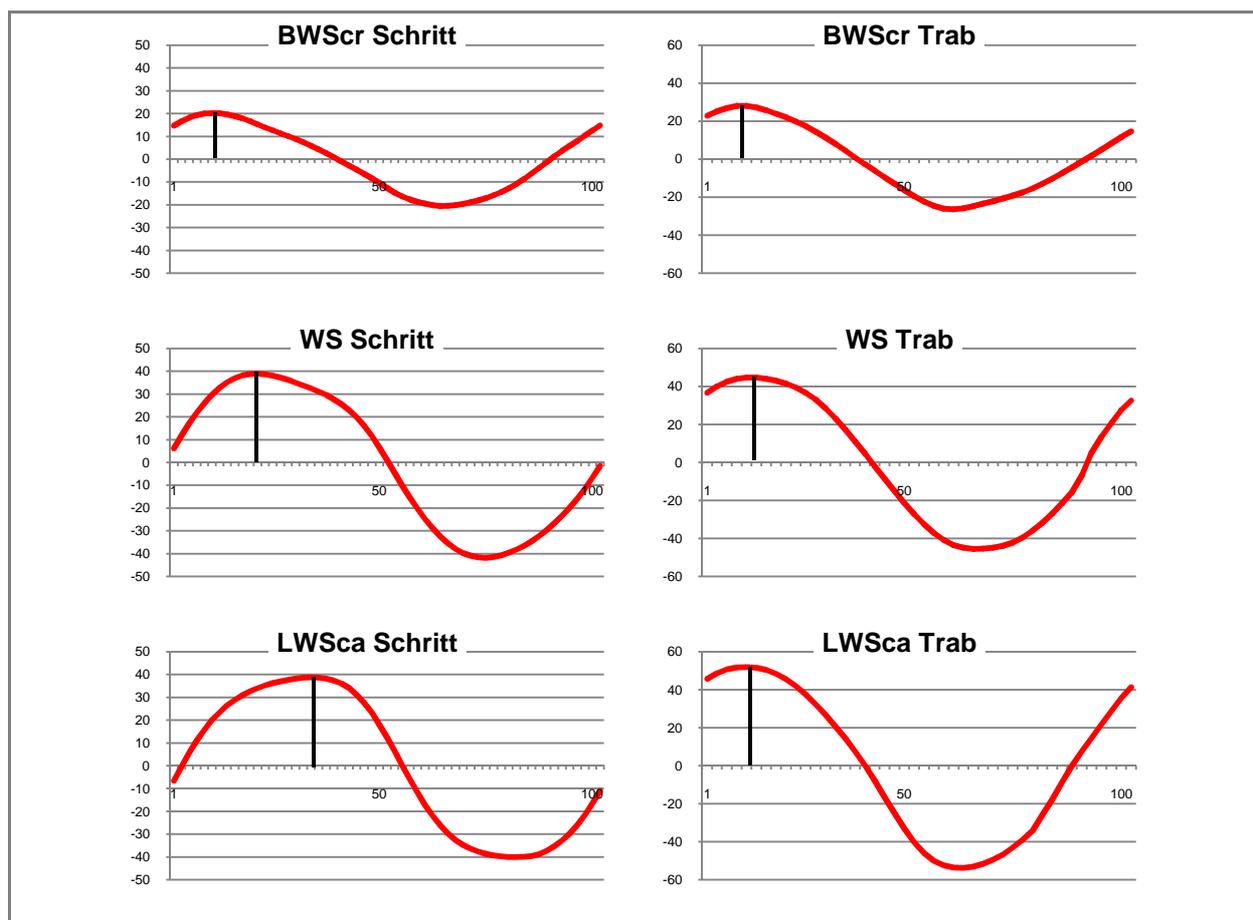


Abb. 37: Mittlere Bewegung der Marker *BWScr*, *WS* und *LWSca* eines Hundes in der Transversalebene im Schritt und im Trab; die x-Achse zeigt 100 % eines Schrittzklus, die y-Achse zeigt die Bewegung in mm nach rechts (positive Werte) und nach links (negative Werte); eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der maximalen rechten Position (schwarze Linie).

#### **4.3.1.2 Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung**

Die gemessenen Werte für die Bewegung von der Nulllinie ausgehend nach rechts und links sowie für den gesamten Bewegungsumfang an der jeweiligen Markerposition werden zunächst für die Rasse Dackel und Labrador Retriever getrennt betrachtet und innerhalb einer Rasse zwischen beiden Gangarten ein Vergleich gezogen. Nachfolgend wird dann ein Rassevergleich gezogen.

##### **4.3.1.2.1 Dackel**

Die einzelnen Marker aller Dackel ( $n = 13$ ) zeigten in der Transversalebene im Schritt und im Trab ausgehend von der Nullposition folgende mittlere maximale Bewegung nach rechts und links (Tab. 15):



---

Die Bewegung nach rechts und links unterschied sich im Schritt nie signifikant und im Trab mit Ausnahme des Markers *LWSmed* auch nie, sodass von einer relativen Symmetrie ausgegangen werden kann. Für den Bewegungsumfang in der Transversalebene, der die Summe der Maxima nach rechts und der Maxima nach links darstellt, ergaben sich folgende Mittelwerte (Tab. 16):

Tab. 16: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker aller Dackel (n = 13) zwischen Schritt und Trab.

<b>Bewegungsumfang im Schritt (mm)</b>										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>23,89</b>	<b>32,74</b>	<b>37,04</b>	<b>42,63</b>	<b>41,34</b>	<b>34,04</b>	<b>21,88</b>	<b>17,51</b>	<b>25,25</b>	
±	8,11	10,07	11,23	11,67	10,67	9,87	7,58	7,07	11,83	
Min	12,48	20,30	23,42	26,46	23,74	18,06	9,57	5,31	11,14	
Max	34,30	48,43	58,36	66,83	64,03	56,66	36,23	27,46	48,53	
<b>Bewegungsumfang im Trab (mm)</b>										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>14,78</b>	<b>20,54</b>	<b>22,31</b>	<b>21,36</b>	<b>18,83</b>	<b>17,17</b>	<b>15,83</b>	<b>21,37</b>	<b>34,78</b>	
±	7,46	9,45	9,80	11,69	11,37	8,77	7,73	8,43	13,21	
Min	6,86	9,62	8,05	6,02	7,20	6,41	6,42	11,60	18,86	
Max	28,22	35,66	38,20	42,74	39,78	33,27	30,73	39,42	55,81	
<b>p-Wert Gangartunterschied</b>	<b>0,006</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,001</b>	<b>0,249</b>	<b>0,138</b>	<b>0,237</b>	<b>0,000</b>	

Der ROM in der transversalen Richtung im Schritt bewegten sich zwischen 17,51 mm am Marker *Sacrum* und 42,63 mm am Marker *WS*. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 14,78 mm an *BWScr* und 22,31 mm an *BWSca* (höchster Wert bei *SWS1* 34,78 mm).

Wie aus der Tabelle ersichtlich, nahm der Bewegungsumfang in beiden Schritarten von kranial (Marker *BWScr*) bis zum thorakolumbalen Übergang (Marker *WS* im Schritt, Marker *BWSca* im Trab) zu und danach nach kaudal hin bis zu *Sacrum* (Schritt) bzw. *LWSca* (Trab) wieder ab. An der Rutenbasis (*SWS1*) war jeweils wieder ein Anstieg des Bewegungsumfangs im Vergleich zum *Sacrum* zu beobachten. Der Bewegungsumfang unterschied sich mit Ausnahme an den Markern *LWSmed–Sacrum* zwischen den Gangarten hochsignifikant. Dabei war der Bewegungsumfang außer bei den Markern *Sacrum* und *SWS1* stets im Schritt erheblich größer als im Trab. Folgendes Schaubild zeigt die mittlere transversale Bewegung der 9 Rückenmarker aller Dackel im Schritt und im Trab.

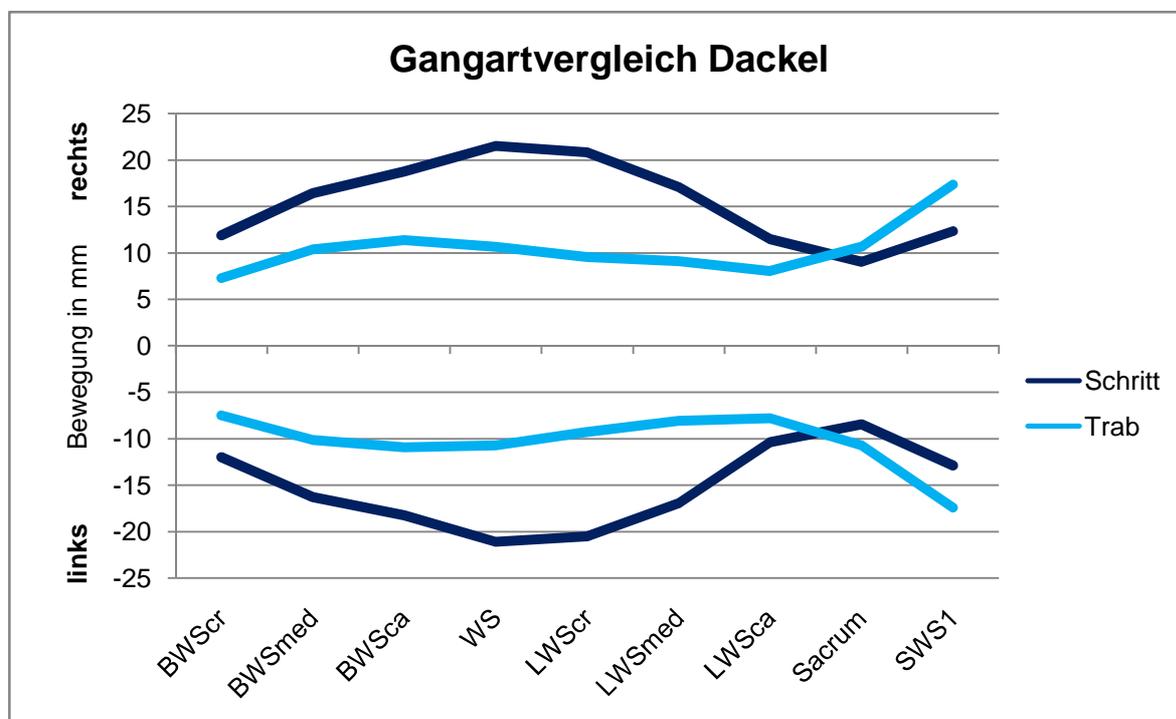


Abb. 38: Gangartvergleich der mittleren maximalen Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker aller Dackel.

#### 4.3.1.2.2 Labrador Retriever

Die einzelnen Marker aller Labrador Retriever ( $n = 15$ ) zeigten in der Transversalebene im Schritt und im Trab ausgehend von der Nullposition folgende mittlere maximale Bewegung nach rechts und links (Tab. 17):

Tab. 17: Vergleich der mittleren transversalen Markerbewegung nach rechts und links der 9 Rückenmarker von allen Labrador Retrievern (n = 15) zwischen Schritt und Trab.

Markerbewegung nach rechts im Schritt (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
MW	15,57	23,65	27,02	28,57	27,51	23,29	17,39	15,64	20,68	
±	4,45	7,38	7,59	6,94	7,53	8,17	8,93	6,50	4,92	
Min	7,63	9,01	14,15	15,94	14,53	12,79	7,98	9,46	15,48	
Max	20,53	34,45	38,75	39,94	41,50	40,30	38,78	31,08	29,78	
Markerbewegung nach links im Schritt (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
MW	15,22	23,67	27,26	29,39	29,05	25,37	19,04	13,98	19,65	
±	3,32	7,28	7,53	7,42	8,29	9,11	8,63	6,90	5,54	
Min	9,75	10,12	13,61	14,81	14,25	12,30	9,09	7,13	12,75	
Max	20,56	33,45	40,03	41,94	44,60	44,63	40,06	29,87	30,84	
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,675</b>	<b>0,992</b>	<b>0,692</b>	<b>0,162</b>	<b>0,037</b>	<b>0,019</b>	<b>0,065</b>	<b>0,037</b>	<b>0,490</b>	
Markerbewegung nach rechts im Trab (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
MW	14,76	20,80	27,01	27,58	26,06	22,04	16,16	13,91	22,30	
±	7,50	10,36	10,56	11,19	11,52	12,41	12,84	10,26	4,07	
Min	6,07	8,10	15,63	13,53	11,31	9,71	4,99	4,75	14,27	
Max	28,05	37,15	42,13	44,61	50,06	54,16	51,92	42,16	28,52	
Markerbewegung nach links im Trab (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
MW	14,16	21,53	27,10	27,71	26,32	21,89	15,84	14,15	22,37	
±	6,71	9,69	10,30	10,50	11,34	12,44	12,94	9,82	4,47	
Min	6,97	9,74	14,93	14,45	12,32	9,37	5,71	5,11	14,20	
Max	26,40	36,95	41,83	45,57	51,85	55,86	53,83	42,58	27,89	
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,447</b>	<b>0,343</b>	<b>0,826</b>	<b>0,797</b>	<b>0,598</b>	<b>0,787</b>	<b>0,411</b>	<b>0,661</b>	<b>0,927</b>	

---

Die Bewegung nach rechts und links unterschied sich mit Ausnahme des Markers *LWScr*, *LWSmed* und *Sacrum* im Schritt nie signifikant, sodass von einer relativen Symmetrie ausgegangen werden kann. Für den Bewegungsumfang in der Transversalebene ergaben sich daraus folgende Mittelwerte (Tab. 18):

Tab. 18: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker aller Labrador Retriever (n = 15) zwischen Schritt und Trab.

<b>Bewegungsumfang im Schritt (mm)</b>										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>30,79</b>	<b>47,32</b>	<b>54,28</b>	<b>57,96</b>	<b>56,57</b>	<b>48,65</b>	<b>36,43</b>	<b>29,61</b>	<b>40,33</b>	
±	7,27	14,41	14,94	14,20	15,64	17,05	17,30	13,18	9,35	
Min	17,48	19,14	27,76	30,75	28,77	25,08	17,07	16,98	29,88	
Max	40,76	63,06	78,14	81,26	86,10	84,93	78,84	60,95	58,49	
<b>Bewegungsumfang im Trab (mm)</b>										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>28,92</b>	<b>42,33</b>	<b>54,11</b>	<b>55,29</b>	<b>52,38</b>	<b>43,93</b>	<b>32,00</b>	<b>28,06</b>	<b>44,67</b>	
±	14,11	19,89	20,77	21,65	22,81	24,77	25,74	19,96	8,24	
Min	13,04	20,23	30,87	27,99	23,63	19,08	10,71	10,21	28,47	
Max	54,45	73,67	83,96	90,18	101,92	110,02	105,75	84,75	56,41	
<b>p-Wert Gangartunterschied</b>	<b>0,248</b>	<b>0,585</b>	<b>0,643</b>	<b>0,760</b>	<b>0,427</b>	<b>0,304</b>	<b>0,414</b>	<b>0,590</b>	<b>0,209</b>	

Der ROM in der transversalen Richtung im Schritt bewegten sich zwischen 29,61 mm am Marker *Sacrum* und 57,96 mm am Marker *WS*. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 28,06 mm am Marker *Sacrum* und 55,29 mm am Marker *WS*. Wie aus der Tabelle ersichtlich, nahm der Bewegungsumfang in beiden Schritarten von kranial (Marker *BWScr*) bis zum thorakolumbalen Übergang (Marker *WS*) zu und danach nach kaudal hin (Marker *Sacrum*) wieder ab. An der Rutenbasis (Marker *SWS1*) war wie beim Dackel jeweils wieder ein Anstieg des Bewegungsumfangs im Vergleich zum Sakrum zu beobachten. Der Bewegungsumfang war zwar außer beim Marker *SWS1* immer im Schritt größer als im Trab, dieser Unterschied war jedoch anders als beim Dackel an keinem Marker statistisch signifikant. Folgendes Schaubild zeigt die mittlere transversale Bewegung der 9 Rückenmarker aller Labrador Retriever im Schritt und im Trab.

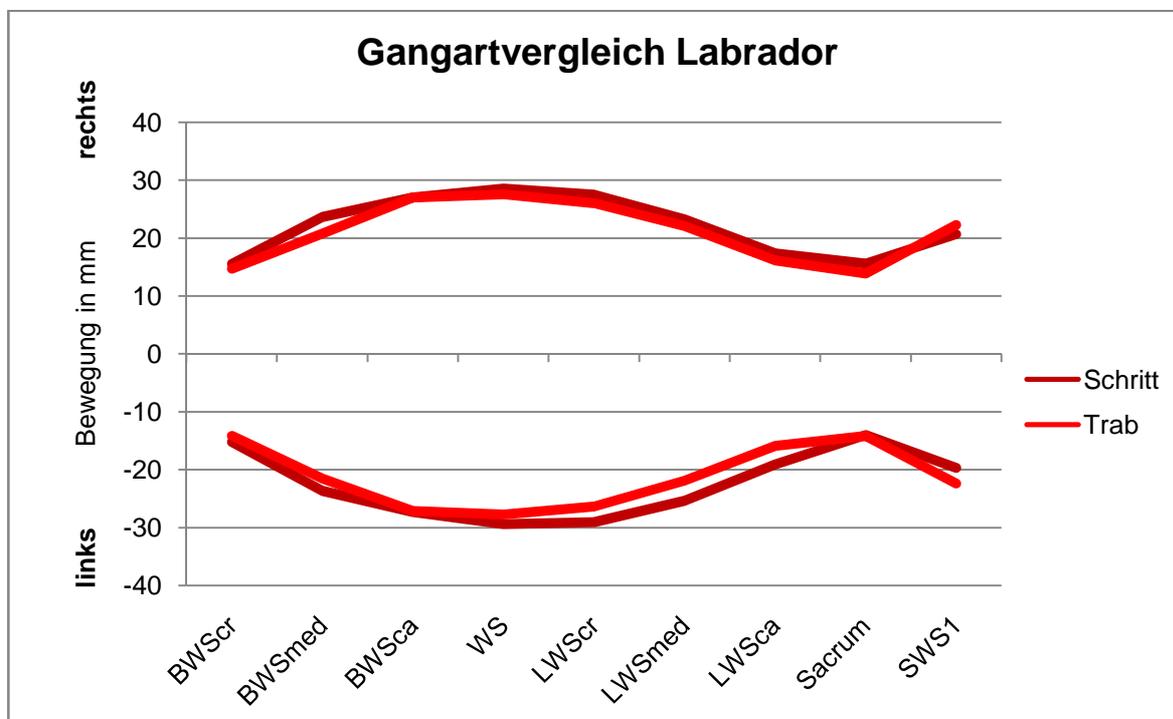


Abb. 39: Gangartvergleich der mittleren maximalen Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker aller Labrador Retriever.

#### 4.3.1.2.3 Rassevergleich

Für den Vergleich der transversalen Bewegung zwischen beiden Rassen wurden die absoluten Werte der Rückenbewegung in Bezug zur Rückenlänge gesetzt und als Prozentsatz derselben wiedergegeben.

$$\text{Bewegungsumfang} = \frac{\text{Bewegung (in mm)}}{\text{Rückenlänge (in mm)}} * 100$$



Obwohl der Labrador Retriever im Bereich der kaudalen Wirbelsäule (ab *LWSmed*) im Schritt bezogen auf die Rückenlänge stets einen größeren transversalen Bewegungsumfang zeigte, war der Unterschied in der Transversalebene an keinem Marker signifikant.

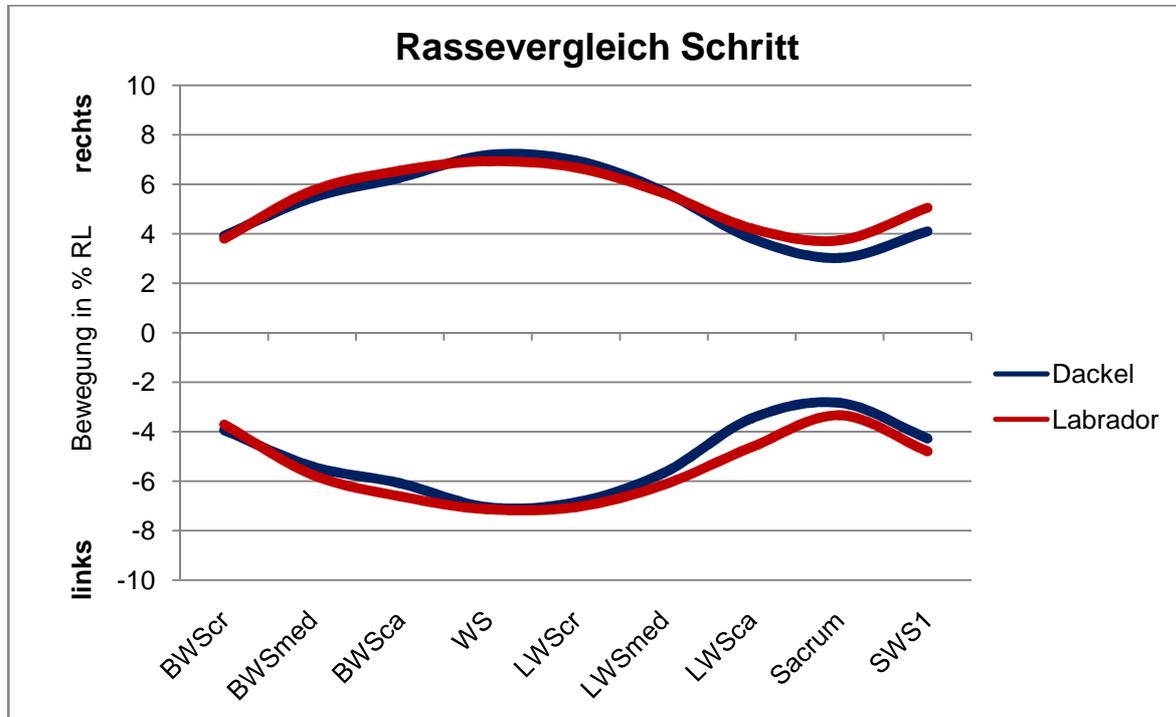


Abb. 40: Rassevergleich der mittleren Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker im Schritt.



Bis auf die Marker *Sacrum* und *SWS1* zeigte der Labrador im Trab stets einen größeren Bewegungsumfang als der Dackel. Dieser Unterschied war von *BWSmed* bis *LWSmed* statistisch signifikant. Bei *SWS1* zeigte der Dackel eine signifikant größere Bewegung.

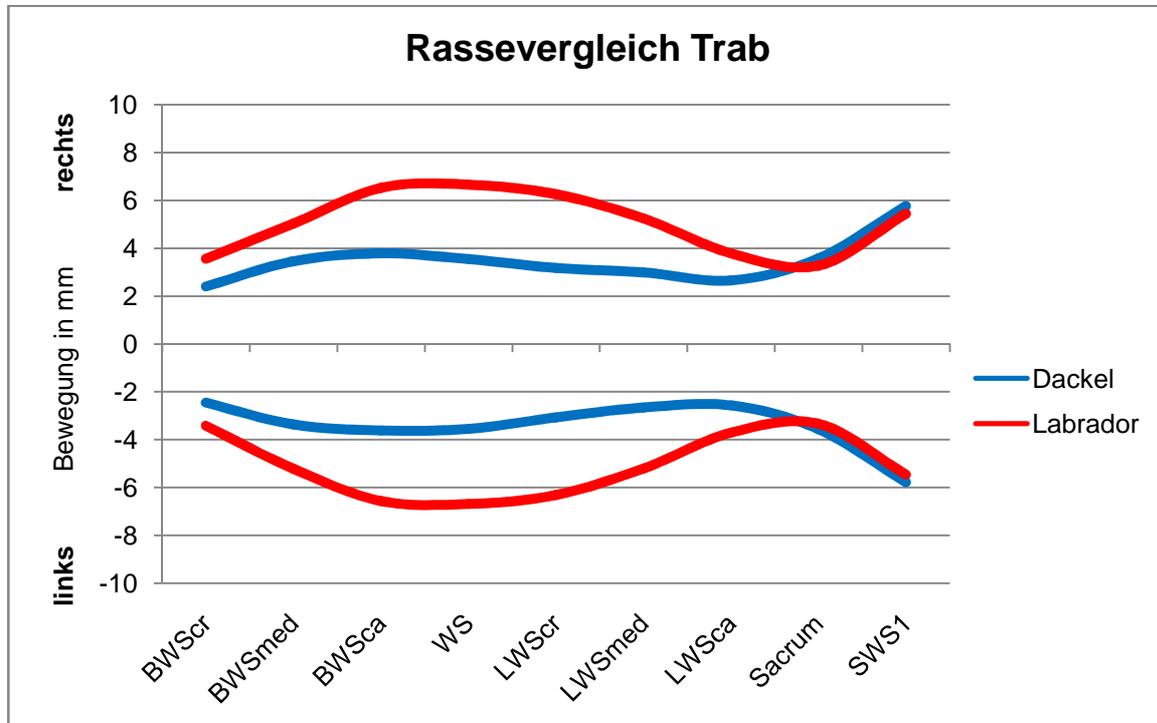


Abb. 41: Rassevergleich der mittleren Bewegung in der Transversalebene nach rechts und nach links der 9 Rückenmarker im Trab.

## 4.3.2 Sagittalebene

### 4.3.2.1 Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung

Für die Beschreibung des zeitlichen Ablaufs und der Form der Bewegung im Rücken in der Sagittalebene wird zunächst die Gangart Schritt beschrieben und nachfolgend die Unterschiede des Trabs zum Schritt beschrieben.

#### 4.3.2.1.1 Schritt

Die Bewegung eines Markers in der Sagittalebene folgte bei allen Hunden im Schritt einem 2-phasigen Verlauf, das heißt jeder Marker beschreibt 2 vollständige Ab-Auf-Zyklen.

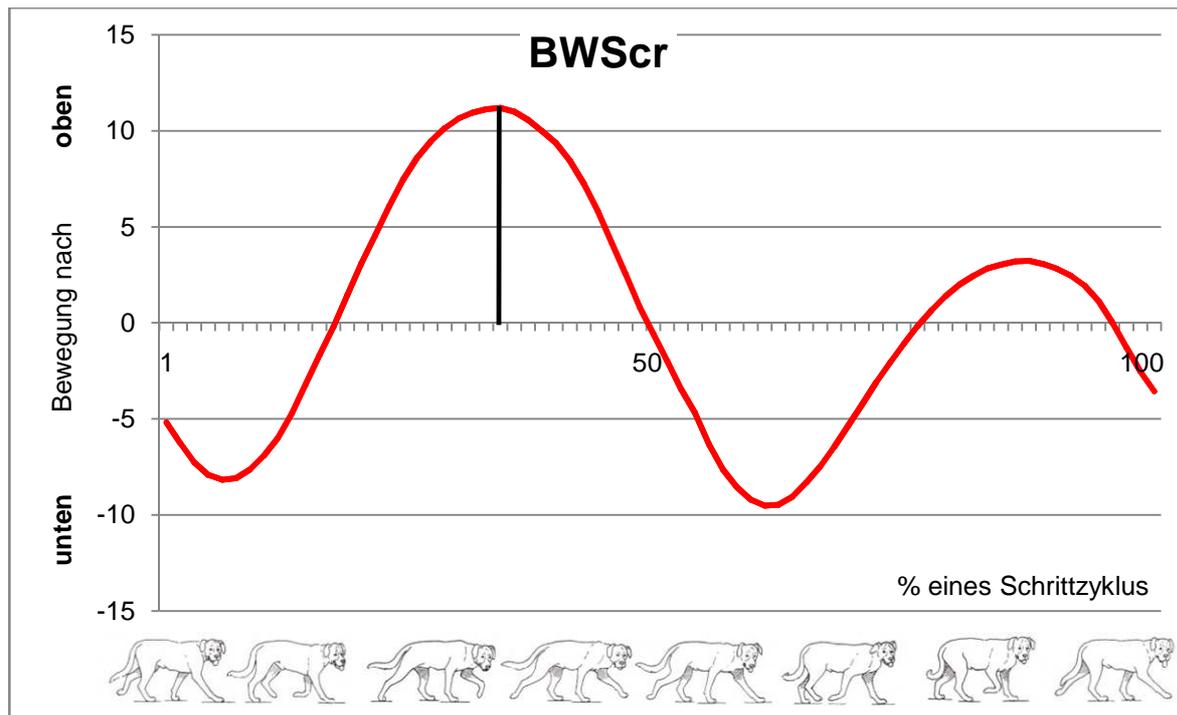


Abb. 42: Mittlere Bewegung des Markers *BWScr* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der ersten maximal dorsalen Markerposition (schwarze Linie).

Im Bereich der Brustwirbelsäule findet in der Gangart Schritt (4-Takter) folgender Bewegungsablauf statt: Beim Aufußen des rechten Vorderbeins befindet sich der Rücken in einer Abwärtsbewegung. Das Minimum erreicht er am Ende der Standphase auf 3 Extremitäten (beide Vordergliedmaßen und die rechte Hintergliedmaße). Während der rechten sagittalen Doppelstandphase findet durch die zunehmende Stemmfunktion beider Gliedmaßen eine Aufwärtsbewegung des Rückens statt. Das Maximum wird am Ende der sagittalen Doppelstandphase erreicht. Danach beginnt erneut eine Abwärtsbewegung während der Standphase auf 3 Extremitäten (rechte Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen) und der rechten diagonalen Standphase, die das Minimum am Ende der Standphase auf 3 Extremitäten (linke Vordergliedmaße und beide Hintergliedmaßen) einnimmt. Während der linken sagittalen Doppelstandphase findet erneut durch die Stemmfunktion beider Gliedmaße eine Aufwärtsbewegung des Rückens statt und das Maximum wird am Ende der sagittalen Doppelstandphase erreicht.

Wie in der Transversalebene findet auch in der Sagittalebene eine zeitliche Verschiebung der Abläufe vom kranialsten zum kaudalsten Marker statt. Der Wechsel zwischen Auf- und Abwärtsbewegung wird dabei beibehalten. Während der oben dargestellte Marker *BWScr* in einer Abwärtsbewegung beginnt, beginnt der unten dargestellte Marker *LWScA* mit einer Aufwärtsbewegung

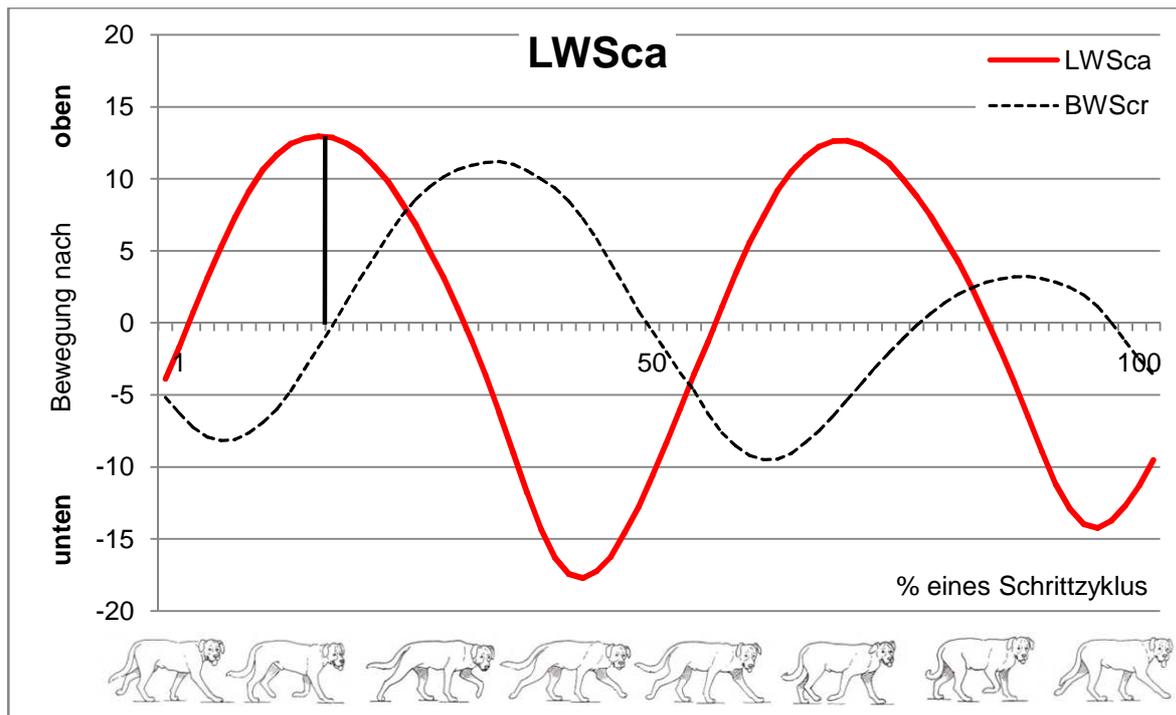


Abb. 43: Mittlere Bewegung des Markers *LWSca* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der ersten maximal dorsalen Markerposition (schwarze Linie) sowie der Verlauf von *BWScr* (gestrichelte Linie).

Zu Beginn des Schrittzklus (Ende der Standphase auf 3 Extremitäten (beide Vordergliedmaßen und die rechte Hintergliedmaße)) bewirkt das rechte Hinterbein durch seine zunehmende Stemmfunktion eine Aufwärtsbewegung der kaudalen Wirbelsäulenmarker. Dadurch hat der Marker *LWSca* sein Maximum gleich zu Beginn der rechten sagittalen Doppelstandphase. Betrachtet man die Schemata des Schrittzklus, so ist zu Beginn der rechten sagittalen Standphase das rechte Hinterbein in der vollen Belastungsphase, das Vorderbein noch schräg nach vorne gesetzt. Am Ende der rechten sagittalen Standphase jedoch ist das rechte Vorderbein in der vollen Belastung und das rechte Hinterbein schräg nach hinten gestreckt, da es gleich Abfußen wird. Das erklärt, dass der kaudale Marker früher innerhalb der sagittalen Standphase sein Maximum einnimmt.

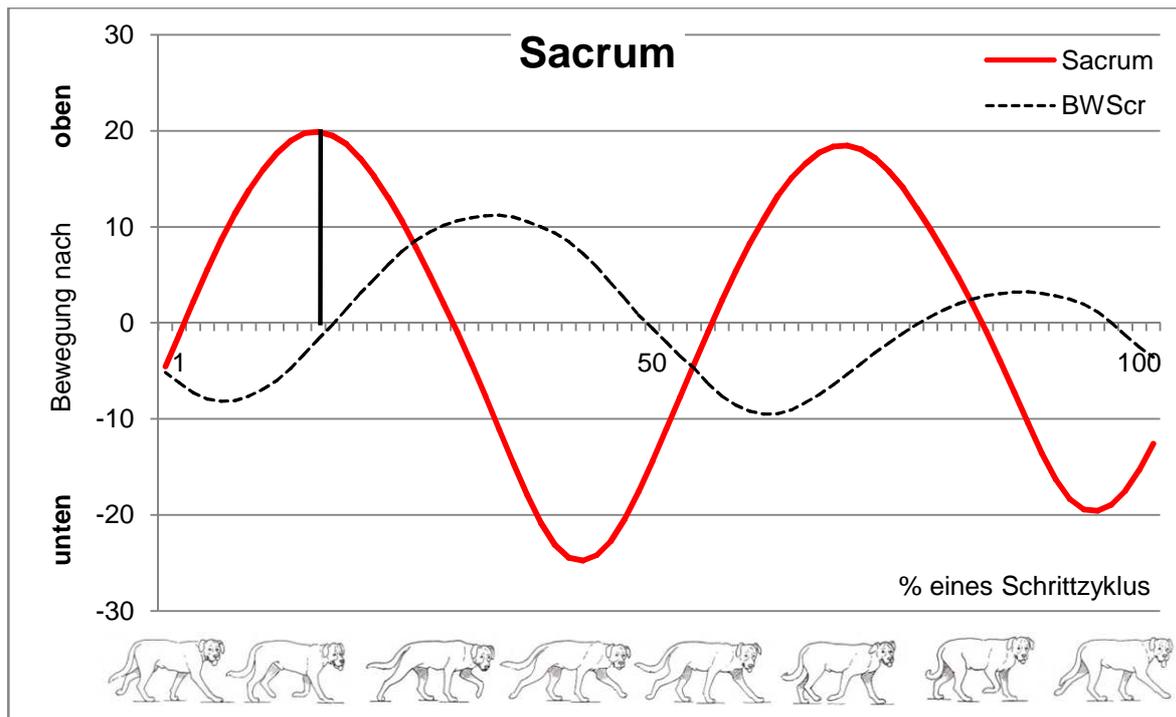


Abb. 44: Mittlere Bewegung des Markers *Sacrum* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der ersten maximal dorsalen Markerposition (schwarze Linie) sowie der Verlauf von BWScr (gestrichelte Linie).

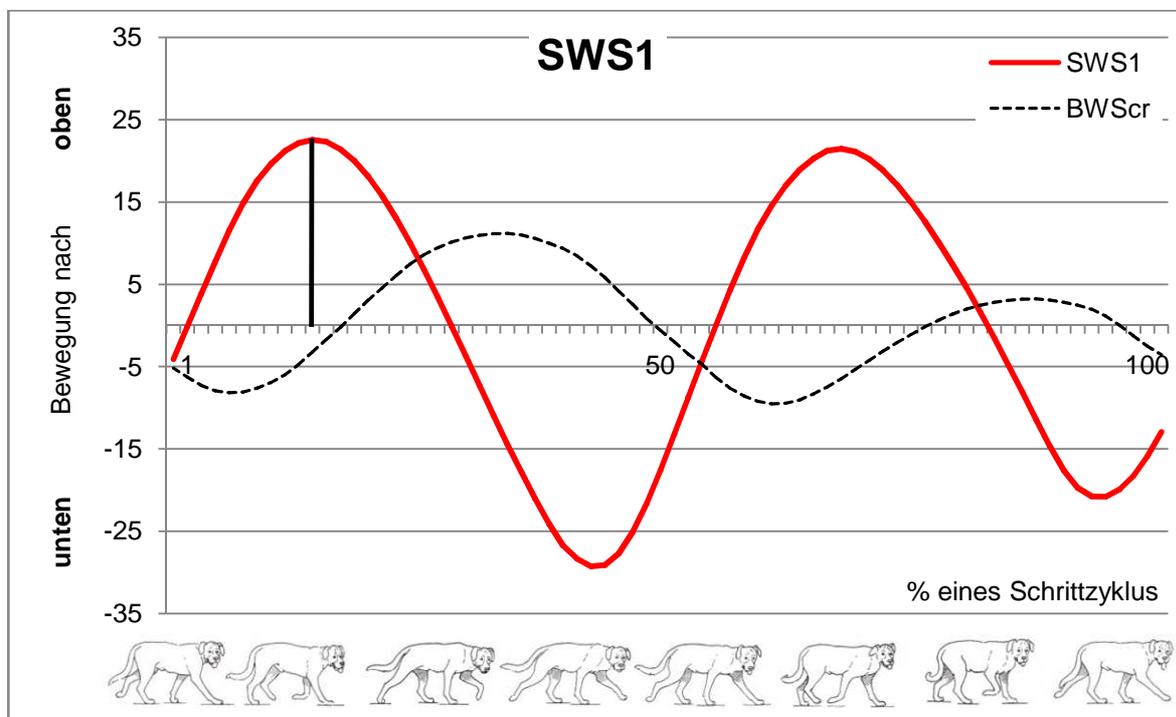


Abb. 45: Mittlere Bewegung des Markers *SWS1* eines Hundes innerhalb eines Schrittzklus in der Sagittalebene im Schritt; eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der ersten maximal dorsalen Markerposition (schwarze Linie) sowie der Verlauf von BWScr (gestrichelte Linie).

Generell kann also gesagt werden, dass ein Marker sein Maximum während der vollen Belastungsphase einer der Vorder- oder Hintergliedmaße einnimmt und sein Minimum während des Wechsels der Standphase zwischen rechter und linker Gliedmaße. Im kranialen Bereich ist dies gekoppelt an die Vordergliedmaße, im kaudalen Bereich an die der Hintergliedmaße.

Die zeitliche Abfolge der beiden maximalen Positionen eines jeden Markers folgt auch in der Sagittalebene einem strengen zeitlichen Ablauf. Betrachtet man die Differenz zwischen dem zeitlichen Auftreten des ersten maximalen Ausschlags (TOO) und dem Auftreten aller weiteren Extreme bei 2-phasigen Markern, so erwartet man unter der Annahme einer regelmäßigen Verteilung Abstände von 25–50–75 % des Schrittes. Die tatsächlichen Werte sind aus Tab. 21 ersichtlich. Im folgenden Beispiel wurde zur Veranschaulichung das Auftreten der 1. maximalen dorsalen Markerposition gleich 0 % des Schrittzklus gesetzt.

Tab. 21: Zeitliches Auftreten der Maxima bei einem 2-phasigen Bewegungsablauf in der Sagittalebene.

<b>TOO bezogen auf das 1. Maximum (%)</b>			
<i>Markerposition</i>	<i>1. Minimum</i>	<i>2. Maximum</i>	<i>2. Minimum</i>
<b>MW</b>	<b>24,20</b>	<b>50,66</b>	<b>76,52</b>
±	2,38	2,35	2,35
Min	19,78	45,76	71,97
Max	32,25	57,67	82,87

Somit trat jeweils nach 25 % des Schrittes ein Extrem auf, wobei sich Minimum und Maximum abwechselten. Ebenfalls jeweils nach 25 % des Schrittes wurde die Nulllinie passiert. Dabei ergab sich kein signifikanter Unterschied, weder zwischen den Hunderassen noch zwischen den beiden Gangarten.

Im folgenden Beispiel (Abb. 46) wurde zur Veranschaulichung das Auftreten der maximalen oberen Markerposition gleich 0 % des Schrittzklus gesetzt.

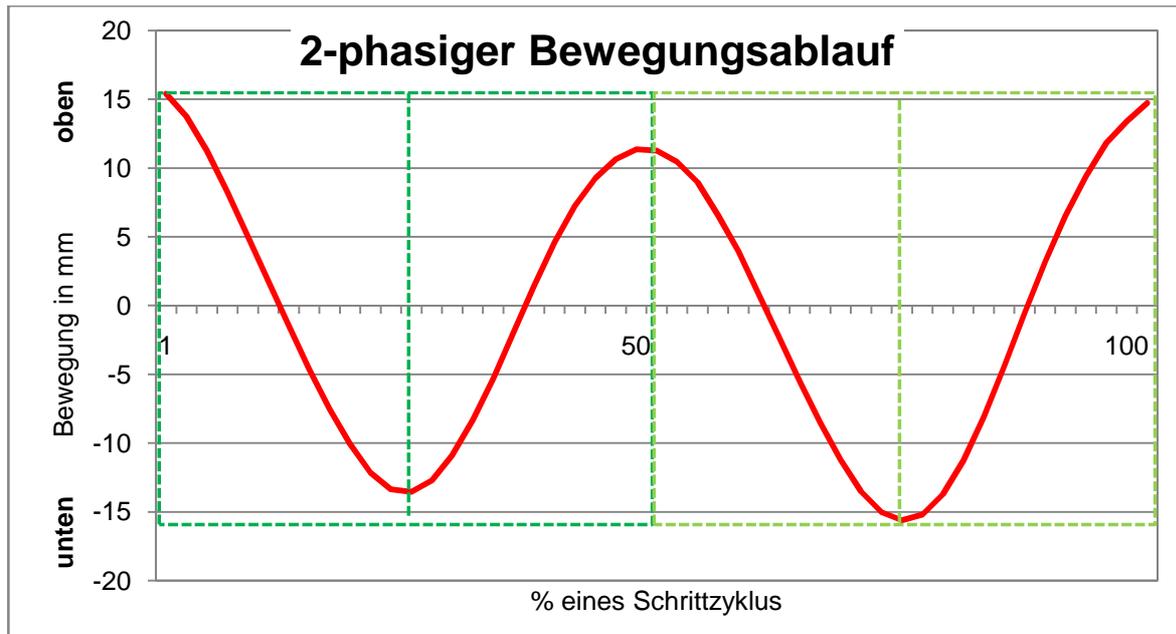
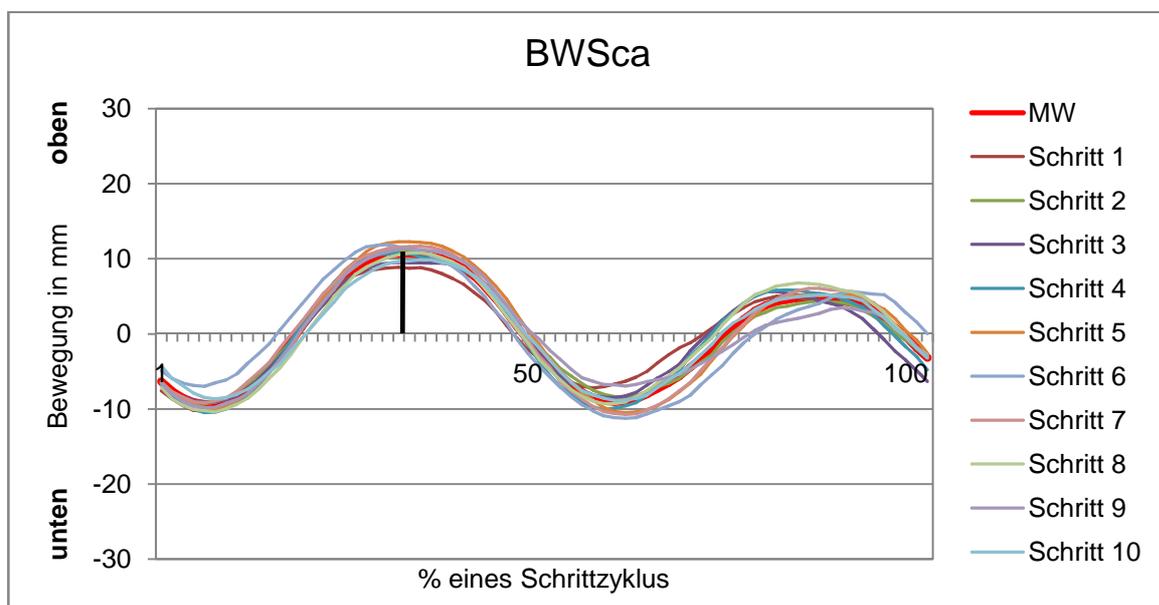
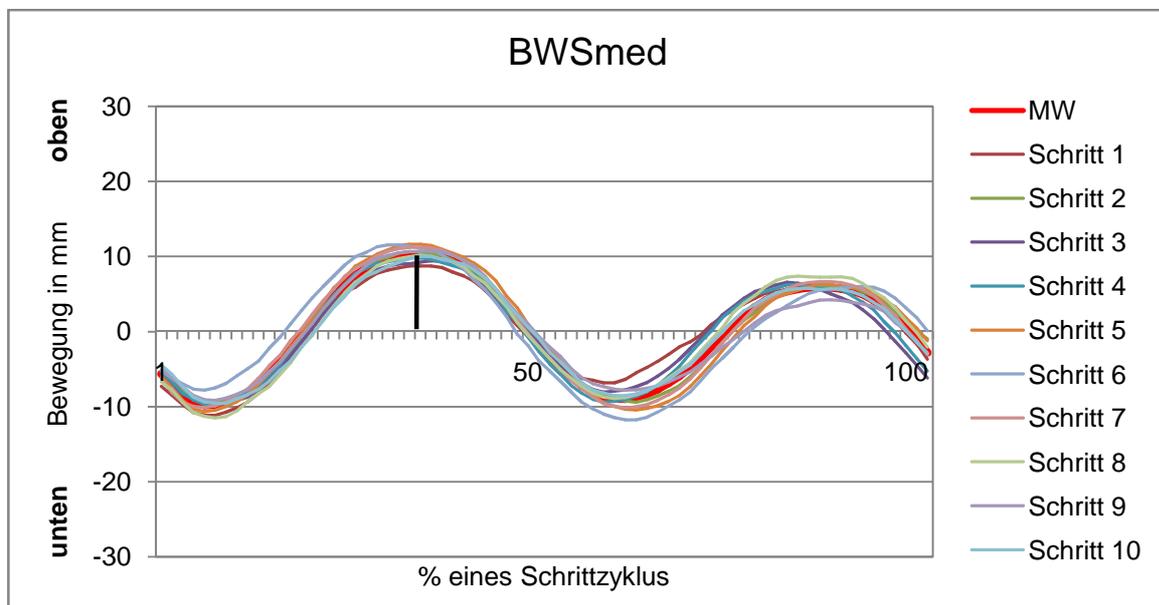
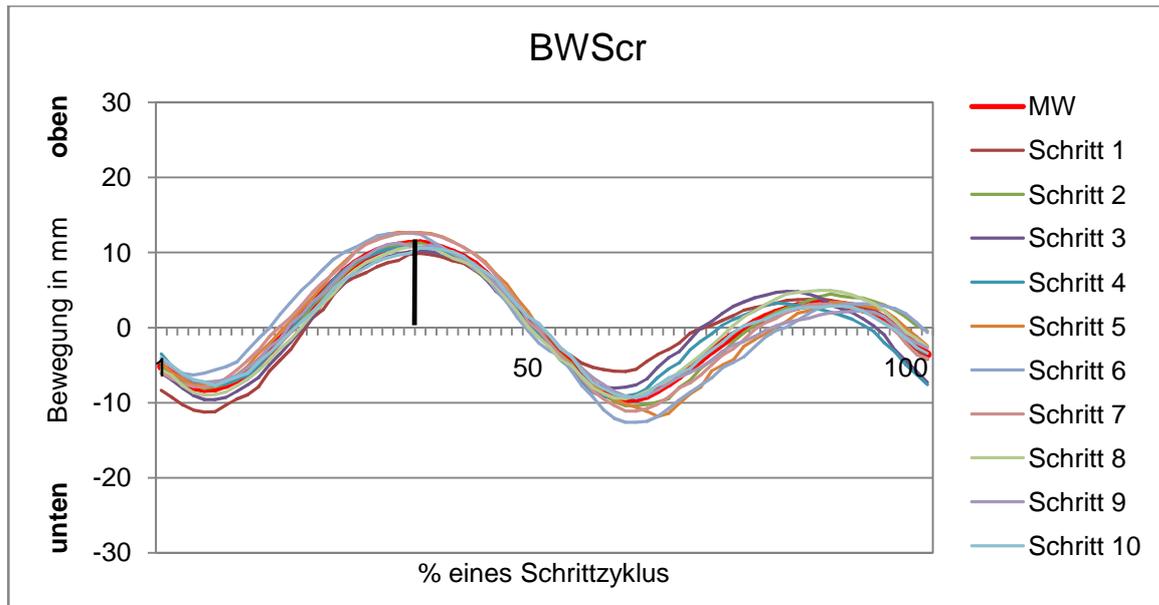
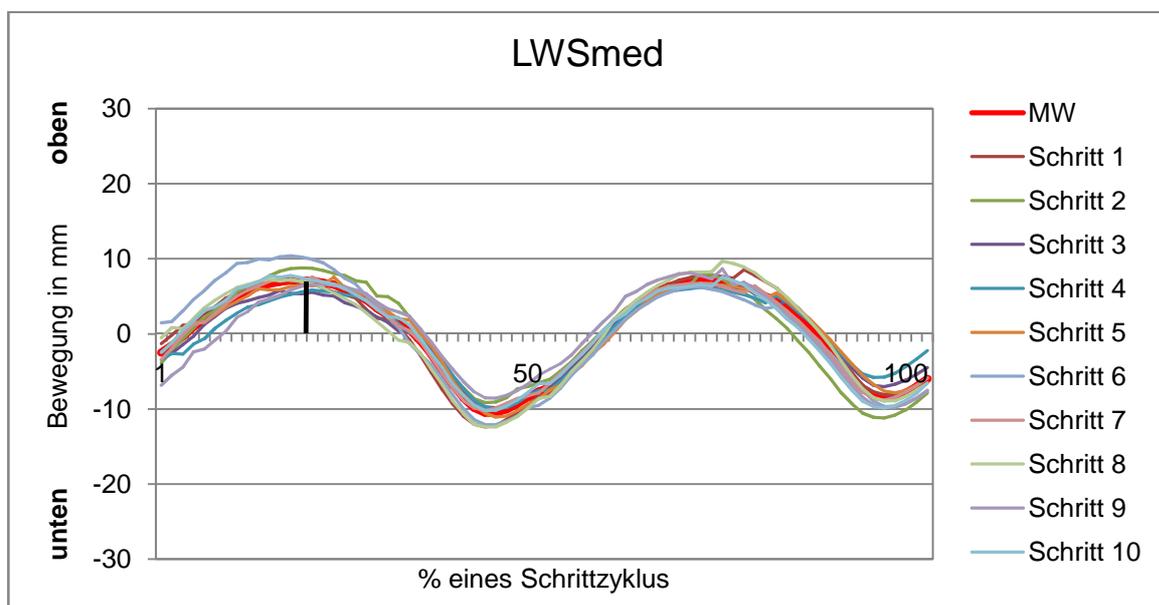
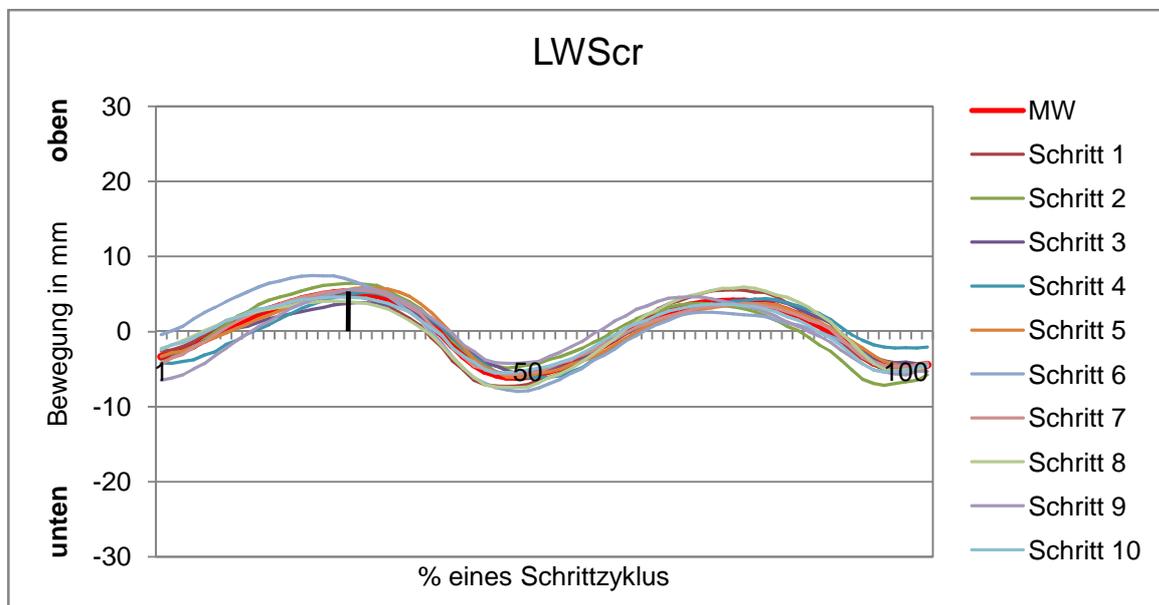
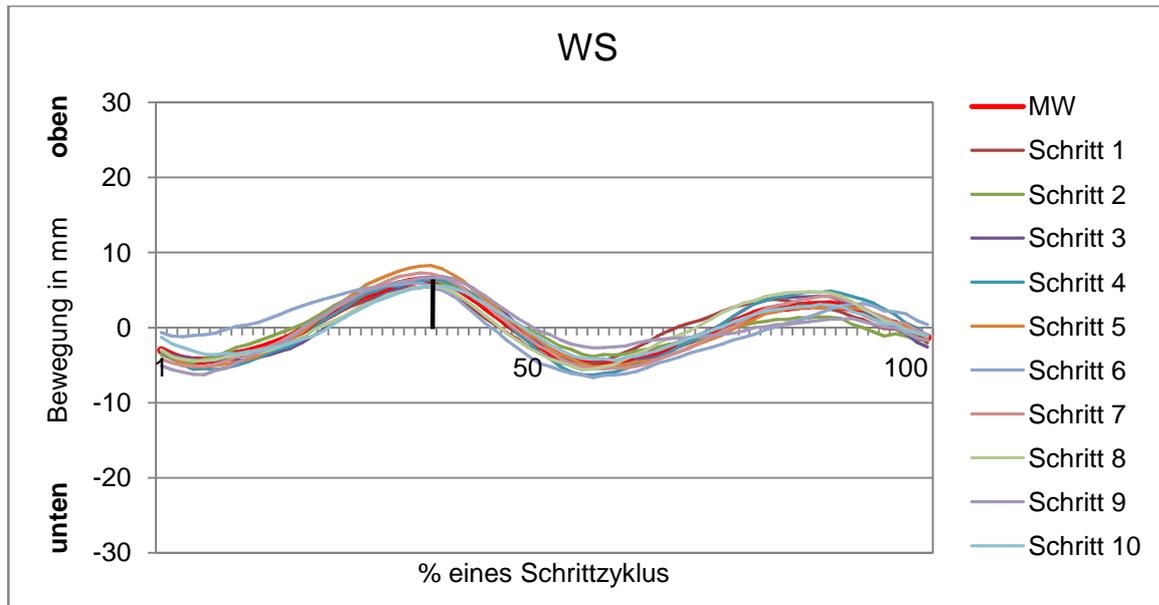


Abb. 46: Zeitliches Auftreten der Maxima beim 2-phasigen Bewegungsablauf in der Sagittalebene.

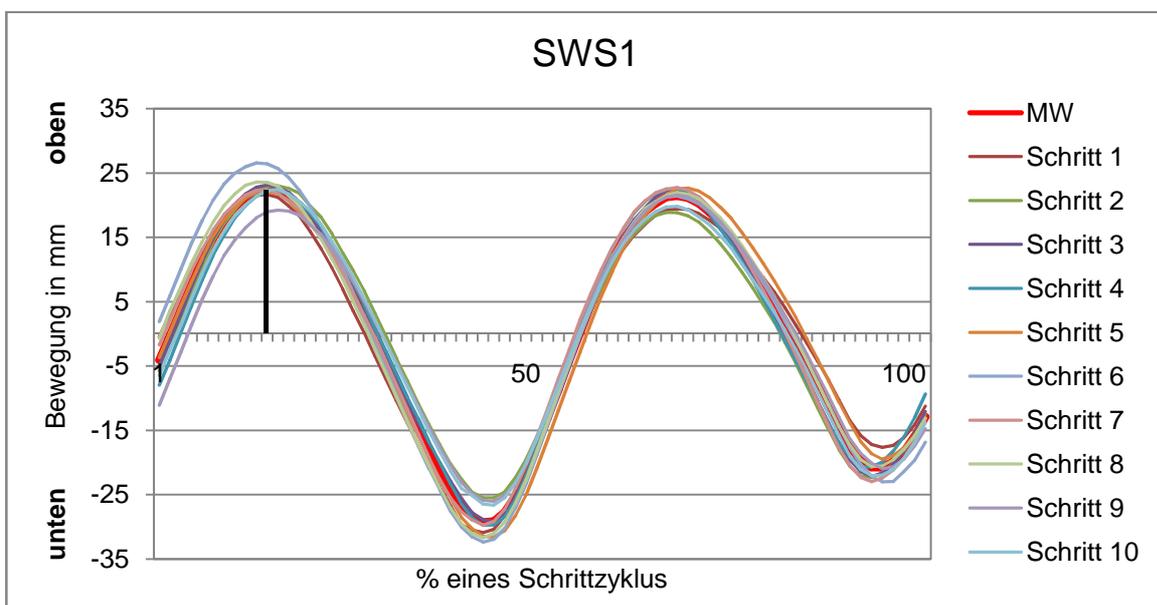
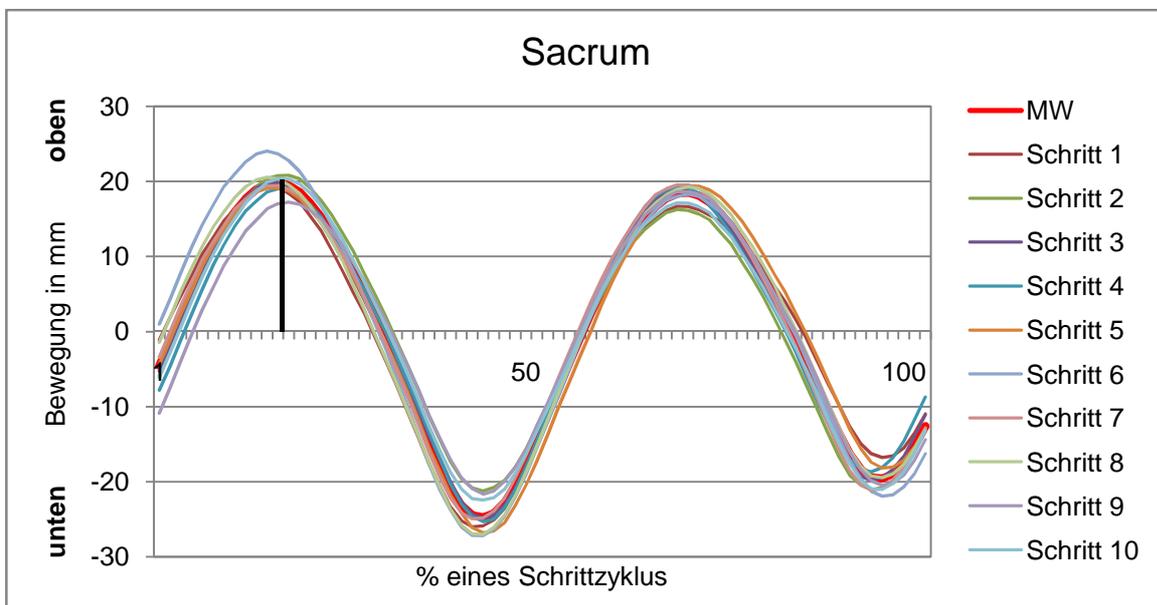
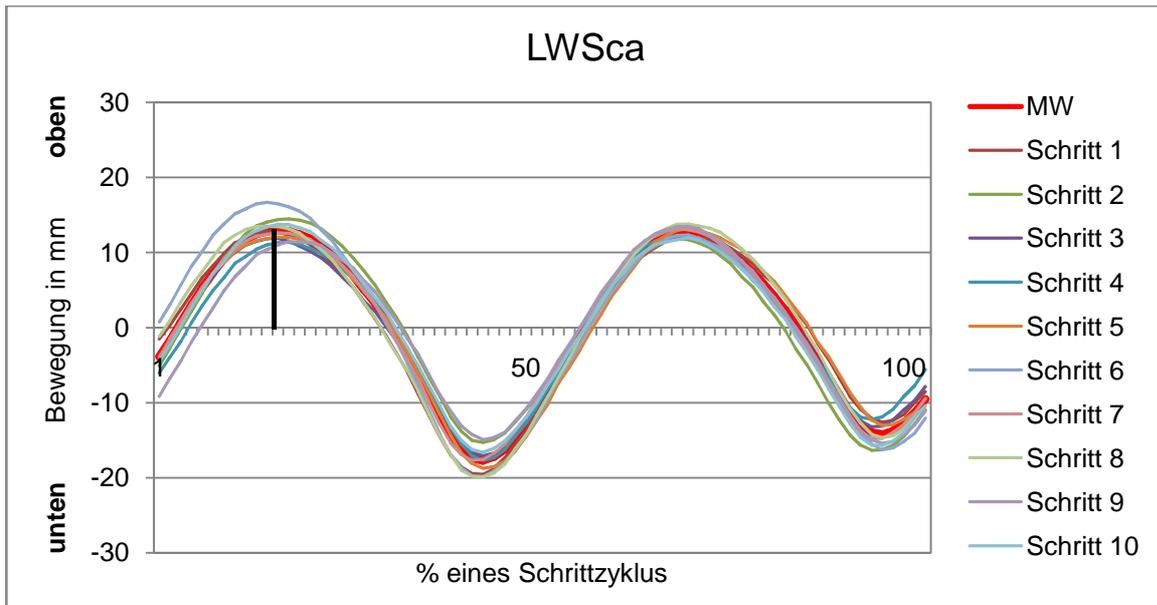
Zur Veranschaulichung der gesamten 2-phasigen Rückenbewegung in der Transversalebene wird auf den nächsten Seiten der Verlauf aller 9 Wirbelsäulenmarker eines Hundes gemittelt über 10 Schritte in Reihe dargestellt. Um die Verlagerung des Auftretens des dorsalen Maximums von kaudal nach kranial nachverfolgen zu können, ist dieses markiert (schwarze Linie).



(Legende s. S. 83)



(Legende s. S. 83)



(Legende s. S. 83)

Abb. 47: Bewegung der Marker *BWScr–SWS1* eines Hundes mit 2-phasigem Bewegungsablauf in der Sagittalebene im Schritt während 10 Schritten und deren Mittelwert. Die Maxima verlagern sich im Verlauf der Wirbelsäule innerhalb des Schrittzklus immer weiter nach vorne. Eingezeichnet ist der Zeitpunkt des Auftretens der ersten maximal rechten Position (schwarze Linie).

#### **4.3.2.1.2 Trab**

In der 2-Takt-Gangart Trab verlief die Bewegung in der Sagittalebene genauso 2-phasig wie im Schritt. Der einzige Unterschied zum Schritt bestand wie in der Transversalebene darin, dass keine zeitliche Verschiebung des Bewegungsablaufs stattfand, das heißt kraniale und kaudale Marker ihre Maximalpositionen etwa zum selben Zeitpunkt innerhalb des Schrittzklus zeigten. Eine maximale obere Position wurde jeweils während des Wechsels zwischen den beiden diagonalen Standphasen beobachtet. Eine maximale untere Position ergab sich dabei jeweils ungefähr bei der Hälfte der diagonalen Standphase. Im folgenden Schaubild sind die Marker *BWScr*, *LWSc* und *SWS1* eines Hundes im Schritt und im Trab dargestellt.

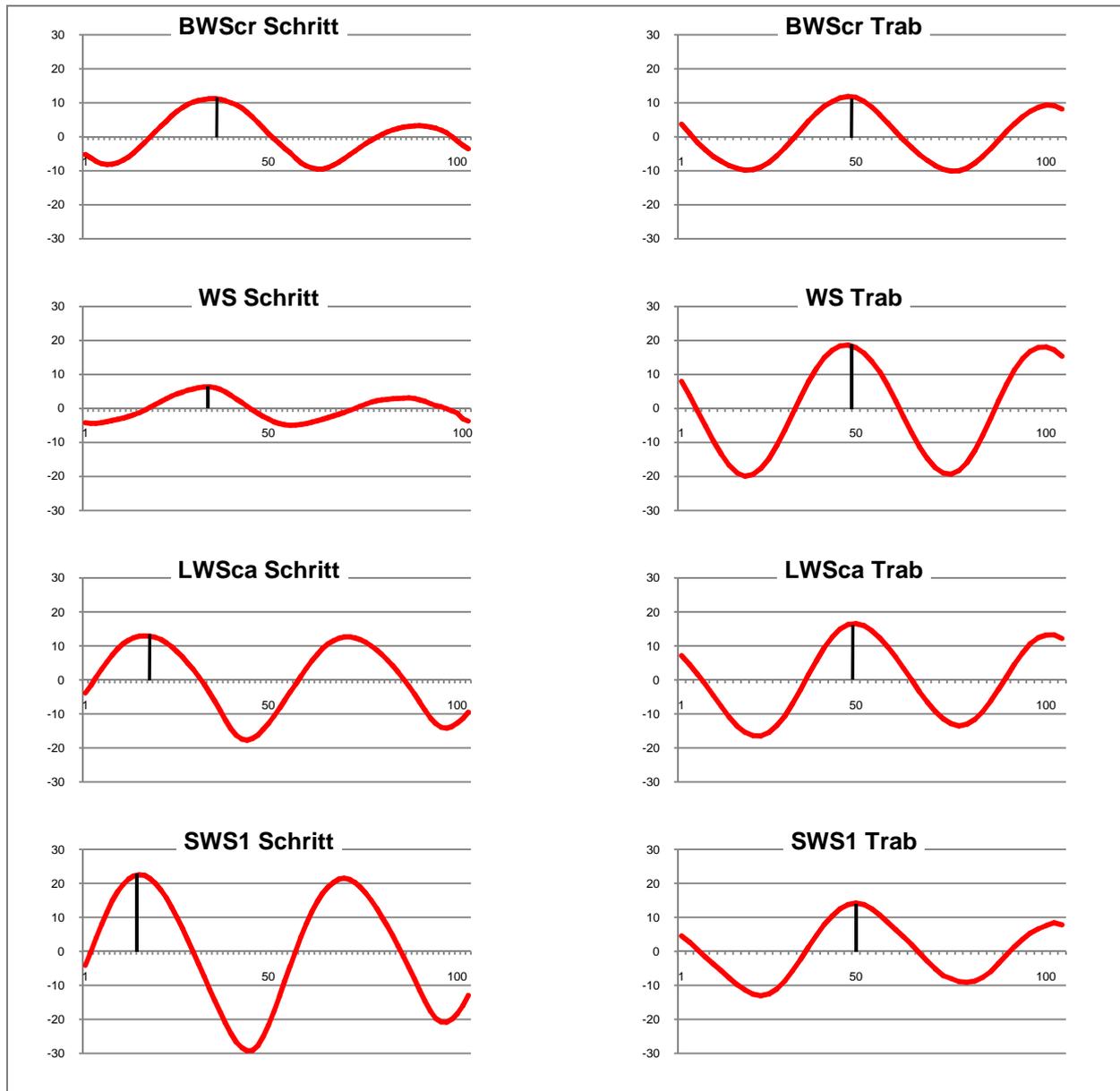


Abb. 48: Mittlere Bewegung der Marker BWScr, WS, LWScA und SWS1 eines Hundes in der Sagittalebene im Schritt und im Trab; die x-Achse zeigt 100 % eines Schrittzyklus, die y-Achse zeigt die Bewegung in mm nach dorsal (positive Werte) und nach ventral (negative Werte); eingezeichnet ist die erste maximale dorsale Markerposition (schwarze Linie).

#### 4.3.2.2 Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung

Die Werte für die Bewegung von der Nulllinie ausgehend nach dorsal und ventral sowie für den gesamten Bewegungsumfang an der jeweiligen Markerposition werden zunächst für die Rasse Dackel und Labrador Retriever getrennt betrachtet und innerhalb einer Rasse zwischen beiden Gangarten ein Vergleich gezogen. Nachfolgend wird dann ein Rassevergleich gezogen.

**4.3.2.2.1 Dackel**

Die einzelnen Marker aller Dackel ( $n = 13$ ) beschrieben in der Sagittalebene im Schritt und im Trab ausgehend von der Nulllinie folgende mittlere maximale Bewegung nach dorsal und ventral (Tab. 22):

Tab. 22: Vergleich der mittleren Markerbewegung aller Marker nach dorsal und nach ventral aller Dackel im Schritt und im Trab.

Markerbewegung nach dorsal im Schritt (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>3,42</b>	<b>3,09</b>	<b>3,80</b>	<b>4,33</b>	<b>4,07</b>	<b>4,67</b>	<b>5,75</b>	<b>6,22</b>	<b>7,09</b>	
±	0,90	0,99	1,01	1,10	1,23	1,34	2,58	1,98	2,70	
Min	2,15	2,11	2,43	2,53	2,26	3,24	3,40	3,78	3,04	
Max	4,74	4,46	5,33	6,12	6,00	7,06	11,79	9,04	11,27	
Markerbewegung nach ventral im Schritt (in mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>-4,94</b>	<b>-3,75</b>	<b>-4,08</b>	<b>-4,49</b>	<b>-4,45</b>	<b>-4,91</b>	<b>-5,97</b>	<b>-6,24</b>	<b>-7,90</b>	
±	1,30	1,13	1,17	1,17	1,25	1,25	1,86	1,91	2,55	
Min	-7,96	-6,14	-5,56	-6,35	-6,54	-7,39	-10,30	-9,04	-10,83	
Max	-3,86	-2,30	-2,29	-2,14	-2,05	-3,64	-3,91	-3,39	-2,96	
<b>p-Wert Amplituden-unterschied</b>	<b>0,004</b>	<b>0,026</b>	<b>0,255</b>	<b>0,604</b>	<b>0,164</b>	<b>0,760</b>	<b>0,621</b>	<b>0,947</b>	<b>0,247</b>	
Markerbewegung nach dorsal Trab (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>6,17</b>	<b>8,26</b>	<b>9,85</b>	<b>11,05</b>	<b>11,33</b>	<b>10,92</b>	<b>9,98</b>	<b>8,25</b>	<b>8,02</b>	
±	1,76	1,25	1,79	1,85	1,96	2,14	1,99	2,14	2,57	
Min	3,22	6,36	7,23	7,88	7,96	7,66	7,17	5,54	4,01	
Max	9,51	11,31	12,34	14,44	15,38	14,66	12,85	11,43	12,24	
Markerbewegung nach ventral im Trab (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>-5,93</b>	<b>-8,26</b>	<b>-10,00</b>	<b>-11,25</b>	<b>-11,42</b>	<b>-10,86</b>	<b>-9,72</b>	<b>-8,01</b>	<b>-8,40</b>	
±	1,79	1,80	1,86	2,30	2,67	2,78	2,65	2,90	2,65	
Min	-9,15	-12,34	-13,84	-15,20	-16,08	-16,24	-13,71	-11,73	-12,08	
Max	-3,64	-5,50	-6,97	-6,86	-7,26	-6,89	-5,48	-3,13	-3,93	
<b>p-Wert Amplituden-unterschied</b>	<b>0,444</b>	<b>0,974</b>	<b>0,583</b>	<b>0,567</b>	<b>0,861</b>	<b>0,770</b>	<b>0,469</b>	<b>0,468</b>	<b>0,077</b>	

---

Im Schritt zeigten die Marker *BWScr* und *BWSmed* signifikant mehr Bewegung nach ventral. An den übrigen Markern im Schritt und an allen Markern im Trab unterschied sich die Bewegung nach dorsal und nach ventral nicht signifikant. In der Sagittalebene ergab sich dadurch folgender mittlerer Bewegungsumfang (ROM) (Tab. 23):



Der ROM in der sagittalen Richtung im Schritt bewegten sich beim Dackel zwischen 6,84 mm am Marker *BWSmed* und 15,00 mm am Marker *SWS1*. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 12,10 mm am Marker *BWScr* und 22,75 mm am Marker *LWScr*. Alle Marker zeigten einen größeren Bewegungsumfang im Trab. Dies war mit Ausnahme des Markers *SWS1* statistisch signifikant.

Im Schritt nahm die Bewegung ab *BWSmed* von kranial nach kaudal nahezu kontinuierlich zu. Im Trab nahm der Bewegungsumfang von kranial bis *LWScr* zu und danach nach kaudal hin wieder ab.

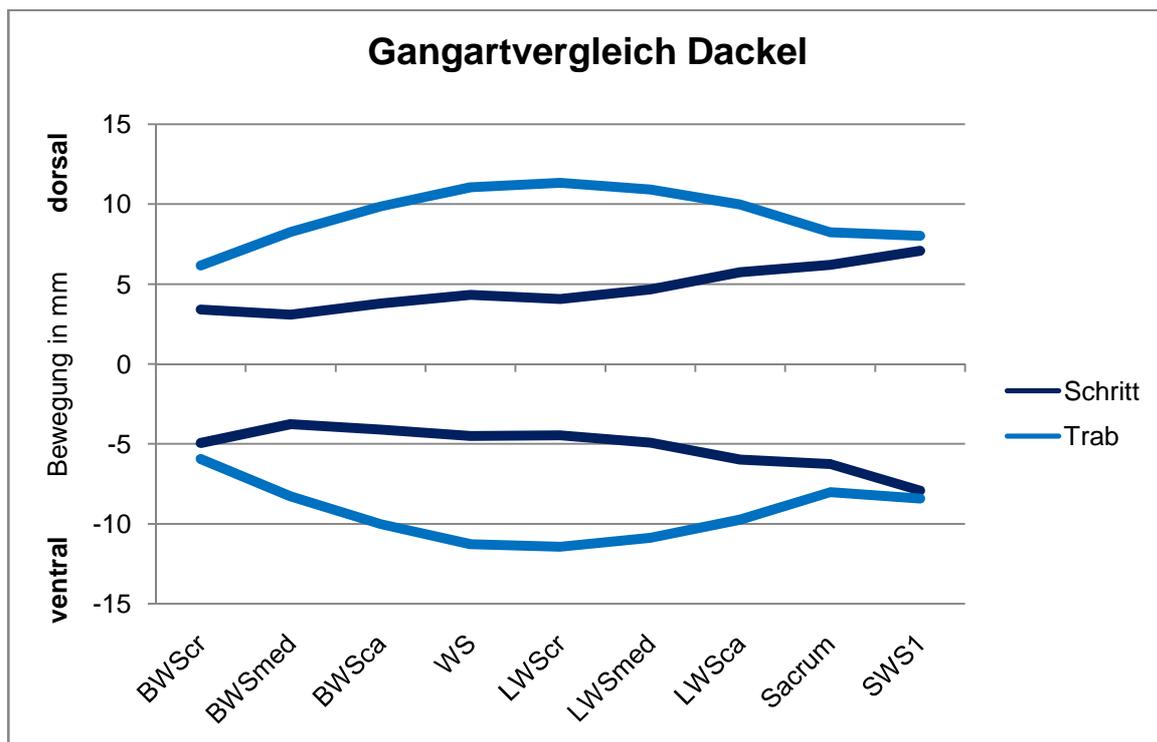


Abb. 49: Gangartvergleich der mittleren Bewegung aller Marker nach dorsal und ventral in der Sagittalebene aller Dackel.

#### 4.3.2.2.2 Labrador Retriever

Die einzelnen Marker aller Labrador Retriever ( $n = 15$ ) beschrieben in der Sagittalebene im Schritt und im Trab folgende mittlere maximale Bewegung nach dorsal und ventral (Tab. 24):

Tab. 24: Vergleich der mittleren Markerbewegung aller Marker nach dorsal und ventral aller Labrador Retriever im Schritt und im Trab.

Bewegungsumfang nach dorsal im Schritt (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>7,54</b>	<b>7,57</b>	<b>7,55</b>	<b>7,12</b>	<b>6,66</b>	<b>7,38</b>	<b>9,88</b>	<b>13,37</b>	<b>16,49</b>	
±	2,52	1,64	1,79	2,22	2,13	1,52	2,34	3,18	6,67	
Min	4,08	4,62	4,59	4,87	3,61	5,05	6,00	8,94	4,58	
Max	11,20	10,33	10,71	11,26	10,43	10,83	12,96	19,89	30,69	
Markerbewegung nach ventral im Schritt (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>-9,72</b>	<b>-8,66</b>	<b>-8,24</b>	<b>-7,03</b>	<b>-6,67</b>	<b>-7,88</b>	<b>-11,81</b>	<b>-17,41</b>	<b>-20,53</b>	
±	1,94	1,83	1,15	1,48	1,40	1,83	3,75	4,80	8,44	
Min	-12,84	-11,84	-9,39	-9,08	-8,68	-10,77	-17,73	-26,31	-40,84	
Max	-7,63	-5,82	-5,81	-4,99	-4,75	-5,11	-4,85	-8,90	-7,36	
<b>p-Wert Amplituden- unterschied</b>	<b>0,017</b>	<b>0,064</b>	<b>0,271</b>	<b>0,896</b>	<b>0,872</b>	<b>0,417</b>	<b>0,011</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	
Markerbewegung nach dorsal im Trab (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>9,78</b>	<b>11,70</b>	<b>14,20</b>	<b>15,74</b>	<b>16,18</b>	<b>15,67</b>	<b>13,74</b>	<b>12,09</b>	<b>11,24</b>	
±	2,40	2,37	3,07	2,07	2,45	2,59	3,44	3,53	2,88	
Min	6,73	7,50	10,30	12,94	13,04	12,91	8,58	6,36	6,99	
Max	15,42	15,42	19,05	19,93	21,39	21,40	19,69	17,90	16,43	
Markerbewegung nach ventral im Trab (mm)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>-9,28</b>	<b>-12,36</b>	<b>-14,79</b>	<b>-16,26</b>	<b>-16,14</b>	<b>-15,56</b>	<b>-13,05</b>	<b>-11,71</b>	<b>-10,70</b>	
±	3,10	2,86	3,24	3,25	3,60	3,85	4,54	3,54	3,31	
Min	-16,94	-19,66	-22,67	-22,50	-22,37	-22,11	-19,93	-18,39	-17,69	
Max	-6,18	-9,73	-11,03	-11,31	-11,53	-10,92	-7,26	-6,80	-5,26	
<b>p-Wert Amplituden- unterschied</b>	<b>0,477</b>	<b>0,455</b>	<b>0,518</b>	<b>0,565</b>	<b>0,906</b>	<b>0,818</b>	<b>0,405</b>	<b>0,601</b>	<b>0,395</b>	

---

Im Schritt ergab sich im kranialen Bereich für die Marker *BWScr* und im kaudalen Bereich für die Marker *LWSca*, *Sacrum* und *SWS1* eine signifikant größere Bewegung von der Nulllinie nach ventral. Im Trab unterschieden sich ventrale und dorsale Markerpositionen nicht signifikant. Daraus ergab sich folgender mittlerer Bewegungsumfang der Marker in der Sagittalebene (Tab. 25):



Beim Labrador Retriever ergaben sich im Schritt Werte zwischen 13,33 mm an *LWScr* und 37,02 mm an *SWS1*. Im Trab ergaben sich Werte zwischen 19,06 mm an *BWScr* und 32,32 mm an *LWScr*. Im Schritt nahm die Bewegung von *BWScr* bis *LWScr* ab und ab hier bis *SWS1* wieder zu. Im Trab nahm die Bewegung ebenso von *BWScr* bis *LWScr* zu und ab dann wieder ab. An allen Markern außer bei *BWScr* unterschied sich der Bewegungsumfang signifikant, wobei bis *LWSc*a die Bewegung im Trab größer war. Bei *Sacrum* und *SWS1* war die Bewegung im Schritt größer.

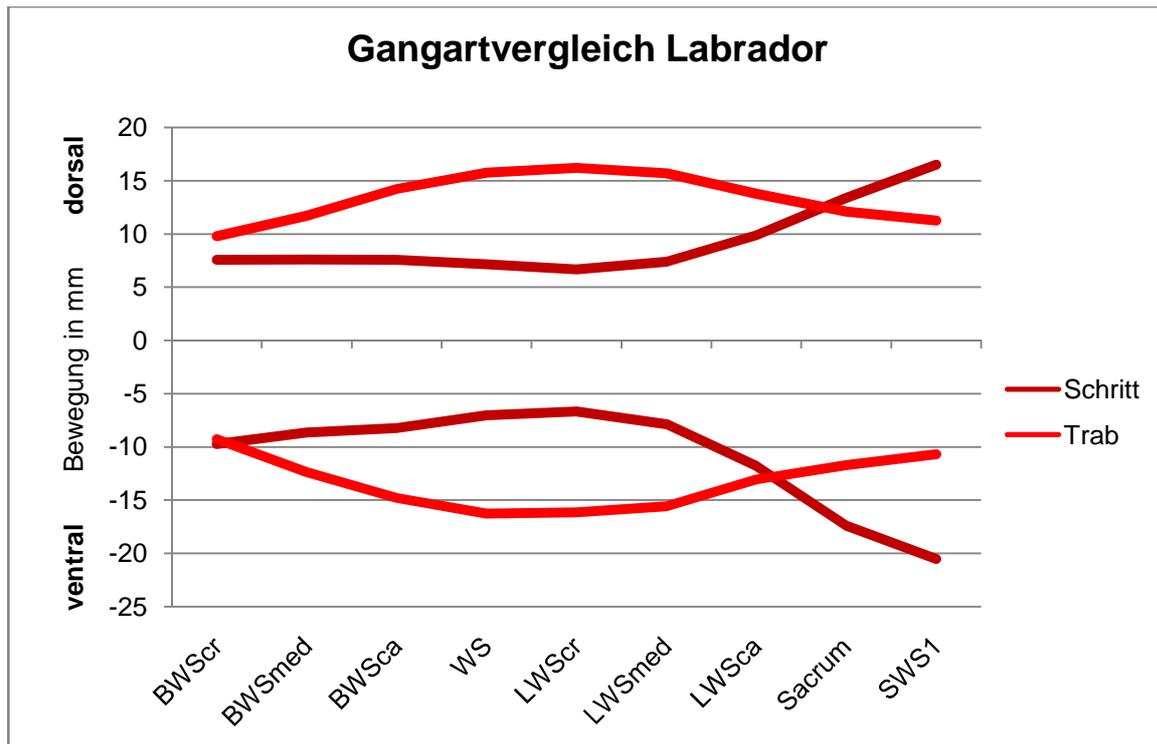


Abb. 50: Gangartvergleich der mittleren Bewegung nach dorsal und ventral aller Marker in der Sagittalebene aller Labrador Retriever.

#### 4.3.2.2.3 Rassevergleich

Ebenso wie beim Rassevergleich in der Transversalebene wurden für den Vergleich der sagittalen Bewegung die absoluten Werte in Bezug zur Rückenlänge gesetzt und als Prozentsatz derselben wiedergegeben.

$$\text{Bewegungsumfang} = \frac{\text{Bewegung (in mm)}}{\text{Rückenlänge (in mm)}} * 100$$



Im Schritt zeigte der Labrador an allen Markern einen größeren Bewegungsumfang. Dies war signifikant im Bereich der Brustwirbelsäule (*BWScr–BWSca*) sowie im kaudalen Abschnitt der Wirbelsäule (*LWSca–SWS1*).

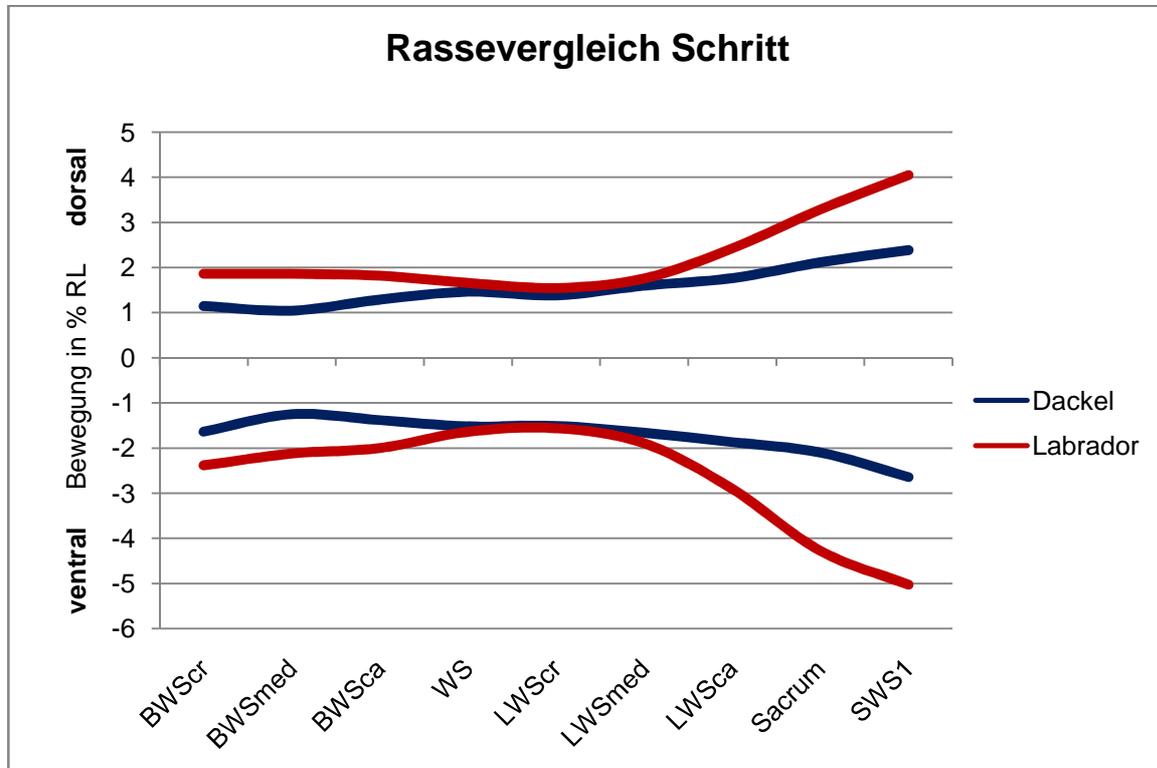


Abb. 51: Rassevergleich der mittleren Bewegung nach dorsal und ventral aller Marker in der Sagittalebene im Schritt.

Im Trab ergab sich folgender Unterschied des Bewegungsumfanges der beiden Rassen (Tab. 27):

Tab. 27: Vergleich des mittleren Bewegungsumfanges aller Marker in der Sagittalebene im Trab zwischen Dackel und Labrador Retriever.

Bewegungsumfang beim Dackel im Trab (% der Rückenlänge)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>4,02</b>	<b>5,52</b>	<b>6,62</b>	<b>7,43</b>	<b>7,58</b>	<b>7,25</b>	<b>6,56</b>	<b>5,44</b>	<b>5,46</b>	
±	1,02	0,93	1,05	1,14	1,27	1,41	1,36	1,52	1,66	
Min	2,55	4,04	5,10	5,67	5,71	5,31	4,52	2,89	2,80	
Max	5,79	7,63	8,45	9,16	9,82	9,66	8,55	7,47	8,08	
Bewegungsumfang beim Labrador Retriever im Trab (% der Rückenlänge)										
Marker	BWScr	BWSmed	BWSca	WS	LWScr	LWSmed	LWSca	Sacrum	SWS1	
<b>MW</b>	<b>4,65</b>	<b>5,84</b>	<b>7,02</b>	<b>7,75</b>	<b>7,84</b>	<b>7,57</b>	<b>6,49</b>	<b>5,75</b>	<b>5,29</b>	
±	1,47	1,20	1,52	1,28	1,51	1,62	1,87	1,64	1,37	
Min	2,77	4,36	4,99	6,36	6,18	5,72	4,29	3,12	2,67	
Max	7,58	8,55	9,91	9,87	10,25	10,58	9,90	8,01	7,42	
<b>p-Wert Rasseunterschied</b>	<b>0,215</b>	<b>0,461</b>	<b>0,438</b>	<b>0,507</b>	<b>0,640</b>	<b>0,596</b>	<b>0,911</b>	<b>0,667</b>	<b>0,778</b>	

Im Trab zeigte der Labrador zwar stets einen größeren Bewegungsumfang, jedoch ohne statistische Signifikanz.

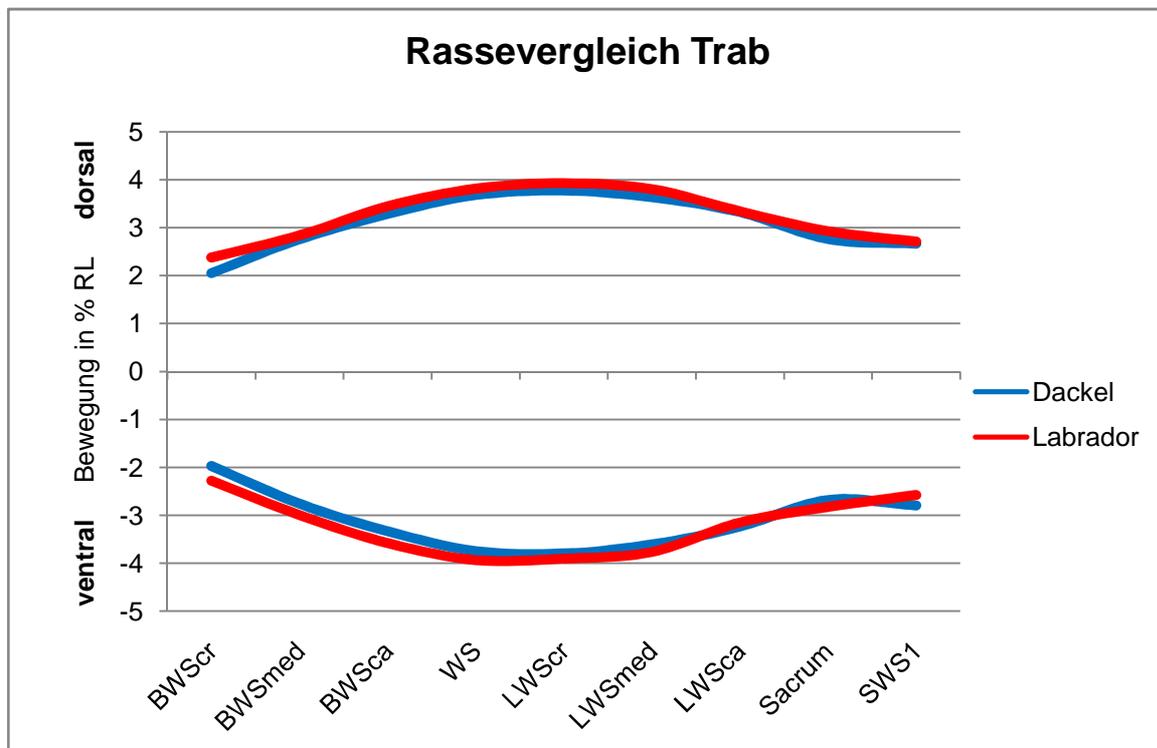


Abb. 52: Rassevergleich der mittleren Bewegung nach dorsal und ventral aller Marker in der Sagittalebene im Trab.

#### 4.3.3 Mediolaterale Hüftbewegung

Die mediolaterale Hüftbewegung wurde definiert als die Änderung der Vektorlänge zwischen dem Marker am thorakolumbalen Übergang (Marker *WS*) und der Crista iliaca (Marker *Iliaca*), also der Differenz des maximalen und des minimalen Abstands beider Marker, beim Vorführen des gleichseitigen Hinterbeins (Poy et al. 2000, Raith 2010).

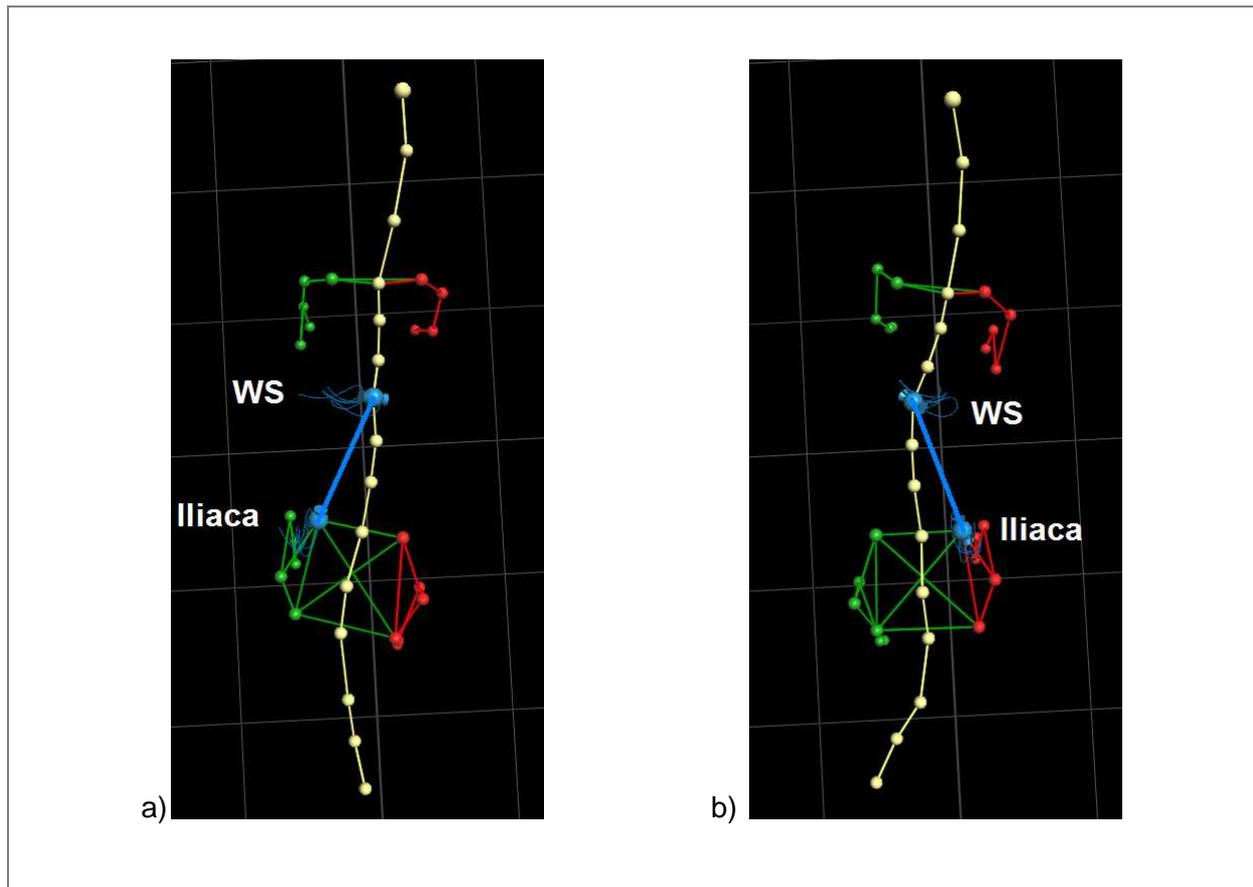


Abb. 53: Zeitpunkt der minimalen Vektorlänge zwischen den Markern *WS* und *Iliaca* beim Vorführen des gleichseitigen Beines; a) links, b) rechts.

#### 4.3.3.1 Dackel

Für den Bewegungsumfang der mediolateralen Hüftbewegung des Dackels ergaben sich folgende absolute Werte (Tab. 28):

Tab. 28: Vergleich des Bewegungsumfangs der mediolateralen Hüftbewegung des Dackels rechts und links im Schritt und im Trab.

Bewegungsumfang der mediolateralen Hüftbewegung (mm)				
<i>Gangart</i>	<i>Schritt</i>		<i>Trab</i>	
<i>Körperseite</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>MW</b>	<b>8,13</b>	<b>7,71</b>	<b>7,71</b>	<b>7,50</b>
±	3,12	3,36	2,97	3,53
Min	5,66	3,62	3,98	3,65
Max	16,24	15,82	14,22	15,79
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,596</b>		<b>0,510</b>	

Zwischen der mittleren mediolateralen Hüftbewegung rechts und links ergab sich beim Dackel in beiden Schrittarten kein signifikanter Unterschied, sodass der folgende Vergleich (Ta. 29) zwischen den Gangarten anhand des Mittelwerts beider Seiten gezogen wurde.

Tab. 29: Vergleich der mediolateralen Hüftbewegung zwischen Schritt und Trab.

<b>Mittelwert der mediolateralen Hüftbewegung (mm)</b>		
<i>Gangart</i>	<i>Schritt</i>	<i>Trab</i>
<b>MW</b>	<b>7,97</b>	<b>7,61</b>
±	3,14	3,21
Min	4,94	3,82
Max	16,03	15,00
<b>p-Wert Gangartunterschied</b>	<b>0,736</b>	

Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gangarten.

#### 4.3.3.2 Labrador Retriever

Für den Bewegungsumfang der mediolateralen Hüftbewegung des Labrador Retrievers ergaben sich folgende absolute Werte (Tab. 30):

Tab. 30: Vergleich des Bewegungsumfanges der mediolateralen Hüftbewegung des Dackels rechts und links im Schritt und im Trab.

<b>Bewegungsumfang der mediolateralen Hüftbewegung (mm)</b>				
<i>Gangart</i>	<i>Schritt</i>		<i>Trab</i>	
<i>Körperseite</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>	<i>rechts</i>	<i>links</i>
<b>MW</b>	<b>15,86</b>	<b>15,54</b>	<b>14,90</b>	<b>13,55</b>
±	6,13	6,37	6,85	4,95
Min	4,66	4,34	5,35	6,66
Max	31,87	32,87	26,42	21,71
<b>p-Wert Seitenunterschied</b>	<b>0,594</b>		<b>0,297</b>	

Zwischen der mittleren mediolateralen Hüftbewegung rechts und links ergab sich auch beim Labrador in beiden Schrittarten kein signifikanter Unterschied, sodass der folgende Vergleich (Tab. 31) zwischen den Gangarten ebenfalls anhand des Mittelwerts beider Seiten gezogen wurde.

Tab. 31: Vergleich der mediolateralen Hüftbewegung zwischen Schritt und Trab.

<b>Mittelwert der mediolateralen Hüftbewegung (mm)</b>		
<i>Gangart</i>	<i>Schritt</i>	<i>Trab</i>
<b>MW</b>	<b>15,70</b>	<b>14,22</b>
±	6,14	5,54
Min	4,50	6,01
Max	32,37	23,76
<b>p-Wert Gangartunterschied</b>	<b>0,260</b>	

Es ergab sich genauso wie beim Dackel kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gangarten.

#### 4.3.3.3 Rassevergleich

Der Bewegungsumfang wurde für den Rassevergleich ebenso auf die Rückenlänge der Tiere bezogen und als % der Rückenlänge angegeben.

$$\text{Bewegungsumfang} = \frac{\text{Bewegung (in mm)}}{\text{Rückenlänge (in mm)}} * 100$$

Der Labrador zeigte in beiden Gangarten mehr mediolaterale Hüftbewegung als der Dackel. Im Schritt waren es 32,3 % mehr Bewegungsumfang als der Dackel, im Trab waren es 27,7 %. Im Trab ergab sich rechnerisch knapp kein signifikanter Unterschied.

Tab. 32: Vergleich des relativen Bewegungsumfangs der mediolateralen Hüftbewegung im Schritt und im Trab zwischen Dackel und Labrador.

<b>Bewegungsumfang der mediolateralen Hüftbewegung (% der Rückenlänge)</b>				
<i>Gangart</i>	<i>Schritt</i>		<i>Trab</i>	
<i>Rasse</i>	<i>Dackel</i>	<i>Labrador</i>	<i>Dackel</i>	<i>Labrador</i>
<b>MW</b>	<b>2,62</b>	<b>3,87</b>	<b>2,53</b>	<b>3,50</b>
±	0,93	1,66	1,01	1,49
Min	1,65	0,92	1,27	1,23
Max	5,01	8,30	4,84	6,09
<b>p-Wert Rasseunterschied</b>	<b>0,035</b>		<b>0,064</b>	

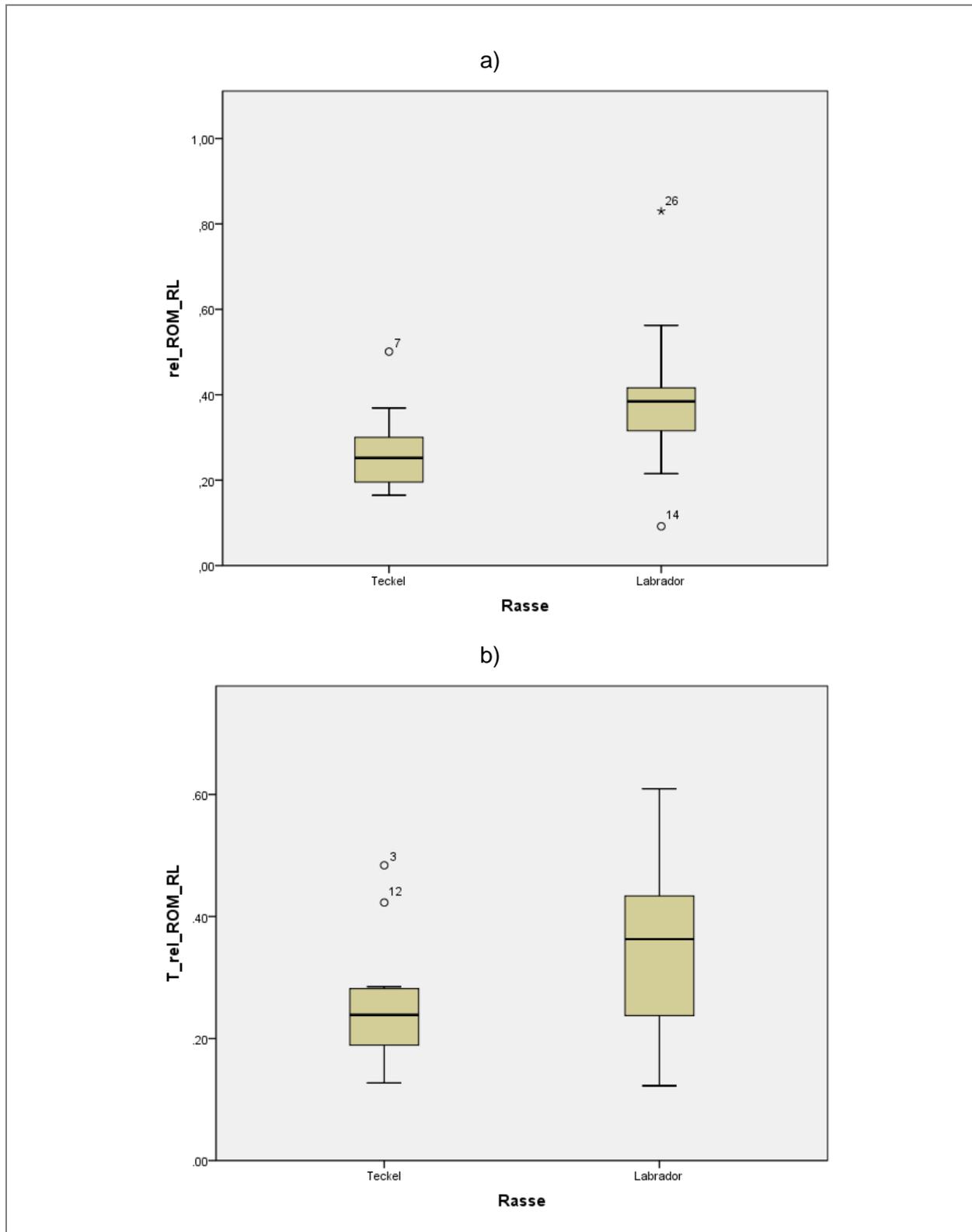


Abb. 54: Boxplots der mediolateralen Hüftbewegung im Schritt (a) und Trab (b); dargestellt sind der Median, unteres und oberes Quartil, unteres und oberes Extrem sowie Ausreißer. Die y-Achse trägt die Einheit % der Rückenlänge.

#### 4.3.4 Rutenbewegung

Die Bewegung der Rute fiel in beiden Gruppen extrem heterogen aus. Dabei konnte eine große Variabilität der Rutenbewegung von einer hängend getragenen Rute über ein horizontales symmetrisches Rechts-Links-Wedeln bis hin zu einem vollkommen von der Beinbewegung losgelöstem kreisförmigen Wedeln beobachtet werden. Zweifelsohne konnte ein Einfluss der Rutenbewegung auf die Rückenbewegung beobachtet werden, ein Zusammenhang zwischen bestimmten Bewegungsformen der Rute und des Rückens konnte jedoch aufgrund der im Vergleich zur Heterogenität der Rutenbewegung zu kleinen Anzahl an Probanden nicht hergestellt werden. Dies wird Inhalt weiterführender Untersuchungen sein müssen.

Im Folgenden sind Formen der Rutenbewegung dargestellt. Der Marker *SWS4* ist markiert (blau) und seine Bewegung für je 1000 Zeitfenster (also 10 Sekunden) vor und nach dem dargestellten Zeitpunkt dargestellt (blaue Linie).

Nur wenige Hunde zeigten eine passive Rutenhaltung.

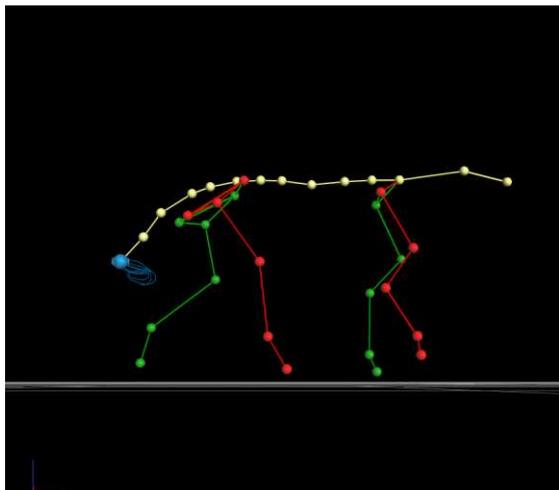


Abb. 55: Passive, minimal angehoben getragene Rute eines Labrador Retrievers.

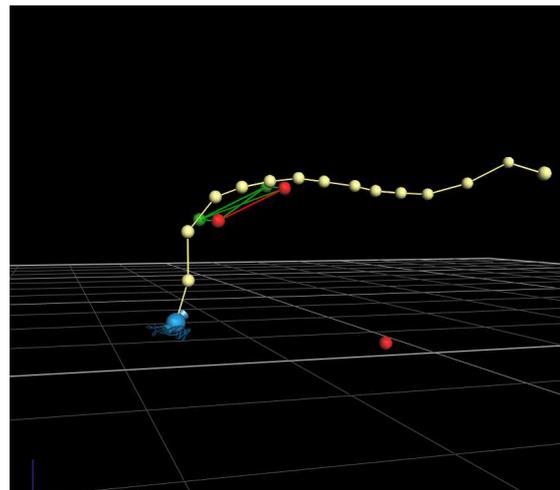


Abb. 56: Passive, niedrig getragene Rute eines Dackels.

Das hundetypische Wedeln, das der Bewegung eines Scheibenwischers gleicht, wurde auf verschiedenen Höhen ausgeführt.

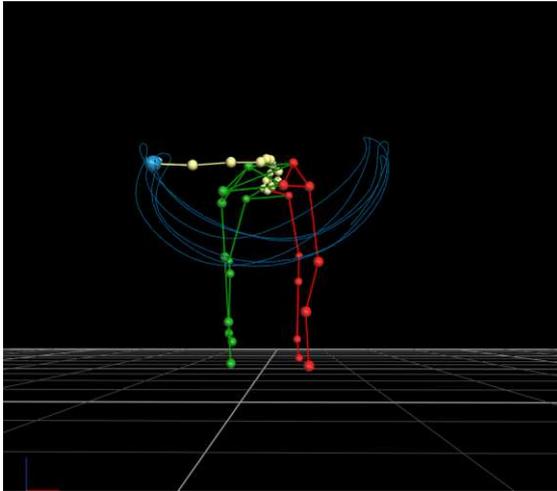


Abb. 57: Starkes Wedeln auf Höhe der Kniekehle.

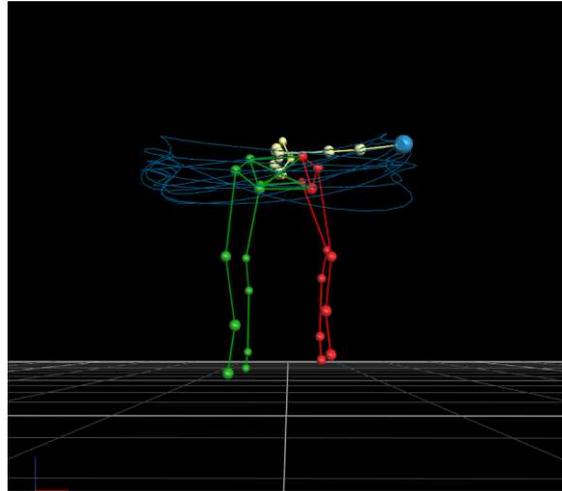


Abb. 58: Starkes Wedeln auf Höhe der Rückenlinie.

Dieses Wedeln wurde teilweise symmetrisch und zur Beinbewegung synchron und teilweise asymmetrisch und völlig von der Beinbewegung losgelöst ausgeführt.

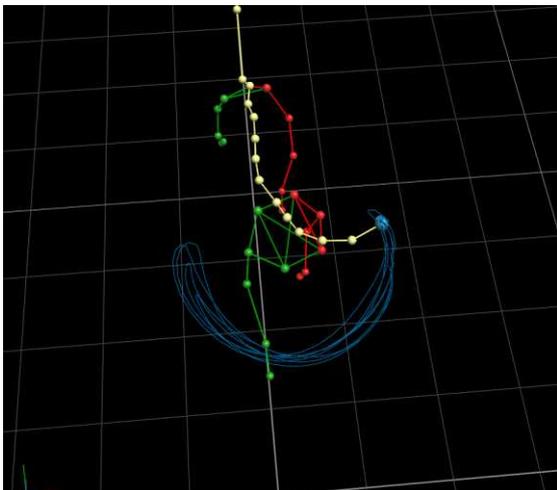


Abb. 59: Starkes Wedeln passend zur Beinbewegung („symmetrisch“).

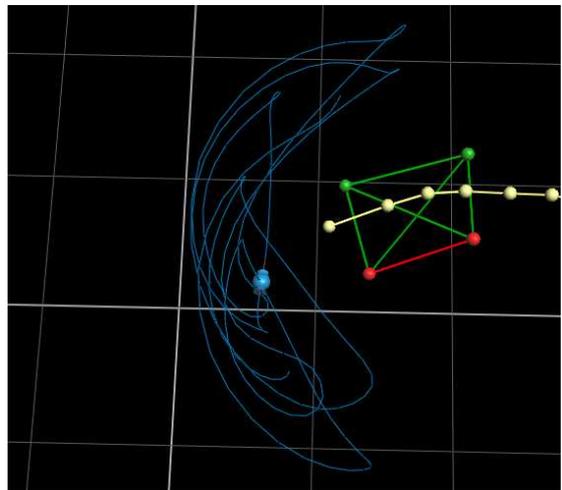


Abb. 60: Starkes Wedeln losgelöst von der Beinbewegung („asymmetrisch“).

Teilweise hatte das Schwanzwedeln die Form einer 8, was einer Ruderbewegung entspricht.

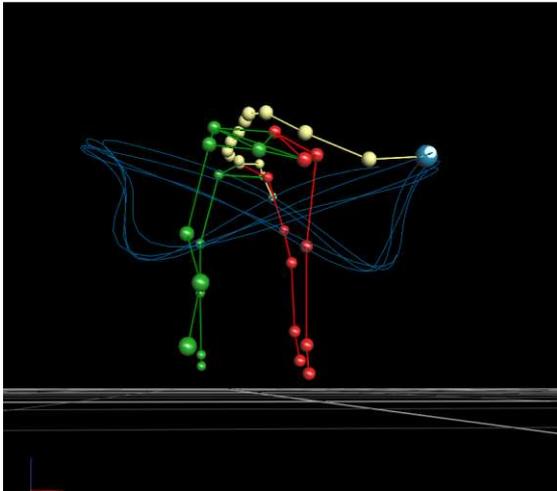


Abb. 61: Schwanzwedeln in 8-er Form („Rudern“).

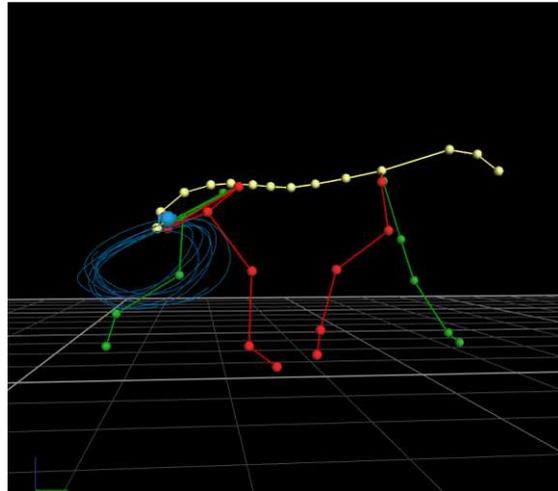


Abb. 62: Dieselbe Rutenbewegung wie in Abb. 61 („Rudern“) von der Seite,

Eine besondere Form stellte die Rotation der Rute dar. Einige Tiere, die eine besonders heterogene Rutenbewegung zeigten, wechselten während der Fortbewegung die Form.

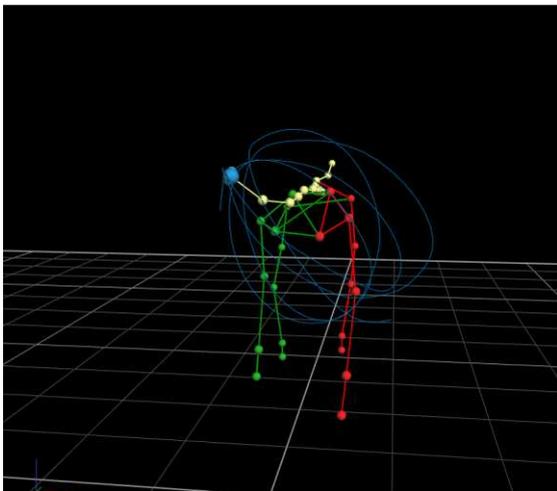


Abb. 63: Rotation mit der Rute.

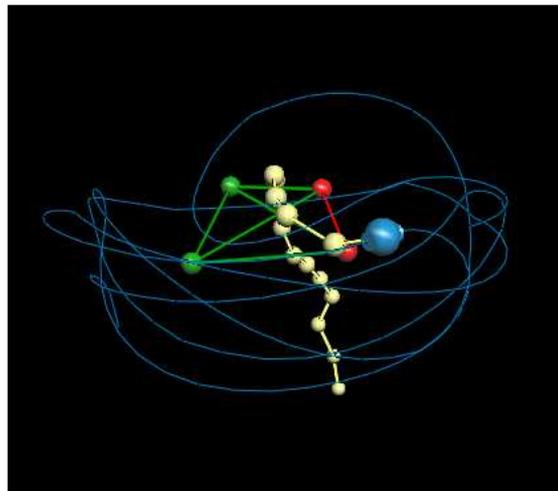


Abb. 64: Wechsel von Wedeln zur Rotation.

## 5 Diskussion

### 5.1 Patientengut

Der Dackel ist im Gegensatz zum Labrador Retriever prädisponiert für Bandscheibenvorfälle (Hansen 1951, Ball et al. 1982, Gough und Thomas 2009). Bei der Ursachenforschung lag in den letzten Jahrzehnten vor allem in den skandinavischen Ländern ein großer Schwerpunkt in der Untersuchung der degenerierten und später kalzifizierten Bandscheiben, der sogenannten Enchondrosis intervertebralis (Hansen 1951, Olsson 1951, Hansen 1952, Stigen 1991, Stigen und Christensen 1993, Stigen 1996, Jensen und Christensen 2000, Rohdin et al. 2010, Mogensen et al. 2011). Zweifelsohne spielt dieser degenerative Vorgang eine große Rolle in der hohen Inzidenz des Bandscheibenvorfalles beim Dackel. Jedoch gibt es auch Studien, die zeigen konnten, dass auch genau so viele Dackel ohne kalzifizierte Bandscheiben erkrankten (Rohdin et al. 2010). Zusätzlich wurde auch der Körperbau mit in Betracht gezogen und dessen Einfluss auf die Entstehung und den Schweregrad der Erkrankung untersucht, jedoch konnte kein stichhaltiger Zusammenhang gefunden werden (Levine et al. 2006b). Obwohl die kalzifizierten Bandscheiben beim Dackel an allen Stellen der Wirbelsäule gleich oft vorkommen, erkrankt der Dackel vor allem am thorakolumbalen Übergang („high-motion site“) (Hansen 1951, Bray und Burbidge 1998b), was darauf hinweist, dass biomechanische Faktoren ebenso mit hinein spielen.

Der Labrador Retriever ist in der Ganganalyse als durchschnittlich gebauter und umgänglicher Hund sehr beliebt und die Gliedmaßen betreffend vor allem kinetisch, aber auch kinematisch weitreichend untersucht (Gillette und Zebas 1999, Bertram et al. 2000, Besancon et al. 2004, Clements et al. 2005, Evans et al. 2005, Suwankong et al. 2007, Nordquist et al. 2011). Durch die Beliebtheit in der Ganganalyse sowie die niedrige Prävalenz für Rückenerkrankungen erschien der Labrador Retriever als geeigneter Vergleichskandidat und zugleich als mögliche Referenz für andere große, normal gebaute Rassen.

Wie zu erwarten, unterschied sich das Verhältnis von Rückenlänge zu Widerrist drastisch, was die Frage nach der generellen Vergleichbarkeit dieser Gruppen aufwirft. Unser Interesse lag in der Fragestellung, ob sich die Kinematik des Rückens der beiden anatomisch so unterschiedlich gebauten Rassen ohne Berücksichtigung der oben genannten degenerativen Erkrankung unterscheidet.

In beiden in der vorliegenden Studie untersuchten Gruppen lag sowohl das Alter als auch Größe, Gewicht und Geschlecht regelmäßig verteilt, weshalb der Einfluss dieser Faktoren als gering einzustufen ist.

Der Einschluss der Enchondrosis intervertebralis scheint gerechtfertigt, wenn man bedenkt, dass radiologisch nur ein Teil der degenerierten und kalzifizierten Bandscheiben überhaupt identifizierbar ist (Burk 1989) und histologische Untersuchungen eine weitaus höhere Anzahl

an kalzifizierten Bandscheiben zeigen (Stigen und Kolbjornsen 2007). Es ist in In-vivo-Studien mit einer chondrodystrophen Rasse also nicht ausschließbar, dass solche Tiere mit in der Population sind.

Anders wurde jedoch bei Spondylosen entschieden. Sie scheinen eindeutig mit einer stärkeren Belastung bestimmter Bereiche im Rücken einherzugehen (Breit und Künzel 2001) und geben so bereits Hinweis auf eine stärkere Belastung oder eventuell gar Fehlbelastung. Außerdem fand Gradner (2007) einen Zusammenhang mit Spondylosen und Übergangswirbeln und einer veränderten Rückenbewegung. Auch überzählige Wirbel und Übergangswirbel wurden als zu massive Befunde gewertet. Ob und wie sie die Rückenbewegung beeinflussen, bleibt weiteren Studien vorbehalten.

## 5.2 Kinetik

Die Standdauer sowie die Spitzenkraft und der Impuls der vertikalen Bodenreaktionskräfte unterschieden sich bei beiden Rassen nicht signifikant zwischen rechter und linker Vorder- bzw. Hintergliedmaße. Das lässt bereits erkennen, dass eine gleichmäßige Rechts-Links-Belastung vorlag. Um einen spezifischeren Test auf Lahmheitsfreiheit zu machen, wurde der Symmetrie-Index für die vertikale Spitzenkraft und den vertikalen Impuls berechnet (Budsberg et al. 1993). Dieser lag immer unter dem Grenzwert von 9 und höchstens bei 8,5. Es ist also von einer lahmheitsfreien Population auszugehen.

Hinsichtlich der Geschwindigkeit wurden verschiedene Möglichkeiten, die beiden morphometrisch so unterschiedlichen Rassen in derselben relativen Geschwindigkeit gehen zu lassen, zu objektivieren ausprobiert. Beide Rassen mit derselben Kadenz laufen zu lassen war nicht möglich, da ein Labrador Retriever bei einer Kadenz eines Dackels im langsamen Schritt bereits den Gangartwechsel zum Trab vollzogen hat. Weiter wurde das Verhältnis von Stand- zu Schwungphase verglichen, da bereits gezeigt wurde, dass sich dieses Verhältnis bei einer Erhöhung der Geschwindigkeit innerhalb einer Gangart zu Gunsten einer längeren Schwungphase verändert (Colborne et al. 2006). Aber auch dieses Verhältnis unterschied sich bei Dackel und Labrador Retriever signifikant dahingehend, dass der Labrador eine längere Standphase zeigte, was den Eindruck einer im Vergleich zum Dackel langsameren relativen Geschwindigkeit erweckt. Die relative Geschwindigkeit bezogen auf die Widerristhöhe ergab jedoch eine schnellere relative Geschwindigkeit für den Labrador. Bei der Betrachtung der Summe von Standphase der Vordergliedmaße und Hintergliedmaße einer Körperseite ergab sich beim Labrador eine längere Doppelstandphase, was wiederum als langsamere relative Geschwindigkeit des Labrador Retrievers interpretiert werden könnte. Die einzige Übereinstimmung lag in einem ähnlichen (bzw. nicht signifikant unterschiedlichen) Verhältnis der Standphasendauer hinten zur Standphasendauer vorne, was jedoch in der Literatur nicht als Nachweis anerkannt ist. Es

wurde also kein in der Literatur bekannter Parameter gefunden, um die relative Geschwindigkeit der Rassen zu objektivieren und die verwendeten Berechnungen widersprechen sich sogar. Jedoch weisen Hildebrand (1968) sowie Seiferle und Frewein (2004) auch auf die unterschiedlichen Trabformen der verschiedenen Rassetypen hin, dessen Untersuchung jedoch den Rahmen dieser Studie überschritten hätte.

Letztendlich wurde die Geschwindigkeit subjektiv anhand von einigen Probanden gewählt. Die Dackel liefen mit 0,7 und 1,1 m/s, die Labrador Retriever mit 1,1 und 1,8 m/s. Minimale Anpassungen bei entsprechend klein- oder großgewachsenen Individuen schien gerechtfertigt, da jedes Individuum seine optimale Geschwindigkeit innerhalb einer Gangart hat. Peham et al. (1998) konnten dies an 18 Pferden zeigen. 12 davon zeigten ein stabiles Gangmuster in der mittleren Trabgeschwindigkeit, 6 davon in der maximalen Trabgeschwindigkeit. Das zeigt, dass für ein optimales Ergebnis bei ganganalytischen Untersuchungen theoretisch für jeden Patienten eine individuelle Geschwindigkeit gewählt werden müsste. Das war jedoch in dieser Studie aufgrund der Tatsache, dass es sich um private Hunde handelte, nicht möglich, da die Tiere nur einmalig zur Verfügung standen.

Gradner et al. (2007) wählten in der Laufbandstudie mit Malinois (die mittlere Widerristhöhe wird mit  $61,8 \pm 3,8$  cm angegeben, die mittlere Widerristhöhe der Labrador Retriever unserer Studie beträgt  $56,9 \pm 2,6$  cm) 1,22 m/s für die Gangart Schritt (bei uns 1,1 m/s) und Clements et al. (2005) untersuchten Labrador Retriever in der Gangart Trab mit einer Geschwindigkeit von 2,0 m/s (bei uns 1,8 m/s). Zumindest für den Labrador Retriever scheinen die gewählten Geschwindigkeiten also durchaus realistisch.

Beide Rassen zeigten bezogen auf das Körpergewicht eine größere vertikale Spitzenkraft in der Vordergliedmaße als in der Hintergliedmaße. Vergleicht man die Rassen jeweils an der Vorder- und Hintergliedmaße untereinander, zeigte der Dackel in der Vordergliedmaße eine größere vertikale Spitzenkraft, der Labrador Retriever in der Hintergliedmaße. Gemeinsam mit der Tatsache, dass bei der Verteilung der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses auf die Vorder- und Hintergliedmaßen der Dackel vorne größere Werte zeigte als der Labrador, könnte dies bedeuten, dass der Schwerpunkt beim Dackel durch den tiefen Brustkorb weiter vorne liegt. Die Unterschiede waren jedoch knapp nicht signifikant und die genauere Untersuchung dieses Trends bleibt anderen Studien vorbehalten.

### 5.3 Kinematik

Für die Auswertung der kinematischen Daten erschienen 10 Schritte ausreichend. Üblich sind in der Ganganalyse durchaus auch nur 5 (Faber et al. 2000, Poy et al. 2000, Gradner et al. 2007) bis 6 Schritte (Budsberg et al. 1987, Licka et al. 2001).

Die Entscheidung, die absoluten Werte für den Rassevergleich auf die Rückenlänge zu beziehen, lag in dem geringen Unterschied zwischen beiden Rassen diesen Parameter

betreffend begründet. Es wurde angenommen, dass sich eine Wirbelsäule von bestimmter Länge unabhängig von der Beinlänge bewegen kann.

### **5.3.1 Transversalebene**

#### **5.3.1.1 Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung**

Die Marker zeigten in der Transversalebene in beiden Gangarten einen 1-phasigen Bewegungsverlauf, was eine vollständige Periode der Rechts-Linksbewegung bedeutet. Gleiches wurde in einer Laufbandstudie zur Rückenbewegung von Malinois im Schritt (Gradner et al. 2007) und in Laufbandstudien zu Pferden im Schritt und im Trab (Faber et al. 2000, Faber et al. 2001, Licka et al. 2001, Licka et al. 2001) beschrieben.

In unserer Studie hatte die Transversalbewegung im Schritt ihren maximalen Ausschlag auf eine Seite während der ipsilateralen Doppelstandphase der Vorder- und Hintergliedmaße und die Nulllinie wurde während der diagonalen Standphase gekreuzt. Gradner et al. (2007) kamen hier zum gleichen Ergebnis. Licka et al. (2001) beschreiben, dass der Rücken sich in der horizontalen Ebene auf die Seite des sich in der Standphase befindenden Vorderbeins bewegt. Von den Hinterbeinen aus betrachtet bewegt sich der Rücken in der 2. Hälfte der Standphase eines Hinterbeines auf die Gegenseite, was einen medialen Vorschub erkennen lässt.

Der Zeitpunkt des Auftretens eines Maximums innerhalb dieser Doppelstandphase verlagerte sich im Schritt von Marker zu Marker nach kaudal hin innerhalb des Schrittzklus weiter nach hinten (ca. 19 % des Schrittzklus). Betrachtet man die Erhebungen zur "time of occurrence" (TOO) der rechten und linken maximalen Markerposition in der Studie von Gradner et al. (2007), so ist ebenfalls eine zeitliche Verschiebung nach kaudal hin von ca. 10 % des Schrittzklus erkennbar. So wird beispielsweise für die 6 Marker, die über den Dornfortsätzen der Wirbel C7, T6, T13, L3, L7 und S3 angebracht sind, eine TOO des Maximums nach rechts von 20,8 %, 19,1 %, 21,3 %, 23,0 %, 26,2 % und 31,1 % des Schrittzklus angegeben (für TOO des Maximums nach rechts: 71,6, 69,0, 70,4, 72,0, 74,8, 79,6 %). In der Erklärung zum Inhalt der Tabelle wird angegeben, dass diese Verschiebung für L7 und S3 signifikant war. Im Text wird jedoch nicht näher auf die zeitliche Verschiebung innerhalb des Schrittzklus eingegangen. Auch die ganganalytischen Studien zum Pferd beschreiben, dass im Schritt jeder Marker sein Maximum und sein Minimum zu einem anderen Zeitpunkt innerhalb des Schrittzklus erreicht (Licka et al. 2001). Faber (2000) spricht in der Studie zum Schritt von der „time delay of the first maximum“ (dt.: Verspätung des 1. Maximums) und Haussler (2001) stellt fest: "lateral bending travels from cranial to caudal" (dt.: die Seitwärtsbewegung wandert von kranial nach kaudal). Dasselbe wurde bereits an Frettchen (Kafkafi und Golani 1998) und Kleinsäugetern beschrieben (Schilling und

Hackert 2006). Schilling et al. (2010) schlussfolgern in ihrer elektromyografischen Studie, dass die aufeinanderfolgende Aktivierung der von ihnen untersuchten Wirbelsäulenmuskulatur (M. multifidus lumborum und M. longissimus thoracis et lumborum) auf 3 verschiedenen Höhen der kaninen Wirbelsäule (Th13, L3, L6) im Schritt im Einklang mit den wandernden Wellen der Seitwärtsbewegung stehen (siehe Abb. unten).

Im Trab trat bei den hier untersuchten Hunden die rechte Position kurz nach dem Beginn der diagonalen Standphase mit rechtem Vorderbein ein und die linke Position trat kurz nach dem Beginn der diagonalen Standphase mit dem linkem Bein vorne ein. Hier wurde keine zeitliche Verschiebung des Auftretens der Maxima nach rechts und nach links beobachtet. Auch das steht im Einklang mit Studien am Pferd (Faber et al. 2001, Licka et al. 2001). Die synchronisierte Aktivierung der Muskeln, die Schilling und Carrier (2009) im Trab beobachtet haben, ist vereinbar mit dieser stehenden Welle der Rumpfbiegung (siehe Abb. unten).

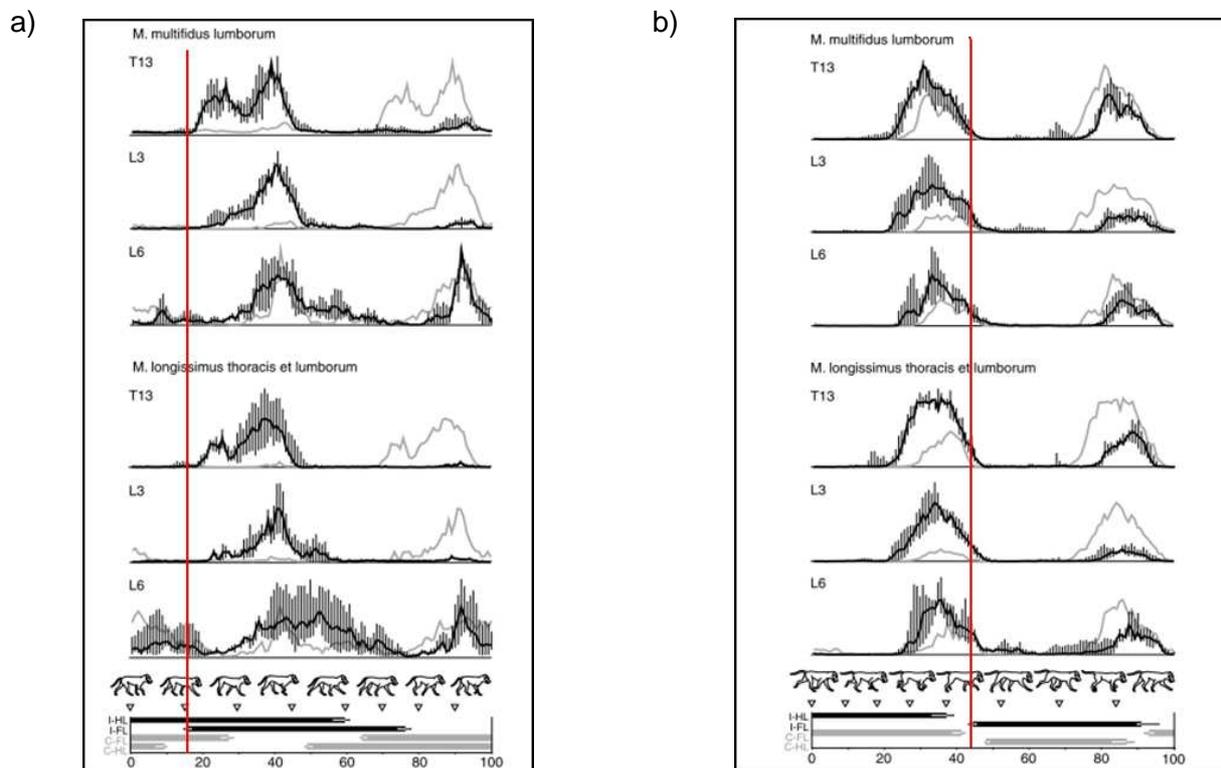


Abb. 65: Normierte EMG (Medianwert und obere und untere Quartile für jedes Messfenster für 20 Schritte) des M. multifidus lumborum und des M. longissimus thoracis et lumborum an den 3 Aufnahmestellen (T13, L3 und L6) während die Hunde im Schritt gingen (a) und trabten (b); aus Schilling und Carrier (2009). Eingezeichnet (rote Linie) ist der in der vorliegenden Studie gewählte Zeitpunkt für den Beginn des Schrittzklus.

Einig sind sich Gradner et al. (2007) mit uns, was den zeitlichen Abstand der beiden Maxima von ungefähr 50 % des gesamten Schrittzklus betrifft, wobei dieser Abstand in dieser Studie nur für den Schritt erhoben wurde. Berechnet man den Zeitabstand beider Maxima aus den in der Studie angegebenen absoluten Zahlen der TOO, so kommt man auf einen Mittelwert von 49,3 %. Bei uns betrug dieser Abstand 50,9 %.

Ab dem lumbosakralen Übergang (von Tier zu Tier etwas unterschiedlich, bei den meisten Tieren ab dem Marker *Sacrum*) beschrieben die Marker zeitlich eine zu den kranialen Markern inverse Bewegung. Das Auftreten dieser inversen Bewegung an der Rutenbasis entspricht der Gegensteuerung zur Verlagerung des Masseschwerpunkts am Rumpf in die Gegenrichtung, die Seiferle und Frewein (2004) beschreiben.



Abb. 66: Mitbewegung von Rumpf und Kopf im Schritt.



Abb. 67: Labrador im Trab zu Beginn der linken diagonalen Standphase. Der Rumpf ist nach links gebogen, die Rute nach rechts.

Zusätzlich zeigte sich eine 3-Phasigkeit, die unseres Wissens nach in der Literatur bisher nicht beschrieben wurde und vermutlich in engem Bezug zur Rutenbewegung steht. In der grafischen Darstellung der transversalen Markerbewegung des Sakrums in der Studie von Gradner et al. (2007) lässt sich eine solche 3-Phasigkeit nachvollziehen. Im Text wird jedoch nur von 2 feststellbaren Maxima und Minima gesprochen. Da eine solche trizyklische Bewegung bei beiden Rassen ungefähr gleich häufig auftrat, wurden die Werte für den Bewegungsumfang solcher 3-phasigen Marker mit in die Berechnungen einbezogen, obwohl bei diesen der Bewegungsumfang im Mittel um 30 % niedriger war. Das kann als Hinweis dafür gewertet werden, dass der Bewegungsablauf an diesen Stellen gestört und infolge dessen eingeschränkt ist.

Die oben genannten Befunde der zeitlichen Verschiebung des Auftretens des Maximums und der inversen Bewegung ab dem Sakrum behielten auch in der 3-phasigen Bewegung ihre Gültigkeit. Eine mögliche Interpretation wäre, dass Amplituden der 1-phasigen

Bewegung von kaudal durch die Rutenbewegung entstehenden Amplituden überlagert werden und so eine Interferenz der beiden Bewegungsabläufe entsteht. Aufgrund der vorliegenden Patientenanzahl und der großen Heterogenität in der Rutenbewegung und aufgrund des Fehlens von Vergleichsliteratur konnten diese Beobachtungen jedoch nicht mit stichhaltigen Argumenten belegt werden. Weitere Studien vor allem an Hunden anderer Rassen werden notwendig sein, um oben genannte Interpretationen zu stützen oder zu widerlegen.

### 5.3.1.2 Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung

Die Minima und Maxima unterschieden sich bis auf wenige Ausnahmen nicht signifikant. Die Bewegung in der Transversalebene war also relativ symmetrisch. Auch in anderen Studien wurde eine gewisse Asymmetrie der Rückenbewegung gefunden (Faber et al. 2000, Gradner et al. 2007), jedoch ohne dass Grenzen für eine klinische Relevanz vorgeschlagen wurden. Ab welchem Grad eine solche Asymmetrie der Rückenbewegung als klinisch relevant bzw. pathologisch einzustufen ist, muss in weiteren Studien untersucht werden.

Der ROM in der transversalen Richtung im Schritt bewegten sich beim Dackel zwischen 17,51 mm am Marker *Sacrum* und 42,63 mm am Marker *WS*. Beim Labrador Retriever ergaben sich im Schritt Werte zwischen 29,61 mm am Marker *Sacrum* und 57,96 mm am Marker *WS*.

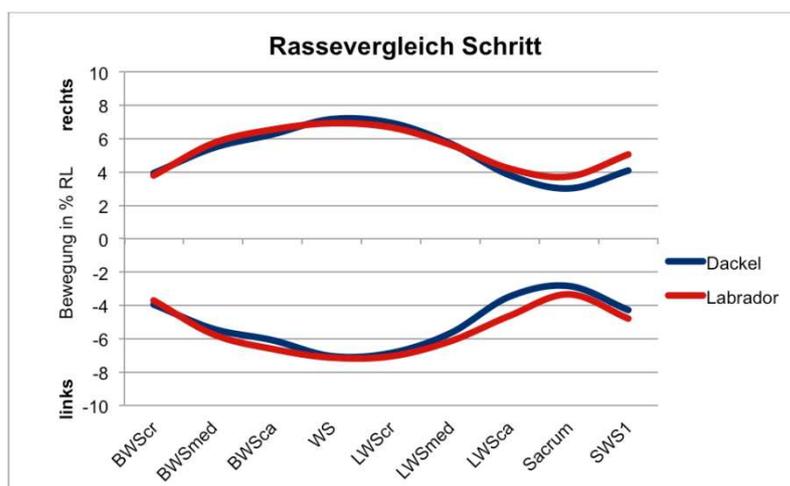


Abb. 68: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker im Schritt; die absoluten Werte der Bewegung nach rechts und nach links sind bezogen auf die Rückenlänge.

Der Bewegungsumfang nahm im Schritt jeweils von kranial bis zum thorakolumbalen Übergang (Marker *WS*) zu und nach kaudal hin wieder ab. Durch die Rutenbewegung entstand bei *SWS1* nochmal einen größeren ROM. Auch beim Malinois (Gradner et al. 2007) und beim Pferd (Townsend et al. 1983, Licka et al. 2001) fand sich im Schritt die größte Seitwärtsbewegung auf Höhe des thorakolumbalen Übergangs. Dieser Verlauf zeigt einen

großen Freiheitsgrad der mittleren Wirbelsäule an, die weit von den Gliedmaßen entfernt ist und so frei schwingen kann.

Jedoch hat sich gezeigt, dass die Seitwärtsbewegung nicht nur durch ein passives Schwingen entsteht, sondern auch muskulär initiiert wird (Schilling und Carrier 2010). Die Aktivität der axialen Muskulatur ist im Schritt zwar generell niedriger als in den schnelleren Gangarten, aber dazu geeignet, Seitwärtsbiegung zu produzieren, der Torsion um die Längsachse entgegen zu halten sowie die Kräfte, die durch die extrinsischen Gliedmaßenmuskeln produziert werden, abzufangen.

Beide Rassen zeigten in Bezug auf die Rückenlänge in der Transversalebene im Schritt an allen Markern einen nahezu identischen Bewegungsumfang. Dieser war zwar beim Labrador bis auf eine Ausnahme immer größer, jedoch nicht statistisch signifikant. Der ähnliche Bewegungsumfang beider Rassen im Schritt deutet darauf hin, dass der Dackel von der Beweglichkeit her bezogen auf die Rückenlänge zum gleichen Ausmaß an Seitwärtsbewegung befähigt ist wie der Labrador Retriever.

Im Trab ergaben sich für den Dackel ROM-Werte zwischen 14,78 mm an *BWScr* und 22,31 mm an *BWSca*, für den Labrador Retriever zwischen 28,06 mm an *Sacrum* und 55,29 mm an *WS*.

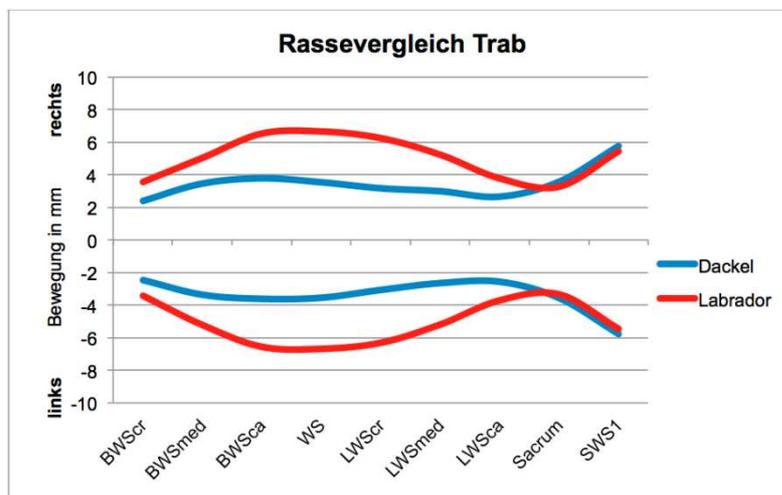


Abb. 69: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker im Trab; die absoluten Werte der Bewegung nach rechts und nach links sind bezogen auf die Rückenlänge.

Der Dackel zeigte in dieser Gangart einen signifikant niedrigeren ROM als im Schritt. Es fand also beim Gangartwechsel fast im gesamten Bereich der Wirbelsäule eine Abnahme des Bewegungsumfangs im Trab statt. Der Labrador Retriever hingegen behielt nahezu denselben Bewegungsumfang wie im Schritt bei (siehe Abb. 70).

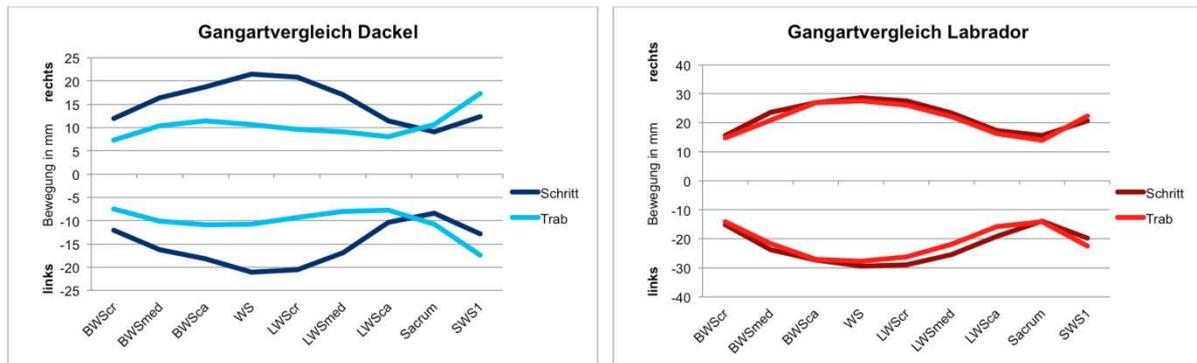


Abb. 70: Gangartvergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Transversalebene der 9 Rückenmarker von Dackel (a) und Labrador Retriever (b); die X-Achse gibt die absoluten Werte der Bewegung (in mm) nach rechts und nach links an.

Dass der Labrador Retriever im Trab genau so viel Seitwärtsbewegung zeigt wie im Schritt überrascht zunächst, denn alle uns bekannten Studien sprechen von einer verminderten Seitwärtsbewegung in den schnelleren Gangarten bei verschiedenen Haussäugetieren (Carlson et al. 1979, Haussler et al. 2001, Licka et al. 2001, Robert et al. 2002, Schilling und Carrier 2010). Die Tatsache, dass der Dackel im Schritt gleich viel ROM wie der Labrador hat, lässt plausibel erscheinen, dass beim Dackel im Trab eine muskuläre Stabilisierung bzw. ein aktives Feststellen der Wirbelsäule stattfindet. Passend dazu konnte Schilling (2010) beim Hund im Trab eine signifikant höhere Muskelaktivität als im Schritt nachweisen, die zu einem Feststellen der Wirbelsäule führt. Auch Faber et al. (2001) beschreiben beim Pferd eine Versteifung der Wirbelsäule, um eine zu starke Seitwärtsverlagerung des Körperschwerpunkts zu vermeiden.

Vergleicht man den ROM der Labrador Retriever im Schritt mit denen, die Gradner et al. (2007) in derselben Gangart bei Hunden der Rasse Malinois erhoben haben, so ergeben sich für den Malinois größere, aber durchaus mit dem Labrador Retriever vergleichbare Werte der Transversalbewegung. Der direkte Vergleich der absoluten Zahlen erschien legitim, da die mittlere Widerristhöhe der Labrador Retriever dieser Studie  $56,9 \pm 2,6$  cm betrug und die mittlere Widerristhöhe der Malinois mit  $61,8 \pm 3,8$  cm angegeben wurde. Außerdem gingen die Malinois im Schritt mit einer Geschwindigkeit von 1,22 m/s und unsere Labrador Retriever mit einer Geschwindigkeit von 1,1 m/s.

Tab. 33: Vergleich des mittleren transversalen Bewegungsumfangs im Schritt zwischen Labrador Retriever und Malinois.

mittlerer transversaler Bewegungsumfang des Labrador Retriever (n = 15) im Schritt (cm)										
Marker		<i>BWScr</i> $\triangle$ Th3	<i>BWSmed</i> $\triangle$ Th6/7	<i>BWSca</i> $\triangle$ Th10/11	<i>WS</i> $\triangle$ Th13	<i>LWScr</i> $\triangle$ L2/3	<i>LWSmed</i> $\triangle$ L5	<i>LWSca</i> $\triangle$ L7	<i>Sacrum</i> $\triangle$ Sacrum	<i>SWS1</i> $\triangle$ S1
<b>MW</b>		3,1	4,7	5,4	5,8	5,7	4,9	3,6	3,0	4,0
$\pm$		0,7	1,4	1,5	1,4	1,6	1,7	1,7	1,3	0,9
mittlerer transversaler Bewegungsumfang des Malinois (n = 22) im Schritt (cm)										
Marker	<i>C7</i>		<i>T6</i>		<i>T13</i>	<i>L3</i>		<i>L7</i>	<i>S3</i>	
<b>MW</b>	3,2		5,5		6,2	6		4,4	3,1	
$\pm$	1,4		1,1		1,5	1,9		1,9	1,3	

Der größte ROM lag in dieser Studie ebenfalls beim Marker über dem Dornfortsatz des 13. Brustwirbels („T3“), der kleinste ROM am Marker über dem Sacrum („S3“).

Die Vergleichbarkeit des ROM der Malinois mit denen der Labrador Retriever ist für uns insofern interessant, als zu vermuten ist, dass wir für den Vergleich mit dem Dackel keine Rasse herangezogen haben, die besonders lax in der Wirbelsäule ist. Das würde wiederum bedeuten, dass die Unterschiede zwischen Dackel und Labrador Retriever von der unterschiedlichen Morphometrie kommen. Hierzu müssen jedoch weitere Studien zu anderen großen und kleinen Hunderassen folgen. Interessant wäre in diesem Zusammenhang die Rückenbewegung kleiner, aber nicht kurzbeiniger Rassen näher zu betrachten.

## 5.3.2 Sagittalebene

### 5.3.2.1 Qualitative Beschreibung der Rückenbewegung

Die Marker zeigten in der Transversalebene einen 2-phasigen Bewegungsverlauf, was bedeutet, dass 2 vollständige Perioden der Auf- und Abbewegung innerhalb eines Schrittzklus ablaufen. Die oben genannten Laufbandstudien zu Malinois im Schritt (Gradner et al. 2007) und zu Pferden im Schritt und im Trab (Faber et al. 2000, Faber et al. 2001, Licka et al. 2001, Licka et al. 2001) geben hier dasselbe Bewegungsmuster an.

Zum zeitlichen Ablauf im Schritt kann gesagt werden, dass ein Marker sein Maximum zu Beginn der Schwungphase seiner näher gelegenen Gliedmaße (Vorder- oder Hintergliedmaße) und während der vollen Belastung der kontralateralen Gliedmaße einnimmt und sein Minimum während des Wechsels der Standphase zwischen rechter und linker Gliedmaße. Im kranialen Bereich ist dies gekoppelt an die Vordergliedmaße, im kaudalen Bereich an die der Hintergliedmaße. Im Trab wurde eine maximale obere Position jeweils während des Wechsels zwischen den beiden diagonalen Standphasen und eine maximale untere Position jeweils ungefähr bei der Hälfte der diagonalen Standphase eingenommen.

Wie in der Transversalebene war auch in der Sagittalebene im Schritt eine Verschiebung im zeitlichen Auftreten des Maximums innerhalb des Schrittzklus nachzuvollziehen. Das Auftreten wanderte jedoch von kaudal nach kranial, das heißt, die kaudalen Marker erreichten früher im Schrittzklus den höchsten dorsalen Punkt, während die kranialen Marker später im Schrittzklus folgten. Dieser Befund deckt sich ebenfalls mit Beobachtungen beim Pferd (Faber et al. 2000, Haussler et al. 2001). Das zeigt, dass die Flexions-Extensions-Bewegung von den Hinterbeinen erzeugt wird. Im Trab fand sich wieder der oben bereits beschriebene Synchronismus der Rückenbewegung.

### 5.3.2.2 Quantitative Beschreibung der Rückenbewegung

Die Minima und Maxima unterschieden sich bis auf wenige Ausnahmen, die im Schritt beobachtet wurden, nicht. Unsere Interpretation lag in einer relativ von der Bewegung losgelösten Kopf-Hals-Bewegung im Schritt und einer strafferen Kopf-Hals-Haltung im Trab. Ansonsten erschien die vertikale Bewegung symmetrisch und regelmäßig, was auch für das Pferd bestätigt wurde (Audigié et al. 1999).

Der ROM in der sagittalen Richtung im Schritt bewegte sich beim Dackel zwischen 6,84 mm an *BWSmed* und 15,00 mm an *SWS1*. Beim Labrador Retriever ergaben sich im Schritt Werte zwischen 13,33 mm an *LWScr* und 37,02 mm an *SWS1*.

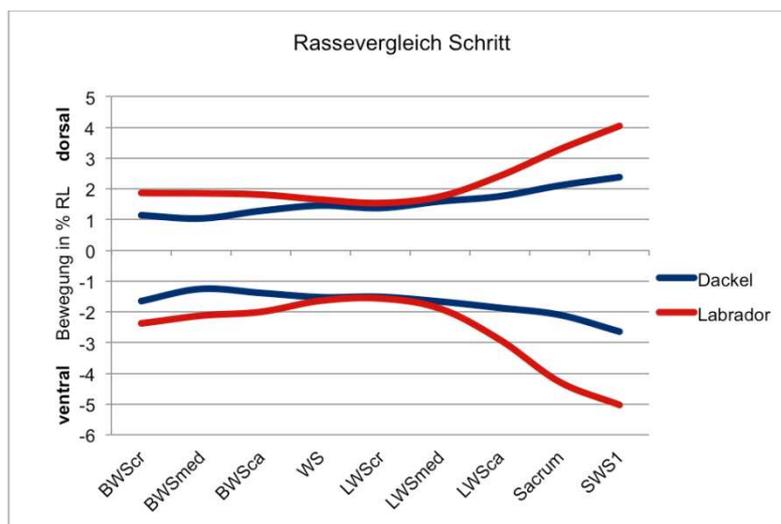


Abb. 71: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene im Schritt; die absoluten Werte der Bewegung nach dorsal und nach ventral sind bezogen auf die Rückenlänge.

Vergleicht man den Schritt zwischen Dackel und Labrador Retriever, zeigten beide Rassen am thorakolumbalen Übergang in Bezug auf die Rückenlänge nahezu denselben Bewegungsumfang. Kranial (alle Brustwirbelsäulenmarker) und kaudal (ab *LWSca*) zeigte der Labrador Retriever einen signifikant größeren Bewegungsumfang, was durch seine längeren Beine und dadurch seine längeren (Wurf-)Hebel zustande kommt.

Auch bei der Studie zu Malinois (Gradner et al. 2007) und in einer Studie zum Pferd (Licka et al. 2001) wurde der größte Bewegungsumfang in der Sagittalebene am Sakrum gefunden. Als Begründung nennen Gradner et al. (2007) einerseits die vertikal platzierten Facettgelenke zwischen L7 und S1 und andererseits die Tatsache, dass die Muskulatur der Beckengliedmaßen fest mit dem Becken verbunden ist, das über eine straffe Gelenkverbindung mit dem fusionierten Sacrum verbunden ist und so eine Vorwärts-Aufwärtsbewegung geliefert wird.

Interessant scheint in diesem Zusammenhang, dass in einer Kadaverstudie zum Lumbosakralgelenk des Deutschen Schäferhunds (Bürger und Lang 1993) für die Verbindung zwischen L7 und S1 einen 2,5-mal so großen vertikalen ROM gefunden wurde wie für L6–L7 und was auf einen beachtlichen Krafttransfer zwischen dem 7. Lendenwirbel und dem Kreuzbein hinweist. Bei großen Hunden wurde generell mehr Beweglichkeit im lumbosakralen Übergang nachgewiesen (Koppel und Rein 1992, Breit und Künzel 2001), was auch das Vorkommen der degenerativen lumbosakralen Stenose erklärt.

Im Trab ergaben sich beim Dackel Werte zwischen 12,10 mm an *BWScr* und 22,75 mm an *LWScr*. Der Labrador Retriever zeigte im Trab einen mittleren Bewegungsumfang von 19,06 mm am Marker *BWScr* und 32,32 mm am Marker *LWScr*.

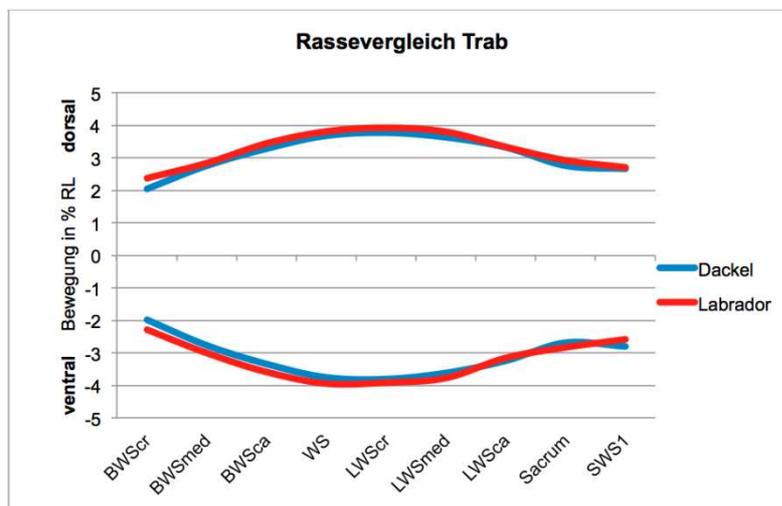


Abb. 72: Rassevergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in der Sagittalebene im Trab; die absoluten Werte der Bewegung nach dorsal und nach ventral sind bezogen auf die Rückenlänge.

Betrachtet man Dackel und Labrador im direkten Vergleich, haben sie hier bezogen auf die Rückenlänge fast genau soviel Bewegungsumfang. Der ROM in der z-Achse zeigt ihren größten Wert im Trab bei beiden Rassen in der mittleren Wirbelsäule. Im Trab schwingt die Wirbelsäule in der Mitte, wo sie am weitesten von Gliedmaßen entfernt ist, da hier die Trägheit des axialen Masseschwerpunkts wirkt. Im Wechsel vom Schritt zum Trab findet also dieselbe Entwicklung statt.

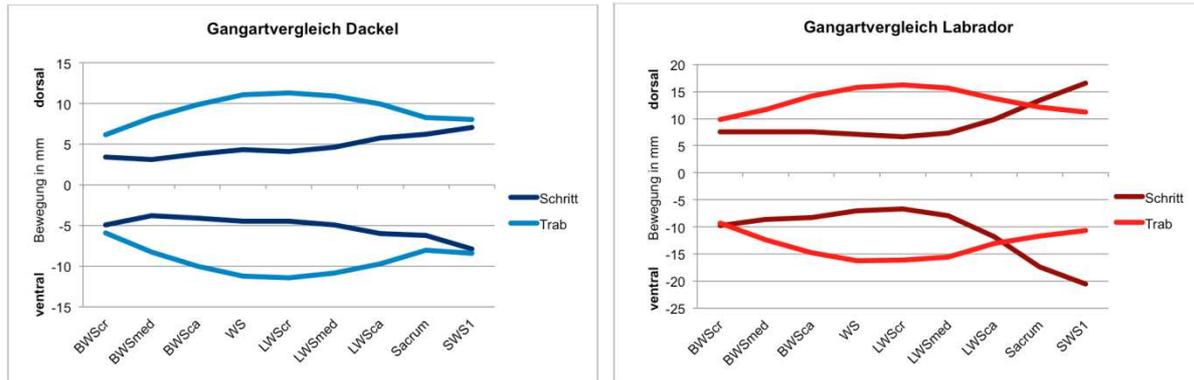


Abb. 73: Gangartvergleich des mittleren Bewegungsumfangs in der Sagittalebene der 9 Rückenmarker von Dackel (a) und Labrador Retriever (b); die x-Achse gibt die absoluten Werte der Bewegung (in mm) nach rechts und nach links an.

In den elektromyografischen Studien sowohl beim Hund als auch beim Pferd konnte anhand des zeitlichen Einsetzens der Muskelaktivität gezeigt werden, dass die Muskeln in der Gangart Trab vor allem eine stabilisierende Funktion haben und die Flexions- und Extensionsbewegung limitieren (Robert et al. 2002, Schilling und Carrier 2009). Licka et al. (2001) fanden beim Pferd jedoch trotz dieser stabilisierenden Funktion der Muskulatur im Trab einen höheren ROM in der Sagittalebene als in der Transversalebene. Bei den Hunden der Rasse Labrador Retriever war das in der vorliegenden Studie nicht der Fall und beim Dackel nur im Bereich der Lendenwirbelsäule gültig. Gradner et al. (2007) fanden bei den Hunden der Rasse Malinois ebenso wie wir, dass der ROM in der Sagittalebene generell kleiner ist als in der Transversalebene.

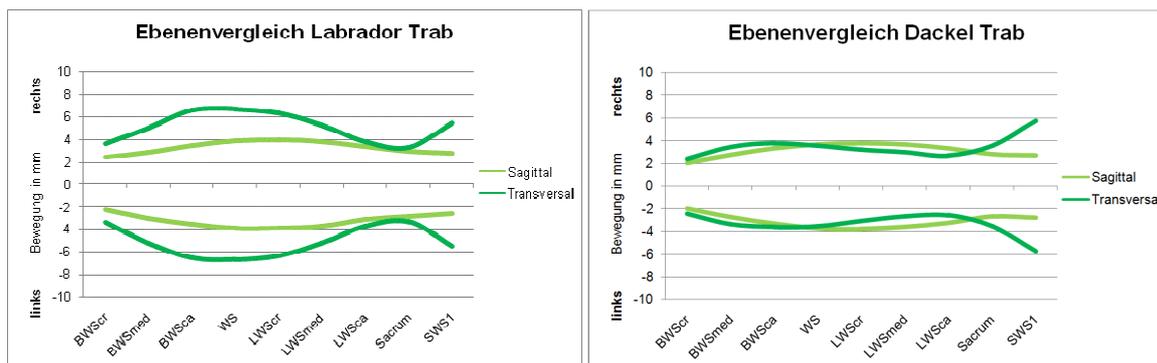


Abb. 74: Vergleich des mittleren Bewegungsumfangs aller Marker in beiden Ebenen im Trab; die absoluten Werte der Bewegung sind bezogen auf die Rückenlänge.

Vergleicht man den ROM der Labrador Retriever im Schritt mit denen, die Gradner et al. (2007) in derselben Gangart bei Hunden der Rasse Malinois erhoben haben, so ergeben sich kleinere, aber durchaus mit dem Labrador Retriever vergleichbare Werte der Transversalbewegung für den Malinois. Wie oben bereits genannt, war die mittlere

Widerristhöhe und die Geschwindigkeit bei den beiden Rassen relativ ähnlich, sodass der Vergleich der absoluten Zahlen möglich erschien.

Tab. 34: Vergleich des mittleren sagittalen Bewegungsumfangs im Schritt zwischen Labrador Retriever und Malinois.

mittlerer sagittaler Bewegungsumfang des Labrador Retriever (n = 15) im Schritt (cm)										
Marker		BWScr $\triangleq$ Th3	BWSmed $\triangleq$ Th6/7	BWSca $\triangleq$ Th10/11	WS $\triangleq$ Th13	LWScr $\triangleq$ L2/3	LWSmed $\triangleq$ L5	LWSca $\triangleq$ L7	Sacrum $\triangleq$ Sacrum	SWS1 $\triangleq$ S1
<b>MW</b>		<b>1,7</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,4</b>	<b>1,3</b>	<b>1,5</b>	<b>2,2</b>	<b>3,1</b>	<b>3,7</b>
$\pm$		0,4	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,6	0,8	1,5
mittlerer sagittaler Bewegungsumfang des Malinois (n = 22) im Schritt (cm)										
Marker	C7		T6		T13	L3		L7	S3	
<b>MW</b>	<b>1,7</b>		<b>1,4</b>		<b>1,1</b>	<b>1,2</b>		<b>1,7</b>	<b>2,2</b>	
$\pm$	0,8		0,6		0,5	0,5		0,6	0,8	

## 5.4 Mediolaterale Hüftbewegung

Die mediolaterale Hüftbewegung wurde von Poy et al. (2000) als „Seitwärtsbewegung des Beckens“ bezeichnet und als zusätzlicher kinematischer Parameter für die ganganalytische Beschreibung des Gangbilds von an Hüft dysplasie erkrankten Hunden vorgeschlagen. Eingebürgert haben sich auch der Begriff des „Marilyn-Monroe-Gang“ oder im englischen Sprachraum „cat-walk“. Da der Labrador eine Rasse ist, die schon rein adspektorisch eine raumgreifende Bewegung in der Hinterhand und der Lendengegend zeigt, erschien es interessant, diesen Aspekt der Fortbewegung mit zu beleuchten. Nicht zuletzt, weil die starre Verbindung des Iliosakralgelenks einen starken Einfluss dieses Gangparameters auf die Rückenbewegung vermuten lässt.

Tab. 35: Vergleich mediolaterale Hüftbewegung.

	ROM mediolaterale Hüftbewegung rechts (cm)	ROM mediolaterale Hüftbewegung links (cm)
<i>Poy (gemischte Gruppe)</i>	3,1 $\pm$ 1,1	3,1 $\pm$ 1,1
<i>Raith DSH</i>	1,0 $\pm$ 0,3	1,1 $\pm$ 0,3
<i>eigene Ergebnisse LR</i>	1,6 $\pm$ 0,6	1,6 $\pm$ 0,6
<i>eigene Ergebnisse Dackel</i>	0,8 $\pm$ 0,3	0,8 $\pm$ 0,3

Die Kontrollgruppe bestand bei Poy et al. (2000) aus Hunden verschiedener großwüchsiger Rassen. Aufgrund der Heterogenität dieser Gruppe und der Nutzung eines anderen Messsystems ist ein Vergleich dieser nur wenige Zentimeter umfassenden Bewegung nur eingeschränkt möglich. In der hauseigenen Studie von Raith (2010) wurden für den Deutschen Schäferhund kleinere, jedoch vergleichbare Werte erhoben. Das bestätigte

unseren rein subjektiven Eindruck einer stark ausgeprägten mediolateralen Hüftbewegung des Labrador Retrievers.

## 5.5 Rutenbewegung

Soweit uns bekannt ist, wurde bisher in keiner Studie die Rückenbewegung im Zusammenhang mit der Rutenbewegung betrachtet. Die Probanden beider Gruppen zeigten eine absolut heterogene Rutenbewegung. Die im Ergebnisteil dargestellten Formen ließen sich aufgrund des komplexen 3-dimensionalen Bewegungsablaufs, der häufigen Asymmetrie und der Unterschiede der Rutenbewegung sogar eines Hundes innerhalb einer Aufnahme im Rahmen dieser Studie nicht exakt kinematisch auswerten. Zwar bewegte sich die Rutenbasis invers zu den restlichen Markern der Wirbelsäule und zeigte damit, dass eine Gegenbewegung zur Seitwärtsbewegung des Rumpfes und damit der transversalen Schwerpunktverlagerung statt fand, jedoch setzte sich diese zur Fortbewegung synchrone Bewegung nicht in die gesamte Rute fort.

Die kinematischen Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten jedoch einen Einfluss vor allem auf die transversale Bewegung der Wirbelsäule. Beide untersuchten Rassen zeigten während der Untersuchung in der Mehrzahl eine aktive Rutenbewegung. Nur wenige Tiere ließen die Rute passiv hängen. Das unregelmäßige oft von der Bewegung der Beine und des Rückens losgelöste Wedeln kann Zeichen der Erregung/Aufregung während der Aufnahmen gewesen sein. Jedoch zeigten auch Tiere mit einer absolut synchronen Rutenbewegung und sogar Tiere, die die Rute adspektorisch passiv trugen, eine 3-Phasigkeit.

## 5.6 Limitationen der Studie

Im Gegensatz zu den ganganalytischen Untersuchungen am Pferd (Licka et al. 2001) war es uns nicht möglich, die Hunde nur an einer lockeren Leine zu führen. Durch die Führtechnik am Halsband konnten die ersten 3 Marker nicht sinnvoll ausgewertet werden. Außerdem wurden die Tiere jedesmal von einer anderen Person (meist dem Besitzer) geführt. Jevens et al. (1993) fanden jedoch heraus, dass die führende Person nur minimalen Einfluss auf die Varianz kinetischer Ergebnisse hat. Außerdem waren die Tiere an den Besitzer gut gewöhnt und gingen dadurch wiederum entspannter.

Obwohl jedem Tier bereits vor dem Befestigen der Marker eine individuelle Gewöhnungsphase auf dem Laufband ermöglicht wurde und die Aufnahme immer erst gestartet wurden, wenn das Tier sich in der Gangart eingefunden hatte und gleichmäßig und entspannt vorwärts ging, kann die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden, dass die Hunde nach einem längeren Training mit mehreren Übungseinheiten zu unterschiedlichen Zeitpunkten noch natürlicher gegangen wären. Fanchon (2009) konnte zeigen, dass

Gewöhnung an ein Laufband bereits bei der 1. Trainingseinheit eintritt und zu wiederholbaren Ergebnissen mit geringer Varianz führt. Clements (2005) sagt, dass die Messwerte von Labrador Retrievern auch nach mehreren Aufnahmen nicht gut reproduzierbar sind. Er startete jedoch die jeweilige Aufnahme mit dem Beginn des Laufes, das heißt, der einzelne Hund konnte sich nicht erst in der Gangart einfinden.

Dass die Methode der Markeradhäsion aufgrund der Hautverschieblichkeit einer gewissen Ungenauigkeit der Messwerte unterliegt und nicht exakt die Bewegung des darunterliegenden Knochenpunkts beschreibt ist in der Literatur bekannt und wurde von verschiedenen Autoren z. B. für die Hintergliedmaße des Hundes (Kim et al. 2011), das Knie des Menschen (Benoit et al. 2006) und die Hintergliedmaße von Merinoschafen (Taylor et al. 2005) aufgezeigt. Jedoch ist der Konsens dieser Studien, dass die Abweichungen in einem absolut gleichförmigen Muster auftraten und so zu reproduzierbaren Ergebnissen führen. Die Methode besticht durch ihre geringe Invasivität und dadurch durch ihre breite klinische Einsatzfähigkeit. Im Bereich der Ganganalyse der Wirbelsäule des Pferdes hat sich die Methode der Markeradhäsion über den Dornfortsätzen bereits als sinnvoll erwiesen (Audigie et al. 1999, Licka et al. 2001, Townsend et al. 1983). Farber et al. (2001) stellten in einer Studie mit knochen- und hautfixierten Markern beim Pferd fest, dass die Hautverschieblichkeit zwar eine gewisse Auswirkungen auf die Seitwärtsbewegung im Schritt hatte, in der Sagittalebene im Schritt und in beiden Ebenen des Trabs jedoch verwertbare Werte gewonnen werden konnten. Weitere Studien, die sich gezielt mit der Hautverschieblichkeit am Rücken des Hundes befassen, sind jedoch nötig.

Die in dieser Studie verwendete Software erlaubte keine Auswertung der axialen Rotationsbewegung. An der Weiterentwicklung dieses Systems wird gearbeitet.

Aufgrund der großen Heterogenität der Rutenbewegung der Probanden war es mit der Anzahl der Patienten nicht möglich, einen kausalen Zusammenhang beweisen zu können. Jedoch war es möglich, diese zu Beschreiben und einen Einfluss auf den Rücken festzustellen.

## 6 Zusammenfassung

Diese prospektive Studie an gesunden Probanden untersuchte kinematische Parameter der Rückenbewegung von Hunden der Rasse Labrador Retriever (n = 15) und Dackel (n = 13). Die Gesundheit wurde durch eine klinische und radiologische Untersuchung sowie die Auswertung der kinetischen Parameter überprüft.

Die Form der Bewegung betreffend konnte in der Transversalebene eine monozyklische und in der Sagittalebene eine bizyklische Bewegungsform gefunden werden. Das zeitliche Auftreten der Maxima wanderte nur in der Gangart Schritt und zwar in der Transversalebene von kranial nach kaudal und in der Sagittalebene von kaudal nach kranial. Der Trab zeichnete sich dagegen durch eine hohe Synchronität der Bewegung aus. An der Rutenbasis fand in der Transversalebene eine inverse Bewegung zur restlichen Wirbelsäule statt, was die gleichgewichtsstabilisierende Funktion der Rute unterstreicht. Diese Beobachtungen zur Rückenbewegung deckten sich mit Befunden aus diversen anderen ganganalytischen Studien an verschiedenen Säugetieren. Einen bisher nicht beschriebenen Befund stellte die Überlagerung der 1-phasigen Bewegung von einer 3-phasigen Bewegung in der Transversalebene ab der Lendenwirbelsäule bei den meisten der Hunde dar, dessen genauere Untersuchung weiteren Studien vorbehalten bleibt.

Hinsichtlich der Quantität der Rückenbewegung zeigten in der Transversalebene im Schritt beide Rassen bezogen auf die Rückenlänge einen annähernd gleichen Bewegungsumfang an allen untersuchten Punkten der Wirbelsäule. Dieser zeichnete sich durch eine Zunahme bis zum thorakolumbalen Übergang und eine Abnahme bis zum Sakrum aus.

Beim Gangartwechsel vom Schritt zum Trab fand in der Transversalebene beim Dackel eine signifikante Abnahme des Bewegungsumfangs an Brust- und Lendenwirbelsäule statt, wohingegen der Labrador Retriever annähernd den Bewegungsumfang des Schrittes beibehielt.

In der Sagittalebene zeigte der Dackel im Schritt einen von kranial nach kaudal zunehmenden Bewegungsumfang. Der Labrador Retriever zeigte zwar in der mittleren Wirbelsäule denselben ROM wie der Dackel, unterschied sich jedoch durch eine kranial und kaudal deutlich umfangreichere Bewegung. Trotzdem zeigten beide Rassen den größten Bewegungsumfang am Sakrum, was neben einer weiteren untersuchten Rasse auch für das Pferd zu gelten scheint.

Beim Gangartwechsel vom Schritt zum Trab fand bei beiden Rassen eine Zunahme des Bewegungsumfangs vor allem im mittleren Wirbelsäulenbereich statt, was wieder bezogen auf die Rückenlänge zu einem annähernd gleichen ROM führte.

Insgesamt war bei beiden Rassen der Bewegungsumfang in der Transversalebene immer gleich groß oder sogar größer als der der Sagittalebene.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, dass die beiden Rassen grundsätzlich zum gleichen Bewegungsumfang fähig sind bzw. die anatomischen Gegebenheiten einen gleichen Bewegungsumfang zumindest nicht verhindern. Trotzdem ergaben sich an gewissen Punkten entscheidende Unterschiede, die unter Einbeziehung der morphometrischen Unterschiede plausibel erscheinen. Bis auf geringe Unterschiede (z.B. 3-Phasigkeit) fügten sich die Befunde in die Ergebnisse elektromyografischer und ganganalytischer Studien beim Pferd und Hund ein.

Neben der qualitativen und quantitativen Beschreibung der Rückenbewegung wurden die mediolaterale Hüftbewegung und die Rutenbewegung mituntersucht. Hierbei zeigte der Labrador Retriever eine größere mediolaterale Hüftbewegung. Die Bewegung der Rute erwies sich auch innerhalb einer Rasse als extrem heterogen und ihre Auswirkung auf die Bewegung des Rückens war deutlich. Die genaue Auswertung derselben und Erhebung von Zusammenhängen bleibt jedoch weiteren Studien vorbehalten.

Klinische Relevanz: Kinematische Daten gesunder Hunde können mit denen von Hunden mit Gangstörungen orthopädischer oder neurologischer Herkunft verglichen werden oder es können Veränderungen verbunden mit der angewandten Therapie nachverfolgt werden. Inwieweit die erhaltenen Werte der hier gewählten Rassen auf Hunde anderer Morphometrie übertragbar sind, bleibt zu überprüfen. Interessant erscheint dem Autor hier vor allem die Untersuchung kleiner, nicht kurzbeiniger Rassen sowie großer, hochwüchsiger Rassen.

## 7 Summary

The aim of this prospective clinical study was to collect basic kinematic data about back movement in clinically, radiologically and kinetically sound dogs (Labrador Retrievers (n = 15) and Dachshunds (n = 13)). To our knowledge, no studies on how body shape affects vertebral column biomechanics in dogs have been published.

As proven by several studies on horses and other mammals we found a monocyclic motion pattern in the transversal plain and a bicyclic motion pattern in the sagittal plain. The time of occurrence of the maximal marker positions travelled from cranial to caudal in the transversal plain and from caudal to cranial in the sagittal plain in the walking gait, as opposed to trot, where movements were synchronized. At the base of the tail we found a motion sequence inverse to the rest of the spine, which emphasizes the balancing function of the tail. So far the results were in accordance with other studies on different mammals. A finding that wasn't described yet was a tricyclic movement in most of the animals in the transversal plain beginning at the lumbar region. Further studies are necessary to find reasons for this.

Regarding the quantity of back movement in the transversal plain both breeds had an almost similar ROM (in relation to length of the back) in the walking gait. ROM increased from cranial to the thoracolumbar junction and decreased further caudally. Changing from walk to trot the ROM significantly decreased for the Dachshund mainly in the mid-thoracic area whereas the ROM stayed at the same level for the Labrador Retriever.

In the sagittal plain the Dachshund showed a ROM growing from cranial to caudal. In the mid-thoracolumbar region the Labrador retriever revealed the same ROM as the Dachshund but in the cranial and caudal area it was significantly larger. Nevertheless both breeds had the largest ROM at the sacrum. Changing from walk to trot a significant increase in ROM mainly in the mid-thoracic area was observed what lead to an almost same ROM (in relation to length of the back) in both breeds. Overall the ROM in the sagittal plain never exceeded the ROM in the transversal plain.

In summary, it can be stated that both breeds are at least able to show similar ROM in both plains despite their anatomical differences. Still there are significant differences at some points which seem to be plausible watching the morphometric differences. Except for some differences (e.g. tricyclic motion pattern) the findings were matching the results of other electromyographic and gait analysis studies in dogs and horses.

Beside the movement of the back, mediolateral movement of the hip and movement of the tail were examined suggesting an influence of back movement. The medio-lateral movement of the hip was greater in the Labrador Retriever. Tail-movement showed to be heterogeneous even among dogs of the same breed. Although a strong influence of the tail movement could be seen, no definite conclusion could be drawn mainly because of the small sample size. More studies are necessary to evaluate the interaction between tail and back.

Clinical relevance: Kinematic data from clinically sound dogs can be used for comparison with data from dogs with gait disturbances associated with orthopedic or neurologic disease or changes associated with therapy. Our results provide initial kinematic information on motion of the entire spine in Labrador Retrievers and Dachhunds. Further studies will have to show how far this data can be used for comparison with similar measurements in other canine breeds and in dogs with orthopedic or neurological disease.

## 8 Anhang

Untersuchungsprotokoll für:

--

### 1) Allgemeine Untersuchung

AB		Atmung	
Temperatur		Lunge	
SH		Herz	
KFZ		Puls	
LK		BCS	
Abdomen		Gewicht	

### 2) Orthopädische Untersuchung

im Stand und Gang

	ja	Nein
Lahmheit		
Entlastung im Stand		
propriozeptives Defizit		
Halsbiegung/-streckung		
Palpation Wirbelsäule		
Muskelatrophie/-asymmetrie		
vermehrte Gelenkfüllung		
Patella luxierbar		

Vordergliedmaßen

	links			Rechts		
Palpationsschmerz						
	Flexion	Extension	Seitenstabilität	Flexion	Extension	Seitenstabilität
- Karpus						
- Ellbogen						
- Schulter						
Koronoidprobe						
Bizepsprobe						
Flexorreflex						

## Hintergliedmaßen

	links			Rechts		
Palpationsschmerz						
	Flexion	Extension	Seitenstabilität	Flexion	Extension	Seitenstabilität
- Tarsus						
- Knie						
- Hüfte						
Tibiakompressionstest						
Schubladentest						
Flexorreflex						

### 3) sonstige Daten

Widerristhöhe	
Kruppenhöhe	
Rückenlänge	
Oberschenkelumfang	

### 4) Röntgenuntersuchung

HWS lateral	
BWS lateral	
LWS lateral	
Schulter bis Ellbogen mediolateral rechts	
Schulter bis Ellbogen mediolateral links	
Knie bis Tarsus mediolateral rechts	
Knie bis Tarsus mediolateral links	
Becken ventrodorsal	

## 9 Literaturverzeichnis

### **Arthurs G**

Orthopaedic examination of the dog.

In Practice. 2011a; 33(3): 126-133

### **Arthurs G**

Orthopaedic examination of the dog.

In Practice. 2011b; 33(4): 172-179

### **Audigié F, Pourcelot P, Degueurce C, Denoix JM, Geiger D**

Kinematics of the equine back: flexion-extension movements in sound trotting horses.

Equine Vet J Suppl. 1999; 30: 210-213

### **Ball MU, McGuire JA, Swaim SF, Hoerlein BF**

Patterns of occurrence of disk disease among registered dachshunds.

J Am Vet Med Assoc. 1982; 180(5): 519-522

### **Benoit DL, Ramsey DK, Lamontagne M, Xu L, Wretenberg P, Renström P**

Effect of skin movement artifact on knee kinematics during gait and cutting motions measured in vivo.

Gait Posture. 2006; 24(2): 152-164

### **Bertram JE, Lee DV, Case HN, Todhunter RJ**

Comparison of the trotting gaits of Labrador Retrievers and Greyhounds.

Am J Vet Res. 2000; 61(7): 832-838

### **Besancon MF, Conzemius MG, Evans RB, Ritter MJ**

Distribution of vertical forces in the pads of Greyhounds and Labrador Retrievers during walking.

Am J Vet Res. 2004; 65(11): 1497-1501

### **Bray JP, Burbidge HM**

The canine intervertebral disk: part one: structure and function.

J Am Anim Hosp Assoc. 1998a; 34(1): 55-63

**Bray JP, Burbidge HM**

The canine intervertebral disk. Part Two: Degenerative changes-nonchondrodystrophoid versus chondrodystrophoid disks.

J Am Anim Hosp Assoc. 1998b; 34(2): 135-144

**Breit S**

Functional adaptations of facet geometry in the canine thoracolumbar and lumbar spine (Th10-L6).

Ann Anat. 2002; 184(4): 379-385

**Breit S, Künzel W**

Breed specific osteological features of the canine lumbosacral junction.

Ann Anat. 2001; 183(2): 151-157

**Breit S, Künzel W**

The position and shape of osteophyte formations at canine vertebral endplates and its influence on radiographic diagnosis.

Anat Histol Embryol. 2001; 30(3): 179-184

**Breit S, Künzel W**

Shape and orientation of articular facets of cervical vertebrae (C3-C7) in dogs denoting axial rotational ability: an osteological study.

Eur J Morphol. 2002; 40(1): 43-51

**Budras K-D**

Atlas der Anatomie des Hundes. Lehrbuch für Tierärzte und Studierende.

Hannover: Schlütersche; 2004

**Budsberg SC, Jevens DJ, Brown J, Foutz TL, DeCamp CE, Reece L**

Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs.

Am J Vet Res. 1993; 54(10): 1569-1574

**Budsberg SC, Verstraete MC, Brown J, Reece L**

Vertical loading rates in clinically normal dogs at a trot.

Am J Vet Res. 1995; 56(10): 1275-1280

**Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW**

Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs.

Am J Vet Res. 1987; 48(6): 915-918

**Bürger R, Lang J**

Kinetic study of the lumbar vertebrae and the lumbosacral passage in German shepherd dogs. 1. Functional anatomy and kinetic foundation.

Schweiz Arch Tierheilkd. 1992; 134(9): 411-416

**Bürger R, Lang J**

Kinetic studies of the lumbar vertebrae and the lumbosacral transition in the German shepherd dog. 2. Our personal investigations.

Schweiz Arch Tierheilkd. 1993; 135(2): 35-43

**Burk RL**

Problems in the radiographic interpretation of intervertebral disc disease in the dog.

Probl Vet Med. 1989; 1(3): 381-401

**Carlson H, Halbertsma J, Zomlefer M**

Control of the trunk during walking in the cat.

Acta Physiol Scand. 1979; 105(2): 251-253

**Clements DN, Owen MR, Carmichael S, Reid SW**

Kinematic analysis of the gait of 10 labrador retrievers during treadmill locomotion.

Vet Rec. 2005; 156(15): 478-481

**Colborne GR, Walker AM, Tattersall AJ, Fuller CJ**

Effect of trotting velocity on work patterns of the hind limbs of Greyhounds.

Am J Vet Res. 2006; 67(8): 1293-1298

**Dabanoglu I, Kara ME, Turan E, Ocal MK**

Morphometry of the thoracic spine in German shepherd dog: a computed tomographic study.

Anat Histol Embryol. 2004; 33(1): 53-58

**Dalin G, Drevemo S, Fredricson I, Jonsson K, Nilsson G**

Ergonomic aspects of locomotor asymmetry in standardbred horses trotting through turns. An investigation with special reference to the fetlock joint, using high-speed cinematography and thermography.

Acta Vet Scand Suppl. 1973; 44(0): 111-139

**Dalin G, Jeffcott LB**

Locomotion and gait analysis.

Vet Clin North Am Equine Pract. 1985; 1(3): 549-572

**DeCamp CE**

Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1997; 27(4): 825-840

**DeCamp CE, Soutas-Little RW, Hauptman J, Olivier B, Braden T, Walton A**

Kinematic gait analysis of the trot in healthy greyhounds.

Am J Vet Res. 1993; 54(4): 627-634

**Drevemo S, Dalin G, Fredricson I, Hjertén G**

Equine locomotion; 1. The analysis of linear and temporal stride characteristics of trotting standardbreds.

Equine Vet J. 1980; 12(2): 60-65

**Evans R, Horstman C, Conzemius M**

Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait.

Vet Surg. 2005; 34(5): 445-449

**Faber M, Johnston C, Schamhardt H, van Weeren R, Roepstorff L, Barneveld A**

Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses trotting on a treadmill.

Am J Vet Res. 2001; 62(5): 757-764

**Faber M, Schamhardt H, van Weeren R, Johnston C, Roepstorff L, Barneveld A**

Basic three-dimensional kinematics of the vertebral column of horses walking on a treadmill.

Am J Vet Res. 2000; 61(4): 399-406

**Fanchon L, Grandjean D**

Habituation of healthy dogs to treadmill trotting: repeatability assessment of vertical ground reaction force.

Res Vet Sci. 2009; 87(1): 135-139

**Farber M, Schamhardt H, van Weeren R, Barneveld A**

Methodology and validity of assessing kinematics of the thoracolumbar vertebral column in horses on the basis of skin-fixated markers.

Am J Vet Res. 2001; 62(3): 301-306

**Fédération Cynologique Internationale**

FCI - Standard Nr. 148, Dachshund (2001).

Im Internet: <http://www.fci.be/nomenclature.aspx>; Stand: 06.02.2012

**Fédération Cynologique Internationale**

FCI - Standard Nr. 122, Labrador Retriever (2012).

Im Internet: <http://www.fci.be/nomenclature.aspx>; Stand: 06.02.2012

**Geary JC**

Canine spinal lesions not involving discs.

J Am Vet Med Assoc. 1969; 155(12): 2038-2044

**Gillette RL, Angle TC**

Recent developments in canine locomotor analysis: a review.

Vet J. 2008; 178(2): 165-176

**Gillette RL, Zebas CJ**

A two-dimensional analysis of limb symmetry in the trot of Labrador retrievers.

J Am Anim Hosp Assoc. 1999; 35(6): 515-520

**Gough A, Thomas A**

Rassedispositionen bei Hund und Katze.

München: Elsevier, Urban & Fischer; 2009

**Gradner G, Bockstahler B, Peham C, Henninger W, Podbregar I**

Kinematic study of back movement in clinically sound malinois dogs with consideration of the effect of radiographic changes in the lumbosacral junction.

Vet Surg. 2007; 36(5): 472-481

**Hansen HJ**

A pathologic-anatomical interpretation of disc degeneration in dogs.

Acta Orthop Scand. 1951; 20(4): 280-293

**Hansen HJ**

A pathologic-anatomical study on disc degeneration in dog, with special reference to the so-called enchondrosis intervertebralis.

Acta Orthop Scand Suppl. 1952; 11: 1-117

**Hatze H**

Letter: The meaning of the term "biomechanics".

J Biomech. 1974; 7(2): 189-190

**Haussler KK, Bertram JE, Gellman K, Hermanson JW**

Segmental in vivo vertebral kinematics at the walk, trot and canter: a preliminary study.

Equine Vet J Suppl. 2001(33): 160-164

**Herzog W, Nigg BM, Read LJ, Olsson E**

Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait.

Med Sci Sports Exerc. 1989; 21(1): 110-114

**Hildebrand M**

Symmetrical gaits of dogs in relation to body build.

J Morphol. 1968; 124(3): 353-360

**Hottinger HA, DeCamp CE, Olivier NB, Hauptman JG, Soutas-Little RW**

Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs.

Am J Vet Res. 1996; 57(3): 381-388

**Hutton WC, England JP**

The femoral head prosthesis and the dog.

J Small Anim Pract. 1969b; 10(2): 79-85

**Hutton WC, Freeman MA, Swanson SA**

The forces exerted by the pads of the walking dog.

J Small Anim Pract. 1969a; 10(2): 71-77

**Jadeson WJ**

Rehabilitation of dogs with intervertebral disk lesions.

J Am Vet Med Assoc. 1961; 138: 411-423

**Janssens LA**

Cervical disk hernia in dogs: a review.

Tijdschr Diergeneeskd. 1990; 115(5): 199-206

**Jeffcott LB, Dalin G, Drevemo S, Fredricson I, Björne K, Bergquist A**

Effect of induced back pain on gait and performance of trotting horses.

Equine Vet J. 1982; 14(2): 129-133

**Jensen VF, Christensen KA**

Inheritance of disc calcification in the dachshund.

J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med. 2000; 47(6): 331-340

**Jevens DJ, Hauptman JG, DeCamp CE, Budsberg SC, Soutas-Little RW**

Contributions to variance in force-plate analysis of gait in dogs.

Am J Vet Res. 1993; 54(4): 612-615

**Johnson JA, da Costa RC, Bhattacharya S, Goel V, Allen MJ**

Kinematic motion patterns of the cranial and caudal canine cervical spine.

Vet Surg. 2011; 40(6): 720-727

**Johnson AL, Probst CW, DeCamp CE, Rosenstein DS, Hauptman JG, Kern TL**

Vertical position of the patella in the stifle joint of clinically normal large-breed dogs.

---

Am J Vet Res. 2002; 63(1): 42-46

**Kafkafi N, Golani I**

A traveling wave of lateral movement coordinates both turning and forward walking in the ferret.

Biol Cybern. 1998; 78(6): 441-453

**Kim SY, Kim JY, Hayashi K, Kapatkin AS**

Skin movement during the kinematic analysis of the canine pelvic limb.

Vet Comp Orthop Traumatol. 2011; 24(5): 326-332

**van Klaveren NJ, Suwankong N, De Boer S, van den Brom WE, Voorhout G, Hazewinkel HA, Meij BP**

Force plate analysis before and after dorsal decompression for treatment of degenerative lumbosacral stenosis in dogs.

Vet Surg. 2005; 34(5): 450-456

**Koppel E, Rein D**

Lumbosacral instability. The cauda equina compression syndrome in dogs.

Tierarztl Prax. 1992; 20(6): 637-645

**Laflamme D**

Development and validation of a body condition score system for dogs.

Canine practice. 1997; 22(4): 10-15

**Lang B**

Bewegungsmessungen an der Wirbelsäule von Hund u. Katze.

Diss. med. vet. , Gießen, 1972

**Larche WD**

Der Einfluss mechanischer und funktioneller Faktoren auf das Angehen des Hundes.

Diss. med. vet, Gießen, 1962

**Leach D**

Recommended terminology for researchers in locomotion and biomechanics of quadrupedal animals.

Acta Anat (Basel). 1993; 146(2-3): 130-136

**Leach D, Sumner-Smith G, Dagg AI**

Diagnosis of lameness in dogs: a preliminary study.

Can Vet J. 1977; 18(3): 58-63

**Levine SH, Caywood DC**

Recurrence of neurological deficits in dogs treated for thoracolumbar disk disease.

J Am Anim Hosp Assoc. 1983; 20 889-894

**Levine JM, Levine GJ, Kerwin SC, Hettlich BF, Fosgate GT**

Association between various physical factors and acute thoracolumbar intervertebral disk extrusion or protrusion in Dachshunds.

J Am Vet Med Assoc. 2006b; 229(3): 370-375

**Levine GJ, Levine JM, Walker MA, Pool RR, Fosgate GT**

Evaluation of the association between spondylosis deformans and clinical signs of intervertebral disk disease in dogs: 172 cases (1999-2000).

J Am Vet Med Assoc. 2006a; 228(1): 96-100

**Licka T, Peham C, Zohmann E**

Range of back movement at trot in horses without back pain.

Equine Vet J Suppl. 2001(33): 150-153

**Licka TF, Peham C, Zohmann E**

Treadmill study of the range of back movement at the walk in horses without back pain.

Am J Vet Res. 2001; 62(7): 1173-1179

**Matthias Haab**

Das Skelett (2009).

Im Internet: <http://www.dachshundklub.de/dwh/der-rassestandard/illustrationen-aktuell;>

Stand: 20.2.2012

**Meij BP, Suwankong N, Van der Veen AJ, Hazewinkel HA**

Biomechanical flexion-extension forces in normal canine lumbosacral cadaver specimens before and after dorsal laminectomy-discectomy and pedicle screw-rod fixation.

Vet Surg. 2007; 36(8): 742-751

**Mogensen MS, Karlskov-Mortensen P, Proschowsky HF, Lingaas F, Lappalainen A, Lohi H, Jensen VF, Fredholm M**

Genome-wide association study in dachshund: identification of a major locus affecting intervertebral disc calcification.

J Hered. 2011; 102: S81-S86

**Morgan JP, Atilola M, Bailey CS**

Vertebral canal and spinal cord mensuration: a comparative study of its effect on lumbosacral myelography in the dachshund and German shepherd dog.

J Am Vet Med Assoc. 1987; 191(8): 951-957

**Morgan JP, Ljunggren G, Read R**

Spondylosis deformans (vertebral osteophytosis) in the dog. A radiographic study from England, Sweden and U.S.A.

J Small Anim Pract. 1967; 8(2): 57-66

**Morgan JP, Wind A, Davidson AP**

Bone dysplasias in the labrador retriever: a radiographic study.

J Am Anim Hosp Assoc. 1999; 35(4): 332-340

**Nickel R, Schummerle A, Wille K-H, Wilkens H**

Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem.

In: Frewein J, Wille K-H and Wilkens H: Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band I Bewegungsapparat.

Stuttgart: Parey; 2004

**Nordquist B, Fischer J, Kim SY, Stover SM, Garcia-Nolen T, Hayashi K, Liu J, Kapatkin AS**

Effects of trial repetition, limb side, intraday and inter-week variation on vertical and craniocaudal ground reaction forces in clinically normal Labrador Retrievers.

Vet Comp Orthop Traumatol. 2011; 24(6): 435-444

**Off W, Matis U**

Ganganalyse beim Hund. Teil 1: Dynamometrische und kinemetrische Messverfahren und ihre Anwendung beim Tetrapoden.

Tierarztl Prax. 1997a; 25(1): 8-14

**Off W, Matis U**

Ganganalyse beim Hund. Teil 2: Aufbau eines Ganglabors und bewegungsanalytische Untersuchungen.

Tierarztl Prax. 1997b; 25(4): 303-311

**Olsson SE**

On disc protrusion in dog (enchondrosis intervertebralis); a study with special reference to roentgen diagnosis and to the value of disc fenestration.

Acta Orthop Scand Suppl. 1951; 8: 1-95

**Pandy MG, Kumar V, Berme N, Waldron KJ**

The dynamics of quadrupedal locomotion.

J Biomech Eng. 1988; 110(3): 230-237

**Peham C, Licka T, Mayr A, Scheidl M, Girtler D**

Speed dependency of motion pattern consistency.

J Biomech. 1998; 31(9): 769-772

**Poy NS, DeCamp CE, Bennett RL, Hauptman JG**

Additional kinematic variables to describe differences in the trot between clinically normal dogs and dogs with hip dysplasia.

Am J Vet Res. 2000; 61(8): 974-978

**Raith AK**

Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes - Eine Reevaluierung.

Diss. med. vet, München, 2010

**Robert C, Valette JP, Pourcelot P, Audigié F, Denoix JM**

Effects of trotting speed on muscle activity and kinematics in saddlehorses.

Equine Vet J Suppl. 2002(34): 295-301

**Robinson RO, Herzog W, Nigg BM**

Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry.

J Manipulative Physiol Ther. 1987; 10(4): 172-176

**Rohdin C, Jeserevic J, Viitmaa R, Cizinauskas S**

Prevalence of radiographic detectable intervertebral disc calcifications in Dachshunds surgically treated for disc extrusion.

Acta Vet Scand. 2010; 52: 24

**Roy WE**

Examination of the canine locomotor system.

Vet Clin North Am. 1971; 1(1): 53-70

**Rumph PF, Lander JE, Kincaid SA, Baird DK, Kammermann JR, Visco DM**

Ground reaction force profiles from force platform gait analyses of clinically normal mesomorphic dogs at the trot.

Am J Vet Res. 1994; 55(6): 756-761

**Scharvogel S**

Klinisch-orthopädischer Untersuchungsgang.

In: Kramer M: Kompendium der Allgemeinen Veterinärchirurgie.

Hannover: Schlütersche; 2004

**Schilling N**

Evolution of the axial system in craniates: morphology and function of the perivertebral musculature.

Front Zool. 2011; 8(1): 4

**Schilling N, Carrier DR**

Function of the epaxial muscles during trotting.

J Exp Biol. 2009; 212(Pt 7): 1053-1063

**Schilling N, Carrier DR**

Function of the epaxial muscles in walking, trotting and galloping dogs: implications for the evolution of epaxial muscle function in tetrapods.

---

J Exp Biol. 2010; 213(Pt 9): 1490-1502

**Schilling N, Hackert R**

Sagittal spine movements of small therian mammals during asymmetrical gaits.

J Exp Biol. 2006; 209(Pt 19): 3925-3939

**Schwartau K**

Thorakolumbale Bandscheibenvorfälle beim Hund. Klinische und röntgenologische Untersuchungen vor und nach einer Hemilaminektomie.

Diss. med. vet. , Berlin, 1996

**Seiferle E, Frewein J**

Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem.

In: Frewein J, Wille K-H and Wilkens H: Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band I Bewegungsapparat.

Stuttgart: Parey; 2004

**Slijper EJ**

Comparative biological-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals.

Tabulae Biol. 1946; 21(1): 1-81

**Stigen O**

Calcification of intervertebral discs in the dachshund. A radiographic study of 327 young dogs.

Acta Vet Scand. 1991; 32(2): 197-203

**Stigen O**

Calcification of intervertebral discs in the dachshund: a radiographic study of 115 dogs at 1 and 5 years of age.

Acta Vet Scand. 1996; 37(3): 229-237

**Stigen O, Christensen K**

Calcification of intervertebral discs in the dachshund: an estimation of heritability.

Acta Vet Scand. 1993; 34(4): 357-361

**Stigen O, Kolbjornsen O**

Calcification of intervertebral discs in the dachshund: a radiographic and histopathologic study of 20 dogs.

Acta Vet Scand. 2007; 49: 39

**Suwankong N, Meij BP, Van Klaveren NJ, Van Wees AM, Meijer E, Van den Brom WE, Hazewinkel HA**

Assessment of decompressive surgery in dogs with degenerative lumbosacral stenosis using force plate analysis and questionnaires.

Vet Surg. 2007; 36(5): 423-431

**Taylor WR, Ehrig RM, Duda GN, Schell H, Seebeck P, Heller MO**

On the influence of soft tissue coverage in the determination of bone kinematics using skin markers.

J Orthop Res. 2005; 23(4): 726-734

**Townsend HG, Leach DH, Fretz PB**

Kinematics of the equine thoracolumbar spine.

Equine Vet J. 1983; 15(2): 117-122

**Unkel-Mohrmann F**

Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes.

Diss. med. vet., München, 1999

**Voss K, Imhof J, Kaestner S, Montavon PM**

Force plate gait analysis at the walk and trot in dogs with low-grade hindlimb lameness.

Vet Comp Orthop Traumatol. 2007; 20(4): 299-304

**Waibl H, Mayrhofer E, Matis U, Brunenberg L, Köstlin R**

Atlas der Röntgenanatomie des Hundes.

Stuttgart: Parey; 2005

**Walker TL, Gage ED, Selcer RR**

Disorders of the spinal cord and spine of the geriatric patient.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1981; 11(4): 765-786

**Wennerstrand J, Johnston C, Roethlisberger-Holm K, Erichsen C, Eksell P, Drevemo S**

Kinematic evaluation of the back in the sport horse with back pain.

Equine Vet J. 2004; 36(8): 707-711

**Westworth DR, Sturges BK**

Congenital spinal malformations in small animals.

Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2010; 40(5): 951-981

## 10 Danksagung

Danksagen möchte ich an erster Stelle meiner Doktormutter Frau Prof. Dr. Dr. med. vet. habil. U. Matis für das Überlassen dieses außerordentlich interessanten Themas. Es ist mir eine besondere Ehre, dass sie mir diese Arbeit noch kurz vor dem Beginn ihres Ruhestandes anvertraut hat.

Danken möchte ich auch Frau Prof. Dr. A. Meyer-Lindenberg, die es mir nach dem Ausscheiden von Frau Prof. Dr. Dr. med. vet. habil. U. Matis weiterhin ermöglichte, die Ressourcen der Klinik zu nutzen.

Mein herzlichster Dank gilt der Leiterin des Ganganalyselabors der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik Dr. Stephanie Steigmeier, ohne deren persönliches Engagement und unermüdlichen Einsatz diese Arbeit nicht entstanden wäre. Ihre Begeisterung für die Sache und ihr Erfahrungsschatz waren unverzichtbar.

Ohne die Mithilfe der radiologischen Abteilung der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik wäre diese Arbeit gleichfalls nicht möglich gewesen. Danke an alle Mitarbeiter, die mir dabei geholfen haben, meine Aufnahmen anzufertigen.

Danke an Herrn Privatdozent Dr. Reese, der mir bei der statistischen Auswertung der Daten zur Seite stand.

Besonderer Dank gilt den Besitzern der Studienpatienten, die trotz der einwandfreien Gesundheit ihrer Tiere den Weg in die Klinik auf sich nahmen. Hervorheben möchte ich hier die Mitglieder des Bayerischen Dachshundklubs Sektion München und meinen Kollegen Cyrill Maternaes.

Meinem Freund Josef Schweizer und meiner besten Freundin und Kollegin Malin Olson, die mich mit ihrer Geduld unterstützten und meine Begeisterung für das Thema teilten sowie meinen Eltern, die mich in der Phase der Niederschrift finanziell unterstützt haben, möchte ich herzlich danken.

Meinen Kollegen Björn Berger und Christian Grossmann danke ich für die Hilfe an terminreichen Tagen im Ganganalyselabor.