

**Die Auswirkungen der subklinischen Ellbogendysplasie auf  
das Gangbild des Labrador Retrievers**

von Christian Senckenberg

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

**Die Auswirkungen der subklinischen Ellbogendysplasie auf  
das Gangbild des Labrador Retrievers**

von Christian Senckenberg

aus München

München, 2016

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

Lehrstuhl: Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. A. Meyer-  
Lindenberg

Mitbetreuung durch: Dr. Stephanie Steigmeier-Raith

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

**Dekan:** Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

**Berichterstatter:** Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

**Korreferent/en:** Univ.-Prof. Dr. Cordula Poulsen Nautrup

**Tag der Promotion:** 16. Juli 2016

Meinen Eltern und meinen beiden Großmüttern

## **INHALTSVERZEICHNIS**

<b>I.</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>II.</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>2</b>
	<b>2.1 Rassegeschichte des Labrador Retrievers .....</b>	<b>2</b>
	<b>2.2 Anatomie des Ellbogengelenks.....</b>	<b>2</b>
	2.2.1 Knöcherner Strukturen .....	2
	2.2.2 Muskulatur .....	4
	2.2.3 Gelenke .....	6
	2.2.4 Bänder .....	7
	2.2.5 Gelenkkapsel.....	8
	2.2.6 Biomechanik des Ellbogengelenks .....	8
	2.2.7 Entwicklung des Ellbogengelenks .....	10
	<b>2.3 Ellbogendysplasie .....</b>	<b>11</b>
	2.3.1 Ätiologie.....	11
	2.3.1.1 Osteochondrosis dissecans (OCD).....	12
	2.3.1.2 Inkongruenz des Ellbogengelenks .....	13
	2.3.1.3 Fragmentierter Processus coronoideus medialis ulnae (FPC).....	14
	2.3.1.4 Isolierter Processus anconaeus (IPA).....	15
	2.3.2 Symptome und Klinik .....	16
	2.3.3 Diagnostik .....	17
	2.3.4 Therapie.....	20
	2.3.5 Ellbogendysplasie beim Labrador Retriever .....	21
	<b>2.4. Die Gangbildanalyse .....</b>	<b>22</b>
	2.4.1 Statik .....	23
	2.4.2 Bewegung (Dynamik) .....	25
	2.4.2.1 Zeitliche Abläufe der Bewegung .....	25
	2.4.2.2 Kinetik.....	27
	2.4.2.3 Kinematik.....	29
	2.4.3 Studien zur Ganganalyse bei Hunden/Labrador Retrievern.....	34
<b>III.</b>	<b>PATIENTENGUT, MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>36</b>
	<b>3.1 Auswahl der Hunde .....</b>	<b>36</b>

---

<b>3.2 Klinische Untersuchungen .....</b>	<b>37</b>
<b>3.3 Radiologische Untersuchung.....</b>	<b>38</b>
<b>3.4 Ganganalytische Untersuchung .....</b>	<b>39</b>
3.4.1 Technische Ausstattung des Ganglabors.....	39
3.4.2 Durchführung .....	40
<b>3.5 Verarbeitung der erhobenen Daten.....</b>	<b>42</b>
<b>3.6 Statistik .....</b>	<b>47</b>
<b>IV. ERGEBNISSE .....</b>	<b>48</b>
<b>4.1 Morphologische Patientendaten .....</b>	<b>48</b>
<b>4.2 Kinetik.....</b>	<b>50</b>
4.2.1 Vertikale Spitzenkraft .....	50
4.2.2 Vertikaler Impuls .....	51
4.2.3 Symmetrie-Index .....	51
4.2.4. Gewichtsverteilung .....	54
<b>4.3 Kinematik .....</b>	<b>55</b>
4.3.1 Schultergelenkwinkel.....	55
4.3.2 Ellbogengelenkwinkel.....	57
4.3.3 Karpalgelenkwinkel .....	59
4.3.4 Winkelgeschwindigkeit Schultergelenk.....	61
4.3.5 Winkelgeschwindigkeit Ellbogengelenk.....	63
4.3.6 Winkelgeschwindigkeit Karpalgelenk .....	65
<b>V. DISKUSSION .....</b>	<b>68</b>
<b>5.1 Kinetik.....</b>	<b>68</b>
<b>5.2 Kinematik .....</b>	<b>69</b>
5.2.1 Gelenkwinkel .....	69
5.2.2 Winkelgeschwindigkeit.....	71
<b>5.3 Patientengut und Zielsetzung.....</b>	<b>73</b>
<b>5.4 Limitationen der Studie und Ausblick.....</b>	<b>75</b>
<b>VI. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>79</b>
<b>VII. SUMMARY.....</b>	<b>82</b>

---

<b>VIII.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>84</b>
<b>IX.</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>110</b>
<b>9.1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>110</b>
<b>9.2</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>112</b>
<b>9.3</b>	<b>Untersuchungsprotokoll .....</b>	<b>113</b>
<b>9.4</b>	<b>Tabellen.....</b>	<b>117</b>
<b>X.</b>	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>129</b>

**ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS**

Abb.	Abbildung
Abf.	Abfüßen
BRK	Bodenreaktionskraft
cm	Zentimeter
bzw.	beziehungsweise
ED	Ellbogendysplasie
ECVDI	European College of Veterinary Diagnostic Imaging
FPC	Fragmentierter Processus coronoideus medialis
Fx	medio-laterale Bodenreaktionskraft
Fy	kranio-kaudale Bodenreaktionskraft
Fz	vertikale Bodenreaktionskraft
GRF	Ground Reaction Forces
GW	Gewichtsverteilung
HD	Hüftgelenkdysplasie
hik	Hintergliedmaße: erkrankte Seite
hiknk	hinten kranke gegen nicht kranke Seite
hink	Hintergliedmaße: nicht erkrankte Seite
IEWG	International Elbow Working Group
IPA	Isolierter Processus anconaeus
k	erkrankte Seite
Kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
KI	Konfidenzintervall
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität München

---

Max	Maximum
Min	Minimum
m/s	Meter pro Sekunde
MW	Mittelwert
nk	nicht erkrankte Seite
OCD	Osteochondrosis dissecans
PCMU	Processus coronoideus medialis ulnae
PVF	Peak Vertical Force
p-Wert	Signifikanzwert
rel. Diff.	relative Differenz
ROM	Range of motion
s	Sekunde
SD	Standardabweichung
SI	Symmetrie-Index
Tab.	Tabelle
TOO	Time of occurrence
vgl.	vergleiche
VI	Vertikaler Impuls der vertikalen Bodenreaktionskraft
vok	Vordergliedmaße: erkrankte Seite
vokhik	vorne kranke gegen hinten kranke Seite
vokhink	vorne kranke gegen hinten nicht kranke Seite
voknk	vorne kranke gegen nicht kranke Seite
vonkhik	vorne nicht kranke gegen hinten kranke Seite
vonkhink	vorne nicht kranke gegen hinten nicht kranke Seite
vonk	Vordergliedmaße: nicht kranke Seite

WG      Winkelgeschwindigkeit

z. B.      zum Beispiel

## I. EINLEITUNG

Der Labrador Retriever ist ein sehr populärer Hund in Deutschland, der unter anderem als Jagdhund, Drogenspürhund, Therapiehund, Rettungshund, Blindenführhund, Sporthund (Agility) und natürlich als Familienhund Verwendung findet. Aufgrund seiner Fülle an Einsatzmöglichkeiten wird vielen dieser Hunde über einen langen Zeitraum eine hohe Leistung abverlangt. Vor allem der Bewegungsapparat wird bei einigen Tätigkeiten sehr stark beansprucht. Da die Ausbildung oft mit enormen Kosten verbunden ist, versucht man ausschließlich mit klinisch gesunden Tieren zu arbeiten. Oft werden jedoch subklinische Veränderungen nicht frühzeitig erkannt, sodass auch mit subklinisch erkrankten Hunden unbeabsichtigter Weise gezüchtet wird.

Eine der häufigsten Ursachen für ein verändertes Gangbild bei schnell und groß wachsenden, schweren Hunderassen, wie dem Labrador Retriever, stellt die ED dar (Grondalen, 1979b; Olsson, 1983; Kirberger und Fourie, 1998; LaFond et al., 2002; Coopman et al., 2008). Um das Gangbild eines Tieres bestmöglich beurteilen zu können, bietet sich die Gangbildanalyse als ein objektives, reproduzierbares und nicht invasives Mittel an (Budsberg et al., 1996; Off und Matis, 1997a).

Viele Studien arbeiten und befassen sich mit ganganalytischen Untersuchungen bei Hunden (Budsberg et al., 1987; Gillette und Zebas, 1999; Clements et al., 2005; Bockstahler et al., 2009). Jedoch untersuchen fast alle diese Studien das Gangbild von gesunden oder bereits erkrankten Tieren. Ganganalytische Daten zur subklinischen ED existieren in der zugänglichen Literatur bisher nicht. Ziel dieser Studie ist es daher zu betrachten, ob mithilfe der instrumentierten Gangbildanalyse Unterschiede im Gangbild zwischen gesunden und subklinisch an ED erkrankten Labrador Retrievern definiert werden können.

## **II. LITERATURÜBERSICHT**

### **2.1 Rassegeschichte des Labrador Retrievers**

Aufgrund seiner Vielfältigkeit gehört der Labrador Retriever zu einer der am weitesten verbreiteten Hunderassen. Dem American Kennel Club nach zu urteilen, ist der Labrador Retriever in den USA der beliebteste Hund der letzten 6 Jahre (2009-2014) (Smith, 2015). Auch in Deutschland gehört er nach Anzahl der neugeborenen Welpen 2014 zu den 4 beliebtesten Hunderassen (VDH, 2014). Es wird vermutet, dass der Ursprung des Labrador Retrievers an der Küste Neufundlands liegt (Deutscher Retriever Club, 2015; Labrador Club Deutschland, 2015b). Fischer aus dieser Region benutzen ähnliche Hunde zum Apportieren von Fischen. Diese Vermutung wird durch seinen sogenannten „Otterschwanz“, sein wasserabweisendes Fell und seine Eigenschaft als hervorragender Wasserhund bekräftigt. Der erste Rassestandard wurde 1916 in Großbritannien festgelegt. Im Vergleich zu anderen Rassen ist diese eine recht junge Rasse. Die Federation Cynologique Internationale (FCI) listet den Labrador Retriever als Standardnummer 122 und teilt ihn in Gruppe 8 zu den Apportier-, Stöber- und Wasserhunden ein (Federation Cynologique Internationale, 2010). Rassemerkmale sind sein breiter Schädel, der breite und tiefe Brustkorb sowie die kurze aber starke Lendenpartie mit gut ausgeprägten Hintergliedmaßen. Es ist ein aktiver Hund, der den ausgeprägten Willen hat dem Besitzer zu gefallen und keinerlei Aggressionen zeigt. Die ideale Widerristhöhe wird beim Rüden mit 56–57 cm und bei der Hündin mit 54–56 cm angegeben. Die Fellfarbe von Labrador Retrievern kann schwarz, gelb oder schokoladenbraun sein, wobei die Farbe schwarz als einzige dominant vererbt wird (Labrador Club Deutschland, 2015a).

### **2.2 Anatomie des Ellbogengelenks**

#### **2.2.1 Knöchernen Strukturen**

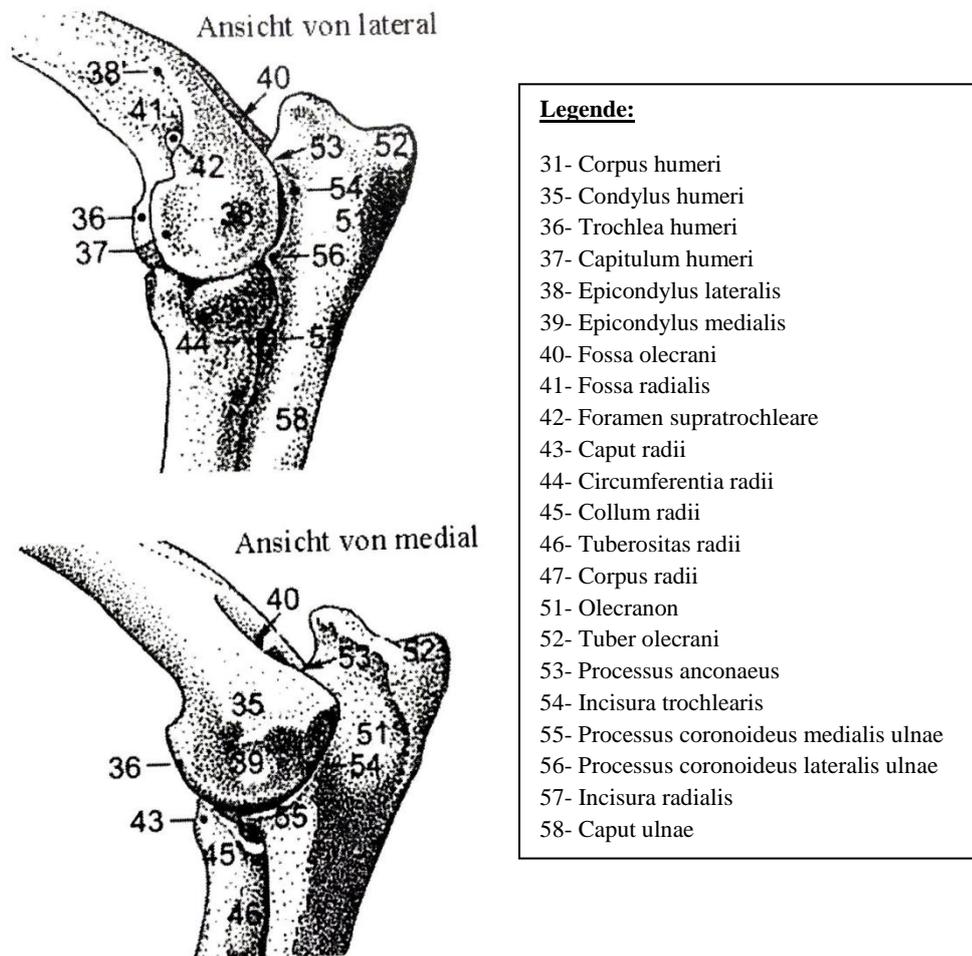
Den proximalen Anteil des Ellbogengelenks stellt der distale Anteil des Humerus dar (Nickel et al., 1992a; Liebich et al., 2005; Salomon et al., 2005; Evans und

Lahunta, 2013a). Das distale Endstück des Humerus, trägt einen Gelenkknorren, den Condylus humeri. Dieser lässt sich bei Fleischfressern in die größere mediale Gelenkrolle (Trochlea humeri) und in das laterale Köpfchen (Capitulum humeri) unterteilen. An der kaudo-medialen Seite des Condylus humeri befindet sich der Beugeknorren (Epicondylus medialis), der stärker als der kaudo-laterale Streckknorren (Epicondylus lateralis) ausgeprägt ist. Diese beiden Fortsätze dienen als Ansatz für die Seitenbänder des Ellbogengelenks, sowie als Muskelansatz für die Beuge- und Streckmuskulatur des Unterarms. Kaudal zwischen den beiden Epicondylen liegt die Fossa olecrani. Diese nimmt bei Streckung des Ellbogengelenks den Processus anconaeus der Ulna auf. Kranial des Condylus humeri befindet sich die Fossa radialis, die beim Hund in den meisten Fällen über das Foramen supratrochleare mit der Fossa olecrani verbunden ist.

Den distalen Anteil des Ellbogengelenks bilden die proximalen Anteile von Radius und Ulna (Nickel et al., 1992a; Liebich et al., 2005; Salomon et al., 2005; Evans und Lahunta, 2013a). Der Radius mit seinem proximal gelegenen Radiuskopf (Caput radii) trägt eine Gelenkfläche (Fovea capitis radii), die mit dem Condylus humeri artikuliert. Dorso-medial am Caput radii erhebt sich die Tuberositas radii, die Ansatzpunkt des Musculus biceps brachii ist. Auf beiden Seiten des Caput radii sind zudem noch Bandhöcker ausgebildet. An der kaudalen Seite des Radiuskopfs ist eine Gelenkfläche zur Ulna hin angelegt (Circumferentia articularis radii), die mit der Incisura radialis der Ulna artikuliert.

Das proximale Endstück der Ulna wird durch den Ulnakopf (Olecranon) dominiert, dessen freies Ende einen Höcker (Tuber olecrani) trägt (Nickel et al., 1992a; Liebich et al., 2005; Salomon et al., 2005; Evans und Lahunta, 2013a). Dieser Höcker dient dem Musculus triceps brachii als Ansatz. An der Basis des Olecranon findet man einen Einschnitt (Incisura trochlearis ulnae), der als Artikulationsfläche für den Condylus humeri dient. Diese Gelenkfläche wird distal und lateral durch den größeren medialen und den kleineren lateralen Kronfortsatz (Processus coronoideus ulnae medialis bzw. lateralis) und proximal von einem schnabelförmigen Fortsatz (Processus anconaeus) begrenzt. Zwischen den beiden Kronfortsätzen liegt die konkave Incisura radialis ulnae. Zusammen mit der Circumferentia articularis radii bildet sie die Grundlage für das proximale Radioulnargelenk. In Abbildung 1 sind die Knochenpunkte des Ellbogengelenks

schematisch erläutert.



**Abb. 1: Schemazeichnung von Knochen und Knochenpunkten im Bereich des Ellbogengelenkes beim Hund; aus Budras (2007).**

### 2.2.2 Muskulatur

Der Musculus biceps brachii sowie der Musculus brachialis gehören zu den Beugern des Ellbogengelenkes (Frewein, 1994; Liebich et al., 2005). Zu den Streckern des Ellbogens zählen der Musculus triceps brachii mit seinen 4 Anteilen: Caput longum, Caput laterale, Caput mediale und dem Caput accessorium sowie der Musculus anconaeus und der Musculus tensor fasciae

antebrachii.

Die nur beim Fleischfresser funktionsfähigen Muskeln des Radioulnargelenks dienen als Supinatoren bzw. Pronatoren des Unterarms (Liebich et al., 2005). Zu den Supinatoren werden der Musculus brachioradialis und der Musculus supinator gezählt. Zu den Pronatoren des Unterarms gehören der Musculus pronator teres und der Musculus pronator quadratus (Frewein, 1994; Liebich et al., 2005).

In Tabelle 1 sind die Muskeln des Ellbogengelenks und des Radioulnargelenks mit ihrem jeweiligen Ursprung, Ansatz sowie deren Hauptfunktion dargestellt.

**Tab. 1: Muskeln des Ellbogengelenks; nach Frewein (1994) und Liebich et al. (2005).**

<b>Muskel</b>	<b>Ursprung</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Hauptfunktion</b>
Musculus biceps brachii	Tuberculum supraglenoidale scapulae	Tuberositas radii und Processus coronoideus medialis ulnae	Beuger des Ellbogengelenks
Musculus brachialis	Kaudal am Collum humeri	Processus coronoideus medialis und Tuberositas radii	Beuger des Ellbogengelenks
Musculus triceps brachii	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caput longum</li> <li>• Caput laterale</li> <li>• Caput mediale</li> <li>• Caput accessorium</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Margo caudalis scapulae</li> <li>Lateral am Humerus (Linea musculi tricipitis)</li> <li>Medial am Humerus</li> <li>Crista tuberculi minoris</li> </ul>	Olecranon
			Strecker des Ellbogengelenks

Musculus anconaeus	Distaler Humerus	Olecranon	Strecker des Ellbogengelenks
Musculus tensor fasciae antebrachii	Aus Musculus latissimus dorsi	Fascia antebrachii (Olecranon)	Strecker des Ellbogengelenks
Musculus brachioradialis	Crista supracondylaris lateralis	Processus styloideus radii	Auswärtsdreher des Unterarms
Musculus supinator	Epicondylus lateralis humeri	Medial am Radius	Auswärtsdreher des Unterarms
Musculus pronator teres	Epicondylus medialis humeri	Kranio-medial am Radius	Einwärtsdreher des Unterarms
Musculus pronator quadratus	Ulna	Medial und kaudal am Radius	Einwärtsdreher des Unterarms

### 2.2.3 Gelenke

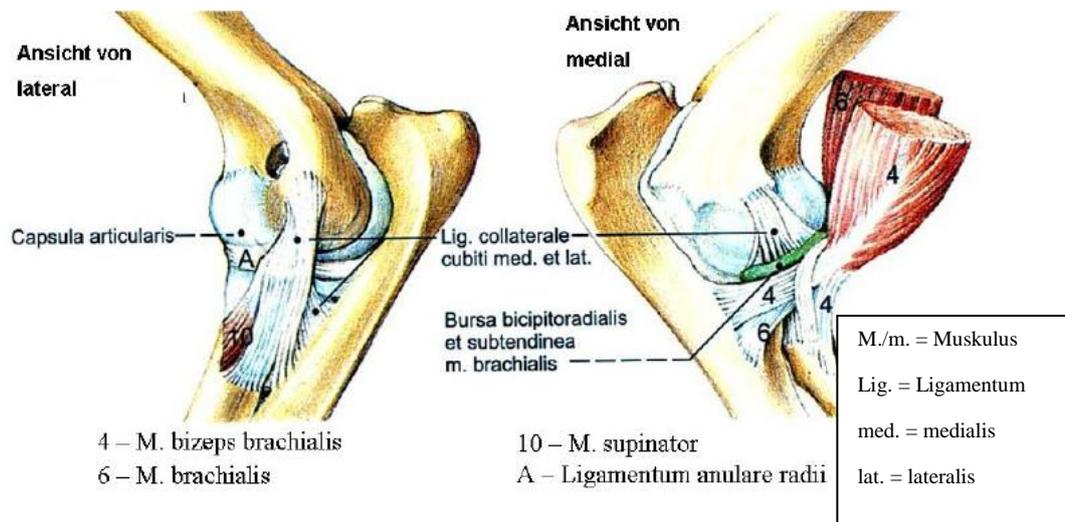
Das Ellbogengelenk (*Articulatio cubiti*) ist ein zusammengesetztes Scharniergelenk (Liebich et al., 2005; Salomon et al., 2005; Evans und Lahunta, 2013b), das den Oberarm mit dem Unterarm verbindet. Die an dem Gelenk beteiligten Knochen sind der Humerus mit dem *Condylus humeri*, der Radius mit der *Fovea capitis radii* und der *Circumferentia articularis radii* sowie die Ulna mit der *Incisura trochlearis ulnae* und der *Incisura radialis ulnae*. Das Ellbogengelenk ist eine Kombination aus 3 Gelenken: Zum einen die *Articulatio humero-ulnaris*, bei der der *Condylus humeri* mit der *Incisura trochlearis ulnae* artikuliert, zum anderen die *Articulatio humero-radialis*, die die Verbindung zwischen dem *Condylus humeri* und der *Fovea capitis radii* darstellt. Desweiteren wird noch die proximale Verbindung von Radius und Ulna zum Ellbogengelenk gezählt. Dieser proximale Anteil des Radioulnargelenks (*Articulatio radioulnaris proximalis*) besteht aus der *Circumferentia articularis radii* und der *Incisura radialis ulnae* (Nickel et al., 1992b; Vollmerhaus et al., 1994; Liebich et al., 2005; Evans und Lahunta, 2013b).

### 2.2.4 Bänder

Die beiden Seitenbänder am Ellbogengelenk, Ligamentum collaterale cubiti laterale und mediale haben beim Hund jeweils 2 Schenkel (Vollmerhaus et al., 1994) (vgl. Abb. 2). Das Ligamentum collaterale cubiti laterale nimmt seinen Ursprung am lateralen Epicondylus des Humerus und inseriert mit seinem kräftigeren kranialen Schenkel am Radius und mit seinem schwächeren kaudalen an der Ulna. Das Ligamentum collaterale cubiti mediale hat seinen Ursprung am medialen Epicondylus des Humerus und setzt mit seinem kranialen Schenkel am Radius und mit seinem kaudalen Schenkel an der Ulna an. Eine der Hauptfunktionen des lateralen Seitenbandes ist der Schutz des Ellbogens vor Rotationsinstabilität, während das mediale Seitenband primär Stabilisationsaufgaben des Gelenks übernimmt und den Ellbogen vor Valgus-Stellungen schützt (Imatani et al., 1999; Cohen und Bruno, 2001).

Am medialen Epicondylus des Humerus nimmt zudem noch das elastische Ligamentum olecrani seinen Ursprung und zieht, unter Straffung der Gelenkkapsel, zum Processus anconaeus (Vollmerhaus et al., 1994). Zwischen Radius und Ulna liegt das Spatium interosseum, das durch die Membrana interossea antebrachii verbunden wird (Salomon et al., 2005). Zusätzlich wird die Membrana interossea antebrachii durch das Ligamentum interosseum verstärkt.

Das Ligamentum anulare radii entspringt am Processus coronoideus medialis ulnae, unterkreuzt die beiden Seitenbänder des Ellbogengelenks und strahlt in das Ligamentum collaterale cubiti laterale ein (Nickel et al., 1992b; Vollmerhaus et al., 1994; Liebich et al., 2005; Salomon et al., 2005; Evans und Lahunta, 2013b) (Abb. 2). Durch dieses Band wird der Radiuskopf auf der Beugeseite des Gelenks umfasst. In dem Bereich, in dem das Ligamentum anulare radii auf das Ligamentum collaterale cubiti laterale trifft, kann ein Sesambein ausgebildet sein (Baum et al., 1936; Maierl, 2003b). Dieses Sesambein kann beim Hund beidseits vorhanden sein.



**Abb. 2: Schemazeichnung von Bänder und Kapsel des Ellbogens beim Hund, aus Budras (2007).**

### 2.2.5 Gelenkkapsel

Alle 3 Gelenkanteile des Ellbogengelenks werden von der Gelenkkapsel eingeschlossen (Nickel et al., 1992b; Vollmerhaus et al., 1994). Die Gelenkkapsel hat 3 verhältnismäßig enge Aussackungen (Recessus). Diese befinden sich unter dem Musculus biceps brachii (Recessus craniomedialis), unter dem Musculus extensor digitalis communis (Recessus craniolateralis) und zwischen dem Epicondylus lateralis humeri und dem Olecranon (Recessus caudalis). Histologisch kann der kaudale Recessus noch in einen Recessus caudomedialis und caudolateralis unterteilt werden (Kaser, 1998). Verstärkt wird die Gelenkkapsel auf der Beugeseite durch das Ligamentum obliquum (Nickel et al., 1992b; Kaser, 1998; Liebich et al., 2005; Evans und Lahunta, 2013b).

### 2.2.6 Biomechanik des Ellbogengelenks

Aufgrund der straffen Seitenbänder, der verhältnismäßig engen Gelenkkapsel, die alle 3 Gelenke umfasst, der stark ausgeprägten Führungskämme sowie des Einsenkens des Olecranons in die Fossa olecrani, können vom Ellbogengelenk nur Streck- und Beugebewegungen ausgeführt werden (Bartke, 2011). Angesichts des

anatomischen Aufbaus des Ellbogengelenks sind seitliche Bewegungen somit nicht möglich. Funktionell wirkt das Ellbogengelenk als ein Wechsel-, Scharnier- bzw. Schnappgelenk, und da 3 Gelenke beteiligt sind, kann es als zusammengesetztes Gelenk definiert werden (Nickel et al., 1992b; Liebich et al., 2005).

Ein Zapfengelenk stellt das proximale Radioulnargelenk dar, bei dem sich die *Circumferentia articularis radii* des Radiuskopfes in der *Incisura radialis ulnae* dreht (Vollmerhaus et al., 1994). Zusammen mit dem distalen Radioulnargelenk hat es somit die Funktion eines Drehgelenks, die dem Hund geringgradige Pronations- und Supinationsbewegungen ermöglicht (Nickel et al., 1992b; Liebich et al., 2005).

Lange Zeit wurde der Ulna, während der Lastübertragung auf den Unterarm, im Vergleich zum Radius, eine untergeordnete Rolle zugesprochen. So gingen Miller et al. (1964) sowie Berzon und Quick (1980) davon aus, das 75–80 % des Körpergewichts von dem Humerus auf den Radius und die restlichen 20–25 % auf die Ulna übertragen werden. Maierl (2003a) konnte diese These widerlegen und wies nach, dass die Ulna, insbesondere der *Processus coronoideus medialis ulnae*, den Großteil der Last übernimmt, während der Radius eher eine sekundäre Rolle bei der Kraftübertragung spielt.

Desweiteren untersuchte Maierl (2003a) die Spannungsverhältnisse im Ellbogengelenk des Hundes und zeigte mittels seiner Ergebnisse, dass dieses Gelenk eine physiologische Inkongruenz aufweist. Der Vorteil einer physiologischen Inkongruenz besteht darin, dass die Druckverteilung auf den gesamten Gelenkknorpel ausgeglichener ist (Eckstein et al., 1993; Maierl, 2003a). Generell wird bei zunehmender Beugung die ulnare Gelenkfläche des Ellbogengelenks stärker beansprucht, während der radiale Gelenkanteil entlastet wird (Berzon und Quick, 1980; Goring und Bloomberg, 1983). Die ulnare Gelenkfläche wird durch den *Processus coronoideus medialis ulnae* bestimmt, der beim Hund etwa  $\frac{2}{3}$  dieser ulnaren Gelenkfläche ausmacht (Winhart, 1991).

### 2.2.7 Entwicklung des Ellbogengelenks

Zum Zeitpunkt der Geburt sind nur die Diaphysen der Knochen mineralisiert (Van Herpen, 1988). Wann genau röntgenologisch die ersten Ossifikationszentren nachweisbar sind, hängt unter anderem von der Rasse und den äußeren Faktoren (z. B. Fütterung) ab. Bei Hunden findet in den ersten 6–7 Lebensmonaten 90 % des Längenwachstums statt (Riser und Shirer, 1966), welches durchschnittlich im 10. Lebensmonat abgeschlossen ist (Henschel, 1972).

Der distale Humerus entwickelt sich aus 3 selbstständigen Ossifikationszentren (Hare, 1961). Dazu gehört der Epicondylus medialis, dessen Verknöcherungskern in der 5.–8. Woche in Erscheinung tritt und sich im 6. Lebensmonat mit dem medialen Anteil des Condylus humeri verbindet. Er ist als Apophyse angelegt und hat keinen Anteil am Ellbogengelenk. Der Condylus humeri, der die distale Epiphyse des Humerus bildet, entsteht aus den anderen 2 Ossifikationszentren des distalen Humerus, zum einen aus dem lateral gelegenen Capitulum humeri, zum anderen aus der medial gelegenen Trochlea humeri. Radiologisch in Erscheinung tritt der Verknöcherungskern des Capitulum humeri in der 2.–3. Lebenswoche und der der Trochlea humeri zwischen der 2. und 4. Lebenswoche. Ungefähr in der 6. Woche nach der Geburt verschmelzen diese beiden Ossifikationszentren miteinander (Hare, 1961; Van Herpen, 1988; Kealy, 1991). Der Epiphysenfugenschluss zwischen der distalen Humerusepiphyse und der distalen Humerusmetaphyse ist innerhalb von 6–8 Lebensmonaten abgeschlossen (Van Herpen, 1988; Kealy, 1991; Morgan et al., 2000).

Das Verknöcherungszentrum des proximalen Radius wird radiologisch in der 3.–5. Woche sichtbar (Hare, 1961; Henschel, 1972; Van Herpen, 1988; Kealy, 1991; Morgan et al., 2000). Der Epiphysenfugenschluss des proximalen Radius erfolgt mit 6–11 Monaten (Henschel, 1972; Van Herpen, 1988; Kealy, 1991; Morgan et al., 2000).

An der proximalen Ulna existieren 2 Ossifikationszentren, zum einen das Tuber olecrani und zum anderen der Processus anconaeus (Hare, 1961). Da proximal an der Ulna keine Epiphyse existiert, sind beide Ossifikationszentren Apophysen. Der Großteil des Längenwachstums der Ulna beruht somit auf deren distalen Abschnitt, auf dem eine Epiphysenfuge vorhanden ist (Hare, 1961; Henschel, 1972; Fox, 1984; Van Herpen, 1988). Das Ossifikationszentrum des Tuber

olecrani tritt mit 4–10 Wochen in Erscheinung; das des Processus anconaeus mit 8–18 Wochen. Mit der Ulnadiaphyse verwächst das Tuber olecrani innerhalb von 6–10 Monaten und der Processus anconaeus innerhalb von 4–6 Monaten (Hare, 1961; Van Herpen, 1988; Kealy, 1991; Guthrie et al., 1992a; Morgan et al., 2000). Während die meisten Autoren davon sprechen, dass der Processus coronoideus medialis ulnae kein eigenes Ossifikationszentrum aufweist (Berzon und Quick, 1980; Fox et al., 1983; Olsson, 1983; Van Herpen, 1988; Guthrie et al., 1992a; Breit et al., 2004), spricht Hare (1961) von einem eigenen Ossifikationszentrum des PCMU und einer Verknöcherung desselben nach der 20.–22. Lebenswochen von der Basis zur Spitze hin.

## 2.3 Ellbogendysplasie

### 2.3.1 Ätiologie

Aus dem Jahr 1931 stammt der erste noch vorhandene radiologische Beweis einer ED (Pobisch et al., 1972). Ein ektopisches Sesambein im Bereich des Ellbogens nannte Stiern (1956) „Patella cubiti“. Um den isolierten Processus anconaeus und die Veränderungen des Ellbogens zu beschreiben, benutzen Carlson und Severin (1961) erstmals den Begriff ED. Ljunggren et al. (1966) führten unter dem Begriff ED den isolierten Processus anconaeus, den isolierten medialen Epicondylus humeri und die Patella cubiti auf. Olsson (1974) beschrieb die Osteochondrosis dissecans an der Trochlea humeri und den fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae. Wind (1986) stellte eine Inkongruenz als Ursache von diesen Läsionen fest.

Heute gehören zu dem Komplex der ED, gemäß der Internationalen Elbow Working Group (IEWG), der fragmentierte Processus coronoideus medialis (FPC) der Ulna, der isolierte Processus anconaeus (IPA), die Osteochondrosis dissecans (OCD) der Trochlea humeri und Inkongruenzen der Gelenkflächen bzw. Stufenbildungen des Ellbogens (Samoy et al., 2006; Michelsen, 2012; Poulos, 2013). All diese Erkrankungen können zu einem späteren Zeitpunkt auch zu Osteoarthrosen führen (Kirberger und Fourie, 1998; Morgan et al., 2000;

Coopman et al., 2008; Engler, 2009).

Bislang wurde vermutet, dass die ED eine polygenetisch vererbte Erkrankung ist (Guthrie und Pidduck, 1990). Jedoch distanzieren sich neuere Studien von der Hypothese, dass mehrere Gene beteiligt sind und halten ein Hauptgen mit polygenem Einfluss für die ED verantwortlich (Mäki et al., 2002b; Mäki et al., 2004; Janutta, 2005; Bartke, 2011)

Es wird eine mittlere bis hohe Heritabilität für die ED angegeben, die zwischen 0,2 und 0,77 liegt (Guthrie und Pidduck, 1990; Grondalen und Lingaas, 1991; Studdert et al., 1991; Mäki et al., 2000; Beuing et al., 2005), wobei männliche Tiere höhere Werte als weibliche aufweisen (Guthrie und Pidduck, 1990; Kirberger und Fourie, 1998; Engler, 2009; Zwick, 2010). Eigene Schätzwerte für die Heritabilität der ED beim Labrador Retriever liegen aus Australien und Finnland vor. Für die Population aus Australien wurde die Heritabilität auf 0,27 (Studdert et al., 1991) und für die Population aus Finnland auf 0,10 (Mäki et al., 2002a) geschätzt. Aus diesem Grund darf nicht mit Hunden gezüchtet werden, die von der ED betroffen sind, bzw. deren Geschwister oder Vorfahren erkrankt sind bzw. waren (Guthrie und Pidduck, 1990; Grondalen und Lingaas, 1991; Padgett et al., 1995). Das Risiko, dass Welpen von betroffenen Elterntieren an einer ED erkranken, ist erhöht (Beuing et al., 2005; Zwick, 2010). Jedoch können auch Nachkommen von phänotypisch gesunden Elterntieren an der ED erkranken (Bartke, 2011).

Daneben können auch Umwelteinflüsse während der Aufzucht, wie Fütterung und Traumata, die Entwicklung einer ED zusätzlich beeinflussen (Wind, 1986; Nap, 1995; Kirberger und Fourie, 1998; Flückiger, 2005). So kann eine Überversorgung an Energie, Kalzium und Vitamin D, aber auch hormonelle Einflüsse oder eine genetische Veranlagung zu einem hohen Endgewicht (Boudrieau et al., 1983) bzw. zu einem schnelleren Wachstum die Entstehung einer ED begünstigen (Hedhammar et al., 1974; Hazewinkel et al., 1985).

### **2.3.1.1 Osteochondrosis dissecans (OCD)**

Unter Osteochondrose versteht man eine endogene Störung der enchondralen

Knochenreifung (Horst und Brunnberg, 2000). Dabei wird der Knorpel nur unregelmäßig oder kaum zu Knochen umgewandelt. Dies führt zu einer Verdickung der Knorpelschicht an den prädisponierten Gelenken wie dem Knie-, Sprung-, Schulter- und Ellbogengelenk. Durch diese Verdickung können tiefer gelegene Knorpelschichten nicht mehr durch Diffusion ernährt werden und sterben ab (Ytrehus et al., 2007). So entstehen Fissuren und Risse im Knorpel, welche schließlich dazu beitragen können, dass sich am Rande des Defekts eine kleine Knorpelschuppe ablöst. Das Stadium, in dem sich die Knorpelschuppe ablöst, wird als Osteochondrosis dissecans (OCD) bezeichnet. Die abgelöste Knorpelschuppe kann sich auflösen oder verkalken. Die freie Knorpelschuppe ist auch als Gelenkmaus, Dissekat oder Corpus liberum bekannt (Grondalen, 1979b; Walde und Tellhelm, 1991).

Die Ursachen dieser Erkrankung sind multifaktoriell: Ernährung, Traumata, Genetik, zu schnelles Wachstum, Umwelteinflüsse und Durchblutungsstörungen werden als wichtigste Faktoren einer OCD vermutet (Ekman und Carlson, 1998; Kirberger und Fourie, 1998). Auch hohe Kalziumgaben führen zu einem gehäuften Auftreten dieser Erkrankung (Hazewinkel et al., 1985; Slater et al., 1992; Richardson und Zentek, 1998). Eine unphysiologische Druckverteilung im Gelenk, zum Beispiel verursacht durch Inkongruenz im Humeroulnargelenk, kann zu einer OCD im Ellbogengelenk führen (Wind, 1986; Brinker et al., 1990). Dass vor allem männliche Tiere von einer OCD betroffen sind, könnte an den hormonellen Einflüssen und an einem höheren Endgewicht dieser Tiere liegen (Ekman und Carlson, 1998; Schulz und Krotscheck, 2003). Von einer OCD sind vermehrt großen und schnell wachsenden Hunderassen betroffen (Hayes et al., 1979; Richardson und Zentek, 1998).

### **2.3.1.2 Inkongruenz des Ellbogengelenks**

Es kann eine physiologische von einer pathologischen Inkongruenz des Ellbogengelenks unterschieden werden (Preston et al., 2000; Maierl, 2003b). Die physiologische Inkongruenz zwischen Humerus und Ulna ist bei entlasteter Gliedmaße vorzufinden und wird auch für das Ellbogengelenk des Menschen

angenommen (Eckstein et al., 1993). Während der Belastung führt diese zu einer besseren Lastverteilung im Gelenk, und die Ernährung des Gelenkknorpels wird verbessert (Eckstein et al., 1993). Die pathologische Inkongruenz kann in eine humeroulnare und eine radioulnare Inkongruenz unterteilt werden (Nap, 1995). Zum einen ist die pathologische Inkongruenz im Ellbogengelenk Folge eines ungleichen Längenwachstums von Radius und Ulna, wobei es zu einer Stufenbildung im Ellbogengelenk kommt (Short-Radius-/ Short-Ulna-Syndrom). Zum anderen ist sie die Folge einer Fehlentwicklung der Incisura trochlearis ulnae. Diese entwickelt sich nicht rund, sondern elliptisch, wodurch die Form der Trochlea humeri nicht mehr in die Incisura ulnae passt (Samoy et al., 2006). Zudem besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Inkongruenz zur Ausprägung der Arthrose (Morgan et al., 1999).

### **2.3.1.3 Fragmentierter Processus coronoideus medialis ulnae (FPC)**

Ein FPC muss nicht solitär auftreten, sondern kann auch in Kombination mit einer OCD (Bennett et al., 1981; Meyer-Lindenberg et al., 2002) oder einem IPA (Meyer-Lindenberg et al., 2006) vorkommen.

Auf verschiedene Ursachen ist die Fragmentierung des PCMU zurückzuführen (Berzon und Quick, 1980; Boulay, 1998; Bardet, 2004; Holsworth et al., 2005; Theyse et al., 2005). Zum einen werden die Gelenkinkongruenz - mit der dadurch resultierenden Überbelastung des Coronoids - zum anderen die OCD für die Entstehung eines FPC's angeführt. Ein asynchrones Wachstum von Radius und Ulna (Short-Radius-Syndrom) verursacht eine Stufenbildung zwischen Radius und Ulna. Dadurch entsteht eine Stufe zwischen der Radiusgelenkfläche und dem PCMU, der so überlastet wird. Diese Überlastung führt wiederum zu einer Schädigung der tiefen Knorpelschichten und kann folglich zu einer Osteochondrose führen (Kirberger und Barr, 2006; Bartke, 2011). Auch eine ellipsoide Dysplasie der Incisura trochlearis ulnae kann eine Inkongruenz im Ellbogengelenk hervorrufen (Wind, 1986; Boulay, 1998; Brunnberg, 1998). Durch die nicht in ausreichender Größe und Form entwickelte Incisura trochlearis wird die Trochlea humeri nach kranial verschoben, sodass unter anderem der

PCMU vermehrt belastet wird (Wind, 1986; Schleich, 1997; Morgan et al., 2000; Schulz und Krotscheck, 2003; Meyer-Lindenberg et al., 2006). Die erhöhte Gewichtsbelastung des PCMU kann im weiteren Verlauf zu einer Fissur und schließlich zu einer Fragmentierung des PCMU führen (Boulay, 1998; Viehmann, 1998; Bardet, 2004; Holsworth, 2004). Selten können Traumen Ursache einer Fraktur des PCMU sein (Berzon und Quick, 1980). Das fragmentierte Coronoid bleibt meist bindegewebig mit dem Ligamentum anulare verbunden. (Janutta, 2005). Durch diese Verbindung wird dieses Fragment vaskularisiert und kann nicht resorbiert werden (Grondalen und Grondalen, 1981; Olsson, 1983; Guthrie et al., 1992a; Tietz, 1997). Folglich ist eine spontane Heilung nicht mehr möglich (Olsson, 1983). Weitere Ursachen für den fragmentierten PCMU können durch dauerhafte Mikrotraumen entstehende Ermüdungsläsionen und der Verlust von Osteozyten sein (Danielson et al., 2006; Bartke, 2011). Auch energie- und kalziumreiches Futter, Überbelastung oder zu hohes Körpergewicht sind weitere auslösende Faktoren für diese Erkrankung (Walde und Tellhelm, 1991).

#### **2.3.1.4 Isolierter Processus anconaeus (IPA)**

Der Schluss der Apophysenfuge zwischen dem Processus anconaeus und dem Olecranon bleibt bei dem isolierten Processus anconaeus (IPA) aus (Cross und Chambers, 1997). Physiologisch ist die Apophysenfuge nach Verschmelzung der Ossifikationszentren von Processus anconaeus und Ulna zwischen der 16. und 20. Lebenswoche geschlossen. Die definitive radiologische Diagnosestellung eines IPA kann somit erst ab dem 5. Lebensmonat erfolgen (Fox et al., 1983; Boulay, 1998; Cook, 2001). Wie es für den ED-Komplex typisch ist, sind vor allem großwüchsige Hunderassen betroffen. Der Deutsche Schäferhund gilt als besonders prädisponiert. Diese Erkrankung tritt häufig beidseits auf (Brunnberg, 1998; Cook, 2001), und männliche Tiere sind doppelt so häufig betroffen wie weibliche (Fehr und Meyer-Lindenberg, 1992; Sjöström et al., 1995; Cook, 2001). Neben Entwicklungsanomalien und vor allem erblichen Komponenten werden auch metabolische und ernährungsbedingte Faktoren sowie sehr selten Traumata als Ursache für das Ausbleiben der Verknöcherung von Processus anconaeus und Ulna verantwortlich gemacht (Mussmann, 2009). Sjöström et al. (1995) halten die

Entstehung des IPA im Sinne einer osteochondrotischen Veränderung ebenfalls für möglich. Das asynchrone Wachstum von Radius und Ulna, bei dem der Radius relativ zu lang zur Ulna ist (Short-Ulna-Syndrom), führt dazu, dass die Trochlea humeri durch den Radius nach proximal gedrückt wird (Wind, 1986; Sjöström et al., 1995). Dabei wird der Druck auf den Processus anconaeus übertragen, und somit kann sich die Apophysenfuge nicht mehr schließen. Wie beim FPC kann auch eine in Form und Größe veränderte Incisura trochlearis ulnae zur Entstehung eines IPA beitragen. Die Trochlea humeri wird durch diese Veränderung nicht richtig von der Incisura trochlearis ulnae umfasst. Dabei wird die Trochlea humeri nach kranial verschoben und drückt auf den PCMU und den Processus anconaeus (Wind, 1986; Morgan et al., 2000; Meyer-Lindenberg et al., 2006). Aufgrund der Druckeinwirkung der Trochlea humeri kann der FPC und der IPA zusammen auftreten (Meyer-Lindenberg et al., 2006).

### **2.3.2 Symptome und Klinik**

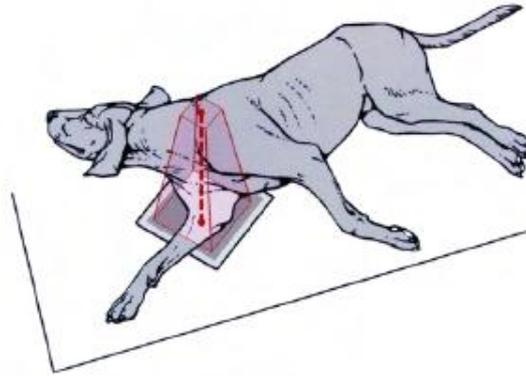
Am häufigsten treten in den ersten 4–12 Lebensmonaten die ersten klinischen Anzeichen einer ED auf (Hanlon, 1969; Grondalen, 1979b; Denny und Gibbs, 1980; Mason et al., 1980; Probst, 1988; Guthrie, 1989b; Read et al., 1990; Studdert et al., 1991; Carpenter et al., 1993; Schleich, 1997; Meyer-Lindenberg et al., 2003). Der FPC tritt im Durchschnitt in einem Alter von 4–8 Lebensmonaten (Berzon und Quick, 1980; Denny und Gibbs, 1980; Janutta, 2005), die OCD in einem Alter von 3–7 und der IPA in den ersten 5–8 Lebensmonaten auf (Carlson und Severin, 1961; Olsson, 1975). Aber auch bei älteren Hunden kann eine Lahmheit, verursacht durch ED, erstmals auftreten (van Bruggen et al., 2010). Jedoch zeigen nicht alle Hunde eine Lahmheit.

Klinische Symptome einer ED sind eine Vorderhandlahmheit, steifer oder klammer Gang, Schmerzen bei Bewegung des Gelenks vermehrte Gelenkfüllung und Entlastungshaltung der betroffenen Gliedmaße (Olsson, 1975; Boudrieau et al., 1983; Janutta, 2005). Häufig werden intermittierende Lahmheiten bei noch nicht ausgewachsenen Hunden als sogenannte Wachstumsschmerzen fehlinterpretiert (Henry, 1984; Denning, 2011). Hat die ED einen chronischen

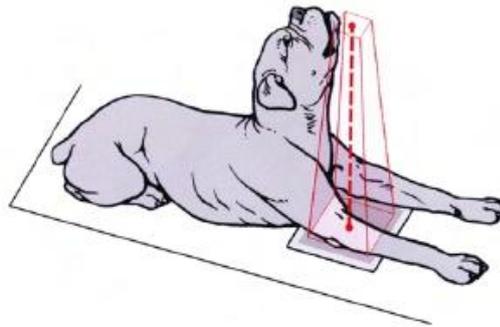
Verlauf wird häufig eine Cubarthrose diagnostiziert (Boudrieau et al., 1983). Eine Supinationshaltung der betroffenen Gliedmaße, bei der der Ellbogen dem Brustkorb anliegt und die Pfote nach außen zeigt, kann des Öfteren bei einem FPC und bei der OCD beobachtet werden (Olsson, 1977; Grondalen, 1979a; Bennett et al., 1981; Read et al., 1990; Fehr und Meyer-Lindenberg, 1992; Bonath und Prieur, 1998; Schwarz, 2000; Denning, 2011). Bei einem IPA ist eine Abduktion des Ellbogens zu erkennen (Dietz et al., 1972; Hazewinkel, 2002).

### **2.3.3 Diagnostik**

Auf einem Röntgenbild kann die ED ab einem Alter von 4–7 Monate erkannt werden (Olsson, 1974, 1976; Berzon und Quick, 1980). Die erste Diagnosestellung setzt sich aus einer klinisch-orthopädischen Untersuchung sowie einer röntgenologischen Untersuchung des Ellbogengelenks zusammen (Brunnberg et al., 1999; Viehmann et al., 1999). Für die radiologische Beurteilung des Ellbogens sind aufgrund seiner 3-dimensionalen Struktur Aufnahmen in mindestens 2 Ebenen notwendig, welche senkrecht zueinander stehen sollen (Webbon und Jones, 1976; Henry, 1984; Voorhout und Hazewinkel, 1987; Guthrie et al., 1991; Berry, 1992; Fehr und Meyer-Lindenberg, 1992; Tellhelm, 2004). Folglich haben sich als Standardprojektionen für die radiologische Diagnosestellung einer ED die medio-lateral gestreckte und die kranio-kaudale Aufnahme in 15 Grad Pronation herauskristallisiert (Probst, 1988; Morgan et al., 2000) (Abb. 3 und 4).



**Abb. 3: Lagerung zur röntgenologischen Darstellung des Ellbogens; mediolaterale Projektion, aus Waibl und Brunberg (2012).**



**Abb. 4: Lagerung zur röntgenologischen Darstellung des Ellbogens; kranio-kaudale Projektion, aus Waibl und Brunberg (2012).**

Bei der medio-lateral getreckten Aufnahme werden neben Ellbogeninkongruenzen auch Osteophyten auf dem medialen Condylus humeri sowie der PCMU sichtbar. (Kirberger, 2014). Die 45 Grad gebeugte medio-laterale Röntgenaufnahme kann hingegen osteophytäre Zubildungen dorsal am Processus anconaeus und einen IPA überlagerungsfrei darstellen. Im kranio-kaudalen Strahlengang mit 15 Grad Pronation können neben einem FPC auch osteochondrale Defekte des medialen Condylus humeri gesehen werden. Auch Ellbogeninkongruenzen können mit dieser Aufnahme beurteilt werden. Die IEWG empfiehlt für die Diagnostik eines FPC oder einer OCD neben der medio-lateralen Aufnahme eine kranio-kaudale, 15 Grad gekippte Aufnahme und für ein ED-Screening und die Diagnosestellung eines IPA eine 45 Grad gebeugte Projektion.

Da eine hohe Inzidenzrate bezüglich einer beidseitigen Erkrankung besteht, sollten immer beide Ellbogengelenke geröntgt werden (Mason et al., 1980; Fox et al., 1983; Henry, 1984; Probst, 1988; Lewis et al., 1989; Guthrie et al., 1991; Fehr und Meyer-Lindenberg, 1992; Bardet und Bureau, 1996; Morgan et al., 2000; Brunberg et al., 2001; Morandi et al., 2008; Draffan et al., 2009). Darüber hinaus ist es häufig schwierig, klinische Symptome eindeutig dem Schultergelenk bzw. dem Ellbogengelenk zuzuordnen, weshalb Olsson (1983) rät, neben den Ellbogengelenken auch die Schultergelenke radiologisch zu untersuchen. Um bestimmte Strukturen, wie einen FPC, eine OCD oder einen IPA, radiologisch ohne große Überlagerung darstellen zu können, dienen spezielle Schrägaufnahmen, die Kirberger und Barr (2006) nennen.

Da der PCMU von dem kaudalen Anteil des Radiuskopfes überlagert wird, ist es schwierig Veränderungen am PCMU festzustellen (Kirberger und Fourie, 1998; Samoy et al., 2011). Typische radiographische Veränderungen sind eine ausgeprägte Sklerose kaudal des PCMU und eine unscharfe Begrenzung des proximalen Anteils des PCMU (Samoy et al., 2011). Im Falle eines IPA wird zwischen dem Processus anconeus und der Ulna eine Frakturlinie in der 45 Grad gebeugten, medio-lateralen Röntgenaufnahme sichtbar. Sekundär zeigt sich sowohl beim FPC, als auch beim IPA eine Arthrose.

Der Nachteil, dass sich im Röntgenbild entscheidende Strukturen überlagern, kann durch alternative diagnostische Möglichkeiten, wie der computertomographischen Untersuchung, ausgeglichen werden (Brunberg et al., 1999; Viehmann et al., 1999; Reichle et al., 2000). Neben der Computertomographie können die Magnetresonanztomographie, die Szintigraphie und die Arthroskopie zur weiteren Diagnosestellung herangezogen werden (Brunberg und Waibl, 1986; Carpenter et al., 1993; Reichle und Snaps, 1999; Reichle et al., 2000; Tromblee et al., 2007). Die Diagnosestellung eines FPC's mittels Sonographie ist sehr limitiert (Seyrek-Intas et al., 2009), jedoch kann die Sonographie dazu dienen, umgebene Weichteile und oberflächliche Knochenstrukturen darzustellen (Samoy et al., 2006; Cook und Cook, 2009).

Einen direkten Blick auf die Gelenkoberfläche wird durch die Arthrotomie und Arthroskopie gegeben (Wind, 1986; Van Ryssen, 2001; Samoy et al., 2006). Im Gegensatz zu Arthroskopie gewährt die Arthrotomie jedoch nur einen limitierten Einblick auf die Gelenkoberfläche (Van Ryssen, 2001; Samoy et al., 2006). Die

höchste Sensitivität um frühzeitig eine Mediale–Coronoid–Erkrankung festzustellen, hat nach Lau et al. (2013) die Micro- Computertomographie. In dieser Studie, wurde die Entwicklung der Medialen–Coronoid–Erkrankung bei 14 Labrador Retrievern untersucht, und sie konnten mithilfe der Micro–Computertomographie die ersten Anzeichen dieser Erkrankung im Alter von 14 Wochen diagnostizieren. Jedoch ist die Micro–Computertomographie momentan hinsichtlich der Messzeiten und Betriebskosten noch nicht soweit technisch ausgereift, dass sie für die klinische Diagnostik verwendet werden kann (Lau et al., 2013).

### **2.3.4 Therapie**

Laut Michelsen (2012) sollte das Ziel der ED- Therapie sein, jede pathologische Veränderung innerhalb des Gelenkes -wenn möglich- arthroskopisch zu korrigieren. In der Veröffentlichung von Bubenik et al. (2002) konnten jedoch post operativ keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Schmerzes, der Belastung und des Bewegungsumfanges zwischen einer Arthroskopie und Arthrotomie festgestellt werden. Statistisch gesehen sind die Therapieerfolge desto besser, je weniger Zeit zwischen dem Auftreten der Lahmheit und der Operation vergeht (Dening, 2011).

Eine Studie von Meyer-Lindenberg et al. (2003) zeigte, dass die funktionellen Ergebnisse nach arthroskopischer Entfernung des FPC's, aufgrund des minimalinvasiven Charakters, denen der Arthrotomie überlegen sind. Jedoch kann durch ein arthroskopisches Eingreifen das Fortschreiten der Arthrose nicht gestoppt werden. Dening (2011) beobachtete, dass bei Hunden an der nicht operierten, kontralateralen Gliedmaßenseite eine verstärkte Arthrosezunahme zu verzeichnen ist.

Die Entfernung von Knochenfragmenten (FPC) bzw. deren Fixierung (IPA) und die Entfernung von losen Knorpelschuppen stehen im Vordergrund der chirurgischen Therapie (Holsworth, 2004). Eine zusätzliche Inkongruenz des Ellbogengelenkes verschlechtert die Prognose nach einem chirurgischen Eingriff (Samoy et al., 2006). Deshalb kann die Inkongruenz durch eine Osteotomie oder

Ostektomie des Radius, der Ulna oder des Humerus reduziert und so die biomechanische Funktionalität des Ellbogens verbessert werden. In der Regel verkürzt sich auch die Rekonvaleszenz des Tieres (Read et al., 1990; Huibregtse et al., 1994; Bouck et al., 1995; Meyer-Lindenberg et al., 2002; Puccio et al., 2003; Holsworth, 2004) . Langfristig entwickelt sich jedoch in der Regel eine Cubarthrose bzw. die bestehende Arthrose verschlimmert sich (Boudrieau et al., 1983; Iden, 2007), sodass dagegen therapeutisch Maßnahmen ergriffen werden müssen, um die schmerzauslösenden und bewegungseinschränkenden Folgen zu minimieren.

### **2.3.5 Ellbogendysplasie beim Labrador Retriever**

Die ED ist einer der häufigsten Lahmheitsursachen bei schnell und groß wachsenden, schweren Hunderassen wie dem Labrador Retriever (Grondalen, 1979b; Olsson, 1983; Kirberger und Fourie, 1998; LaFond et al., 2002; Coopman et al., 2008). In einer radiologischen Studie, bei der über 1000 Labrador Retriever auf orthopädische Veränderungen untersucht wurden, zeigte sich die ED mit 17,8 % gefolgt von der Hüftgelenkdysplasie mit 12,6 % als die häufigste orthopädische Veränderung dieser Rasse (Morgan et al., 1999).

Auch für den Labrador Retriever gilt, dass männliche Tiere häufiger von der ED betroffen sind als weibliche (Grondalen, 1979b; Berzon und Quick, 1980; Boudrieau et al., 1983; Olsson, 1983; Guthrie, 1989; Kirberger und Fourie, 1998; Morgan et al., 1999; Meyer-Lindenberg et al., 2006). Eine Studie in einer australischen Labradorzucht zeigte jedoch, dass Nachkommen erkrankter weiblicher Tiere häufiger an einer Ellbogengelenksarthrose erkranken als Nachkommen erkrankter Rüden (maternaler Effekt) (Studdert et al., 1991; Zwick, 2010).

Von den Formen der ED ist der FPC beim Labrador Retriever die am häufigsten auftretende Primärerkrankung, während die OCD selten ist und der IPA kaum in Erscheinung tritt (Ubbink et al., 2000; Engler, 2009). Padgett et al. (1995) vermuten, bei dieser Rasse eine genetische Unabhängigkeit zwischen der OCD und dem FPC. Jedoch kann jedes Tier auch gleichzeitig von mehreren Formen der

ED betroffen sein (Guthrie, 1989; Huibregtse et al., 1994; Bouck et al., 1995; Meyer-Lindenberg et al., 2006).

## **2.4. Die Gangbildanalyse**

Das menschliche Auge stößt bei der Beurteilung von komplexen Bewegungsabläufen im Millisekundenbereich schnell an seine Grenzen (Budsberg et al., 1996; Off und Matis, 1997a). Um das Gangbild eines Tieres optimal beurteilen zu können, bietet sich die computerisierte Gangbildanalyse als eine nicht invasive und objektive Methode an. Die computerisierte Ganganalyse findet nicht nur Anwendung in der Lahmheitsdiagnostik bei Mensch und Pferd, sondern ist auch bei Hunden ein etabliertes Verfahren (Off und Matis, 1997b). Um die Bewegungsabläufe 3-dimensional darstellen zu können, benötigt man Kraftmessplatten, die bestenfalls in einem Laufband integriert sind, ein Video- und Kamerasystem, reflektierende Marker, sowie entsprechende Computersoftware zur Verarbeitung der Daten. Mit diesen Hilfsmitteln kann eine objektive Beurteilung des Ganges erzielt werden, die sich durch rein optische Eindrücke nicht erzielen lässt (Hottinger et al., 1996; Owen et al., 2004).

Der Ganganalyse liegt die Biomechanik zugrunde, die in die 3 Untergruppen Biostatik, Biodynamik und Biokinematik aufgeteilt werden kann (Hatze, 1974). Dabei beschreibt die Biostatik die Kräfte, die an einem ruhenden und im Gleichgewicht befindenden Körper wirken, und die Biodynamik die Kräfte, die an einem bewegten Körper wirken (Off und Matis, 1997a). Dalin und Jeffcott (1985) sowie Off und Matis (1997a) unterteilten die Biodynamik wiederum in die Kinetik und Kinematik. Nach Dalin und Jeffcott (1985) befasst sich die Kinetik mit den Kräften, die während der Bewegung eines Körpers entstehen und die Kinematik mit den zeitlichen und geometrischen Parametern einer Bewegung, ohne die auftretenden Kräfte zu berücksichtigen. Die Kinetik wird durch die Reaktionskraftmessung (Dynamometrie) und die Kinematik durch die Bewegungsanalyse (Kinemetrie) erfasst. (Off und Matis, 1997a).

In den letzten Jahrzehnten der Tiermedizin hat sich die ganganalytische Untersuchung als eine hilfreiche und präzise Untersuchungsmöglichkeit erwiesen

(Gillette und Angle, 2008; Layer, 2012). Der Vorteil der Gangbildanalyse gegenüber der rein adspektorischen Lahmheitsdiagnostik ist, dass sich Lahmheiten bzw. die sich daraus resultierenden Kompensationsmechanismen messtechnisch genauer diagnostizieren und dokumentieren lassen (DeCamp, 1997; Off und Matis, 1997a; Evans et al., 2005; Voss et al., 2007).

### 2.4.1 Statik

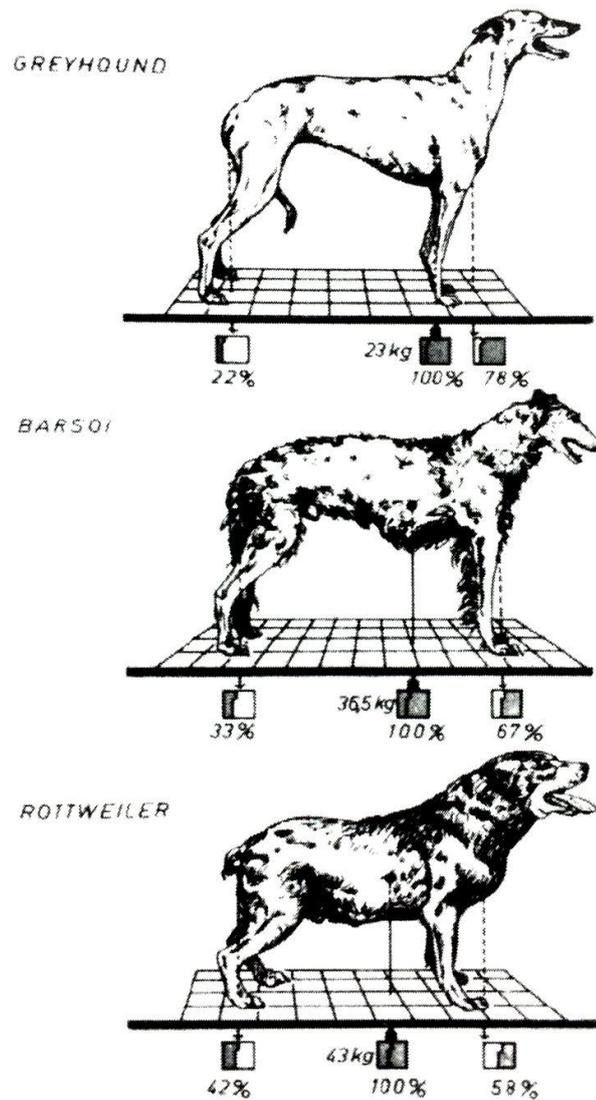
Im Gegensatz zum Bewegungsapparat der großen Pflanzenfresser, die lange stehen ohne sich abzulegen, ist der Bewegungsapparat beim Fleischfresser eher für agilere und aktivere Bewegungen mit häufigeren Ruhephasen ausgelegt (Seiferle und Frewein, 1992).

Die Vordergliedmaße des Hundes ist wie ein 3-fach gewinkelter Pfeiler konstruiert (Seiferle und Frewein, 1992). Das Schultergelenk stellt dabei den entscheidenden Drehpunkt dar. So fällt das Lot vom Angriffspunkt der Last am Schultergelenk durch die Drehachse des Ellbogengelenks. Kaudal des Lots liegt das Karpalgelenk, während sich kranial davon das Schultergelenk befindet.

Die Lage des Körperschwerpunktes ist - bei gleichmäßiger Belastung aller 4 Gliedmaßen - abhängig vom Körperbau der Rasse (Larché, 1962). Jedoch kann sich der Körperschwerpunkt auch durch Kopf- oder Schwanzbewegungen bzw. durch den Füllungsgrad des Magen- Darmtraktes verlagern. Wird der Kopf zum Beispiel gesenkt, verschiebt sich der Körperschwerpunkt weiter nach kranial. Allgemein liegt der Körperschwerpunkt näher an den Vorder- als an den Hintergliedmaßen, sodass die Vordergliedmaßen sowohl im Stand als auch in Bewegung mehr Gewicht tragen als die Hintergliedmaßen (Larché, 1962; Pandý et al., 1988; Rumph et al., 1994). Hochläufige Hunderassen haben im Durchschnitt den Körperschwerpunkt bei 43,72 % der Rumpflänge, was ungefähr auf Höhe des 9. Intercostalraumes liegt (Larché, 1962; Roy, 1971).

Prozentual entfallen etwa 60 % bzw.  $\frac{2}{3}$  der Körpergesamtlast auf die Vordergliedmaßen und circa 40 % bzw.  $\frac{1}{3}$  auf die Hintergliedmaßen (Larché, 1962; Hutton et al., 1969; Roy, 1971; Budsberg et al., 1987; Unkel-Mohrmann, 1999; Raith, 2010). Die genaue Körperlastverteilung ist abhängig von der

Konstitution des Tieres und ist somit individuell unterschiedlich (Larché, 1962; Budsberg et al., 1987). In Abb. 5 wird die Verteilung der Körperlast auf die Vorder- und Hintergliedmaßen sowie die Lage des Körperschwerpunktes zwischen Greyhound, Barsoi und Rottweiler verglichen.



**Abb. 5:** Verteilung der Körperlast auf Vorder- und Hintergliedmaßen sowie Lage des Körperschwerpunktes bei verschiedenen Hunderassen, aus Larché (1962).

Da die Belastung auf der rechten und der linken Körperhälfte identisch ist, trägt jedes Vorderbein circa 30 % des Körpergewichtes und jedes Hinterbein etwa 20 % (Budsberg et al., 1987; Unkel-Mohrmann, 1999; Raith, 2010). Voraussetzung ist, dass keine orthopädische Erkrankung einer Gliedmaße vorliegt, sodass es zu

einer Verschiebung der Belastung weg von der erkrankten Extremität kommen kann (Roy, 1971; Hofmann, 2002).

Nicht nur der Körperschwerpunkt, sondern auch der Massenmittelpunkt liegt näher an den Vorder- als an den Hintergliedmaßen (Kaser, 1998). Dieser ist im Stand festgelegt als Schnittpunkt der Transversal- und Medianebene kaudal des Processus xiphoideus sowie der Horizontalebene zwischen dem unteren und mittleren Drittel des Rumpfes.

Zur Bestimmung des Standwinkels des Ellbogengelenks werden folgende Knochenpunkte verwendet: der Processus styloideus ulnae, der Epicondylus lateralis humeri und das Tuberculum majus humeri (Vollmerhaus und Roos, 1985; Off, 1992; Mai, 1995) (Abb. 7). Der Literatur nach variiert der Ellbogenwinkel am stehenden Tier, was mit unterschiedlichen Körperbauweisen der einzelnen Rassen und verschiedenen Messmethoden zu tun hat (Steigmeier, 2011).

## **2.4.2 Bewegung (Dynamik)**

### **2.4.2.1 Zeitliche Abläufe der Bewegung**

Als eine rhythmische Verschiebung des Schwerpunkts nach kranial kann die Vorwärtsbewegung aufgefasst werden (Seiferle und Frewein, 1992; Maierl et al., 2005). Sie stellt evolutionsbedingt die Hauptbewegungsrichtung dar. Wenn sich das Lot des Schwerpunktes nicht mehr innerhalb der 4-eckigen Unterstützungsfläche des Körpers befindet, die durch die 4 Gliedmaßenspitzen begrenzt ist, gelangt der Körper aus dem Gleichgewicht und es kommt zu einer Bewegung (Larché, 1962).

Initiiert wird die Bewegung bei den Haussäugetieren immer durch das Strecken einer der Hintergliedmaßen (Seiferle und Frewein, 1992). Aus diesem Grund ist die Beckengliedmaße auch stärker bemuskelt und gewinkelt als die Vordergliedmaße und dient somit als Wurf- und Stemmhebel für die Vorwärtsbewegung (Seiferle und Frewein, 1992). Die Aufgabe der Vordergliedmaße während der Bewegung besteht vor allem darin, die entstehende Verlagerung des Schwerpunkts zu stützen, abzufangen und zu kompensieren

(Hutton et al., 1969; Roy, 1971). Speziell der Ellbogen übernimmt bei Vorwärtsbewegungen die Funktion des Stoßdämpfers (Pandy et al., 1988). Während sehr schneller Bewegungen kann diese Aufgabe aber auch zum Teil vom Karpalgelenk übernommen werden. Kopf und Schwanz tragen während der Fortbewegung zum Erhalt des Gleichgewichts bei, indem sie sich dem Rhythmus der Bewegung der Gliedmaßen anpassen (Seiferle und Frewein, 1992; Layer, 2012).

Die kleinste Einheit der Fortbewegung ist der Schritt, der sich in zyklischer Reihenfolge wiederholt (DeCamp et al., 1993). Ein Schritt setzt sich aus 2 Phasen zusammen. Als Standphase (Dalin et al., 1973; Drevemo et al., 1980; Jeffcott et al., 1982), Kontaktperiode (Prost, 1970) oder Stützphase (Björck, 1958; Bartel et al., 1978) wird die Phase bezeichnet, bei der die Pfote den Boden berührt. Die Phase, bei der die Pfote den Boden nicht berührt, sondern unter dem Rumpf nach vorne geführt wird, heißt Schwungphase (Björck, 1958; Pratt Jr und O'Connor Jr, 1976) oder Kein-Kontakt-Periode (Prost, 1970). Den Beginn eines Schrittes kann man mit der Kraftaufnahme einer Gliedmaße, die am Beginn der Standphase liegt, kinetisch festlegen (Poy et al., 2000). Hutton et al. (1969) und Leach et al. (1977) zeigten in ihren Studien, dass die Schultergliedmaßen während eines Schrittes eine 1,5-mal längere Bodenkontaktzeit hatten als die Beckengliedmaßen. Diesen Studien widersprechen Unkel-Mohrmann (1999) und Raith (2010), die keinen Unterschied in der Länge der Standphase zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen feststellen konnten.

Laut einer ganganalytischen Studie mit Deutschen Schäferhunden von Unkel-Mohrmann (1999) ist bei einer Schrittgeschwindigkeit von 0,9 m/s, die Standphase 2,33-mal länger als die Schwungphase. Jedoch bleibt das Verhältnis von Stand- und Schwungphase nicht immer gleich. Je nachdem wie schnell bzw. langsam die Gangart ausgeführt wird, kann sich das Verhältnis auch innerhalb einer Gangart ändern. Im schnellen Trab verkürzt sich beispielsweise die Standphase deutlicher als die Schwungphase (Colborne et al., 2006). Dies bedeutet, dass sich die Dauer der Standphase bei steigender Geschwindigkeit verringert, während die der Schwungphase zunimmt (Budsberg et al., 1987). Diverse Autoren sprechen von einer Symmetrie der Gliedmaßen, da die Unterschiede im Bezug auf die Kinematik und Kinetik, die zwischen der rechten und linken Extremität eines gesunden Tieres bestehen, unerheblich klein sind

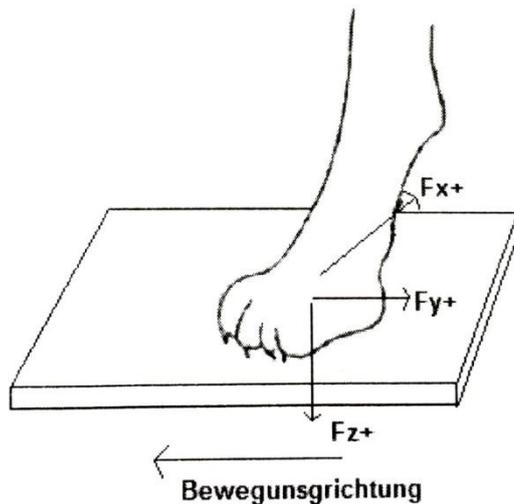
(Budsberg et al., 1993; Gillette und Zebas, 1999; Unkel-Mohrmann, 1999).

Gewöhnlich findet die ganganalytische Beurteilung beim Hund im Schritt oder Trab statt. Im Gegensatz zum Trab, bei dem immer 2 Pfoten Bodenkontakt haben, hat die Gangart Schritt 2- oder 3-beinige Standphasen (DeCamp, 1997).

#### **2.4.2.2 Kinetik**

Wie bereits erwähnt, befasst sich die Kinetik mit den Kräften, die während der Bewegung eines Körpers entstehen (Dalin und Jeffcott, 1985). Mithilfe von Kraftmessplatten oder einem Laufband mit integrierten Messplatten, auf denen bzw. über die der Hund geführt wird, erfolgt in der Tiermedizin die Messung der Kinetik (Gillette und Angle, 2008). Ein Laufband mit integrierten Kraftmessplatten hat den Vorteil, dass die Werte aller 4 Gliedmaße gleichzeitig bei konstanter Geschwindigkeit gemessen werden können (Off und Matis, 1997a).

Beim Aufsetzen einer Pfote auf den Boden wird eine Kraft auf diesen ausgeübt. Diese Kraft ist in sich 3-dimensional und wird durch Zerlegung in die 3 Komponenten ( $F_z$ ,  $F_x$ ,  $F_y$ ) gemessen (Abb. 6). Diese 3 orthogonal gerichteten Bodenreaktionskräfte (BRK) werden auch „ground reaction forces“ (GRF) genannt. Zu diesen zählen 1. die vertikale Kraft ( $F_z$ ), die sich auf der z- Achse befindet, 2. die kranio-kaudale Kraft ( $F_y$ ), Brems- und Schubkräfte anzeigend und auf der y-Achse liegend sowie 3. die medio-laterale Kraft ( $F_x$ ), die Querkräfte darstellt (Budsberg et al., 1987). Von den 3 Kräften ist die vertikale Bodenreaktionskraft die größte und dadurch am besten reproduzierbare und somit die aussagekräftigste, die in der Ganganalyse am häufigsten Verwendung findet (Budsberg et al., 1993; Rumph et al., 1994).



**Abb. 6: Richtung der Bodenreaktionskräfte beim gesunden Hund im Schritt, nach Budsberg et al. (1987):**

**+z = vertikale Bodenreaktionskraft**

**+y = kranio-kaudale Bodenreaktionskraft**

**+x = medio-laterale Bodenreaktionskraft.**

Beurteilt wird der maximale Wert der vertikalen Bodenreaktionskraft während der Standphase. Dieser wird vertikale Spitzen(bodenreaktions)kraft („peak vertical force“ = PVF) genannt und ist bei einer Lahmheit reduziert (DeCamp, 1997). Um Hunde mit unterschiedlichem Gewicht vergleichen zu können, wird die in Newton gemessene BRK prozentual zum Körpergewicht (KGW) in % KGW angegeben (Hutton et al., 1969; Off und Matis, 1997a). Im Schritt beträgt die vertikale Bodenreaktionskraft circa 55–70 % des Körpergewichts (Hutton et al., 1969; Budsberg et al., 1987; Jevens et al., 1993; Rumph et al., 1994). Da sie unter anderem von der Geschwindigkeit der Fortbewegung abhängig ist (Riggs et al., 1993), kann sie im Trab auf 97–117 % ansteigen. Budsberg et al. (1987) beschrieben Werte für die vertikale Spitzenkraft der Vordergliedmaßen beim Hund von etwa 70 % KGW und für die Hintergliedmaßen von circa 50 % KGW. Beim Springen treten die höchsten Bodenreaktionskräfte auf (Yanoff et al., 1992).

Neben der vertikalen Spitzenkraft wird am häufigsten der vertikale Impuls der vertikalen Bodenreaktionskraft (VI, % kg KGW\*s) angegeben. Der Impuls einer Bodenreaktionskraft ist das Integral der gesamten Kraft über die Zeit der Standphasendauer (Budsberg et al., 1987). So kann der Impuls als ein Wert für die Kraft, die während der Standphase auf die Gliedmaße einwirkt, verstanden

werden (Off, 1992).

Desweiteren kann die Gewichtsverteilung als Quotient einer Gliedmaße in Bezug auf die vertikale Spitzenkraft als auch auf den vertikalen Impuls berechnet werden (Budsberg et al., 1987). Wie bereits erwähnt, liegt die Gewichtsverteilung im Stand beim gesunden Hund für jede Vordergliedmaße bei etwa 30 % und für jede Hintergliedmaße bei etwa 20 %. Die für den Stand beschriebenen Werte bleiben auch in der Bewegung erhalten. Zu einer Abweichung dieser Werte kann es bei Hunden mit orthopädischen Erkrankungen kommen (Roy, 1971).

Anhand des Symmetrie-Index, der ein einheitsloser Wert ist, können Lahmheiten der beiden Hinter- bzw. Vordergliedmaßen dargestellt werden (Voss et al., 2007; Layer, 2012). Dieser beurteilt die Gleichmäßigkeit der Belastung der zu vergleichenden Gliedmaßen und hat sich auch in der Veterinärmedizin als probates Mittel etabliert, um Lahmheiten zu detektieren (Robinson et al., 1987; Herzog et al., 1989).

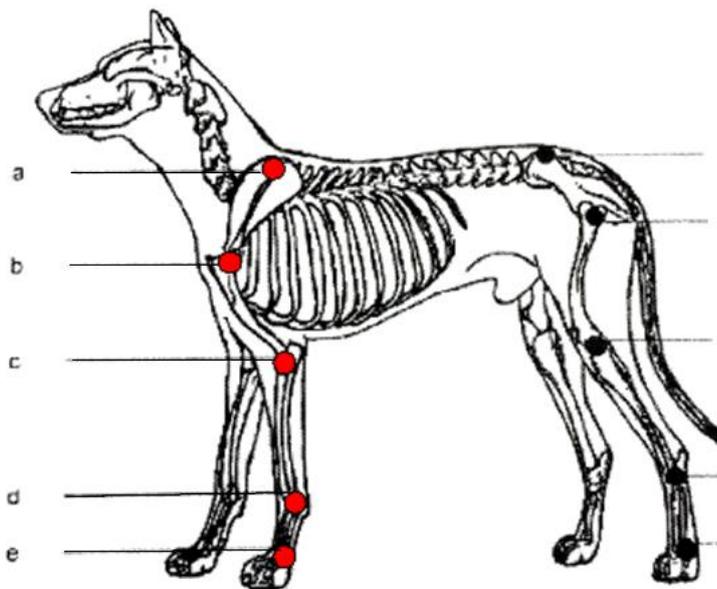
Anhand der Kinetik kann eine Aussage über die Belastung einer Gliedmaße getroffen, jedoch keine Aussage über ein bestimmtes Gelenk gemacht werden (DeCamp, 1997). Um ein Gelenk in der Ganganalyse beurteilen zu können nutzt man die Kinematik als wichtige Ergänzung zur Kinetik.

### **2.4.2.3 Kinematik**

Die Kinematik befasst sich mit den zeitlichen und geometrischen Parametern einer Bewegung, ohne die auftretenden Kräfte zu berücksichtigen (Dalin und Jeffcott, 1985). Mithilfe eines Kamerasystems und reflektierenden Markern, die an bestimmten palpierbaren Knochenpunkten fixiert sind, kann die Kinematik erfasst werden (Off und Matis, 1997a). Es gibt 2 Arten von Markern, zum einen die hautfixierten Marker und zum anderen die implantierten Knochenmarker (Gillette und Angle, 2008). Die implantierten Knochenmarker haben den Vorteil, dass sie die Bewegungen des Knochenpunktes genau darstellen können, jedoch ist ein operativer Eingriff am Tier zur Implantation der Marker nötig, wodurch sie sich nicht für eine Verwendung in der täglichen tierärztlichen Praxis eignen. Ein Nachteil der Hautmarker kann bei Hunden die Hautverschieblichkeit sein, die das

kinematische Ergebnis negativ beeinflusst. Durch die Hautverschieblichkeit wird das exakte Anbringen der Marker auf die spezifischen Knochenpunkten erschwert (Van Weeren et al., 1992; DeCamp et al., 1993). Die Hautverschieblichkeit nimmt von den proximalen Abschnitten der Gliedmaßen zu den distalen hin ab (Van Weeren et al., 1992).

Mit Hilfe von palpierbaren Knochenpunkten, die Drehpunkte von Gelenken auf der Haut widerspiegeln, können die Gelenkwinkel bestimmt werden (Off und Matis, 1997a). Um die Gelenkwinkel der Vordergliedmaße bestimmen zu können, sind mindestens auf folgenden Knochenpunkten Marker zu setzen (Off und Matis, 1997b): Spina scapulae (a), Tuberculum majus (b), Epicondylus lateralis humeri (c), Processus styloideus ulnae (d) und Os metacarpale (e) (siehe Abb. 7).



**Abb. 7: Knochenpunkte zur Gelenkwinkelberechnung, aus Off (1992).**

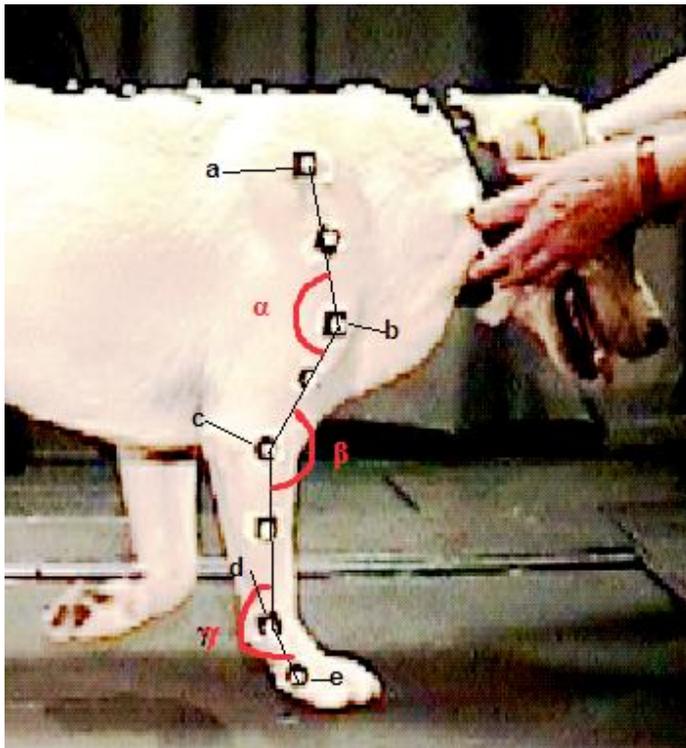
(a = Spina scapulae, b = Tuberculum majus humeri, c = Epicondylus lateralis humeri, d = Processus styloideus ulnae, e = Os metacarpale).

Die Gelenkwinkel werden als Winkel zwischen 3 palpierbaren Knochenpunkten definiert (Steigmeier, 2011) (Abb. 8):

$\alpha$  = Schultergelenkwinkel: a, b, c

$\beta$  = Ellbogengelenkwinkel: b, c, d

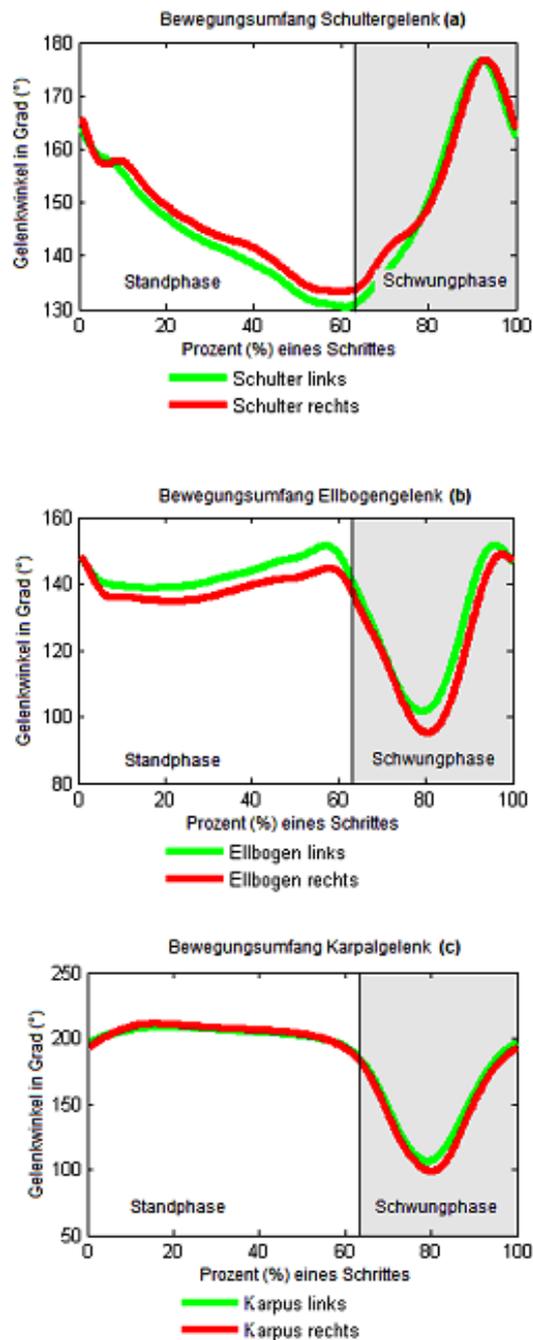
$\gamma$  = Karpalgelenkwinkel: c, d, e



**Abb. 8: Ein Labrador Retriever mit Markern, die auf den Knochenpunkten der Vordergliedmaßen angebracht sind. Die Marker, die für die Berechnung der Gelenkwinkel notwendig sind, wurden farblich markiert und durch Geraden verbunden ( $\alpha$  = Schultergelenkwinkel: a, b, c;  $\beta$  = Ellbogengelenkwinkel: b, c, d;  $\gamma$  = Karpalgelenkwinkel: c, d, e).**

Der Ablauf der Streckung und Beugung einer Gliedmaße während eines Bewegungszyklus hat ein einheitliches Muster, auch wenn sich die Gelenkwinkel durch individuelle und Rasse abhängige Merkmale unterscheiden (Hottinger et al., 1996). Darüber hinaus beeinflusst die Bewegungsgeschwindigkeit den Gelenkwinkel (Steigmeier, 2011). Die Gelenkwinkelverläufe während der Stand- und Schwungphase, von Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk, sind in Abbildung 9 graphisch dargestellt. Für die Vordergliedmaßen ist der Bewegungsablauf folgendermaßen beschrieben: Das Schultergelenk (Abb. 9a) und das Ellbogengelenk (Abb. 9b) befinden sich beim Aufsetzen der Gliedmaßen in nahezu maximaler Streckung, während das Karpalgelenk (Abb. 9c) maximal gestreckt wird (Hottinger et al., 1996; Unkel-Mohrmann, 1999; Raith, 2010). In der Standphase beugt sich das Schultergelenk anhaltend, während sich der Ellbogen am Anfang der Standphase durch Aufnahme von Last kurz beugt, sich

dann aber kontinuierlich bis zu seinem Maximum streckt. Das Karpalgelenk bleibt während der Standphase in einer Hyperextensionsstellung. Am Ende der Standphase ist beim Schultergelenk eine maximale Beugung und beim Ellbogen eine maximale Streckung zu erkennen. In der anschließenden Schwungphase wird das Schultergelenk so lange gestreckt, bis es sein Maximum erreicht. Ellbogen- und Karpalgelenk erfahren während der Schwungphase maximale Beugung. Am Ende der Schwungphase werden diese beiden Gelenke zur Vorbereitung auf die Standphase wieder gestreckt.



**Abb. 9:** Die einzelnen Graphen zeigen den Verlauf von Streckung und Beugung während der Stand- und Schwungphase eines vollständigen Schrittes von Schulter- (a), Ellbogen- (b) und Karpalgelenk (c).

Durch die kinematische Messung von den am Tier aufgebrachten Markern kann die genaue Position eines Markers in einem 3-dimensionalen Raum für einen exakten Zeitpunkt bestimmt werden (Gillette und Angle, 2008). Dies macht es möglich, den Bewegungsumfang ("range of motion", ROM), der die Differenz zwischen den beiden maximalen Werten von Streckung und Beugung in einer Ebene ist, für ein Gelenk zu bestimmen (DeCamp et al., 1993; Leach, 1993;

Hottinger et al., 1996; Off und Matis, 1997a, 1997b). Beeinflusst wird der Bewegungsumfang von dem Gesundheitszustand des Gelenkes und der Hunderasse (Raith, 2010). Auch individuelle Einflüsse können eine Rolle spielen. Neben den Gelenkwinkeln mit ihrer maximalen Extension und Flexion, kann auch die Winkelgeschwindigkeit (Veränderung des Gelenkwinkels in der Zeit  $t$ ) und Winkelbeschleunigung (Veränderung der Winkelgeschwindigkeit pro Zeitintervall) berechnet werden. Im Gegensatz zum Gelenkwinkel, ist die korrekte Markerposition für die Winkelgeschwindigkeit von geringerer Bedeutung (DeCamp et al., 1996).

Die "time of occurrence" (TOO) beschreibt einen bestimmten Zeitpunkt, an dem ein kinematisches Ereignis innerhalb eines Schrittzklus auftritt (DeCamp et al., 1993; Leach, 1993; Hottinger et al., 1996; Off und Matis, 1997a, 1997b; Gillette und Angle, 2008). So können während eines Schrittzklus Maximal- bzw. Minimalwerte zu einem bestimmten Zeitpunkt ermittelt werden.

### **2.4.3 Studien zur Ganganalyse bei Hunden/Labrador Retrievern**

Da die Gangbildanalyse eine weit verbreitete und nützliche Methode ist, die sich in der Tiermedizin etabliert hat, (Gillette und Angle, 2008) um kinetische und kinematische Daten von lahmen bzw. lahmheitsfreien Hunden zu erfassen, existieren in der Literatur zahlreiche Studien.

In vielen Publikationen wurde die Kinetik und/oder Kinematik von gesunden (Budsberg et al., 1987; Hottinger et al., 1996; Fanchon und Grandjean, 2009) und lahmen Hunden bereits untersucht (Griffon et al., 1994; Brebner et al., 2006; Bockstahler et al., 2009; Abdelhadi et al., 2012; Abdelhadi et al., 2013). Einzelne Studien befassten sich speziell mit dem Gangbild des Labrador Retrievers im Vergleich zu anderen Rassen, wie dem Rottweiler (Mölsä et al., 2010; Agostinho et al., 2011) oder dem Greyhound (Bertram et al., 2000; Besancon et al., 2004; Colborne et al., 2005). Auch wurde das Gangbild von gesunden Labrador Retrievern erfasst (Gillette und Zebas, 1999; Clements et al., 2005; Light et al., 2010) und die Eingewöhnungszeit von diesen auf dem Laufband ermittelt (Gustås et al., 2013).

Wie sich ein FPC auf die Kinetik und Kinematik bei Hunden auswirkt, beschrieben neben Hofmann (2002) auch Burton et al. (2008). In der Studie von Burton et al. (2008) wird deutlich, dass es einen großen Unterschied in den kinetischen wie auch den kinematischen Parametern zwischen betroffener und nicht betroffener Gliedmaßen gibt. So hatte die Seite mit einem FPC eine kürzere Bodenkontaktzeit als die gesunde Seite. Außerdem wurden bei den betroffenen Gliedmaßen Schulter und Ellbogen während der Bodenkontaktzeit stärker gebeugt, und Ellbogen- und Karpalgelenk wiesen einen geringeren Bewegungsumfang auf.

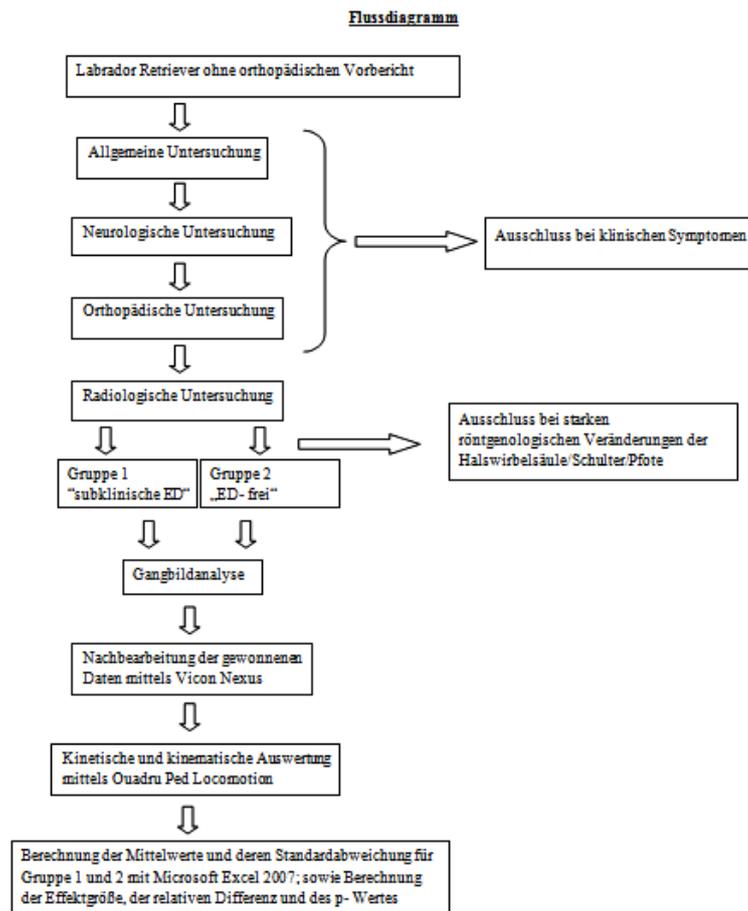
Die einzige Veröffentlichung jedoch, die sich mit Auswirkungen von subklinischen Erkrankungen auf das Gangbild bei Hunden beschäftigt hat, ist von Bockstahler et al. (2007). In dieser Studie wurde das Gangbild von 20 Belgischen Schäferhunden, die klinisch keine Anzeichen einer Hüftgelenksdysplasie zeigten, untersucht. 12 von diesen Hunden hatten hingegen radiologische Anzeichen einer Hüftgelenksdysplasie. So konnte bei den Hunden, die keine radiologischen Anzeichen einer Hüftgelenksdysplasie hatten, im Vergleich zu denen, die subklinisch betroffen waren, signifikante Unterschiede in der Kinematik festgestellt werden. Bei Hunden ohne radiologische Anzeichen zeigten sich während der Schwungphase sowohl eine frühere maximale Beugung der Hüfte als auch eine geringere Beugung sowie ein geringerer Bewegungsumfang im Kniegelenk. Hunde mit subklinischen Veränderungen zeigten während der Beugung von Knie- und Tarsalgelenk in der Schwungphase eine signifikant höhere maximale Winkelgeschwindigkeit. In der Kinetik konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

### **III. PATIENTENGUT, MATERIAL UND METHODEN**

#### **3.1 Auswahl der Hunde**

Von 55 reinrassigen Labrador Retrievern, die in dem Zeitraum 2012/2013 aus verschiedenen Gründen (z. B. HD-/ED Röntgen; Untersuchung ob Hund sportlich geführt werden kann) in der Chirurgischen Kleintierklinik, der LMU München vorstellig waren, wurden 41 Tiere in die Studiengruppe aufgenommen und ganganalytisch untersucht. Auswahlkriterien für diese Studie waren klinisch unauffällige (lahmheitsfrei) Hunde, die noch keine orthopädischen Erkrankungen im Bereich des Bewegungsapparates hatten. 14 dieser 55 Labrador Retriever erfüllten die Auswahlkriterien nicht und wurden von der Studie ausgeschlossen. (vgl. Abb. 10) Das Mindestalter der Hunde wurde auf 10 Monate, das Höchstalter auf 9 Jahre festgesetzt.

Die folgende Abbildung 10 zeigt eine grobe Übersicht der einzelnen Untersuchungsschritte der Studienteilnehmer als Flussdiagramm.



**Abb. 10: Einzelne Untersuchungsschritte der Studienteilnehmer.**

Die Schritte bis einschließlich der radiologischen Untersuchung wurden im Rahmen der Abklärung des Vorstellungsgrundes (z. B. Überprüfung der Eignung als Behindertenbegleithund, sportlichen Leistungsmöglichkeiten, Zucht) vorgenommen.

### 3.2 Klinische Untersuchungen

Nach einer kurzen Allgemeinuntersuchung, einschließlich der Erhebung von Alter, Geschlecht, Gewicht und Widerristhöhe des Hundes folgten eine neurologische und eine ausführliche orthopädische Untersuchung aller 4 Extremitäten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden mittels eines einheitlichen Untersuchungsprotokolls festgehalten (siehe Anhang). Hunde, die bei diesen Untersuchungen klinische Symptome, wie Anzeichen von Schmerzen

bei Palpation der Gliedmaßen zeigten, oder Lahmheiten beim Vorführen erkennbar waren bzw. neurologisch auffällig waren, wurden von der Studie ausgeschlossen.

### 3.3 Radiologische Untersuchung

Um die klinischen Untersuchungsergebnisse zu bestätigen, wurden im Anschluss von jedem Tier, das klinisch unauffällig war, folgende Röntgenaufnahmen gemacht:

- Halswirbelsäule im latero-lateralen Strahlengang
- Schulter beidseits im medio-lateralen Strahlengang
- Ellbogen beidseits im medio-lateralen und kranio- kaudalen Strahlengang
- Pfote beidseits im dorso-palmaren Strahlengang

Alle Röntgenaufnahmen wurden mit einem digitalen Röntgengerät (Axiom Luminos dRF der Firma Siemens) angefertigt und von 2 Fachtierärzten für Radiologie oder einem Diplomate of the European College of Veterinary Diagnostic Imaging (ECVDI) befundet. Wenn radiologische Veränderungen im Bereich des Ellbogens erkennbar waren, wurden die Tiere hinsichtlich dieses Ergebnisses in Gruppe 1 („subklinische ED“) eingeteilt. In die „ED- freie“ Gruppe 2 (Vergleichsgruppe) wurden jene Tiere zugeordnet, bei denen keine radiologischen Veränderungen des Ellbogengelenks festgestellt wurden.

Wenn folgende Veränderungen radiologisch sichtbar waren wurden die Hunde in die subklinisch erkrankte Gruppe 1 eingeteilt (siehe auch Abb. 11 b):

- Sklerose im Bereich kaudal des PCMU
- Konturveränderungen oder eine schlechte Abgrenzbarkeit des PCMU
- Arthrosen im Bereich des Ellbogengelenks
- Osteophytäre Zubildungen kranial am Caput radii, dorsal auf dem Processus anconeus, auf dem Epicondylus medialis und lateralis humeri
- Inkongruenter Gelenkspalt
- Stufenbildungen zwischen Radius und Ulna
- IPA
- OCD

- FPC

Als gesund und somit in die „ED- freie“ Gruppe 2 wurden jene Tiere zugeordnet, bei denen keiner der oben genannten Punkte zutraf und sich der PCMU als ein gut abgrenzbares, dreieckiges Knochenareal darstellt (vgl. Abb. 11 a). Klinisch nicht relevante Veränderungen im Bereich der Halswirbelsäule, der Schultern und der Pfoten wurden toleriert, wenn keine klinische Symptomatik bei der orthopädischen und neurologischen Untersuchung festgestellt wurde.



**Abb. 11:** 2 Röntgenaufnahmen als Beispiel eines gesunden (a) und eines erkrankten (b) Ellbogengelenks im medio-lateralen Strahlengang. Das erkrankte Ellbogengelenk zeigt osteophytäre Zubildungen am Radiuskopf und im Bereich des Processus anconeus (weiße Pfeile). Außerdem ist eine deutliche Sklerosierung im Bereich kaudal des schlecht abgrenzbaren PCMU zu sehen (schwarzer Pfeil).

### 3.4 Ganganalytische Untersuchung

#### 3.4.1 Technische Ausstattung des Ganglabors

Auf die radiologische Untersuchung folgte im Einverständnis mit den Hundebesitzern die ganganalytische Untersuchung in dem Ganglabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München (Abb. 12). Zur Erhebung der kinetischen Daten wurden 4 piezoelektrische Kraftmessplatten verwendet. Diese befinden sich unter 2 parallel laufenden, gummierten Laufbändern, die von einem Motor angetrieben werden. Diese

Kraftmessplatten messen mit 1000 Herz synchron die 3 Bodenreaktionskräfte (Fx-, Fy-, Fz-) aller 4 Gliedmaßen und übertragen diese an einen Computer. Die Geschwindigkeit der Laufbänder wird in 0,02 m/s Schritten, durch eine Software der Firma Simi Reality Motion Systems GmbH, Unterschleißheim, Deutschland, gesteuert.

Zur Erhebung der kinematischen Daten sind im Ganglabor insgesamt 6 Highspeed-Infrarot-Kameras Vicon MX3+ (Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK) im Rechteck um das Laufband angebracht. Diese nehmen die Signale der reflektierenden Marker mit 100 Hertz auf und übermitteln sie an einen Computer. Neben diesen Infrarotkameras sind noch weitere 9 digitale Kameras (Sony Exwave HAD, Firma Sony) und ein Belichtungssystem um das Laufband angeordnet. Die digitalen Videoaufnahmen und die kinetischen Aufzeichnungen aller 4 Gliedmaßen, sowie die kinematischen Aufnahmen der Vordergliedmaßen fanden gleichzeitig statt.



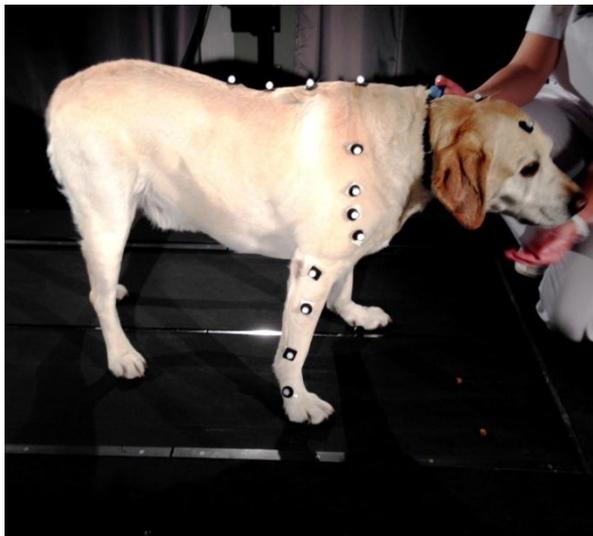
**Abb. 12: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.**

### 3.4.2 Durchführung

Jeder Labrador Retriever wurde mit 23 speziell gefertigten, im Durchmesser 0,9 bis 1,0 cm großen, reflektierenden Markern, die an doppelseitigem Klebeband fixiert waren, beklebt. Ein Marker besteht aus einer Holzkugel, die mit

reflektierendem Klebeband überzogen ist und auf einem Filzsockel aufsitzt. Diese 23 Marker wurden gemäß folgendem Markermodell an folgenden anatomischen Punkten platziert (Abb.13):

1. Stirn: Os frontale
2. Okziput: Os interparietale
3. Halswirbelsäule: Dornfortsatz des 3. Halswirbels
4. Brustwirbelsäule kranial: Dornfortsatz des 3. Brustwirbels
5. Brustwirbelsäule medial: Dornfortsatz des 6. Brustwirbels
6. Brustwirbelsäule kaudal: Dornfortsatz des 10. Brustwirbels
7. Wirbelsäule: Dornfortsatz des 13. Brustwirbels
8. Scapula: dorsaler Rand der Scapula (beidseits)
9. Scapula: Spina scapulae (beidseits)
10. Humerus: Tuberculum majus humeri (beidseits)
11. Humerus: Corpus humeri (beidseits)
12. Humerus: Epicondylus lateralis humeri (beidseits)
13. Ulna: Corpus ulnae (beidseits)
14. Ulna: Processus styloideus ulnae (beidseits)
15. Vordermittelfußknochen: distal am Os metacarpale quintum (beidseits)



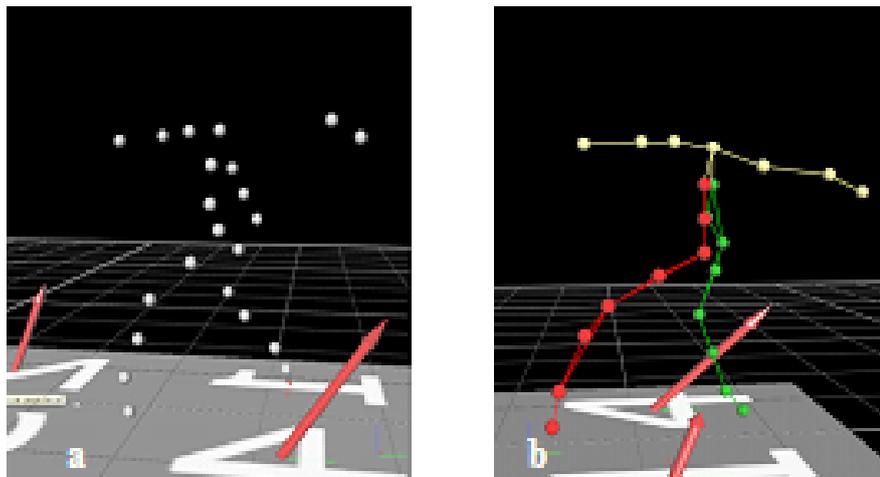
**Abb. 13: Labrador mit aufgeklebten Markern auf dem Laufband.**

Nach einer von Tier zu Tier unterschiedlichen individuellen Eingewöhnungsphase auf dem Laufband wurden von jedem Labrador Retriever 1–4 Aufnahmen von circa 1½ Minuten Länge angefertigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Hund

im Schritt mit einer Geschwindigkeit von 1,1 m/s ging, und er die Kraftmessplatten gleichmäßig belastete. Geführt wurde der Hund von seinem Besitzer oder einem Mitarbeiter der Klinik, der sich vor dem Hund befand.

### 3.5 Verarbeitung der erhobenen Daten

Mithilfe eines Softwareprogramms (Vicon Nexus 1.7.1, Vicon Motion Systems Ltd, Oxford, UK) wurden die erfassten Rohdaten rekonstruiert. Dabei wurden die Marker manuell oder teilweise automatisch rekonstruiert und nach dem zugehörigen Markermodell benannt (gelabelt) (siehe Abb. 14). Desweiteren wurden manuell Lücken geschlossen, Artefakte bereinigt und passende Sequenzen ausgewählt.



**Abb. 14: 3-dimensionale Bildschirmansicht eines ungelabelten (a) und eines gelabelten (b) Markermodells eines Hundes. Der Hund wurde nach dem bereits beschriebenen Markermodell an Kopf, Vorderextremitäten, Hals- und Brustwirbelsäule mit Markern beklebt.**

Eine spezielle Software (QuadruPedLocomotion, hausinterne Software) ermöglichte die gleichzeitige kinetische und kinematische Auswertung jeder einzelnen Gliedmaße (Layer, 2012). Für die kinetische Auswertung wurden von jeder der 4 Gliedmaßen eines Probanden mindestens 12 Schritte ausgewählt. Für die Auswahl der Schritte musste ein gleichmäßiges Gangbild erkennbar sein, und es durfte nur eine Pfote die entsprechende Kraftmessplatte berühren. Die

kinetischen und kinematischen Mittelwerte der ausgewählten Schritte wurden von diesem Programm in numerischer und graphischer Form ausgegeben. Da alle Probanden aus der gleichen Rasse stammten, wurden absoluten Zahlen verwendet. Mithilfe der Software Excel (Microsoft Office Excel 2007, Version 12.0) wurde anhand der kinetischen Daten sowohl für die Gruppe 1 (mit subklinischer ED) als auch für Gruppe 2 (ED frei) die vertikale Spitzenkraft (PVF), der vertikalen Impuls (VI) sowie deren Gewichtsverteilung berechnet.

Die Gewichtsverteilung (GW) ließ sich aus der vertikalen Spitzenkraft (GW PVF) (bzw. dem vertikalen Impuls (GW VI)) in % KGW einer Gliedmaße, dividiert durch die Summe der vertikalen Spitzenkräfte (bzw. der vertikalen Impulse) aller Gliedmaßen berechnen (Budsberg et al., 1987).

$$GW = \frac{PVF(VI)(einer\ Gliedma\beta e)}{\text{Summe}PVF(VI)\text{aller}Gliederma\beta en} \times 100$$

Um objektiv zwischen lahmen und nicht lahmen Tieren unterscheiden zu können, wurde der von Robinson et al. (1987) beschriebene Symmetrie-Index für die vertikale Spitzenkraft (PVF) und den vertikalen Impuls (VI) ermittelt. Bei Vorliegen eines Symmetrie-Index von 0 wird eine perfekte Symmetrie zwischen rechter und linker Gliedmaße erwartet. Basierend auf bereits erfolgten, klinikeigenen Erhebungen (Raith, 2010; Layer, 2012, unveröffentlichte Daten) zum Symmetrie-Index bei verschiedenen Hunderassen und dem von Voss et al. (2007) ermittelten Grenzwert von 9 wurde dieser als Grenzwert festgelegt. So wurden Tiere als lahmheitsfrei eingestuft, wenn der Wert für den Symmetrie-Index nicht größer als 9 war (Raith, 2010; Layer, 2012). Anhand des Symmetrie-Index konnte somit die Lahmheitsfreiheit objektiv verifiziert werden. Der Wert des Symmetrie-Index ist einheitslos und berechnet sich nach Robinson et al. (1987) wie folgt:

$$SI = \left| 200 \times \frac{PVFre - PVFli}{PVFre + PVFli} \right|$$

Anstatt der vertikalen Bodenreaktionskraft (PVF) kann dementsprechend auch der vertikale Impuls (VI) in diese Formel eingesetzt werden.

Für Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk wurden außerdem für Gruppe 1 und 2 die Mittelwerte der maximalen (Max) und minimalen Gelenkwinkel (Min) sowie

der Bewegungsumfang (Range of Motion, ROM) und der Zeitpunkt des geringsten Gelenkwinkels (TOO Min) ermittelt. Für das Ellbogengelenk wurde zusätzlich noch der Zeitpunkt des größten Gelenkwinkels vor dem Abfußen (TOO Max) bestimmt. Die maximalen und minimalen Gelenkwinkel haben die Einheit Grad. Der Bewegungsumfang (ROM), der die Differenz zwischen den beiden maximalen Werten von Streckung ist, wird ebenfalls in Grad angegeben. Die minimalen und maximalen Werte der „time of occurrence“ (TOO) werden prozentual zum gesamten Schrittzzyklus erfasst.

Ebenso wurden für Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk für Gruppe 1 und 2 die Mittelwerte der maximalen (Max) und minimalen Winkelgeschwindigkeit (Min) sowie die Winkelgeschwindigkeits-Spanne (Range) bestimmt. Zusätzlich wurde für das Schultergelenk der maximale (Max Abf.) und minimale (Min Abf.) Wert der Winkelgeschwindigkeit im Bereich des Abfußens/Übergang von Stand- zu Schwungphase erfasst. Der Zeitpunkt der geringsten Winkelgeschwindigkeit (TOO Min) wurde darüber hinaus für das Ellbogengelenk ermittelt. Die TOO Min wird prozentual zum gesamten Schrittzzyklus angegeben. Bei Betrachtung der Winkelgeschwindigkeit handelt es sich bei Werten mit einem positiven Vorzeichen um Extensionsbewegungen und bei Werten mit negativem Vorzeichen um Flexionsbewegungen der Gelenke. Die Winkelgeschwindigkeit ist die Veränderung des Gelenkwinkels in der Zeit (t) und hat die Einheit Grad pro Sekunde (Grad/s). Die Summe der beiden maximalen Werte (Max/Min) der Winkelgeschwindigkeit ergeben die Winkelgeschwindigkeits-Spanne (Range), die ebenfalls in Grad pro Sekunde (Grad/s) angegeben wird.

Wenn ein Hund, aus Gruppe 1, beidseits radiologische Veränderungen im Bereich des Ellbogengelenks hatte, wurde zur Auswertung der Kinetik und Kinematik die stärker betroffene Seite ausgewählt. Von den 20 subklinisch an ED erkrankten Labrador Retrievern aus Gruppe 1 waren 7 1-seitig und 13 beidseitig betroffen. Es wurden 11 linke und 9 rechte Gliedmaßen verwendet.

Außerdem wurde bei der kinetischen Auswertung der Gruppe 1 nicht zwischen linker und rechter Seite unterschieden, sondern zwischen erkrankter und nicht erkrankter Vordergliedmaße bzw. Körperhälfte (vgl. Abb. 15). Zur Auswertung der Kinetik wurde aus der gesunden Vergleichsgruppe (Gruppe 2) durch

Losentscheid die rechte oder linke Seite ausgewählt. Es wurden 11 linke und 10 rechte Gliedmaßen verwendet. Für die Auswertung der Kinematik wurde für Gruppe 2 der Mittelwert aus linker und rechter Seite genommen, um eine geringere Streuung dieser Werte zu erhalten. Alle kinetisch und kinematisch gewonnenen Ergebnisse wurden für die subklinisch erkrankte Gruppe 1 und die gesunde (Vergleichs-) Gruppe 2 tabellarisch gegenüber gestellt. In der folgenden Abbildung 15 werden die in den Tabellen verwendeten Bezeichnungen des jeweiligen Körperabschnitts dargestellt.

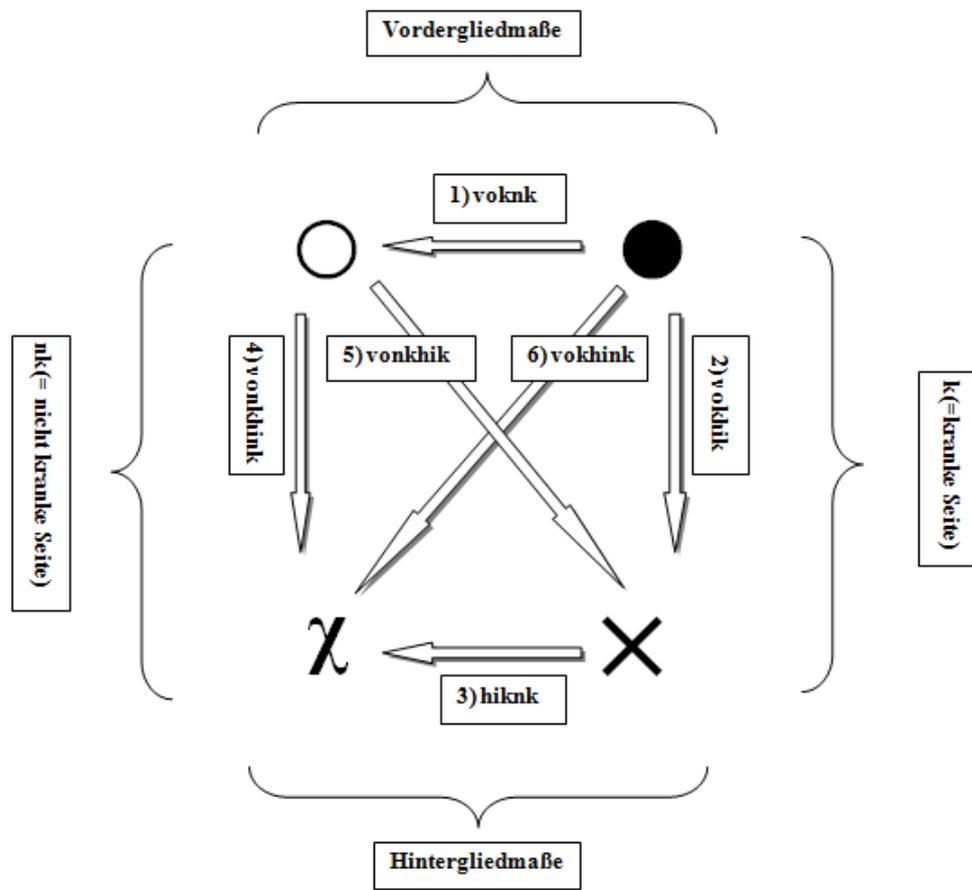


Abb. 15: Schemata zur kinetischen Auswertung.

- = Vordergliedmaße: kranke Seite (vok)
- = Vordergliedmaße: nicht kranke Seite (vonk)
- × = Hintergliedmaße: kranke Seite (hik)
- χ = Hintergliedmaße: nicht kranke Seite (hink)

Die Rechtecke mit den Nummern 1–6 stellen die kinetischen Vergleiche der jeweiligen Gliedmaße dar:

- 1) voknk = vorne kranke **gegen** nicht kranke Seite
- 2) vokhik = vorne kranke **gegen** hinten kranke Seite
- 3) hiknk = hinten kranke **gegen** nicht kranke Seite
- 4) vonkhink = vorne nicht kranke **gegen** hinten nicht kranke Seite
- 5) vonkhik = vorne nicht kranke **gegen** hinten kranke Seite
- 6) vokhink = vorne kranke **gegen** hinten nicht kranke Seite

Um die im Ergebnisteil enthaltenen Tabellen einheitlich gestalten zu können, wurden auch für die Vergleichsgruppe 2 diese Bezeichnungen beibehalten, obwohl alle 4 Gliedmaßen dieser Gruppe als gesund befundet wurden.

### 3.6 Statistik

Für die erwähnten kinetischen und kinematischen Parameter wurde anschließend mithilfe des Programms Excel (Microsoft Office Excel 2007; Version 12.0) für jede der beiden Gruppen der Mittelwert und deren Standardabweichung berechnet. Um Unterschiede zwischen den beiden Gruppen aufzuzeigen, wurden zusätzlich die relative Differenz und die Effektgröße mit dem dazu gehörigen 95 %-igen Konfidenzintervall (95 % KI) für die genannten Werte bestimmt. Die relative Differenz (rel. Diff.) lässt sich wie folgt berechnen:

$$relativeDifferenz = \left| 100 \times \frac{MWGruppel - MWGruppe2}{MWGruppe2} \right|$$

Als relevant wurden relative Differenzen ab 5 % erachtet. Die Effektgröße ist die absolute Differenz dividiert durch die Mittelwerte der Standardabweichungen beider Gruppen. Nach Cohen (1988) indiziert eine Effektgröße von 0,2 einen kleinen, ab 0,5 einen mittleren und ab 0,8 einen großen Effekt. Dementsprechend wurden Effektgrößen ab 0,2 als ausschlaggebend für einen Effekt angesehen. Das 95 %-ige Konfidenzintervall sagt aus, dass der Wert des berechneten Effekts bei unendlicher Wiederholung zu 95 % in dem berechneten Intervall liegt. Einen Hinweis, dass ein Effekt besteht, zeigt einem das Konfidenzintervall, wenn es nicht über 0 geht (Brandstätter, 1999). Desweiteren wurde für alle Ergebnisse mittels Microsoft Office Excel 2007 (Version 12.0) ein T-Test durchgeführt, bei dem das Signifikanzniveau auf 5 % ( $P \leq 0,05$ ) festgelegt wurde. Die Voraussetzung war, dass die Power aller Tests mit mindestens 80 % angesetzt wurde.

## IV. ERGEBNISSE

### 4.1 Morphologische Patientendaten

Anhand der radiologischen Aufnahmen wurden 20 der 41 untersuchten Labrador Retriever in die Gruppe 1 „subklinische ED“ eingeteilt und 21 in die „ED (Ellbogendysplasie)-freie“ Vergleichsgruppe 2.

Im Durchschnitt betrug das Alter  $4,02 \pm 2,42$  Jahre. Von diesen 41 Labrador Retrievern, die ein Gewicht zwischen 22,3 kg und 39,5 kg (Durchschnitt:  $29,56 \pm 3,84$  kg) und eine Widerristhöhe von 47–63 cm (Durchschnitt:  $54,83 \pm 3,43$  cm) hatten, waren 24 weiblich und 17 männlich.

Das Geschlechterverhältnis in Gruppe 1 ergab 13 weibliche zu 7 männlichen Tieren, und das durchschnittliche Alter bei Aufnahme dieser Gruppe betrug  $4,53 \pm 2,58$  Jahre. Hingegen befanden sich in der Vergleichsgruppe 11 weibliche und 10 männliche Tiere. Das Durchschnittsalter in dieser Gruppe betrug  $3,53 \pm 2,20$  Jahre. Gruppe 1 hatte ein durchschnittliches Gewicht von  $29,5 \pm 4,6$  kg und eine mittlere Widerristhöhe von  $54,45 \pm 3,58$  cm. In Gruppe 2 betrug das durchschnittliche Gewicht  $29,6 \pm 3,1$  kg und die Widerristhöhe  $55,19 \pm 3,34$  cm. In den folgenden Tabellen 2, 3 und 4 werden die erhobenen morphologischen Grunddaten der Probanden aufgezeigt. Für alle Tiere konnten alle Werte erhoben werden (siehe Tabellen Anhang).

**Tab. 2: Grunddaten aller Hunde (n = 41).**

Labrador Retriever	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Widerristhöhe (cm)
Mittelwert	4,02	29,56	54,83
Standardabweichung	2,42	3,84	3,43
Maximum	9,40	39,5	63
Minimum	0,90	22,3	47

**Tab. 3: Grunddaten der Gruppe mit subklinischer ED (Gruppe 1) (n = 20).**

Gruppe 1	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Widerristhöhe (cm)
Mittelwert	4,53	29,5	54,45
Standardabweichung	2,58	4,6	3,58
Maximum	9,40	39,5	61
Minimum	1,14	22,3	47

**Tab. 4: Grunddaten der gesunden Vergleichsgruppe (Gruppe 2) (n = 21).**

Gruppe 2	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Widerristhöhe (cm)
Mittelwert	3,53	29,6	55,19
Standardabweichung	2,20	3,1	3,34
Maximum	8,22	33,1	63
Minimum	0,90	22,7	51

## 4.2 Kinetik

### 4.2.1 Vertikale Spitzenkraft

Wie aus der Tabelle 5 ersichtlich ist der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich der PVF nicht signifikant. Ebenso bleibt die relative Differenz bei allen Werten unter 5 %.

**Tab. 5: Vergleich der mittleren vertikalen Spitzenkraft (PVF).**

Vertikale Spitzenkraft (PVF)					
PVF	Gruppe 1 MW [% KGW] ± (SD)	Gruppe 2 MW [% KGW] ± (SD)	rel. Diff. [%]	Effektgröße (95 % KI)	p-Wert
<b>vok</b>	60,03 (5,62)	60,30 (5,94)	0,44	0,05 (-0,57–0,66)	0,884
<b>vonk</b>	59,34 (6,23)	60,56 (5,89)	2,02	0,20 (-0,42–0,81)	0,522
<b>hik</b>	42,84 (4,57)	43,65 (3,72)	1,86	0,19 (-0,42–0,80)	0,537
<b>hink</b>	42,81 (4,81)	44,16 (3,56)	3,06	0,31 (-0,30–0,93)	0,311

### 4.2.2 Vertikaler Impuls

Beim Vergleichen beider Gruppen konnte für kein Ergebnis des vertikalen Impulses ein signifikanter Unterschied erkannt werden (siehe Tab. 6). Ein Hinweis, dass eventuell ein kleiner Effekt besteht, deutet sich beim Vergleich der erkrankten bzw. der nicht erkrankten Vordergliedmaßen an (Effektgröße vok: 0,38; vonk: 0,40). Der vertikale Impuls, der während der Standphase auf die Vordergliedmaßen wirkt, ist bei Gruppe 1 sowohl für die erkrankte (vok) als auch für die nicht erkrankte Gliedmaße (vonk) etwas kleiner als bei der gesunden Vergleichsgruppe. Die relative Differenz liegt bei beiden Werten knapp über 5 %.

**Tab. 6: Vergleich des mittleren vertikalen Impulses (VI).**

Vertikaler Impuls (VI)					
VI	Gruppe 1 MW [% KGW*s] ± (SD)	Gruppe 2 MW [% KGW*s] ± (SD)	rel. Diff. [%]	Effektgröße (95 % KI)	p-Wert
<b>vok</b>	19,40 (2,67)	20,57 (3,34)	5,70	0,38 (-0,24–1,00)	0,224
<b>vonk</b>	19,17 (2,46)	20,37 (3,28)	5,87	0,40 (-0,22–1,02)	0,196
<b>hik</b>	11,86 (1,80)	11,95 (1,52)	0,75	0,05 (-0,56–0,67)	0,864
<b>hink</b>	11,65 (1,70)	11,83 (1,69)	1,57	0,11 (-0,51–0,72)	0,727

### 4.2.3 Symmetrie-Index

Der Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft (SI PVF) zeigt beim Vergleichen der vorne-kranken (vok) gegen die nicht kranke Seite (voknk) einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,027$ ) zwischen den Gruppen auf (vgl. Tab. 7). Die Effektgröße von 0,71 und die relative Differenz von 57,24 % deuten zusätzlich auf einen mittleren bis großen Effekt hin. Demzufolge bestand ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der Symmetrie der vertikalen Spitzenkraft, die auf die Vordergliedmaßen wirkte.

Alle anderen Differenzen waren nicht signifikant. Beim Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft der hinten-kranken (hik) gegen die nicht kranke Seite

(hiknk) zeigt sich eine relative Differenz von 16,21 % und ein kleiner Effekt von 0,27, jedoch ebenfalls keine Signifikanz.

**Tab. 7: Vergleich des Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft (SI PVF).**

<b>Symmetrieindex der vertikalen Spitzenkraft (SI PVF)</b>					
<b>SI PVF</b>	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>rel. Diff.</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>MW ± (SD)</b>	<b>MW ± (SD)</b>	<b>[%]</b>	<b>(95 % KI)</b>	
<b>voknk</b>	4,11 (2,20)	2,61 (1,95)	57,24	0,71 (0,07–1,34)	0,027
<b>hiknk</b>	3,24 (2,23)	3,86 (2,38)	16,21	0,27 (-0,35–0,88)	0,390
<b>vohi</b>	32,74 (17,32)	31,40 (13,22)	4,27	0,09 (-0,53–0,70)	0,781
<b>vokhik</b>	33,30 (16,74)	31,76 (13,72)	4,83	0,10 (-0,51–0,71)	0,749
<b>vokhink</b>	33,41 (16,74)	30,61 (13,02)	9,17	0,18 (-0,43–0,80)	0,551
<b>vonkhink</b>	32,15 (18,42)	31,05 (13,19)	3,55	0,07 (-0,54–0,68)	0,826
<b>vonkhik</b>	32,04 (18,3)	32,20 (14,04)	0,49	0,01 (-0,60–0,62)	0,975

Die Werte des Symmetrie-Index des vertikalen Impulses (SI VI) sind nicht signifikant unterschiedlich (Tab. 8). Kleine bis mittlere Effekte sowie relative Differenzen über 25 % zeigen der Vergleich beider Gruppen des SI VI vorne-krank (vok) gegen die nicht kranke Seite (voknk) und hinten-krank (hik) gegen die nicht kranke Seite (hiknk) auf. Im Vergleich zu Gruppe 1 hat Gruppe 2 demnach eine etwas geringere Gleichmäßigkeit der Kraft, die über die Zeit der Standphasendauer auf eine Gliedmaße einwirkt.

**Tab. 8: Vergleich des Symmetrie-Index des vertikalen Impulses (SI VI).**

Symmetrieindex des vertikalen Impulses (SI VI)					
SI VI	Gruppe 1 MW ± (SD)	Gruppe 2 MW ± (SD)	rel. Diff. [%]	Effektgröße (95 % KI)	p-Wert
<b>voknk</b>	3,15 (2,65)	4,29 (2,19)	26,52	0,46 (-0,16–1,08)	0,141
<b>hiknk</b>	3,23 (2,73)	4,61 (2,48)	29,92	0,52 (-0,10–1,14)	0,098
<b>vohi</b>	48,09 (22,45)	52,04 (21,04)	7,58	0,18 (-0,44–0,79)	0,565
<b>vokhik</b>	47,76 (22,78)	51,95 (21,29)	8,07	0,19 (-0,43–0,80)	0,546
<b>vokhink</b>	49,38 (22,87)	53,02 (21,55)	6,87	0,16 (-0,45–0,77)	0,603
<b>vonkhink</b>	48,42 (22,29)	52,11 (21,21)	7,08	0,17 (-0,45–0,78)	0,590
<b>vonkhik</b>	46,78 (22,45)	51,04 (21,09)	8,34	0,19 (-0,42–0,81)	0,535

Um subklinische Lahmheiten zu erkennen, wurde -wie bereits erwähnt- für den Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses der Grenzwert von 9 festgelegt. Dies bedeutet, dass bei einem Symmetrie-Index von 0–9 keine klinisch relevante Differenz im Sinne einer Lahmheit besteht. Wenn der Symmetrie-Index kleiner als 9 ist, werden die Tiere als lahmheitsfrei beurteilt. Damit liegt die Differenz im Rahmen physiologischer Abweichungen. Da für Gruppe 1 und 2 der SI PVF(voknk/hiknk) und der SI VI (voknk/hiknk) den Grenzwert nicht überschreitet, ist von einer Symmetrie der Gliedmaße auszugehen (siehe Tab. 7 und 8). Somit wurden auch die Hunde aus der erkrankten Gruppe 1 als lahmheitsfrei eingestuft. Trotz nicht Überschreitung des Grenzwertes besteht ein signifikanter Unterschied ( $p = 0,027$ ) zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich des SI PVF (voknk) (Tab7).

Deutlich überschritten wird der Grenzwert des Symmetrie-Index der PVF und des VI, wenn die Vorder- gegen die Hintergliedmaßen verglichen werden (vohi, vokhik, vokhink, vonkhink, vonkhik) (Tab. 7 und 8). Dies entspricht der physiologischen Belastung der Vordergliedmaßen, die etwa 30 % größer als die der Hintergliedmaßen ist. Jedoch lässt sich kein Unterschied zwischen den Gruppen bezüglich dieser Parameter finden.

#### 4.2.4. Gewichtsverteilung

Bei dem Vergleich zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 ergaben sich hinsichtlich der Gewichtsverteilung der vertikalen Spitzenkraft (GW PVF) (Tab. 9) und des vertikalen Impulses (GW VI) (Tab. 10) keine signifikanten Unterschiede. Auch die geringen relativen Differenzen und die kleinen Werte der Effektgrößen deuten auf keinen Unterschied zwischen subklinisch an ED erkrankten und nicht erkrankten Hunden hin.

Wie in Tabelle 9 und 10 ersichtlich zeigt dieses Ergebnis, dass auch bei subklinisch an ED erkrankten Tieren die Vorderbeine etwa 60 % und die Hinterbeine 40 % der auftretenden Kraft tragen. (Vergleich vorne : hinten) Außerdem wurde die Körperhälfte mit der an ED erkrankten Gliedmaße gleich stark wie die gesunde Körperhälfte (Vergleich kranke Seite : nicht kranken Seite) belastet. So nahm jedes Vorderbein (vok, vonk) etwa 30 % und jedes Hinterbein (hik, hink) etwa 20 % der Last auf.

**Tab. 9: Vergleich der Gewichtsverteilung der vertikalen Spitzenkraft (GW PVF).**

Gewichtsverteilung der vertikalen Spitzenkraft (GW PVF)					
GW PVF	Gruppe 1 MW [% KGW] ± (SD)	Gruppe 2 MW [% KGW] ± (SD)	rel. Diff. [%]	Effektgröße (95 % KI)	p-Wert
vok	29,26 (2,04)	28,86 (1,68)	1,40	0,21 (-0,40–0,83)	0,494
vonk	28,93 (2,46)	28,99 (1,76)	0,23	0,03 (-0,58–0,64)	0,920
hik	20,92 (2,21)	20,96 (1,79)	0,17	0,02 (-0,60–0,63)	0,955
hink	20,90 (2,21)	21,20 (1,64)	1,42	0,15 (-0,46–0,77)	0,623
vorne	58,18 (4,33)	57,85 (3,31)	0,58	0,09 (-0,53–0,70)	0,781
hinten	41,82 (4,33)	42,15 (3,31)	0,80	0,09 (-0,53–0,70)	0,781
k	50,18 (0,73)	49,81 (0,72)	0,74	0,50 (-0,13–1,12)	0,113
nk	49,82 (0,73)	50,19 (0,72)	0,73	0,50 (-0,13–1,12)	0,113

**Tab. 10: Vergleich der Gewichtsverteilung des vertikalen Impulses (GW VI).**

<b>Gewichtsverteilung des vertikalen Impulses (GW VI)</b>					
<b>GW VI</b>	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>rel. Diff.</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>MW [% KGW*s] ± (SD)</b>	<b>MW [% KGW*s] ± (SD)</b>	<b>[%]</b>	<b>(95 % KI)</b>	
<b>vok</b>	31,18 (2,96)	31,66 (2,76)	1,51	0,16 (-0,45–0,78)	0,595
<b>vonk</b>	30,84 (2,78)	31,35 (2,71)	1,62	0,18 (-0,43–0,79)	0,558
<b>hik</b>	19,15 (2,86)	18,60 (2,68)	2,98	0,20 (-0,42–0,81)	0,525
<b>hink</b>	18,82 (2,80)	18,39 (2,68)	2,35	0,15 (-0,46–0,77)	0,616
<b>vorne</b>	62,02 (5,61)	63,01 (5,26)	1,57	0,18 (-0,44–0,79)	0,565
<b>hinten</b>	37,98 (5,61)	36,99 (5,26)	2,67	0,18 (-0,44–0,79)	0,565
<b>k</b>	50,34 (0,85)	50,26 (0,95)	0,15	0,08 (-0,53–0,69)	0,792
<b>nk</b>	49,66 (0,85)	49,74 (0,95)	0,15	0,08 (-0,53–0,69)	0,792

## 4.3 Kinematik

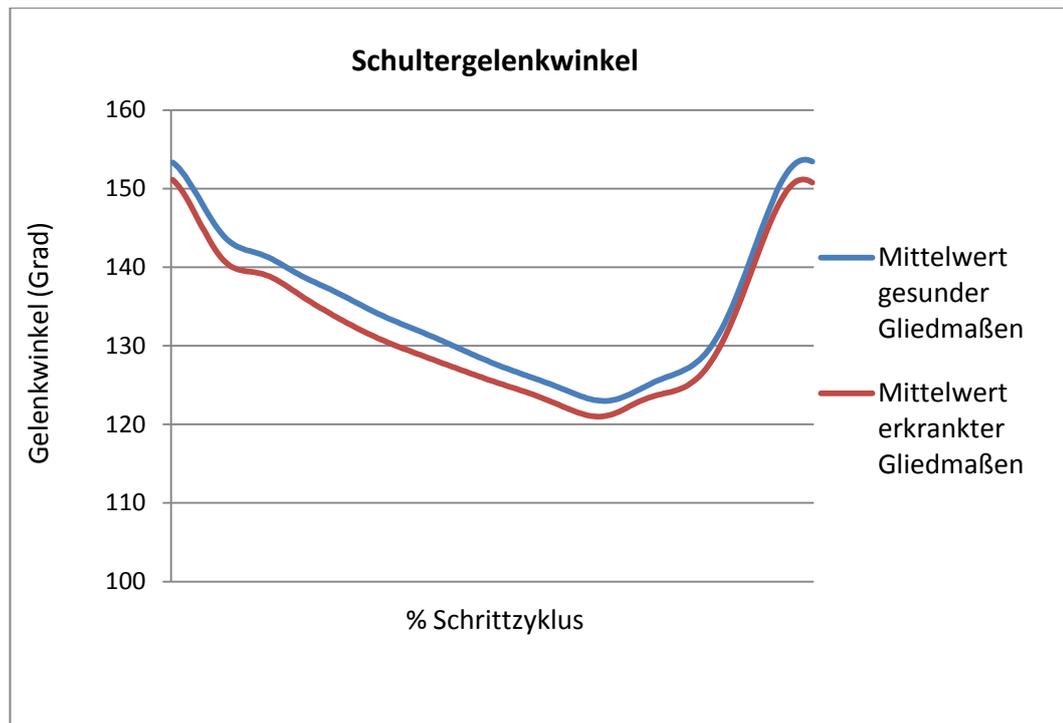
### 4.3.1 Schultergelenkwinkel

Weder für Maximum und Minimum noch für den Bewegungsumfang und den Zeitpunkt des geringsten Gelenkwinkels ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (vgl. Tab. 11). Auch die Effektgrößen und die relativen Differenzen deuten auf keine Unterschiede zwischen beiden Gruppen hin.

**Tab. 11: Vergleich der Mittelwerte des Schultergelenkwinkels.**

<b>Schultergelenkwinkel</b>					
<b>Schultergelenkwinkel</b>	<b>Gruppe 1</b> MW [Grad] ± (SD)	<b>Gruppe 2</b> MW [Grad] ± (SD)	<b>rel. Diff.</b> [%]	<b>Effektgröße</b> (95 % KI)	<b>p-Wert</b>
<b>Max</b>	152,55 (17,09)	154,54 (12,76)	1,28	0,13 (-0,48–0,74)	0,675
<b>Min</b>	119,34 (14,20)	121,16 (9,12)	1,50	0,15 (-0,46–0,76)	0,626
<b>ROM</b>	33,20 (7,64)	33,37 (5,76)	0,49	0,02 (-0,59–0,64)	0,939
<b>Schultergelenkwinkel</b>	<b>Gruppe 1</b> MW [% Schritt] ± (SD)	<b>Gruppe 2</b> MW [% Schritt] ± (SD)	<b>rel. Diff.</b> [%]	<b>Effektgröße</b> (95 % KI)	<b>p-Wert</b>
<b>TOO Min</b>	69,23 (6,42)	69,87 (4,21)	0,92	0,12 (-0,50–0,73)	0,705

Die graphische Darstellung des Schultergelenkwinkels zeigt, dass während des gesamten Schrittzklusverlaufes Gruppe 1 im Vergleich zu Gruppe 2 eine etwas stärkere Winkelung (gebeugtere Haltung) des Schultergelenks hat (siehe Abb. 16).



**Abb. 16:** Veränderungen des Schultergelenkwinkels während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).

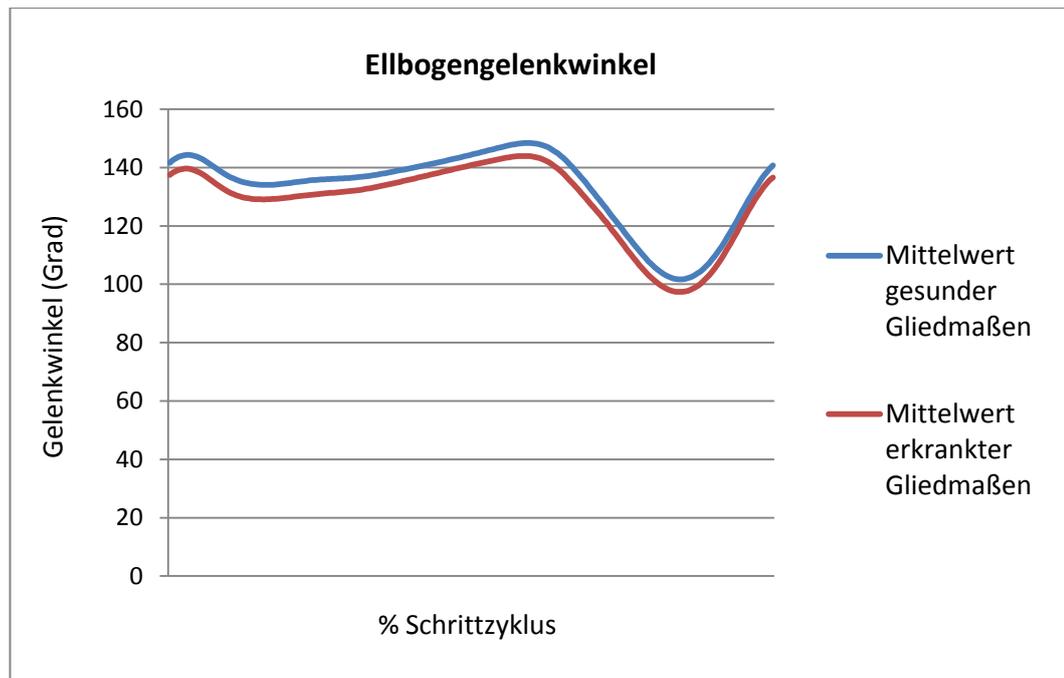
#### 4.3.2 Ellbogengelenkwinkel

Bei dem Ellbogengelenkwinkel in Tabelle 12 zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Die relativen Differenzen bewegen sich alle unter 5 %. Hinweise auf einen kleinen Effekt könnten die Effektgrößen des maximalen (Effektgröße Max = 0,29) und minimalen (Effektgröße Min = 0,28) Ellbogengelenkwinkels sowie der Zeitpunkt des maximalen Gelenkwinkels (Effektgröße TOO Max = 0,41) liefern. Alle Mittelwerte sind bei der gesunden Vergleichsgruppe etwas höher als bei erkrankten Gruppe 1.

**Tab. 12: Vergleich der Mittelwerte des Ellbogengelenkwinkels.**

<b>Ellenbogengelenkwinkel</b>					
<b>Ellenbogen- gelenkwinkel</b>	<b>Gruppe 1</b> MW [Grad] ± (SD)	<b>Gruppe 2</b> MW [Grad] ± (SD)	<b>rel. Diff.</b> [%]	<b>Effektgröße</b> (95 % KI)	<b>p-Wert</b>
<b>Max</b>	146,41 (12,95)	149,67 (9,06)	2,18	0,29 (-0,33–0,90)	0,354
<b>Min</b>	95,87 (14,53)	99,23 (8,58)	3,39	0,28 (-0,34–0,89)	0,370
<b>ROM</b>	50,55 (4,47)	50,44 (3,96)	0,21	0,02 (-0,59–0,64)	0,937
<b>Ellenbogen- gelenkwinkel</b>	<b>Gruppe 1</b> MW [% Schritt] ± (SD)	<b>Gruppe 2</b> MW [%Schritt] ± (SD)	<b>rel. Diff.</b> [%]	<b>Effektgröße</b> (95 % KI)	<b>p-Wert</b>
<b>TOO Max</b>	59,90 (3,14)	61,49 (4,35)	2,58	0,41 (-0,21–1,03)	0,190
<b>TOO Min</b>	84,70 (2,38)	84,67 (2,16)	0,04	0,01 (-0,60–0,63)	0,963

Wie bei dem Schultergelenkwinkel zeigt sich auch bei dem Ellbogengelenk, dass die erkrankte Gruppe 1 im Vergleich zu der gesunden Gruppe 2 während des gesamten Schrittzklusverlaufes eine etwas gebeugtere Haltung (stärkere Winkelung) hat (vgl. Abb. 17).



**Abb. 17:** Veränderungen des Ellbogengelenkwinkels während des Schrittzzyklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).

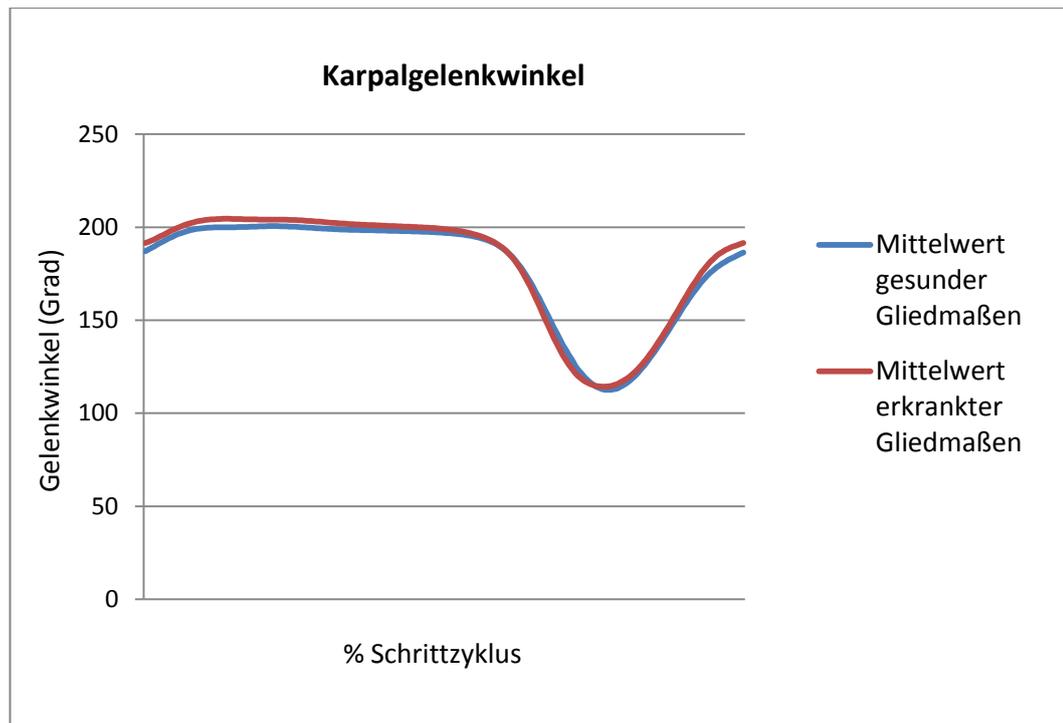
#### 4.3.3 Karpalgelenkwinkel

Auch bei dem Karpalgelenkwinkel zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (siehe Tab. 13). Die relativen Differenzen sind alle unter 5 %. Der Unterschied zwischen den beiden Gruppen hat bei dem maximalen Karpalgelenkwinkel eine Effektgröße von 0,36 und könnte somit auf einen kleinen Effekt hindeuten.

**Tab. 13: Vergleich der Mittelwerte des Karpalgelenkwinkels.**

<b>Karpalgelenkwinkel</b>					
<b>Karpal- gelenkwinkel</b>	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>rel. Diff.</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>MW [Grad] ± (SD)</b>	<b>MW [Grad] ± (SD)</b>	<b>[%]</b>	<b>(95 % KI)</b>	
<b>Max</b>	205,60 (10,16)	201,99 (9,28)	1,78	0,36 (-0,25–0,98)	0,243
<b>Min</b>	110,67 (15,94)	109,70 (12,56)	0,88	0,07 (-0,55–0,68)	0,830
<b>ROM</b>	94,92 (16,38)	92,29 (13,28)	2,85	0,17 (-0,44–0,79)	0,574
<b>Karpal- gelenkwinkel</b>	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>rel. Diff.</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>MW [% Schritt] ± (SD)</b>	<b>MW [% Schritt] ± (SD)</b>	<b>[%]</b>	<b>(95 % KI)</b>	
<b>TOO Min</b>	76,59 (2,89)	76,80 (3,04)	0,27	0,07 (-0,54–0,68)	0,822

In der graphischen Darstellung des Karpalgelenkwinkels sieht man, dass die beiden Kurven fast identisch verlaufen (Abb.18). Nur zu Beginn des Schrittzklus hat Gruppe 1 einen größeren Maximalwert als die (Vergleichs-) Gruppe 2 aufzuweisen.



**Abb. 18:** Veränderungen des Karpalgelenkwinkels während des Schrittzzyklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).

#### 4.3.4 Winkelgeschwindigkeit Schultergelenk

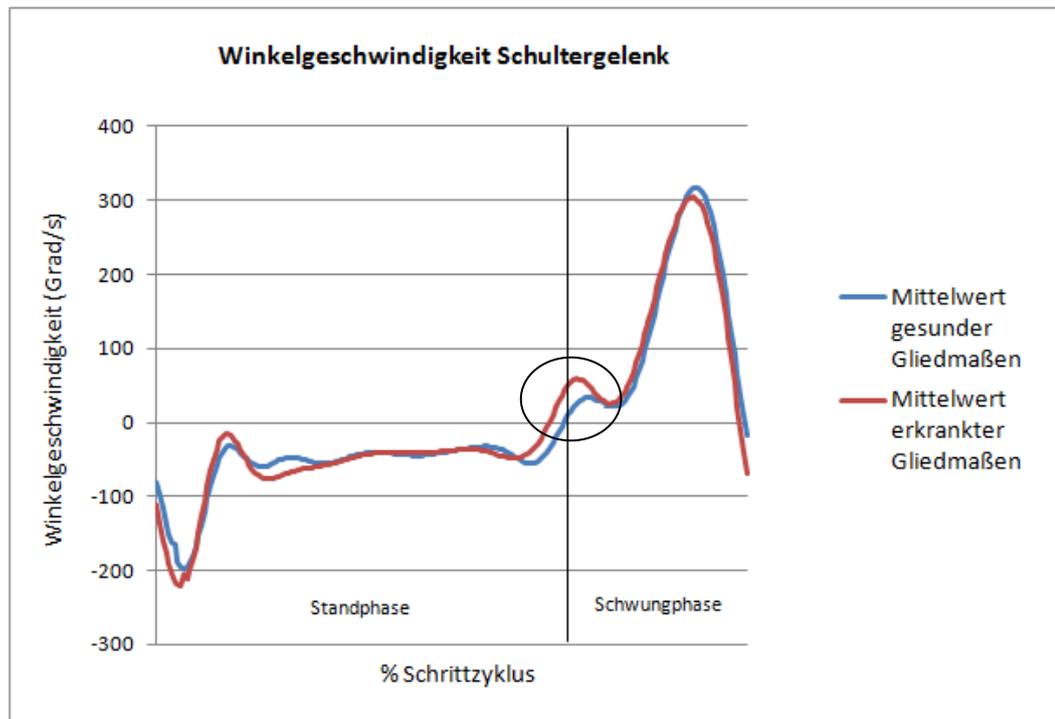
Zwischen den Mittelwerten beider Gruppen konnten in Bezug auf die Winkelgeschwindigkeit des Schultergelenks keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (vgl. Tab. 14). Beim Betrachten des Minimums innerhalb des Schrittzzyklus-Abschnittes, im Bereich des Abfußens/Übergang von Stand- zu Schwungphase, fällt eine relative Differenz zwischen beiden Gruppen von 13,76 % auf. Die Effektgröße von 0,29 könnte einen Hinweis auf einen kleinen Effekt liefern.

Für die minimale Schultergelenks-Winkelgeschwindigkeit und den maximalen Wert innerhalb des Schrittzzyklus-Abschnittes, im Bereich des Abfußens/Übergang von Stand- zu Schwungphase, sind die relativen Differenzen zwischen beiden Gruppen knapp über 5 %. Jedoch gibt die Effektgröße von 0,18 keinen Hinweis auf einen Effekt (Tab. 14).

**Tab. 14: Vergleich der Mittelwerte der Schultergelenks-Winkelgeschwindigkeit (WG).**

<b>Schultergelenks-Winkelgeschwindigkeit (Schulter WG)</b>					
<b>Schulter WG</b>	<b>Gruppe 1</b>	<b>Gruppe 2</b>	<b>rel. Diff.</b>	<b>Effektgröße</b>	<b>p-Wert</b>
	<b>MW [Grad/s] ± (SD)</b>	<b>MW [Grad/s] ± (SD)</b>	<b>[%]</b>	<b>(95 % KI)</b>	
<b>Max</b>	332,79 (52,16)	332,60 (51,67)	0,06	0,00 (-0,61–0,62)	0,991
<b>Min</b>	-263,37 (88,29)	-249,36 (59,34)	5,62	0,18 (-0,43–0,80)	0,553
<b>Range</b>	596,16 (125,40)	581,96 (98,21)	2,44	0,12 (-0,49–0,74)	0,688
<b>Max Abf.</b>	105,90 (66,05)	98,41 (52,49)	7,62	0,12 (-0,49–0,74)	0,689
<b>Min Abf.</b>	-89,65 (36,82)	-103,95 (58,07)	13,76	0,29 (-0,33–0,90)	0,355

Die Verlaufskurve der Winkelgeschwindigkeit zeigt, dass die erkrankte Gruppe im Gegensatz zur gesunden, im Schrittzylusbereich des Abfußens/Übergang von Stand- zu Schwungphase, eine höhere Winkelgeschwindigkeit aufweist (Abb.19).



**Abb. 19:** Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit des Schultergelenks während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).

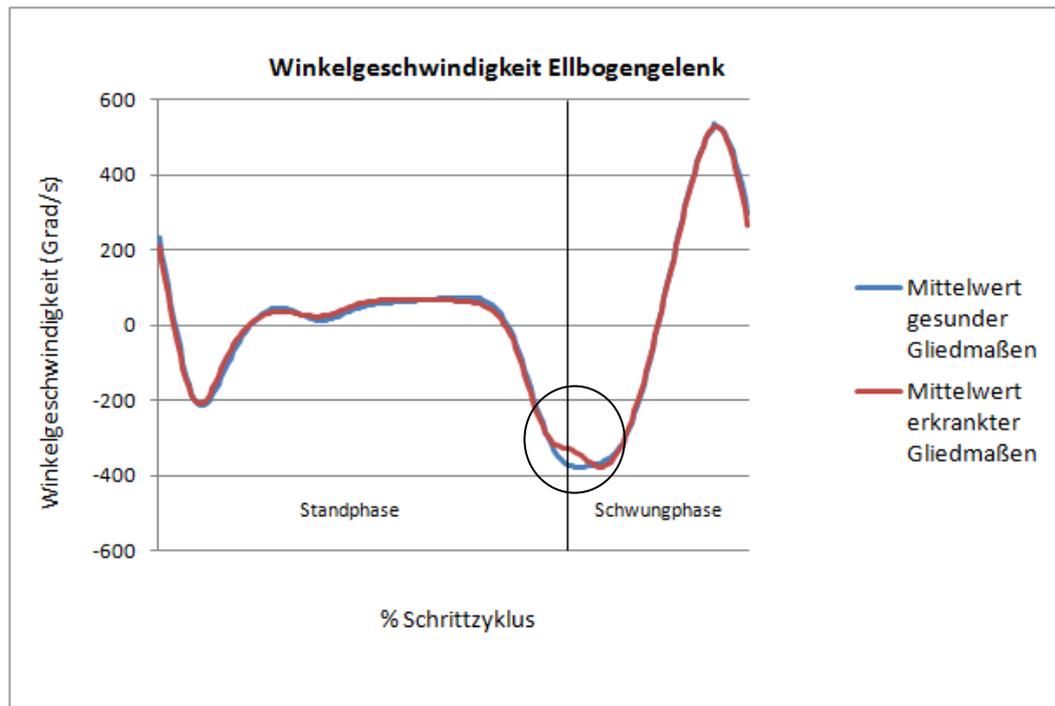
#### 4.3.5 Winkelgeschwindigkeit Ellbogengelenk

Keiner der Werte bezüglich der Ellbogengelenk–Winkelgeschwindigkeit ist signifikant (Tab. 15). Die relativen Differenzen bewegen sich alle unter 5 %. Einen Hinweis auf einen kleinen Effekt kann die Effektgröße des Zeitpunktes der geringsten Winkelgeschwindigkeit (TOO Min) geben (Effektgröße = 0,29).

**Tab. 15: Vergleich der Mittelwerte der Ellbogengelenks-Winkelgeschwindigkeit (WG).**

<b>Ellbogengelenks-Winkelgeschwindigkeit (Ellenbogen WG)</b>					
<b>Ellen- bogen WG</b>	<b>Gruppe 1 MW [Grad/s] ± (SD)</b>	<b>Gruppe 2 MW [Grad/s] ± (SD)</b>	<b>rel. Diff. [%]</b>	<b>Effektgröße (95 % KI)</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Max</b>	574,95 (63,16)	569,28 (75,58)	0,97	0,08 (-0,53–0,69)	0,796
<b>Min</b>	-450,02 (91,09)	-446,82 (76,92)	1,71	0,04 (-0,58–0,65)	0,904
<b>Range</b>	1024,97 (138,02)	1016,10 (116,56)	0,22	0,07 (-0,54–0,68)	0,825
<b>Ellen- bogen WG</b>	<b>Gruppe 1 MW [% Schritt] ± (SD)</b>	<b>Gruppe 2 MW [% Schritt] ± (SD)</b>	<b>rel. Diff. [%]</b>	<b>Effektgröße (95 % KI)</b>	<b>p-Wert</b>
<b>TOO Min</b>	73,35 (4,77)	72,05 (4,18)	1,81	0,29 (-0,33–0,90)	0,357

Die Winkelgeschwindigkeitskurven der gesunden wie auch der erkrankten Gruppe haben einen fast identischen Verlauf. Jedoch ist gut zu erkennen, dass die Gruppe 2 ihr Minimum etwas früher als die Gruppe 1 erreicht (vgl. Abb. 20).



**Abb. 20: Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit des Ellbogengelenks während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).**

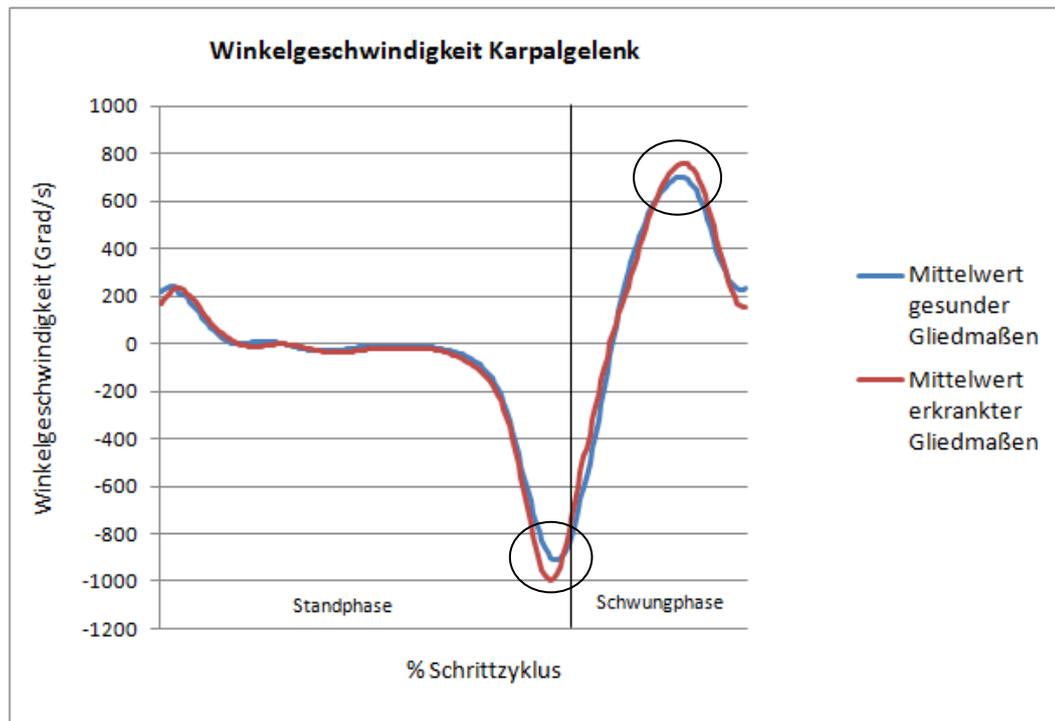
#### 4.3.6 Winkelgeschwindigkeit Karpalgelenk

Auch bei der Winkelgeschwindigkeit des Karpalgelenks zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (siehe Tab. 16). Die Effektgrößen können aber alle auf kleine bis mittlere Effekte hindeuten (Effektgröße: Max = 0,43; Min = 0,29; Range = 0,38). Die relative Differenz zwischen den Gruppen liegt für das Maximum der Winkelgeschwindigkeit bei 9,02 % und für die Winkelgeschwindigkeits-Spanne (Range) bei 6,25 %.

**Tab. 16: Vergleich der Mittelwerte der Karpalgelenks-Winkelgeschwindigkeit (WG).**

<b>Karpalgelenks-Winkelgeschwindigkeit (Karpal WG)</b>					
<b>Karpal WG</b>	<b>Gruppe 1 MW [Grad/s] ± (SD)</b>	<b>Gruppe 2 MW [Grad/s] ± (SD)</b>	<b>rel. Diff. [%]</b>	<b>Effektgröße (95 % KI)</b>	<b>p-Wert</b>
<b>Max</b>	870,70 (193,55)	791,90 (166,16)	9,02	0,43 (-0,19–1,05)	0,169
<b>Min</b>	-1172,00 (284,26)	-1094,72 (233,04)	4,28	0,29 (-0,32–0,91)	0,346
<b>Range</b>	2042,69 (445,97)	1886,62 (356,25)	6,25	0,38 (-0,24–1,00)	0,222

Wie aus der Grafik 21 ersichtlich ist der Kurvenverlauf bei beiden Gruppen nahezu identisch. Allerdings sind minimale und maximale Winkelgeschwindigkeit des Karpalgelenks bei der subklinisch erkrankten Gruppe erniedrigt bzw. erhöht. Dadurch vergrößert sich für Gruppe 1 auch automatisch die Winkelgeschwindigkeits-Spanne (Range).



**Abb. 21:** Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit des Karpalgelenks während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).

## V. DISKUSSION

Aufgabenstellung dieser Dissertation war es, anhand der Rasse Labrador Retriever mögliche Unterschiede im Gangbild aufzuzeigen - zum einen bei klinisch gesunden - zum anderen ebenfalls bei klinisch gesunden Tieren, aber mit radiologisch sichtbaren Veränderungen am Ellbogen (subklinisch erkrankte). Für diese Studie wurden anhand der radiologischen Aufnahmen 20 der 41 untersuchten Hunde in die Gruppe 1 „subklinische ED (Ellbogendysplasie)“ und 21 in die „ED -freie“ Vergleichsgruppe 2 eingeteilt. Alle diese Tiere zeigten keinerlei Lahmheitssymptome. Die Lahmheitsfreiheit wurde mittels Berechnung des Symmetrie-Index für die vertikale Spitzenkraft und den vertikalen Impuls bestimmt (Budsberg et al., 1993).

### 5.1 Kinetik

Wie in der Untersuchung von Bockstahler et al. (2007) wurden für die vertikale Spitzenkraft und den vertikalen Impuls bei Tieren mit subklinischen Veränderungen keine signifikanten Unterschiede gegenüber gesunden Tieren gefunden. Beim vertikalen Impuls könnte es jedoch einen Hinweis geben, dass die vertikale Kraft, die während der Standphase auf die Vordergliedmaßen wirkt, bei der erkrankten Gruppe geringer als bei der gesunden ist. Die Werte der gesunden Gruppe decken sich mit Werten anderer Autoren, die das Gangbild des Labrador Retrievers untersuchten (Besancon et al., 2004; Layer, 2012).

Da es jedoch keine großen Unterschiede innerhalb der Gruppen hinsichtlich ihrer vertikalen Bodenreaktionskräfte gab, konnte in dieser Studie auf eine gleichmäßige Rechts-/Linksbelastung geschlossen werden (Layer, 2012). Um subklinische Lahmheiten auszuschließen, wurde der Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses berechnet und ein Grenzwert festgelegt. Obwohl der Unterschied bezüglich des Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft signifikant war, konnte von lahmheitsfreien Hunden in beiden Gruppen ausgegangen werden, da sich die von uns laborintern

entwickelten Grenzwerte weitgehend mit den in der Literatur genannten decken.

Der signifikante Wert macht aber deutlich, dass es einen Unterschied in der vertikalen Spitzenkraft gibt. Demnach haben die Hunde mit subklinischer ED bei der vertikalen Spitzenkraft größere Differenzen zwischen den Vordergliedmaßen als Hunde ohne ED. Jedoch liegen diese Unterschiede, zwischen den Vordergliedmaßen, noch im Rahmen einer physiologischen Differenz. Einige Studien zeigen aber bei Lahmheiten im Bereich der Vorderextremitäten, dass Last von der beeinträchtigten Gliedmaße sowohl auf die gesunde Vordergliedmaße als auch auf die kontralaterale Hintergliedmaße verlagert wird (Griffon et al., 1994; Bockstahler et al., 2009; Abdelhadi et al., 2013).

Der Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft für die Hinterhand und der des vertikalen Impulses für Vorder- und Hinterhand sind hingegen bei der gesunden Gruppe höher als bei der erkrankten. Da aber alle Tiere als lahmheitsfrei eingestuft wurden, spielt dieses Ergebnis keine Rolle, zumal keiner dieser Werte signifikant ist, und es nach Budsberg et al. (1993) keine vollkommene Symmetrie zwischen rechter und linker Gliedmaße gibt.

Beim Vergleichen der Gruppe 1 und 2 ergaben sich hinsichtlich der Gewichtsverteilung der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses keine signifikanten Unterschiede. Somit wurden keine Kompensationsmechanismen gemessen. Jedoch stimmte die Gewichtsverteilung mit Ergebnissen anderer Autoren überein (Larché, 1962; Budsberg et al., 1987; Unkel-Mohrmann, 1999; Raith, 2010) und zeigte, dass die Körperhälfte mit der an subklinischer ED erkrankten Gliedmaße gleich stark wie die gesunde Körperhälfte belastet wurde. So nahm jedes Vorderbein etwa 30 % und jedes Hinterbein etwa 20 % der Last auf.

## **5.2 Kinematik**

### **5.2.1 Gelenkwinkel**

Die Unterschiede beider Gruppen im Gelenkwinkelverlauf des Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenks waren nicht signifikant. Auffällig in der graphischen

Darstellung der Gelenkwinkelverläufe war hingegen, dass während des gesamten Verlaufs des Schrittzklus das Schulter- und Ellbogengelenk der subklinisch erkrankten Gruppe eine etwas stärkere Winkelung (gebeugtere Haltung) aufwiesen. So konnte man bei den subklinisch erkrankten Tieren eine stärkere Flexion und eine geringere Extension dieser Gelenke erkennen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Burton et al. (2008), die unter anderem die Gelenkwinkel bei Hunden mit einem einseitigen FPC untersuchten und diese mit den Gelenkwinkeln der gesunden Seite verglichen. In dieser Studie trabten die Tiere und die Gelenkwinkel wurden nur während der Standphase ermittelt. Es zeigte sich, dass Schulter und Ellbogen der betroffenen Gliedmaße eine stärkere Beugung im Vergleich zur gesunden hatten.

Das Karpalgelenk wies bei der erkrankten Gruppe zu Beginn des Schrittzklus einen größeren Maximalwert als die Vergleichsgruppe auf. Beim Aufsetzen der Gliedmaße befinden sich Schulter- und Ellbogengelenk in fast maximaler Streckung, während das Karpalgelenk maximal gestreckt wird. Da in der graphischen Darstellung des Gelenkwinkelverlaufs eine etwas stärkere Flexion des Schulter- und Ellbogengelenks der subklinisch erkrankten Gruppe sichtbar wird, ist zu mutmaßen, dass das Karpalgelenk dies ausgleicht. Somit würde das Karpalgelenk stärker (als im weiteren Verlauf üblich) überstreckt werden, um die fehlende Extension von Ellbogen und Schulter zu kompensieren.

Auch wenn die Range of Motion der erkrankten Gruppe beim Ellbogen- und Karpalgelenk nicht wie bei Burton et al. (2008) verringert waren - was daran liegen mag, dass diese Tiere nur eine subklinische Veränderung im Bereich des Ellbogens aufwiesen - zeigten sich im Gelenkwinkelverlauf trotzdem gut sichtbare Abweichungen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe. Somit wäre es denkbar, dass bereits bei subklinischer ED eine gewisse Schonhaltung der Gliedmaße eingenommen wird.

Desweiteren konnte gezeigt werden, dass die Gelenkwinkelverläufe der Kontrollgruppe als auch der erkrankten Gruppe größtenteils mit bereits getätigten Veröffentlichungen zu Gelenkwinkeln gesunder Vordergliedmaßen übereinstimmen. Limitierend war dabei, dass diese Studien mit anderen Rassen arbeiteten (Hottinger et al., 1996; Hofmann, 2002; Raith, 2010), oder die Tiere im Trab (bzw. nicht mit der gleichen Geschwindigkeit) untersucht wurden (Gillette und Zebas, 1999; Clements et al., 2005; Agostinho et al., 2011), sodass ein

direkter Vergleich nur eingeschränkt möglich war.

### 5.2.2 Winkelgeschwindigkeit

Laut Marghita et al. (1996) und Richards et al. (2003) könnten kleinste Veränderungen im Gangbild durch Abweichung der Winkelgeschwindigkeit offen gelegt werden, bevor eine klinische Lahmheit sichtbar wird. Außerdem spielt im Gegensatz zum Gelenkwinkel die korrekte Markerposition für die Winkelgeschwindigkeit eine geringere Rolle (DeCamp et al., 1996). Folglich wurden Winkelgeschwindigkeit von Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk berechnet. In der graphischen Darstellung der Winkelgeschwindigkeit wurden die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen gut sichtbar, obwohl keine signifikanten Werte wie in der Studie von Bockstahler et al. (2007) ermittelt wurden. Bei Betrachtung der Winkelgeschwindigkeit handelt es sich bei Werten mit einem positiven Vorzeichen um Extensionsbewegungen und bei Werten mit negativem um Flexionsbewegungen der Gelenke.

Die Verlaufskurve der Winkelgeschwindigkeit des Schultergelenks zeigte, dass die subklinisch erkrankte Gruppe im Gegensatz zur gesunden im Schrittzzyklusbereich, nach dem Abfußen/Übergang von Stand- zu Schwungphase, eine höhere Winkelgeschwindigkeit hatte (siehe Kreis in Abb.19). Dieser Bereich liegt im Übergang zur Schwungphase, bevor die Winkelgeschwindigkeit auf den maximalen Wert der Extension anstieg. Genau in diesem Abschnitt hatte der Ellbogen seine maximale Flexionsgeschwindigkeit, was bedeuten könnte, dass das Schultergelenk diese Phase mit einer schnelleren Winkelgeschwindigkeit durchschritt, um den Ellbogen zu entlasten.

Die Winkelgeschwindigkeitskurven des Ellbogens der gesunden wie auch der erkrankten Gruppe hatten einen fast identischen Verlauf. Jedoch war gut zu erkennen, dass die gesunden Tiere im Vergleich zu den subklinisch erkrankten ihr Minimum (maximale Flexionsgeschwindigkeit) etwas früher erreichten und dieses auch etwas länger anhielt (siehe Kreis in Abb. 20). Dies ließ die Vermutung zu, dass Tieren mit einer subklinischen ED die maximale Flexionsgeschwindigkeit des Ellbogengelenkes Schwierigkeiten bereitete. Der Zeitpunkt dieser

Abweichung befand sich am Übergang von Stand- zu Schwungphase.

Am Ende der Standphase hatte das Karpalgelenk seine maximale Flexionsgeschwindigkeit, die bei der subklinisch erkrankten Gruppe etwas erhöht war. Auch die maximale Extensionsgeschwindigkeit im letzten Drittel der Schwungphase war bei dieser Gruppe im Gegensatz zur gesunden erhöht. Daraus ergab sich automatisch eine größere Winkelgeschwindigkeits-Spanne (Range) (siehe Kreise in Abb. 21). Wenn davon ausgegangen wird, dass die maximale Flexionsgeschwindigkeit des Ellbogengelenkes dem an subklinischer ED erkrankten Tier Probleme bereitet, kann die Vermutung angestellt werden, dass diese größere Winkelgeschwindigkeits-Spanne (Range) ein Kompensationsmechanismus des Karpalgelenks ist.

Jedoch gibt es bisher keine wissenschaftlichen Publikationen, die die Winkelgeschwindigkeit für Tiere mit subklinischer bzw. klinischer ED bestimmt haben, sodass die Ergebnisse und Mutmaßungen erst durch weiterführende Studien bestätigt werden müssen. Bis jetzt existieren zu den Winkelgeschwindigkeiten der Vordergliedmaße nur einige wenige Publikationen, mit denen die gewonnenen Daten der vorliegenden Studie verglichen werden können. Wie bei dem Gelenkwinkel spielt auch bei der Winkelgeschwindigkeit die Rasse und die Gangart eine Rolle, um die Befunde exakt gegenüberstellen zu können. Demnach ermöglichen die gewonnenen Ergebnisse nur ungefähre Vergleiche zu Untersuchungen anderer Autoren. So untersuchte Raith (2010) die Winkelgeschwindigkeit bei deutschen Schäferhunden im Schritt. Dessen Resultate für die Schulter: -232 bis +349 Grad/s, Ellbogen: -480 bis +505 Grad/s und Karpalgelenk: -1047 bis +808 Grad/s bewegen sich im Rahmen dieser Studie. Agostinho et al. (2011), die die Winkelgeschwindigkeit bei Labrador Retrievern im Trab untersuchten, kamen auf folgende Werte: Schulter: -540 bis +403 Grad/s, Ellbogen: -676 bis +848 Grad/s und Karpalgelenk: -1350 bis +1069 Grad/s. Die dargestellten Winkelgeschwindigkeitskurven entsprechen überwiegend denen in dieser Studie. Owen et al. (2004) ermittelten die Winkelgeschwindigkeit für den Ellbogen von Greyhounds im Trab und erhielten ein Ergebnis von circa -700 bis +500 Grad/s. Gillette und Zebas (1999) hingegen untersuchten die Winkelgeschwindigkeit für das Schultergelenk bei Labrador Retrievern im Trab mit einem 2-dimensionalen Aufnahmesystem, sodass nicht vergleichbare Werte entstanden: 355 - 380 Grad/s für die Beugung und 416 - 460 Grad/s für die

Streckung.

Die in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse für die maximalen Flexions- und Extensionsbewegungen der Winkelgeschwindigkeit (Schulter: -263 bis +333 Grad/s; Ellbogen: -450 bis +575 Grad/s und Karpalgelenk: -1172 bis +871 Grad/s) bewegen sich demzufolge in fast identischen Größenordnungen anderer Autoren.

### **5.3 Patientengut und Zielsetzung**

Da der Labrador Retriever eine Prädisposition für die ED hat (Grondalen, 1979b; Olsson, 1983; Kirberger und Fourie, 1998; LaFond et al., 2002; Coopman et al., 2008), eignete er sich als ausgeglichener und umgänglicher Hund für die Gangbildanalyse. Bisher wurde für diese Rasse bereits das Gangbild kinetisch und kinematisch weitreichend untersucht. Einzelne Studien befassten sich speziell mit dem Gangbild des Labrador Retrievers im Vergleich zu anderen Rassen wie dem Rottweiler (Mölsä et al., 2010; Agostinho et al., 2011) oder dem Greyhound (Bertram et al., 2000; Besancon et al., 2004; Colborne et al., 2005). Andere Studien wiederum ermittelten das Gangbild von gesunden Labrador Retrievern (Gillette und Zebas, 1999; Clements et al., 2005; Light et al., 2010) oder erfassten die Eingewöhnungszeit von diesen auf dem Laufband (Gustås et al., 2013).

Im Durchschnitt ist bei Hunden im 10. Lebensmonat das Längenwachstum abgeschlossen (Henschel, 1972). Erste klinische Anzeichen einer ED treten am häufigsten in den ersten 4–12 Monaten auf (Hanlon, 1969; Grondalen, 1979b; Denny und Gibbs, 1980; Mason et al., 1980; Probst, 1988; Guthrie, 1989b; Read et al., 1990; Studdert et al., 1991; Carpenter et al., 1993; Schleich, 1997; Meyer-Lindenberg et al., 2003). Somit wurde das Mindestalter für die bei dieser Studie teilnehmenden Labrador Retriever auf 10 Monate und das Höchstalter auf 9 Jahre festgesetzt, da mit zunehmendem Alter die Wahrscheinlichkeit einer orthopädischen Erkrankung um ein Vielfaches erhöht ist. Von diesen 41 Hunden betrug das durchschnittliche Alter 4,02 Jahre. Auffällig ist, dass der Altersdurchschnitt der Gruppe 1 (mit subklinischer ED) genau um 1 Jahr höher ist (4,53 Jahre) als bei der gesunden Vergleichsgruppe 2 (3,53 Jahre). Die Vermutung

liegt nahe, dass erst mit zunehmendem Alter die Anzeichen einer subklinischen ED radiologisch erkannt werden. Bis jetzt wurden jedoch zu dieser Mutmaßung noch keine Studien veröffentlicht.

In beiden untersuchten Gruppen waren sowohl die Größe als auch das Gewicht gleichmäßig verteilt. Daher konnte der Einfluss dieser Faktoren als gering eingestuft werden. Die Größe der untersuchten Tiere ergab im Mittel eine Widerristhöhe von 54,83 cm, welche dem geforderten Rassestandard von 54–56 cm bei Hündinnen und 56–57 cm bei Rüden entspricht. Dass die an der Studie teilnehmenden Hunde im Durchschnitt an der unteren Grenze der geforderten Widerristhöhe des Rassestandards lagen, ist vermutlich dem Geschlechterverhältnis von 24 weiblichen zu 17 männlichen Tieren geschuldet. Ebenso war das Geschlechterverhältnis auch bei der mit subklinischer ED erkrankten Gruppe zugunsten der weiblichen Hunde, nämlich 13 zu 7. Obwohl männliche Tiere häufiger von einer ED betroffen sind, als weibliche (Grondalen, 1979b; Berzon und Quick, 1980; Boudrieau et al., 1983; Olsson, 1983; Guthrie, 1989; Kirberger und Fourie, 1998; Morgan et al., 1999; Meyer-Lindenberg et al., 2006), trifft es in diesem Fall für die subklinische ED nicht zu, was vermutlich an einer zu geringen Anzahl ausgewerteter Probanden lag.

In dieser Studie wurden nur die Auswirkung auf das Gangbild von subklinisch erkrankten Labrador Retrievern untersucht, und da alle diese Tiere klinisch unauffällig waren, konnte nicht erwartet werden, dass große Unterschiede zwischen beiden Gruppen zu finden sind. Um kleine Unterschiede besser darstellen zu können, wurde neben dem Signifikanztest eine Effektgrößenschätzung mit dem dazugehörigen 95 %-igen Konfidenzintervall durchgeführt. Diese Methode ist in medizinischen Publikationen noch nicht so stark verbreitet, wird aber enorm propagiert (Nakagawa und Cuthill, 2007; du Prel et al., 2009). So zeigte die Effektgrößenschätzung, in der vorliegenden Studie, dass es wenige Hinweise (Effekte) auf den Einfluss von subklinisch röntgenologischen Veränderungen auf das Gangbild beim Labrador Retriever gibt. In einem Fall war ein Parameter (SI PVF), mit der in dieser Studie verwendeten Technik -trotz der geringen Fallzahl- sogar signifikant. Möglicherweise würden sich für diese Fragestellung bei Verwendung einer sensitiveren Technik (Computertomographie) und einer dadurch eventuell bedingten Diagnoseänderung, andere Ergebnisse ergeben.

## 5.4 Limitationen der Studie und Ausblick

Da die meisten Tiere von ihrem Besitzer geführt wurden, verkürzte sich oftmals die Eingewöhnungszeit auf dem Laufband. Einige Hunde wurden aber auch von Klinikmitarbeiter während der einzelnen Laufband- Sessions festgehalten. Somit wurden die Tiere nicht immer von der gleichen Person geführt, was laut Jevens et al. (1993) nur minimalen Einfluss auf die kinetischen Ergebnisse haben kann. Ob die Kinematik durch das Führen unterschiedlicher Personen beeinflusst wird, ist nicht bekannt, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Die Patienten gingen im Rahmen der Eingewöhnungsphase auf dem Laufband solange, bis eine gleichmäßige, entspannte und regelmäßig vorwärts gerichtete Fortbewegung in der Gangart Schritt vorlag. Jedoch konnten die Tiere nicht immer so geführt werden, dass sie bei allen Schritten die 4 einzelnen Kraftmessplatten mit jeweils nur einer Gliedmaße berührten. Dieses Problem wurde bei der Nachbearbeitung behoben, indem man die geeigneten Schrittfolgen aus den kinetischen und kinematischen Aufzeichnungen selektierte und die unsauberen verwarf.

Nicht auszuschließen ist, dass die Hunde nach häufigeren und längeren Übungsphasen, auch zu unterschiedlichen Zeitpunkten, einen naturgetreueren Gang gezeigt hätten. So wurden in der von Gustås et al. (2013) durchgeführten Studie die Eingewöhnungszeit von 24 Labrador Retrievern, die zuvor noch nie auf dem Laufband waren, untersucht. Das Ergebnis zeigte, dass die Hunde mindestens 3-mal innerhalb eines Tages auf dem Laufband gewesen sein mussten, um am darauf folgenden Tag nach kurzer Eingewöhnungszeit reproduzierbare kinematische Ergebnisse zu liefern. Auch laut Fanchon und Grandjean (2009) trat die Eingewöhnung auf dem Laufband bereits bei der 1. Übungseinheit ein und führte bei Wiederholung zu ähnlichen Ergebnissen. Clements et al. (2005) untersuchten die Eingewöhnung bzw. die Reproduzierbarkeit des Ganges von 10 Labrador Retrievern auf dem Laufband. Dabei kam heraus, dass auch nach mehreren Aufnahmen der Gang in Bezug auf die Kinematik nicht der Gleiche war. Jedoch wurden die Aufnahmen direkt mit Beginn des Laufes aufgezeichnet, sodass sich die Hunde nicht erst an die Bedingungen, die ein Laufband mit sich bringt, gewöhnen konnten.

Das exakte Anbringen der Marker über den Drehpunkten der Gelenke auf der

Haut stellt eine Fehlerquelle dar (DeCamp et al., 1993; Off und Matis, 1997a). Dieses Fehlerpotential wurde dadurch minimiert, dass nur eine einzige Person die Marker auf die vorgegeben Stellen der Haut positionierte (Owen et al., 2004). Trotzdem kann das kinematische Ergebnis negativ durch die Hautmarker beeinflusst werden, da bei Hunden die Hautverschieblichkeit vom distalen Gliedmaßenabschnitt zum proximalen hin zunimmt (Van Weeren et al., 1992; DeCamp et al., 1993). Alternativ gäbe es noch die Methode mit Knochenmarkern, die exakter, aber aufgrund der Invasivität dem Tier gegenüber abzulehnen ist. Aufgrund der beschriebenen Fehlerquellen, wie das Anbringen der Marker und die Hautverschieblichkeit, stimmt das durch 3-dimensionale Technik entworfene Modell nicht exakt mit den wahren physiologischen Bewegungen eines Tieres überein (DeCamp et al., 1993).

Da die Schnelligkeit des Laufbandes großen Einfluss auf die Gangart hat (McLaughlin, 2001; Brebner et al., 2006), wurde genau darauf geachtet, dass alle Probanden im Schritt mit einer Geschwindigkeit von 1,1 m/s gingen. Somit konnten Unterschiede im Gangbild, die bei differierender Geschwindigkeit entstehen, ausgeschlossen werden. Obwohl geringgradige Lahmheiten im Trab leichter zu detektieren sind als im Schritt (Voss et al., 2007), wurden alle Tiere in der Gangart Schritt untersucht. Der Grund hierfür war vorrangig, dass sich einige Hunde weigerten, auf dem Laufband zu traben und so nicht genug auswertbare Aufnahmen aufgrund der erhöhten Belastung im Trab zustande gekommen wären.

Zu berücksichtigen ist auch, dass sich das Gehen auf dem Laufband vom Laufen auf dem Boden unterscheidet (Bockstahler et al., 2007). Bis heute fehlen zu diesem Thema Studien zwischen gesunden und erkrankten Hunden. Bisher wurden diese Untersuchungen nur bei Pferden (Buchner et al., 1994) und Menschen (White et al., 1998) vorgenommen.

Auch ungeklärt ist, inwieweit ein unterschiedlicher Aufbau des Ganglabors eine Rolle auf das Laufverhalten des Hundes hat. Nur Kapatkin et al. (2007) untersuchten bisher ob sich die Bodenreaktionskräfte bei zwei unterschiedlichen Laufbandoberflächen unterscheiden, dies war jedoch nicht der Fall. Zu beachten ist bei der Gangbildanalyse, dass es Abweichungen zwischen unterschiedlich aufgebauten Ganglaboren hinsichtlich ihrer Systeme und Technik gibt (Hottinger et al., 1996; Mussmann, 2009).

Diese Studie kann im Hinblick auf die Röntgenbildbeurteilung kritisch gesehen werden, da die Röntgenbilder nicht von einer einzigen, sondern von unterschiedlichen Personen befundet wurden. Da die Beurteilungen aber ausschließlich von 2 Fachtierärzten für Radiologie oder einem Diplomate of the European College of Veterinary Diagnostic Imaging (ECVDI) durchgeführt wurden, kann von einem annähernd einheitlichen Resultat ausgegangen werden. Jedoch wird auf Röntgenbildern eine ED nicht immer erkannt, und so kann es sein, dass möglicherweise Tiere den Gruppen falsch zugeordnet werden. Mithilfe einer computertomographischen Untersuchung könnte die subklinische ED noch genauer diagnostiziert werden. Da in dieser Studie geringe Effekte beobachtet wurden, könnte der Aspekt mithilfe der Computertomographie in weiteren Studien interessant sein.

Die Aussage dieser Arbeit ist, dass sich bei Hunden mit subklinischen Veränderungen am Ellbogen vereinzelt geringe bis gar keine Effekte auf das Gangbild auswirken. Somit ist es für den Hund zunächst noch nicht relevant, wenn er an einer subklinischen ED erkrankt ist. Diese Feststellung kann für praktische Tierärzte bei der Übermittlung einer solchen Diagnose an den Hundebesitzer von Bedeutung sein. Jedoch ist zu bedenken, dass es trotz kleiner Fallzahl Hinweise in dieser Studie gibt, dass sich die subklinische ED auf die Funktionalität von Gelenken auswirkt. Selbst kleine Veränderungen in einem Gelenk können zu komplexen kompensatorischen Mechanismen der betroffenen Gliedmaße führen. Alleine schon minimale Bewegungseinschränkungen, die klinisch noch nicht sichtbar sind, können dazu beitragen, dass sich entsprechende Bänder verkürzen oder sich die Last nicht mehr gleichmäßig über die gesamte Fläche des Gelenkknorpels verteilt. Dies kann zu frühen Abnutzungserscheinungen führen und somit die Entstehung von pathologischen Veränderungen, wie z. B. Arthrosen, beschleunigen.

Die ED ist die häufigste orthopädische Erkrankung des Labrador Retrievers (Morgan et al., 1999), dem oftmals als Spür-, Rettungs-, Blinden-, Jagd-, Therapie-, Sport- oder Familienhund über einen langen Zeitraum hinweg eine hohe Leistung abverlangt wird. Manch eine Ausbildung ist dementsprechend auch sehr zeit- und kostenintensiv. Aus diesen Gründen sollten auch weiterhin unbedingt Forschungen am Laufband in Hinblick auf Diagnostik, Prognose,

Therapie und Prävention zu dieser Erkrankung betrieben werden.

Weitere Untersuchungen könnten dazu beitragen, durch eine größere Anzahl an Tieren die gewonnenen Erkenntnisse zu verifizieren und die einzelnen Entwicklungsphasen von einer subklinischen zu einer klinischen ED mit den damit einhergehenden Veränderungen im Gangbild zu erforschen. Eventuell können durch Betrachtung anderer Parameter oder durch Verwendung einer anderen Technik Unterschiede aufgezeigt werden, die zu einer frühzeitigen nicht invasiven Diagnostik mittels Ganganalyse geeignet sind.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel dieser Studie war es, mithilfe der instrumentierten Laufbandanalyse, Unterschiede im Gangbild zwischen klinisch und orthopädisch gesunden und klinisch gesunden, aber mit radiologischen Veränderungen am Ellenbogen versehenen Labrador Retrievern (subklinisch erkrankte) herauszufinden. 41 Labrador Retriever, die aus verschiedenen Gründen (z. B. HD-/ED Röntgen, Zuchtuntersuchung, sportliche Leistungsmöglichkeit) in der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München vorstellig waren, wurden in die Studie aufgenommen. Auswahlkriterien waren klinisch unauffällige und lahmheitsfreie Hunde, die noch keine chirurgischen Eingriffe im Bereich des Bewegungsapparates hatten. Das Mindestalter wurde auf 10 Monate, das Höchstalter auf 9 Jahre festgesetzt.

Nach einer kurzen Allgemeinuntersuchung folgten eine neurologische und eine ausführliche orthopädische Untersuchung aller 4 Extremitäten. Hunde, die bei diesen Untersuchungen Auffälligkeiten zeigten, wurden von der Studie ausgeschlossen. Hinsichtlich des Ergebnisses der radiologischen Untersuchung wurden die Tiere in Gruppe 1 („subklinische ED“) eingeteilt, wenn radiologische Veränderungen (z. B. Arthrosen) im Bereich des Ellbogens erkennbar waren, oder in die „ED- freie“ Gruppe 2 (Vergleichsgruppe), wenn keine radiologischen Veränderungen festgestellt wurden. So wurden anhand der radiologischen Aufnahmen 20 der 41 untersuchten Labrador Retriever in die Gruppe 1 eingeteilt und 21 in die Vergleichsgruppe 2. Die kinetischen und kinematischen Daten eines jeden Hundes wurden anschließend im Klinik eigenen Ganganalyselabor erhoben.

Für die vertikale Spitzenkraft und den vertikalen Impuls bei Tieren mit subklinischen Veränderungen wurden keine signifikanten Unterschiede gegenüber gesunden Tieren gefunden. Beim vertikalen Impuls gab es jedoch einen Hinweis, dass die vertikale Kraft, die während der Standphase auf die Vordergliedmaßen wirkt, bei der erkrankten Gruppe geringer war als bei der gesunden.

Um subklinische Lahmheiten auszuschließen, wurde der Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses berechnet und ein Grenzwert festgelegt. Obwohl der Unterschied bezüglich des Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft signifikant war, konnte von lahmheitsfreien Hunden in

beiden Gruppen ausgegangen werden, da die Werte immer unter dem zuvor bestimmten Grenzwert lagen. Der signifikante Wert des Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft machte aber deutlich, dass es einen Unterschied zwischen der Gruppe 1 und der Gruppe 2 gab. Demnach hatten die Hunde mit subklinischer ED bei der vertikalen Spitzenkraft größere Differenzen zwischen den Vordergliedmaßen als Hunde ohne ED. Die Werte des Symmetrie-Index des vertikalen Impulses (SI VI) waren nicht signifikant verschieden. Beim Vergleich der Gruppe 1 und 2 ergab sich in Bezug auf die Gewichtsverteilung der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

In der Darstellung der Gelenkwinkelverläufe zeigte sich, dass das Schulter- und Ellbogengelenk während des gesamten Verlaufs eines Schrittzklus bei der Gruppe 1 eine etwas stärkere Winkelung aufwies und somit diese Gelenke eine stärkere Flexion und eine geringere Extension erkennen ließen. Das Karpalgelenk wies bei der Gruppe 1 zu Beginn des Schrittzklus einen größeren Maximalwert als die Gruppe 2 auf. Die Unterschiede in den Gelenkwinkelverläufen waren jedoch nicht signifikant.

Bei der Winkelgeschwindigkeit von Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk wurden ebenfalls Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sichtbar, jedoch keine signifikanten Werte ermittelt.

Da in dieser Studie nur die Auswirkungen auf das Gangbild von subklinisch erkrankten Labrador Retrievern untersucht wurden, und alle diese Tiere klinisch unauffällig waren, war nicht zu erwarten, dass große Unterschiede zwischen beiden Gruppen bestehen. Um kleine Unterschiede besser darstellen zu können, wurde neben dem Signifikanztest eine Effektgrößenschätzung mit dem dazugehörigen 95 %-igen Konfidenzintervall durchgeführt. So zeigte die Effektgrößenschätzung, dass die radiologisch vorliegenden Veränderungen nur geringe Effekte auf das Gangbild beim Labrador Retriever besitzen. In einem Fall war ein Parameter sogar signifikant.

Zusammenfassend war festzustellen, dass subklinische Veränderungen am Ellbogen der untersuchten Labrador Retriever nur geringe oder keine Effekte auf das Gangbild haben. Somit ist die instrumentierte Ganganalyse nicht geeignet, subklinisch am Ellbogen erkrankte von gesunden Labrador Retrievern zu

---

detektieren. Eventuell können durch Betrachtung anderer Parameter oder durch die Untersuchung der Hunde im Trab, Unterschiede aufgezeigt werden, die zu einer Erkennung von subklinisch erkrankten Hunden geeignet sind.

## VII. SUMMARY

The aim of this study was to evaluate through instrumented gait analysis the differences in gait between clinically and orthopaedic healthy and clinically healthy, but with radiological changes to the elbows of Labrador Retrievers (subclinically ill). 41 Labrador Retrievers, who, for various reasons, (e.g. as HD-/ED X-ray examinations, breed assessment, athletic capacity) were presented at the Small Animal Surgical and Gynaecological Clinic LMU Munich, were included in the study. Selection criteria for this study were clinically healthy and lameness-free dogs that have not had surgical procedures in the musculoskeletal system. The minimum age was set at 10 months, the maximum age at 9 years.

A brief general examination was followed by a neurological and a detailed orthopaedic examination of all 4 limbs. Dogs showing clinical symptoms in these examinations were excluded from the study. With regards to the outcome of the subsequent radiological examination, the animals were subdivided into group 1 ("subclinical ED") if radiological changes were detected in the area of the elbow, and in the "ED-free" group 2 (comparison group) if no radiological changes were noted. So, on the basis of the radiological scans, 20 of the 41 studied Labrador Retrievers were divided into the group 1, and 21 of them into the comparison group 2. The kinetic and kinematic data of each dog were subsequently collected in gait analysis lab.

For the peak vertical force and the vertical impulse in animals with subclinical changes, no significant differences compared to healthy animals have been found. The vertical impulse could provide an indication that the vertical force, which acts on the forelimbs during the stance phase, is lower in the affected group than in the healthy.

To exclude subclinical lameness, the Symmetry Index of the peak vertical force and the vertical impulse was calculated and a limit was set. Although the difference in the Symmetry Index of the peak vertical force was significant, lameness free dogs in both groups could be considered, since the values were always below the predetermined limit. The significant value made it clear that there was a difference between group 1 and group 2. Accordingly, the dogs with subclinical ED had major differences in the PVF of the forelimbs compared to

dogs without ED. The values of the Symmetry Index of the vertical impulse were not significant. When comparing groups 1 and 2, no significant differences were found as to the weight distribution of the peak vertical force and the vertical impulse.

In the graphical representation of the angle progression, it was striking that during the entire course of a step cycle, the shoulder and elbow joint of the subclinical affected group had a slightly stronger angulation. So a greater flexion and lesser extension of these joints in the subclinical affected animals were seen. The carpal joint had a larger maximum value than the control group in the affected group at the beginning of the step cycle. The differences of the angle progressions were not significant.

In the graphical representation of the angular velocity of the shoulder, elbow and carpus, the differences between the two groups were well visible even though no significant values were determined.

Since in this study only the effects on the gait of subclinically affected Labrador retrievers were examined, and all the animals were clinically normal, major differences between the two groups could not be expected. In order to show small differences better, in addition to the significance test an effect size estimate was carried out with the associated 95% confidence interval. The effect size estimate indicates that radiological changes have only little effects in the gait pattern of Labrador Retrievers. In one case, a parameter was significant.

In summary it was determined that subclinical changes at the elbow of the examined Labrador Retrievers have sporadically low, or no effects on the gait. The instrumented gait analysis is therefore not suitable to detect Labrador Retrievers that are subclinically affected at the elbow from those that are healthy. Possible differences can be demonstrated suitable to detect subclinically ill dogs, by considering other parameters or by examine the dogs in trot.

## VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Abdelhadi J, Wefstaedt P, Galindo-Zamora V, Anders A, Nolte I, Schilling N. (2013). Load redistribution in walking and trotting Beagles with induced forelimb lameness. *American Journal of Veterinary Research*, 74(1), 34-39.

Abdelhadi J, Wefstaedt P, Nolte I, Schilling N. (2012). Fore-Aft Ground Force Adaptations to Induced Forelimb Lameness in Walking and Trotting Dogs. *PLoS one*, 7(12), e52202.

Agostinho F, Rahal S, Miqueleto N, Verdugo M, Inamassu L, El-Warrak A. (2011). Kinematic analysis of Labrador Retrievers and Rottweilers trotting on a treadmill. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24(3), 185.

Bardet J. (2004). How I manage elbow incongruity. Paper presented at the *Proceedings of the 12th Annual ESVOT Congress, Munich, Germany*. 11(268).

Bardet J, Bureau S. (1996). La fragmentation du processus coronoïde chez le chien. *Pratique Médicale et Chirurgicale de l'Animal de Compagnie*, 31, 451-463.

Bartel DL, Schryver H, Lowe J, Parker R. (1978). Locomotion in the horse: a procedure for computing the internal forces in the digit. *American Journal of Veterinary Research*, 39, 1721-1727.

Bartke S. (2011). Knochenmarksveränderungen im MRT bei degenerativen Ellbogenerkrankungen des Hundes. *Diss. med. vet., LMU München*.

Baum H, Zietzschmann O, Ellenberger W. (1936). Das Skelettsystem: Der passive Bewegungsapparat. (2 ed.) 231-239: *Parey, Berlin*.

Bennett D, Duff S, Kene R, Lee R. (1981). Osteochondritis dissecans and fragmentation of the coronoid process in the elbow joint of the dog. *Veterinary Record*, 109(15), 329-336.

Berry C. (1992). Evaluation of the canine elbow for fragmented medial coronoid process. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 33(5), 273-276.

Bertram JE, Lee DV, Case HN, Todhunter RJ. (2000). Comparison of the trotting gaits of Labrador Retrievers and Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research*, 61(7), 832-838.

Berzon J, Quick C. (1980). Fragmented coronoid process: anatomical, clinical, and radiographic considerations with case analysis. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 16, 241-251.

Besancon MF, Conzemius MG, Evans RB, Ritter MJ. (2004). Distribution of vertical forces in the pads of Greyhounds and Labrador Retrievers during walking. *American Journal of Veterinary Research*, 65(11), 1497-1501.

Beuing R, Janssen N, Wurster H, Schmied O, Flückiger M. (2005). Untersuchungen zur züchterischen Bedeutung der Ellbogendysplasie (ED) beim Berner Sennenhund in Deutschland. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 147(11), 491-497.

Björck G. (1958). Studies on the draught force of horses: development of a method using strain gauges for measuring forces between hoof and ground (Vol. 8)1-109: *Scandinavian Association of Agricultural Scientists and the Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry*.

Bockstahler B, Henninger W, Müller M, Mayrhofer E, Peham C, Podbregar I. (2007). Influence of borderline hip dysplasia on joint kinematics of clinically sound Belgian Shepherd dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 68(3), 271-276.

Bockstahler B, Vobornik A, Müller M, Peham C. (2009). Compensatory load redistribution in naturally occurring osteoarthritis of the elbow joint and induced weight-bearing lameness of the forelimbs compared with clinically sound dogs. *The Veterinary Journal*, 180(2), 202-212.

- Bonath KH, Prieur WD. (1998). Kleintierkrankheiten Band 3 Orthopädische Chirurgie und Traumatologie 394-402: *Verlag Eugen Ulmer*.
- Bouck GR, Miller C, Taves C. (1995). Comparison of surgical and medical treatments of fragmented coronoid process and osteochondritis dissecans of the canine elbow. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 8, 177-183.
- Boudrieau R, Hohn R, Bardet J. (1983). Osteochondritis dissecans of the elbow in the dog. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 19, 627-635.
- Boulay JP. (1998). Fragmented medial coronoid process of the ulna in the dog. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 28(1), 51-74.
- Brandstätter E. (1999). Konfidenzintervalle als Alternative zu Signifikanztests. *Methods of Psychological Research Online*, 4.
- Brebner NS, Moens N, Runciman J. (2006). Evaluation of a treadmill with integrated force plates for kinetic gait analysis of sound and lame dogs at a trot. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 19(4), 205.
- Breit S, Künzel W, Seiler S. (2004). Variation in the ossification process of the anconeal and medial coronoid processes of the canine ulna. *Research in Veterinary Science*, 77(1), 9-16.
- Brinker W, Piermattei D, Flo G. (1990). Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Treatment: Traumatic luxation of the elbow (Vol. 2)496-501: *Elsevier*
- Brunnberg L. (1998). Lahmheitsdiagnostik beim Hund: Untersuchung: *Parey Buchverlag Berlin*.

Brunnberg L, Pauls J, Burger M, Hermanns W, Waibl H. (2001). Interkondyläre, nicht dislozierte Humerusfraktur beim Hund. *Kleintierpraxis*, 12, 783-792.

Brunnberg L, Viehmann B, Waibl H. (1999). Computergestützte Auswertung von Röntgenbildern zur Erfassung von Parametern der Ellbogengelenksdysplasie. Teil 2: Stufenbildungen im Gelenk. *Kleintierpraxis*, 44(9), 633-646.

Brunnberg L, Waibl H. (1986). Osteochondrosis dissecans der Trochlea humeri und/oder Fraktur des Processus coronoideus medialis ulnae beim Hund. Paper presented at the 32. Jahrestagung der Fachgruppe Kleintierkrankheiten der DVG Oldenburg, Oldenburg.310-314.

Bubenik LJ, Johnson SA, Smith MM, Howard RD, Broadstone RV. (2002). Evaluation of lameness associated with arthroscopy and arthrotomy of the normal canine cubital joint. *Veterinary Surgery*, 31(1), 23-31.

Buchner H, Savelberg H, Schamhardt H, Merkens H, Barneveld A. (1994). Kinematics of treadmill versus overground locomotion in horses. *Veterinary Quarterly*, 16, 87-90.

Budras K-D. (2007). Atlas der Anatomie des Hundes: Lehrbuch für Tierärzte und Studierende (8 ed.)Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft.

Budsberg S, Chambers J, Lue S, Foutz T, Reece L. (1996). Prospective evaluation of ground reaction forces in dogs undergoing unilateral total hip replacement. *American Journal of Veterinary Research*, 57(12), 1781-1785.

Budsberg S, Jevens D, Brown J, Foutz T, DeCamp C, Reece L. (1993). Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 54(10), 1569.

- Budsberg S, Verstraete M, Soutas-Little R. (1987). Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 48(6), 915-918.
- Burton N, Dobney J, Owen M, Colborne G. (2008). Joint angle, moment and power compensations in dogs with fragmented medial coronoid process. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 21(2), 110.
- Carlson W, Severin G. (1961). Elbow dysplasia in the dog. A preliminary report. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 138, 295-297.
- Carpenter L, Schwarz P, Lowry J, Park R, Steyn P. (1993). Comparison of radiologic imaging techniques for diagnosis of fragmented medial coronoid process of the cubital joint in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 203(1), 78-83.
- Clements D, Owen M, Carmichael S, Reid S. (2005). Kinematic analysis of the gait of 10 labrador retrievers during treadmill locomotion. *Veterinary Record*, 156(15), 478-481.
- Cohen J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2 ed.) Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates
- Cohen M, Bruno R. (2001). The collateral ligaments of the elbow: anatomy and clinical correlation. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 383, 123-130.
- Colborne GR, Innes JF, Comerford EJ, Owen MR, Fuller CJ. (2005). Distribution of power across the hind limb joints in Labrador Retrievers and Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research*, 66(9), 1563-1571.
- Colborne GR, Walker AM, Tattersall AJ, Fuller CJ. (2006). Effect of trotting velocity on work patterns of the hind limbs of Greyhounds. *American Journal of Veterinary Research*, 67(8), 1293-1298.

- Cook CR, Cook JL. (2009). Diagnostic imaging of canine elbow dysplasia: a review. *Veterinary Surgery*, 38(2), 144-153.
- Cook J. (2001). Forelimb lameness in the young patient. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 31(1), 55-83.
- Coopman F, Verhoeven G, Saunders J, Duchateau L, Van Bree H. (2008). Prevalence of hip dysplasia, elbow dysplasia and humeral head osteochondrosis in dog breeds in Belgium. *Veterinary Record*, 163, 654-658.
- Cross AR, Chambers JN. (1997). Ununited anconeal process of the canine elbow. *Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian* 19.
- Dalin G, Drevemo S, Fredricson I, Jonsson K, Nilsson G. (1973). 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 Veterinaria Scandinavica*, 44, 111-139.
- Dalin G, Jeffcott L. (1985). Locomotion and gait analysis. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 1(3), 549-572.
- Danielson KC, Fitzpatrick N, Muir P, Manley PA. (2006). Histomorphometry of fragmented medial coronoid process in dogs: a comparison of affected and normal coronoid processes. *Veterinary Surgery*, 35(6), 501-509.
- DeCamp C. (1997). Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 27(4), 825-840.
- DeCamp C, Riggs C, Olivier N, Hauptman J, Hottinger H, Soutas-Little R. (1996). Kinematic evaluation of gait in dogs with cranial cruciate ligament rupture. *American Journal of Veterinary Research*, 57(1), 120-126.

DeCamp C, Soutas-Little R, Hauptman J, Olivier B, Braden T, Walton A. (1993). Kinematic gait analysis of the trot in healthy greyhounds. *American Journal of Veterinary Research*, 54(4), 627-634.

Dening R. (2011). Untersuchungen zur Therapie des fragmentierten Processus coronoideus medialis der Ulna des Hundes: Einfluss bestehender intraartikulärer Veränderungen auf das Therapieergebnis. *Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover*.

Denny H, Gibbs C. (1980). The surgical treatment of osteochondritis dissecans and ununited coronoid process in the canine elbow joint. *Journal of Small Animal Practice*, 21(6), 323-331.

Deutscher Retriever Club. (2015). Labrador-Retriever -Ausführliche Rassebeschreibung. Retrieved 24.11.2015, from <http://www.drc.de/retrieverrassen/labrador-retriever/beschreibung>

Dietz O, Nagel E, Li E. (1972). Zur Klinik der Ellbogengelenkdysplasie (isolierter Processus anconaeus) des Hundes. *Monatshefte für Veterinärmedizin*, 27(19), 734-738.

Draffan D, Carrera I, Carmichael S, Heller J, Hammond G. (2009). Radiographic analysis of trochlear notch sclerosis in the diagnosis of osteoarthritis secondary to medial coronoid disease. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 22(1), 7-15.

Drevemo S, Dalin G, Fredricson I, Hjerten G. (1980). Equine locomotion: 1. The analysis of linear and temporal stride characteristics of trotting Standardbreds. *Equine Veterinary Journal*, 12(2), 60-65.

du Prel J-B, Hommel G, Rohrig B, Blettner M. (2009). Übersichtsarbeit-Konfidenzintervall oder p-Wert? Teil 4 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. *Deutsches Ärzteblatt-Ärztliche Mitteilungen-Ausgabe B*, 106(19), 335.

- Eckstein F, Löhe F, Steinlechner M, Müller-Gerbl M, Putz R. (1993). Kontaktflächen des menschlichen Humeroulnargelenks in Abhängigkeit von der Anpresskraft, ihr Zusammenhang mit subchondraler Mineralisierung und Gelenkflächenmorphologie der Incisura trochlearis. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 175, 445-452.
- Ekman S, Carlson CS. (1998). The pathophysiology of osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 28(1), 17-32.
- Engler J. (2009). Populationsgenetische Analysen zur Ellbogen- und Hüftgelenkdysplasie beim Labrador Retriever. *Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover*.
- Evans H, Lahunta A. (2013a). Miller's Anatomy of the Dog- The Skeleton (4 ed.)80-157 *St. Louis: Elsevier Saunders*.
- Evans H, Lahunta A. (2013b). Millers Anatomy of the Dog- Arthrology (4 ed.)158-184 *St. Louis: Elsevier Saunders*.
- Evans R, Horstman C, Conzemius M. (2005). Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait. *Veterinary Surgery*, 34(5), 445-449.
- Fanchon L, Grandjean D. (2009). Habituation of healthy dogs to treadmill trotting: repeatability assessment of vertical ground reaction force. *Research in Veterinary Science*, 87(1), 135-139.
- Federation Cynologique Internationale. (2010). Rassennomenklatur der FCI. Retrieved 24.11.2015
- Fehr M, Meyer-Lindenberg A. (1992). Über die Ellbogenerkrankungen beim Hund. *Kleintierpraxis*, 37, 427-438.

- Flückiger M. (2005). Ellbogendysplasie ist erblich. *Vet Impulse*, 14(11), 4.
- Fox S. (1984). Premature closure of distal radial and ulnar physes in the dog. I. Pathogenesis and diagnosis. *Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian* 6.
- Fox S, Bloomberg M, Bright R. (1983). Developmental anomalies of the canine elbow. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 19, 605-615.
- Frewein J. (1994). Anatomie von Hund und Katze (Hrsg.: Frewein, J., Vollmerhaus, B.)- Muskulatur 77-129 Berlin: Blackwell Wissenschafts- Verlag
- Gillette R, Angle T. (2008). Recent developments in canine locomotor analysis: a review. *The Veterinary Journal*, 178(2), 165-176.
- Gillette R, Zebas C. (1999). A two-dimensional analysis of limb symmetry in the trot of Labrador retrievers. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 35(6), 515-520.
- Goring R, Bloomberg M. (1983). Selected developmental abnormalities of the canine elbow: radiographic evaluation and surgical management. *Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian* 5(3), 178- 188.
- Griffon DJ, McLaughlin Jr R, Roush J. (1994). Vertical ground reaction force redistribution during experimentally induced shoulder lameness in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 7, 154-157.
- Grondalen J. (1979a). Arthrosis with special reference to the elbow joint of young rapidly growing dogs. I. *Nordisk Veterinaermedicin*, 31, 62-68.
- Grondalen J. (1979b). Arthrosis with special reference to the elbow joint of young rapidly growing dogs. II. *Nordisk Veterinaermedicin*, 31(2), 69-75.

Grondalen J, Grondalen T. (1981). Arthrosis in the Elbow Joint of Young Rapidly Growing-Dogs. 5. A pathoanatomical investigation. *Nordisk Veterinaermedicin*, 33(1), 1-16.

Grondalen J, Lingaas F. (1991). Arthrosis in the elbow joint of young rapidly growing dogs: a genetic investigation. *Journal of Small Animal Practice*, 32(9), 460-464.

Gustås P, Pettersson K, Honkavaara S, Lagerstedt A, Byström A. (2013). Kinematic and temporospatial assessment of habituation of Labrador retrievers to treadmill trotting. *The Veterinary Journal*, 198, e114-e119.

Guthrie S. (1989). Use of a radiographic scoring technique for the assessment of dogs with elbow osteochondrosis. *Journal of Small Animal Practice*, 30(11), 639-644.

Guthrie S. (1989b). Some radiographic and clinical aspects of ununited anconeal process. *Veterinary Record*, 124(25), 661-662.

Guthrie S, Buckland-Wright J, Vaughan L. (1991). Microfocal radiography as an aid to the diagnosis of canine elbow osteochondrosis. *Journal of Small Animal Practice*, 32(10), 503-508.

Guthrie S, Pidduck H. (1990). Heritability of elbow osteochondrosis within a closed population of dogs. *Journal of Small Animal Practice*, 31(2), 93-96.

Guthrie S, Plummer J, Vaughan L. (1992a). Aetiopathogenesis of canine elbow osteochondrosis: a study of loose fragments removed at arthrotomy. *Research in Veterinary Science*, 52(3), 284-291.

Hanlon G. (1969). Additional radiographic observations on elbow dysplasia in the dog. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 155(12), 2045-2046.

- Hare W. (1961). The ages at which the centers of ossification appear roentgenographically in the limb bones of the dog. *American Journal of Veterinary Research*, 22, 825-835.
- Hatze H. (1974). The meaning of the term 'biomechanics'. *Journal of Biomechanics*, 7(2), 189-190.
- Hayes H, Selby L, Wilson G, Hohn R. (1979). Epidemiologic observations of canine elbow disease (emphasis on dysplasia). *Journal of the American Animal Hospital Association*, 15, 449-453.
- Hazewinkel H. (2002). The clinical diagnosis of elbow dysplasia. Paper presented at the *Proceedings 13th Annual Meeting IEWG, Granada*.
- Hazewinkel H, Goedegebuure S, Poulos P, Wolvekamp W. (1985). Influences of chronic calcium excess on the skeletal development of growing Great Danes. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 21, 377-391.
- Hedhammar A, Wu F, Krook L. (1974). Overnutrition and skeletal disease: an experimental study in growing Great Dane dogs. . *Cornell Veterinarian*, 11-160
- Henry W. (1984). Radiographic diagnosis and surgical management of fragmented medial coronoid process in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 184(7), 799-805.
- Henschel E. (1972). Zur Anatomie und Klinik der wachsenden Unterarmknochen mit Vergleichen zwischen der Distractio cubiti des Hundes und der Madelungschen Deformität des Menschen. *Arch Exp Vet Med* 1972, 26(5), 741-787.
- Herzog W, Nigg B, Read L, Olsson E. (1989). Asymmetries in ground reaction force patterns in normal human gait. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(1), 110-114.

Hofmann D. (2002). Ganganalytisches Profil verschiedener Gelenkerkrankungen beim Hund: -Kreuzbandruptur, -Hüftdysplasie, -Fragmentierter Processus coronoideus, -Isolierter Processus anconaeus. *Diss. med. vet., LMU München*.

Holsworth I. (2004). How I manage elbow incongruity. Paper presented at the *Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich, Germany*.60(268).

Holsworth I, Wisner ER, Scherrer W, Filipowicz D, Kass PH, Pooya H, Larson RF, Schulz KS. (2005). Accuracy of computerized tomographic evaluation of canine radio-ulnar incongruence in vitro. *Veterinary Surgery*, 34(2), 108-113.

Horst C, Brunberg L. (2000). Osteochondrosis dissecans in the dog-retrospective study of therapeutic results in relation to age of dogs, duration of lameness and pre-and post-operative clinical and radiographic findings (1993-1998). *Kleintierpraxis*, 45(8), 573-591.

Hottinger HA, DeCamp C, Olivier N, Hauptman J, Soutas-Little R. (1996). Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 57(3), 381- 388.

Huibregtse B, Johnson A, Muhlbauer M, Pijanowski G. (1994). The effect of treatment of fragmented coronoid process on the development of osteoarthritis of the elbow. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 30, 190-195.

Hutton W, Freeman M, Swanson S. (1969). The forces exerted by the pads of the walking dog. *Journal of Small Animal Practice*, 10(2), 71-77.

Iden K. (2007). Zur Behandlung des fragmentierten Processus coronoideus medialis der Ulna beim Hund: Vergleich der Ergebnisse von verschiedenen arthroskopischen Operationstechniken. *Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover*.

- Imatani J, Ogura T, Morito Y, Hashizume H, Inoue H. (1999). Anatomic and histologic studies of lateral collateral ligament complex of the elbow joint. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 8(6), 625-627.
- Janutta V. (2005). Genetic analyses of elbow and hip dysplasia in German shepherd dogs. *Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule Hannover*.
- Jeffcott L, Dalin G, Drevemo S, Fredricson I, Björne K, Bergquist A. (1982). Effect of induced back pain on gait and performance of trotting horses. *Equine Veterinary Journal*, 14(2), 129-133.
- Jevens D, Hauptman J, DeCamp C, Budsberg S, Soutas-Little R. (1993). Contributions to variance in force-plate analysis of gait in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 54(4), 612-615.
- Kapatkin AS, Arbittier G, Kass PH, Gilley RS, Smith GK. (2007). Kinetic gait analysis of healthy dogs on two different surfaces. *Veterinary Surgery*, 36(6), 605-608.
- Kaser W. (1998). Untersuchungen zur funktionellen Anatomie des Ellbogengelenkes (Articulatio cubiti) des Hundes. *Diss. med. vet., LMU München*.
- Kealy JK. (1991). Röntgendiagnostik bei Hund und Katze- Knochen und Gelenke 236-342 *Stuttgart: Enke*
- Kirberger R. (2014). Radiographic views for Elbow Dysplasia. Paper presented at the 28th annual meeting IEWG, Cape Town SA. 19-20.
- Kirberger R, Barr F. (2006). BSAVA Manual of Canine and Feline Musculoskeletal Imaging 103-119.

- Kirberger R, Fourie S. (1998). Elbow dysplasia in the dog: pathophysiology, diagnosis and control: review article. *Journal of the South African Veterinary Association*, 69(2), 43-54.
- Labrador Club Deutschland. (2015a). Farbvererbung des Labrador Retriever. Retrieved 24.11.2015, from <http://www.labrador.de/farbvererbung.html>
- Labrador Club Deutschland. (2015b). FCI-Standard des Labrador Retriever. Retrieved 24.11.2015, from <http://labrador.de/rassestandard.html>
- LaFond E, Breur GJ, Austin CC. (2002). Breed susceptibility for developmental orthopedic diseases in dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 38(5), 467-477.
- Larché W-D. (1962). Der Einfluß mechanischer und funktioneller Faktoren auf das Angehen des Hundes. *Diss. med. vet., Justus-Liebig-Universität Gießen*.
- Lau S, Wolschrijn C, Hazewinkel H, Siebelt M, Voorhout G. (2013). The early development of medial coronoid disease in growing Labrador retrievers: Radiographic, computed tomographic, necropsy and micro-computed tomographic findings. *The Veterinary Journal*.
- Layer AF. (2012). Ganganalytische Untersuchung der Rückenbewegung von gesunden Hunden der Rassen Dackel und Labrador Retriever. *Diss. med. vet., LMU München*.
- Leach D. (1993). Recommended terminology for researchers in locomotion and biomechanics of quadrupedal animals. *Cells Tissues Organs*, 146(2-3), 130-136.
- Leach D, Sumner-Smith G, Dagg A. (1977). Diagnosis of lameness in dogs: a preliminary study. *Canadian Veterinary Journal*, 18(3), 58.

Lewis D, Parker R, Hager D. (1989). Fragmented medial coronoid process of the canine elbow. *Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian* 11(6), 703-716.

Liebich H, Maierl J, König H. (2005). Anatomie der Haussäugetiere- Vorder- oder Schultergliedmaßen (Membra Thoracica) (3 ed.)141-210 *Stuttgart: Schattauer*

Light VA, Steiss JE, Montgomery RD, Rumph PF, Wright JC. (2010). Temporal-spatial gait analysis by use of a portable walkway system in healthy Labrador Retrievers at a walk. *American Journal of Veterinary Research*, 71(9), 997-1002.

Ljunggren G, Cawley A, Archibald J. (1966). The elbow dysplasias in the dog. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 148(8), 887.

Mai M. (1995). Funktionell-anatomische Untersuchungen an den Articulationes membri thoracici von Deutschem Schäferhund, Dobermann, Deutscher Dogge, Rauhaar-und Langhaarteckel. *Diss. med. vet., LMU München*.

Maierl J. (2003a). *Morphologische und biomechanische Untersuchungen der physiologischen Inkongruenz am Ellenbogengelenk des Hundes*. Paper presented at the Gesellschaft zur Förderung der Kynologischer Forschung e.V.

Maierl J. (2003b). Zur funktionellen Anatomie und Biomechanik des Ellbogengelenks (Articulatio cubiti) des Hundes (Canis familiaris). *Habil. med. vet. LMU München*.

Maierl J, König H, Liebich H. (2005). Statik und Dynamik, In: König, HE, Liebich, HG ; Anatomie der Haussäugetiere, Bewegungsapparat (Vol. 3, pp. 275-282). Stuttgart: Schattauer.

Mäki K, Groen A, Janss L, Liinamo A, Ojala M. (2002b). Segregation analysis for hip and elbow dysplasia in the Finnish Rottweiler. Paper presented at the

*Proceedings of the 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, Montpellier, France, August, 2002. .*

Maki K, Groen A, Liinamo A, Ojala M. (2002a). Genetic variances, trends and mode of inheritance for hip and elbow dysplasia in Finnish dog populations. *Journal of Animal Science*, 75(2), 197-208.

Mäki K, Janss L, Groen A, Liinamo A, Ojala M. (2004). An indication of major genes affecting hip and elbow dysplasia in four Finnish dog populations. *Heredity*, 92(5), 402-408.

Mäki K, Liinamo A, Ojala M. (2000). Estimates of genetic parameters for hip and elbow dysplasia in Finnish Rottweilers. *Journal of Animal Science*, 78(5), 1141-1148.

Marghitu D, Kincaid S, Rumph P. (1996). Nonlinear dynamics stability measurements of locomotion in healthy greyhounds. *American Journal of Veterinary Research*, 57(11), 1529-1535.

Mason T, Lavelle R, Skipper S, Wrigley W. (1980). Osteochondrosis of the elbow joint in young dogs. *Journal of Small Animal Practice*, 21(12), 641-656.

McLaughlin RM. (2001). Kinetic and kinematic gait analysis in dogs. *The Veterinary clinics of North America. Small animal practice*, 31(1), 193-201.

Meyer-Lindenberg A, Langhann A, Fehr M, Nolte I. (2002). Prevalence of fragmented medial coronoid process of the ulna in lame adult dogs. *Veterinary Record*, 151(8), 230-234.

Meyer-Lindenberg A, Langhann A, Fehr M, Nolte I. (2003). Arthrotomy versus arthroscopy in the treatment of the fragmented medial coronoid process of the ulna (FCP) in 421 dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 16(4), 204-210.

Meyer-Lindenberg A, Fehr M, Nolte I. (2006). Co-existence of ununited anconeal process and fragmented medial coronoid process of the ulna in the dog. *Journal of Small Animal Practice*, 47(2), 61-65.

Michelsen J. (2012). Canine elbow dysplasia: Aetiopathogenesis and current treatment recommendations. *The Veterinary Journal*.

Miller ME, Christensen GC, Evans HE. (1964). Anatomy of the Dog 69-113: *Saunders, Philadelphia*.

Mölsä SH, Hielm-Björkman AK, Laitinen-Vapaavuori OM. (2010). Force platform analysis in clinically healthy Rottweilers: comparison with Labrador Retrievers. *Veterinary Surgery*, 39(6), 701-707.

Morandi F, Hecht S, Daniel G. (2008). Röntgendiagnostik in der Kleintierpraxis- Knochen- und Gelenkerkrankungen bei Jungtieren 344-348 *Stuttgart: Schattauer*.

Morgan J, Wind A, Davidson A. (1999). Bone dysplasias in the Labrador retriever: a radiographic study. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 35(4), 332-340.

Morgan J, Wind A, Davidson A. (2000). Hereditary bone and joint diseases in the dog- Elbow dysplasia 41-94 *Hannover: Schlütersche*

Mussmann K. (2009). Ellbogengelenkdysplasie des Hundes: Studie zur bildgebenden Diagnostik und post operativen Erfolgskontrolle mittels computerisierter Ganganalyse. *Diss. med. vet., LMU München*.

Nakagawa S, Cuthill IC. (2007). Effect size, confidence interval and statistical significance: a practical guide for biologists. *Biological Reviews*, 82(4), 591-605.

Nap R. (1995). Pathophysiology and clinical aspects of canine elbow dysplasia. Paper presented at the *Proceedings of the 7th International Elbow Working Group Meeting*, , Constance, Germany.58-61.

Nickel R, Schummer A, Wille K, Wilkens H. (1992a). Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem – Knochenlehre, Osteologia – Knochen der Schultergliedmaße In: Nickel R, Schummer A und Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 1, Bewegungsapparat (6 ed.)67-97 Berlin, Hamburg: Parey.

Nickel R, Schummer A, Wille K, Wilkens H. (1992b). Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem– Gelenklehre, Arthrologia – Verbindungen der Knochen der Schultergliedmaße In: Nickel R, Schummer A und Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 1, Bewegungsapparat (6 ed.)230-234 Berlin, Hamburg: Parey.

Off W. (1992). Klinische und ganganalytische Erhebungen zur Resektionsarthroplastik des Hüftgelenks bei Hund und Katze in den Jahren 1978 bis 1989. *Diss. med. vet., LMU München*.

Off W, Matis U. (1997a). Ganganalyse beim Hund. Teil 1: Dynamometrische und kinemetrische Meßverfahren und ihre Anwendung beim Tetrapoden. *Tierärztliche Praxis* 25(1), 8-14.

Off W, Matis U. (1997b). Ganganalyse beim Hund. Teil 2: Aufbau eines Ganglabors und bewegungsanalytische Untersuchungen. *Tierärztliche Praxis*, 25(4), 303-311.

Olsson S. (1974). A new type of elbow joint dysplasia in the dog: preliminary report. *Svensk Veterinärtidn* 26(5), 152-157.

Olsson S. (1975). Lameness in the dog. A review of lesions causing osteoarthritis of the shoulder, elbow, hip, stifle and hock joints. Paper presented at the *Scientific*

*Presentations of the 42nd Annual Meeting of the American Animal Hospital Association, Cincinnati, Ohio, USA. 363-370.*

Olsson S. (1976). Osteochondrosis-a growing problem to dog breeders. *Gaines progress Summer*, 1-11.

Olsson S. (1977). Current Veterinary Therapy VI. (Kirk, RW, Hrsg.)- Osteochondrosis in the dog 880-886 *Philadelphia: WB Saunders*.

Olsson S. (1983). The early diagnosis of fragmented coronoid process and osteochondritis dissecans of the canine elbow joint. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 19, 616-626.

Owen M, Richards J, Clements D, Drew S, Bennett D, Carmichael S. (2004). Kinematics of the elbow and stifle joints in greyhounds during treadmill trotting- An investigation of familiarisation. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 17(3), 141-145.

Padgett GA, Mostosky UV, Probst CW, Thomas MW, Krecke CF. (1995). The inheritance of osteochondritis dissecans and fragmented coronoid process of the elbow joint in Labrador Retrievers. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 31(4), 327-330.

Pandy M, Kumar V, Berme N, Waldron K. (1988). The dynamics of quadrupedal locomotion. *Journal of Biomechanical Engineering*, 110(3), 230-237.

Pobisch R, Geres V, Arbesser E. (1972). Ellbogengelenkdysplasie beim Hund. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 59, 297-307.

Poulos P. (2013). The GDC principals behind the elbow evaluation. <http://www.vet-iewg.org/20.03.2013>

- Poy NS, DeCamp CE, Bennett RL, Hauptman JG. (2000). Additional kinematic variables to describe differences in the trot between clinically normal dogs and dogs with hip dysplasia. *American Journal of Veterinary Research*, 61(8), 974-978.
- Pratt Jr G, O'Connor Jr J. (1976). Force plate studies of equine biomechanics. *American Journal of Veterinary Research*, 37(11), 1251-1255.
- Preston CA, Schulz KS, Kass PH. (2000). In vitro determination of contact areas in the normal elbow joint of dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 61(10), 1315-1321.
- Probst C, Flo GL, McLoughlin MA, DeCamp CE. (1988). Fragmented medial coronoid process and osteochondritis dissecans of the elbow. *Companion Animal Practice*, 2, 27-33.
- Prost J. (1970). Gaits of monkeys and horses: A methodological critique. *American Journal of Physical Anthropology*, 32(1), 121-127.
- Puccio M, Marino DJ, Stefanacci JD, McKenna B. (2003). Clinical evaluation and long-term follow-up of dogs having coronoidectomy for elbow incongruity. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 39(5), 473-478.
- Raith AK. (2010). Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes-Eine Reevaluierung. *Diss. med. vet., LMU München*.
- Read R, Armstrong S, O'Keefe J, Eger C. (1990). Fragmentation of the medial coronoid process of the ulna in dogs: a study of 109 cases. *Journal of Small Animal Practice*, 31(7), 330-334.
- Reichle JK, Park RD, Bahr AM. (2000). Computed tomographic findings of dogs with cubital joint lameness. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 41(2), 125-130.

- Reichle JK, Snaps F. (1999). The elbow. *Clinical Techniques in Small Animal Practice*, 14(3), 177-186.
- Richards J, Pramanik A, Sykesand L, Pomeroy V. (2003). A comparison of knee kinematic characteristics of stroke patients and age-matched healthy volunteers. *Clinical Rehabilitation*, 17(5), 565-571.
- Richardson DC, Zentek J. (1998). Nutrition and osteochondrosis. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 28(1), 115-135.
- Riggs C, DeCamp C, Soutas-Little R, Braden T, Richter M. (1993). Effects of subject velocity on force plate-measured ground reaction forces in healthy greyhounds at the trot. *American Journal of Veterinary Research*, 54(9), 1523-1526.
- Riser, Shirer. (1966). Hip dysplasia: coxafemoral abnormalities in neonatal German Shepherd dogs. *Journal of Small Animal Practice*, 7(1), 7-12.
- Robinson R, Herzog W, Nigg B. (1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 10(4), 172-176.
- Roy W. (1971). Examination of the canine locomotor system. *The Veterinary Clinics of North America*, 1, 53-70.
- Rumph P, Lander J, Kincaid S, Baird D, Kammermann J, Visco D. (1994). Ground reaction force profiles from force platform gait analyses of clinically normal mesomorphic dogs at the trot. *American Journal of Veterinary Research*, 55(6), 756-761.
- Salomon F, Geyer H, Gille U. (2005). Anatomie für die Tiermedizin-Bewegungsapparat (1 ed.)22-234 *Stuttgart: Enke*.

Samoy Y, Gielen I, van Bree H, Van Ryssen B. (2011). Dysplastic elbow diseases in dogs. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 80(5), 327-338.

Samoy Y, Van Ryssen B, Gielen I, Walschot N, Van Bree H. (2006). Elbow incongruity in the dog. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 19, 1-8.

Schleich S. (1997). Vergleich klinischer, röntgenologischer und intraoperativer Befunde beim fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae und der Osteochondrosis dissecans an der Trochlea humeri beim Hund. *Diss. med. vet., Justus-Liebig-Universität Gießen*.

Schulz K, Krotscheck U. (2003). Textbook of small animal surgery; (Hrsg.: Slatter, D.)- Canine elbow dysplasia 1927-1952 *Philadelphia: Saunders-Elsevier*.

Schwarz P. (2000). Kirks Current Veterinary therapy XIII- Small Animal Practice (Bonagura (Hrsg.)): -Canine elbow dysplasia (13 ed.)1004-1013 *Philadelphia: Saunders*.

Seiferle E, Frewein J. (1992). Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia, In: Nickel R, Schummer A und Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band 1, Bewegungsapparat (6 ed., pp. 273-569). Berlin, Hamburg: Parey.

Seyrek-Intas D, Michele U, Tacke S, Kramer M, Gerwing M. (2009). Accuracy of ultrasonography in detecting fragmentation of the medial coronoid process in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 234(4), 480-485.

Sjöström L, Kasstrom H, Kallberg M. (1995). Ununited anconeal process in the dog. Pathogenesis and treatment by osteotomy of the ulna. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 8(170-176).

Slater M, Scarlett J, Donoghue S, Kaderly R, Bonnett B, Cockshutt J, Erb H. (1992). Diet and exercise as potential risk factors for osteochondritis dissecans in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 53(11), 2119-2124.

Smith S. (2015). Most Popular Dog Breeds in America. Retrieved 24.11.2015, from <http://www.akc.org/news/the-most-popular-dog-breeds-in-america/>

Steigmeier SI. (2011). Untersuchungen zur Entwicklung einer Endoprothese für das canine Ellbogengelenk. *Diss. med. vet., LMU München*.

Stiern R. (1956). Ectopic sesamoid bones at the elbow (patella cubiti) of the dog. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 128(10), 498-501.

Studdert V, Lavelle R, Beilharz R, Mason T. (1991). Clinical features and heritability of osteochondrosis of the elbow in Labrador retrievers. *Journal of Small Animal Practice*, 32(11), 557-563.

Tellhelm B. (2004). Kompendium der allgemeinen Veterinärchirurgie (Hrsg.: Kramer, M)- Bildgebende Verfahren - Röntgen 95-100 *Hannover: Schlütersche*.

Theyse LF, Voorhout G, Hazewinkel HA. (2005). Prognostic factors in treating antebrachial growth deformities with a lengthening procedure using a circular external skeletal fixation system in dogs. *Veterinary Surgery*, 34(5), 424-435.

Tietz E. (1997). Über die frühzeitige Erkennung der Coronoidfraktur beim Berner Sennenhund und beim Großen Schweizer Sennenhund. *Diss. med. vet., Freie Universität Berlin*.

Tromblee TC, Jones JC, Bahr AM, Shires PK, Aref S. (2007). Effect of computed tomography display window and image plane on diagnostic certainty for characteristics of dysplastic elbow joints in dogs. *American Journal of Veterinary Research*, 68(8), 858-871.

Ubbink G, Hazewinkel H, Rothuizen J, van de Broek J, Wolvekamp W. (2000). Prediction of the genetic risk for fragmented coronoid process in labrador retrievers. *Veterinary Record*, 147(6), 149-152.

Unkel-Mohrmann F. (1999). Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes. *Diss. med. vet., LMU München*.

van Bruggen LW, Hazewinkel HA, Wolschrijn CF, Voorhout G, Pollak YW, Barthez PY. (2010). Bone scintigraphy for the diagnosis of an abnormal medial coronoid process in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 51(3), 344-348.

Van Herpen H. (1988). Anatomy and development of the elbow joint. *Tijdschrift voor Diergeneeskunde*, 113, 38-41.

Van Ryssen B. (2001). Role of arthroscopy in elbow diseases in the dog. Paper presented at the *Proceedings 12th International Small Animal Arthroscopy Workshop, Refresher Course, Ghent, Belgium*.

Van Weeren P, Van den Bogert A, Barneveld A. (1992). Correction models for skin displacement in equine kinematics gait analysis. *Journal of Equine Veterinary Science*, 12(3), 178-192.

VDH. (2014). Welpenstatistik. Retrieved 24.11.2015, from <http://www.vdh.de/ueber-den-vdh/welpenstatistik/>

Viehmann B. (1998). Zur Diagnostik der Ellbogengelenksdysplasie beim Hund: Standardröntgen, Feinfokusröntgen und computergestützte Auswertung. *Diss. med. vet., Freie Universität Berlin*.

Viehmann B, Waibl H, Brunnberg L. (1999). Computergestützte Auswertung von Röntgenbildern zur Erfassung von Parametern der Ellbogengelenksdysplasie. Teil 1: incisura trochlearis ulnae. *Kleintierpraxis*, 44, 595-606.

- Vollmerhaus B, Roos H. (1985). Anwendung des Standard-Goniometers zur Gelenkmessung und Notierung der Gelenkbewegung beim Tier. *Tierärztliche Praxis*, 2, 20-25.
- Vollmerhaus B, Waibl H, Roos H. (1994). Anatomie von Hund und Katze (Hrsg.: Frewein, J., Vollmerhaus, B.)- Gelenke 53-76 Berlin: Blackwell Wissenschafts-Verlag.
- Voorhout G, Hazewinkel H. (1987). Radiographic evaluation of the canine elbow joint with special reference to the medial humeral condyle and the medial coronoid process. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 28(5), 158-165.
- Voss K, Imhof J, Kaestner S, Montavon P. (2007). Force plate gait analysis at the walk and trot in dogs with low-grade hindlimb lameness. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 20(4), 299-304.
- Waibl H, Brunnberg L. (2012). Atlas der Röntgenanatomie des Hundes-Schultergliedmaße (3 ed.)Stuttgart: Enke Verlag.
- Walde I, Tellhelm B. (1991). Der fragmentierte Processus coronoideus medialis ulnae (FPC) und die Osteochondritis dissecans (OCD) im Ellbogengelenk und Sprunggelenk des Hundes. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 78, 414-424.
- Webbon P, Jones D. (1976). Radiological Refresher - 6: The elbow. *Journal of Small Animal Practice*, 17(6), 395-401.
- White SC, Yack HJ, Tucker CA, Lin H-Y. (1998). Comparison of vertical ground reaction forces during overground and treadmill walking. *Medicine and science in sports and exercise*, 30(10), 1537-1542.
- Wind A. (1986). Elbow incongruity and developmental elbow diseases in the dog. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 22, 711-730.

Winhart S. (1991). Zur Fraktur des Processus coronoideus medialis ulnae beim Hund. *Diss. med. vet., LMU München*.

Yanoff SR, Hulse D, Hogan H, Slater MR, Longnecker M. (1992). Measurement of vertical ground reaction force in jumping dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 5, 44-50.

Ytrehus B, Carlson C, Ekman S. (2007). Etiology and pathogenesis of osteochondrosis. *Veterinary Pathology Online*, 44(4), 429-448.

Zwick M. (2010). Vergleich radiologischer und arthroskopischer Befunde des Ellbogengelenkes beim fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae (Koronoiderkrankung) des Hundes inklusive einer interobserver-Analyse (erfahren-unerfahren). *Diss. med. vet., Justus-Liebig-Universität Gießen*.

## IX. ANHANG

### 9.1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schemazeichnung von Knochen und Knochenpunkten im Bereich des Ellbogengelenkes beim Hund; aus Budras (2007). .....	4
Abb. 2: Schemazeichnung von Bänder und Kapsel des Ellbogens beim Hund, aus Budras (2007). .....	8
Abb. 3: Lagerung zur röntgenologischen Darstellung des Ellbogengelenks; medio-laterale Projektion, aus Waibl und Brunnberg (2012). .....	18
Abb. 4: Lagerung zur röntgenologischen Darstellung des Ellbogengelenks; kranio- kaudale Projektion, aus Waibl und Brunnberg (2012). .....	18
Abb. 5: Verteilung der Körperlast auf Vorder- und Hintergliedmaßen sowie Lage des Körperschwerpunktes bei verschiedenen Hunderassen, aus Larché (1962). .....	24
Abb. 6: Richtung der Bodenreaktionskräfte beim gesunden Hund im Schritt, nach Budsberg et al. (1987): .....	28
Abb. 7: Knochenpunkte zur Gelenkwinkelberechnung, aus Off (1992). .....	30
Abb. 8: Ein Labrador Retriever mit Markern, die auf den Knochenpunkten der Vordergliedmaßen angebracht sind. Die Marker, die für die Berechnung der Gelenkwinkel notwendig sind, wurden farbig markiert und durch Geraden verbunden ( $\alpha$ = Schultergelenkwinkel: a, b, c; $\beta$ = Ellbogengelenkwinkel: b, c, d; $\gamma$ = Karpalgelenkwinkel: c, d, e).....	31
Abb. 9: Die einzelnen Graphen zeigen den Verlauf von Streckung und Beugung während der Stand- und Schwungphase eines vollständigen Schrittes von Schulter- (a), Ellbogen- (b) und Karpalgelenk (c). .....	33
Abb. 10: Einzelne Untersuchungsschritte der Studienteilnehmer.....	37
Abb. 11: 2 Röntgenaufnahmen als Beispiel eines gesunden (a) und eines erkrankten (b) Ellbogengelenks im medio-lateralen Strahlengang. Das erkrankte Ellbogengelenk zeigt osteophytäre Zubildungen am Radiuskopf und im Bereich des Processus anconeus (weiße Pfeile). Außerdem ist eine deutliche Sklerosierung im Bereich kaudal des schlecht abgrenzbaren PCMU zu sehen (schwarzer Pfeil). .....	39
Abb. 12: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen	

---

Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.....	40
Abb. 13: Labrador mit aufgeklebten Markern auf dem Laufband.....	41
Abb. 14: 3-dimensionale Bildschirmansicht eines ungelabelten (a) und eines gelabelten (b) Markermodells eines Hundes. Der Hund wurde nach dem bereits beschriebenen Markermodell an Kopf, Vorderextremitäten, Hals- und Brustwirbelsäule mit Markern beklebt.....	42
Abb. 15: Schemata zur kinetischen Auswertung.....	46
Abb. 16: Veränderungen des Schultergelenkwinkels während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).....	57
Abb. 17: Veränderungen des Ellbogengelenkwinkels während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).....	59
Abb. 18: Veränderungen des Karpalgelenkwinkels während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).....	61
Abb. 19: Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit des Schultergelenks während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).....	63
Abb. 20: Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit des Ellbogengelenks während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).....	65
Abb. 21: Veränderungen der Winkelgeschwindigkeit des Karpalgelenks während des Schrittzklus. Gegenüberstellung der gemittelten Werte von Gruppe 1 (erkrankte Gliedmaßen, rot) und Gruppe 2 (gesunde Gliedmaßen, blau).....	67

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Muskeln des Ellbogengelenks; nach Frewein (1994) und Liebich et al. (2005).....	5
Tab. 2: Grunddaten aller Hunde (n = 41).....	49
Tab. 3: Grunddaten der Gruppe mit subklinischer ED (Gruppe 1) (n = 20).....	49
Tab. 4: Grunddaten der gesunden Vergleichsgruppe (Gruppe 2) (n = 21). ....	50
Tab. 5: Vergleich der mittleren vertikalen Spitzenkraft (PVF).....	50
Tab. 6: Vergleich des mittleren vertikalen Impulses (VI).....	51
Tab. 7: Vergleich des Symmetrie-Index der vertikalen Spitzenkraft (SI PVF). ..	52
Tab. 8: Vergleich des Symmetrie-Index des vertikalen Impulses (SI VI). ....	53
Tab. 9: Vergleich der Gewichtsverteilung der vertikalen Spitzenkraft (GW PVF). .....	54
Tab. 10: Vergleich der Gewichtsverteilung des vertikalen Impulses (GW VI)....	55
Tab. 11: Vergleich der Mittelwerte des Schultergelenkwinkels. ....	56
Tab. 12: Vergleich der Mittelwerte des Ellbogengelenkwinkels. ....	58
Tab. 13: Vergleich der Mittelwerte des Karpalgelenkwinkels.....	60
Tab. 14: Vergleich der Mittelwerte der Schultergelenks-Winkelgeschwindigkeit (WG). ....	62
Tab. 15: Vergleich der Mittelwerte der Ellbogengelenks-Winkelgeschwindigkeit (WG). ....	64
Tab. 16: Vergleich der Mittelwerte der Karpalgelenks-Winkelgeschwindigkeit (WG). ....	66

## 9.3 Untersuchungsprotokoll

### Untersuchungsprotokoll zur Ganganalyse beim Labrador Retriever

Nummer:

Datum:

#### A: Anamnese:

1. Irgendwelche Krankheitserscheinungen/ Auffälligkeiten in den letzten Tagen / Wochen?
2. Erkrankungen des Bewegungsapparates (Lahmheiten)?

#### B: Signalement:

1. Alter
2. Geschlecht (kastriert)
3. Gewicht
4. Stockmaß
5. Länge Wirbelsäule

#### C: Allgemeine Untersuchung:

1. Haltung

2. Verhalten

3. Ernährungszustand

4. Pflegezustand

5. Temperatur

6. Atemfrequenz

7. Herzfrequenz

8. KFZ

9. Lymphknoten

- Lnn. Mandibulares:
- Lnn. Cervicales superficialis:
- Lnn. Poplitei:

10. Abdomen

**D: Orthopädische Untersuchung:**

1. Adspektion:

- Im Stand- Gliedmaßenstellung
  
- In Bewegung

2. Neurocheck:

- Propriozeption aller Gliedmaßen
  
- Kopfdrehen in alle Richtungen

-Palpation der Wirbelsäule

3. Palpation der Gliedmaßen am stehenden Tier

4. Untersuchung am liegenden Tier

-Hintergliedmaße

a) Zehengelenke

- Extension/ Flexion aller Zehengelenke

- Flexorreflex

b) Tarsus (Kniegelenk gebeugt)

- Extension (165°)/ Flexion

c) Knie

- Extension /Flexion/ Rotation

- Schubladentest

- Tibiakompressionstest

- Sitz der Patella

d) Hüftgelenk

- Extension/ Flexion/ Rotation

-Ortolani Test

- Verhältnis Trochanter major – Tuber ischiadicum

-Vordergliedmaße

a) Zehengelenke

- Extension/ Flexion aller Zehengelenke

-Flexorreflex

b) Carpus

-Extension (30°)/ Flexion (210°)

c) Ellenbogen

-Extension/ Flexion

-Pronation/ Supination

d) Schultergelenk

- Extension/ Flexion und Abduktion

- Palpation der Sehne des M. biceps

## 9.4 Tabellen

Morphologische und Kinetische Daten Gruppe 1

Hund	Gruppe	Alter (Jahre)	Geschlecht	Gewicht (kg)	Widerrist (cm)	Seite	PVF vok	PVF vonk	PVF hik	PVF hink	SIPVFvoknk	SIPVFhiknk	SIPVFvohi	SIPVFvokhik	SIPVFvokhink
1	1	4,58	männlich	39,5	60	links	62,3	62,8	45,8	47,0	0,80	2,59	29,65	30,53	28,00
2	1	3,07	weiblich	24,6	55	links	54,3	51,1	48,9	46,6	6,07	4,82	9,86	10,47	15,26
3	1	4,09	weiblich	23,2	55	links	63,1	63,6	41,7	42,3	0,79	1,43	40,53	40,84	39,47
4	1	2,89	weiblich	35,3	54	links	62,7	59,4	39,0	41,4	5,41	5,97	41,19	46,61	40,92
5	1	1,22	weiblich	23,4	52	rechts	59,9	58,7	43,4	47,3	2,02	8,60	26,66	31,95	23,51
6	1	4,03	weiblich	22,3	47	rechts	60,2	63,6	41,0	42,0	5,49	2,41	39,46	37,94	35,62
7	1	2,52	männlich	29,3	50	links	61,4	60,9	37,2	36,7	0,82	1,35	49,34	49,09	50,36
8	1	4,33	weiblich	32,2	50	links	64,9	60,9	44,8	43,5	6,36	2,94	35,03	36,65	39,48
9	1	1,69	weiblich	28,9	54	links	47,5	49,7	41,7	40,9	4,53	1,94	16,24	13,00	14,93
10	1	3,18	männlich	30,3	51	links	62,7	68,1	44,1	43,1	8,26	2,29	40,00	34,83	37,05
11	1	7,76	männlich	36,0	55	rechts	67,4	69,0	34,5	32,8	2,35	5,05	67,84	64,57	69,06
12	1	9,40	weiblich	26,9	55	rechts	57,6	54,1	48,2	51,8	6,27	7,20	11,05	17,77	10,60
13	1	2,44	weiblich	30,0	55	links	56,6	54,3	45,3	45,1	4,12	0,44	20,29	22,09	22,53
14	1	8,75	männlich	27,5	58	rechts	53,5	51,3	41,0	41,0	4,20	0,00	24,41	26,46	26,46
15	1	8,24	weiblich	27,0	53	rechts	70,1	68,3	33,9	34,9	2,60	2,91	67,18	69,62	67,05
16	1	7,68	männlich	33,2	60	links	60,4	56,2	51,8	51,3	7,20	0,97	12,33	15,37	16,33
17	1	3,47	weiblich	33,8	61	links	65,9	62,3	43,7	42,0	5,62	3,97	39,74	40,51	44,30
18	1	1,14	männlich	26,5	53	rechts	62,0	64,0	42,6	41,5	3,17	2,62	39,89	37,09	39,61
19	1	6,22	weiblich	29,1	57	rechts	50,2	48,7	47,4	45,3	3,03	4,53	6,47	5,74	10,26
20	1	3,82	weiblich	30,5	54	rechts	58,0	59,8	40,8	39,7	3,06	2,73	37,62	34,82	37,46

## Morphologische und Kinetische Daten Gruppe 2

Hund	Gruppe	Alter (Jahre)	Geschlecht	Gewicht (kg)	Widerrist (cm)	Seite	PVF vok	PVF vonk	PVF hik	PVF hink	SIPVfvoknk	SIPVfhiknk	SIPVfvohi	SIPVfvokhik	SIPVfvokhink
21	2	2,74	weiblich	30,3	52	rechts	62,2	63,6	42,6	42,7	2,23	0,23	38,37	37,40	37,18
22	2	3,62	männlich	25,5	52	links	61,1	60,8	43,0	41,3	0,49	4,03	36,47	34,77	38,67
23	2	1,20	männlich	28,5	58	rechts	55,9	54,1	47,5	45,8	3,27	3,64	16,43	16,25	19,86
24	2	0,90	weiblich	25,3	54	links	64,9	63,9	53,3	52,2	1,55	2,09	19,89	19,63	21,69
25	2	1,27	männlich	32,4	53	rechts	56,7	56,5	43,8	44,3	0,35	1,14	24,94	25,67	24,55
26	2	3,65	weiblich	27,0	53	links	59,7	61,1	40,9	42,1	2,32	2,89	37,10	37,38	34,58
27	2	1,09	männlich	31,5	62	rechts	54,9	58,8	42,7	45,8	6,86	7,01	24,93	25,00	18,07
28	2	2,42	männlich	26,2	56	links	71,7	72,8	36,6	37,3	1,52	1,89	64,65	64,82	63,12
29	2	1,27	männlich	33,8	53	links	59,3	61,0	41,7	42,2	2,83	1,19	35,65	34,85	33,69
30	2	3,87	weiblich	30,6	54	rechts	70,1	73,7	42,5	45,8	5,01	7,47	47,82	49,02	41,93
31	2	7,99	männlich	28,4	52	rechts	62,5	60,8	37,3	39,9	2,76	6,74	45,99	50,50	44,14
32	2	8,22	weiblich	28,0	51	links	62,3	61,5	44,5	47,5	1,29	6,52	29,47	33,33	26,96
33	2	2,47	männlich	30,5	55	rechts	55,0	57,5	44,0	42,4	4,44	3,70	26,24	22,22	25,87
34	2	2,16	männlich	30,5	55	links	69,5	66,5	42,3	40,6	4,41	4,10	48,52	48,66	52,50
35	2	6,21	weiblich	28,0	53	rechts	49,0	50,4	46,4	46,9	2,82	1,07	6,33	5,45	4,38
36	2	5,34	männlich	34,5	63	links	59,5	55,5	47,0	49,6	6,96	5,49	17,44	23,58	18,15
37	2	2,95	weiblich	32,4	54	rechts	64,3	63,9	46,3	47,1	0,62	1,71	31,41	32,55	30,88
38	2	5,48	weiblich	32,1	54	links	52,3	52,8	45,2	42,9	0,95	5,22	17,60	14,56	19,75
39	2	2,95	weiblich	22,7	57	rechts	56,9	57,4	43,8	41,6	0,87	5,15	28,94	26,02	31,07
40	2	2,44	weiblich	31,0	60	links	64,1	63,5	46,6	47,5	0,94	1,91	30,22	31,62	29,75
41	2	5,91	weiblich	33,1	58	links	54,4	55,7	38,7	41,9	2,36	7,94	30,94	33,73	25,96

## Kinetik Gruppe 1

Hund	Gruppe	SIPVFvonkhink	SIPVFvonkhik	GWPVfvok	GWPVfvonk	GWPVfhik	GWPVfhink	GWPVfvorne	GWPVfhinten	GWPVfk	GWPVfnk	VI vok	VI vonk	VI hik	VI hink
1	1	28,78	31,31	28,59	28,82	21,02	21,57	57,41	42,59	49,61	50,39	22,24	20,51	14,45	13,58
2	1	9,21	4,40	27,03	25,44	24,34	23,20	52,46	47,54	51,37	48,63	16,15	16,01	12,79	12,92
3	1	40,23	41,60	29,95	30,19	19,79	20,08	60,13	39,87	49,74	50,26	19,23	18,03	9,74	9,83
4	1	35,71	41,46	30,96	29,33	19,26	20,44	60,30	39,70	50,22	49,78	20,50	20,17	11,68	12,17
5	1	21,51	29,97	28,62	28,05	20,74	22,60	56,67	43,33	49,35	50,65	19,10	19,26	12,25	11,83
6	1	40,91	43,21	29,11	30,75	19,83	20,31	59,86	40,14	48,94	51,06	19,56	20,61	11,68	12,24
7	1	49,59	48,32	31,29	31,04	18,96	18,71	62,33	37,67	50,25	49,75	22,45	22,10	9,72	9,86
8	1	33,33	30,46	30,31	28,44	20,92	20,32	58,76	41,24	51,24	48,76	23,29	21,54	14,71	13,51
9	1	19,43	17,51	26,42	27,64	23,19	22,75	54,06	45,94	49,61	50,39	14,94	14,94	11,38	10,66
10	1	44,96	42,78	28,76	31,24	20,23	19,77	60,00	40,00	48,99	51,01	22,13	21,74	11,35	10,63
11	1	71,12	66,67	33,09	33,87	16,94	16,10	66,96	33,04	50,02	49,98	21,42	21,35	9,03	8,39
12	1	4,34	11,53	27,21	25,56	22,77	24,47	52,76	47,24	49,98	50,02	14,58	15,29	12,48	12,59
13	1	18,45	18,01	28,10	26,97	22,51	22,41	55,07	44,93	50,62	49,38	18,67	19,14	14,29	14,21
14	1	22,32	22,32	28,64	27,46	21,95	21,95	56,10	43,90	50,59	49,41	18,60	17,93	12,03	12,15
15	1	64,73	67,32	33,83	32,96	16,36	16,84	66,80	33,20	50,19	49,81	21,36	21,69	9,34	9,33
16	1	9,16	8,19	27,50	25,59	23,57	23,34	53,08	46,92	51,07	48,93	17,15	17,22	13,16	13,23
17	1	38,93	35,09	30,81	29,13	20,43	19,64	59,93	40,07	51,24	48,76	20,00	19,83	11,03	11,05
18	1	42,65	40,15	29,51	30,46	20,28	19,75	59,97	40,03	49,79	50,21	21,40	20,03	9,74	9,40
19	1	7,23	2,71	26,20	25,42	24,74	23,64	51,62	48,38	50,94	49,06	14,82	14,47	14,72	13,97
20	1	40,40	37,77	29,25	30,16	20,57	20,02	59,40	40,60	49,82	50,18	20,38	21,55	11,61	11,38

## Kinetik Gruppe 2

Hund	Gruppe	SIPVFvonkhink	SIPVFvonkhik	GWPVfvok	GWPVfvonk	GWPVfhik	GWPVfhink	GWPVfvorne	GWPVfhinten	GWPVfk	GWPVfnk	VI vok	VI vonk	VI hik	VI hink
21	2	39,32	39,55	29,46	30,13	20,18	20,23	59,59	40,41	49,64	50,36	22,27	22,21	11,62	11,83
22	2	38,20	34,30	29,63	29,49	20,85	20,03	59,12	40,88	50,48	49,52	20,81	20,03	11,85	10,94
23	2	16,62	12,99	27,50	26,61	23,36	22,53	54,11	45,89	50,86	49,14	20,09	18,54	12,97	12,18
24	2	20,16	18,09	27,70	27,27	22,75	22,28	54,97	45,03	50,45	49,55	18,93	18,50	11,53	11,83
25	2	24,21	25,32	28,17	28,07	21,76	22,01	56,23	43,77	49,93	50,07	19,53	19,86	12,69	12,14
26	2	36,82	39,61	29,29	29,98	20,07	20,66	59,27	40,73	49,36	50,64	15,26	15,91	10,64	10,26
27	2	24,86	31,72	27,15	29,08	21,12	22,65	56,23	43,77	48,27	51,73	17,75	17,20	10,75	11,11
28	2	64,49	66,18	32,83	33,33	16,76	17,08	66,16	33,84	49,59	50,41	22,19	23,46	7,68	7,16
29	2	36,43	37,59	29,04	29,87	20,42	20,67	58,91	41,09	49,46	50,54	20,64	21,41	11,96	12,25
30	2	46,69	53,70	30,20	31,75	18,31	19,73	61,96	38,04	48,51	51,49	29,64	29,13	10,64	11,01
31	2	41,51	47,91	31,17	30,32	18,60	19,90	61,50	38,50	49,78	50,22	22,75	21,48	10,94	10,92
32	2	25,69	32,08	28,87	28,50	20,62	22,01	57,37	42,63	49,49	50,51	21,14	19,60	11,14	10,83
33	2	30,23	26,60	27,65	28,91	22,12	21,32	56,56	43,44	49,77	50,23	20,15	19,32	12,50	11,68
34	2	48,37	44,49	31,75	30,38	19,32	18,55	62,13	37,87	51,07	48,93	24,03	23,03	10,85	10,17
35	2	7,19	8,26	25,43	26,15	24,08	24,34	51,58	48,42	49,51	50,49	16,80	17,63	13,02	14,21
36	2	11,23	16,69	28,13	26,23	22,19	23,45	54,36	45,64	50,32	49,68	21,74	21,09	13,63	14,74
37	2	30,27	31,94	29,02	28,84	20,89	21,25	57,85	42,15	49,91	50,09	21,54	22,91	13,32	13,19
38	2	20,69	15,51	27,07	27,33	23,40	22,20	54,40	45,60	50,47	49,53	13,24	12,86	12,29	11,46
39	2	31,92	26,88	28,49	28,74	21,93	20,83	57,24	42,76	50,43	49,57	19,92	19,45	14,40	13,76
40	2	28,83	30,70	28,91	28,64	21,02	21,43	57,56	42,44	49,93	50,07	23,33	21,99	12,04	12,75
41	2	28,28	36,02	28,53	29,21	20,29	21,97	57,73	42,27	48,82	51,18	20,24	22,06	14,46	14,06

## Kinetik Gruppe 1

Hund	Gruppe	SIVlvoknk	SIVIhiknk	SIVlvohi	SIVlvokhik	SIVlvokhink	SIVlvonkhink	SIPVFvonkhik	GWVlvok	GWVlvonk	GWVIhik	GWVIhink	GWVlvorne	GWVIhinten	GWVIk
1	1	8,09	6,20	41,60	42,47	48,35	40,66	34,68	31,42	28,98	20,41	19,19	60,40	39,60	51,84
2	1	0,88	1,02	22,29	23,23	22,22	21,36	22,37	27,91	27,66	22,10	22,33	55,57	44,43	50,01
3	1	6,47	0,95	62,27	65,55	64,70	58,85	59,72	33,84	31,72	17,14	17,30	65,57	34,43	50,98
4	1	1,62	4,06	52,15	54,80	51,03	49,52	53,31	31,77	31,26	18,11	18,86	63,04	36,96	49,88
5	1	0,84	3,46	45,71	43,68	46,96	47,76	44,48	30,58	30,84	19,62	18,95	61,43	38,57	50,20
6	1	5,22	4,67	50,71	50,44	46,04	50,96	55,30	30,52	32,16	18,23	19,10	62,68	37,32	48,75
7	1	1,61	1,43	77,85	79,14	77,93	76,56	77,78	35,01	34,45	15,16	15,38	69,46	30,54	50,17
8	1	7,82	8,53	45,49	45,16	53,18	45,84	37,68	31,89	29,49	20,14	18,49	61,37	38,63	52,02
9	1	0,02	6,47	30,21	27,09	33,40	33,42	27,11	28,77	28,78	21,91	20,54	57,55	42,45	50,68
10	1	1,79	6,62	66,48	64,37	70,24	68,67	62,76	33,61	33,01	17,24	16,14	66,62	33,38	50,85
11	1	0,34	7,30	84,23	81,39	87,40	87,13	81,11	35,59	35,47	15,00	13,94	71,06	28,94	50,59
12	1	4,78	0,87	17,47	15,51	14,64	19,38	20,25	26,53	27,83	22,72	22,92	54,37	45,63	49,25
13	1	2,47	0,54	28,09	26,61	27,14	29,56	29,03	28,16	28,86	21,55	21,43	57,02	42,98	49,71
14	1	3,69	0,98	40,70	42,92	41,98	38,44	39,39	30,64	29,53	19,81	20,01	60,18	39,82	50,46
15	1	1,51	0,10	78,98	78,30	78,38	79,66	79,58	34,61	35,14	15,13	15,12	69,75	30,25	49,74
16	1	0,46	0,52	26,26	26,29	25,78	26,24	26,74	28,22	28,35	21,66	21,77	56,57	43,43	49,88
17	1	0,84	0,15	57,34	57,79	57,66	56,89	57,03	32,30	32,03	17,82	17,85	64,34	35,66	50,12
18	1	6,63	3,48	73,59	74,92	77,89	72,19	69,14	35,33	33,06	16,08	15,53	68,40	31,60	51,41
19	1	2,37	5,24	2,07	0,66	5,90	3,54	-1,71	25,56	24,96	25,39	24,09	50,52	49,48	50,95
20	1	5,56	1,99	58,37	54,86	56,70	61,78	59,97	31,40	33,19	17,88	17,53	64,59	35,41	49,28

## Kinetik Gruppe 2

Hund	Gruppe	SIVlvoknk	SIVIhiknk	SIVlvohi	SIVlvokhik	SIVlvohink	SIVlvonkhik	SIPVFvonkhik	GWVlvok	GWVlvonk	GWVlhik	GWVlhink	GWVlvorne	GWVlhinten	GWVlk
21	2	0,28	1,76	61,89	62,81	61,22	60,97	62,56	32,78	32,69	17,11	17,42	65,47	34,53	49,89
22	2	3,83	8,01	56,70	54,83	62,16	58,68	51,27	32,70	31,47	18,63	17,19	64,18	35,82	51,33
23	2	7,98	6,29	42,29	43,07	49,02	41,45	35,39	31,49	29,08	20,33	19,09	60,57	39,43	51,83
24	2	2,32	2,61	46,28	48,61	46,15	43,95	46,43	31,14	30,43	18,96	19,47	61,57	38,43	50,11
25	2	1,67	4,44	45,36	42,47	46,70	48,28	44,07	30,41	30,93	19,76	18,90	61,34	38,66	50,17
26	2	4,19	3,65	39,45	35,66	39,18	43,19	39,70	29,30	30,56	20,44	19,70	59,86	40,14	49,74
27	2	3,14	3,32	46,11	49,15	46,02	43,04	46,19	31,25	30,28	18,92	19,56	61,53	38,47	50,16
28	2	5,55	7,02	101,86	97,14	102,42	106,46	101,33	36,68	38,78	12,70	11,84	75,46	24,54	49,38
29	2	3,67	2,47	53,85	53,28	50,98	54,39	56,67	31,15	32,31	18,04	18,49	63,46	36,54	49,19
30	2	1,73	3,38	92,31	94,32	91,66	90,29	92,96	36,85	36,22	13,23	13,69	73,08	26,92	50,09
31	2	5,73	0,14	67,71	70,14	70,26	65,19	65,06	34,42	32,50	16,55	16,52	66,93	33,07	50,97
32	2	7,58	2,84	59,87	61,97	64,52	57,65	55,04	33,71	31,25	17,76	17,27	64,97	35,03	51,48
33	2	4,22	6,77	48,05	46,88	53,23	49,28	42,87	31,66	30,35	19,64	18,35	62,01	37,99	51,30
34	2	4,27	6,44	76,51	75,60	81,06	77,46	71,92	35,30	33,83	15,93	14,94	69,13	30,87	51,23
35	2	4,85	8,73	23,35	25,33	16,70	21,50	30,09	27,24	28,60	21,12	23,04	55,84	44,16	48,36
36	2	3,04	7,85	40,63	45,88	38,37	35,44	42,99	30,53	29,62	19,14	20,70	60,16	39,84	49,67
37	2	6,16	0,98	50,53	47,13	48,05	53,81	52,90	30,35	32,28	18,78	18,59	62,63	37,37	49,13
38	2	2,90	6,96	9,43	7,45	14,39	11,50	4,55	26,56	25,80	24,65	22,99	52,36	47,64	51,21
39	2	2,38	4,60	33,20	32,13	36,60	34,29	29,81	29,50	28,80	21,33	20,37	58,30	41,70	50,83
40	2	5,93	5,71	58,56	63,84	58,66	53,19	58,46	33,28	31,36	17,17	18,18	64,64	35,36	50,45
41	2	8,60	2,79	38,92	33,33	36,04	44,30	41,64	28,58	31,15	20,41	19,85	59,73	40,27	49,00

## Kinetik und Kinematik Gruppe 1

Hund	Gruppe	GWVInk	SchulterMax	SchulterMin	SchulterROM	SchulterTOOMin	EllbogenMax	EllbogenMin	EllbogenROM	EllbogenTOOMax	EllbogenTOOMin	KarpusMax
1	1	48,16	163,12	122,57	40,55	74,5	159,94	101,79	58,16	63,5	86,5	191,61
2	1	49,99	130,09	107,11	22,98	65,5	141,17	88,16	53,01	57,5	85,0	196,75
3	1	49,02	167,46	131,14	36,33	67,0	158,39	107,96	50,43	60,5	83,5	223,04
4	1	50,12	155,38	114,69	40,69	67,0	132,35	77,84	54,51	59,8	83,5	199,00
5	1	49,80	139,71	112,04	27,67	82,5	142,92	90,08	52,83	64,0	88,0	198,73
6	1	51,25	121,46	96,86	24,60	78,5	125,80	74,76	51,04	59,5	83,5	218,53
7	1	49,83	150,41	124,07	26,34	83,0	130,55	73,08	57,46	66,5	87,5	199,99
8	1	47,98	158,15	112,92	45,23	65,0	137,97	88,99	48,98	63,5	84,0	218,48
9	1	49,32	141,67	117,16	24,51	63,0	153,24	105,68	47,57	57,3	84,5	207,50
10	1	49,15	148,33	126,32	22,02	64,0	143,68	94,16	49,52	58,0	86,0	207,01
11	1	49,41	152,37	111,68	40,69	66,0	146,28	97,14	49,14	59,0	86,0	220,26
12	1	50,75	195,42	149,98	45,44	64,0	158,84	112,12	46,72	55,0	79,5	192,19
13	1	50,29	131,77	90,40	41,37	72,5	130,21	79,54	50,67	58,5	80,0	209,65
14	1	49,54	172,65	144,18	28,47	72,0	160,23	103,20	57,03	64,0	87,5	203,12
15	1	50,26	174,57	135,07	39,50	64,0	162,16	114,32	47,84	58,0	81,5	203,93
16	1	50,12	149,65	115,14	34,50	65,5	157,83	108,33	49,49	57,5	87,0	198,75
17	1	49,88	159,75	127,81	31,94	66,5	167,10	119,42	47,69	58,5	86,0	202,69
18	1	48,59	146,96	116,48	30,48	74,0	131,28	84,82	46,46	62,0	83,5	206,36
19	1	49,05	140,49	113,78	26,71	61,0	153,28	114,31	38,97	55,0	86,0	192,31
20	1	50,72	151,51	117,43	34,08	69,0	135,07	81,59	53,48	60,5	85,0	222,02

## Kinetik und Kinematik Gruppe 2

Hund	Gruppe	GWVInk	SchulterMax	SchulterMin	SchulterROM	SchulterTOOMin	EllbogenMax	EllbogenMin	EllbogenROM	EllbogenTOOMax	EllbogenTOOMin	KarpusMax
21	2	50,11	134,85	105,50	29,35	67,8	143,04	93,61	49,42	61,0	86,5	203,96
22	2	48,67	151,29	121,31	29,99	74,0	143,52	88,60	54,92	62,0	85,3	209,95
23	2	48,17	143,39	116,96	26,43	70,0	168,25	114,55	53,71	59,3	84,8	188,49
24	2	49,89	148,14	126,31	21,83	73,8	159,13	108,57	50,56	58,5	84,8	203,00
25	2	49,83	138,38	108,09	30,29	69,5	140,43	89,45	50,98	61,5	84,3	199,56
26	2	50,26	161,35	125,98	35,37	70,5	160,15	109,01	51,14	77,0	81,3	213,91
27	2	49,84	154,70	121,21	33,49	65,3	162,76	112,52	50,24	57,5	81,5	195,02
28	2	50,62	154,36	121,73	32,63	64,5	145,49	97,96	47,53	59,5	84,0	211,63
29	2	50,81	155,79	120,23	35,56	73,0	150,64	94,73	55,90	62,5	86,5	204,07
30	2	49,91	153,66	121,94	31,72	70,8	154,81	109,67	45,14	57,8	87,3	209,73
31	2	49,03	170,30	136,50	33,79	68,8	133,50	86,72	46,79	63,8	87,3	180,03
32	2	48,52	177,14	130,86	46,28	63,5	150,11	98,01	52,10	60,8	83,5	213,89
33	2	48,70	168,98	135,95	33,03	66,8	143,33	99,98	43,35	59,5	84,5	198,32
34	2	48,77	181,17	136,61	44,56	69,0	139,49	96,86	42,64	62,0	86,5	195,70
35	2	51,64	150,90	115,28	35,62	72,8	138,42	87,70	50,72	64,0	85,8	196,38
36	2	50,33	164,00	127,67	36,33	73,5	146,79	90,39	56,41	63,0	85,8	202,73
37	2	50,87	136,95	112,36	24,59	79,0	150,14	97,78	52,36	63,0	88,0	210,96
38	2	48,79	154,34	115,47	38,87	62,8	150,83	105,10	45,73	55,0	80,0	211,94
39	2	49,17	137,54	107,33	30,21	75,0	157,76	103,27	54,49	60,3	83,5	207,36
40	2	49,55	152,55	118,24	34,31	71,8	159,13	105,95	53,18	65,3	85,5	189,18
41	2	51,00	155,31	118,89	36,43	65,5	145,44	93,38	52,06	58,3	81,8	196,05

## Kinematik Gruppe 1

Hund	Gruppe	KarpusMin	KarpusROM	KarpusTOOMin	SchulterWGMax	SchulterWGMin	SchulterWGRange	SchulterWGMaxAbf.	SchulterWGMinAbf.	EllbogenWGMax
1	1	94,22	97,39	82,0	301,56	-210,18	511,74	169,17	-210,18	650,35
2	1	108,56	88,19	77,0	280,64	-185,44	466,08	60,84	-76,27	545,27
3	1	137,81	85,23	77,5	334,47	-347,37	681,84	132,11	-89,74	535,79
4	1	70,21	128,79	76,0	305,60	-198,75	504,36	124,28	-91,41	588,79
5	1	110,62	88,11	76,5	369,32	-278,20	647,52	-9,32	-57,44	593,98
6	1	102,18	116,35	77,8	330,91	-184,23	515,14	26,50	-101,26	618,30
7	1	119,65	80,34	80,5	313,21	-225,74	538,95	-7,74	-87,70	579,04
8	1	119,62	98,86	80,5	326,43	-240,84	567,27	176,78	-93,15	617,62
9	1	144,89	62,61	75,5	279,95	-210,98	490,93	76,63	-51,09	411,49
10	1	117,87	89,13	78,5	240,49	-247,01	487,50	135,05	-59,24	554,35
11	1	93,52	126,74	74,5	305,53	-348,94	654,47	201,99	-100,99	626,10
12	1	99,70	92,50	70,0	476,88	-537,26	1014,14	198,53	-143,74	576,14
13	1	117,42	92,24	74,0	405,00	-215,95	620,95	109,91	-65,69	573,62
14	1	118,07	85,05	79,5	365,31	-326,71	692,03	27,97	-104,62	714,69
15	1	109,54	94,38	72,5	401,11	-258,53	659,64	180,58	-76,28	620,53
16	1	117,79	80,96	74,5	311,09	-310,49	621,59	130,58	-41,52	570,44
17	1	101,15	101,54	78,0	327,60	-353,12	680,72	153,40	-81,55	530,93
18	1	104,09	102,27	75,0	328,93	-150,33	479,26	93,53	-110,44	580,45
19	1	115,42	76,89	75,0	302,16	-197,41	499,57	94,39	-65,61	490,65
20	1	111,11	110,91	77,0	349,55	-240,00	589,55	42,80	-85,10	520,51

## Kinematik Gruppe 2

Hund	Gruppe	KarpusMin	KarpusROM	KarpusTOOMin	SchulterWGMax	SchulterWGMin	SchulterWGRange	SchulterWGMaxAbf.	SchulterWGMinAbf.	EllbogenWGMax
21	2	99,39	104,57	78,3	277,02	-198,87	475,89	122,13	-70,21	552,62
22	2	102,80	107,15	79,5	290,90	-153,78	444,68	50,14	-100,28	595,38
23	2	108,92	79,57	77,8	311,76	-249,35	561,12	59,54	-81,06	631,56
24	2	124,78	78,22	75,8	298,55	-174,86	473,41	89,74	-257,08	523,27
25	2	82,32	117,24	76,0	257,08	-181,02	438,10	164,24	-125,86	522,70
26	2	120,72	93,19	71,8	396,57	-221,40	617,97	85,32	-76,68	628,67
27	2	123,83	71,19	69,0	401,94	-290,43	692,37	152,70	-81,97	597,64
28	2	133,38	78,25	75,5	307,05	-244,23	551,28	78,21	-56,41	493,59
29	2	117,65	86,42	79,5	419,34	-363,81	783,15	18,23	-86,74	566,02
30	2	115,01	94,72	76,8	282,57	-259,11	541,68	128,84	-87,80	424,09
31	2	100,27	79,76	78,3	386,12	-336,62	722,75	116,74	-97,85	677,97
32	2	108,88	105,02	77,3	365,73	-337,20	702,93	139,20	-268,80	672,13
33	2	102,81	95,52	76,8	277,66	-224,90	502,57	115,28	-58,02	420,54
34	2	102,00	93,70	81,5	281,50	-208,02	489,52	151,10	-75,55	525,74
35	2	88,37	108,01	79,3	391,02	-263,67	654,69	47,66	-62,37	571,09
36	2	104,84	97,89	78,3	327,37	-260,61	587,98	20,03	-95,06	665,42
37	2	100,99	109,97	79,5	346,31	-242,31	588,62	48,00	-80,46	669,08
38	2	113,52	98,42	71,5	282,43	-289,76	572,20	165,56	-100,28	508,99
39	2	121,90	85,46	77,8	331,87	-170,74	502,61	13,19	-165,38	514,42
40	2	109,99	79,20	78,5	342,70	-331,63	674,33	181,28	-69,36	600,14
41	2	121,41	74,64	74,5	409,09	-234,30	643,39	119,39	-85,70	596,48

## Kinematik Gruppe 1

Hund	Gruppe	EllbogenWGMin	EllbogenWGTOOMin	EllbogenWGRange	KarpusWGMax	KarpusWGMin	KarpusWGRange
1	1	-710,33	70,5	1360,68	961,81	-1186,70	2148,51
2	1	-403,20	77,0	948,47	909,46	-796,51	1705,97
3	1	-443,42	75,5	979,21	703,42	-1208,68	1912,11
4	1	-428,89	68,5	1017,68	994,27	-1401,49	2395,77
5	1	-550,38	79,0	1144,36	870,38	-1071,88	1942,26
6	1	-591,17	75,0	1209,46	1121,77	-1712,93	2834,70
7	1	-447,38	73,5	1026,42	732,12	-848,29	1580,41
8	1	-380,70	76,5	998,32	885,03	-1344,62	2229,65
9	1	-344,06	74,0	755,56	516,99	-652,36	1169,35
10	1	-475,82	78,0	1030,16	784,78	-1315,49	2100,27
11	1	-405,39	65,5	1031,49	1381,56	-1653,62	3035,18
12	1	-403,24	70,0	979,38	883,06	-943,74	1826,80
13	1	-447,16	71,0	1020,78	750,52	-1042,50	1793,02
14	1	-498,18	79,0	1212,87	933,99	-1152,17	2086,15
15	1	-467,41	64,5	1087,93	837,45	-1528,43	2365,88
16	1	-475,37	64,0	1045,81	805,72	-1155,62	1961,34
17	1	-360,06	77,5	890,98	843,83	-1087,93	1931,76
18	1	-414,80	76,5	995,24	1118,63	-1324,70	2443,33
19	1	-296,12	75,0	786,76	564,89	-784,46	1349,35
20	1	-457,32	76,5	977,83	814,27	-1227,77	2042,04

## Kinematik Gruppe 2

Hund	Gruppe	EllbogenWGMin	EllbogenWGTOOMin	EllbogenWGRange	KarpusWGMax	KarpusWGMin	KarpusWGRange
21	2	-386,10	71,0	938,72	775,74	-1176,88	1952,62
22	2	-517,37	74,3	1112,75	983,75	-1008,68	1992,44
23	2	-519,66	67,8	1151,22	744,48	-961,84	1706,31
24	2	-443,21	66,0	966,47	638,15	-870,81	1508,96
25	2	-555,02	68,8	1077,72	1133,84	-1775,38	2909,22
26	2	-388,61	68,5	1017,28	563,79	-1105,76	1669,55
27	2	-474,62	64,0	1072,26	533,98	-1210,40	1744,38
28	2	-396,15	75,0	889,74	684,10	-821,79	1505,90
29	2	-505,25	75,5	1071,27	710,77	-1223,76	1934,53
30	2	-517,27	71,5	941,36	664,66	-1093,98	1758,64
31	2	-373,10	75,0	1051,07	697,28	-1076,68	1773,96
32	2	-438,67	75,5	1110,80	796,67	-1365,60	2162,27
33	2	-325,55	78,0	746,08	774,20	-1102,82	1877,02
34	2	-349,81	70,5	875,55	808,80	-868,31	1677,10
35	2	-511,98	77,3	1083,07	1059,24	-1204,43	2263,67
36	2	-497,73	77,3	1163,15	1004,94	-1133,78	2138,72
37	2	-485,08	76,8	1154,15	971,23	-1363,85	2335,08
38	2	-422,13	72,3	931,12	818,67	-1072,20	1890,87
39	2	-489,84	71,8	1004,26	881,73	-1086,26	1967,99
40	2	-548,09	65,5	1148,23	822,84	-1060,85	1883,69
41	2	-469,09	71,0	1065,58	702,55	-1018,18	1720,73

## **X. DANKSAGUNG**

Herzlichst bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei meiner Doktormutter Frau Univ.-Prof. Dr. A. Meyer-Lindenberg für die Überlassung des interessanten Themas, ihre Unterstützung, Betreuung und große Geduld bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Desweiteren möchte ich mich ganz besonders bei meiner Betreuerin Frau Dr. med. vet. Stephanie Steigmeier- Raith für ihren unermüdlichen Einsatz, ihre tolle Unterstützung und ihre umfassende wissenschaftliche Anleitung während der gesamten Zeit, bedanken.

Vielen herzlichen Dank auch an die gesamte radiologischen Abteilung der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik die mir dabei geholfen haben meine Aufnahmen anzufertigen und zu beurteilen.

Danken möchte ich auch Herrn Privatdozent Dr. Reese, der mir bei der statistischen Auswertung der Daten zur Seite stand.

Auch möchte ich allen Hundebesitzern für die Bereitstellung ihrer Hunde danken. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Ein großer Dank gilt auch meinen Freunden die mir bei der Durchsicht dieser Arbeit geholfen haben.

Schließlich und insbesondere möchte ich meinen Eltern danken, die mich während der gesamten Zeit der Anfertigung der Dissertation unterstützt und an mich geglaubt haben und durch ihre ständige Unterstützung mein Studium und somit diese Arbeit erst ermöglicht haben.