

Aus der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik
Lehrstuhl für Allgemeine und Spezielle Chirurgie
einschließlich Augenkrankheiten
der Tierärztlichen Fakultät
Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Dr. med. vet. habil. U. Matis

**Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes
– Eine Reevaluierung**

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

Von
Andreas Karl Raith
aus
Böblingen

München 2010

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Braun

Referentin: Univ.-Prof. Dr. Matis

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Gerhards

Tag der Promotion: 24.Juli 2010

Meinen Eltern

*Solange Menschen nicht denken,
dass Tiere fühlen,
so lange müssen Tiere fühlen,
dass Menschen nicht denken.*

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Ganganalyse	2
2.1. Biomechanik.....	2
2.1.1. Zeitliche Parameter.....	2
2.1.2. Statik.....	3
2.1.3. Dynamik.....	6
2.1.3.1. Kinetik.....	6
2.1.3.2. Kinematik.....	12
2.2. Das pathologische Gangbild	15
2.3. Der Deutsche Schäferhund: Geschichte und Rasseprofil.....	16
3. Material und Methoden.....	20
3.1. Auswahl der Rasse.....	20
3.2. Auswahl der Tiere.....	21
3.3. Das Ganglabor	22
3.4. Bestandteile der Untersuchung.....	23
4. Ergebnisse.....	27
4.1. Morphometrische Daten der Deutschen Schäferhunde.....	27
4.1.1. Stockmaß an Widerrist und Kruppe.....	27
4.1.2. Körpergewicht.....	28
4.1.3. Segmentlängen.....	29
4.1.4. Umfang der Oberschenkelmuskulatur.....	30
4.1.5. Schrittlänge.....	31
4.1.6. Abhängigkeit der einzelnen morphometrischen Parameter.....	32
4.2. Schrittdauer und Schrittfrequenz.....	33
4.3. Stand- und Schwungphase.....	34
4.4. Vertikale Bodenreaktionskräfte.....	35
4.4.1. Anzahl der auswertbaren Schritte.....	35
4.4.2. Maximum der vertikalen Bodenreaktionskraft.....	36
4.4.2.1. Rechte Schultergliedmaße.....	36
4.4.2.2. Linke Schultergliedmaße.....	36
4.4.2.3. Rechte Hintergliedmaße.....	39
4.4.2.4. Linke Hintergliedmaße.....	39

4.4.3.	Vergleich der Bodenreaktionskräfte.....	42
4.4.4.	Mittlerer, vertikaler Impuls.....	43
4.4.5.	Gewichtsverteilung	44
4.4.6.	Zeitpunkt der vertikalen Spitzenkraft.....	45
4.4.7.	Belastungs- und Entlastungsgeschwindigkeit.....	46
4.5.	Kinematik.....	47
4.5.1.	Anzahl der ausgewerteten Schritte.....	47
4.5.2.	Gelenkwinkel.....	48
4.5.2.1.	Schultergelenkwinkel.....	48
4.5.2.2.	Ellbogengelenkwinkel.....	49
4.5.2.3.	Karpalgelenkwinkel	49
4.5.2.4.	Hüftgelenkwinkel.....	56
4.5.2.5.	Kniegelenkwinkel.....	56
4.5.2.6.	Sprunggelenkwinkel.....	57
4.5.3.	Bewegungsumfang der Gelenke.....	64
4.5.4.	Winkelgeschwindigkeit.....	67
4.5.5.	Zusätzliche kinematische Parameter.....	74
5.	Diskussion.....	78
5.1.	Morphometrische Parameter	78
5.2.	Schrittdauer.....	81
5.3.	Stand-, Schwungphase und ihr Verhältnis.....	82
5.4.	Kinetik.....	84
5.4.1.	Vertikale Spitzenkraft.....	84
5.4.2.	Mittlerer, vertikaler Impuls.....	87
5.4.3.	Gewichtsverteilung.....	89
5.4.4.	Zeitpunkt der vertikalen Spitzenkraft.....	91
5.4.5.	Belastungs- und Entlastungsgeschwindigkeit.....	92
5.5.	Kinematik.....	93
5.5.1.	Kinematik der Schultergliedmaßen.....	93
5.5.2.	Kinematik der Beckengliedmaßen	97
5.5.3.	Gelenkwinkelverlauf.....	100
5.5.4.	Winkelgeschwindigkeit.....	104
5.5.5.	Zusätzliche kinematische Parameter.....	107

6. Zusammenfassung.....	109
7. Summary.....	113
8. Anhang.....	116
9. Quellenverzeichnis.....	125
10. Danksagung.....	133
11. Lebenslauf.....	134

1. Einleitung

Die technischen Möglichkeiten die Bewegung eines Körpers im dreidimensionalen Raum zu dokumentieren, zu reproduzieren und zu beschreiben, konnten in den letzten 10 Jahren erheblich weiterentwickelt werden. Bisher stellte die Erfassung der 3. Dimension eine große Schwierigkeit dar, denn die Beschreibung eines Körpers im dreidimensionalen Raum durch zweidimensionale Analysemethoden, wie Videoaufnahmen, unterliegt starken Limitierungen und bleibt unvollständig.

Kim et al. (2008) untersuchten 6 gesunde Hunde großer Rassen ganganalytisch mit Hilfe eines zweidimensionalen und eines dreidimensionalen opto-elektronischen Systems. Sie schlossen aus den kinematischen Ergebnissen der Hinterhand, dass die Ergebnisse der sagittalen Gelenkbewegung vergleichbar sind. Der größere Teil der Bewegung der Hinterhand des Hundes findet in der sagittalen und weniger in der mediolateralen Ebene statt. Betrachtet man nur die Bewegung der sagittalen Ebene (zweidimensionales Analysesystem) anstelle von beiden Ebenen (dreidimensionales Analysesystem), so findet man die größten Unterschiede in Bezug auf das Kniegelenk. Hüft- und Sprunggelenk zeigen weniger Unterschiede. Jedoch können die Autoren nicht ausschließen, dass die Ergebnisse rasseabhängig sind.

Die Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München verfügt über eines dieser Ganganalyse-Systeme, welches eine dreidimensionale Erfassung der Bewegung eines Tieres erlaubt. Zudem hat sich die Ganganalyse in der Tiermedizin zu einem anerkannten Medium entwickelt. So erscheint es sinnvoll, die bereits mittels eines zweidimensionalen Analysesystems erhobenen Daten von gesunden und erkrankten Tieren auf ihre Reproduzierbarkeit zu überprüfen und die gefundenen Ergebnisse zu erweitern. Die Basis der ganganalytischen Erfassung orthopädischer Erkrankungen liegt im Vergleich mit gesunden Tieren einer Referenzgruppe, daher sollen in dieser Arbeit die für den gesunden Deutschen Schäferhund bereits ermittelten Daten überprüft und wenn möglich ergänzt werden.

2. Ganganalyse

2.1. Biomechanik (Biodynamik, Biostatik)

Der Begriff der Biomechanik war lange Zeit nicht genau definiert (Hatze, 1974). Die 1973 gegründete International Society of Biomechanics versuchte dies zu beheben. Als Ergebnis veröffentlichte Hatze im Jahr 1974 eine Definition des Begriffes Biomechanik, welcher für Menschen, Tiere und Pflanzen gleichermaßen gelten sollte. Seiner Ansicht nach umfasst die Biomechanik die Bereiche Biokinematik (Biophoronomy), Biodynamik und Biostatik. Unter Biokinematik versteht Hatze (1974) die Beschreibung biologischer Bewegungen anhand geometrischer Funktionen. Die Biodynamik stellt die Betrachtung der auftretenden Kräfte und Massen im Rahmen einer biologischen Bewegung dar. Daneben beschreibt die Biostatik ein sich im Gleichgewicht befindliches, ruhendes, biologisches System.

Dalin und Jeffcott (1985) unterteilen die Biomechanik in die Bereiche Kinematik und Kinetik. Die Kinematik definieren sie als Erhebung der zeitlichen und geometrischen Parameter einer Bewegung ohne die Betrachtung der auftretenden Kräfte. Die Kinetik dagegen befasst sich mit den Kräften, die während der Bewegung eines Körpers auftreten. Off und Matis (1997 a) sprechen von der Biodynamik und unterteilen diese ebenfalls in Kinetik und Kinematik.

2.1.1. Zeitliche Parameter

Leach (1993) definierte einen Schritt als vollständigen Bewegungszyklus oder als ein sich wiederholendes Koordinationsmuster der Gliedmaßen. Ein Schritt ist also die kleinste, sich zyklisch wiederholende Einheit eines Ganges.

Ein Schritt lässt sich untergliedern in eine Phase, in der die Gliedmaße den Boden berührt, auch Standphase (Dalin et al., 1973; Drevemo et al., 1980; Jeffcott et al., 1982), Kontaktperiode (Prost, 1970) oder Stützphase (Björk, 1958; Bartel et al, 1978) genannt und eine Phase, in der die Gliedmaße ohne den Boden zu berühren

vorgeführt wird. Diese Phase wird als Schwungphase (Björk, 1958; Pratt und O'Connor, 1976) bzw. als Kein- Kontakt- Periode (Prost, 1970) bezeichnet.

Die Dauer der Standphase und die der Schwungphase und somit die Schrittdauer können ermittelt werden. Zudem wird ihr prozentuales Verhältnis zueinander betrachtet.

Unkel-Mohrmann (1999) konnte im Rahmen der Untersuchung gesunder Deutscher Schäferhunde mit Hilfe eines instrumentierten Laufbandes keinen signifikanten Unterschied in der Schritt- und der Standphasendauer der Vorder- und Hintergliedmaßen und im Vergleich der rechten mit der linken Körperseite aufzeigen. Dabei hing die Schrittdauer signifikant von der Widerristhöhe ab.

Hutton et al. (1969) und Leach et al. (1977) dagegen zeigten in ihren Studien unter Verwendung von Kraftmessplatten, integriert in einen Laufweg, eine 1,5mal größere Kontaktperiode der Vordergliedmaßen im Vergleich zu den Hintergliedmaßen auf.

Betrachtet man die Anzahl der Schritte pro Sekunde, so spricht man von der Kadenz. Hierfür sind Werte von 1,09 Schritten pro Sekunde für die Gangart Schritt (Unkel-Mohrmann, 1999) und 2,13-2,4 Schritten pro Sekunde für die Gangart Trab (Bertram et al., 1997; Gillette und Zebas, 1999) beschrieben.

2.1.2. Statik

Im Stand, bei gleichmäßiger Belastung aller 4 Gliedmaßen, befindet sich der Körperschwerpunkt des Hundes näher an den Vorder- als an den Hinterbeinen. Dies entsteht vor allem durch das Gewicht von Kopf und Hals. Der Körperbau des Hundes und seine Kondition haben dabei Einfluss auf die Lage des Körperschwerpunkts. Bei hochläufigen Hunden konnten nachgewiesen werden, je kräftiger und damit schwerer Kopf, Hals und Brustkorb des Hundes im Vergleich zu Becken und Hinterbeinen sind, desto weiter kranial liegt der Körperschwerpunkt. Im Durchschnitt liegt er bei hochläufigen Hunden bei 43,72 % der Rumpflänge. Dies entspricht in etwa dem 9. Interkostalraum (Larché, 1962) (Abbildung 1).

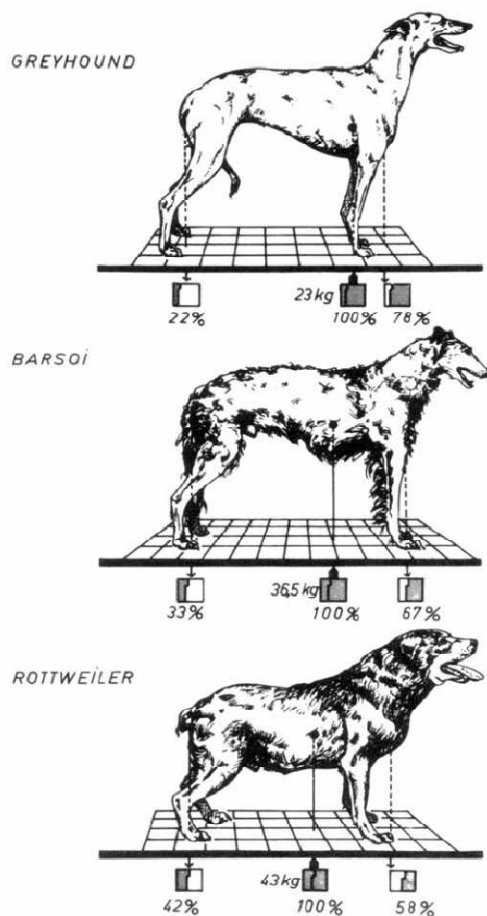


Abb. 1: Abhängigkeit der Lage des Körperschwerpunkts vom Körperbau (aus Larché, 1962)

Unter gewissen Umständen verlagert sich der Körperschwerpunkt nach kranial oder kaudal (Roy, 1971). Dabei spielt die Bewegung von Kopf und Schwanz und der Grad der Füllung der Baucheingeweide eine wichtige Rolle.

Da der Schwerpunkt im Stand näher an den Vorderbeinen liegt, tragen diese auch mehr Last als die Hinterbeine. Dies gilt auch in der Fortbewegung und bleibt in schnelleren Gangarten ebenfalls erhalten (Pandy et al., 1988; Rumph et al., 1994). Auf die Vorderbeine entfallen dabei 60 % und auf die Hinterbeine 40 % der Körperlast (Roy, 1971). Manche Autoren sprechen sogar von einer Belastung der Vorderbeine von zwei Dritteln der gesamten Last (Hutton et al., 1969 a; Larché, 1962; Seiferle und Frewein, 1992 b).

Darüber hinaus belastet ein gesunder Hund die beiden Körperhälften gleichmäßig, sodass er je Vorderbein etwa 30 % und je Hinterbein etwa 20 % der Körperlast trägt (Budsberg, 1987; Unkel-Mohrmann, 1999).

Ein orthopädisch erkrankter Hund verlagert den Körperschwerpunkt weg von der erkrankten Gliedmaße (Roy, 1971). So versucht der Hund zum Beispiel bei einer Erkrankung der Hinterbeine mit den Vorderbeinen vermehrt Last aufzunehmen, dadurch kann die Belastung der Vorderbeine bis auf 90 % der Körperlast ansteigen.

Beim Hund definieren die 4 Gliedmaßenspitzen die Grenzen der viereckigen Unterstützungsfläche des Körpers. Solange das Schwerelot des Hundekörpers die Unterstützungsfläche schneidet, befindet sich der Körper im Gleichgewicht. Schneidet das Schwerelot die Unterstützungsfläche nicht mehr, so gerät der Körper aus dem Gleichgewicht, das heißt in Bewegung. Im Stand trifft das Schwerelot beim Hund kranial vom Schnittpunkt der Diagonalen des Unterstützungsrechtecks auf die Standfläche (Larché, 1962). Die Vorwärtsbewegung, die evolutionsbedingt die Hauptbewegungsrichtung darstellt, kann somit auch als rhythmische Verschiebung des Schwerpunkts nach kranial verstanden werden (Maierl, 2001; Seiferle und Frewein, 1992 a).

Neben den bereits erwähnten Termini ist der Massenmittelpunkt des Hundes definiert worden. Im Stand ist er festgelegt als der Schnittpunkt zwischen der Medianebene des Körpers, der Transversalebene hinter dem Processus xiphoideus und der Horizontalebene zwischen dem unteren und mittleren Drittel des Rumpfes (Kaser, 1998).

Betrachtet man die Gleichgewichtsverhältnisse der Vordergliedmaßen, so fällt das Lot vom Angriffspunkt der Last durch die Drehachse des Ellbogengelenks bzw. die Pfote steht vertikal unter dem Angriffspunkt der Last am Schulterblatt (Seiferle und Frewein, 1992 b). Das Schultergelenk liegt kranial des Lotes und das Karpalgelenk kaudal davon, sodass ein stumpfer Winkel kranial und einer kaudal des Lotes liegt. Im Bereich des Unterarms trägt der Radius die Hauptlast, wobei die Ulna durch die Processus coronoidei geringfügig an der Last beteiligt ist. Bei vorgestellter Gliedmaße steigt der Anteil der Ulna an der Lastübernahme, bei zurückgestellter Gliedmaße sinkt er (Vollmerhaus und Roos, 1980).

Die Beckengliedmaße ist stärker gewinkelt und bemuskelt als die Vordergliedmaße und wirkt als Stemm- und Wurfhebel für die Vorwärtsbewegung (Seiferle und Frewein, 1992 b).

2.1.3. Dynamik

Die Fortbewegung des Hundes ist beschrieben als ein dynamischer Prozess, in dem die gleichen Bewegungsmuster in zyklischer Reihenfolge immer wieder auftreten (DeCamp et al, 1993).

Das Gebiet der Dynamik lässt sich weiter untergliedern in die Teilgebiete Kinetik und Kinematik, die über die Messverfahren Dynamometrie (Reaktionskraftmessung) und Kinemetrie (Bewegungsanalyse) ermittelt werden (Off und Matis, 1997 a).

Wie bereits beschrieben, findet während der Vorwärtsbewegung des Hundes eine Verschiebung des Körperschwerpunkts statt, dabei erfüllen Vorder- und Hintergliedmaßen unterschiedliche Funktionen. Während die Hinterbeine vor allem für den Vorschub verantwortlich sind, erfüllen die Vorderbeine eine stützende und raumgreifende Funktion und kompensieren die während der Bewegung entstehende Verlagerung des Schwerpunkts (Hutton et al., 1969 a; Roy, 1971).

Hunde werden in der Regel im Schritt oder Trab ganganalytisch betrachtet. Der Schritt enthält Phasen, in denen 2 und 3 Beine den Boden berühren, während im Trab immer 2 Beine Bodenkontakt haben (DeCamp, 1997).

2.1.3.1. Kinetik

Die Kinetik ist definiert als die Betrachtung der Zusammenhänge zwischen der Bewegung eines Körpers und den dabei auftretenden Kräften (DeCamp, 1997).

In der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts begann man neben kinematographischen Untersuchungen des Ganges von Hunden, auch Messungen der

Bodenreaktionskräfte, das heißt der Kräfte, welche während der Standphase eines Schrittes auf den Untergrund ausgeübt werden, durchzuführen (Barclay, 1953; Hutton et al., 1969 a; Kimura und Endo, 1972; Alexander, 1974; Dueland, 1977).

Hutton et al. (1969 b) untersuchten mit Hilfe einer Messplattform mit Dehnungsmessstreifen die vertikalen Bodenreaktionskräfte an gesunden Hunden und Hunden nach experimentellem Hüftgelenksersatz. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden dabei die Belastungen in Relation zum Körpergewicht des Hundes in Prozent ausgedrückt.

Budsberg et al. (1987, 1988) beschrieben die Bodenreaktionskräfte bei gesunden Hunden und Hunden nach chirurgischer Versorgung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes genauer. Sie unterschieden dabei vertikale, kraniokaudale und mediolaterale Bodenreaktionskräfte.

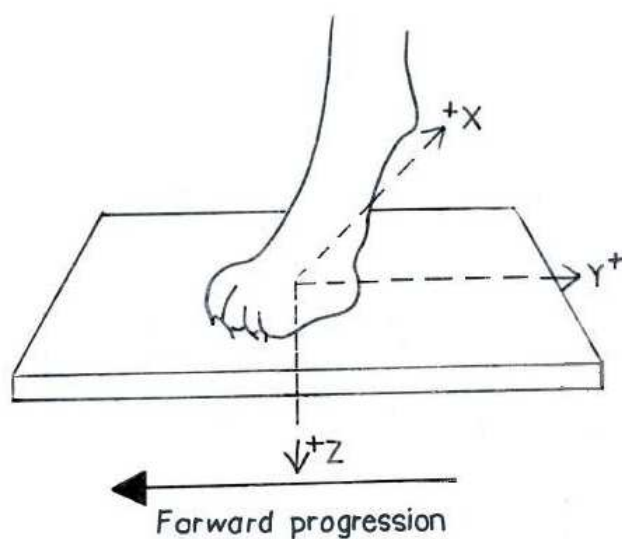


Abb. 2: Ausrichtung der Bodenreaktionskräfte (BRK) des gesunden Hundes im Schritt:

F_z = vertikale BRK

F_y = kraniokaudale BRK

F_x = mediolaterale BRK

(aus Budsberg et al., 1987)

Der Verlauf der Querkräfte ist durch die x-Achse definiert, die Brems- und Schubkräfte durch die y-Achse und vertikale Kräfte durch die z-Achse (Budsberg et al., 1987). Mit positivem Vorzeichen sind Kräfte in medialer, kranialer und distaler Richtung versehen, wohingegen Kräfte in lateraler, kaudaler und proximaler Richtung negative Vorzeichen tragen.

Bei der vertikalen Bodenreaktionskraft (F_z) handelt es sich im Stand um die Gewichtskraft, in der Bewegung um die Gewichtskraft und Beschleunigungskräfte, die während der Standphase einer Gliedmaße ausgeübt werden (Budsberg et al., 1987). Die Größe der vertikalen Bodenreaktionskraft ist unter anderem abhängig von der Geschwindigkeit der Fortbewegung (Riggs et al., 1993). Sie beträgt im Schritt etwa 55 bis 70 % des Körpergewichts und steigt im Trab bis auf 97 bis 117 % an (Budsberg et al., 1987; DeCamp, 1997; Hutton et al., 1969; Jevens et al., 1993; Rumph et al., 1994). Spitzenbelastungen der Vordergliedmaßen treten beim Springen auf (Yanoff et al., 1992). Die vertikale Bodenreaktionskraft ist die größte der drei Bodenreaktionskräfte und damit die am zuverlässigsten reproduzierbare.

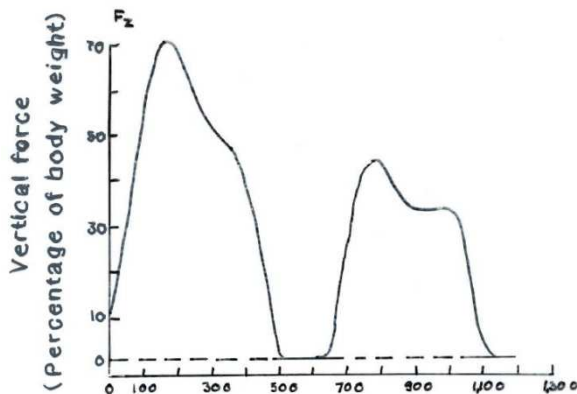


Abb. 3: Vertikale Bodenreaktionskraft in % KGW während der Standphase eines Vorder- und Hinterbeins (aus Budsberg et al., 1987)

Die vertikale Spitzenbodenreaktionskraft (Peak F_z/F_{zmax}), das heißt die maximale, vertikale Bodenreaktionskraft, die während der Standphase auftritt, steht im linearen Zusammenhang zu morphometrischen Daten, wie Länge von Humerus und Femur, Größe der Pfoten und Körpergewicht. Leichtere Hunde belasten dabei ihre Beine stärker als Hunde mit größerem Körpergewicht (Budsberg et al., 1987). Beschrieben sind Werte der vertikalen Spitzenkraft der Vordergliedmaße von bis zu 70 % des Körpergewichts (% KGW) und der Hintergliedmaße von bis zu 50 % KGW (Budsberg et al., 1987).

Betrachtet man die Gewichtsverteilung, das heißt welchen Anteil der Gesamtkörperlast eine Gliedmaße trägt, auch definiert als Quotient F_{zmax} einer Gliedmaße/ F_{zmax} aller Gliedmaßen, so bleibt eine Belastungsverteilung von etwa 30 % je Vordergliedmaße und etwa 20 % je Hintergliedmaße, wie für den Stand des Hundes beschrieben, auch in der Bewegung erhalten (Budsberg et al., 1987).

Neben der vertikalen Spitzenkraft beurteilt man auch den mittleren, vertikalen Impuls einer Bodenreaktionskraft, am häufigsten den der vertikalen Bodenreaktionskraft. Unter dem Impuls versteht man das Integral der Kraft über die Zeit, das heißt man ermittelt die gesamte während der Standphase einer Gliedmaße aufgebrauchte Kraft, und zeigt somit den Einfluss der Standphase auf die Bodenreaktionskraft auf (Budsberg et al., 1987). Der Impuls kann ebenfalls als Maß für die während der Standphase auf die Gliedmaße einwirkende Kraft gesehen werden (Off, 1992).

Der Verlauf der vertikalen Bodenreaktionskraft lässt sich in zwei Phasen unterteilen: die Phase der Belastungsübernahme und die Phase der zunehmenden Entlastung (Budsberg et al., 1995). Interessant ist hierbei die Geschwindigkeit, mit der ein Hund mit einer Gliedmaße Gewicht aufnimmt und am Ende der Standphase wieder entlastet. Beides wird in % Körpergewicht pro Sekunde oder Newton pro Sekunde angegeben.

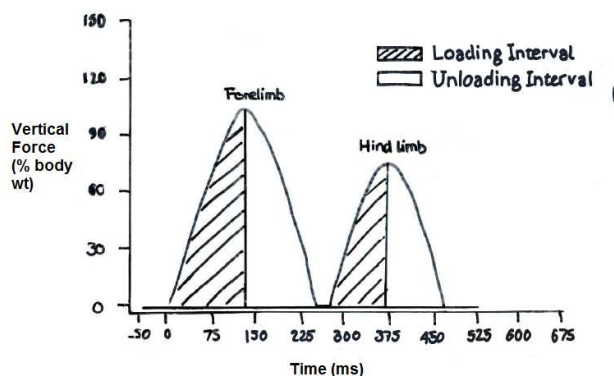


Abb. 4: Phasen der Belastungsübernahme (Loading) und Entlastung (Unloading) der vertikalen Bodenreaktionskraft (aus Budsberg et al., 1993)

Budsberg et al. (1988) zeigten im Vergleich zur jeweils gesunden, kontralateralen Gliedmaße, dass Hunde mit einseitiger Ruptur des vorderen Kreuzbandes mit dem erkrankten Bein langsamer Gewicht aufnehmen und dieses Bein schneller wieder entlasten.

Die gleiche Forschergruppe untersuchte die Belastungs- und Entlastungsphasen an gesunden Hunden verschiedener, großer Hunderassen im Trab in zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. In beiden Geschwindigkeiten erreichten die Tiere mit den Vorderbeinen signifikant schneller eine höhere, maximale Rate der Belastungsübernahme im Vergleich zu den Hinterbeinen. Die beiden Vorder- und Hinterbeine unterschieden sich dabei nicht. Bei der Rate der Entlastung erreichten

die Vordergliedmaßen ebenfalls früher, höhere maximale Raten als die Hinterbeine. Es fanden sich ebenfalls keine Unterschiede zwischen der rechten und linken Gliedmaße eines Gliedmaßenpaars. Sowohl für die Vorder- als auch für die Hinterbeine traten für die Rate der Belastungsübernahme als auch die der Entlastung für die höheren Geschwindigkeiten höhere, maximale Werte auf (Budsberg et al., 1995). Dies bestätigt die vor allem abstützende Funktion der Vordergliedmaßen bzw. die beschleunigende Funktion der Hinterbeine.

Die kraniokaudale Bodenreaktionskraft lässt sich in eine Bremsphase und eine Beschleunigungsphase einteilen (Budsberg et al., 1987). Sie dient dem Abbremsen der Gliedmaße beim Aufsetzen der Pfote und dem Beschleunigen der Gliedmaße vor dem Abheben der Pfote. Die bremsende Kraft erzeugt dabei einen Kurvenverlauf mit Werten < 0 , gefolgt vom positiven Verlauf beim Beschleunigen vor dem Abfußen. Die auftretenden Spitzenkräfte sind allerdings deutlich kleiner als die der vertikalen Bodenreaktionskraft und liegen für die Gangart Schritt in einem Bereich zwischen 9 und 14 % des Körpergewichts für die Bremsung und zwischen 6 und 9 % des Körpergewichts für die Beschleunigung (Budsberg et al., 1987; DeCamp, 1997; Hutton et al., 1969). Nach Budsberg et al. (1987) verbringen die Schultergliedmaßen im Schritt etwa 50 % der Standphase jeweils mit Bremsen und Beschleunigen. Für die Beckengliedmaßen liegt das Verhältnis bei etwa 35 zu 65 %.

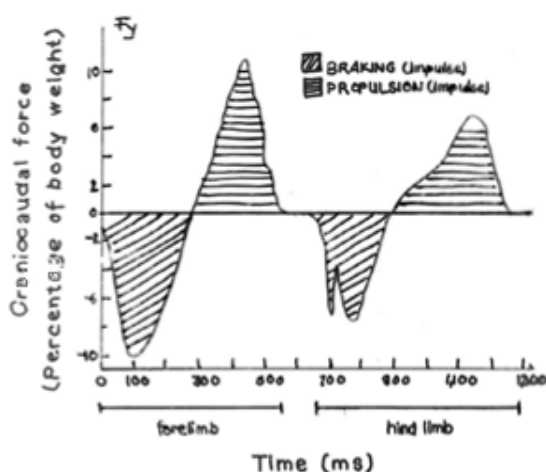


Abb. 5: Kraniokaudale Bodenreaktionskraft der Vordergliedmaße und nachfolgend der Hintergliedmaße (aus Budsberg et al., 1987)

Im Trab steigen die Spitzenkräfte auf 14-17 % des Körpergewichts in der Bremsphase und 6-8 % des Körpergewichts für die Beschleunigung an (DeCamp, 1997; Rumph et al., 1994).

Auch hierbei wird die Fläche unter der Kurve als Impuls bezeichnet und in einen Impuls der Bremsung und einen der Beschleunigung unterteilt. Bezüglich der genannten Impulse besteht ebenfalls ein Zusammenhang zu morphometrischen Eigenschaften. Ein großer Hund benötigt einen größeren bremsenden Impuls als ein kleiner Hund, um die Vorwärtsbewegung der Gliedmaße zu verringern und einen größeren beschleunigenden Impuls, um die Gliedmaße für den kommenden Schritt zu beschleunigen. Dabei erbringt das Vorderbein eines Hundes prozentual einen größeren, bremsenden Impuls und verbringt damit einen größeren Teil in der Standphase als das Hinterbein. Dadurch übernehmen die Vorderbeine eine bremsende, abfangende Funktion, während die Hinterbeine den Körper beschleunigen (Budsberg et al., 1987; DeCamp, 1997; Hutton et al., 1969 a).

Die mediolateralen Kräfte sind mit Spitzenwerten von weniger als 4 % des Körpergewichts des Hundes im Schritt und von bis 6 % des Körpergewichts im Trab die kleinsten Bodenreaktionskräfte (Budsberg et al., 1987). Sie sind sehr inkonsistent, so dass sie für die Beurteilung des Gangbildes des Hundes bisher keine große Rolle spielten (Budsberg et al., 1987; Rumph et al., 1994).

Rumph et al (1994) fanden bei der Untersuchung gesunder Hundes bei 80 % der Schritte nach lateral und bei 15 % nach medial gerichtete Querkräfte. In den verbleibenden Schritten waren die mediolateralen Kräfte nicht auswertbar.

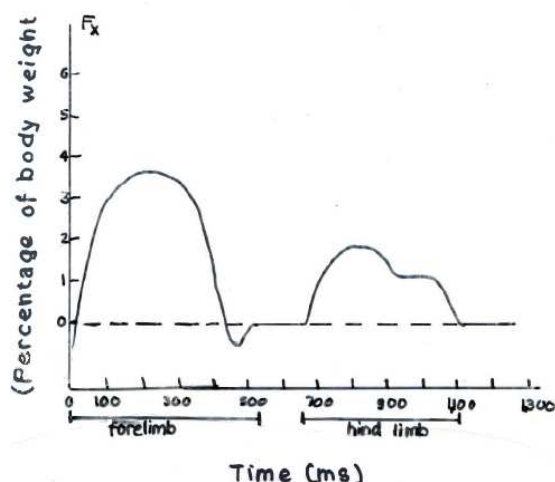


Abb. 6: Mediolaterale Bodenreaktionskräfte der Vordergliedmaße und nachfolgend der Hintergliedmaße (aus Budsberg et al., 1987)

2.1.3.2. Kinematik

Die Kinematik ist eine wichtige Ergänzung der kinetischen Werte eines Patienten, da die Kinetik die Funktion der Gliedmaße beschreibt, aber keine gelenkspezifischen Ergebnisse liefert (DeCamp, 1997; DeCamp, 2002).

Im Gegensatz zur Kinetik beschreibt die Kinematik die Bewegung eines Körpers im Raum, ohne Betrachtung der dabei entstehenden Kräfte (DeCamp et al., 1993; DeCamp, 1997).

Bereits etabliert hat sich in der Tiermedizin im Rahmen der Ganganalyse die Betrachtung der maximalen Extensions- und Flexionswinkel der großen Gelenke (Hüfte, Knie, Sprunggelenk, Schulter, Ellbogen, Karpalgelenk) des Hundes. Durch die Betrachtung der Extension und Flexion ergibt sich der maximale Bewegungsumfang (Range Of Motion). Der Bewegungsumfang eines Gelenks wird durch die Rasse des Hundes, individuelle Einflüsse und die Gesundheit des betrachteten Gelenkes beeinflusst und hat eine größere klinische Bedeutung als maximale die Flexion und Extension allein. Seitendifferenzen eines Gelenkes können sowohl hinweisend auf eine orthopädische Erkrankung als auch deren Folge sein. Zudem ist die Kinematik anfällig für Fehler, denn eine unpräzise Anbringung der Marker kann zu Messfehlern bzw. zu einer Verschiebung der Gelenkwinkelkurven entlang der y-Achse führen (Kadaba et al.; 1989).

Die Verläufe der Gelenkwinkel weisen zwar rasse- und individuell bedingte Unterschiede auf, jedes Gelenk hat jedoch eine bestimmte Abfolge der Beugung und Streckung, die sich in ihrer Grundform bei allen gesunden Hunden wiederfindet (Hottinger et al., 1996). Die Gelenkwinkelverläufe sind wie folgt beschrieben:

Das Auffußen der Beckengliedmaße erfolgt kurz nach der maximalen Flexion des Hüftgelenks und kurz vor der maximalen Streckung der Kniegelenks. Der Sprunggelenkwinkel zeigt in seinem Verlauf zwei „Gipfel“ (maximale Extensionen) auf und befindet sich zum Zeitpunkt des Auffußen in der ersten Extensionsstellung. Die größere Extension weist das Sprunggelenk jedoch beim Abfüßen auf. Während der folgenden Standphase streckt sich das Hüftgelenk kontinuierlich, während sich Knie- und Sprunggelenk beugen. Zum Ende der Standphase werden alle drei Gelenke gestreckt. Das Abfüßen erfolgt kurz nach der maximalen Streckung von Hüft- und Sprunggelenk. Während der Schwungphase wird das Hüftgelenk durchgehend gebeugt und erreicht kurz vor dem Aufsetzen des Fußes seine maximale Beugung. Das Kniegelenk verhält sich entgegengesetzt und wird kontinuierlich gestreckt bis zu seiner maximalen Streckstellung kurz vor dem Auffußen. Das Sprunggelenk wird während der Schwungphase erst maximal gebeugt, dann erneut gestreckt und erreicht seine zweitstärkste Extension kurz vor dem Auffußen (Hottinger et al., 1996; Leach, 1977; Unkel-Mohrmann, 1999).

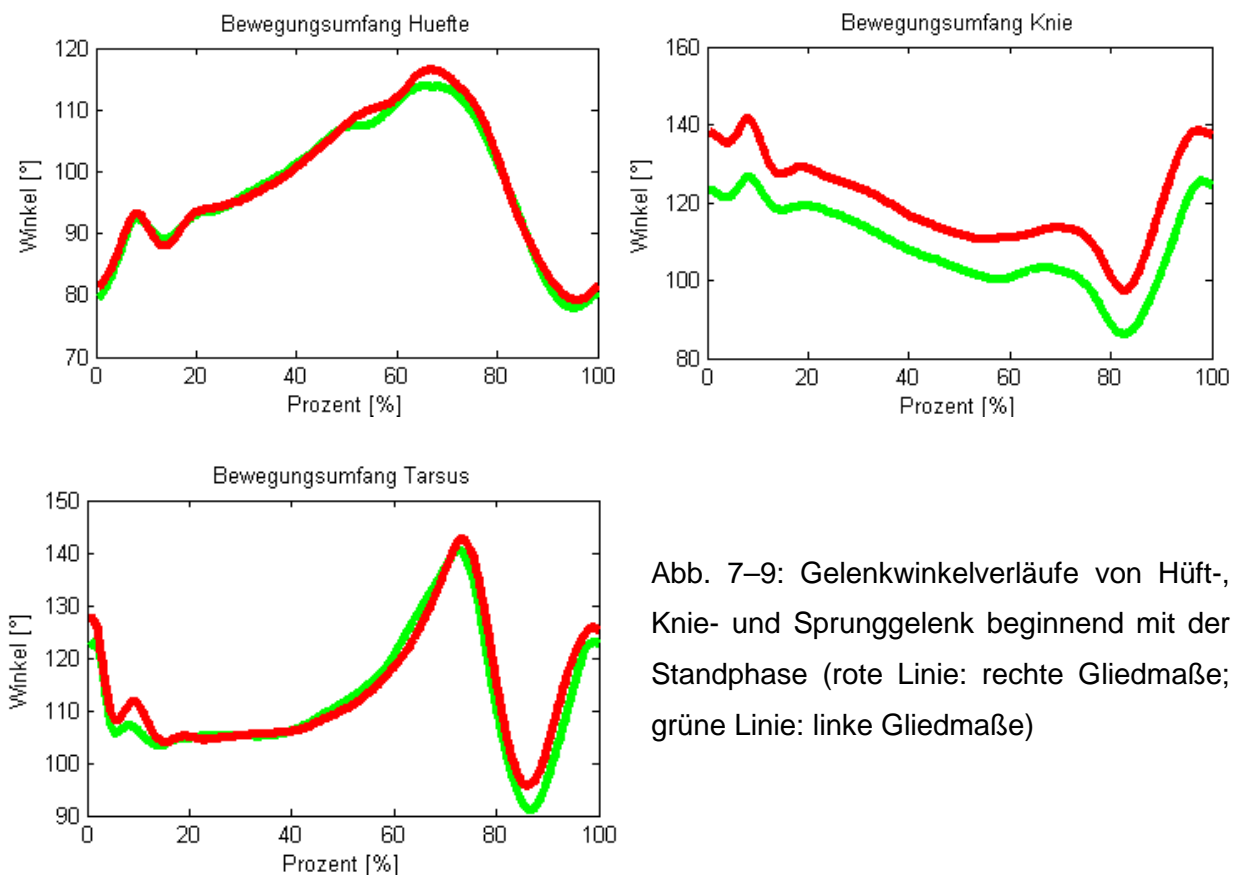


Abb. 7–9: Gelenkwinkelverläufe von Hüft-, Knie- und Sprunggelenk beginnend mit der Standphase (rote Linie: rechte Gliedmaße; grüne Linie: linke Gliedmaße)

Die Schultergliedmaße wird kurz nach der maximalen Extension des Schultergelenks, kurz vor dem ersten, aber kleineren Extensionsmaximum des Ellbogens und bei nahezu maximaler Streckung des Karpalgelenks aufgesetzt. Während der Standphase wird das Schultergelenk kontinuierlich gebeugt, wohingegen das Ellbogengelenk gestreckt wird. Das Karpalgelenk wird in der Standphase überstreckt, dieser Winkel wird während der Belastungsphase erhalten. Kurz vor dem Abfüßen befindet sich das Schultergelenk in maximaler Flexion und das Ellbogengelenk in maximaler Streckung. Im Verlauf der Schwungphase wird das Schultergelenk gestreckt, bis es seine maximale Extensionsstellung kurz vor dem Auffüßen erreicht. Ellbogengelenk und Karpalgelenk werden in der Schwungphase zuerst gebeugt, um dann wieder gestreckt zu werden (Hottinger et al., 1996; Unkel-Mohrmann, 1999).

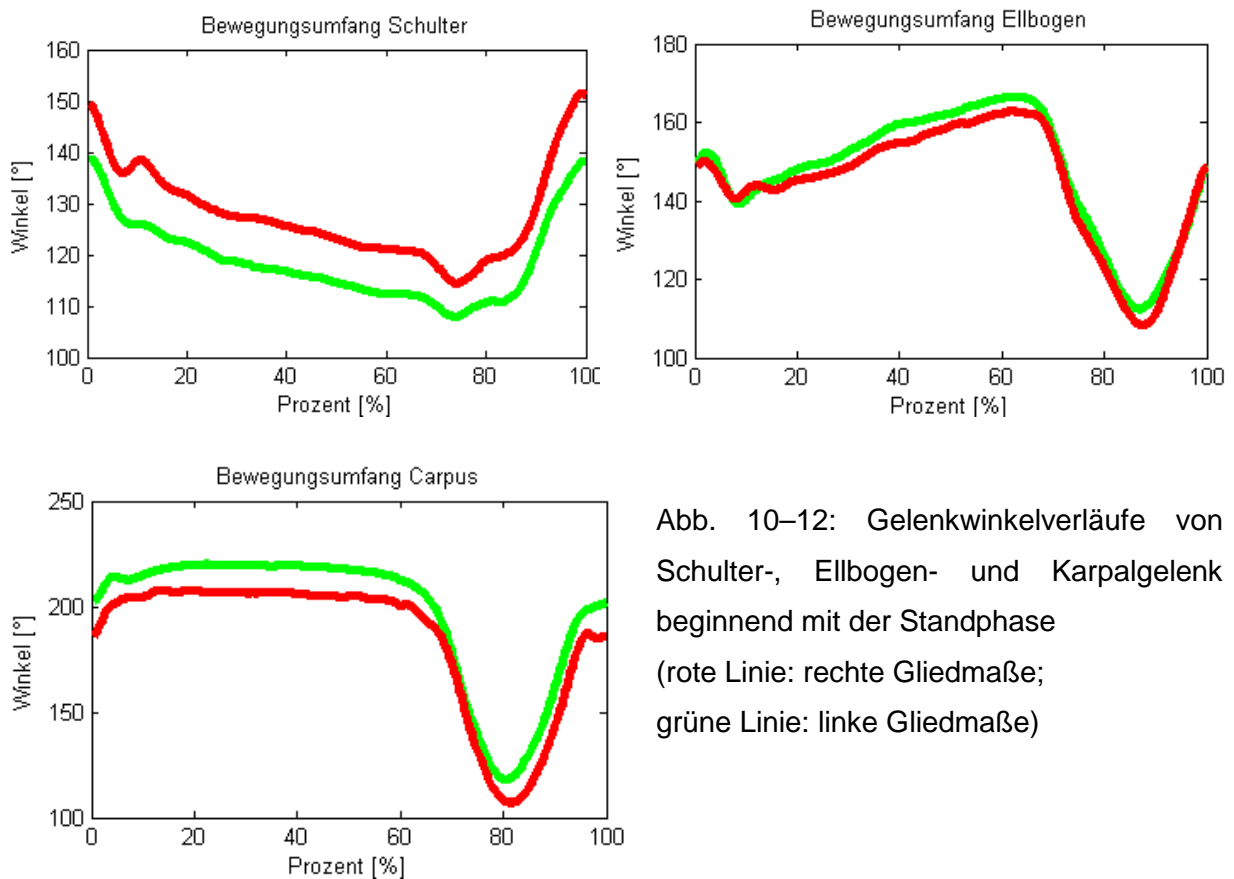


Abb. 10–12: Gelenkwinkelverläufe von Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk beginnend mit der Standphase (rote Linie: rechte Gliedmaße; grüne Linie: linke Gliedmaße)

Neben dem Verlauf des Gelenkwinkels während eines Schrittes lassen sich dezente Lahmheiten unter Umständen durch Veränderungen in der Geschwindigkeit, in der ein Gelenk gebeugt bzw. gestreckt wird, identifizieren (Winkelgeschwindigkeit) (Marghitu et al.; 1996; Owen et al.; 2004; Richards et al.; 2003). Unter der Winkelgeschwindigkeit versteht man im Fall der Ganganalyse die Veränderung des Gelenkwinkels in der Zeit t . Darüber hinaus ist die Winkelgeschwindigkeit weniger durch Unterschiede in der Markerposition beeinflussbar als die Gelenkwinkel selbst (DeCamp et al.; 1996).

Neben den klassischen Gelenkwinkeln ist es dank der dreidimensionalen Analysesysteme möglich weitere kinematische Eigenschaften zu beschreiben, zum Beispiel die Höhe des Anhebens der Pfote während der Schwungphase.

2.2. Das pathologische Gangbild

Unter einer Lahmheit versteht man eine Störung des Bewegungsflusses an einer oder mehreren Gliedmaßen (Wiesner et al., 2000). Diese hat ihre Ursache in einem schmerzhaften Prozess den skelettalen oder muskulären Apparat der Gliedmaße betreffend, einer mechanischen Einschränkung der Gelenkfunktion oder einer Störung der peripheren oder zentralen Nervenfunktion. Dabei unterscheidet man zwischen einer Hangbein-, einer Stützbein- und einer gemischten Lahmheit, je nachdem ob sich die Lahmheit in der Stand- oder Schwungphase einer Gliedmaße manifestiert (Wiesner et al., 2000).

Um ein physiologisches von einem pathologischen Gangbild unterscheiden zu können, bedarf es der genauen Kenntnis und Beschreibung des physiologischen Gangbilds eines Lebewesens (Hottinger et al., 1996). Zudem besteht auch bei gesunden Hunden immer eine gewisse Seitendifferenz zwischen der linken und der rechten Gliedmaße. Dadurch kann es schwierig sein eine geringgradige Lahmheit von einem physiologischen bzw. technisch bedingten Unterschied zu differenzieren. Eine große Schwierigkeit stellt dabei die enorme Vielfalt an Hunderassen,

Körperbau, Gewicht und Nutzung dar, denn die morphometrischen Eigenschaften haben einen erheblichen Einfluss auf das Gangbild eines Tieres.

2.3. Der Deutsche Schäferhund: Geschichte und Rasseprofil

Vor Beginn der Reinzucht des Deutschen Schäferhundes Ende des 19. Jahrhunderts gab es eine große Zahl optisch sehr unterschiedlicher Hunde, welche damals alle zu den reinrassigen Deutschen Schäferhunden gezählt wurden (Räber, 1993). Hunde mit Steh- bis Schlappohren, lang- stock-, rau- oder kraushaarige Hunde mit hängend getragener Rute bis zur Ringelrute in einer Vielzahl von Farben gehörten dazu. Hunde in den Farben weiß, isabell, blau- und rotschimmel bis blue-merle und Schecken zählten ebenfalls zu den reinrassigen Deutschen Schäferhunden. Einfarbige Hunde waren sehr selten, am häufigsten unter ihnen war der schwarze Schäferhund mit kleinen, weißen Abzeichen. Beschrieben wurden verschiedene regionale Schläge wie der Braunschweiger Schäferhund oder der Holsteiner Schlag. Die Vielfalt war so groß, dass Züchter und Liebhaber dieser Rasse der Meinung waren, dass es nicht möglich ist einen einzigen Schäferhund zu züchten, sondern dass mindestens drei unterschiedliche Rassen das Ziel sein müssen (Räber, 1993).

Im Jahr 1890 wurde der erste Rassestandard verfasst (Räber, 1993). Durch ihn wurde die Vielfalt der Schäferhunde eingeschränkt. Die Schäferhunde wurden als Hunde mit großer Übereinstimmung hinsichtlich ihrer Formen und Eigentümlichkeiten in der Haltung und den Bewegungen beschrieben, die den Wildhunden ähnelten (Räber, 1993). Gefordert wurden hochgetragene, scharf zugespitzte Ohren, eine gestreckte Schnauze, eine meist abwärts getragene buschige Rute, ein rastloser Gang und eine hohe Wachsamkeit gegenüber Veränderungen in ihrer Umwelt. Das Fell durfte rau-, glatt- oder langhaarig sein und die Hunde sollten in ihrer Größe ihrem Lebensraum angepasst sein, daraus ergab sich eine Größe von 55 cm beim Rüden und 50 cm bei der Hündin. Der Schäferhund war zu Beginn seiner Reinzucht deutlich kleiner als der heute bekannte Deutsche Schäferhund. Von Beginn des 20. Jahrhunderts an bis in die 80er Jahre stieg die Körpergröße des Rüden um durchschnittlich 1 cm, das durchschnittliche Körpergewicht stieg von 33,5 kg auf

37,2 kg an (Willis, 1984). Somit ist der Deutsche Schäferhund verglichen mit dem Hund von 1920 massiver geworden. Dieser Trend ist auch nach 1984 erhalten geblieben. Heute ist eine Widerristhöhe von 60-65 cm für Rüden und von 55-60 cm für Hündinnen erwünscht. Trotz aller Bemühungen blieb die Reinzucht des Deutschen Schäferhundes anfangs ohne klares Ziel und mühsam. Befanden sich doch die meisten Schäferhunde im Besitz von Berufsschäfern, welche als einfache Leute wenig Interesse an einer Reinzucht hatten. Das änderte sich erst als im Jahr 1989 der Verein für Schäferhunde gegründet wurde. Der königlich preußische Rittmeister Max von Stephanitz in Grafrath war der erste Präsident des Vereins. Er war durch seinen militärischen Rang ein angesehener Mann und konnte dadurch die Reinzucht des Schäferhundes vorantreiben. Nun folgte die Erstellung eines Rassestandards und die Gründung eines Zuchtbuchs. Der Verein für Schäferhunde ging dabei völlig neue Wege. Anders als in den Zuchtbüchern anderer Rassen wurden in dieses Zuchtbuch nicht nur Hunde mit guten oder sehr guten Ausstellungserfolgen eingetragen, sondern auch deren Nachkommen ungeachtet deren Ausstellungserfolge. Die Folge war ein in der Hundezucht beispielloser Aufstieg des Schäferhundes. Wurden 1903/1904 nur sieben Hunde in das Stammbuch eingetragen, so waren es 1933 schon über tausend Hunde. Seitdem werden jährlich zwischen 1500 und 2500 Hunde eingetragen (Ackerman, 2001; Räber, 1993; Voltz, 1999).

Ein einheitlicher Typ wurde in so kurzer Zeit vor allem auch durch eine starke Inzucht erreicht (Räber, 1993). So sind zum Beispiel die Ahnentafeln der ersten maßgebenden Zuchttiere durch eine mittlere bis sehr enge Inzucht geprägt (Räber, 1993; Wachtel, 1997). Der Rüde „Horand von Grafrath“ im Besitz des Rittmeisters Stephanitz und dessen Bruder „Luchs von Sparwasser“ gelten als die Stammväter dieser Rasse und die Hündin „Mari von Grafrath“ als die Stammutter. Von diesen Hunden stammen die meisten Deutschen Schäferhunde ab. Trotz dieser starken Inzucht scheinen in den ersten Jahrzehnten des Schäferhundewesens keine größeren Probleme aufgetreten zu sein. Nicht zuletzt weil eine vehemente Auslese auf leistungsfähige Hunde betrieben wurde und die natürliche Auslese noch stark das Zuchtgeschehen beeinflusste (Wachtel, 1997). Probleme traten in erster Linie erst nach dem Zweiten Weltkrieg auf, als nach starker Verwendung des Deutschen Schäferhundes in zwei Weltkriegen der genetische Pool sich noch weiter

verkleinerte. Aus heutiger Sicht scheint eine Auszucht des Deutschen Schäferhundes auf Grund des weltweit sehr engen, genetischen Pools nicht möglich (Wachtel, 1997).

Neben der Inzucht belastete die Rasse ein weiteres Problem, das auch heute noch als aktuell zu bezeichnen ist. Das traditionelle Arbeitsfeld als Begleiter der Berufsschäfer wurde zu Gunsten des Ackerbaus immer kleiner, neue Gebiete wie Militär und Polizei hatte der Schäferhund Anfang des 20. Jahrhunderts noch nicht erobert und das heute bekannte Hundesportwesen existierte noch nicht. So konzentrierte sich die Zucht vor allem auf das Erscheinungsbild des Hundes. Stehohr, Hängerute und starke Hinterhandwinkelung waren zum Beispiel Äußerlichkeiten, die in den Vordergrund traten. Wachtel (1997) spricht in Bezug auf die abschüssige Rückenlinie und die überwinkelten Sprunggelenke sogar von Anomalien, welche dem Schäferhund an gezüchtet worden sind. Unter all dem litt ebenfalls das Wesen und die Gesundheit des Hundes. Damit war der Schäferhund bereits nach dem ersten Weltkrieg auf dem Weg ein Modehund zu werden und Otto Rahm, ein bedeutender Schäferhundezüchter und Richter, sprach bereits 1920 vom „Hinterhandwahn“ und meinte damit die zunehmend gezüchtete, überstarke Hinterhandwinkelung. Um der zunehmend auftretenden Wesensschwäche entgegen zu wirken, führte der Verein für Schäferhunde nach Kriegsende die Ankörung mit Wesenstest ein und erreichte dadurch eine Verbesserung der Wesensmerkmale.

Ein weiteres Problem seit Beginn der Reinzucht und vor allem seit Beginn des Vereins für Schäferhunde ist der große wirtschaftliche Faktor der Schäferhundezucht. Es wurden viele Schäferhunde „produziert“, ohne auf Qualität und Gesundheit der Tiere zu achten (Räber, 1993).

Langhaar- und Stockhaar-Schäferhundezucht hatten sich getrennt. Der Langhaar Schäferhund war lange Zeit nach dem anerkannten Rassestandard unerwünscht. Erst seit dem Jahr 2008 wird der Langstockhaar Schäferhund wieder in den Rassestandard aufgenommen. Dazu beigetragen haben sicherlich Überlegungen wie die von Willis (1984). Er errechnete hierzu, dass 12 % der geborenen Welpen langhaarig zur Welt kommen und somit 50 % der normalhaarigen Zuchttiere den Faktor für Langhaarigkeit tragen.

Die Lebenserwartung der Hündinnen ist höher als die der Rüden. Dennoch werden nur 47 % der Rüden und 64 % der Hündinnen älter als 10 Jahre (Räber, 1993).

3. Material und Methoden

3.1. Auswahl der Rasse

Der Deutsche Schäferhund scheint prädisponiert für eine Reihe orthopädischer Erkrankungen. So waren von 20.830 orthopädisch, erkrankten Tieren, welche in den Jahren 1990–1998 in der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München behandelt wurden, 12,7 % Deutsche Schäferhunde (Unkel-Mohrmann, 1999). Erkrankungen der Wirbelsäule und der Hüftgelenke waren dabei neben der Gruppe anderer orthopädischer Erkrankungen am häufigsten, gefolgt von Erkrankungen der Knie- und Ellbogengelenke. Die Schultergelenke scheinen deutlich seltener betroffen zu sein.

Die wahrscheinlich bekannteste Erkrankung des Schäferhundes ist die Hüftdysplasie (Räber, 1993). Sie wurde erstmals bei einem Deutschen Schäferhund beschrieben. Die Datenbank der OFA (Orthopedic Foundation of Animals) wertet 19,1 % der untersuchten Deutschen Schäferhunde als von Hüftdysplasie betroffen, wohingegen nur 3,7 % mit „hervorragend“, das heißt frei von HD, beschrieben werden. Dabei zeichnet sich jedoch eine geringe Verbesserung ab, wurde doch noch 1995 20,8 % der in den USA untersuchten Deutschen Schäferhunden eine Hüftdysplasie bescheinigt (Ackerman, 2001; Räber, 1993). Betrachtet man die Häufigkeit des Auftretens von Hüftdysplasie unter den Zuchttieren, so ergeben sich für unterschiedliche Länder verschiedene Zahlen, die auf Grund der divergierenden diagnostischen Richtlinien nur schwer miteinander zu vergleichen sind. Dennoch sollen an dieser Stelle einige Zahlen genannt werden. In Schweden haben 44 % der Zuchttiere, in den USA 24 % und in der Schweiz 38 % der Zuchttiere dysplastische Hüftgelenke (Räber, 1993). Die Dunkelziffer ist dabei sicherlich hoch.

Im Jahr 1999 veröffentlichte Unkel-Mohrmann eine Arbeit über das Gangbild des gesunden Deutschen Schäferhundes. Die darin beschriebenen Ergebnisse wurden mittels eines zweidimensionalen Systems auf Videobasis ermittelt. In den letzten Jahren hat sich die Technik dieser optischen Systeme erheblich verbessert, so dass es sinnvoll erscheint, die gewonnenen Daten zu überprüfen.

Sicherlich konnten nicht die gleichen Hunde erneut evaluiert werden, allerdings hat sich der Rassestandard des Deutschen Schäferhundes in den letzten 10 Jahren nicht geändert. Wie in der vorangegangenen Studie wurde Wert darauf gelegt Hunde zu gewinnen, die aus den „Leistungslinien“ der Schäferhundezucht stammen und nicht aus der „Schönheitslinie“. Der Unterschied dieser beiden Linien besteht in erster Linie darin, dass in der Leistungslinie körperlich belastbare Hunde gezüchtet werden und weniger Wert auf die exakte Umsetzung der optischen Anteile des Rassestandards gelegt wird. Der offensichtlichste Unterschied liegt wahrscheinlich in der Rückenlinie und der Winkelung der Hinterbeine.

Da man im Polizeiwesen auf Grund der Schwierigkeit einen gesunden, wesens- und nervenstarken Deutschen Schäferhund zu finden, dazu übergegangen ist den kleineren, wendigeren und gesünderen Belgischen Schäferhund zu verwenden, war es nicht möglich, ausschließlich Diensthunde für diese Studie zu verwenden.

3.2. Auswahl der Tiere

Neben sieben Hunden des Polizeipräsidiums München und Oberbayern, nahmen sechs, sportlich geführte „Privathunde“, zwei Klinikpatienten und ein Blindenführhund an der Studie teil.

Von den sechzehn Hunden waren neun weiblich, sechs davon kastriert, und sieben männliche Tier, drei davon kastriert.

Zum Zeitpunkt der Aufnahme waren die Tiere durchschnittlich $4,54 \pm 2,29$ Jahre alt (1,07–9,22 Jahre).

Die Hunde wogen im Mittel $33,9 \pm 3,9$ kg (27,5–42 kg), wobei die Hündinnen mit durchschnittlich $32,3 \pm 3,0$ kg (27,5–37,0 kg) leichter waren als die Rüde mit durchschnittlich $35,9 \pm 4,1$ kg (30,1–42 kg).

Von allen 16 Hunden konnten kinetische und kinematische Daten erhoben werden.

3.3. Das Ganglabor

In einem ca. 30 qm großen Raum steht in der Mitte ein Podest von 5,7 m Länge, 1,2 m Breite und 28 cm Höhe. In diesen Podest eingelassen befinden sich zwei Laufbänder, die über eine Länge von 140 cm und eine Breite von 80 cm sichtbar sind. Unter diesen Laufbändern liegen vier modifizierte Kistler-Kraftmessplatten. Diese sind etwa 70 cm lang und 40 cm breit. Sie sind über einen Verstärker und einen Signalwandler mit dem Computer verbunden.

Die Geschwindigkeit des Laufbandes kann über eine Software der Firma Simi auf 0,02 m/s genau eingestellt werden.

Die Aufnahme der Patienten findet mittels des optischen Systems Vicon V- MX Motion Capture (4 Channel Vicon MX 3+) bestehend aus vier Highspeed-Kameras (Vicon MX+), den Wandlungseinheiten MX-LabControl64 und MX Ultramet HD sowie zwei Computern. Ein Belichtungssystem aus der Film- und Fernsehtechnik sorgt für eine adäquate Beleuchtung. Zudem sind im Raum um das Laufband neun digitale Kameras (Sony Exwave HAD) angebracht.

Mittels der Software Vicon Nexus wird der mit reflektierenden Kugeln (Markern) beklebte Hund aufgenommen und nachbearbeitet. Mit Hilfe dieses Programms werden zum einen den Markern im dreidimensionalen Raum Punkte zugeordnet (je drei Koordinaten), gleichzeitig findet die Kraftmessung statt und es werden digitale Audio- Video- Aufnahmen der Hunde angefertigt. Die Messung der Bodenreaktionskräfte findet mit 1000Hz und die Messung der Markersignale mit 100 Hz statt. Im Rahmen dieser Studie wurden pro Hund 10-20 Sequenzen (Trials) von 20-30 Sekunden Länge aufgenommen.

Nach Beendigung der Aufnahmen werden die gewonnen Daten mittels der gleichen Software (Vicon Nexus) nachbearbeitet, denn die rekonstruierten, dreidimensionalen Marker müssen für die weitere Auswertung benannt (gelabelt) und auftretende Artefakte (Ghostmarker) entfernt werden. Die Daten werden dann in eine ASCII-Datei exportiert.

Daneben werden mittels einer eigens für dieses Laufband entwickelten Software (QuadruPedLocomotion) aus den aufgenommen Schritten eines jeden Trials eines

Hundes für jede Gliedmaße die Schritte mit korrekter Fußung bei gleichmäßiger und regelmäßiger Gangart ausgewählt und die kinetischen und kinematischen Ergebnisse in numerischer und graphischer Form ausgegeben und gespeichert. So dass sowohl die Mittelwerte der Schritte eines jeden Trials als auch die Werte der Bodenreaktionskräfte und Gelenkwinkel eines jeden einzelnen Schrittes zur Verfügung stehen. Nachfolgend werden diese Werte gemittelt, um den Mittelwert eines jeden Parameters eines Hundes zu erhalten.

Als Beginn eines Schrittes (Standphase) wurde das Ansteigen der gemessenen vertikalen Bodenreaktionskraft über einen Wert von 6-8 Newton definiert. Anhand der gleichzeitig aufgenommenen Audio-Video-Dateien konnte ein ruhiger, gleichmäßiger Gang der Tiere sichergestellt werden. Die Tiere liefen bei der Untersuchung mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von $0,81 \pm 0,08$ m/s (0,70–0,94 m/s).

3.4. Bestandteile der Untersuchung

Nur gesunde Hunde ohne den Vorbericht einer orthopädischen Erkrankung wurden für die Studie angenommen. Die Hunde wurden einer allgemeinen und orthopädischen Untersuchung unterzogen. Es wurde das Stockmaß an Widerrist und Kruppe sowie der Umfang der Oberschenkelmuskulatur gemessen und die Hunde gewogen. Um orthopädische Erkrankungen noch sicherer ausschließen zu können, wurden alle großen Gelenke in zwei Ebenen geröntgt (Hüfte, Knie, Tarsus mit Pfote, Schulter, Ellbogen, Carpus mit Pfote, LWS). Allein die Diensthunde der Polizei wurden nicht geröntgt, da dies im Rahmen einer Ankaufsuntersuchung bereits stattgefunden hat. Die Röntgenaufnahmen wurden, um das Gangverhalten der Hunde nicht durch Stress zu beeinflussen, nach der Laufbanduntersuchung vorgenommen.

Nach der allgemeinen und orthopädischen Untersuchung und der Vermessung bzw. dem Wiegen, wurden die Tiere an das Laufband gewöhnt. Dazu liefen die Hunde einige Minuten auf dem Band, bis sie eine gleichmäßige und ruhige Schrittfolge

gefunden hatten. Gleichzeitig wurde dabei die für den Einzelnen geeignete und tolerierte Geschwindigkeit ermittelt.

Nach dem Probelauf wurden Plastikkugeln mit reflektierender Beschichtung und schwarzer Unterlage (Marker, Durchmesser: 10mm) auf folgenden Knochenpunkten mittels doppelseitigem Klebeband fixiert:

1. Dorsaler Rand der Skapula
2. Tuberculum majus humeri
3. Epicondylus lateralis humeri
4. Processus styloideus ulnae
5. Distal am Os metacarpale quintum
6. Kranialster Punkt der Crista iliaca
7. Kaudalster Punkt des Tuber ischiadicum
8. Trochanter majus ossis femoris
9. Epicondylus lateralis ossis femoris
10. Maleolus lateralis fibulae
11. Distal am Os metatarsale quintum
12. Crista sagittalis externa
13. Processus spinosus des Axis
14. Processus spinosus des zweiten Brustwirbels
15. Processus spinosus des fünften Brustwirbels
16. Processus spinosus des neunten Brustwirbels
17. Zwischen den Processus spinosi des letzten Brustwirbels und ersten Lendenwirbels
18. Processus spinosus des dritten Lendenwirbels
19. Processus spinosus des sechsten Lendenwirbels
20. Dorsal des Spatium interacuale lumbosacrale
21. Os sacrum
22. Schwanzansatz

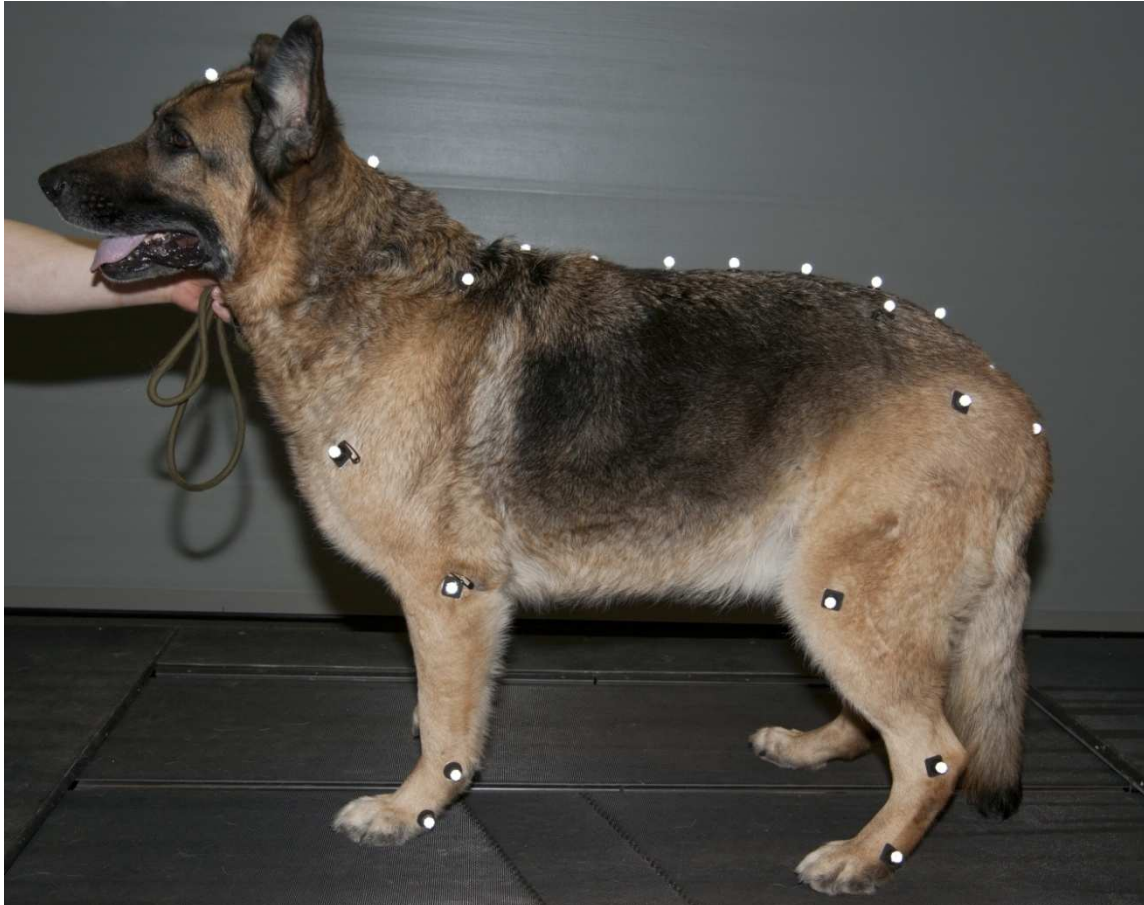


Abb. 13: Beispiel eines Schäferhundes mit Markern

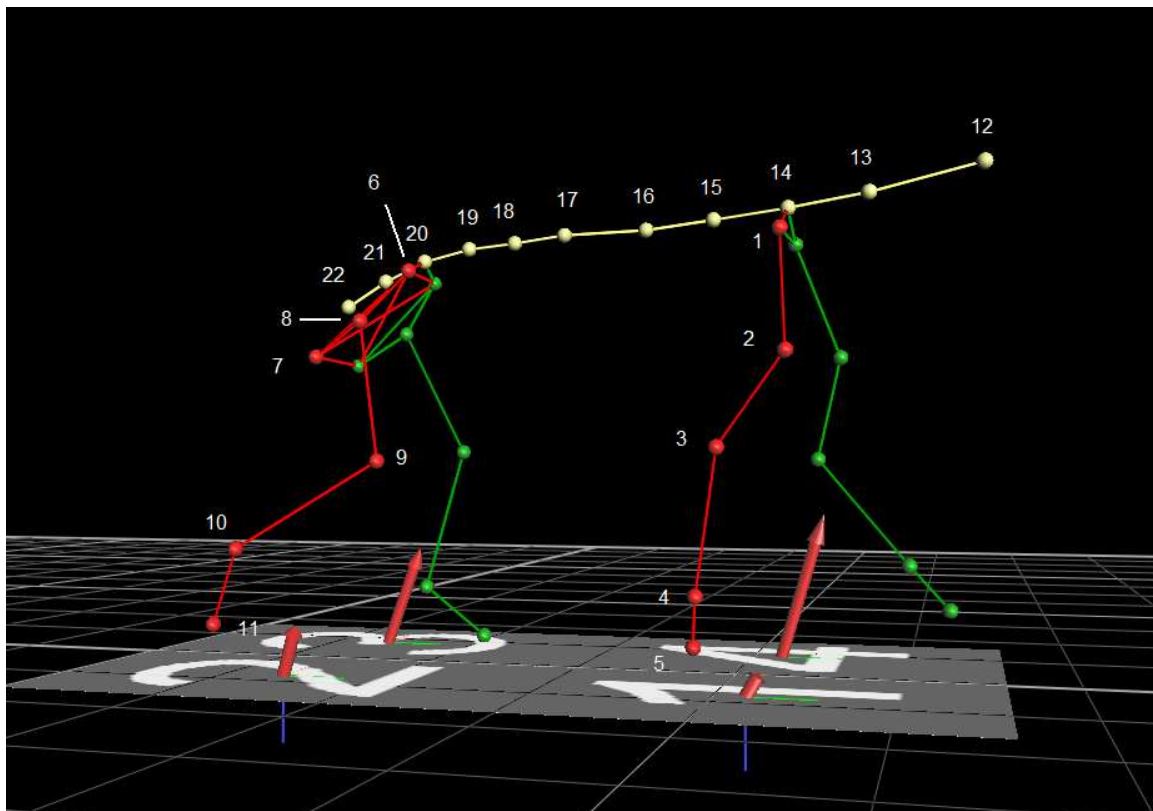


Abb. 14: Strichfigur eines Hundes im dreidimensionalen Raum nach Benennung der Marker (Labeln), Nummern wie oben, erstellt mit der Software Vicon Nexus;

Die Gelenkwinkel ergeben sich rechnerisch aus den Koordinaten der Marker als Winkel zwischen zwei Geraden. Sie sind wie folgend definiert als Winkel zwischen den Markern:

- a. Schultergelenkwinkel: 1, 2, 3
- b. Ellbogengelenkwinkel: 2, 3, 4
- c. Karpalgelenkwinkel: 3, 4, 5
- d. Hüftgelenkwinkel: 6, 8, 9
- e. Kniegelenkwinkel: 8, 9, 10
- f. Sprunggelenkwinkel: 9, 10, 11

4. Ergebnisse

4.1. Morphometrische Daten der Deutschen Schäferhunde

Die morphometrischen Daten und zeitlichen Parameter wurden mit Hilfe des Kolmogorov- Smirnov- Tests und des 2-Stichproben- t-Tests für verbundene bzw.unabhängige Stichproben auf Normalverteilung und signifikante Unterschiede untersucht. Zur Ermittlung von Zusammenhängen wurde der Korrelationskoeffizient errechnet. Für alle Proben wurde das Signifikanzniveau auf 5 % ($\alpha = 0,05$) festgelegt.

4.1.1. Stockmaß an Widerrist und Kruppe

Um die Größe der Tiere beurteilen zu können, wurde das Stockmaß am Widerrist und an der Kruppe gemessen.

Dabei ergab sich eine durchschnittlich Widerristhöhe von $63,5 \pm 2,9$ cm (59,0–70,0 cm). Damit waren die Hündinnen mit einer Widerristhöhe von im Mittel $62,1 \pm 1,9$ cm (59,0–64,5 cm) signifikant kleiner als die Rüden ($65,4 \pm 3,0$ cm, 62,0–70,0 cm) ($T = - 2,4439$; $df = 14$).

Bezüglich der Kruppenhöhe ergab sich für die ganze Gruppe ein Mittel von $61,9 \pm 2,7$ cm (67,0–57,5 cm). Auch die Kruppenhöhe ist geschlechtsabhängig, denn die Kruppenhöhe der Rüden betrug im Mittel $63,6 \pm 2,1$ cm (67,0–61,0 cm) und ist damit signifikant größer als die Kruppenhöhe der Hündinnen mit durchschnittlich $60,5 \pm 2,2$ cm (64,0–57,5 cm) ($T = - 2,6704$; $df = 14$). Widerristhöhe und Kruppenhöhe hingen nicht signifikant voneinander ab ($T = 1,6100$; $df = 30$).

Tab. 1: Stockmaß an Widerrist und Kruppe

Stockmaß	Widerristhöhe (cm)	Kruppenhöhe (cm)
Mittelwert aller Hunde	63,5 ± 2,9	61,9 ± 2,7
Maximum aller Hunde	70,0	67,0
Minimum aller Hunde	59,0	57,5
Mittelwert männliche Tiere	65,4 ± 3,0	63,6 ± 2,1
Maximum männliche Tiere	70,0	67,0
Minimum männliche Tiere	62,0	61,0
Mittelwert weibliche Tiere	62,1 ± 1,9	60,5 ± 2,2
Maximum weibliche Tiere	64,5	64,0
Minimum weibliche Tiere	59,0	57,5

4.1.2. Körpergewicht

Das Körpergewicht der Hunde lag zwischen 27,5 und 42,0 kg, im Mittel bei $33,9 \pm 3,9$ kg. Dabei waren die Hündinnen durchschnittlich $32,3 \pm 3,0$ kg schwer und damit leichter als die Rüden mit einem durchschnittlichen Gewicht von $35,9 \pm 4,1$ kg. Dieser Unterschied ist zwar nicht signifikant, ein Trend zeichnet sich jedoch ab ($T = -1,9375$; $df = 14$).

Tab. 2: Körpergewicht

	Körpergewicht (kg)
Mittelwert männliche Tiere	35,9 ± 4,1
Maximum männl. Tiere	42,0
Minimum männl. Tiere	30,1
Mittelwert weibliche Tiere	32,3 ± 3,0
Maximum weibl. Tiere	37,0
Minimum weibl. Tiere	27,5
Mittelwert alle Hunde	33,9 ± 3,9
Maximum alle Hunde	42,0
Minimum alle Hunde	27,5

4.1.3. Segmentlängen

Die Segmentlängen wurden bestimmt als der Abstand der Marker zueinander.

Es wurden die Segmente Skapula, Humerus, Radius, Metacarpus, Ilium, Femur, Tibia und Metatarsus sowohl für die linke als auch für die rechte Körperseite bestimmt.

Tab. 3: Segmentlängen

Segment	Mittelwert (cm)	Maximum (cm)	Minimum (cm)	T
Skapula rechts	19,2 ± 2,2	23,8	14,9	-0,1099
Skapula links	19,3 ± 2,0	23,3	16,8	
Humerus rechts	14,2 ± 1,6	16,9	11,1	-0,6059
Humerus links	14,6 ± 1,8	17,2	11,0	
Radius rechts	21,2 ± 1,3	23,2	19,1	0,4777
Radius links	20,9 ± 1,7	24,3	17,8	
Metakarpus rechts	7,9 ± 1,0	9,6	5,4	0,4735
Metakarpus links	7,7 ± 0,7	9,1	6,1	
Ilium rechts	12,9 ± 1,5	15,6	10,8	0,6040
Ilium links	13,0 ± 1,3	15,8	10,8	
Femur rechts	21,3 ± 1,9	24,9	18,4	0,1362
Femur links	21,2 ± 1,8	25,5	18,6	
Tibia rechts	23,3 ± 2,0	27,6	18,6	0,5124
Tibia links	22,9 ± 1,9	26,0	20,0	
Metatarsus rechts	11,5 ± 0,8	12,5	9,6	-0,8132
Metatarsus links	11,7 ± 0,8	13,9	10,7	

Bezüglich keiner Segmentlänge konnte ein signifikanter Seitenunterschied ermittelt werden (df = 29).

Neben den einzelnen Segmentlängen wurde die Summe der Segmente der Schulter- und Beckengliedmaße als Maß für die Beinlänge errechnet. Es ergab sich eine mittlere Schultergliedmaßenlänge von $62,5 \pm 3,7$ cm und eine mittlere Länge der Beckengliedmaße von $68,9 \pm 2,5$ cm.

4.1.4. Umfang der Oberschenkelmuskulatur

Der durchschnittliche Muskelumfang aller Hunde betrug $46,9 \pm 2,3$ cm (43,5-52,0 cm).

Die Rüden waren dabei mit einem Umfang von im Mittel $47,6 \pm 2,6$ cm (43,5-52,0 cm) genauso bemuskelt wie die Hündinnen mit $46,4 \pm 1,9$ cm (44,0-49,0 cm) ($T = -1,5826$; $df = 30$).

Alle Hunde waren symmetrisch bemuskelt, lediglich Hund Nr. 11 hatte links 0,5 cm mehr Muskelumfang als rechts.

Im Vergleich der rechten ($46,9 \pm 2,3$ cm) mit der linken ($47,0 \pm 2,3$ cm) Beckengliedmaße findet sich kein signifikanter Unterschied ($T = -0,0740$; $df = 29$).

Tab. 4: Oberschenkelumfang

	Oberschenkelumfang (cm)	
	rechts	links
Mittelwert alle Hunde	$46,9 \pm 2,3$	$47,0 \pm 2,3$
Maximum alle Hunde	52,0	52,0
Minimum alle Hunde	43,5	43,5
Mittelwert männliche Tiere	$47,6 \pm 2,7$	$47,7 \pm 2,6$
Maximum männliche Tiere	52,0	52,0
Minimum männliche Tiere	43,5	43,5
Mittelwert weibliche Tiere	$46,4 \pm 1,9$	$46,4 \pm 1,9$
Maximum weibliche Tiere	49,0	49,0
Minimum weibliche Tiere	44,0	44,0

4.1.5. Schrittlänge

Die Schrittlänge wurde errechnet als das Produkt der Geschwindigkeit (m/s) und der Standphasendauer (s). So ergab sich eine durchschnittliche Schrittlänge von $58,3 \pm 4,8$ cm für alle Gliedmaßen.

Für die rechte Schultergliedmaße konnte eine Schrittlänge von durchschnittlich $59,16 \pm 5,58$ cm und für die linke Schultergliedmaße von $58,46 \pm 5,98$ cm ermittelt werden. Zwischen den Vorderbeinen bestand kein signifikanter Unterschied ($T = 0,3337$; $df = 29$).

Für die Hinterbeine ergaben sich Werte von $58,18 \pm 3,34$ cm (rechts) und $57,22 \pm 3,68$ cm (links). Zwischen den Hinterbeinen bestand kein signifikanter Unterschied ($T = 0,7481$; $df = 29$).

Darüber hinaus bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der Vorder- und Hinterbeine ($T = 0,9053$; $df = 51$).

4.1.6. Abhängigkeit der einzelnen morphometrischen Parameter

Mit Hilfe der Varianzanalyse (einfaktorielle ANOVA, Signifikanzniveau 5 %; $df_m = 1$; $df_k = 14$) konnten folgende Zusammenhänge gefunden werden:

- Zwischen dem Alter und dem Geschlecht bestand keine Beziehung ($F = 2,56$).
- Das Gewicht ist nicht geschlechtsabhängig ($F = 3,75$).
- Sowohl die Widerrist- ($F = 5,97$) als auch die Kruppenhöhe ($F = 7,13$) wurden durch das Geschlecht beeinflusst.
- Der Oberschenkelumfang ist nicht geschlechtsabhängig (rechts: $F = 0,96$; links: $F = 1,24$).

Die Ermittlung der Korrelationskoeffizienten (Signifikanzniveau 5 %, $df = 14$) erbrachte folgende Ergebnisse:

- Das Gewicht und der Oberschenkelumfang korrelierten sowohl rechts ($r = 0,7294$, $T = 3,9898$) als auch links ($r = 0,7236$, $T = 3,9230$).
- Es bestand ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Gewicht und dem Stockmaß am Widerrist ($r = 0,6679$, $T = 3,3583$) und an der Kruppe ($r = 0,8103$, $T = 5,1746$).
- Das Stockmaß am Widerrist und der Oberschenkelumfang korrelierten nicht ($r = 0,4007$, $T = 1,6364$).
- Die Widerristhöhe beeinflusste die Schrittlänge nicht ($r = 0,1451$, $T = 0,5488$).
- Die Schrittlänge und Geschwindigkeit korrelierten allerdings ($r = 0,7748$, $T = 4,5856$).
- Ebenso korrelierten Schrittlänge und Beinlänge ($r = 0,6341$, $T = 3,0681$).

4.2. Schrittdauer und Schrittfrequenz

Die Schrittdauer ist die Summe der Standphasen- und der Schwungphasendauer. Sie reicht vom Beginn einer Standphase zum Beginn der Nächsten und wurde im Rahmen der Auswertung anhand der Bodenreaktionskräfte ermittelt.

Für die Schultergliedmaßen ergab sich eine Schrittdauer von $1,001 \pm 0,065$ s für die rechte Schultergliedmaße und $0,993 \pm 0,067$ s für die linke Schultergliedmaße. Es bestand kein signifikanter Seitenunterschied ($T = 0,3008$; $df = 29$).

Die Auswertung der Beckengliedmaßen erbrachte eine Schrittdauer von $1,003 \pm 0,067$ s für die rechte Beckengliedmaße und $1,003 \pm 0,068$ s für die linke Beckengliedmaße. Zwischen der rechten und der linken Seite bestand ebenfalls kein signifikanter Unterschied ($T = 0,0036$; $df = 29$).

Tab. 5: Schrittdauer

	Mittelwert (s)	Maximum (s)	Minimum (s)
Vordergliedmaßen gesamt	$0,997 \pm 0,067$		
rechts	$1,001 \pm 0,065$	1,111	0,889
links	$0,993 \pm 0,067$	1,102	0,875
Hintergliedmaßen gesamt	$1,003 \pm 0,068$		
rechts	$1,003 \pm 0,067$	1,107	0,886
links	$1,003 \pm 0,068$	1,109	0,882

Es zeigte sich keine Beziehung der Schrittdauer zum Stockmaß am Widerrist ($r = -0,1795-0,0810$), dem Stockmaß an der Kruppe ($r = -0,4032- -0,1154$) und dem Gewicht ($r = -0,4515- -0,3890$).

Unter der Schrittfrequenz versteht man die reziproke Schrittperiode (Bertram et al.; 1997). Für die hier untersuchten Hunde ergab sich eine durchschnittliche Schrittfrequenz von 1,00 Schritten pro Sekunde.

4.3. Stand- und Schwungphase

Tab. 6: Standphasen- und Schwungphasendauer

	Standphase (s)	Schwungphase (s)	Stand- : Schwungphase
Schultergliedmaßen	0,729 ± 0,054	0,269 ± 0,043	
Beckengliedmaßen	0,717 ± 0,047	0,286 ± 0,047	
rechte Schultergliedmaße	0,733 ± 0,053	0,268 ± 0,044	2,8 ± 0,6
linke Schultergliedmaße	0,724 ± 0,055	0,269 ± 0,041	2,8 ± 0,5
	T = 0,4613; df = 29	T = -0,1214; df = 29	T = 0,3439; df = 29
rechte Beckengliedmaße	0,723 ± 0,044	0,281 ± 0,041	2,6 ± 0,4
linke Beckengliedmaße	0,711 ± 0,048	0,292 ± 0,052	2,5 ± 0,5
	T = 0,7085; df = 29	T = -0,6965; df = 28	T = 0,2904; df = 26

Betrachtet man die Dauer der Stand- bzw. Schwungphase und ihr Verhältnis zueinander, so fanden sich keine signifikanten Seitenunterschiede zwischen der rechten und linken Gliedmaße.

4.4. Vertikale Bodenreaktionskräfte

Die kinetischen Parameter wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests und des 2-Stichproben-t-Tests für verbundene bzw. unabhängige Stichproben auf Normalverteilung und signifikante Unterschiede untersucht. Zur Ermittlung von Zusammenhängen wurde der Korrelationskoeffizient errechnet. Für alle Proben wurde das Signifikanzniveau auf 5 % ($\alpha = 0,05$) festgelegt.

4.4.1. Anzahl der auswertbaren Schritte

Voraussetzung für die Verwendung eines Schrittes war das korrekte Platzieren der Pfote auf der zugehörigen Kraftmessplatte. Während des Schrittes durfte keine andere Pfote Kontakt mit der Kraftmessplatte haben.

Wie viele Schritte eines jeden Hundes für die Auswertung der kinetischen Parameter herangezogen werden konnten, zeigt folgende Tabelle:

Tab. 7: Anzahl der ausgewerteten Schritte (Kinetik) pro Hund

Hund Nr.	Anzahl der ausgewerteten Schritte			
	rechte VGLM	linke VGLM	rechte HGLM	linke HGLM
1	3	14	7	12
2	20	32	50	57
3	22	18	5	6
4	90	106	63	57
5	56	94	39	24
6	30	35	90	68
7	106	80	123	126
8	110	102	122	149
9	49	41	50	45
10	92	84	32	15
11	45	31	64	34
12	46	36	50	38
13	52	39	11	8
14	64	82	71	42
15	85	91	106	89
16	52	6	28	32
gesamt	922	891	911	802

VGLM: Vordergliedmaße, HGLM: Hintergliedmaße, maximale Anzahl einer Gliedmaße fett

Im Durchschnitt konnten für jeden Hund je Gliedmaße 50 Schritte ausgewertet werden. Weniger als zehn Schritte wurden nur bei vier Hunden bzw. sechs Gliedmaßen ausgewertet. Für alle anderen Hunde und Gliedmaßen konnten mehr als zehn Schritte verwertet werden.

4.4.2. Maximum der vertikalen Bodenreaktionskraft

Die vertikale Spitzenkraft (F_z max) konnte bei allen 16 Hunden bestimmt werden.

4.4.2.1. Rechte Schultergliedmaße

Tab. 8: Vertikale Spitzenkraft der rechten Schultergliedmaße

	vertikale Spitzenkraft in % Körpergewicht
Maximum	61,9
Minimum	45,4
Mittelwert	56,1 ± 3,7

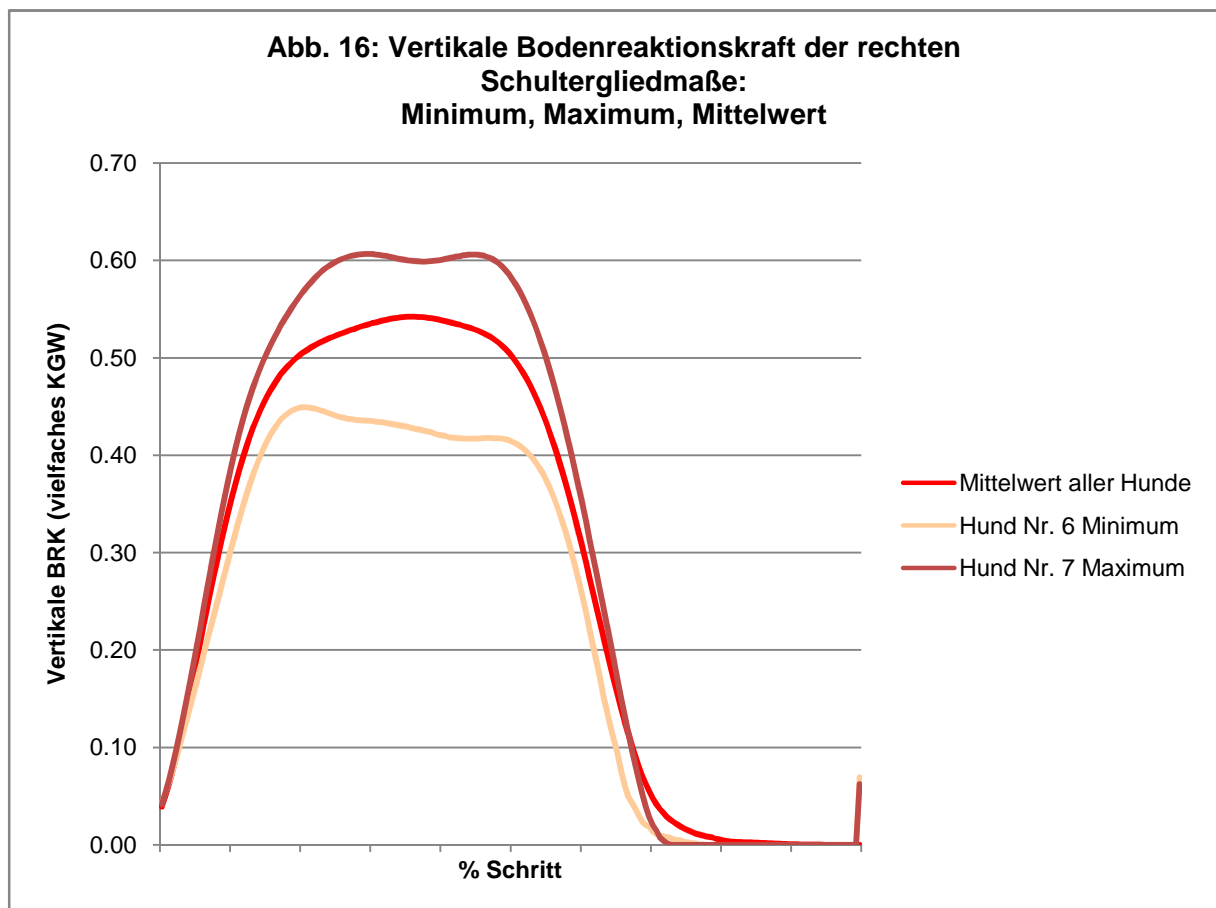
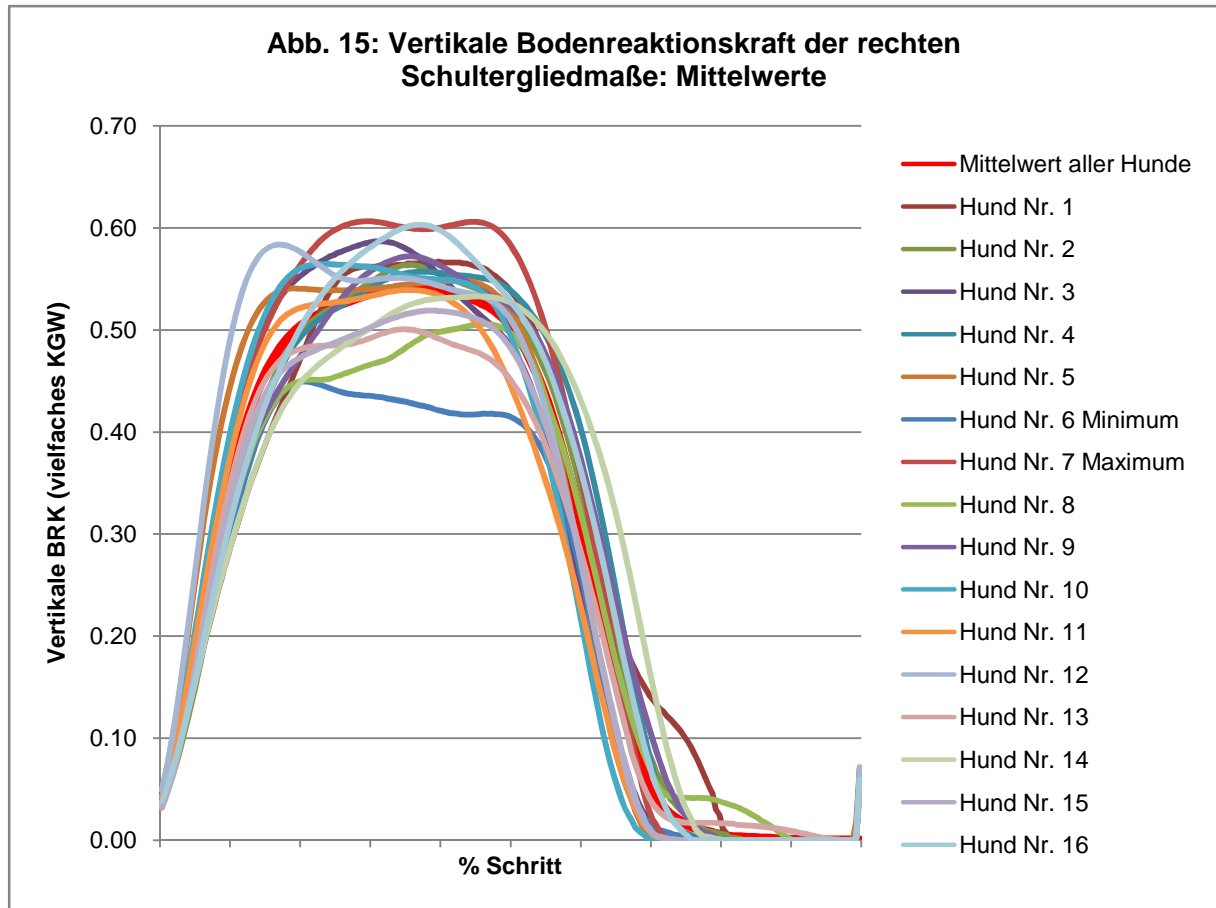
In den Abbildungen 15 und 16 werden im Folgenden die Mittelwerte eines jeden Hundes bzw. der maximale und minimale Wert sowie der Mittelwert aller Hunde graphisch dargestellt.

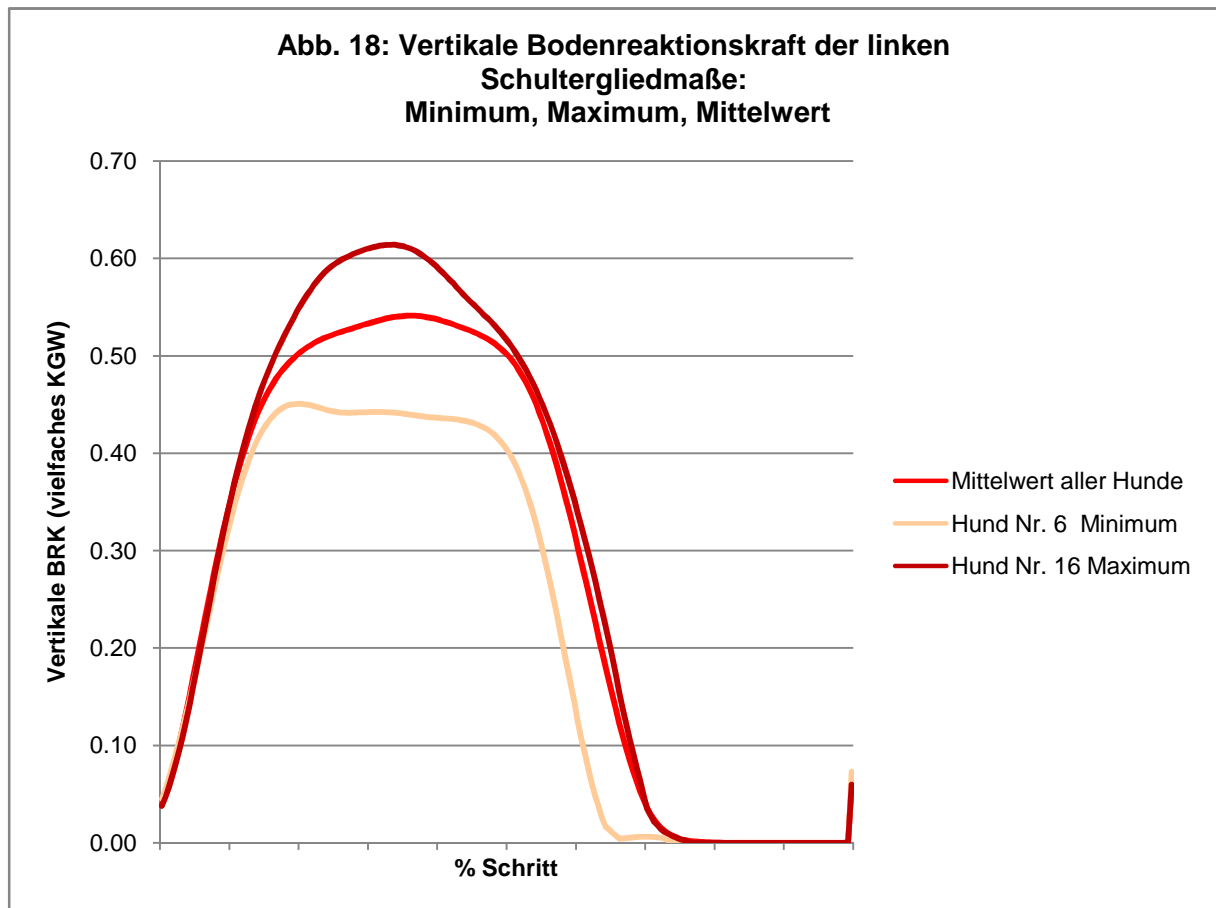
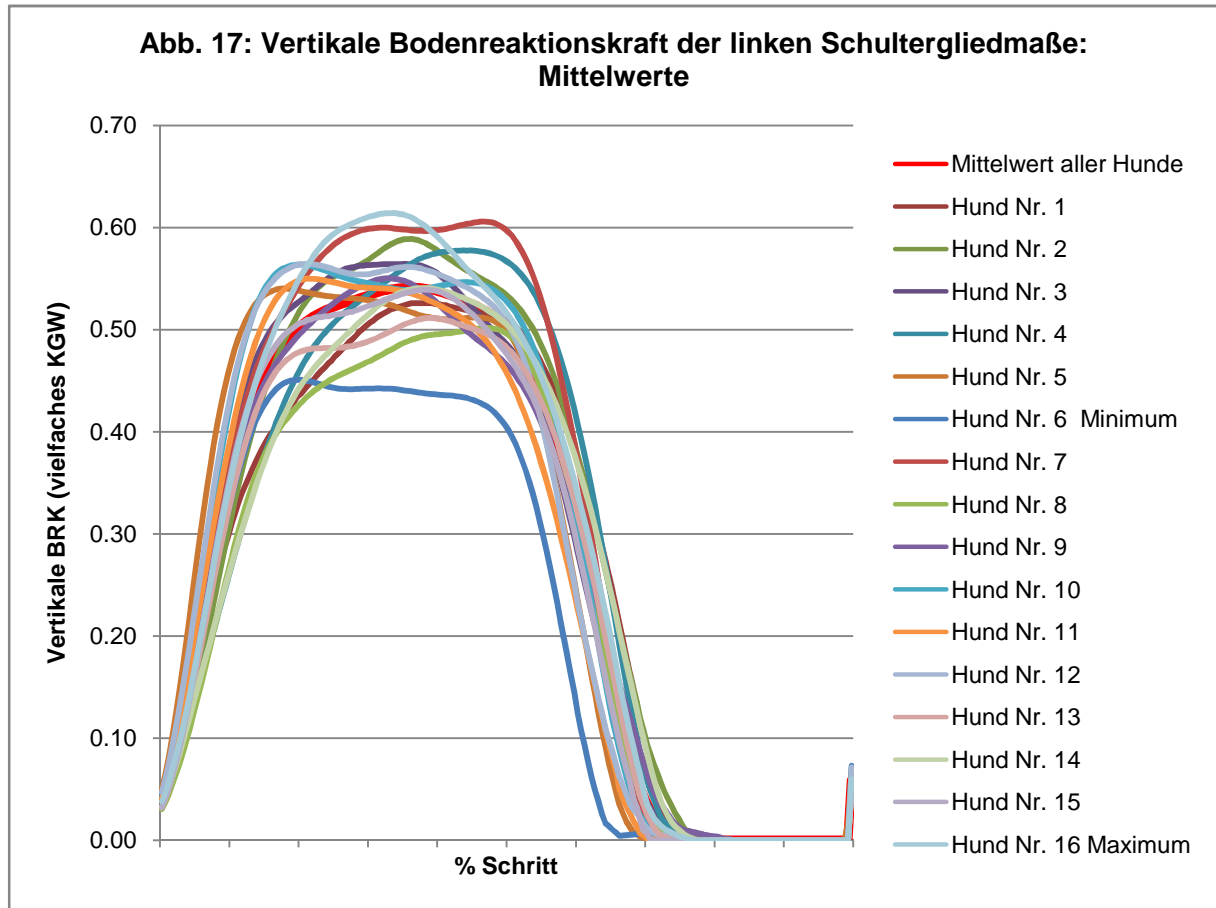
4.4.2.2. Linke Schultergliedmaße

Tab. 9: Vertikale Spitzenkraft der linken Schultergliedmaße

	vertikale Spitzenkraft in % Körpergewicht
Maximum	62,4
Minimum	45,9
Mittelwert	55,8 ± 3,9

In den Abbildungen 17 und 18 sind die Verläufe der vertikalen Bodenreaktionskraft veranschaulicht.





4.4.2.3. Rechte Hintergliedmaße

Tab. 10: Vertikale Spitzenkraft der rechten Beckengliedmaße

	vertikale Spitzenkraft in % Körpergewicht
Maximum	42,9
Minimum	31,5
Mittelwert	38,8 ± 3,0

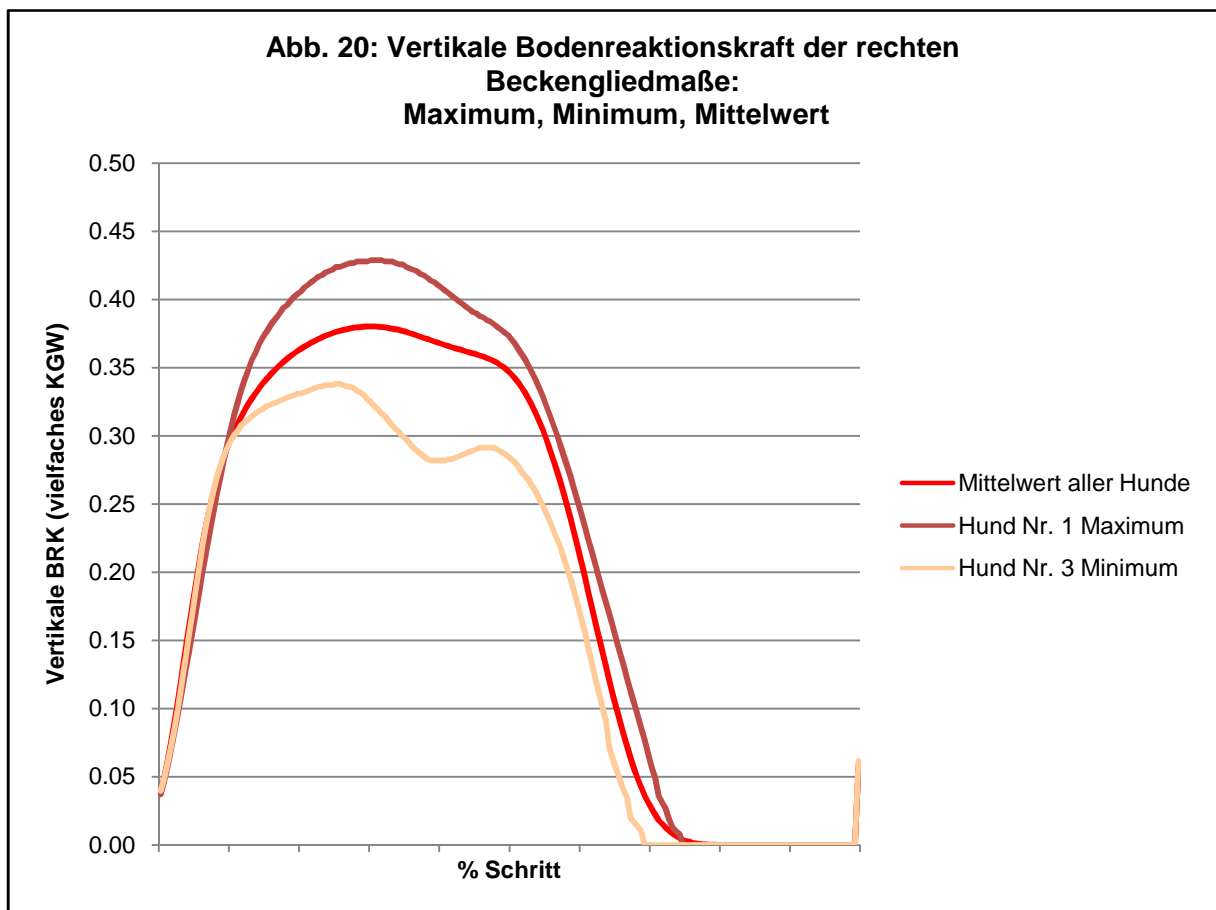
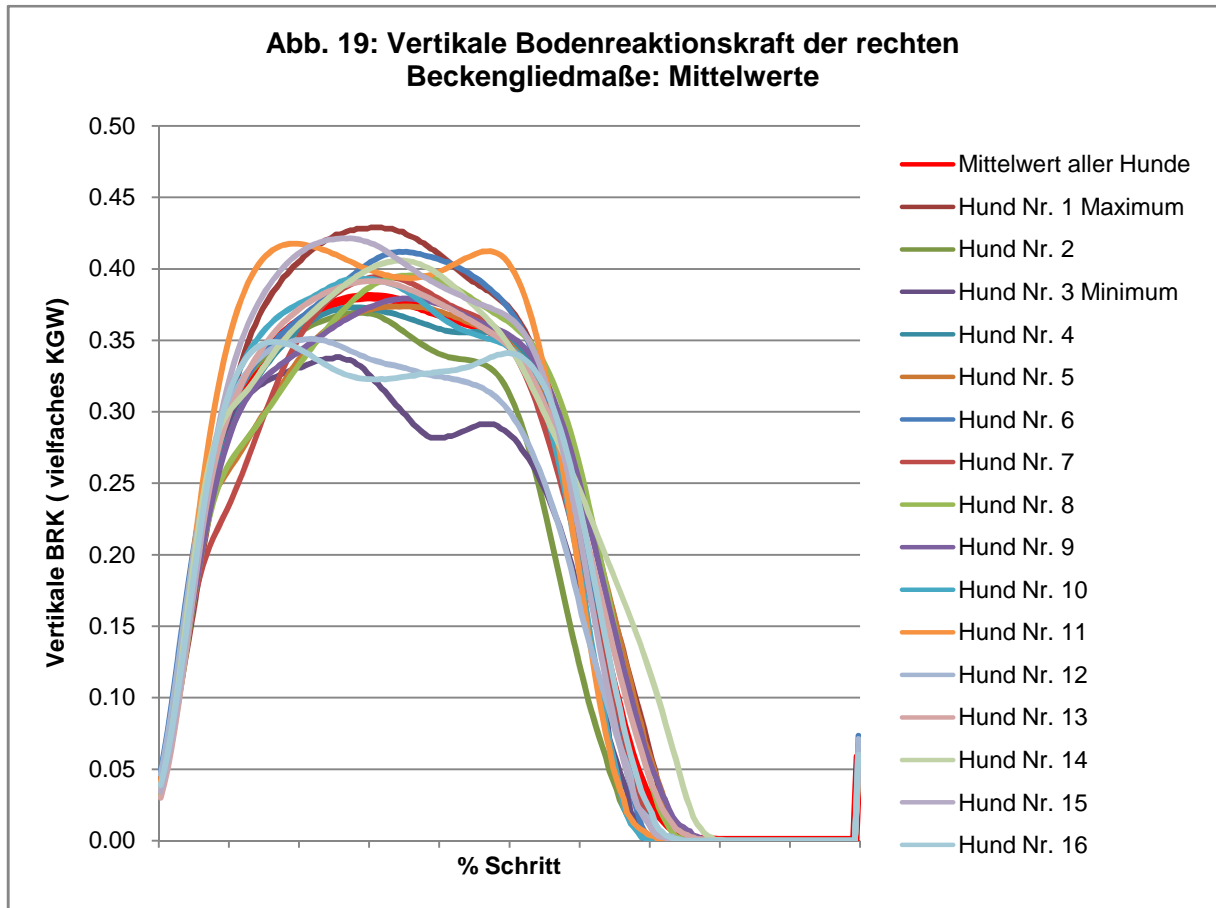
In den Abbildungen 19 und 20 werden die Mittelwerte, Maximum und Minimum der Hunde aufgezeigt.

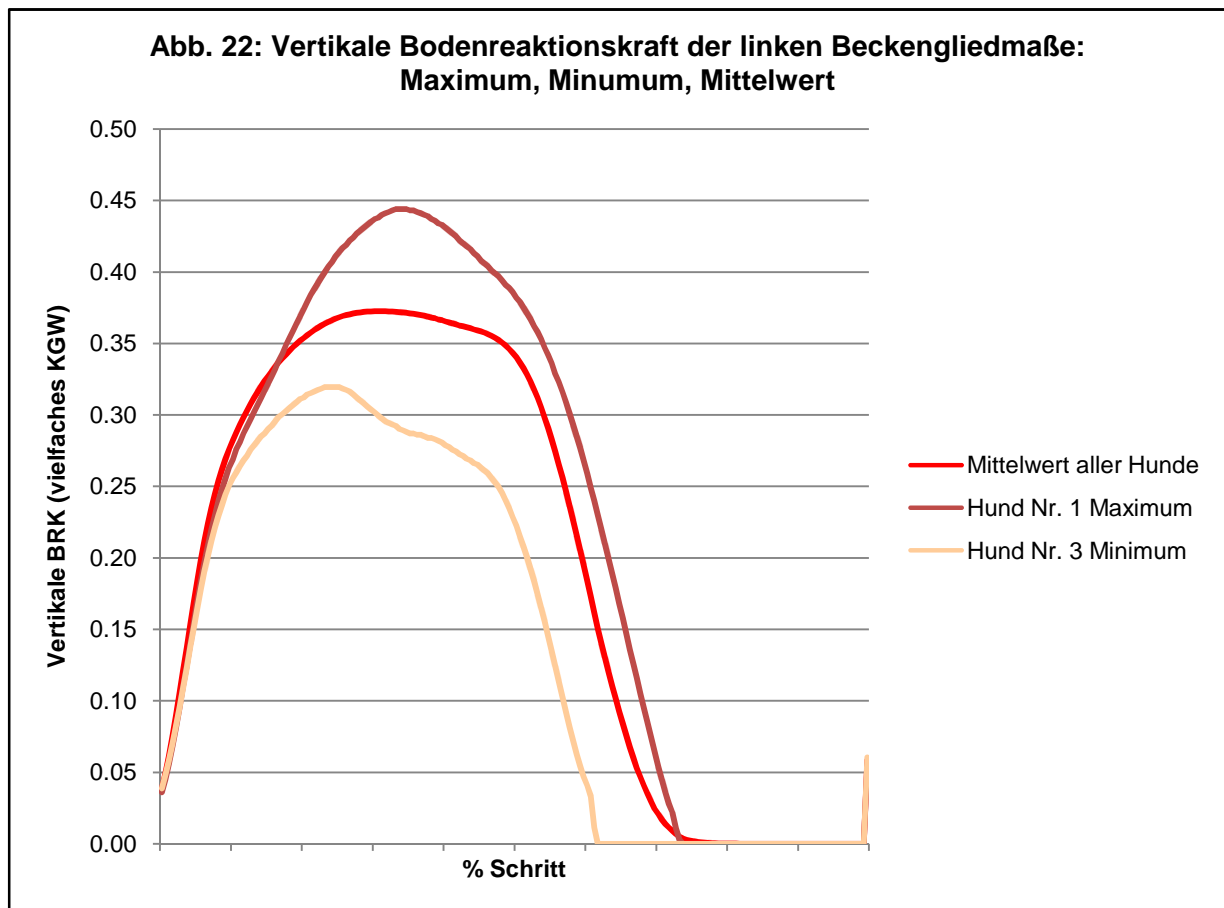
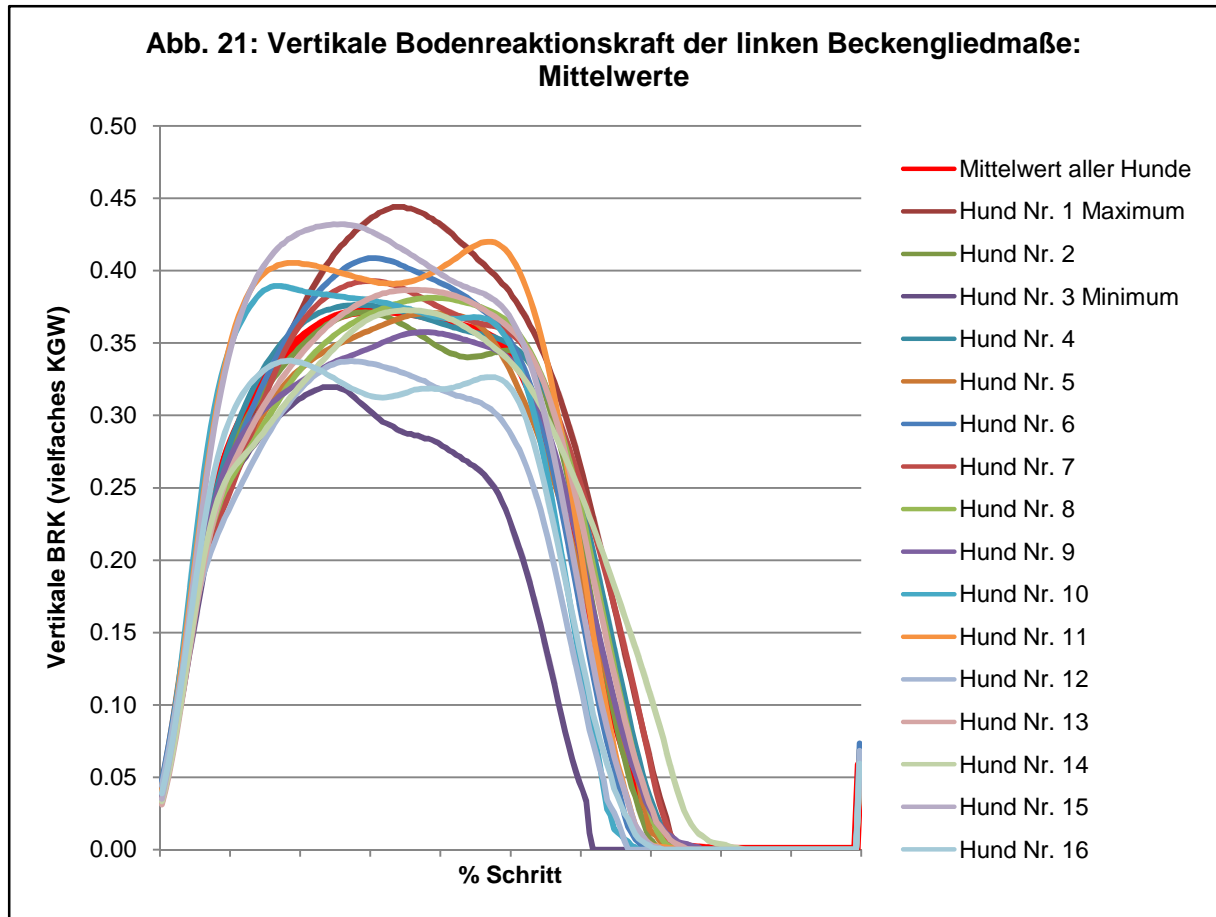
4.4.2.4. Linke Hintergliedmaße

Tab. 11: Vertikale Spitzenkraft der linken Beckengliedmaße

	vertikale Spitzenkraft in % Körpergewicht
Maximum	44,4
Minimum	29,5
Mittelwert	38,8 ± 3,7

Die durchschnittlichen, maximalen und minimalen Werte sind in den Abbildungen 21 und 22 graphisch aufgearbeitet.





4.4.3. Vergleich der Bodenreaktionskräfte

Tab. 12: Vertikale Spitzenkraft der Schultergliedmaßen

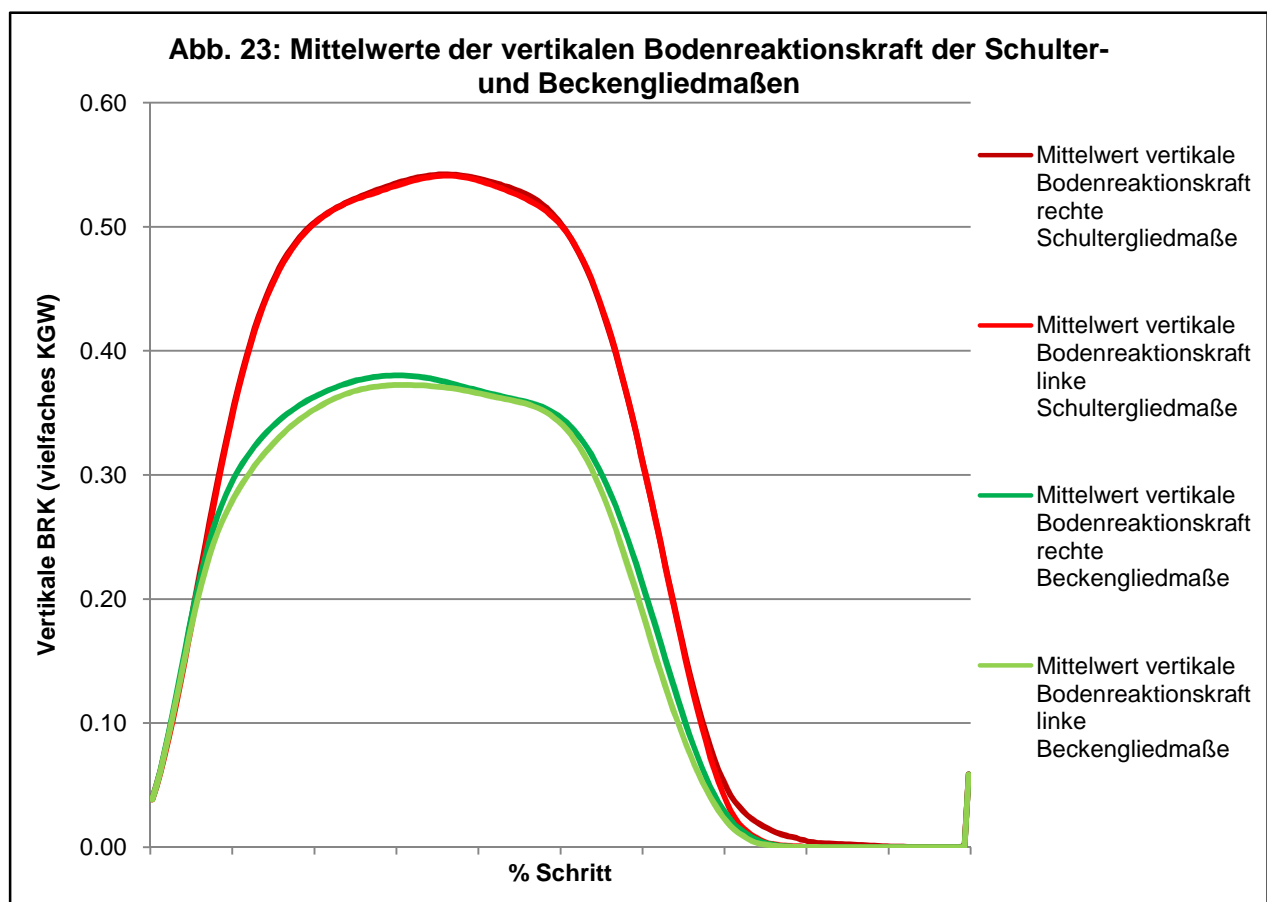
Vertikale Spitzenkraft Schultergliedmaßen	rechte Seite (% KGW)	linke Seite (% KGW)
Maximum	61,9	62,4
Minimum	45,4	45,9
Mittelwert	56,1 ± 3,7	55,8 ± 3,9

Tab. 13: Vertikale Spitzenkraft der Beckengliedmaßen

Vertikale Spitzenkraft Beckengliedmaßen	rechte Seite (% KGW)	linke Seite (% KGW)
Maximum	42,9	44,4
Minimum	31,5	29,5
Mittelwert	38,8 ± 3,0	38,3 ± 3,7

Im Vergleich der rechten mit der linken Vordergliedmaße bestand kein signifikanter Unterschied ($T = 0,2152$; $df = 29$).

Gleiches galt für die Beckengliedmaßen ($T = 0,440$; $df = 28$).



4.4.4. Mittlerer, vertikaler Impuls

Der vertikale Impuls ist ein Maß für die während der Standphase erbrachte vertikale Kraft (Fz) und wird in % KGW*s angegeben.

Tab. 14: Mittlerer, vertikaler Impuls der Standphase

	mittlerer Impuls (% KGW*s)	Maximum (% KGW*s)	Minimum (% KGW*s)
rechte Schultergliedmaße	28,36 ± 1,95	31,64	23,30
linke Schultergliedmaße	28,10 ± 2,11	31,53	22,31
rechte Beckengliedmaße	20,33 ± 1,40	22,54	17,23
linke Beckengliedmaße	19,63 ± 1,98	22,42	14,46

Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der rechten und linken Schultergliedmaße ($T = 0,4339$; $df = 29$). Auch zwischen den beiden Beckengliedmaßen konnte kein signifikanter Seitenunterschied ermittelt werden ($T = 1,1923$; $df = 26$).

Der vertikale Impuls korreliert weder mit dem Gewicht noch mit der Widerristhöhe oder den Segmentlängen.

4.4.5. Gewichtsverteilung

Unter der Gewichtsverteilung versteht man die vertikale Spitzenkraft in % KGW einer Gliedmaße dividiert durch die Summe der vertikalen Spitzenkräfte aller Gliedmaßen.

Es ergibt sich folgende Verteilung:

Tab. 15: Gewichtsverteilung

	Gewichtsverteilung in % Körpergewicht
rechte Schultergliedmaße	29,60 ± 1,72
linke Schultergliedmaße	29,46 ± 1,74
rechte Beckengliedmaße	20,61 ± 1,55
linke Beckengliedmaße	20,32 ± 1,81
Schultergliedmaßen gesamt	59,07
Beckengliedmaßen gesamt	40,93
rechte Körperhälfte	50,22
linke Körperhälfte	49,78

In Bezug auf die Gewichtsverteilung wurde kein Seitenunterschied ermittelt (vorne: $T = 0,2182$; $df = 29$; hinten: $T = 0,4787$; $df = 29$).

Die Vorderbeine trugen also etwa 60 % und die Hinterbeine 40 % der auftretenden Kraft. Dabei wurde keine Körperhälfte bevorzugt. Die Last wurde zu nahezu gleichen Teilen von der rechten und der linken Körperhälfte getragen.

Betrachtet man den mittleren, vertikalen Impuls einer Gliedmaße, dividiert durch die Summe der Impulse aller Gliedmaßen, ergibt sich die in Tabelle 16 dargestellte Aufteilung:

Tab. 16: Gewichtsverteilung in Bezug auf den Impuls

	Impuls/Gesamtimpuls
rechte Schultergliedmaße	29,86 ± 1,83
linke Schultergliedmaße	29,22 ± 2,33
rechte Beckengliedmaße	20,93 ± 1,90
linke Beckengliedmaße	19,99 ± 2,20
Schultergliedmaßen gesamt	59,08
Beckengliedmaßen gesamt	40,92
rechte Körperhälfte	50,79
linke Körperhälfte	49,21

Erwartungsgemäß bestätigen diese Ergebnisse die beschriebene Verteilung der Last auf die Gliedmaßen. Beide Körperhälften wurden gleich stark belastet: jedes Vorderbein mit etwa 30 % und jedes Hinterbein mit etwa 20 %.

4.4.6. Zeitpunkt der vertikalen Spitzenkraft

Für den Zeitpunkt des Schrittes zu dem der maximale vertikale Spitzenwert einer jeden Gliedmaße erreicht wurde, konnten folgende Werte ermittelt werden:

Die beiden Vorderbeine erreichten nach $0,345 \pm 0,056$ s (rechts) und $0,319 \pm 0,073$ s (links) die maximale vertikale Belastung. Sie unterschieden sich dabei nicht signifikant ($T = 1,0751$; $df = 28$).

Für die Hinterbeine wurden $0,309 \pm 0,040$ s (rechts) und $0,319 \pm 0,044$ s (links) bis zum Erreichen von F_{zmax} gemessen. Auch hier zeigte sich kein signifikanter Seitenunterschied ($T = -0,6876$; $df = 29$).

Daraus ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Werten der Vorder- und Hinterbeine ($T = 1,2801$; $df = 52$).

Bezieht man den Zeitpunkt des Erreichens der vertikalen Spitzenkraft (F_{zmax}) auf die Dauer der Standphase, so wurde F_{zmax} von den Schultergliedmaßen im Mittel nach $45,6 \pm 8,5$ % der Standphase und von den Hinterbeinen nach durchschnittlich $43,9 \pm 5,9$ % der Standphase erreicht. Es trat kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gliedmaßenpaaren auf ($T = 0,9157$; $df = 55$).

4.4.7. Belastungs- und Entlastungsgeschwindigkeit

Die Geschwindigkeit in der ein Tier mit einer Gliedmaße Last aufnimmt bzw. ein Bein entlastet wird in % KGW/s angegeben. Mathematisch betrachtet handelt es sich dabei um die positive und negative Steigung der Kurve in einem Diagramm der vertikalen Kraft gegen die Zeit.

Tab. 17: Belastungs- und Entlastungsrate

Angaben in % KGW/ s	Belastung	Entlastung
rechte Schultergliedmaße	3,034 ± 0,568	-2,893 ± 0,232
linke Schultergliedmaße	3,156 ± 0,624	-2,954 ± 0,340
	T = -0,5614; df = 29	T = 0,5751; df = 26
rechte Beckengliedmaße	2,572 ± 0,554	-2,011 ± 0,477
linke Beckengliedmaße	2,317 ± 0,639	-2,046 ± 0,403
	T = 1,1704; df = 29	T = 0,2203; df = 29

Weder in Bezug auf die Schulter- noch auf die Beckengliedmaßen ergab sich ein signifikanter Seitenunterschied. Jedoch zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Vorder- und Hinterbeinen sowohl bei der Betrachtung der Lastübernahme (T = 4,2261; df = 61) als auch bei der Entlastungsrate (T = -9,459; df = 53). Die Vorderbeine zeigten also eine höhere Belastungs- und Entlastungsrate als die Hinterbeine.

4.5. Kinematik

Die kinematischen Daten wurden mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests und des 2-Stichproben-t-Tests für verbundene bzw. unabhängige Stichproben auf Normalverteilung und signifikante Unterschiede untersucht. Zur Ermittlung von Zusammenhängen wurde der Korrelationskoeffizient errechnet. Für alle Proben wurde das Signifikanzniveau auf 5 % ($\alpha = 0,05$) festgelegt.

4.5.1. Anzahl der ausgewerteten Schritte

Bei allen 16 Hunden konnten alle Gelenke kinematisch untersucht werden. Wie viele Schritte eines jeden Hundes für die Auswertung der kinematischen Parameter herangezogen werden konnten, zeigt folgende Tabelle:

Tab. 18: Anzahl der ausgewerteten Schritte (Kinematik) pro Hund

Hund Nr.	Anzahl der ausgewerteten Schritte			
	rechte VGLM	linke VGLM	rechte HGLM	linke HGLM
1	15	23	52	59
2	30	34	50	57
3	45	37	14	15
4	90	106	63	57
5	59	98	41	29
6	36	37	124	102
7	104	75	84	84
8	110	110	149	122
9	49	41	50	45
10	92	84	32	15
11	48	33	83	45
12	46	36	50	38
13	52	39	20	17
14	56	77	71	42
15	99	106	116	98
16	53	6	30	36
gesamt	984	942	1029	861

VGLM: Vordergliedmaße, HGLM: Hintergliedmaße; maximale Anzahl einer Gliedmaße fett unterlegt

Im Durchschnitt konnten für jeden Hund je Gliedmaße 53 Schritte ausgewertet werden.

Weniger als 10 Schritte wurden nur bei einem Hund bzw. einer Gliedmaße ausgewertet. Für alle anderen Hunde und Gliedmaßen konnten mehr als 10 Schritte verwertet werden.

4.5.2. Gelenkwinkel

Für die großen Gelenke des Körpers wurden jeweils für beide Körperseiten die maximalen und minimalen Gelenkwinkel ermittelt.

4.5.2.1. Schultergelenkwinkel

Tab. 19: Schultergelenkwinkel

	Schultergelenk rechts	Schultergelenk links
Maximum	155,6 ± 8,7	149,5 ± 7,7
Minimum	118,1 ± 8,8	113,5 ± 7,6
df = 29	T = 2,0270	T = 1,5174

Weder bezüglich der Maxima noch der Minima ergab sich ein signifikanter Seitenunterschied.

Die Winkelverläufe aller Hunde sind in den Abbildungen 24-26 dargestellt.

4.5.2.2. Ellbogengelenkwinkel

Tab. 20: Ellbogengelenkwinkel

	Ellbogengelenk rechts	Ellbogengelenk links
Maximum	156,9 ± 10,0	153,9 ± 10,1
Minimum	102,7 ± 9,5	97,5 ± 11,1
df = 29	T = 0,8320	T = 1,3751

Bezüglich des Ellbogengelenkwinkels fand sich weder bei den maximalen noch bei den minimalen Werte ein signifikanter Seitenunterschied.

Die Mittelwerte der Gelenkwinkel aller Hunde sind in den Abbildungen 27-29 veranschaulicht.

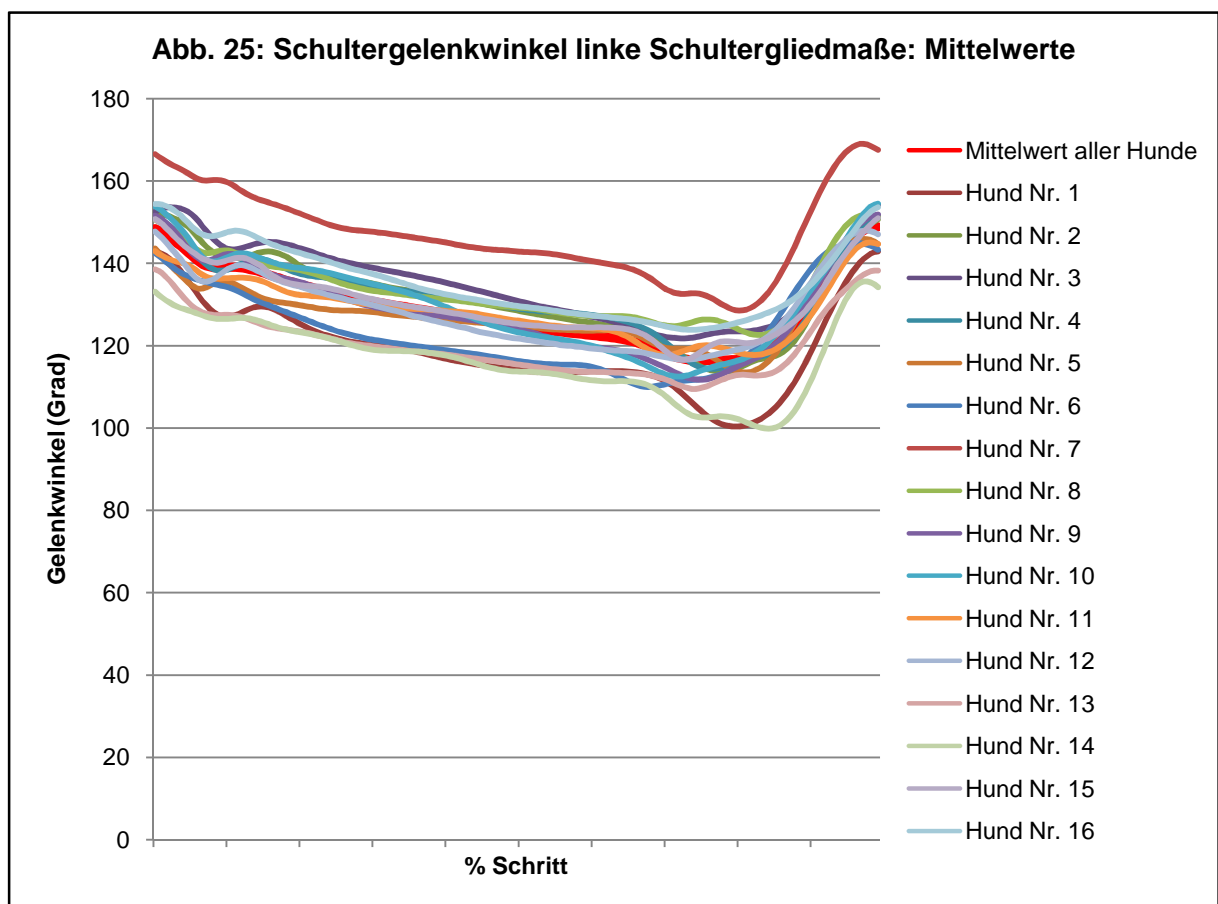
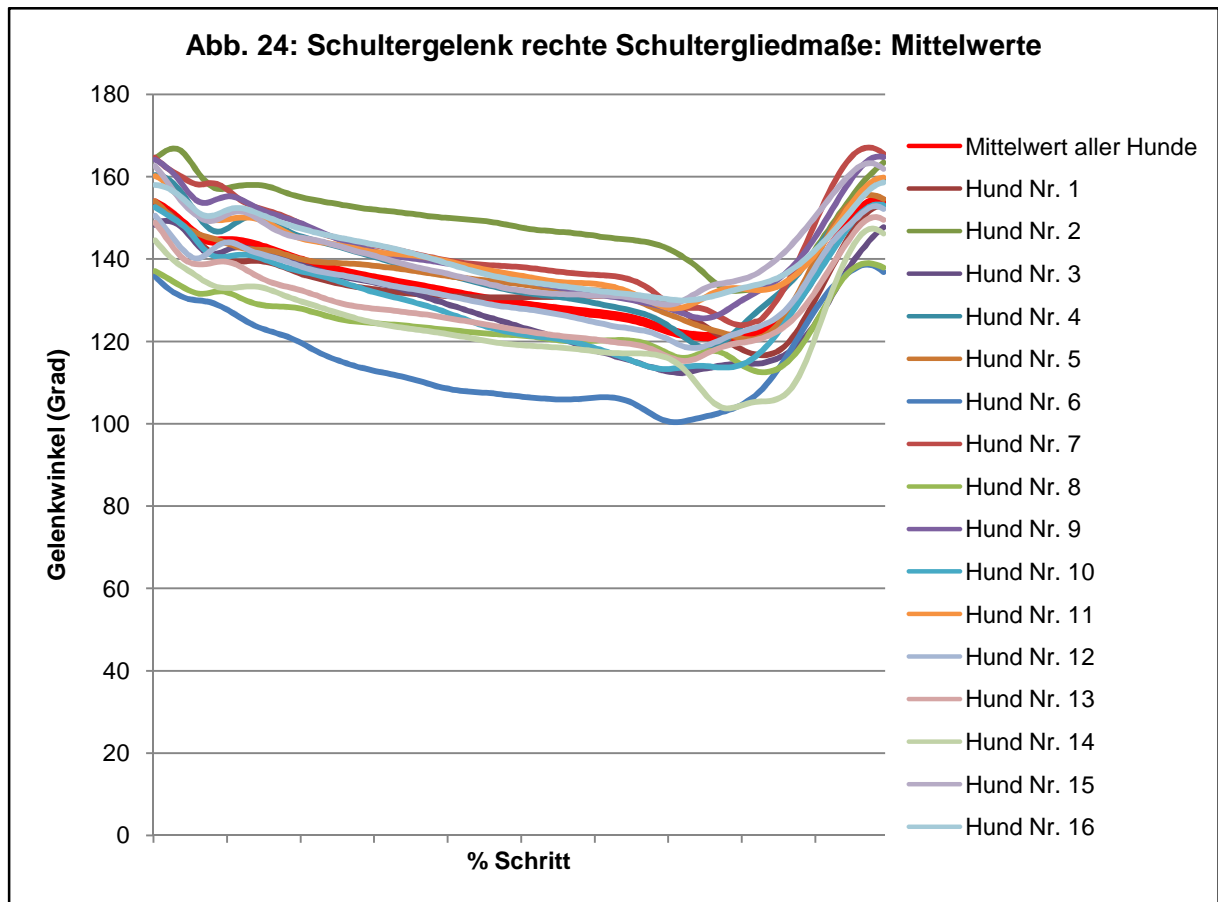
4.5.2.3. Karpalgelenkwinkel

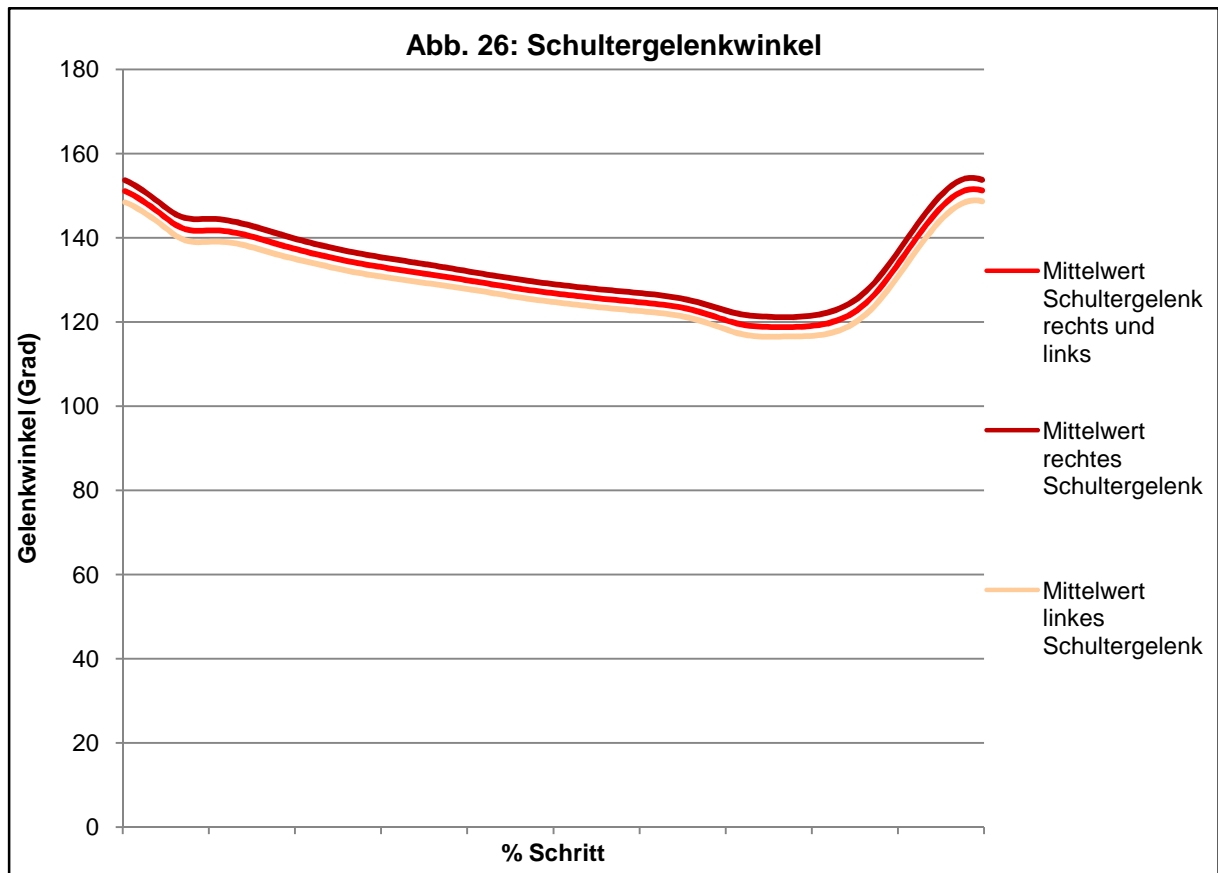
Auch die Winkelverläufe der Karpalgelenke zeigten keinen signifikanten Seitenunterschied.

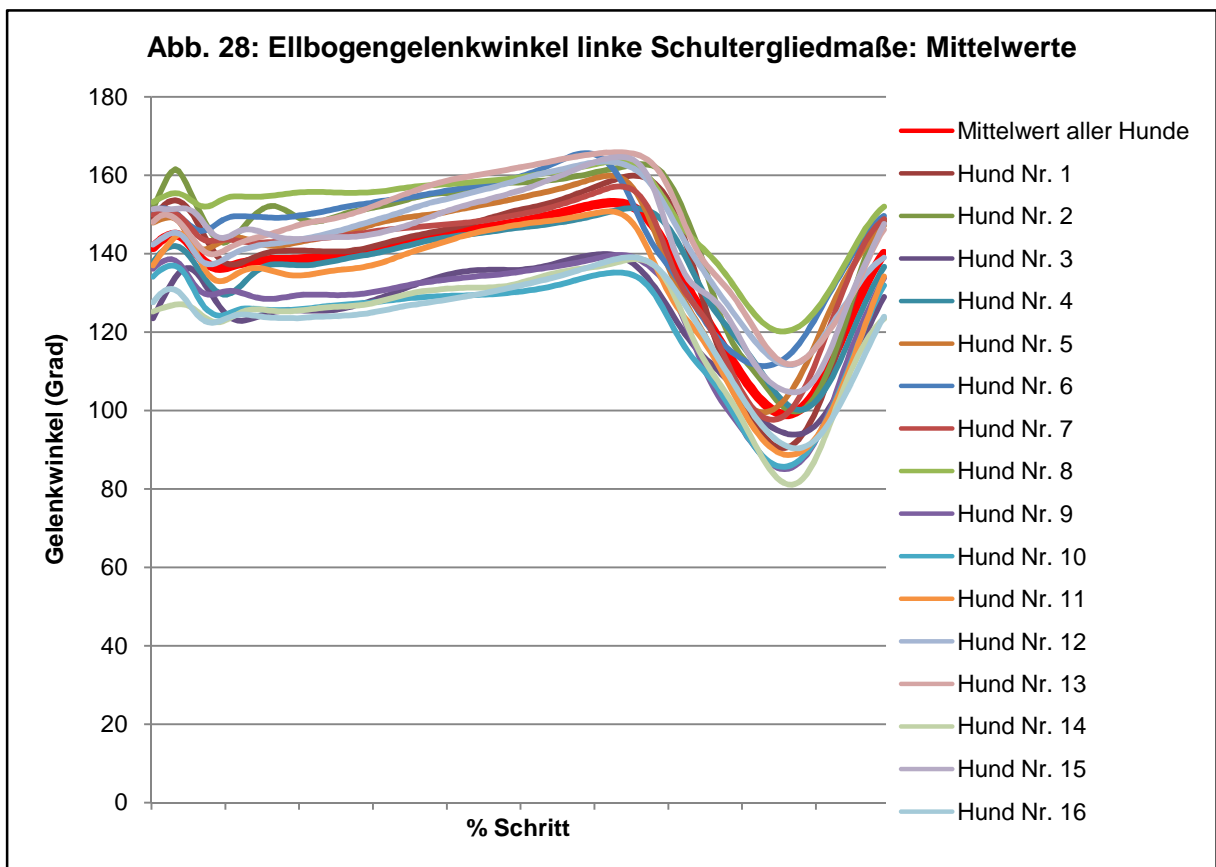
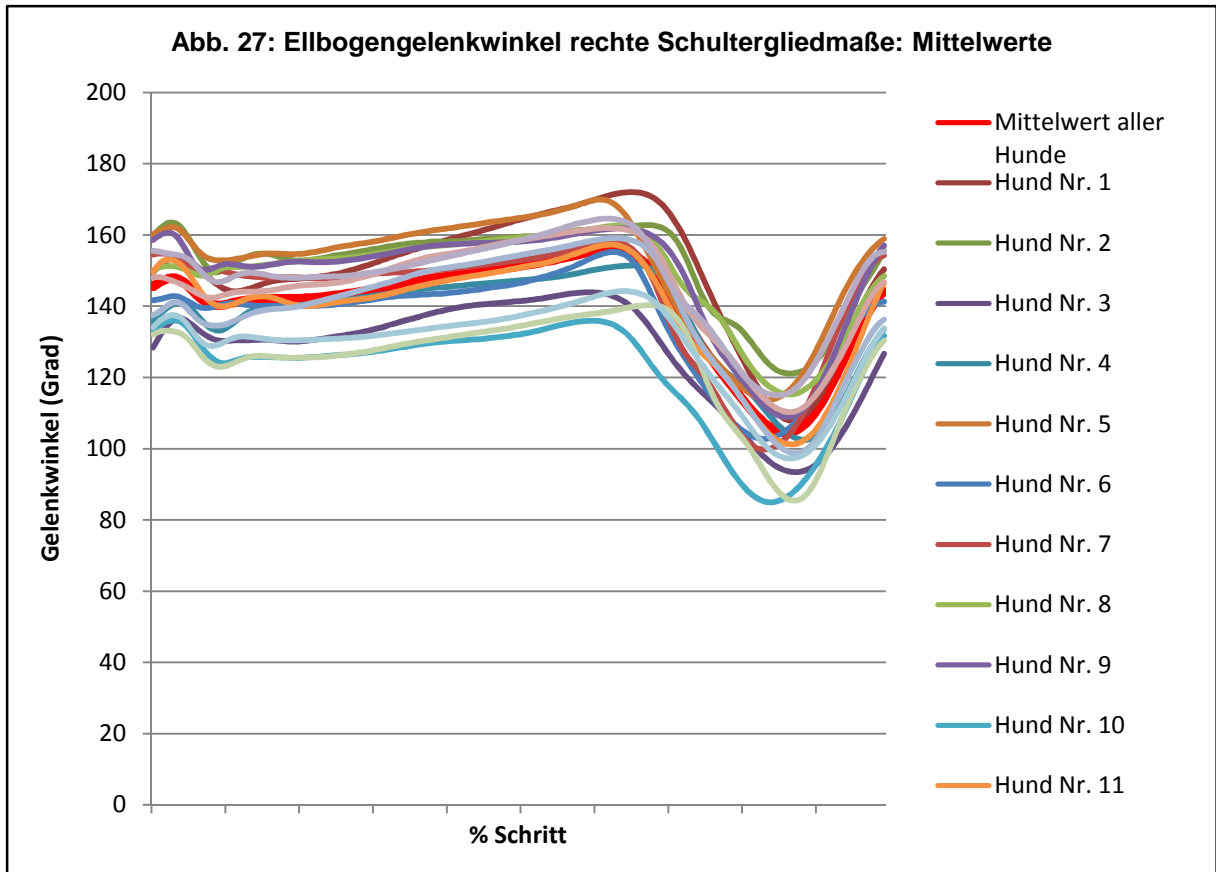
Tab. 21: Karpalgelenkwinkel

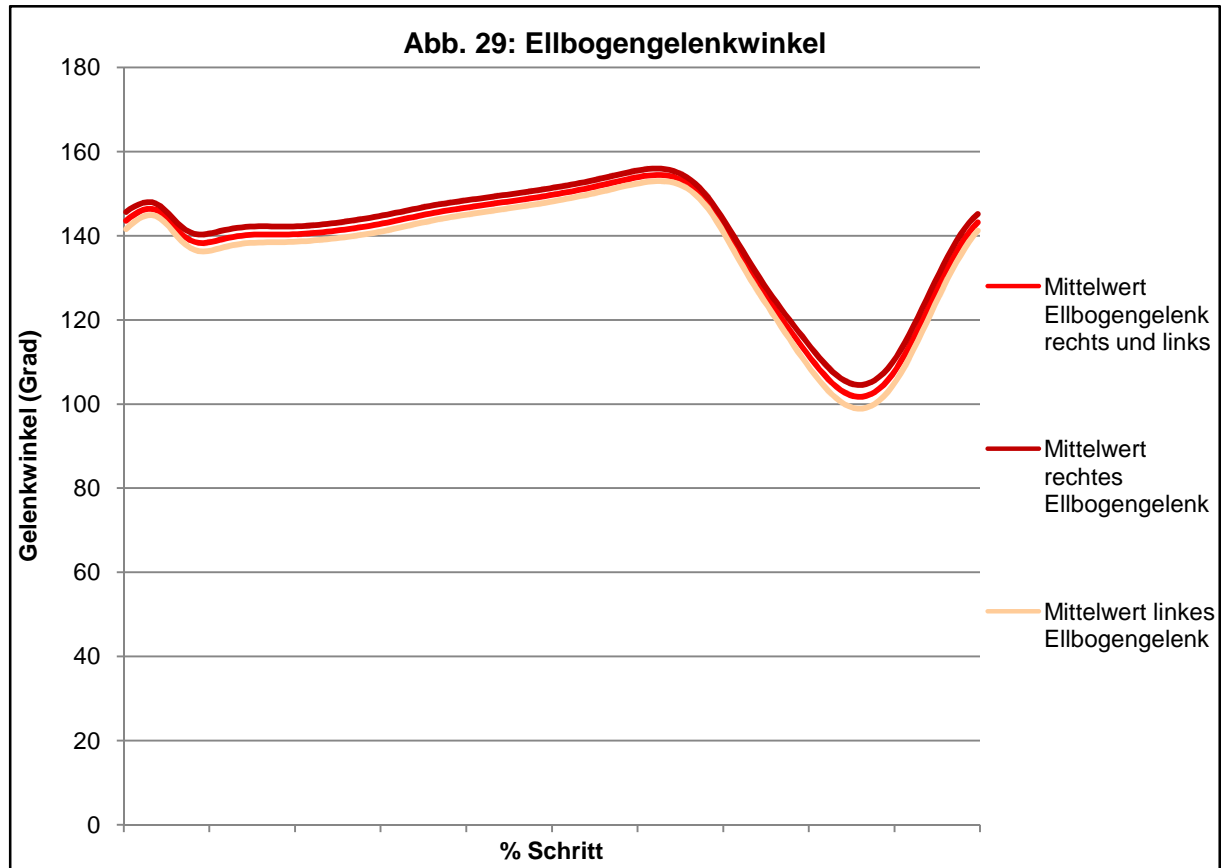
	Karpalgelenk rechts	Karpalgelenk links
Maximum	208,8 ± 10,8	207,7 ± 9,5
Minimum	113,6 ± 12,1	114,6 ± 9,7
df = 29	T = 0,3190	T = -0,2563

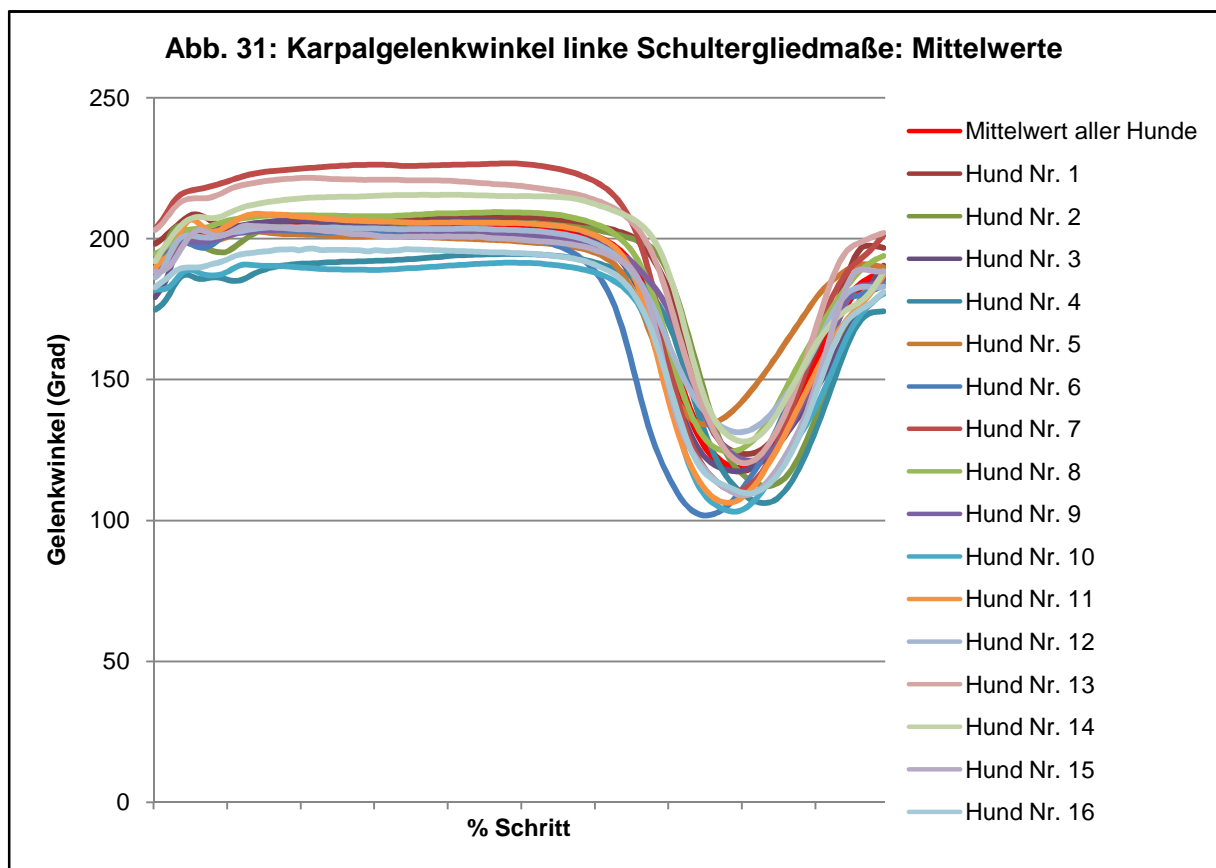
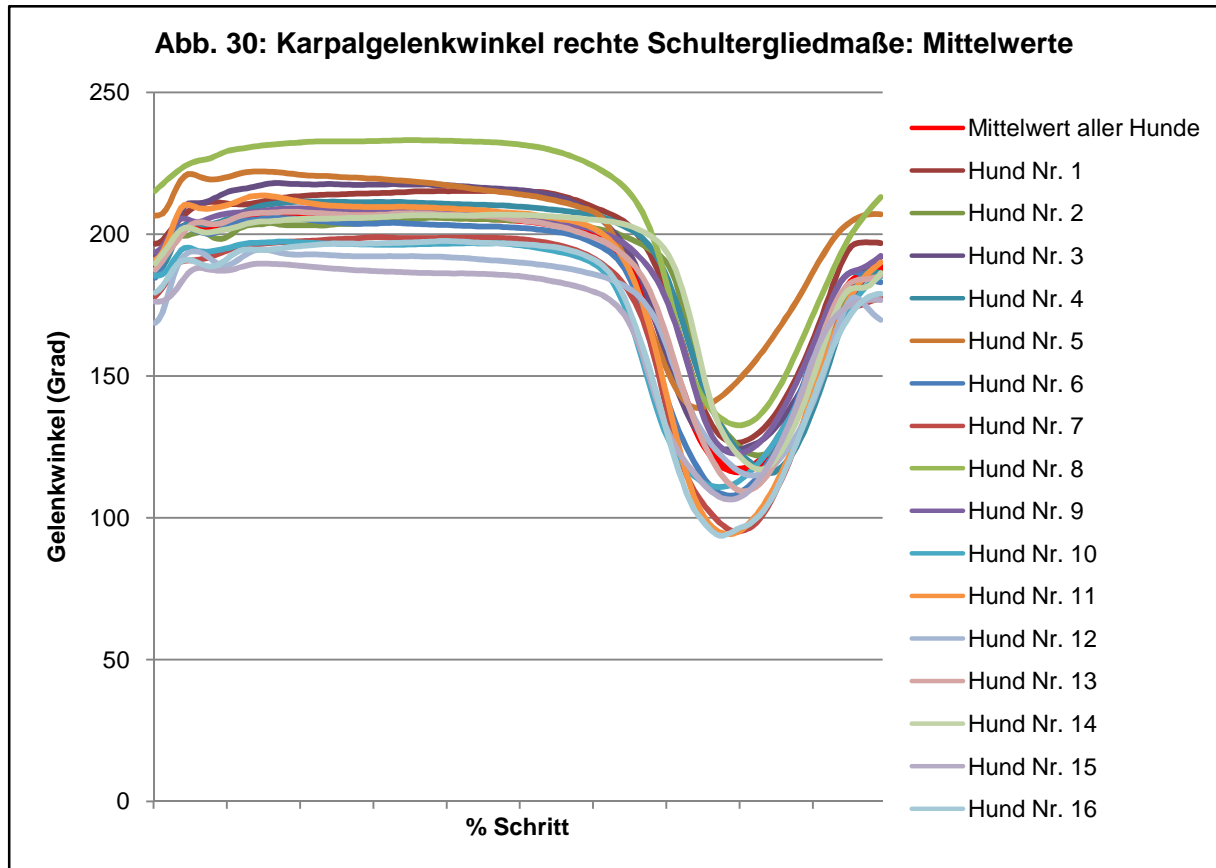
Die Veränderungen der Gelenkwinkel während des Schrittes sind in den Abbildungen 30-32 aufgezeigt.

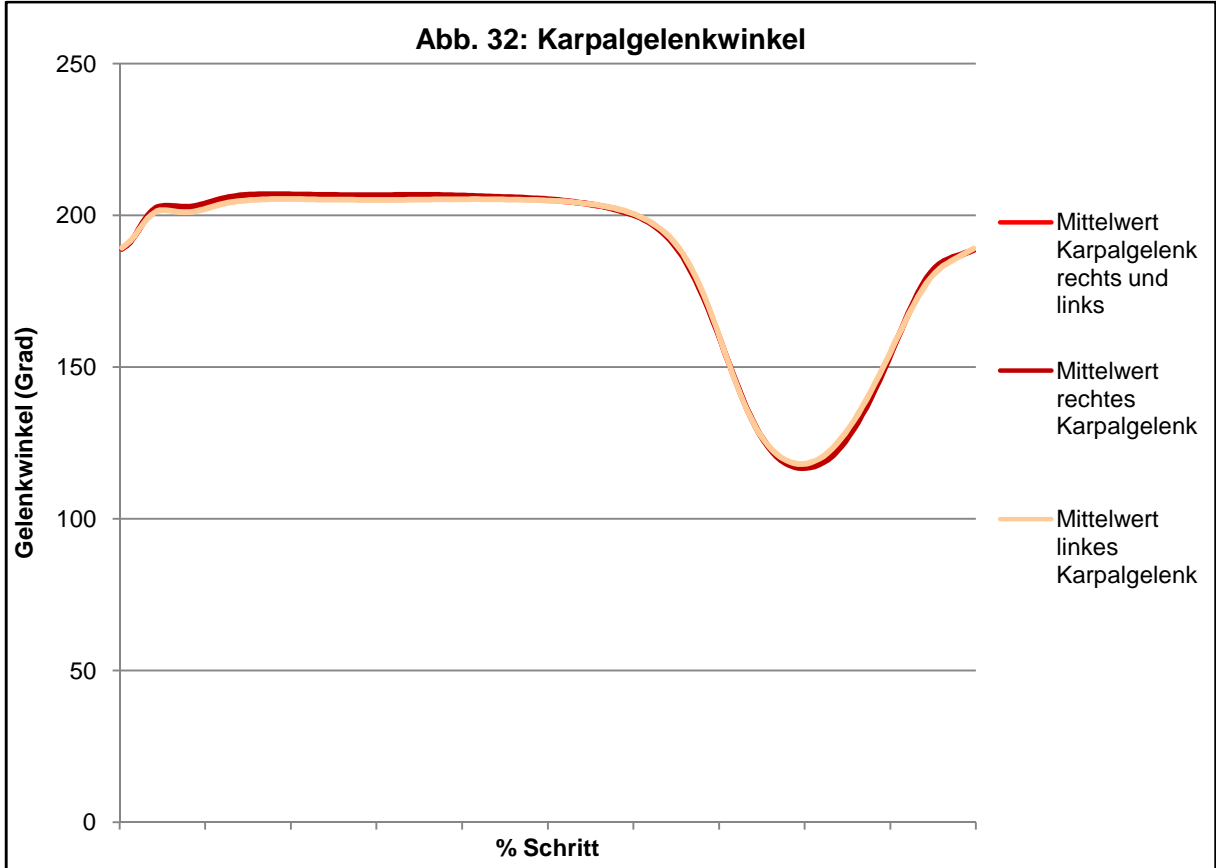












4.5.2.4. Hüftgelenkwinkel

Die Maxima und Minima der Hüftgelenkwinkel der rechten und der linken Beckengliedmaße unterschieden sich nicht signifikant.

Tab. 22: Hüftgelenkwinkel

	Hüftgelenk rechts	Hüftgelenk links
Maximum	122,8 ± 12,0	121,2 ± 10,0
Minimum	88,8 ± 11,9	86,7 ± 10,9
df = 29	T = 0,3974	T = 0,5060

In den Abbildungen 33-35 sind die Verläufe der Gelenkwinkel graphisch verarbeitet.

4.5.2.5. Kniegelenkwinkel

Es zeigte sich kein signifikanter Seitenunterschied zwischen den Maxima und Minima des rechten und linken Kniegelenks.

Tab. 23: Kniegelenkwinkel

	Kniegelenk rechts	Kniegelenk links
Maximum	137,2 ± 5,7	133,8 ± 7,9
Minimum	98,9 ± 5,3	95,9 ± 6,6
	T = 1,3591, df = 27	T = 1,0297, df = 28

Die Graphiken zu den Kniegelenkwinkeln befinden sich in den Abbildungen 36-38.

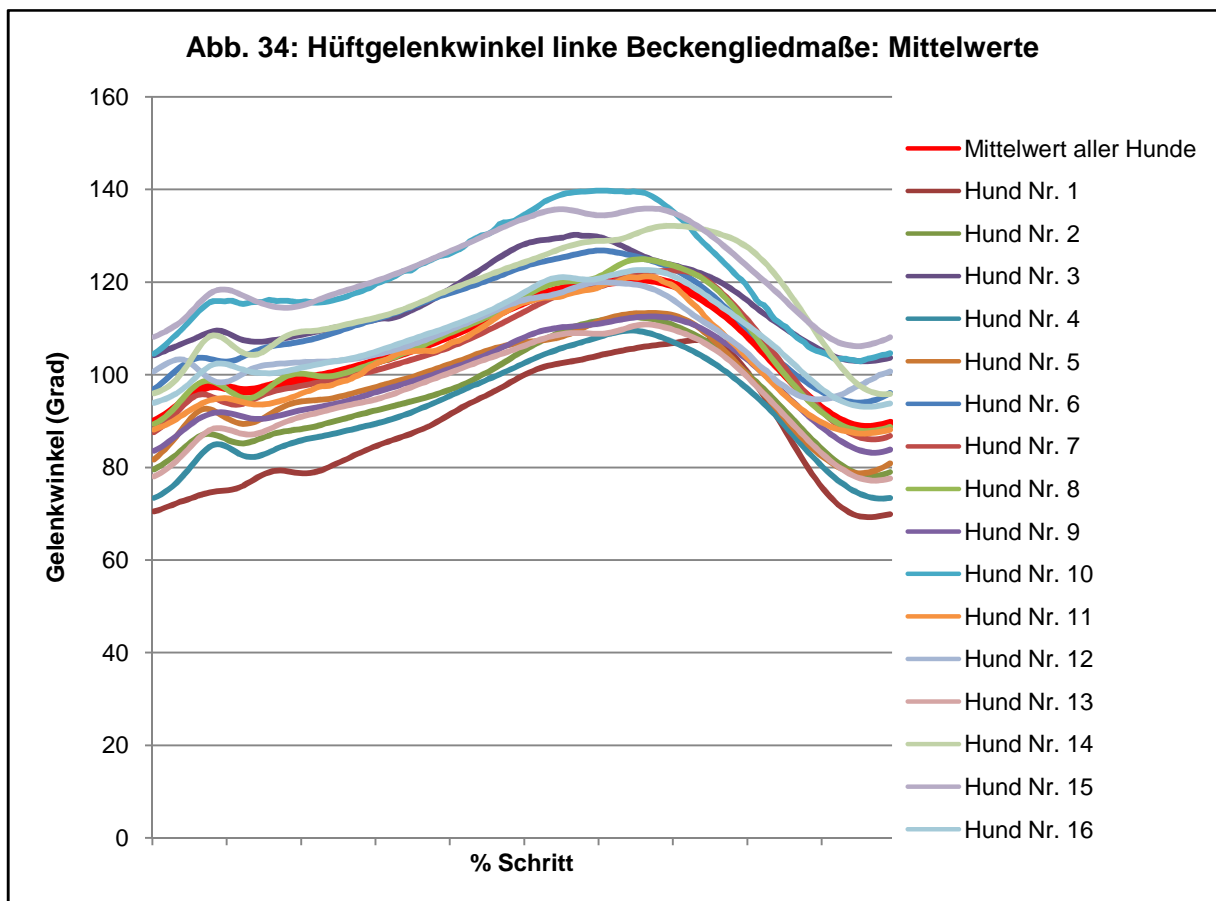
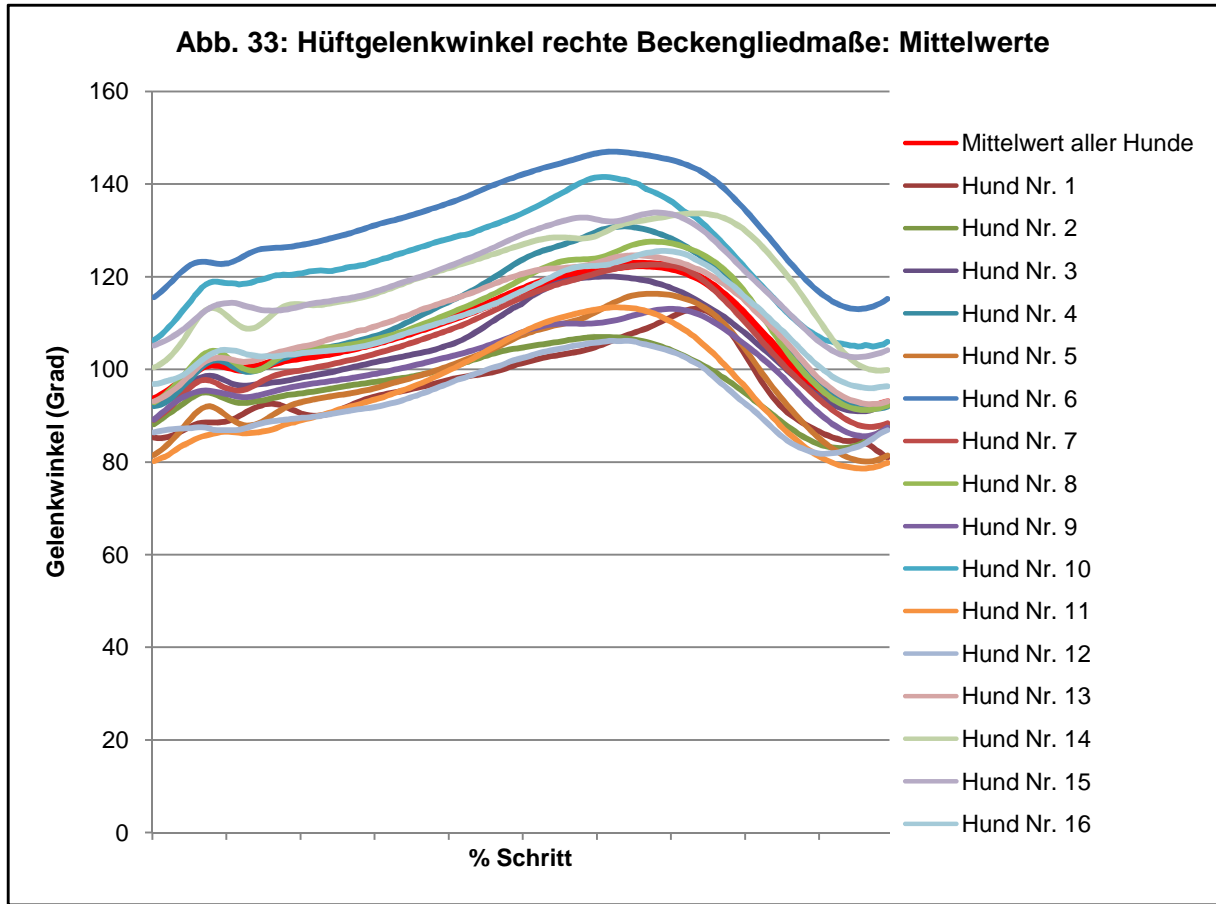
4.5.2.6. Sprunggelenkwinkel

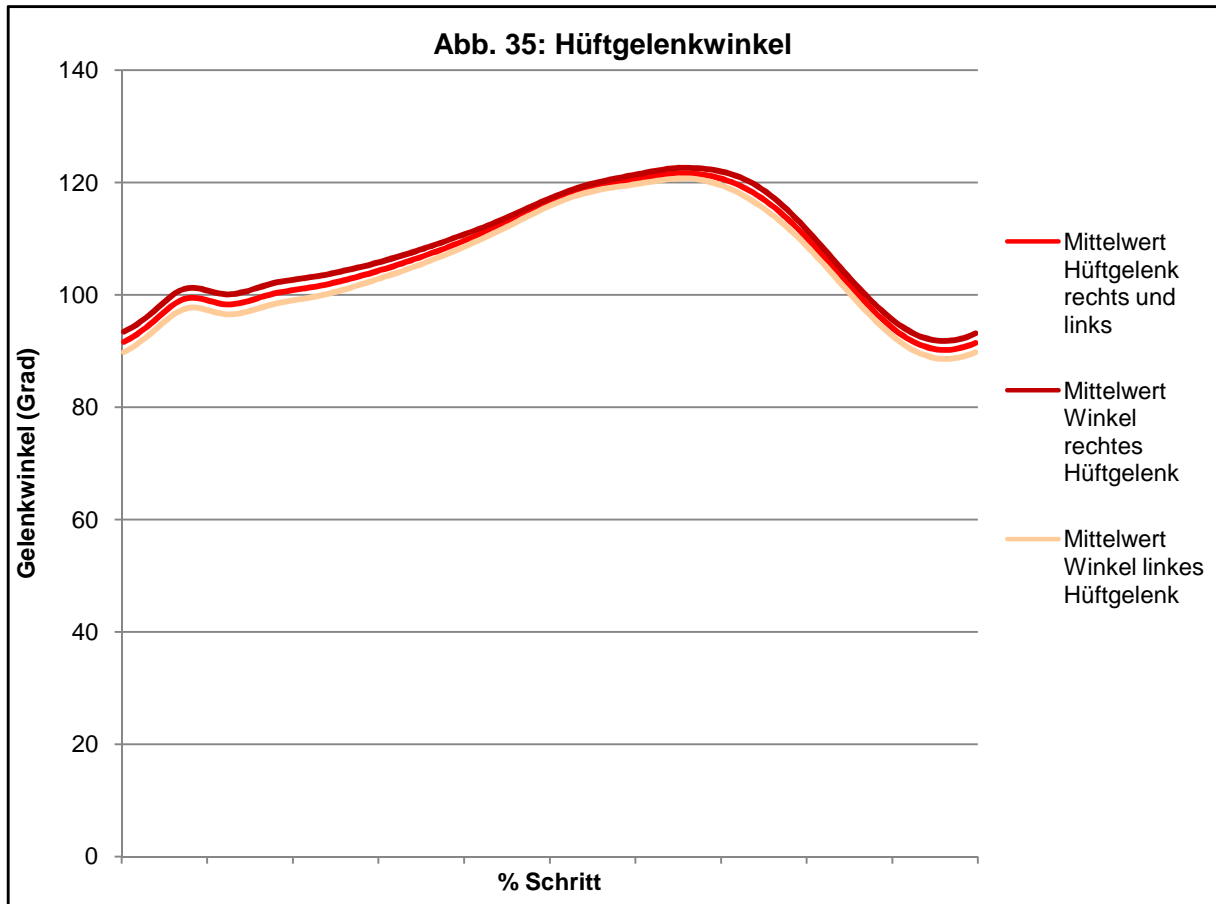
Die maximalen und minimalen Sprunggelenkwinkel des rechten und linken Hinterbeins unterschieden sich nicht signifikant.

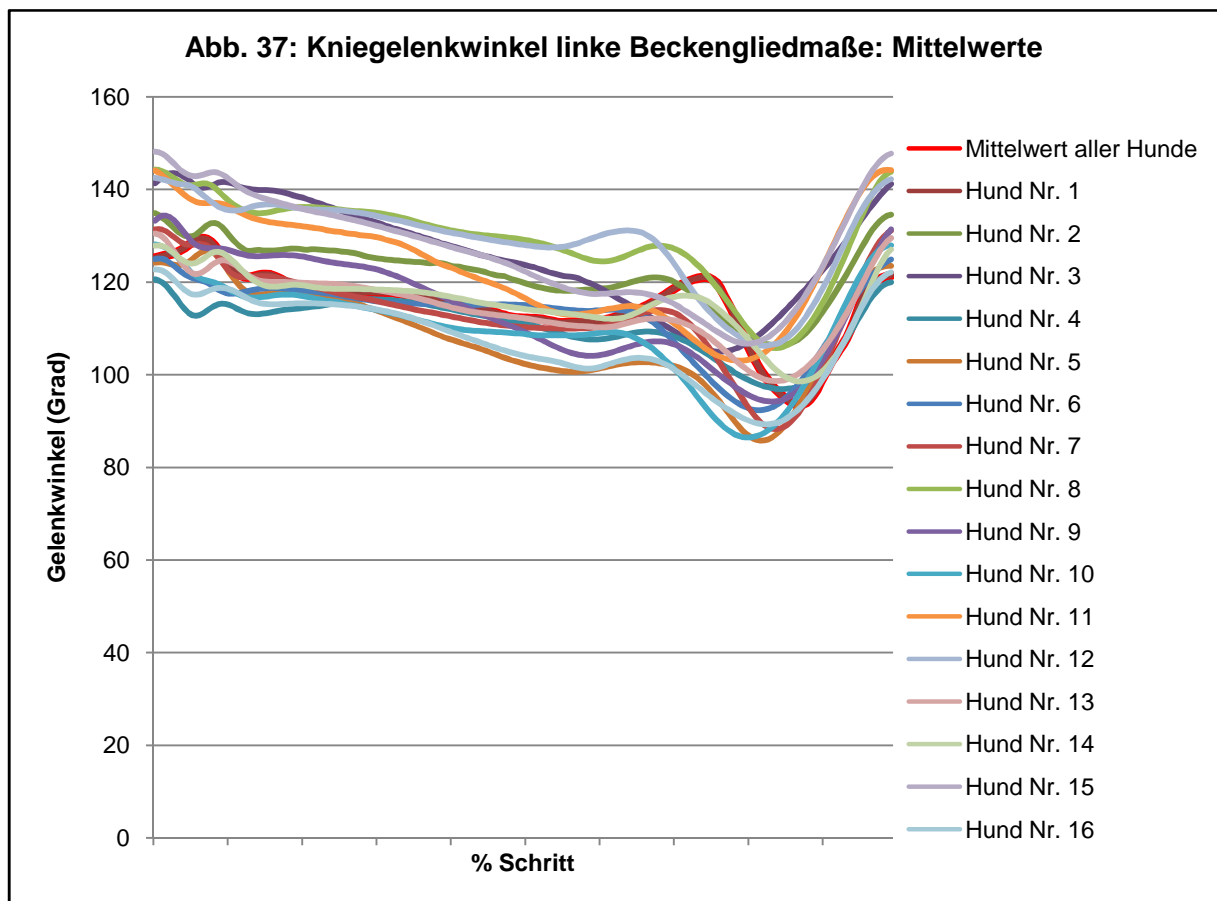
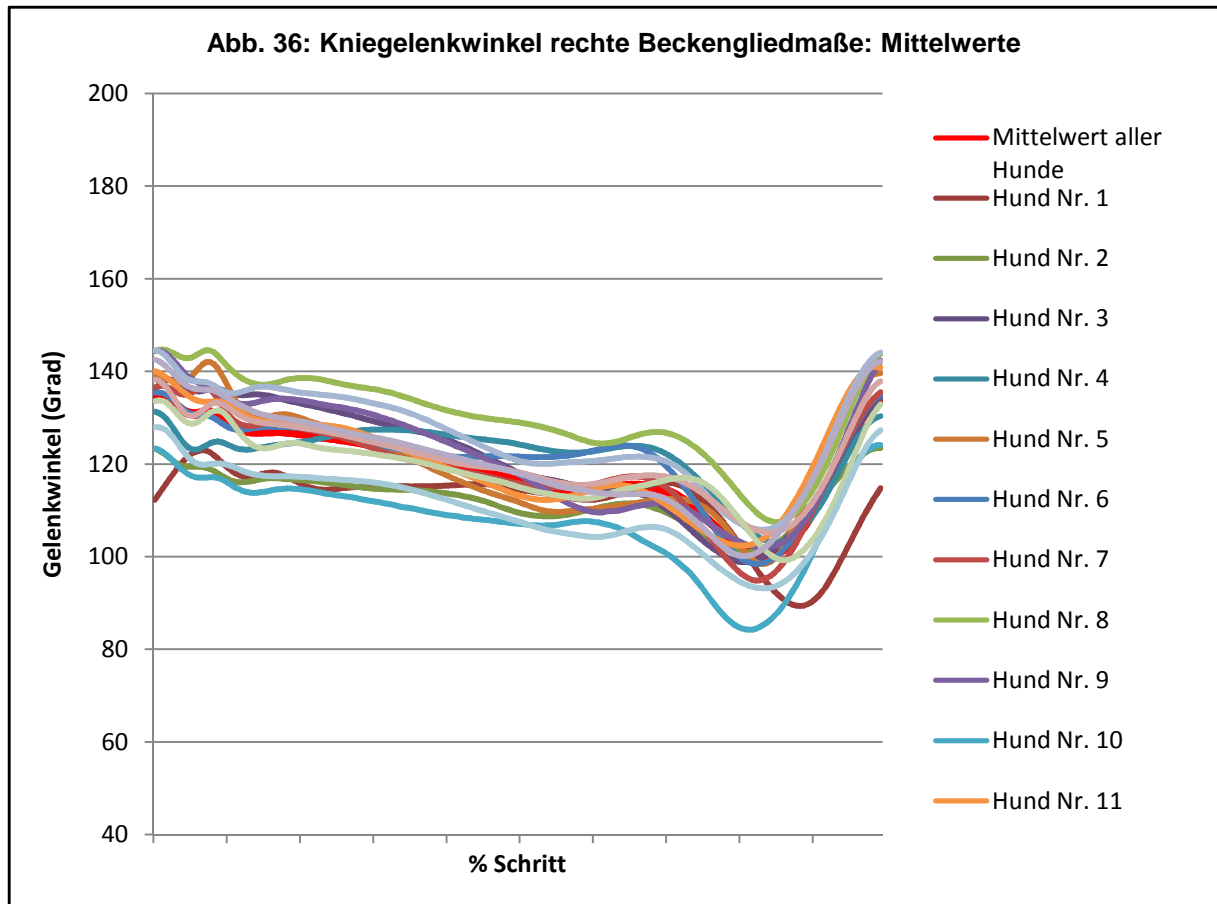
Tab. 24: Sprunggelenkwinkel

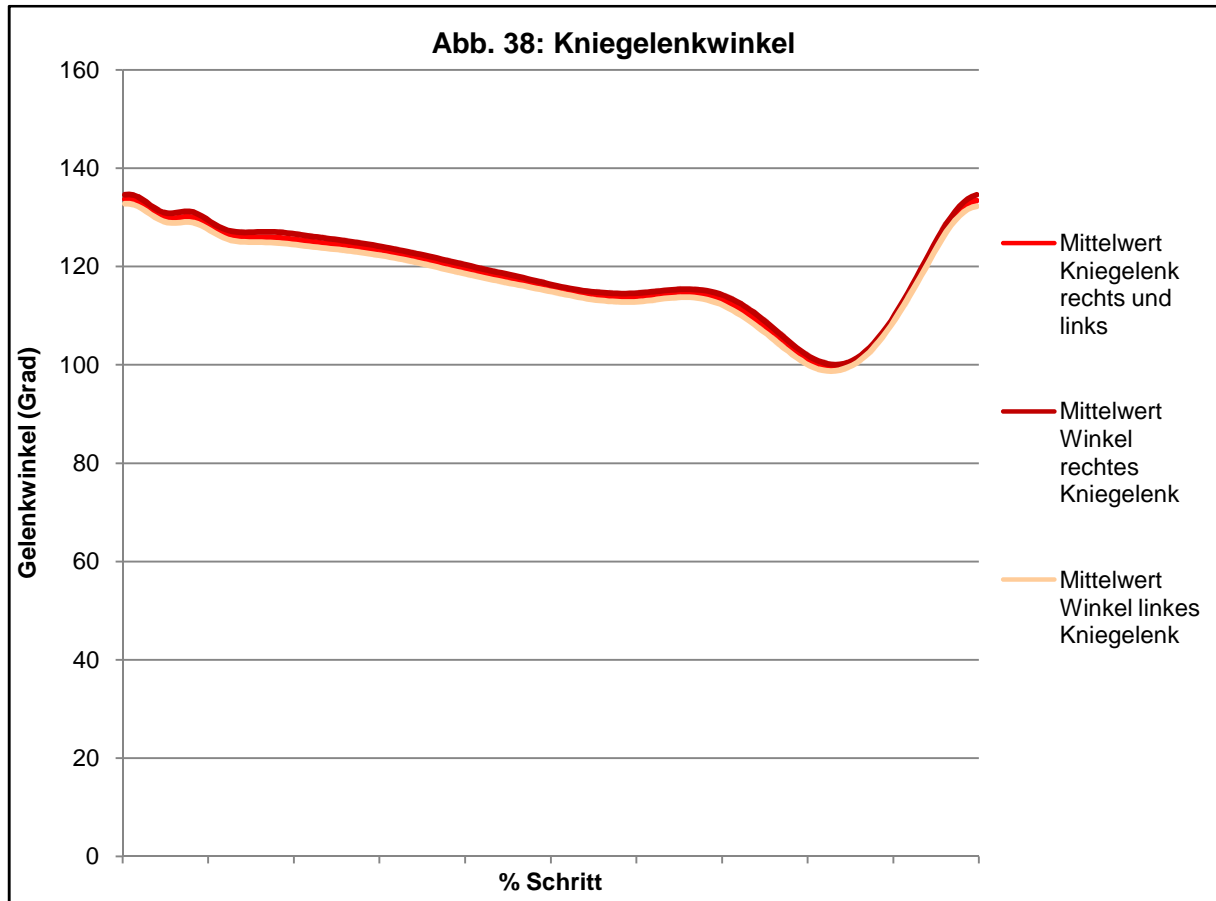
	Sprunggelenk rechts	Sprunggelenk links
Maximum	143,7 ± 5,4	141,5 ± 6,7
Minimum	105,7 ± 8,1	104,0 ± 8,1
	T = 0,9934, df = 28	T = 0,5609, df = 29

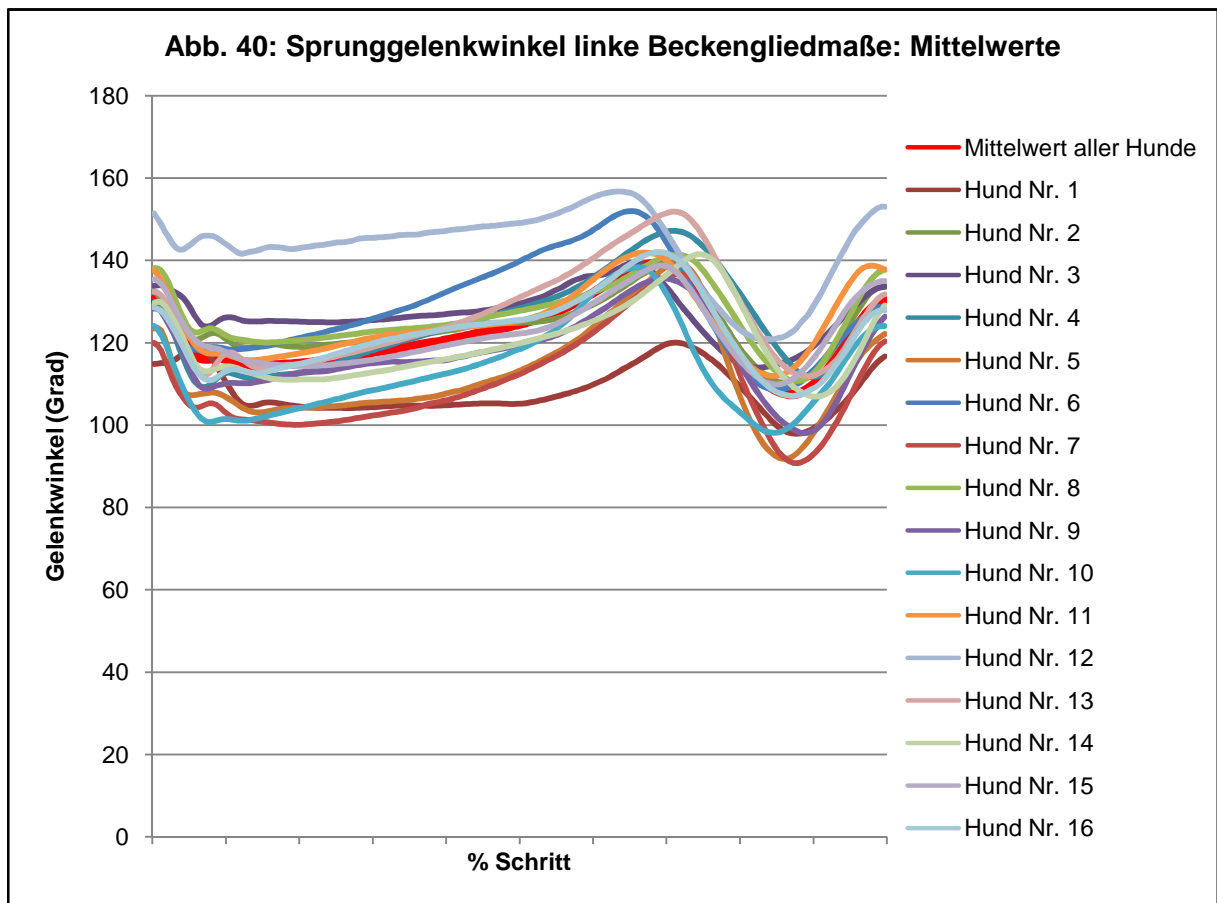
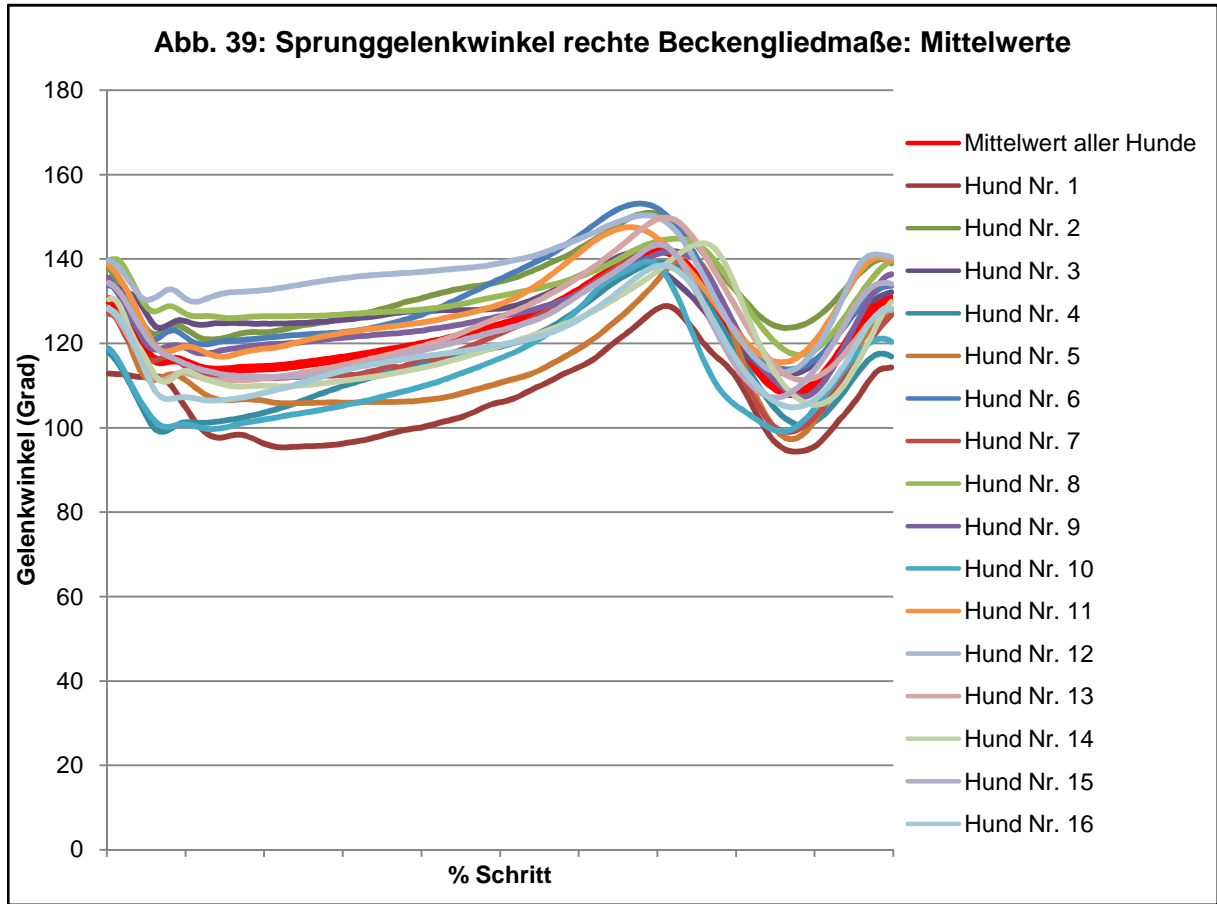
In den Abbildungen 39-41 sind die Verläufe der Sprunggelenkwinkel aufgearbeitet.

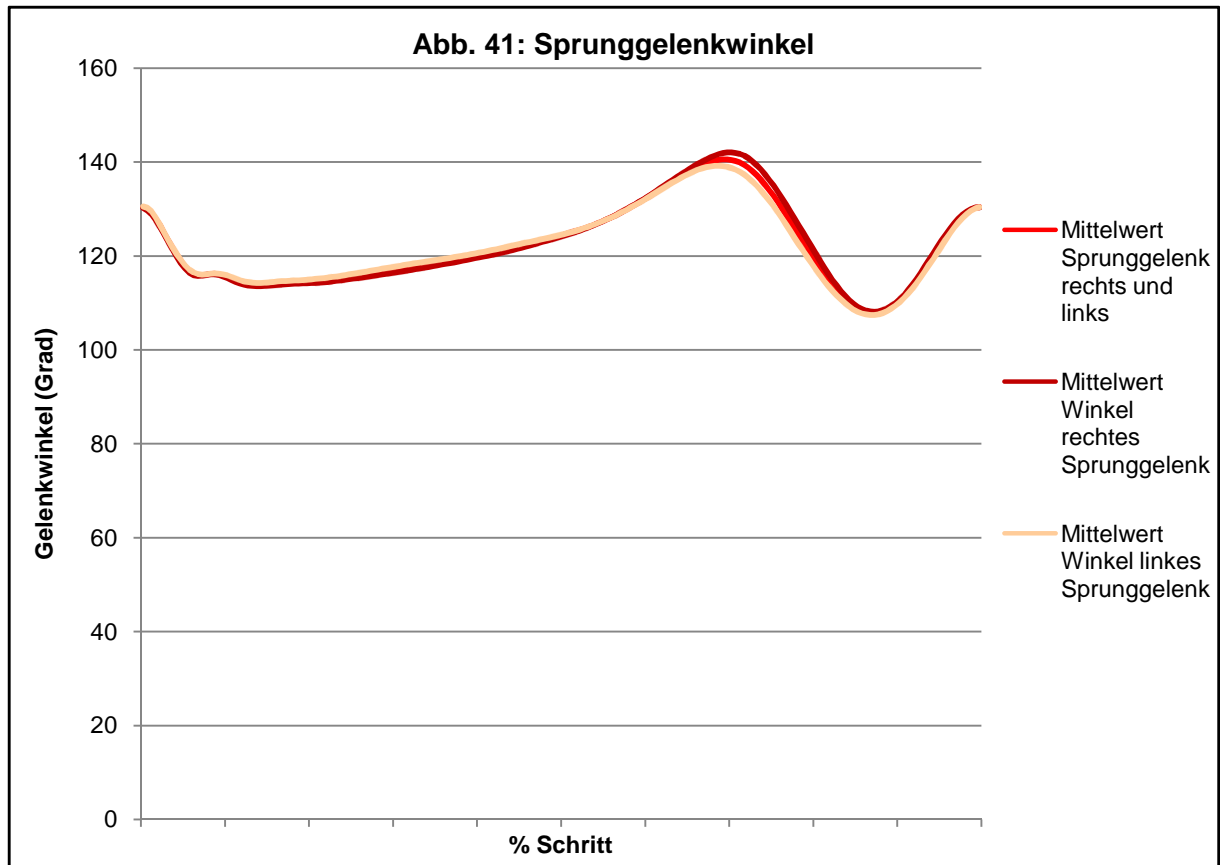












4.5.3. Bewegungsumfang der Gelenke

Die Differenzen der oben genannten maximalen und minimalen Gelenkwinkel stellen den Bewegungsumfang (**Range Of Motion**) eines Gelenks dar.

In nachfolgender Tabelle ist der Bewegungsumfang der großen Gelenke dargestellt:

Tab. 25: Bewegungsumfang

	Bewegungsumfang	
Schultergelenk rechts	37,5 ± 4,6	T = 0,9196, df = 29
Schultergelenk links	36,0 ± 4,6	
Ellbogengelenk rechts	54,2 ± 4,8	T = -1,0330, df = 27
Ellbogengelenk links	56,4 ± 6,4	
Karpalgelenk rechts	95,3 ± 10,7	T = 0,5436, df = 29
Karpalgelenk links	93,1 ± 11,6	
Hüftgelenk rechts	34,0 ± 4,2	T = -0,3688, df = 28
Hüftgelenk links	34,5 ± 3,3	
Kniegelenk rechts	39,0 ± 4,7	T = 0,6392, df = 29
Kniegelenk links	37,8 ± 5,3	
Sprunggelenk rechts	38,0 ± 6,4	T = 0,2319, df = 29
Sprunggelenk links	37,5 ± 6,5	

In keinem Fall besteht ein signifikanter Unterschied zwischen dem Bewegungsumfang der rechten und der linken Gliedmaße.

In den Abbildungen 42 und 43 sind die Winkelverläufe für die Gelenke der Schulter- und Beckengliedmaße graphisch gegenübergestellt.

Abb. 42: Gelenkwinkelverläufe der Schultergliedmaße

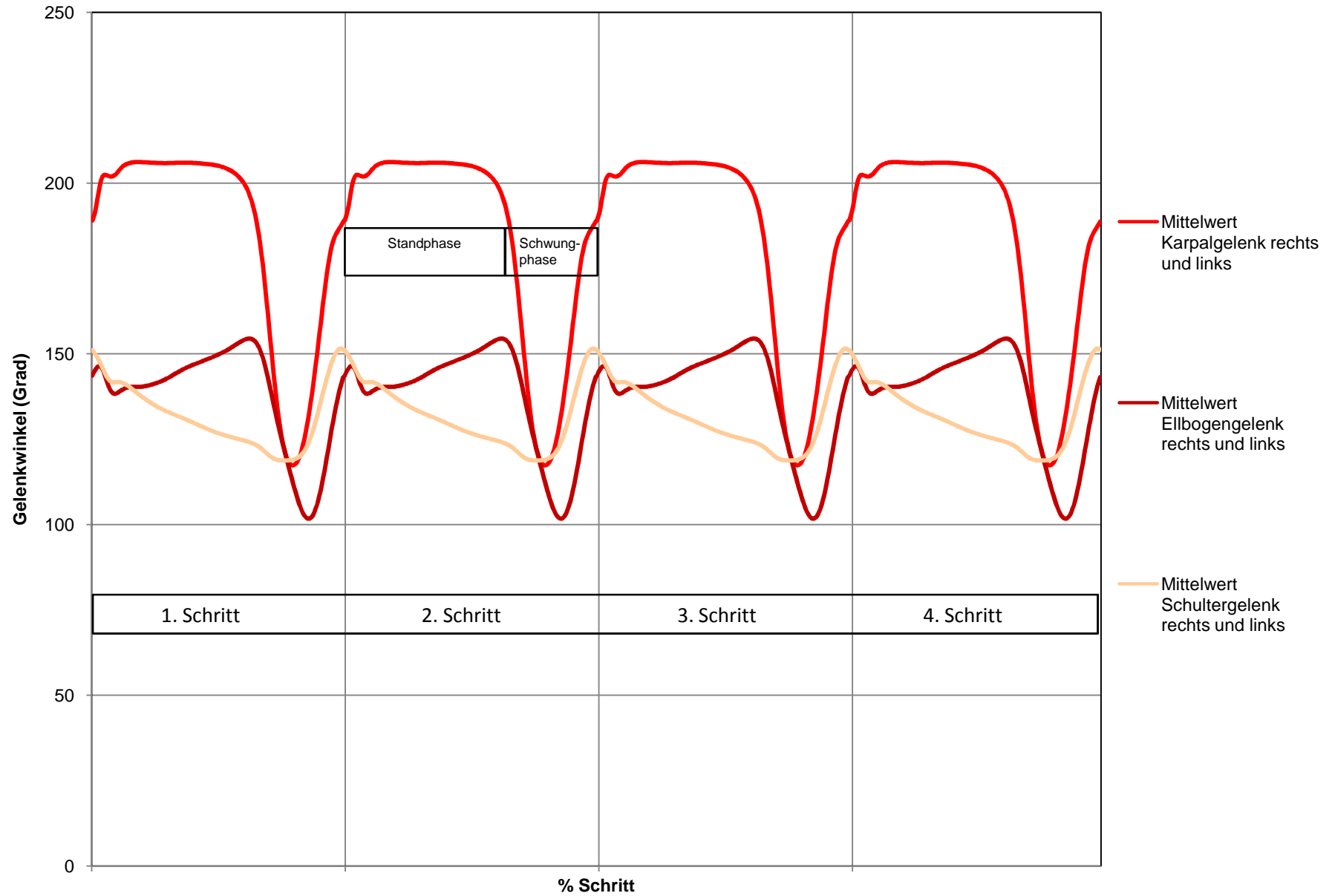
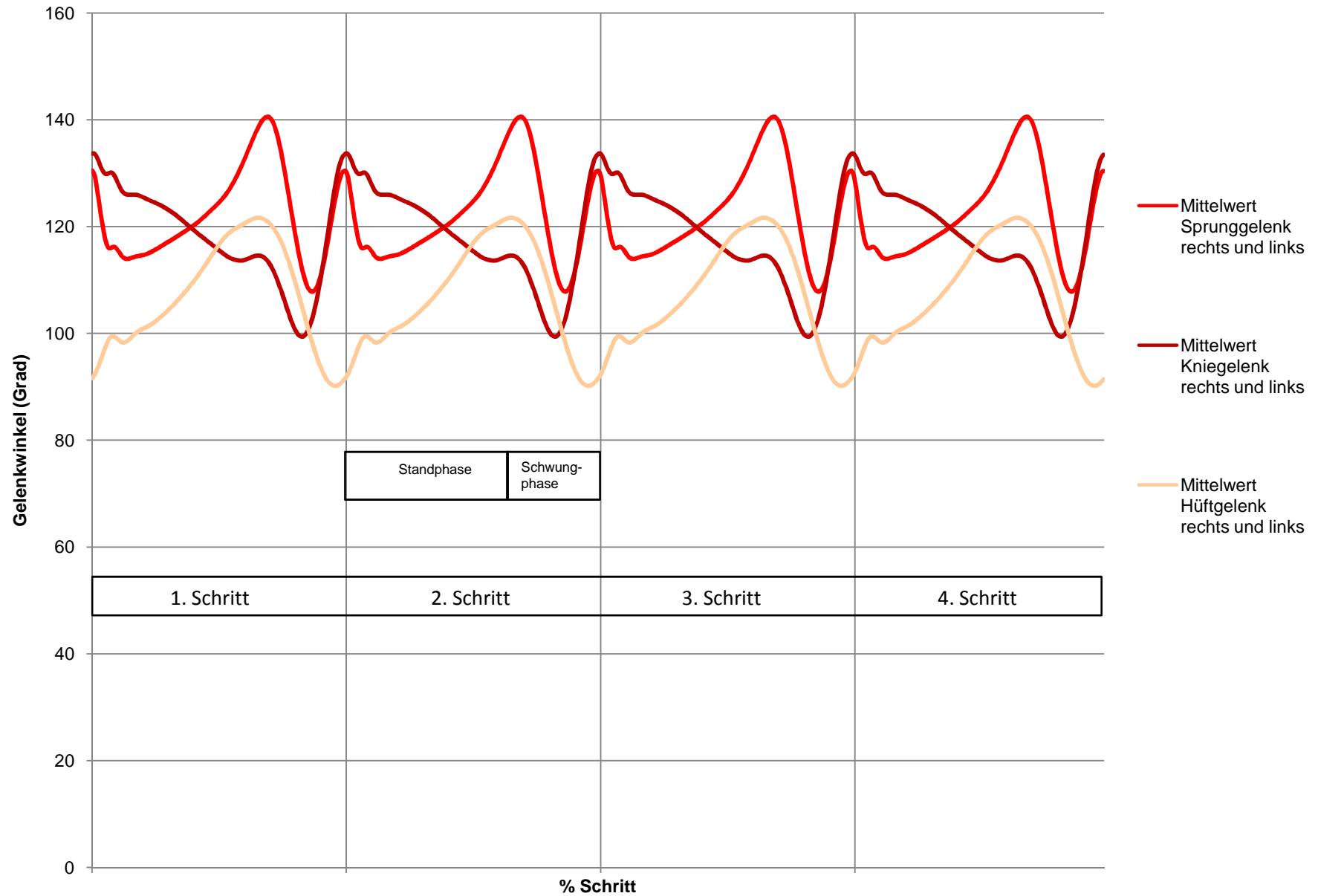


Abb. 43: Gelenkwinkelverläufe der Beckengliedmaße



4.5.4. Winkelgeschwindigkeit

Die Winkelgeschwindigkeit der großen Gelenke (Schulter-, Ellbogen-, Karpal-, Hüft-, Knie- und Sprunggelenk) wurde bei allen 16 Hunden für jeden einzelnen Schritt ermittelt. Daraus wurden Mittelwerte für jeden einzelnen Hund gebildet und daraus wiederum die Mittelwertkurven der gesamten Gruppe erstellt.

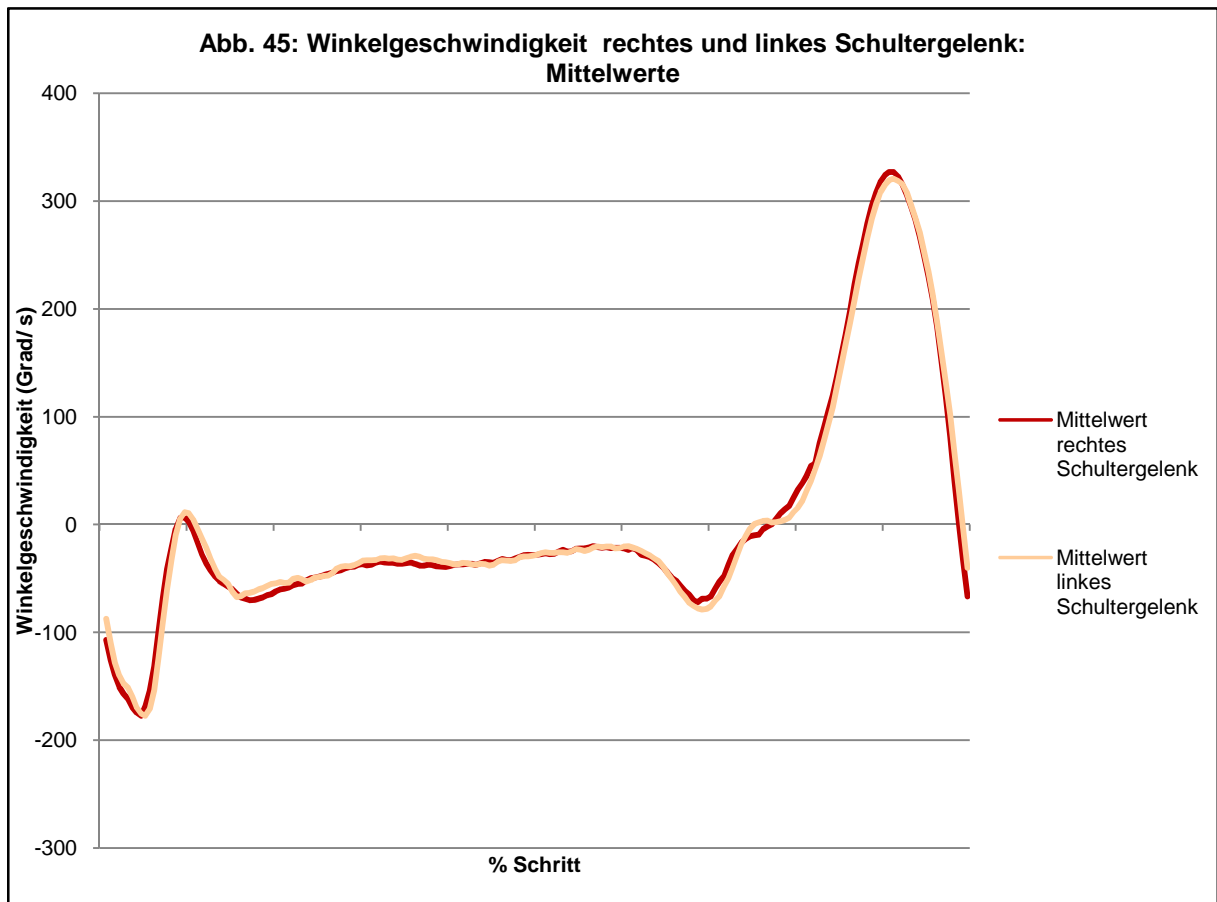
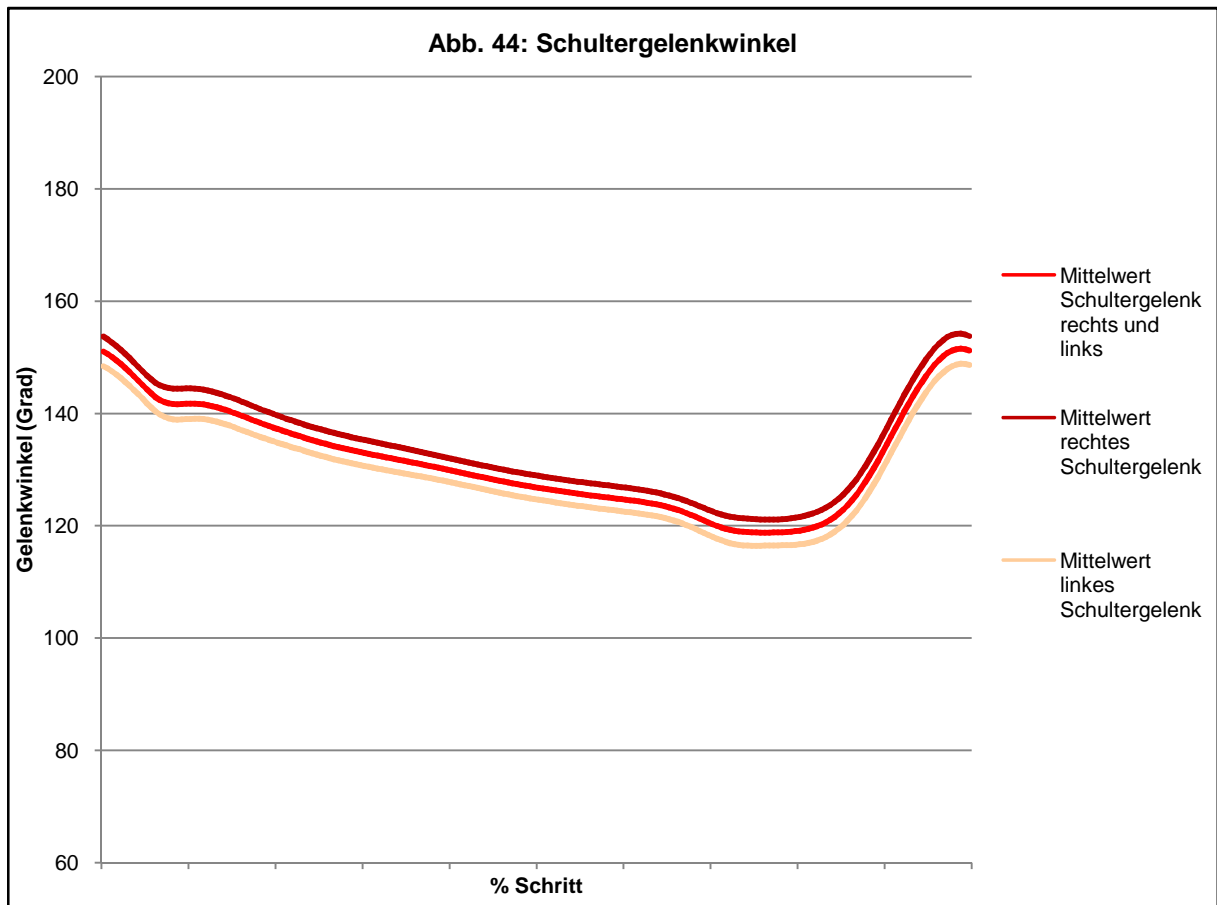
Es ließen sich die in Tabelle 26 dargestellten Maxima und Minima der Winkelgeschwindigkeit errechnen:

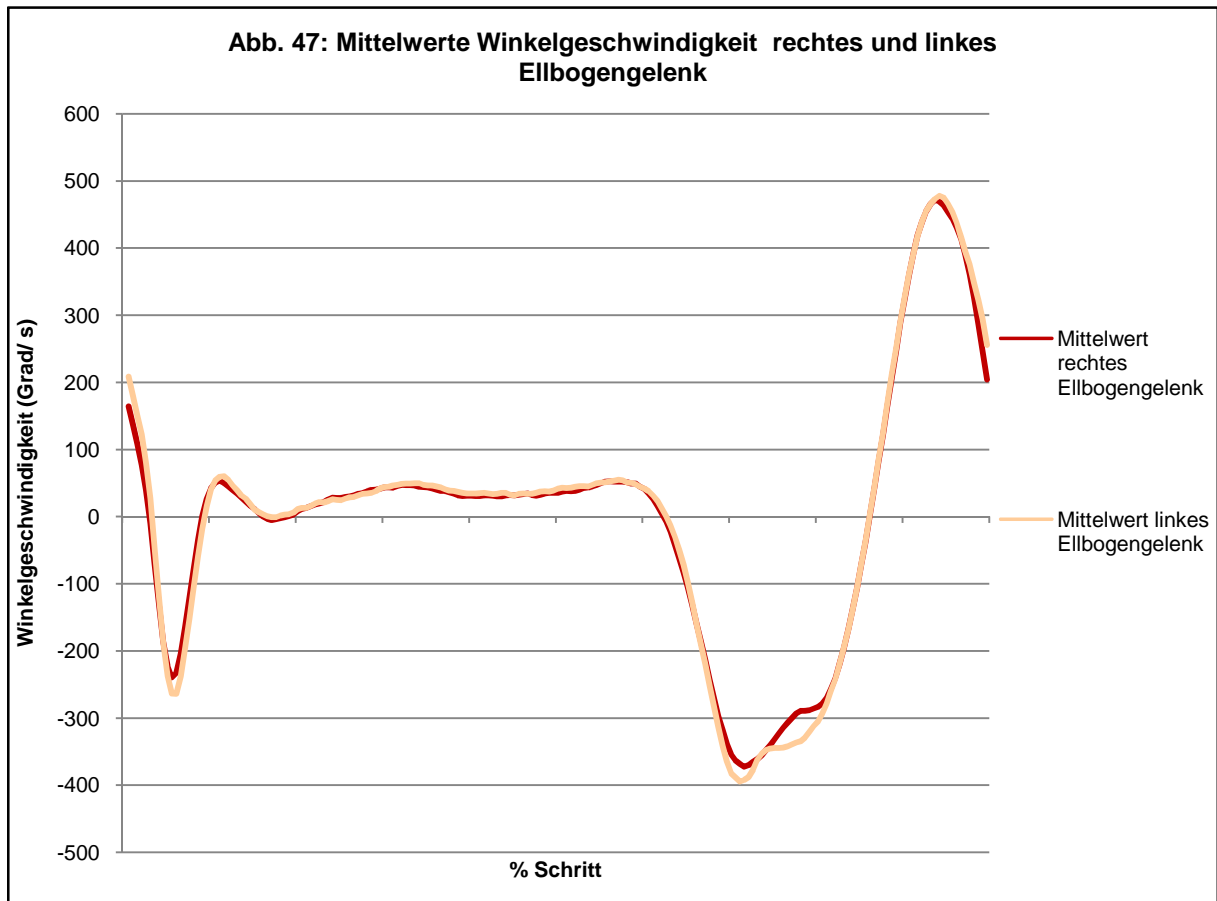
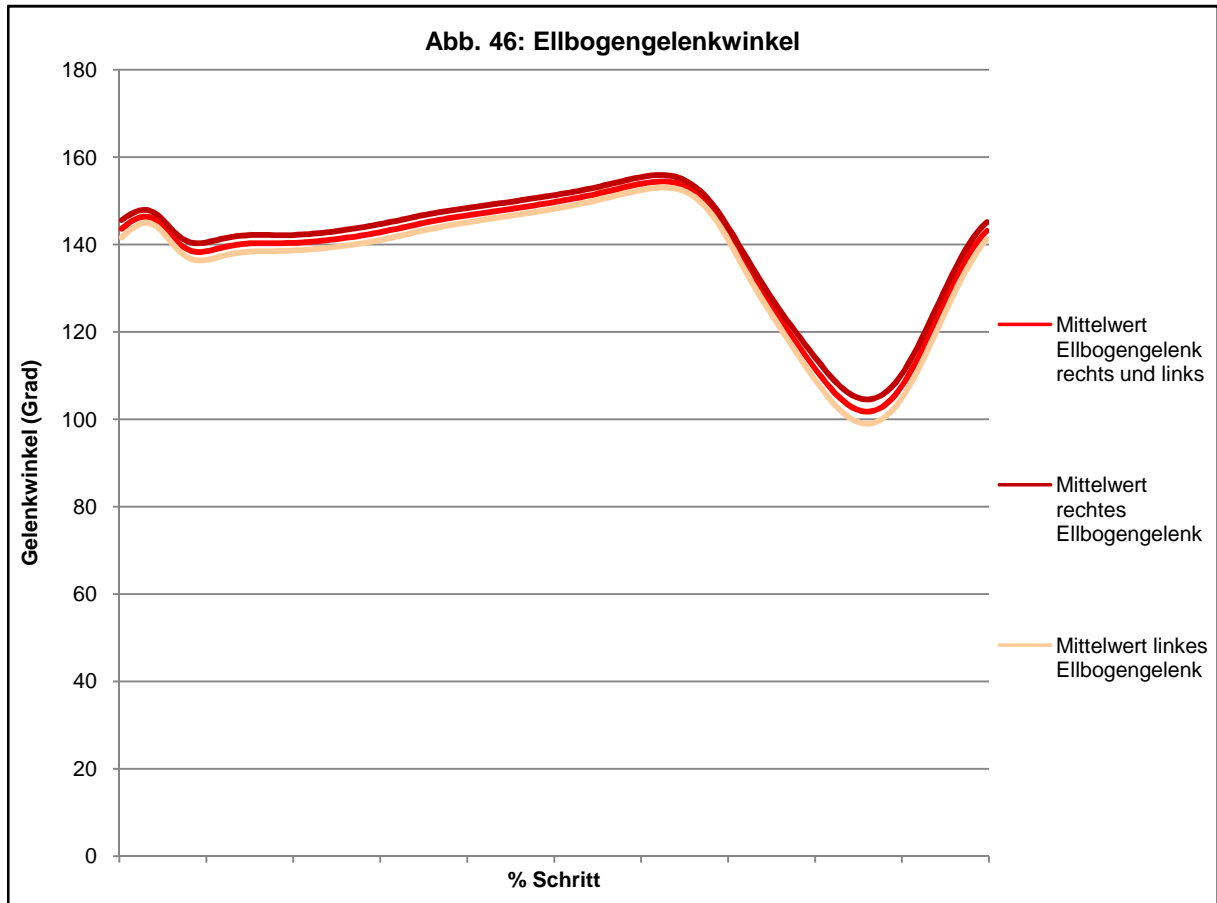
Tab. 26: Maxima und Minima der Winkelgeschwindigkeit

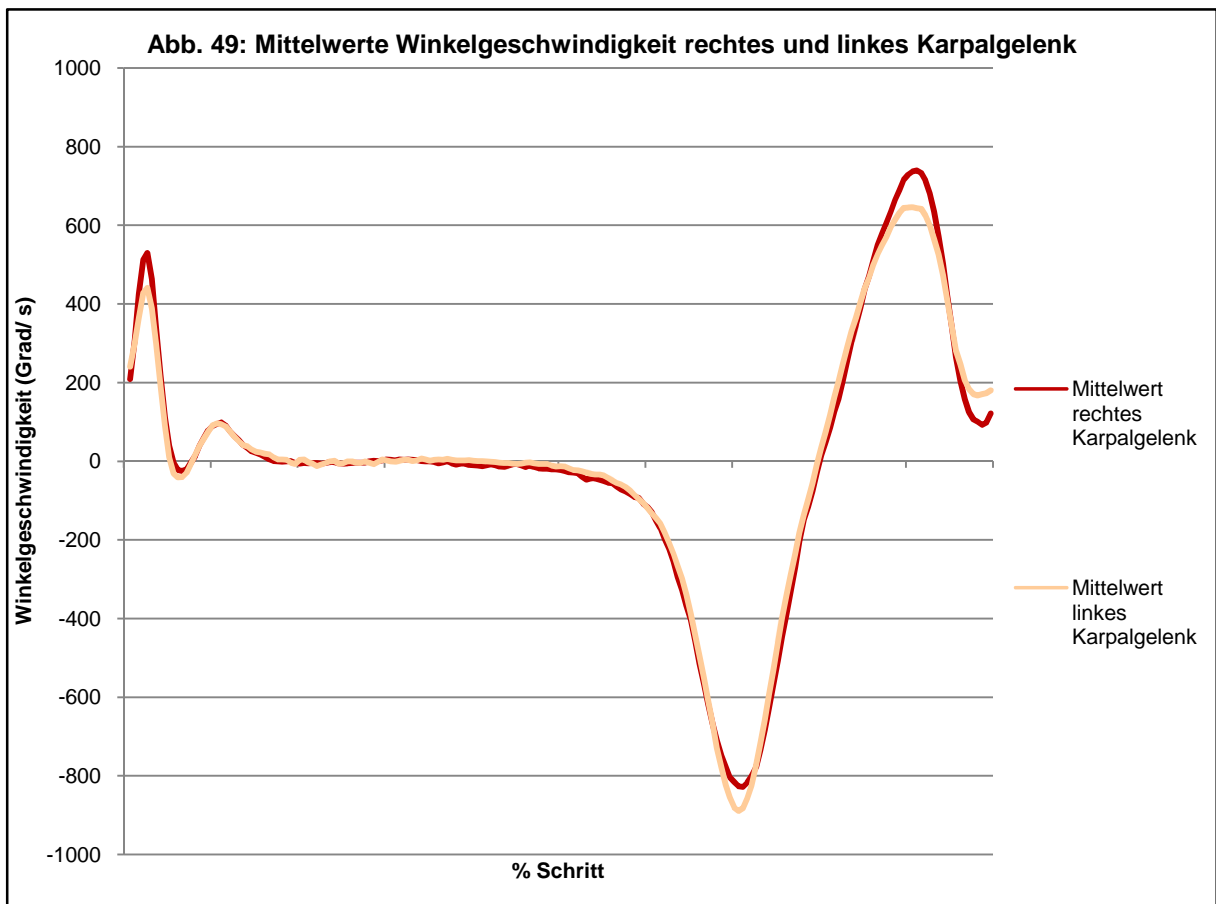
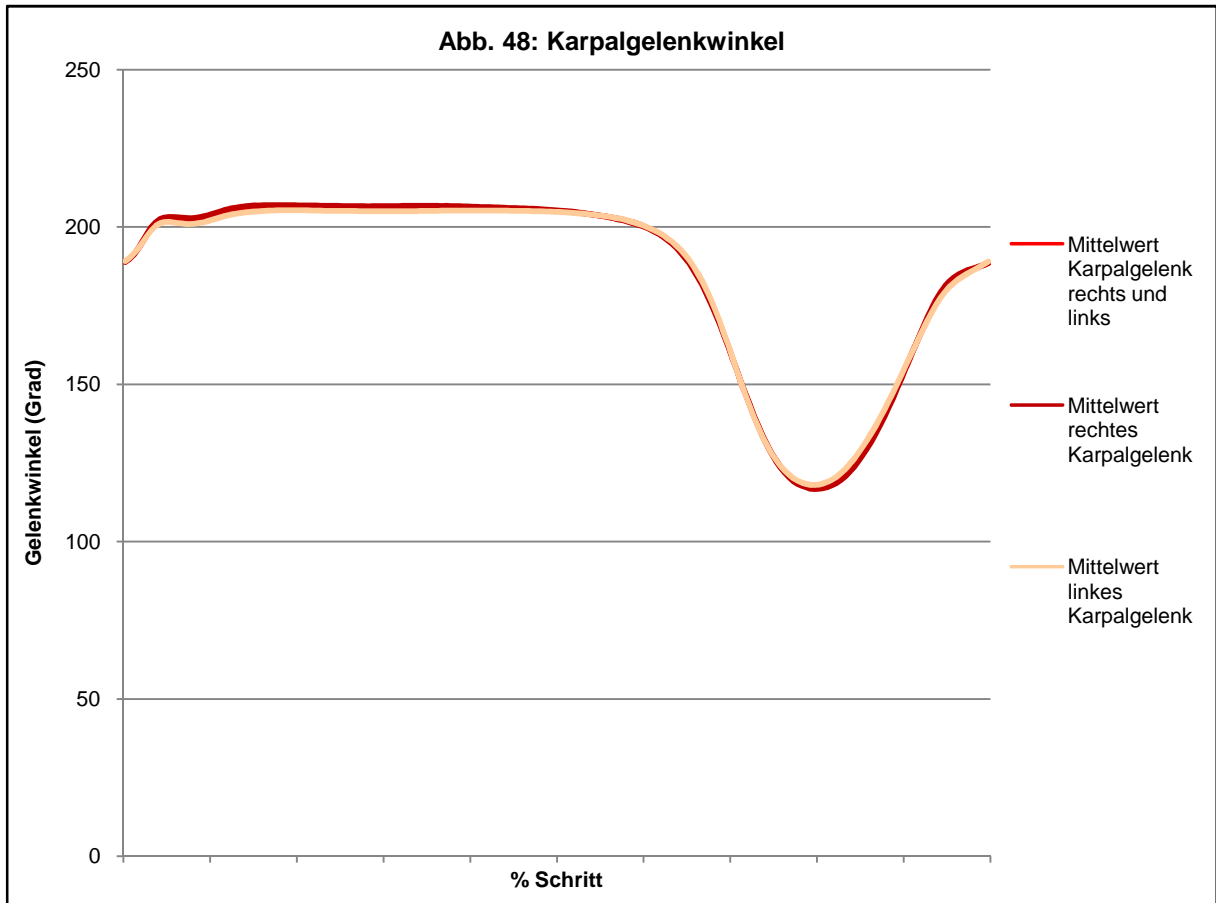
	Maximum	Minimum
Schultergelenk rechts	341,02 ± 76,07	-232,50 ± 46,41
Schultergelenk links	349,20 ± 57,52	-215,86 ± 44,55
	T = -0,3381; df = 27	T = -1,0017; df = 29
Ellbogengelenk rechts	502,58 ± 58,06	-467,79 ± 81,25
Ellbogengelenk links	505,15 ± 115,74	-480,48 ± 119,41
	T = -0,0769; df = 22	T = 0,3401; df = 26
Karpalgelenk rechts	808,85 ± 114,00	-1041,06 ± 129,72
Karpalgelenk links	762,63 ± 128,18	-1047,69 ± 163,14
	T = 1,0434; df = 29	T = 0,1231; df = 28
Hüftgelenk rechts	174,96 ± 45,38	-212,29 ± 39,64
Hüftgelenk links	177,25 ± 42,82	-212,44 ± 43,87
	T = -0,1420; df = 29	T = 0,0094; df = 29
Kniegelenk rechts	375,54 ± 57,08	-227,09 ± 48,68
Kniegelenk links	370,64 ± 59,48	-232,80 ± 58,88
	T = 0,2301; df = 29	T = 0,2897; df = 28
Sprunggelenk rechts	328,49 ± 60,38	-392,66 ± 89,29
Sprunggelenk links	334,74 ± 55,99	-366,15 ± 86,15
	T = -0,2943; df = 29	T = 0,5237; df = 27

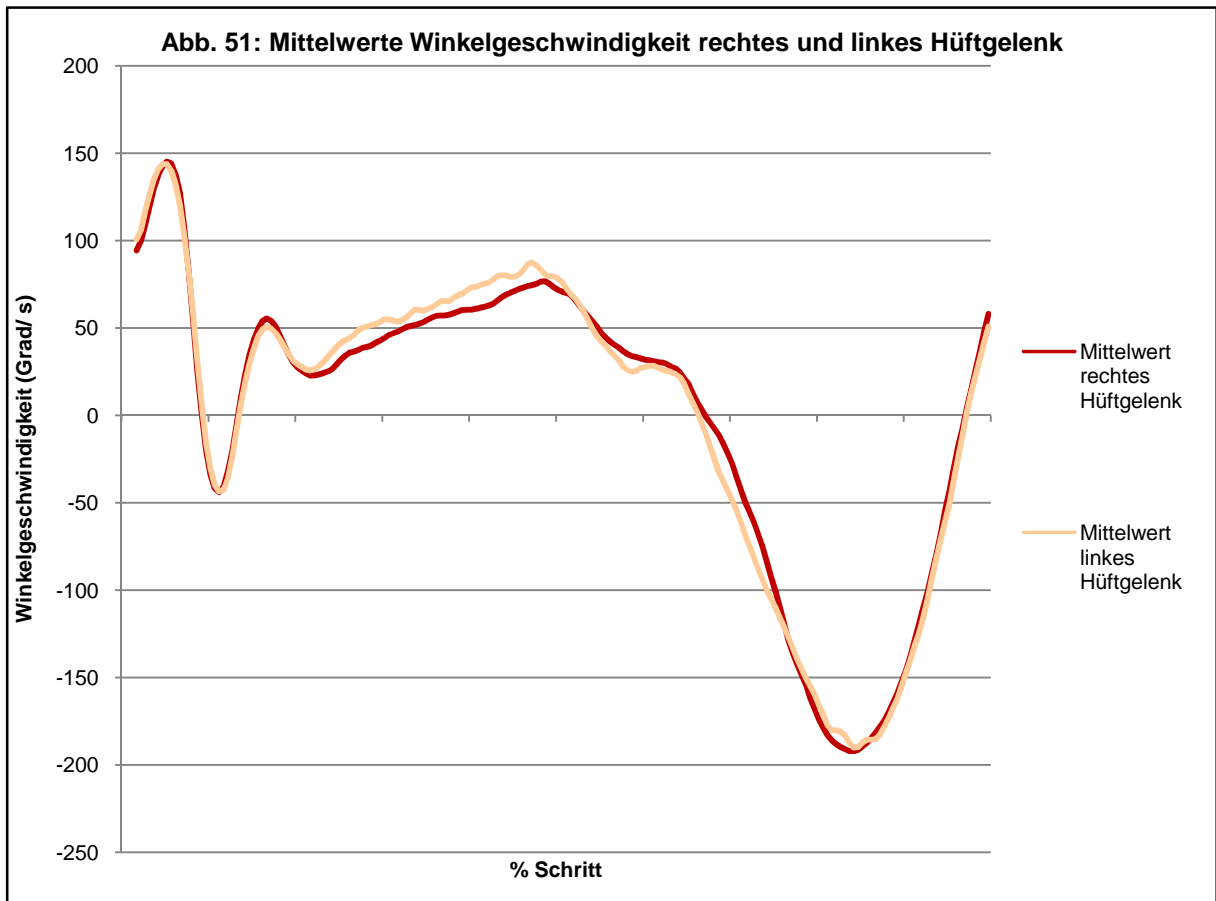
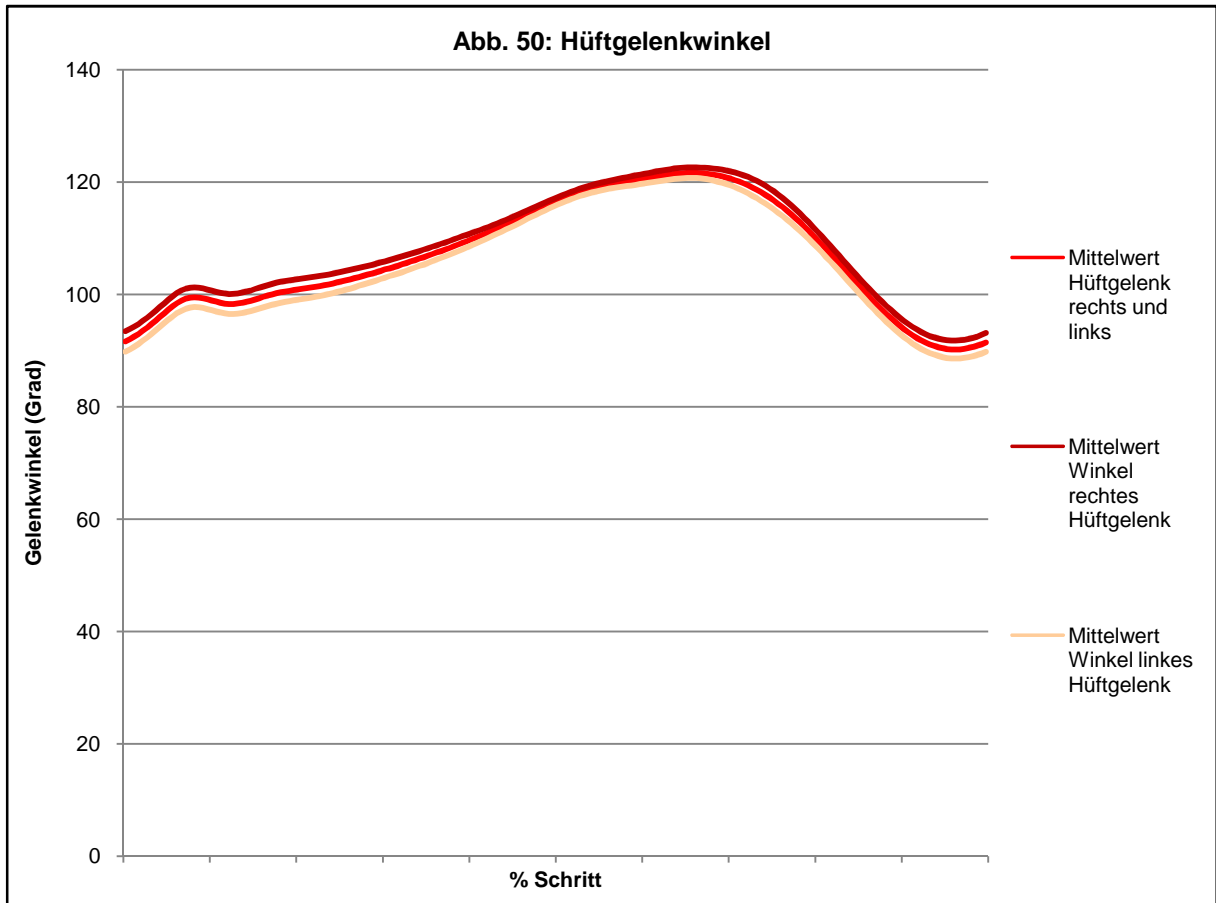
Maxima und Minima der rechten und linken Gliedmaße unterschieden sich in Bezug auf kein Gelenk signifikant.

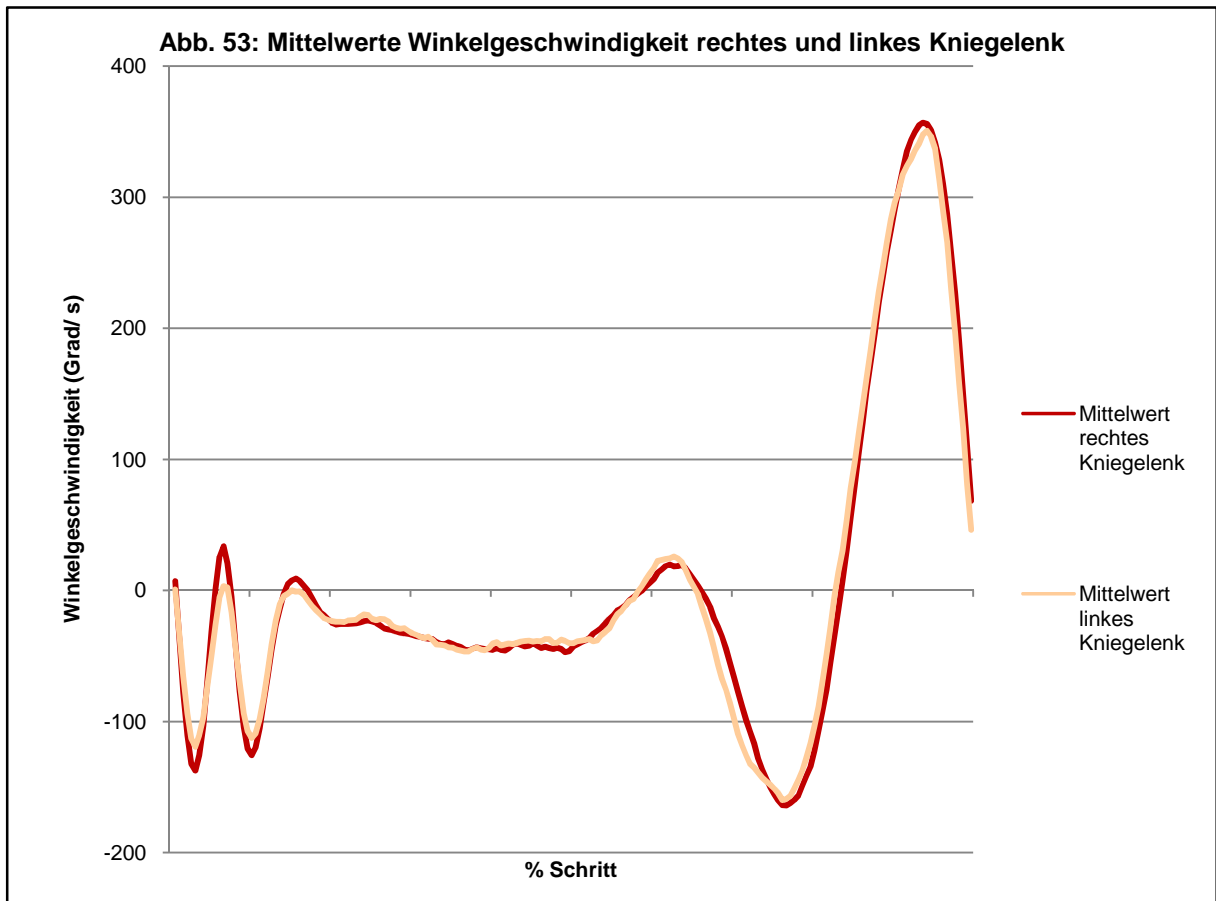
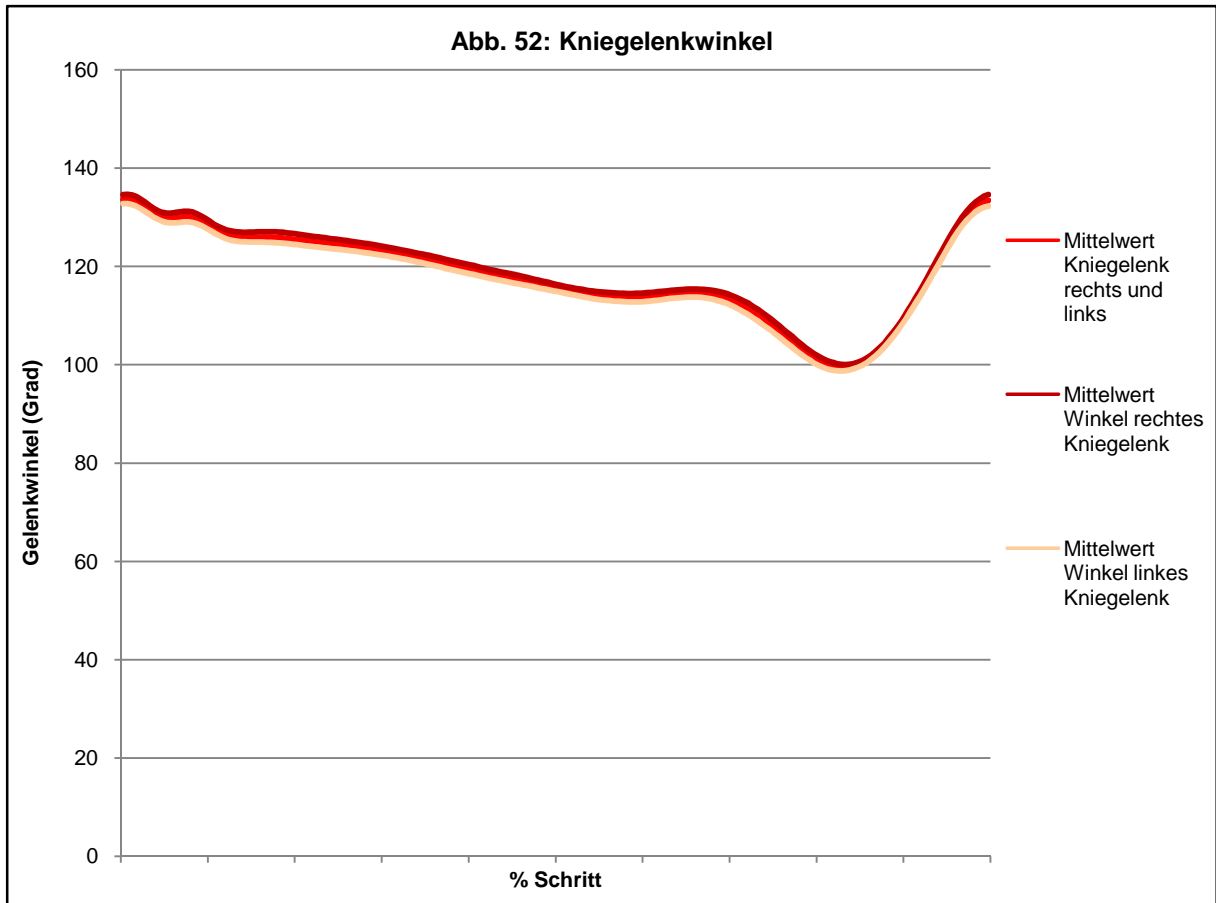
Die gefundenen Verläufe sind in den Abbildungen 44-55 den Gelenkwinkelverläufen gegenübergestellt.

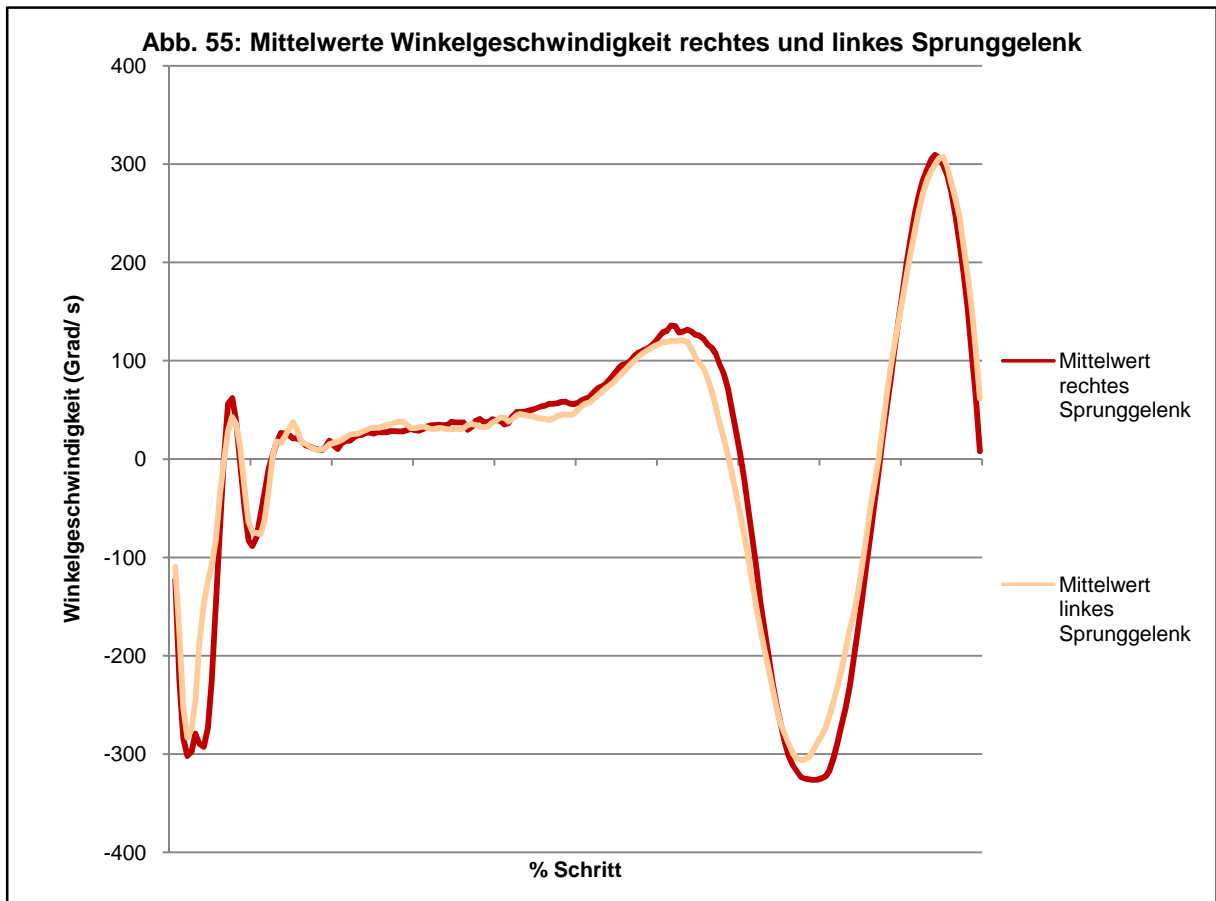
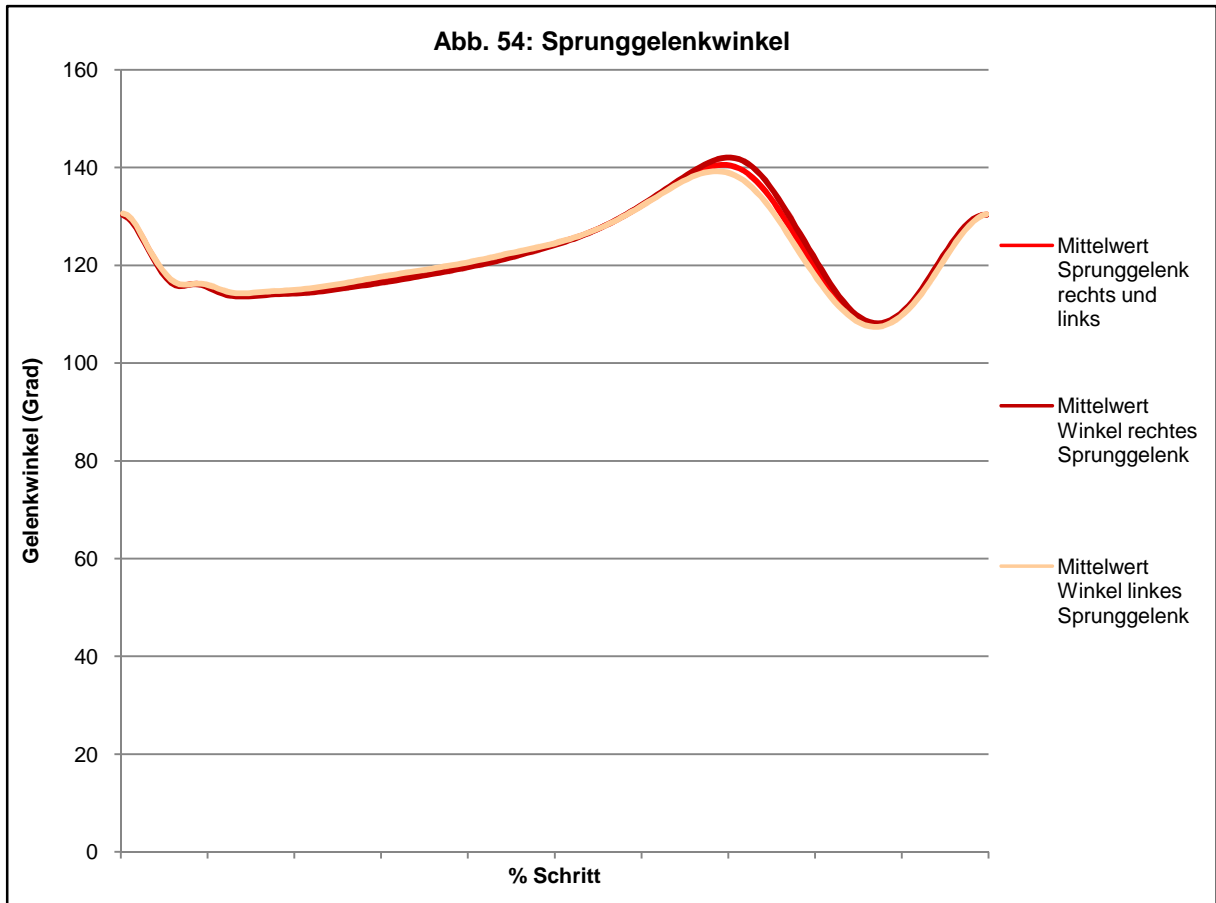












4.5.5. Zusätzliche kinematische Parameter

Wie bereits erwähnt ist es durch die Erfassung der dreidimensionalen Markerkoordinaten möglich weitere Eigenschaften eines Gangbilds zu beschreiben.

So wurde im Rahmen dieser Arbeit der Winkel zwischen der Geraden durch die Marker am Tuberculum majus humeri dextra und sinistra und der Geraden durch die Marker am Tuberculum majus humeri und Epicondylus lateralis humeri einer Seite als Maß für die Abduktion bzw. Adduktion der Schultergliedmaße bestimmt.

Gleiches lässt sich an der Beckengliedmaße anwenden. So kann der Winkel zwischen der Geraden durch die beiden Marker an den Trochanteren und der Geraden durch die Marker am Trochanter major ossis femoris und Epicondylus lateralis ossis femoris als Maß für die Abduktion bzw. Adduktion der Beckengliedmaße gesehen werden.

Daneben wurden die Maxima, Minima und durchschnittlichen Abstände der Karpal-, Tarsal- und Pfotenmarker zueinander bestimmt um einen Referenzwert für die Führung der Gliedmaßen (z.B. bodeneng) zu eruieren. Auch diese Werte sind auf Grund der Markerposition nur als Maß und nicht als absolute Werte zu verstehen.

Ebenso wurde der Abstand des Markers einer jeden Pfote zum Boden im Verlauf des Schrittes als Maß für das Anheben der Pfote während der Schwungphase ermittelt.

Die mediolaterale Hüftbewegung, die vor allem bei an Hüftdysplasie erkrankten Hunden auffällt und dort unter dem Marilyn-Monroe-Gang bekannt ist, wurde ebenfalls ermittelt. Dazu wurde der Abstand zwischen dem Marker am Übergang der Brustwirbelsäule zur Lendenwirbelsäule und dem rechten bzw. linken Marker an der Crista iliaca errechnet.

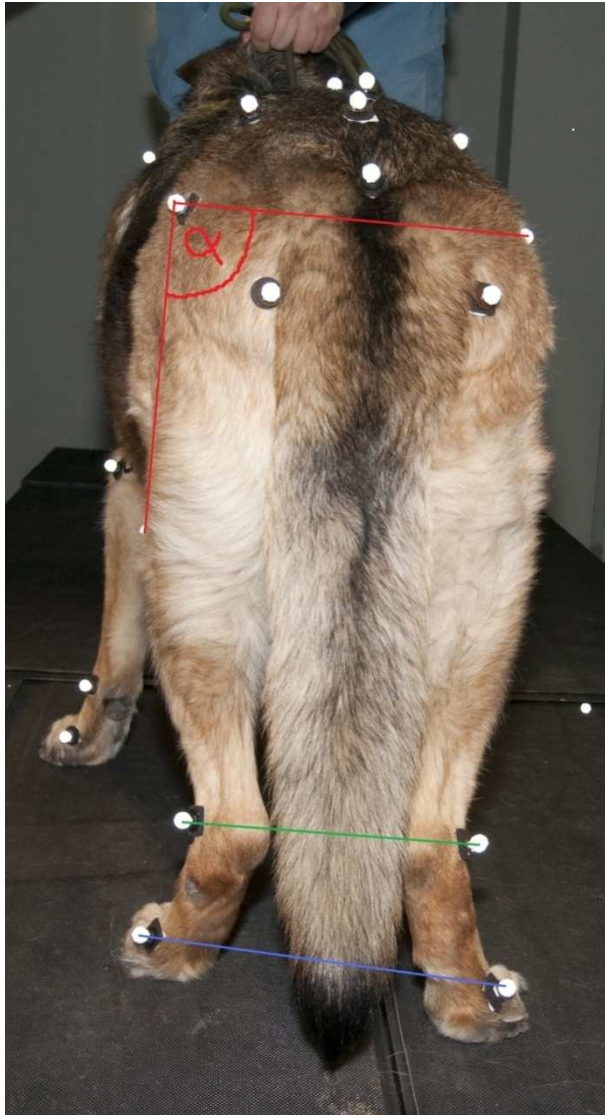
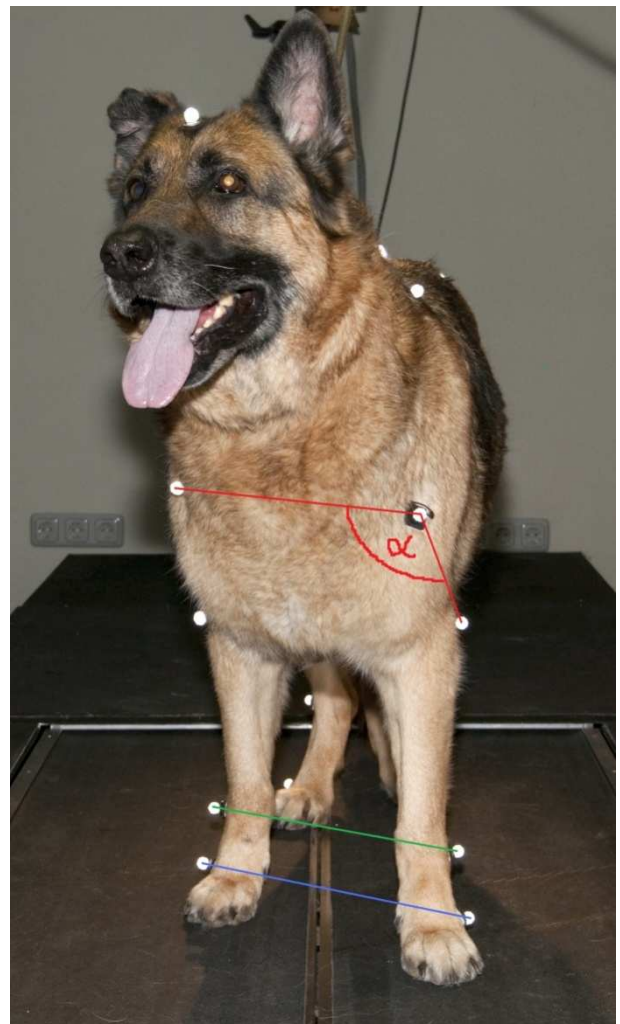


Abb. 56: Berechnungen an der Beckengliedmaße

α : Abduktions- bzw. Abduktionswinkel,
grüne Linie: Abstand der Marker am
Sprunggelenk,
blaue Linie: Abstand der Marker an den Pfoten

Abb. 57: Berechnungen an der Schultergliedmaße

α : Abduktions- bzw. Adduktionswinkel,
grüne Linie: Abstand der Marker am
Karpalgelenk,
blaue Linie: Abstand der Marker an den Pfoten



Für die Abduktion der Gliedmaßen ergaben sich folgende Werte:

Tab. 27: Abduktion und Adduktion der Gliedmaßen

Abduktion in Grad	Maximum	Minimum	ROM
Abduktion rechte VGLM	103,9 ± 4,4	76,6 ± 3,6	27,3 ± 5,7
Abduktion linke VGLM	105,5 ± 5,3	78,0 ± 5,0	27,5 ± 5,0
	T = - 0,8710; df = 28	T = - 0,8898; df = 27	T = - 0,0743; df = 29
Abduktion rechte HGLM	98,0 ± 3,0	82,8 ± 2,7	15,2 ± 2,1
Abduktion linke HGLM	97,2 ± 3,5	82,7 ± 3,3	14,6 ± 2,9
	T = 0,6886; df = 29	T = 0,0915; df = 28	T = 0,7011; df = 27

VGLM: Vordergliedmaße, HGLM: Hintergliedmaße

Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen der rechten und linken Schultergliedmaße ermittelt werden. Gleiches gilt für die Beckengliedmaßen.

Für die mediolaterale Hüftbewegung ergab sich für die rechte Körperseite ein Bewegungsumfang von 1,0 ± 0,3 cm und für die linke Körperhälfte ein Umfang von 1,1 ± 0,3 cm. Dabei unterschieden sich die Werte der rechten und linken Seite nicht signifikant (T = - 1,5758; 29).

Als Maß für den Abstand der Gliedmaßen zueinander wurden die in Tabellen 28 gezeigten Werte errechnet.

Tab. 28: Abstand der Karpal-, Tarsal- und Pfotenmarker

Abstand in cm	Maximum	Minimum	ROM
Karpalgelenksmarker	39,3 ± 2,4	17,3 ± 2,6	22,0 ± 2,6
Tarsalgelenksmarker	37,7 ± 2,4	16,9 ± 1,8	20,8 ± 2,4
Pfotenmarker VGLM	45,0 ± 2,5	17,1 ± 2,4	27,9 ± 2,9
Pfotenmarker HGLM	44,6 ± 2,8	17,8 ± 2,5	26,9 ± 3,4

VGLM: Vordergliedmaße, HGLM: Hintergliedmaße

Die Hinterpfoten unterschieden sich weder ihren maximalen und minimalen Abstand betreffend noch in ihrem Bewegungsumfang signifikant von den Vorderpfoten (Maximum: T = 0,3866; Minimum: T = -0,7768; ROM: T = 0,9287; df = 29).

Ebenso wurde untersucht, wie hoch die Hunde ihre Pfoten während der Schwungphase gehoben haben.

Tab. 29: Anheben der Pfoten

Anheben der Pfote (cm)	Maximum	Statistik
rechte Schultergliedmaße	9,4 ± 1,4	T = - 1,7075; df = 29
linke Schultergliedmaße	10,2 ± 1,4	
rechte Beckengliedmaße	8,7 ± 1,0	T = - 0,9568; df = 29
linke Beckengliedmaße	9,0 ± 0,9	

Die Vorderpfoten wurden signifikant höher angehoben als die Hinterpfoten ($T = 3,3710$; $df = 53$). Ein signifikanter Seitenunterschied zeigte sich jedoch nicht.

5. Diskussion

5.1. Morphometrische Daten

Verschiedene Daten wurden erhoben, um den Körperbau der Hunde näher zu erfassen.

Vergleicht man den von der FCI anerkannten Rassestandard des Deutschen Schäferhundes (FCI-Gruppe 1, Sektion 1, Standard-Nr. 1) mit den für diese Arbeit untersuchten Hunden, so fallen folgende Punkte auf:

Bezüglich des Stockmaßes am Widerrist schreibt der Rassestandard eine Höhe von 60-65 cm für die Rüden und 55-60 cm für die Hündinnen vor. Die hier untersuchten Hunde waren im Mittel $63,5 \pm 2,9$ cm (59,0-70,0 cm) hoch. Das Mittel der Hunde liegt also im Rahmen des Rassestandards. Betrachtet man jedoch die Hündinnen mit einer durchschnittlichen Größe von $62,1 \pm 1,9$ cm (59,0-64,5 cm), so liegen sie am oberen Ende bzw. geringgradig über dem vorgeschriebenen Stockmaß. Die Rüden entsprechen in ihrem Mittel dem Rassestandard von $65,4 \pm 3,0$ cm (62,0-70,0 cm), jedoch finden sich unter den Rüden zwei Hunde, welche mit 69,5 cm und 70,0 cm Stockmaß deutlich über den Werten des Rassestandards liegen. Die Hündinnen waren signifikant kleiner als die Rüden ($T = - 2,4439$; $df = 14$).

Für die Kruppenhöhe werden von Seiten des Rassestandards keine Vorschriften gemacht. Das Stockmaß an der Kruppe verhielt sich jedoch wie die Widerristhöhe. Die Hündinnen waren mit durchschnittlich $60,5 \pm 2,2$ cm (57,5-64,0 cm) signifikant kleiner als die Rüden mit $63,6 \pm 2,1$ cm (31,0-67,0cm) ($T = - 2,6704$; $df = 14$). Wie zu erwarten war, bestand ein enger Zusammenhang zwischen dem Stockmaß am Widerrist und an der Kruppe ($T = 1,6100$; $df = 30$).

Für den Deutschen Schäferhund wird vom Rassestandard ein Gewicht von 30-40 kg für den Rüden und 22-32 kg für die Hündin gefordert. Die im Rahmen dieser Studie untersuchten Tiere waren im Mittel $33,9 \pm 3,9$ kg schwer (27,5-42,0 kg), wobei keiner der Hunde als übergewichtig zu bezeichnen war. Die Hündinnen wogen dabei mit einem durchschnittlichen Gewicht von $32,3 \pm 3,0$ kg (27,5-37,0 kg) weniger als die Rüden mit im Mittel $35,9 \pm 4,1$ kg (30,1-42,0 kg). Die männlichen Tiere entsprachen

dem Rassestandard, während die weiblichen Tiere erneut an der oberen Grenze des Gewichtintervalls bzw. geringgradig darüber angesiedelt waren. Daher waren die untersuchten weiblichen Hunde zu den eher großen Vertretern ihrer Rasse zu zählen.

Bezüglich des Oberschenkelumfangs konnte eine Korrelation zum Gewicht der Hunde aufgezeigt werden. Kein Zusammenhang bestand jedoch zwischen dem Oberschenkelumfang und der Widerristhöhe. Dies mag auf die unterschiedlich intensive Nutzung und in ihrer Art unterschiedliche körperliche Belastung der untersuchten Hunde als Dienst-, Arbeits- oder reiner Haushund liegen.

Alle Hunde waren symmetrisch bemuskelt, lediglich ein Hund zeigte einen Seitenunterschied von 5 mm ohne klinische Lahmheit. Auch konnte bei diesem Hund weder in der orthopädischen Untersuchung noch mit Hilfe der Röntgenbilder eine Ursache für diesen Unterschied ermittelt werden. Da es sich bei dem betroffenen Hund um einen jungen, temperamentvollen Rüden handelte und der Unterschied zudem sehr gering war, ist die Ursache am ehesten in einem Messfehler zu suchen.

In Bezug auf die Körperproportionen werden im Rassestandard für den Deutschen Schäferhund keine Zahlen genannt, sondern es werden nur zu wenigen Details Proportionen und Verhältnisse aufgewiesen.

Mit Hilfe der Segmentlängen (Tab. 3, Seite 29) kann eine Schätzung der Länge verschiedener Körperteile vorgenommen werden. Sie entsprechen nicht den exakten anatomischen Längen, sollten in ihrer Genauigkeit aber ausreichen, da auch die Überprüfung eines Hundes auf Erfüllen des Rassestandards in der Regel mit dem bloßen Auge vorgenommen wird.

Betrachtet man die Schultergliedmaße, so sollen das Schulterblatt und der Oberarm gleich lang sein. Der Mittelfuß soll in seiner Länge einem Drittel der Unterarmlänge entsprechen. In dieser Studie erschien das Schulterblatt im Mittel $19,3 \pm 2,0$ cm lang und damit etwas länger als der Oberarm ($14,4 \pm 1,7$ cm). Das Verhältnis Vordermittelfuß ($21,0 \pm 1,5$ cm) zu Unterarm ($7,8 \pm 0,9$ cm) entsprach in etwa dem Verhältnis 1 : 3.

Die Hinterhand betreffend sollen sich Ober- und Unterschenkel in ihrer Länge entsprechen. Die hier untersuchten Hunde zeigten eine Femur-Segmentlänge von $21,6 \pm 1,8$ cm und eine Tibia-Segmentlänge von $23,1 \pm 1,9$ cm, so dass sie als etwa gleich lang zu bezeichnen sind.

Hottinger et al. (1996 a) untersuchten 15 Hunde großer Rassen und ermittelten bei ihnen eine mittlere Humeruslänge von $15,1 \pm 1,1$ cm und eine mittlere Radiuslänge von $18,6 \pm 1,2$ cm. Für die Beckengliedmaße fanden sie eine durchschnittliche Femurlänge von $20,1 \pm 1,4$ cm und eine Tibiallänge von $20,9 \pm 1,6$ cm. Die hier gefundenen Werte entsprechen in etwa denen von Hottinger et al.. Die bestehenden Differenzen sind wahrscheinlich auf die Unterschiede in den untersuchten Hundegruppen zurückzuführen, da die von Hottinger et al. (1996 a) betrachteten Hunde kleiner und leichter als die hier untersuchten Schäferhunde waren und zudem verschiedenen Rassen angehörten, so dass rassebedingte Differenzen nicht auszuschließen sind.

Verschiedene Zusammenhänge konnten bei Betrachtung der morphometrischen Daten herausgearbeitet werden. So bestand eine Beziehung sowohl zwischen dem Geschlecht und dem Stockmaß an Widerrist als auch der Kruppenhöhe. Ebenfalls korrelierte das Gewicht mit dem Oberschenkelumfang und mit der Widerrist- bzw. Kruppenhöhe.

Eine Beziehung zwischen dem Stockmaß am Widerrist und der Schrittlänge konnte nicht gefunden werden. Dies ist auf die in geringem Maße differierende Geschwindigkeit der Hunde zurückzuführen.

Daneben konnte ein Zusammenhang zwischen der errechneten Beinlänge und der Schrittlänge ermittelt werden. Zu diesem Ergebnis kamen auch Alexander und Jayes (1983), Alexander (1993) und Unkel-Mohrmann (1999).

Die hier gefundenen Werte stimmten also mit den Vorgaben des Rassestandards in etwa überein, wobei die Hündinnen sowohl in Bezug auf ihre Größe als auch auf ihr Gewicht im oberen Bereich des Standards angesiedelt waren. Die Rüden waren ebenfalls im oberen Bereich der Größenskala angesiedelt, lagen aber in Bezug auf ihr Gewicht im mittleren Bereich der Gewichtsvorgaben.

5.2. Schrittdauer

Tab. 30: Schrittdauer

	Mittelwert (s)	Maximum (s)	Minimum (s)
Schultergliedmaßen	0,997 ± 0,067		
rechte Schultergliedmaße	1,003 ± 0,065	1,111	0,889
linke Schultergliedmaße	0,993 ± 0,067	1,102	0,875
Beckengliedmaßen	1,003 ± 0,068		
rechte Beckengliedmaße	1,003 ± 0,067	1,107	0,886
linke Beckengliedmaße	1,003 ± 0,068	1,109	0,882

Es wurde im Rahmen dieser Studie eine mittlere Schrittdauer von $0,997 \pm 0,067$ s für die Schultergliedmaßen und von $1,003 \pm 0,068$ s für die Beckengliedmaßen ermittelt. Daraus ergab sich eine Schrittfrequenz von $1,00 \pm 0,07$ Schritten pro Sekunde bei einer Geschwindigkeit von $0,81 \pm 0,08$ m/s ($0,70$ - $0,94$ m/s).

Es bestand kein signifikanter Seitenunterschied zwischen den Vorder- und Hinterbeinen (vorne: $T = 0,3008$; $df = 29$; hinten: $T = 0,0036$; $df = 29$) und die Schrittdauer der Vorder- und Hinterbeine war nahezu äquivalent.

Andere Autoren fanden ebenfalls identische Schrittzeiten für die Vorder- und Hintergliedmaßen (Gillette und Zebas, 1999; Unkel-Mohrmann, 1999).

Diese Ergebnisse decken sich mit den Werten früherer Arbeiten.

Bereits Adrian et al. (1966) berichteten von einer Schrittdauer von $0,75$ - $1,00$ s für Hunde verschiedener Größe in der Gangart Schritt. Unkel-Mohrmann (1999) betrachtete Deutsche Schäferhunde im Schritt und fand eine Schrittdauer von im Mittel $0,92 \pm 0,007$ s. Der Wert liegt niedriger als der hier beobachtete. Dies ist mit der geringeren Geschwindigkeit der hier untersuchten Hunde zu erklären.

Gillette und Zebas (1999) untersuchten Labrador Retriever und deren Mischlinge im Trab und fanden eine Schrittdauer von $0,43 \pm 0,04$ s bzw. $0,43 \pm 0,05$ s für die rechte bzw. linke Gliedmaße. Da die Schrittdauer mit steigender Geschwindigkeit sinkt, sind diese Werte niedriger als die Angaben für die Gangart Schritt.

Bezüglich der Schrittfrequenz lassen sich folgende Vergleiche mit anderen Autoren ziehen:

Unkel-Mohrmann (1999) fand für den Deutschen Schäferhund im Schritt (0,94 m/s) eine Schrittfrequenz von 1,09 Schritten pro Sekunde. Diese Hunde liefen also geringgradig schneller als die hier untersuchten Hunde, daher scheint die leicht höhere Schrittfrequenz plausibel. Bereits Unkel-Mohrmann vermutete eine direkte Proportionalität zwischen der Geschwindigkeit und der Schrittfrequenz. Rechnet man die hier ermittelte Schrittfrequenz hoch auf die Geschwindigkeit der Tiere in der Arbeit Unkel-Mohrmann, so erhält man eine Frequenz von 1,12 Schritten pro Sekunde. Somit scheint der Verdacht auf direkte Proportionalität erhärtet. Der Vergleich mit anderen Autoren fällt schwer, da diese Hunde anderer Rassen in der Gangart Trab aufzeichneten bzw. kein instrumentiertes Laufband, sondern einen Laufsteg mit Kraftmessplatte verwendeten. Daher bleibt die Überprüfung der Proportionalität vom Schritt auf den Trab noch zu beweisen.

5.3. Stand- und Schwungphase und ihr Verhältnis

Es konnten folgende Mittelwerte für die Stand- und Schwungphasendauer und deren Verhältnis zueinander ermittelt werden:

Tab. 31: Stand-, Schwungphase und deren Verhältnis

	Standphase (s)	Schwungphase (s)	Stand-: Schwungphase
Schultergliedmaßen	0,729 ± 0,054	0,269 ± 0,043	
Beckengliedmaßen	0,717 ± 0,047	0,286 ± 0,047	
rechte Schultergliedmaße	0,733 ± 0,053	0,268 ± 0,044	2,8 ± 0,6
linke Schultergliedmaße	0,724 ± 0,055	0,269 ± 0,041	2,8 ± 0,5
	T = 0,4613; df = 29	T = -0,1214; df = 29	T = 0,3439; df = 29
rechte Beckengliedmaße	0,723 ± 0,044	0,281 ± 0,041	2,6 ± 0,4
linke Beckengliedmaße	0,711 ± 0,048	0,292 ± 0,052	2,5 ± 0,5
	T = 0,7085; df = 29	T = -0,6965; df = 28	T = 0,2904; df = 26

Dabei bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Werten der rechten und linken Gliedmaßen und den Werten der Vorder- und Hinterbeine.

Wie von Leach et al. (1977) bereits beschrieben, ergab sich auch hier eine längere Stand- als Schwungphasendauer. Adrian (1966) und Unkel-Mohrmann (1999) beschrieben ein Verhältnis der Stand- zu Schwungphase von 2 : 1 bzw. 2,3 : 1. Dieses Verhältnis konnte nicht ermittelt werden. Im Rahmen dieser Studie ergab sich ein Verhältnis von 2,5-2,8 : 1. Zu berücksichtigen ist bei einem Vergleich der genannten Werte die niedrigere Geschwindigkeit der untersuchten Schäferhunde. Das hier ermittelte Verhältnis entspricht eher dem von Tokuriki (1973) beschriebenen Wert von 2,9 : 1. Da nur in der Arbeit von Unkel-Mohrmann ebenfalls Deutsche Schäferhunde betrachtet wurden, lassen sich rassebedingte Unterschiede nicht ausschließen.

Wenige Arbeiten liefern Vergleichswerte in Bezug auf die zeitlichen Parameter, wurden doch zum einen die meisten Studien mit einem Laufsteg vorgenommen und zudem in der Gangart Trab. Nach Unkel-Mohrmann (1999) bevorzugen Hunde beim Gehen über einen Laufsteg die Gangart Trab gegenüber dem Schritt.

Hottinger et al. (1996 a) untersuchten 15 Hunde großer Rassen im Schritt (Geschwindigkeit $1,00 \pm 0,05$ m/s) und fanden dabei eine Standphasendauer der Vorderhand von $0,527 \pm 0,036$ s und der Hinterhand von $0,510 \pm 0,036$ s. Diese Werte liegen niedriger als die hier gefundenen, jedoch waren die bei Hottinger untersuchten Hunde mit einem mittleren Gewicht von $28,5 \pm 4,0$ kg und einer Kruppenhöhe von $56,7 \pm 2,1$ cm kleiner als die untersuchten Schäferhunde.

Bockstahler et al. (2007) betrachteten 10 Hunde großer Rassen im Schritt (Geschwindigkeit 1,22 m/s) und ermittelten eine Standphasendauer von $0,64 \pm 0,05$ s und $0,65 \pm 0,06$ s für die rechte und linke Schultergliedmaße und $0,62 \pm 0,05$ s für beide Beckengliedmaßen. Die Standphasendauer ist damit etwas kürzer als bei den hier untersuchten Schäferhunden, die Geschwindigkeit allerdings auch etwas höher.

Da die Beinlänge einen Einfluss auf die Schrittlänge und die Schrittdauer hat und die Geschwindigkeit die Schrittdauer beeinflusst, ist ein rassebedingter Unterschied in den beschriebenen Parametern denkbar. Der Grad der Proportionalität bleibt noch nachzuweisen ebenso die Frage, ob ein linearer Zusammenhang zwischen Beinlänge, Schrittdauer und Schrittlänge einer Rasse in verschiedenen Geschwindigkeiten besteht und wie groß der Einfluss des Körperbaus der Tiere dabei ist.

5.4. Kinetik

5.4.1. Vertikale Spitzenkraft

Es konnten folgende Werte ermittelt werden:

Tab. 32: Vertikale Spitzenkraft der Schultergliedmaßen

vertikale Spitzenkraft Schultergliedmaßen	rechte Seite (% KGW)	linke Seite (% KGW)
Maximum	61,9	62,4
Minimum	45,4	45,9
Mittelwert	56,1 ± 3,7	55,8 ± 3,9

Tab. 33: Vertikale Spitzenkraft der Beckengliedmaße

vertikale Spitzenkraft Beckengliedmaßen	rechte Seite (% KGW)	linke Seite (% KGW)
Maximum	42,9	44,4
Minimum	31,5	29,5
Mittelwert	38,8 ± 3,0	38,3 ± 3,7

Weder die vertikalen Spitzenkräfte der Schulter- noch die der Beckengliedmaße unterschieden sich signifikant (vorne: $T = 0,2152$; $df = 29$, hinten: $T = 0,4406$; $df = 28$).

Die Werte streuten weitaus weniger als in der Vorgängerstudie von Unkel-Mohrmann (1999).

Unkel-Mohrmann (1999) fand für Deutsche Schäferhunde auf dem Laufband höhere Mittelwerte und eine größere Standardabweichung die vertikale Spitzenkraft der Schultergliedmaßen betreffend ($69,57 \pm 10,53$ und $66,68 \pm 8,81$ % KGW).

Die Mittelwerte der Hintergliedmaßen ($41,49 \pm 4,16$ und $38,12 \pm 4,92$ % KGW) entsprechen den hier gefundenen Werten. Eine mögliche Ursache für diesen Unterschied stellt die bedeutend höhere Anzahl ausgewerteter Schritte dar. So wurden bei Unkel-Mohrmann im Schnitt sieben Schritte pro Gliedmaße und Hund ausgewertet. Bei einigen Tieren konnte von einer bis allen vier Gliedmaßen auch nur ein Schritt verwendet werden. In der hier vorliegenden Studie wurden im Schnitt 50 Schritte pro Gliedmaße und Hund ausgewertet. Das Minimum lag bei drei Schritten, weniger als zehn Schritte wurden nur bei vier Hunden bzw. sechs Gliedmaßen bestimmt.

Möglicherweise führte auch die weiterentwickelte und damit zuverlässigere und genauere Messtechnik zu einer geringeren Streuung der Werte.

Bockstahler et al. (2007) ermittelten für zehn Hunde großer Rassen beim Laufen auf einem Laufband Mittelwerte von $63,65 \pm 2,02$ und $63,33 \pm 2,08$ % KGW für die rechte und linke Vordergliedmaße und Werte von $39,11 \pm 2,68$ und $39,63 \pm 2,60$ % KGW für die rechte und linke Beckengliedmaße. Die Werte ähneln den im Rahmen dieser Studie erhobenen Daten.

Besancon et al. (2003) erhielten für Greyhounds, die mit einer Geschwindigkeit von 0,97 m/s im Schritt über Laufplatten geführt wurden, vertikale Spitzenkräfte von $61,62 \pm 3,4$ % KGW für die Vordergliedmaße und $42,30 \pm 1,41$ % KGW für die Beckengliedmaße.

Evans et al. (2005) verwendeten in ihrer Studie 17 gesunde Labrador Retriever als Referenzgruppe und ließen diese Hunde bei einer Geschwindigkeit von $1,0-1,3 \pm 0,5$ m/s im Schritt über eine Kraftmessplatte laufen. Die Hunde ähnelten den hier betrachteten Schäferhunden in Körperbau und Gewicht. Es ergaben sich Werte von 34,2 - 54,6 % KGW als vertikale Spitzenkräfte der Hinterbeine und schließen somit den hier ermittelten Wert ein.

Dueland et al. (1997) ermittelten für die Hinterbeine der untersuchten Hunde (19,5-26,3 kg) eine mittlere, vertikale Spitzenkraft von $53 \pm 9,9$ % KGW (30,20-70,66 % KGW). Sie erklärten die große Variabilität der Ergebnisse mit dem divergierenden Gewicht der Tiere.

Voss et al. (2007) betrachteten unter anderem gesunde Hunde großer Rassen im Schritt und errechneten eine vertikale Spitzenkraft von $42,3 \pm 4,5$ % KGW für die Beckengliedmaßen. Zudem fanden sie höhere vertikale Spitzenkräfte bei den leichteren Hunden im Vergleich zu den schwereren.

Sowohl bei Evans et al. (2005) als auch bei Dueland et al. (1997) und Voss et al. (2007) wurden keine Werte für die Vordergliedmaßen erhoben.

Bei einem Vergleich ist der Einfluss der Kopfhaltung der Hunde während der Aufnahme und eine dadurch denkbare Gewichtsumverteilung zwischen den Vorder- und Hinterbeinen zu berücksichtigen. In dieser Studie wurde eine mittlere Kopfhaltung angestrebt. Jedoch neigen manche Hunde auch rassebedingt zum erhobenen (z.B. Setter) oder bodennahen (z.B. Dackel) Tragen des Kopfes.

Tab. 34: Ergebnisse anderer Autoren

<u>vertikale</u>						
<u>Spitzenkraft</u>						
Gangart Schritt	Unkel- Mohrmann (1999)	Bockstahler et al. (2007)	Besancon et al. (2003)	Evans et al. (2005)	Dueland et al. (1997)	Voss et al. (2007)
Angaben in % KGW						
Rassen	Deutscher Schäferhund	Mischlinge großer Rassen	Greyhounds	Labrador und deren Mischlinge	Greyhounds	Hunde großer Rassen
rechte						
Schultergliedmaße	69,6 ± 10,5	63,7 ± 2,0	61,6 ± 3,4	-	-	-
linke						
Schultergliedmaße	66,7 ± 8,8	63,3 ± 2,1	61,6 ± 3,4	-	-	-
rechte						
Beckengliedmaße	41,5 ± 4,2	39,1 ± 2,7	42,3 ± 1,4	34,2 - 54,6	53,0 ± 9,9	42,3 ± 4,5
linke						
Beckengliedmaße	38,1 ± 4,9	39,6 ± 2,6	42,3 ± 1,4	34,2 - 54,6	53,0 ± 9,9	42,3 ± 4,5

Darüber hinaus wurden vertikale Spitzenkräfte von 80-110 % KGW für die Vorderbeine und 60-90 % KGW für die Hinterbeine beschrieben, jedoch wurden diese Studien entweder mit Hilfe eines Laufwegs und/oder in einer schnelleren Gangart angefertigt (Ballagas et al., 2004; Budsberg et al., 1987; Fachon et al., 2006; Jevens et al., 1993; Kapatkin et al., 2007; Madore et al., 2007; Renberg et al., 1999, Rumph et al., 1999). Die Ursache für die höheren Werte liegt in der höheren Geschwindigkeit, denn Off und Matis (1997 c) und Riggs et al. (1993) konnten ein Ansteigen der vertikalen Spitzenkräfte bei Zunahme der Bewegungsgeschwindigkeit aufzeigen.

Neun der untersuchten Hunde zeigten höhere Werte der rechten Schultergliedmaße und gleichfalls neun Hunde höhere Werte der rechten Beckengliedmaßen im Vergleich zur jeweils linken Seite. Dabei war diese Seitenbetonung nicht bei jedem Hund für die Vorder- und Hinterbeine gleich. Zudem bewegte sich die generelle Differenz zwischen

den beiden Gliedmaßen bei durchschnittlich 1,62 % KGW für die Vorderbeine (0,54-4,10 % KGW) und 0,93 % KGW (0,10-3,14 % KGW) für die Hinterbeine. Es konnte also keine Seitenpräferenz festgestellt werden.

Die erstellten Graphiken bestätigen den in der Literatur beschriebenen Verlauf der Winkelkurven.

5.4.2. Mittlerer, vertikaler Impuls

Folgende Werte konnten für den mittleren, vertikalen Impuls errechnet werden:

Tab. 35: Mittlerer, vertikaler Impuls

	mittlerer Impuls (% KGW*s)	Maximum (% KGW*s)	Minimum (% KGW*s)
rechte Schultergliedmaße	28,36 ± 1,95	31,64	23,30
linke Schultergliedmaße	28,10 ± 2,11	31,53	22,31
rechte Beckengliedmaße	20,33 ± 1,40	22,54	17,23
linke Beckengliedmaße	19,63 ± 1,98	22,42	14,46

Dabei ergab sich kein signifikanter Seitenunterschied zwischen den Vorder- (T = 0,4339; df = 29) und zwischen den Hinterbeinen (T = 1,1923; df = 26).

Da es sich beim Impuls um das Integral der vertikalen Kraft über die Zeit handelt, überrascht es nicht, dass wie bei der vertikalen Spitzenkraft auch die Werte des Impulses der Vordergliedmaßen bei Unkel-Mohrmann (1999) höher lagen. Sie berichtete von einem Impuls in Höhe von 35,47 ± 5,07 und 33,75 ± 4,18 % KGW*s für die Vorderbeine und von 21,64 ± 2,36 und 19,81 ± 2,76 % KGW*s für die Hinterbeine. Die Ergebnisse der Hintergliedmaßen sind wiederum vergleichbar.

Die von Besancon et al. (2003) beschriebenen mittleren Impulse für die Vordergliedmaße (27,96 ± 1,94 % KGW*s) und für die Beckengliedmaße (18,8 ± 0,97 % KGW*s) gleichen den gefundenen Werten.

Bockstahler et al. (2007) errechneten für Hunde mit einer etwas schnelleren Geschwindigkeit ähnliche Werte. (Schultergliedmaßen: $30,02 \pm 2,47$ und $30,39 \pm 3,02$ % KGW*s, Beckengliedmaßen: $18,10 \pm 2,01$ und $18,40 \pm 1,88$ % KGW*s).

Evans et al. (2005) fanden für Labrador Retriever mit einer etwas schnelleren Bewegungsgeschwindigkeit als die hier untersuchten Hunde einen vertikalen Impuls von 10,8-17,2 % KGW und somit einen niedrigeren Wert. Für die Vorderbeine wurden keine Daten erhoben.

Tab. 36: Ergebnisse anderer Autoren

mittlerer Impuls	Unkel- Mohrmann (1999)	Bockstahler et al. (2007)	Besancon et al. (2003)	Evans et al. (2005)
Gangart Schritt				
Angaben in % KGW*s				
untersuchte Rassen	Deutscher Schäferhund	Mischlinge großer Rassen	Greyhounds	Labrador und deren Mischlinge
rechte Schultergliedmaße	$35,47 \pm 5,07$	$30,02 \pm 2,47$	$27,96 \pm 1,94$	-
linke Schultergliedmaße	$33,75 \pm 4,18$	$30,39 \pm 3,02$	$27,96 \pm 1,94$	-
rechte Beckengliedmaße	$21,64 \pm 2,36$	$18,10 \pm 2,01$	$18,8 \pm 0,97$	10,8-17,2
linke Beckengliedmaße	$19,81 \pm 2,76$	$18,40 \pm 1,88$	$18,8 \pm 0,97$	10,8-17,2

Beschränkt man sich nicht auf die Betrachtung von Hunden in der Gangart Schritt, so finden sich weitere Angaben den vertikalen Impuls betreffend. Für die Gangart Trab werden niedrigere Werte bezüglich des vertikalen Impulses genannt (Ballagas et al., 2004; Jevens et al., 1993; Kapatkin et al., 2007; Madore et al., 2007; Rumph et al., 1994). Dies verwundert nicht, zeigten doch Riggs et al. (1993) durch die Untersuchung der Bewegung von Greyhounds in verschiedenen Geschwindigkeiten, dass mit zunehmender Geschwindigkeit die vertikale Spitzenkraft steigt, während der mittlere Impuls und die Standphasendauer sanken. Zudem besteht ein positiver

Zusammenhang zwischen der Standphasendauer und dem vertikalen Impuls bzw. ein negativer Zusammenhang zwischen dem mittlerem, vertikalen Impuls und der Geschwindigkeit (McLaughlin und Roush, 1994).

5.4.3. Gewichtsverteilung

Die Schäferhunde brachten, alle vier Gliedmaßen gemeinsam betrachtet, im Mittel eine Gesamtkraft von 189 % KGW auf. 111,9 % KGW entfielen dabei auf die Schultergliedmaßen und 77,1 % KGW übernahmen die Beckengliedmaßen.

Diese Ergebnisse entsprechen denen bei Unkel- Mohrmann (1999) in Bezug auf die Hinterbeine (79,70 % KGW). Wie zu erwarten ist, sind die Werte für die Vordergliedmaßen (136,25 % KGW) wie auch die der vertikalen Spitzenkräfte und des Impulses bei Unkel-Mohrmann höher. Die Ursache bleibt letztendlich ungeklärt. Die Daten sind mit Bockstahler et al. (2007) und Evans et al. (2005) vergleichbar.

Weitere Autoren fanden Werte für die Gesamtkraft der Gliedmaßen zwischen 230-240 % KGW für die beiden Vorder- und 140-180 % KGW für die beiden Hinterbeine (Fachon et al., 2006; O'Connor et al., 1989; McLaughlin et al., 1994; Riggs et al., 1993). Die Werte lagen, wie zu erwarten, über den hier ermittelten, da die Hunde in diesen Studien im Trab aufgenommen wurden.

Tab 37: Gewichtsverteilung

	Gewichtsverteilung
rechte Schultergliedmaße	29,60 ± 1,72
linke Schultergliedmaße	29,46 ± 1,74
rechte Beckengliedmaße	20,61 ± 1,55
linke Beckengliedmaße	20,32 ± 1,81
Schultergliedmaßen gesamt	59,07
Beckengliedmaßen gesamt	40,93
rechte Körperhälfte	50,22
linke Körperhälfte	49,78

Die Ergebnisse der Gewichtsverteilung bestätigen eine Belastung der Vorderbeine zu je 30 % und der Hinterbeine zu je 20 % der Gesamtbelastung.

Beide Körperhälften wurden gleich stark belastet, dies entspricht den in anderen Studien erhobenen Verhältnissen (Budsberg et al., 1987 a, b; Griffon et al., 1994; Jevens et al., 1993; Kapatkin et al., 2007; Larche, 1962; Unkel- Mohrmann, 1999; O'Connor et al., 1989; Rumph et al., 1994). Die bei Unkel-Mohrmann (1999) beschriebene Seitendifferenz konnte nicht bestätigt werden.

5.4.4. Zeitpunkt der vertikalen Spitzenkraft

Es konnte weder ein signifikanter Unterschied im Zeitpunkt der vertikalen Spitzenkraft zwischen den Gliedmaßen noch zwischen den Gliedmaßenpaaren aufgezeigt werden.

Tab. 38: Zeitpunkt der vertikalen Spitzenkraft (tmax)

Angaben in Sekunden	tmax	
rechte Schultergliedmaße	0,345 ± 0,056	T = 1,0751; df = 28
linke Schultergliedmaße	0,319 ± 0,073	
rechte Beckengliedmaße	0,309 ± 0,040	T = -0,6876; df = 29
linke Beckengliedmaße	0,319 ± 0,044	

Bezieht man den Zeitpunkt des Erreichens der vertikalen Spitzenkraft (Fzmax) auf die Dauer der Standphase, so wurde Fzmax von den Schultergliedmaßen im Mittel nach 45,6 ± 8,5 % der Standphase und von den Hinterbeinen nach durchschnittlich 43,9 ± 5,9 % der Standphase erreicht. Es trat kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gliedmaßenpaaren auf (T = 0,9157; df = 55).

Fachon et al. (2006) führten 10 gesunde Belgische Schäferhunde auf einem Laufband im Trab (2,7 m/s). Die Hunde erreichten dabei nach 19,98 % des Schrittes bzw. nach 42,51 % der Standphase den vertikalen Spitzenwert.

Madore et al. (2007) untersuchten gesunde Hunde und Hunde mit Gon- oder Coxarthrose im Trab und erhielten für die Gruppe der gesunden Hunde eine Zeit bis zur vertikalen Spitzenkraft von 0,115 ± 0,017 s. Dabei berechneten sie für die Hinterbeine der gesunden Hunde einen Anteil der Lastübernahmephase von 44,06 ± 3,36 % der Standphase.

5.4.5. Belastungs- und Entlastungsgeschwindigkeit

Folgende Werte für die Be- und Entlastungsrate ließen sich ableiten:

Tab. 39: Belastungs- und Entlastungsrate

Angaben in % KGW/s	Belastung	Entlastung
rechte Schultergliedmaße	3,034 ± 0,568	-2,893 ± 0,232
linke Schultergliedmaße	3,156 ± 0,624	-2,954 ± 0,340
	T = -0,5614; df = 29	T = 0,5751; df = 26
rechte Beckengliedmaße	2,572 ± 0,554	-2,011 ± 0,477
linke Beckengliedmaße	2,317 ± 0,639	-2,046 ± 0,403
	T = 1,1704; df = 29	T = 0,2203; df = 29

Vergleichswerte für die Gangart konnten nicht gefunden werden.

Budsberg et al. (1995) ermittelten für gesunde Hunde für unterschiedliche Geschwindigkeiten im Trab maximale Belastungsgeschwindigkeiten von 7,49-8,14 % KGW/s für die Vorderbeine und von 4,15-4,33 % KGW/s für die Hinterbeine. Für die Entlastung ergaben sich Werte von -6,58- -7,14 % KGW/s für die Schultergliedmaßen und von -4,95- -5,35 % KGW/s für die Beckengliedmaßen. Dabei traten die maximalen Geschwindigkeiten der Schultergliedmaße früher im Schritt auf als die der Beckengliedmaße. Sie zeigten damit eine positive Korrelation zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit und der Be- und Entlastungsrate auf.

5.5. Kinematik

5.5.1. Kinematik der Schultergliedmaßen

Tab. 40: Maximum, Minimum und Bewegungsumfang der Gelenkwinkel der Schultergliedmaßen

	Maximum	Minimum	Bewegungsumfang
Schultergelenk rechts	155,6 ± 8,7	118,1 ± 8,8	37,5 ± 4,6
Schultergelenk links	149,5 ± 7,7	113,5 ± 7,6	36,0 ± 4,6
Ellbogengelenk rechts	156,9 ± 10,0	102,7 ± 9,5	54,2 ± 4,8
Ellbogengelenk links	153,9 ± 10,1	97,5 ± 11,1	56,4 ± 6,4
Karpalgelenk rechts	208,8 ± 10,8	113,6 ± 12,1	95,3 ± 10,7
Karpalgelenk links	207,7 ± 9,5	114,6 ± 9,7	93,1 ± 11,6

Signifikante Seitenunterschiede ergaben sich für keinen der ermittelten Werte.

Die gefundenen Gelenkwinkelverläufe entsprechen zudem den in der Literatur und hier beschriebenen (Abbildungen 24-32).

Zahlreiche Arbeiten beschäftigten sich mit den Gelenkwinkeln der Schultergliedmaße im Stand und im Trab. Für die Gangart Schritt finden sich nur wenige Vergleichsarbeiten. Einige Werte für Schritt und Trab sind im Folgenden angegeben:

Tab. 41: Vergleichswerte der Gelenkwinkel für die Gangart Schritt

Gangart Schritt Angaben	Unkel- Mohrmann (1999)	Hottinger et al. (1996 a)
in Grad		
untersuchte Rassen	Deutscher Schäferhund	Hunde großer Rassen
Schultergelenk	-	-
Maximum	125-128	-
Minimum	93-97	-
Bewegungsumfang	32	25,3 ± 4,6
Ellbogengelenk	-	-
Maximum	138-144	-
Minimum	82	-
Bewegungsumfang	56 -62	48,1 ± 5,2
Karpalgelenk	-	-
Maximum	204-211	-
Minimum	92-101	-
Bewegungsumfang	111-112	91,1 ± 11,7

Die im Rahmen dieser Studie ermittelten Gelenkwinkel ähneln den von Unkel-Mohrmann (1999) und Hottinger et al. (1996) genannten Daten.

Die Unterschiede zur Arbeit Unkel-Mohrmann (1999) können durch die schnellere Fortbewegungsgeschwindigkeit der Hunde entstanden sein. Hottinger et al. (1996) dagegen evaluierte Hunde unterschiedlicher Rassen. Daneben verwendeten sowohl Hottinger et al. (1996) als auch Unkel-Mohrmann (1999) zweidimensionale, optische Analysesysteme. Dabei können Fehler entstehen. Bewegt sich der Hund nicht vollständig im rechten Winkel zur Kamera, sind die Entfernungen der Marker zur Kamera unterschiedlich lang und über diesen Abstand wurde die Veränderung der Gelenkwinkel während des Schrittes berechnet.

Daneben entstehen weitere Fehler durch Ungenauigkeiten in der Positionierung der Marker und durch die Verschieblichkeit der Haut über den Knochenpunkten während der Bewegung des Tieres (DeCamp et al., 1993; Van Weeren et al., 1988).

In der Tat besteht die Herausforderung bei der Positionierung der Marker darin, den Drehpunkt des Gelenks auf der Haut wiederzufinden (Off und Matis, 1997 a). Das

Anbringen der Marker durch eine einzige Person kann helfen Fehler und Differenzen zu vermeiden (Owen et al., 2004). Aus diesem Grund wurde die Anbringung der Marker bei den hier untersuchten Hunden immer von derselben geübten Person durchgeführt.

In den proximalen Gliedmaßenbereichen stellt die Hautverschieblichkeit das größere Problem dar. Die distalen Gelenke sind mehr durch Fehler in der Anbringung der Marker zu beeinflussen als die proximalen Gelenke, da auf Grund der kürzeren Segmentlängen Ungenauigkeiten einen relativ höheren Einfluss auf die Ergebnisse haben. Zudem ist die Hautverschiebung im Bereich der distalen Gliedmaße vernachlässigbar, im Bereich der proximalen Gliedmaße dagegen hoch (Van Weeren et al., 1992). Untersucht man Tiere der gleichen Art und Rasse mag das nicht so stark ins Gewicht fallen, der Fehler ist allerdings bereits bei der Untersuchung unterschiedlicher Rassen nicht mehr genau abschätzbar. Somit erscheint die Hautverschiebung die Hauptfehlerquelle der Kinematik zu sein.

Bedenkt man die vorhandenen Fehlerquellen, wie Hautverschieblichkeit, Fehler beim Anbringen der Marker und die anatomischen Unterschiede, so kann man auch mit der hier verwendeten, dreidimensionalen Technik nur ein Modell des kinematischen Bewegungsanteils eines Hundes entwerfen. Wie schon DeCamp et al. (1993) geschrieben, stimmt das entworfene Modell nicht vollständig mit der tatsächlichen, physiologischen und physiognomischen Situation überein.

Andere Autoren untersuchten Hunde im Trab und errechneten folgende Gelenkwinkel:

Tab. 42: Ergebnisse der Gelenkwinkel für die Gangart Trab

Gangart Trab	Gillette und Zebas (1999)	Allen et al. (1994)	DeCamp et al. (1993)	Clemenst et al. (2005)	Owen et al. (2005)
Angaben in Grad					
Rassen	Labrador und deren Mischlinge	Mischlinge großer Rassen	Greyhounds	Labrador+ deren Mischlinge	Greyhounds
Schultergelenk	-	-	-	-	-
Bewegungsumfang	42-43	29,4	30,3	-	-
Ellbogengelenk	-	-	-	-	-
Bewegungsumfang	66-69	55,8	53,7	59,3	49,0-50,3
Karpalgelenk	-	-	-	-	-
Bewegungsumfang	144-150	102,3	106	-	-

Auf Grund der schnelleren Gangart ist einer direkter Vergleich allerdings nur bedingt möglich. Die Ergebnisse ähneln sich jedoch. Unterschiede scheinen durch die Rasse- und Geschwindigkeit bedingt zu sein.

5.5.2. Kinematik der Beckengliedmaßen

Tab. 43: Maximum, Minimum und Bewegungsumfang der Gelenkwinkel der Beckengliedmaßen

	Maximum	Minimum	Bewegungsumfang
Hüftgelenk rechts	122,8 ± 12,0	88,8 ± 11,9	34,0 ± 4,2
Hüftgelenk links	121,2 ± 10,0	86,7 ± 10,9	34,5 ± 3,3
Kniegelenk rechts	137,2 ± 5,7	98,9 ± 5,3	39,0 ± 4,7
Kniegelenk links	133,8 ± 7,9	95,9 ± 6,6	37,8 ± 5,3
Sprunggelenk rechts	143,7 ± 5,4	105,7 ± 8,1	38,0 ± 6,4
Sprunggelenk links	141,5 ± 6,7	104,0 ± 8,1	37,5 ± 6,5

Im Rahmen der statistischen Aufarbeitung konnten keine signifikanten Seitenunterschiede zwischen den Gelenkwinkeln der Hinterbeine gefunden werden. Die Kurvenverläufe zeigten ebenfalls den oben und in der Literatur erwähnten Verlauf (Abbildungen 33-41).

Die Ergebnisse ähneln den von anderen Autoren für die Gangart Schritt ermittelten Werten stark. Ihre Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 44: Ergebnisse anderer Autoren der Gelenkwinkel für die Gangart Schritt

Gangart Schritt	Unkel- Mohrmann (1999)	Hottinger et al. (1996)	Bockstahler et al. (2007)	Kim et al. (2008)	Marsh et al. (2009)
Angaben in Grad					
Rassen	Deutscher Schäferhund	Hunde großer Rassen	Malinois	Hunde großer Rassen	Golden Retriever
Hüftgelenk	-	-	-	-	-
Maximum	136-141	-	-	-	-
Minimum	98-99	-	-	-	-
Bewegungsumfang	38-42	34,6 ± 3,4	32,7 ± 4,8	31,0 ± 4,2	-
Kniegelenk	-	-	-	-	-
Maximum	126-131	-	-	-	-
Minimum	90-95	-	-	-	-
Bewegungsumfang	35-36	37,8 ± 5,0	38,4 ± 3,9	48,9 ± 10,2	38,1 ± 4,8
Sprunggelenk	-	-	-	-	-
Maximum	136-139	-	-	-	-
Minimum	96-99	-	-	-	-
Bewegungsumfang	37-41	32,0 ± 5,4	36,6 ± 8,4	37,5 ± 11,1	33,7 ± 7,7

Auf Grund der wenigen Vergleichsarbeiten in der Gangart Schritt wurden im Folgenden auch Vergleichswerte anderer Autoren für den Trab angegeben.

Tab. 45: Vergleichswerte anderer Autoren für die Gangart Trab

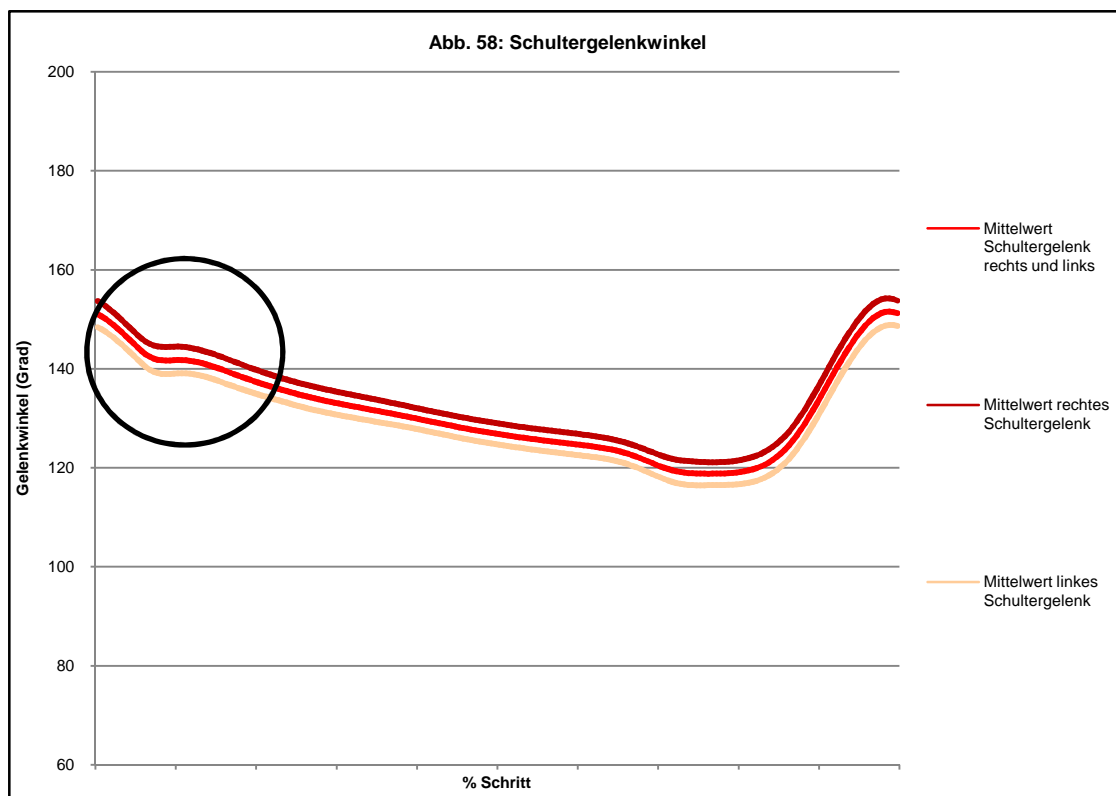
<u>Gangart Trab</u>	Gillette und Zebas (1999)	Allen et al. (1994)	DeCamp et al. (1993)	Clemenst et al. (2005)	Owen et al. (2005)
Angaben in Grad					
Rassen	Labrador und deren Mischlinge	Mischlinge großer Rassen	Greyhounds	Labrador+ deren Mischlinge	Greyhounds
Hüftgelenk	-	-	-	-	-
Bewegungsumfang	43-46	30,4	-	-	-
Kniegelenk	-	-	-	-	-
Bewegungsumfang	66	50,5	54,1 ± 7,0	61,3 ± 9,2	52,3-53,1
Sprunggelenk	-	-	-	-	-
Bewegungsumfang	59-61	48,7	-	-	-

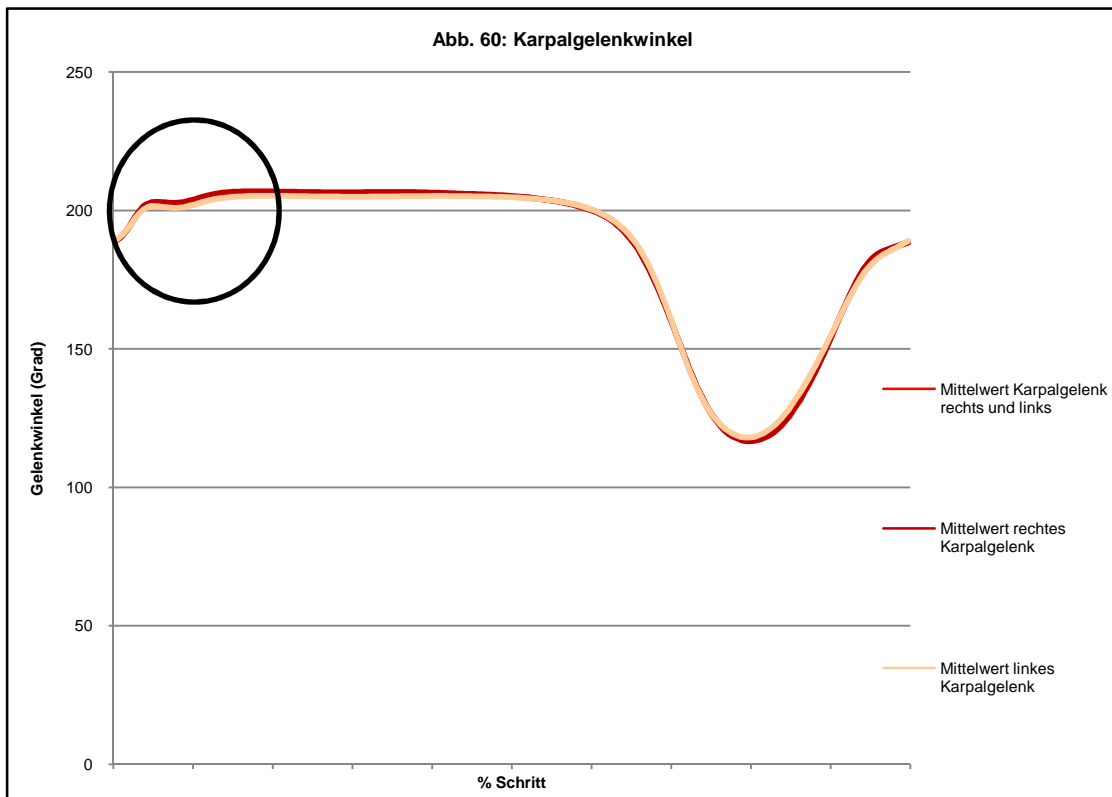
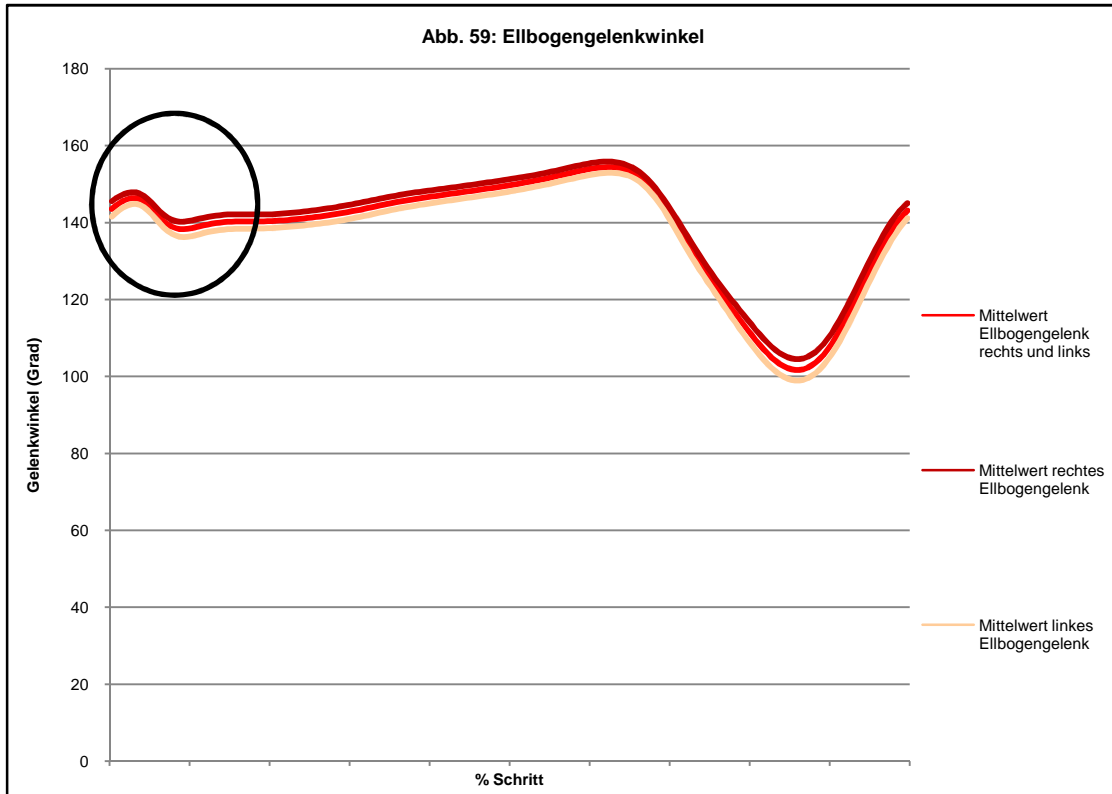
Auf Grund der schnelleren Bewegungsgeschwindigkeit in diesen Studien ist ein direkter Vergleich allerdings nur bedingt möglich. Die Ergebnisse sind sich aber ähnlich. Unterschiede scheinen durch die Rasse und Geschwindigkeit bedingt zu sein.

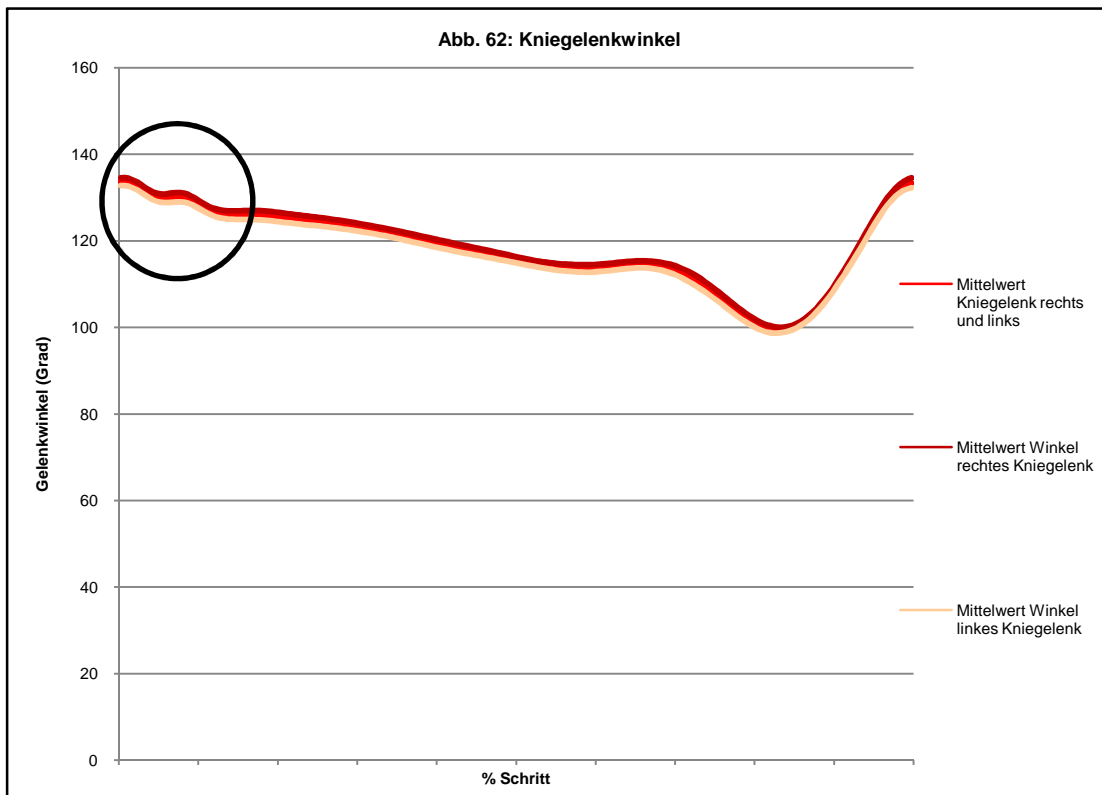
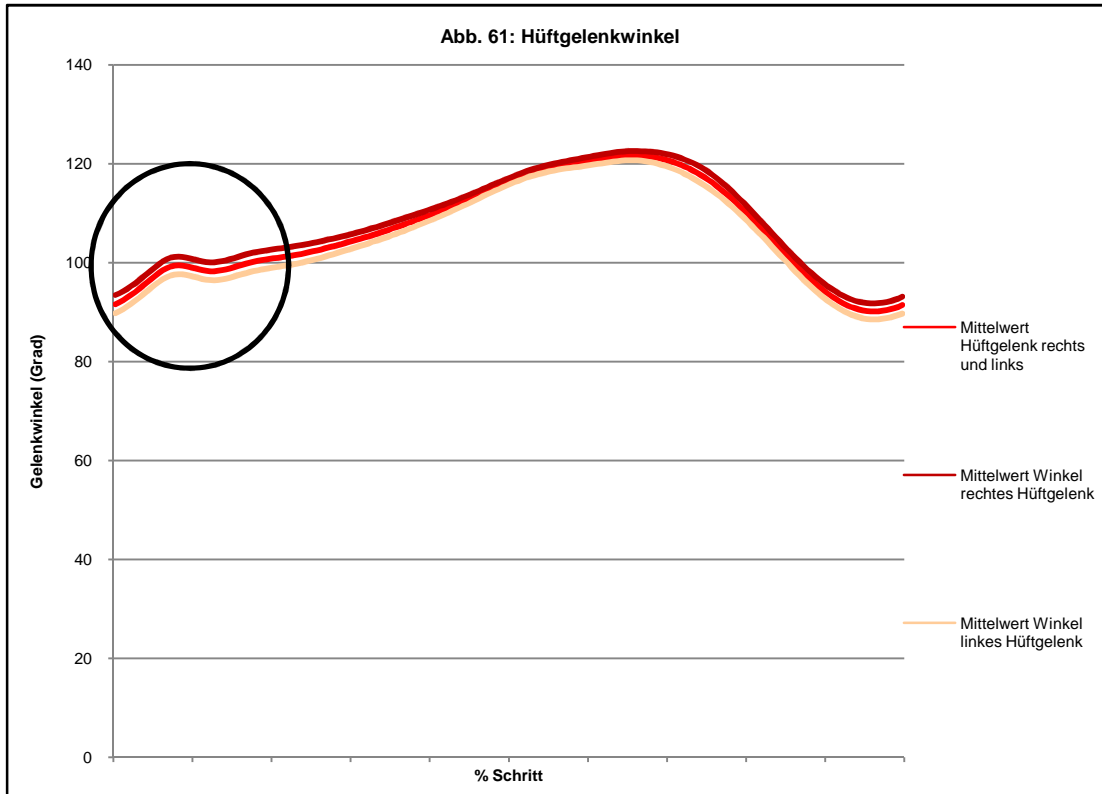
5.5.3. Gelenkwinkelverlauf

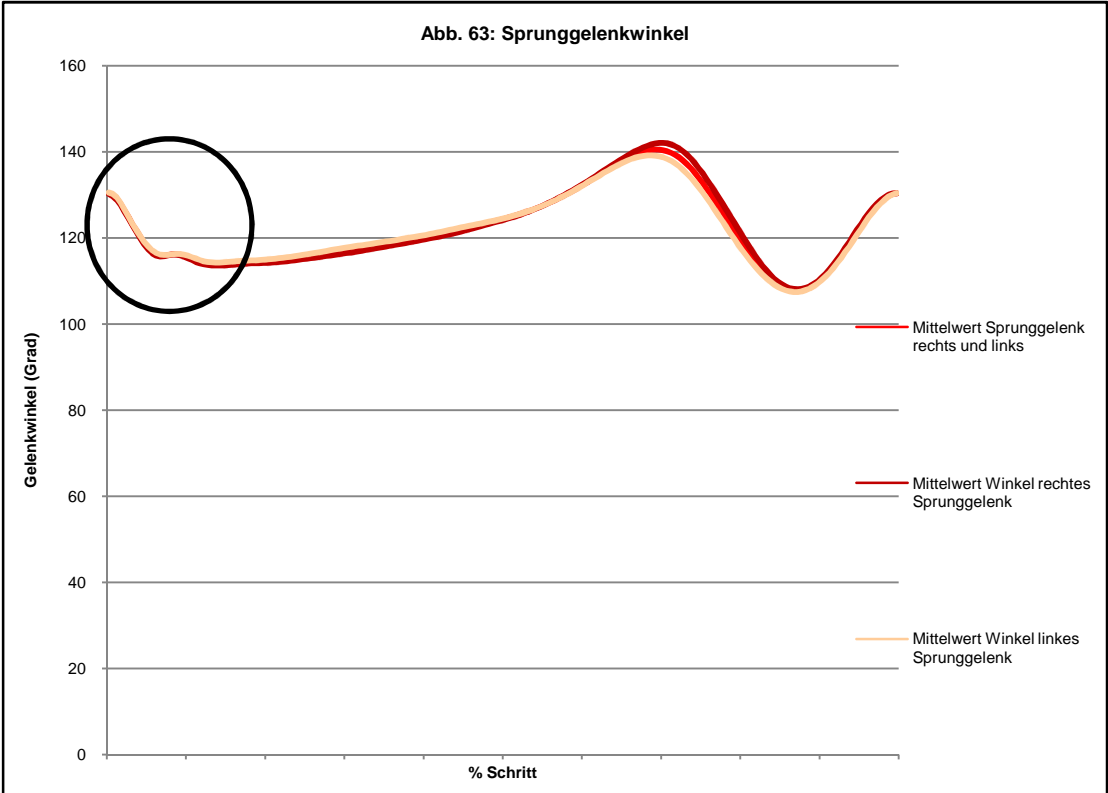
Die Verläufe der Gelenkwinkel (siehe Abbildungen 58-63) entsprachen im Wesentlichen den von anderen Autoren beschriebenen (Hottinger et al., 1996; Leach, 1977).

Auffällig war lediglich eine kurzfristig stärkere Extension bzw. Flexion kurz nach dem Aufsetzen der Gliedmaße mit anschließender Verlangsamung dieser Bewegung. Erst danach setzte jedes Gelenk seine Beugung oder Streckung fort. Dies könnte als Zeichen für den Beginn der Lastübernahme beim Auffüßen interpretiert werden. Der Hund fängt hier sein Gewicht (Muskelaktivität) ab und setzt danach die ursprüngliche Bewegung fort. Natürlich lässt sich ein Artefakt durch Hautverschiebung an diesem Punkt nicht vollständig ausschließen, allerdings waren diese Veränderungen nahezu identisch an der rechten und linken Gliedmaße und bei den verschiedenen Hunden. Weder in der rekonstruierten Strichfigur noch in den Audio-Video-Dateien konnten bei Slow-Motion-Betrachtungen der Bewegung der Hunde Artefakte durch Schwingungen der Marker oder Ähnlichem gefunden werden. Eine weitere Abklärung dieser Beobachtung könnte mittels einer Laufbanduntersuchung mit gleichzeitiger Elektromyographie möglich sein.









5.5.4. Winkelgeschwindigkeit

Mit Hilfe der Winkelgeschwindigkeit lassen sich dezente Lahmheiten, die sich noch nicht in einer Veränderung des Bewegungsumfanges niederschlagen, unter Umständen identifizieren (Marghitu et al., 1996; Richards et al., 2003). Darüberhinaus ist die Winkelgeschwindigkeit weniger anfällig für Ungenauigkeiten im Bezug auf die Anbringung der Marker als der Gelenkwinkel selbst (DeCamp et al., 1996).

Bisher gibt es nur wenige Veröffentlichungen zur Winkelgeschwindigkeit beim Hund. DeCamp et al. (1996) untersuchten sieben Mischlinge vor und nach der Transektion des vorderen Kreuzbandes im Trab. Sie ermittelten für den gesunden Hunde Werte von -300 bis +300 Grad/s für das Hüftgelenk, von -500 bis +600 Grad/s für das Kniegelenk und von -600 bis +600 Grad/s für das Sprunggelenk. Zudem fanden sie Veränderungen der Verläufe der Gelenkwinkel und der Winkelgeschwindigkeiten nach der Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes.

Gillette und Zebas (1999) betrachteten gesunde Labrador Retriever und deren Mischlinge ebenfalls im Trab und erhielten Winkelgeschwindigkeiten für das Schultergelenk von 355-380 Grad/s für die Beugung und von 416-460 Grad/ s für die Streckung. Für das Hüftgelenk ergaben sich Werte von 251-290 Grad/s bei Flexion und von 333-374 Grad/s für die Extension.

Owen et al. (2004) ließen gesunde Greyhounds auf dem Laufband traben. Sie betrachteten dabei unter anderem Gelenkwinkel und Winkelgeschwindigkeit von Ellbogen- und Kniegelenk. Sie ermittelten eine Winkelgeschwindigkeit von etwa -700 bis +500 Grad/s für das Ellbogen- und Kniegelenk.

Bennett et al. (1996) führten Hunde großer Rassen mit und ohne Coxarthrose im Trab über eine Kraftmessplatte. Dabei errechneten sie für die gesunden Hunde maximale Werte der Winkelgeschwindigkeit von etwa -400 bis +250 Grad/ s für das Hüftgelenk, von circa -500 bis +700 Grad/s für das Kniegelenk und von etwa -600 bis +600 Grad/s für das Sprunggelenk. Sie fanden Unterschiede in Bezug auf die Winkelgeschwindigkeit aller drei Gelenke im Vergleich zu den Hunden mit Coxarthrose.

Folgende Werte wurden im Rahmen dieser Studie errechnet:

Tab. 46: Maxima und Minima der Winkelgeschwindigkeit

	Maximum	Minimum
Schultergelenk rechts	341,02 ± 76,07	-232,50 ± 46,41
Schultergelenk links	349,20 ± 57,52	-215,86 ± 44,55
	T = -0,3381; df = 27	T = -1,0017; df = 29
Ellbogengelenk rechts	502,58 ± 58,06	-467,79 ± 81,25
Ellbogengelenk links	505,15 ± 115,74	-480,48 ± 119,41
	T = -0,0769; df = 22	T = 0,3401; df = 26
Karpalgelenk rechts	808,85 ± 114,00	-1041,06 ± 129,72
Karpalgelenk links	762,63 ± 128,18	-1047,69 ± 163,14
	T = 1,0434; df = 29	T = 0,1231; df = 28
Hüftgelenk rechts	174,96 ± 45,38	-212,29 ± 39,64
Hüftgelenk links	177,25 ± 42,82	-212,44 ± 43,87
	T = -0,1420; df = 29	T = 0,0094; df = 29
Kniegelenk rechts	375,54 ± 57,08	-227,09 ± 48,68
Kniegelenk links	370,64 ± 59,48	-232,80 ± 58,88
	T = 0,2301; df = 29	T = 0,2897; df = 28
Sprunggelenk rechts	328,49 ± 60,38	-392,66 ± 89,29
Sprunggelenk links	334,74 ± 55,99	-366,15 ± 86,15
	T = -0,2943; df = 29	T = 0,5237; df = 27

Für die Winkelgeschwindigkeit der Gelenke im Schritt konnten keine vollständigen Referenzwerte gefunden werden.

Bockstahler et al. (2007) untersuchten gesunde Malinois und Malinois mit radiologischen Anzeichen einer Borderline-Hüftdysplasie im Schritt (0,9 m/s). Für die Gruppe der gesunden Hunde ergaben sich maximale Extensions- und Flexionsgeschwindigkeiten von 140,98 ± 40,94 und -197,98 ± 26,28 Grad/s für das Hüftgelenk, von 397,98 ± 57,85 und -266,58 ± 47,00 Grad/s für das Kniegelenk und von 320,31 ± 71,71 und -361,71 Grad/s für das Sprunggelenk. Zudem fanden sie keine signifikanten Unterschiede der Bodenreaktionskräften der beiden Gruppen, sondern Differenzen in Bezug auf den Gelenkwinkel des Kniegelenkes und der Winkelgeschwindigkeit der drei großen Gelenke der Hinterhand. Unterschiede im Verlauf der Winkelgeschwindigkeit zu der Studie von Bockstahler et al. (2007) treten vor allem im ersten Drittel der Standphase auf. Die restlichen Verläufe ähneln sich. Diese Differenzen können zum einen durch die Hautverschiebung entstanden sein (Schwingung des Markers beim Aufsetzen des Fußes) oder durch die unterschiedliche Aufnahme Frequenz (Bockstahler: 50 Hz, hier: 100Hz).

Bei Betrachtung der Winkelgeschwindigkeit waren Werte mit negativem Vorzeichen Ausdruck einer Flexionsbewegung des Gelenks und Winkelgeschwindigkeiten mit positivem Vorzeichen Ausdruck einer Extensionsbewegung (Abbildungen 44–55).

Für das Schultergelenk wurden maximale Werte für die Geschwindigkeit der Extension kurz vor Erreichen des maximalen Schultergelenkwinkels, das heißt kurz vor dem Aufsetzen des Fußes, gefunden. Die maximale Flexionsgeschwindigkeit fand kurz nach dem Aufsetzen statt. Das Ellbogengelenk zeigte seine maximale Flexionsgeschwindigkeit im ersten Drittel der Schwungphase und seine größte Extensionsgeschwindigkeit im letzten Drittel der Schwungphase. Gleiches galt für das Karpalgelenk. Das Hüftgelenk verhielt sich dem Schultergelenk gegenläufig. Die schnellste Extension fand hier zu Beginn der Standphase statt. Die maximale negative Winkelgeschwindigkeit etwa in der Mitte der Schwungphase. Das Kniegelenk entwickelte seine größte Flexionsgeschwindigkeit zu Beginn der Schwungphase kurz nach dem Abfußen, wohingegen die größte Extensionsgeschwindigkeit im letzten Drittel der Schwungphase auftrat. Für das Sprunggelenk konnte die maximale negative bzw. positive Winkelgeschwindigkeit im Verlauf der ersten bzw. zweiten Hälfte der Schwungphase gemessen werden.

Der Verlauf der Winkelgeschwindigkeit eines jeden Gelenks zeigte zwar individuelle Unterschiede vor allem die Amplituden betreffend, jedoch fand sich eine Grundform der Veränderungen der Beugungs- und Streckungsgeschwindigkeit bei jedem Hund wieder. In welchem Maß die Winkelgeschwindigkeit durch Rasse, Körperbau und Kondition beeinflussbar ist, bleibt in weiteren Studien zu klären. Die Winkelgeschwindigkeit scheint jedoch Veränderungen im Gangbild aufzuzeigen, bevor eine klinische Lahmheit erkennbar ist.

5.5.5. Zusätzliche kinematische Parameter

Im Rahmen der kinematischen Auswertung konnten anhand der Markerkoordinaten bisher üblicherweise nicht berücksichtigte Parameter ermittelt werden. Es fand sich hierzu nur eine Vergleichsarbeit. Poy et al. (2000) untersuchten 19 an Hüftdysplasie erkrankte Hunde unterschiedlicher Rassen und verglichen diese mit 10 gesunden Hunden. Die Hunde wogen zwischen 26 und 43 kg. Ihr Gewicht entsprach somit in etwa dem Gewicht der im Rahmen dieser Studie untersuchten Hunde. Sie errechneten ebenfalls den Abduktionswinkel der Beckengliedmaßen, die mediolaterale Hüftbewegung, das Anheben der Hinterpfoten und den Abstand der Sprunggelenke. Im Folgenden sind die von Poy et al. (2000) gefundenen Werten, denen dieser Studie gegenüber gestellt.

Tab. 47: Kinematische Parameter der Hintergliedmaßen

Kinematische Parameter	diese Studie	Poy et al. (2000)
Rasse	Deutscher Schäferhund	Hunde unterschiedlicher Rassen
Geschwindigkeit/ Gangart	0,81 ± 0,08/ Schritt	1,85-2,15/ Trab
Maximum Abduktion der rechten HGLM (Grad)	98,0 ± 3,0	95,9 ± 2,7
Maximum Abduktion der linken HGLM (Grad)	97,2 ± 3,5	95,9 ± 2,7
Minimum der rechten HGLM (Grad)	82,8 ± 2,7	84,5 ± 3,1
Minimum der linken HGLM (Grad)	82,7 ± 3,3	84,5 ± 3,1
ROM der Abduktion der rechten HGLM (Grad)	15,2 ± 2,1	11,4 ± 3,3
ROM der Abduktion der linken HGLM (Grad)	14,6 ± 2,9	11,4 ± 3,3
ROM mediolat. Hüftbewegung rechts (cm)	1,0 ± 0,3	5,0 ± 1,9
ROM mediolat. Hüftbewegung links (cm)	1,1 ± 0,3	5,0 ± 1,9
Maximum Abstand Tarsalgelenksmarker (cm)	37,7 ± 2,4	16,6 ± 3,1
Minimum Abstand Tarsalgelenksmarker (cm)	16,9 ± 1,8	11,1 ± 3,1
ROM Abstand Tarsalgelenksmarker (cm)	20,8 ± 2,4	5,5 ± 1,1
Maximum Abstand Pfotenmarker (cm)	44,6 ± 2,8	-
Minimum Abstand Pfotenmarker (cm)	17,8 ± 2,5	-
ROM Abstand Pfotenmarker (cm)	26,9 ± 3,4	-
Maximum Anheben Pfote der rechten HGLM (cm)	8,7 ± 1,0	9,8 ± 2,0
Maximum Anheben Pfote der linken HGLM (cm)	9,0 ± 0,9	9,8 ± 2,0

HGLM: Hintergliedmaße, ROM: Bewegungsumfang

Die Werte sind vergleichbar. Die bestehenden geringen Unterschiede können durch die unterschiedliche Gangart bzw. Geschwindigkeit in beiden Studien entstanden sein, denn die Hunde sind in Größe, Körperbau und Gewicht vergleichbar. Lediglich der Abstand der Marker des rechten und linken Sprunggelenkes zeigte deutlich größere Werte als die von Poy et al. ermittelten. Dies kann in der starken Winkelung der Hinterhand des Schäferhundes begründet sein.

Für die Ergebnisse der Vordergliedmaßen wurden keine Vergleichswerte gefunden.

Tab. 48: Kinematische Parameter der Vordergliedmaßen

	Maximum	Minimum	ROM
Abduktion rechte VGLM (Grad)	103,9 ± 4,4	76,6 ± 3,6	27,3 ± 5,7
Abduktion linke VGLM (Grad)	105,5 ± 5,3	78,0 ± 5,0	27,5 ± 5,0
Abstand der Karpalgelenksmarker (cm)	39,3 ± 2,4	17,3 ± 2,6	22,0 ± 2,6
Abstand der Pfotenmarker VGLM (cm)	45,2 ± 2,5	17,1 ± 2,4	27,9 ± 2,9
Anheben der Pfote der rechten VGLM (cm)	9,4 ± 1,4	-	-
Anheben der Pfote der linken VGLM (cm)	10,2 ± 1,4	-	-

VGLM: Vordergliedmaßen

Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der rechten und linken Gliedmaße eines Gliedmaßenpaars. Die Pfoten der Vorderbeine wurden signifikant höher angehoben als die Pfoten der Hinterbeine.

Inwieweit diese Parameter durch Rasse, Körperbau, Geschwindigkeit und orthopädische Krankheiten beeinflussbar sind, muss in weiteren Studien untersucht werden.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Studie war es, die mittels eines zweidimensionalen, optischen Ganganalysesystems erhobenen Daten auf Reproduzierbarkeit zu überprüfen und zu ergänzen. Dafür wurde das Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München verwendet. Das Ganglabor besteht aus einem Laufband mit vier Kraftmessplatten, dem optischen System Vicon V- MX Motion Capture, neun digitalen Kameras und einem Belichtungssystem. Mittels der Software Vicon Nexus und QuadruPedLocomotion wurden von 16 Deutschen Schäferhunden gleichzeitig Kinetik und Kinematik aller Gliedmaßen erfasst und ausgewertet. Die Tiere liefen dabei mit einer Geschwindigkeit von im Mittel $0,81 \pm 0,08$ m/s im Schritt.

Unter den 16 Hunden waren neun Hündinnen und sieben Rüden. Sie zeichneten sich durch eine durchschnittliche Widerristhöhe von $63,5 \pm 2,9$ cm, einer Kruppenhöhe von $61,9 \pm 2,7$ cm und einem Gewicht von $33,9 \pm 3,9$ kg aus. Dabei waren die Hündinnen kleiner und leichter als die Rüden. Alle Hunde waren symmetrisch bemuskelt (Oberschenkelumfang $46,9 \pm 2,3$ cm). Von allen 16 Hunden konnten kinematische und kinetische Daten erhoben werden.

Es wurde eine durchschnittliche Schrittdauer von $1,00 \pm 0,067$ s ermittelt. Dies entspricht einer Schrittfrequenz von 1,00 Schritten pro Sekunde. Dabei ergab sich ein Verhältnis der Stand- zur Schwungphase von 2,7 : 1. Die Schrittlänge betrug im Mittel $58,26 \pm 4,83$ cm. Die Schrittlängen der Vorder- und Hinterbeine und der rechten bzw. linken Gliedmaße eines Paares unterschieden sich nicht signifikant. Sie korrelierten aber mit der Geschwindigkeit.

Die Berechnung der vertikalen Bodenreaktionskräfte ergab Spitzenwerte von $56,1 \pm 3,7$ % KGW und $55,8 \pm 3,9$ % KGW für die rechte und linke Schultergliedmaße. Für die Beckengliedmaßen ergaben sich Werte von $38,8 \pm 3,0$ (rechts) und $38,3 \pm 3,7$ % KGW (links). Alle vier Gliedmaßen zusammen brachten 189 % KGW auf, 111,9 % KGW entfielen dabei auf die Vorderbeine und 77,1 % KGW auf die Hinterbeine. Beide Körperhälften wurden gleich stark belastet (rechts: 50,22 %, links: 49,78 %).

Aus den ermittelten Werten errechnet sich ein mittlerer, vertikaler Impuls von $28,36 \pm 1,95$ und $28,10 \pm 2,11$ % KGW*s für die Vorder- und $20,33 \pm 1,40$ bzw. $19,63 \pm 1,98$ % KGW*s für die Beckengliedmaßen. Die Betrachtung der Gewichtsverteilung bestätigt das Verteilungsverhältnis der Last von etwa 30 % je Vorder- und etwa 20 % je Hinterbein.

Die vertikale Spitzenkraft wurde nach $45,6 \pm 8,5$ % (Schultergliedmaßen) und $43,9 \pm 5,9$ % der Standphase (Hintergliedmaßen) erreicht. Dabei trat kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gliedmaßenpaaren auf.

Die Lastübernahme fand mit einer Geschwindigkeit von $3,034 \pm 0,568$ und $3,156 \pm 0,624$ % KGW/s in den Vorderbeinen statt. Für die Beckengliedmaßen konnten Werte von $2,572 \pm 0,554$ und $2,317 \pm 0,639$ % KGW/s ermittelt werden.

Auch die Entlastungsrate der Vorderbeine war größer als die der Hinterbeine. (vorne: $-2,893 \pm 0,232$ und $-2,954 \pm 0,340$ % KGW/s; hinten: $-2,011 \pm 0,477$ und $-2,046 \pm 0,403$ % KGW/s).

Das Schultergelenk zeigte einen Bewegungsumfang von $36,8 \pm 4,7^\circ$ bei einem Maximum von durchschnittlich $152,6 \pm 8,8^\circ$ und einem Minimum von $115,8 \pm 8,5^\circ$. Für das Ellbogengelenk ergab sich ein Maximum von im Mittel $155,4 \pm 10,2^\circ$ und ein Minimum von $100,1 \pm 10,7^\circ$. Daraus errechnet sich ein Bewegungsumfang von $55,3 \pm 5,8^\circ$. Das Karpalgelenk wies einen mittleren Bewegungsumfang von $94,2 \pm 11,2^\circ$ mit einem Maximum von $208,2 \pm 10,2^\circ$ und einem Minimum von $114,1 \pm 11,0^\circ$ auf.

Das Hüftgelenk wurde in einem Rahmen von in Mittel $34,2 \pm 3,8^\circ$ bewegt (Maximum: $122,0 \pm 11,1^\circ$; Minimum: $87,7 \pm 11,4^\circ$). Für das Kniegelenk konnte ein durchschnittliches Maximum von $135,5 \pm 7,1^\circ$ und ein Minimum von $97,1 \pm 6,1^\circ$ aufgezeigt werden. Es errechnet sich ein Bewegungsumfang von $38,4 \pm 5,0^\circ$. Der größte Winkel des Sprunggelenkes lag bei $142,6 \pm 6,2^\circ$, der kleinste bei $104,8 \pm 8,1^\circ$. Das Sprunggelenk bewegte sich in einem Rahmen von $37,7 \pm 6,5^\circ$. Bezüglich aller Gelenkwinkel konnte kein signifikanter Seitenunterschied herausgearbeitet werden.

Die Veränderungen der Gelenkwinkel im Verlauf eines Schrittes entsprachen den in der Literatur beschriebenen. Auffällig war eine am Beginn der Standphase kurzfristige schnellere Beuge- bzw. Streckbewegung. Es sind weitere

Untersuchungen nötig, um eine Schwingung des Markers bzw. der Hautverschiebung als Ursache endgültig auszuschließen.

Die Verläufe der Winkelgeschwindigkeit wurden für alle Hunde errechnet und daraus Mittelwerte für die rechte und linke Gliedmaße eines Gliedmaßenpaars gebildet. Die Verläufe zeigten individuelle Unterschiede die Amplituden betreffend auf, es konnte jedoch eine Grundform für jedes Gelenk bei jedem Hund wiedergefunden werden.

Für das Schultergelenk wurden maximale Werte für die Geschwindigkeit der Extension kurz vor dem Aufsetzen des Fußes gefunden. Die maximale Flexionsgeschwindigkeit zeigte sich kurz nach dem Aufsetzen. Das Ellbogengelenk zeigte seine maximale Flexionsgeschwindigkeit im ersten Drittel der Schwungphase und seine größte Extensionsgeschwindigkeit im letzten Drittel der Schwungphase.

Für das Karpalgelenk ergaben sich gleiche Verhältnisse wie beim Ellbogengelenk.

Das Hüftgelenk entwickelte die schnellste Extension zu Beginn der Standphase und die maximale negative Winkelgeschwindigkeit etwa in der Mitte der Schwungphase.

Das Kniegelenk wies seine größte Flexionsgeschwindigkeit zu Beginn der Schwungphase kurz nach dem Absetzen auf, wohingegen die größte Extensionsgeschwindigkeit im letzten Drittel der Schwungphase auftrat. Für das Sprunggelenk konnte die maximale negative bzw. positive Winkelgeschwindigkeit im Verlauf der ersten bzw. zweiten Hälfte der Schwungphase gemessen werden.

Zusätzliche kinematische Parameter konnten erhoben werden. So zeigte sich bei Betrachtung der Ab- bzw. Adduktionshaltung der rechten Hintergliedmaße ein Bewegungsumfang von durchschnittlich $15,2 \pm 2,1^\circ$ (Maximum: $98,0 \pm 3,0^\circ$, Minimum: $82,8 \pm 2,7^\circ$). Für die linke Beckengliedmaße ergab sich ein Bewegungsumfang von im Mittel $14,6 \pm 2,9^\circ$ (Maximum: $97,2 \pm 3,5^\circ$, Minimum: $82,7 \pm 3,3^\circ$). Zudem konnte eine mediolaterale Hüftbewegung von durchschnittlich $1,0 \pm 0,3$ cm für das rechte Hinterbein und von $1,1 \pm 0,3$ cm für das linke Hinterbein ermittelt werden. Während des Schrittes waren die Marker an den Sprunggelenken im Mittel aller Hunde maximal $37,7 \pm 2,4$ cm und minimal $16,9 \pm 1,8$ cm voneinander entfernt. Dies ergibt einen Bewegungsumfang von $20,8 \pm 2,4$ cm. Für den Abstand der Marker an den Hinterpfoten ergaben sich als Mittel aller Hunde folgende Werte: Maximum $44,6 \pm 2,8$ cm, Minimum $26,9 \pm 3,4$ cm, ROM $17,8 \pm 2,5$ cm. Dabei wurden

die Hinterpfoten in der Schwungphase maximal $8,7 \pm 1,0$ cm (rechts) und $9,0 \pm 0,9$ cm (links) über den Boden gehoben.

Für die rechte Schultergliedmaße konnte eine maximale Abduktion von im Mittel $103,9 \pm 4,4^\circ$ und eine maximale Adduktion von $76,6 \pm 3,6^\circ$ errechnet werden (ROM $27,3 \pm 5,7^\circ$). Die Berechnung der linken Schultergliedmaße ergab folgende Werte: maximale Abduktion $105,5 \pm 5,3^\circ$; maximale Adduktion $78,0 \pm 5,0^\circ$; ROM $27,5 \pm 5,0^\circ$. Während des Schrittes entfernten sich die Marker an den Karpalgelenken maximal $39,3 \pm 2,4$ cm und minimal $17,3 \pm 2,6$ cm voneinander (ROM: $22,0 \pm 2,6$). Für die Marker an den Vorderpfoten fand sich eine durchschnittliche maximale Entfernung von $45,2 \pm 2,5$ cm und eine minimale Entfernung von $17,1 \pm 2,4$ cm (ROM: $27,9 \pm 2,9$ cm). Die rechte und linke Vorderpfote wurden dabei maximal $9,4 \pm 1,4$ cm und $10,2 \pm 1,4$ cm über den Boden gehoben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bezüglich der Bodenreaktionskräfte und sagittalen Gelenkwinkel zwei- und dreidimensionale Ganganalysesysteme ähnliche Ergebnisse zu liefern scheinen. Mit Hilfe der dreidimensionalen Technik können noch feinere Unterschiede zwischen physiologischen und pathologischen Gangbildern erarbeitet werden. Dennoch lassen sich auch mit dieser Technik Fortschritte in der Beschreibung der Bewegung von Hunden auf Grund der Komplexität ihrer Bewegungen und der Diversität in Bezug auf ihren Körperbau nur langsam machen.

7. Summary

The intention of this study was to compare the gait profile of the German Shepherd dog, which was formerly found by the use of a two- dimensional, optical gait analysis system, with new data collected by means of a three- dimensional system.

For that purpose German Shepherd dogs were examined in the gait analysis laboratory of the Department of Veterinary Surgery of the Ludwig- Maximilians- University München, Munich. The gait laboratory consisted of a three dimensional, optical system (Vicon V- MX Motion Capture), a treadmill with four force plates, nine digital cameras and a lighting system. Kinetic and kinematic data of all four legs were collected at the same time

Sixteen dogs (nine female, seven male) walked on the treadmill (0.81 ± 0.08 m/s).

The average height at the withers and at the group of all dogs was $63,5 \pm 2,9$ cm and 61.9 ± 2.8 cm. Female dogs were smaller than males. The average circumference of the thigh was 46.9 ± 2.3 cm. It was symmetrical in both hind legs of all dogs.

The step duration was 1.00 ± 0.067 s on average, which was a frequency of 1.00 steps per second. The ratio of stance and swing duration was 2.7 : 1. Step length was measured as 58.26 ± 4.83 cm on average. There was no significant difference between the right and left limbs and the front and hind limbs.

The ground reaction forces showed a peak vertical force of 56.1 ± 3.7 % BW and 55.8 ± 3.9 % BW for the forelimbs and a mean of 38.8 ± 3.0 (right) und 38.3 ± 3.7 % BW (left) for the hind limbs. Therefore the mean, vertical impulse was calculated as 28.36 ± 1.95 and 28.10 ± 2.11 % BW*s for the front limbs, respectively. For the hind limbs vertical impulse was 20.33 ± 1.40 and 19.63 ± 1.98 % BW*s, respectively. All four limbs offered a total of 189 % BW (front limbs: 111.9 % BW; hind limbs: 77.1 % BW). For that reason the ratio of 30 % weight bearing for each front limb and 20 % for each hind limb was approved.

Peak vertical force was achieved after 45.6 ± 8.5 % (front limb) and 43.9 ± 5.9 % of stance duration (hind limb).

Loading was faster in the front limbs and took place with a velocity of 3.034 ± 0.568 and 3.156 ± 0.624 % BW/s (front limbs) and 2.572 ± 0.554 and 2.317 ± 0.639 % BW/s (hind limbs), respectively.

Unloading was faster in the front limbs, too (forelegs: -2.893 ± 0.232 and -2.954 ± 0.340 % BW/s; hind leg: -2.011 ± 0.477 and -2.046 ± 0.403 % BW/s).

Joint angles were calculated by the use of reflective targets fixed on anatomical landmarks.

On average a maximum of $152.6 \pm 8.8^\circ$ and a minimum of $115.8 \pm 8.5^\circ$ were found for the shoulder. This means a range of motion of $36.8 \pm 4.7^\circ$. The elbow had a range of $55.3 \pm 5.8^\circ$ (maximum: $155.4 \pm 10.2^\circ$, minimum: $100.1 \pm 10.7^\circ$) and the carpal joint ranged between $208.2 \pm 10.2^\circ$ and $114.1 \pm 11.0^\circ$ (range of motion: $94.2 \pm 11.2^\circ$).

For the hip a maximum of $122.0 \pm 11.1^\circ$ and a minimum of $87.7 \pm 11.4^\circ$ on average was found. This means a range of $34.2 \pm 3.8^\circ$.

The knee ranged $38.4 \pm 5.0^\circ$ (maximum: $135.5 \pm 7.1^\circ$, minimum: $97.1 \pm 6.1^\circ$).

The tarsal joint reached a maximum of $142.6 \pm 6.2^\circ$ and a minimum of $104.8 \pm 8.1^\circ$ (range of motion: $37.7 \pm 6.5^\circ$).

No significant differences could be found between the joints of the right and left limbs.

Each joint showed the typical course of flexion and extension formerly described by other authors. At the beginning of the stance phase there was a short period of faster extension or flexion, symmetrically for the right and left joints. This might be an artefact because of skin or target movement, but can also be a sign of muscular activity. Further studies will be necessary to find the answer.

Angular velocity was calculated and a typical course for each joint was found.

The shoulder had the highest velocity of extension shortly before the toe down and the fastest flexion at the beginning of the stance phase.

For the elbow and carpal joint the highest extension and flexion velocities were seen in the first and last third of the stance phase.

The hip showed the highest, positive and negative angular velocities at the beginning of the stance phase and the middle of the swing phase.

For the knee the greatest extension velocity was calculated at the beginning of the swing phase. During the last third of the swing phase the highest flexion velocity took place. The tarsal joint had both of its maximal velocities in the swing phase.

Additional kinematic parameters were evaluated, too. Maximal abduction was $98.0 \pm 3.0^\circ$ and $97.2 \pm 3.5^\circ$ for the right and left hind legs on average. Maximal adduction was calculated as $82.8 \pm 2.7^\circ$ (right hind leg) and $82.7 \pm 3.3^\circ$ (left hind leg). Therefore the range of motion was $15.2 \pm 2.1^\circ$ and $14.6 \pm 2.9^\circ$ for the two hind legs. The mean mediolateral hip movement was 1.0 ± 0.3 cm for the right and 1.1 ± 0.3 cm for the left side. The maximal distance of the tarsal markers was 37.7 ± 2.4 cm on average. A minimal distance of 16.9 ± 1.8 cm was calculated. The range was 20.8 ± 2.4 cm on average. The distance of the hind-paws ranged between 44.6 ± 2.8 cm and 26.9 ± 3.4 cm. This means a mean range of 17.8 ± 2.5 cm. The elevation of the paws reached a maximum of 8.7 ± 1.0 cm (right paw) and of 9.0 ± 0.9 cm (left paw).

The maximal abduction of the forelegs was calculated as $103.9 \pm 4.4^\circ$ (right) and $105.5 \pm 5.3^\circ$ (left) on average and a mean maximal adduction of $76.6 \pm 3.6^\circ$ for the right foreleg and of $78.0 \pm 5.0^\circ$ for the left foreleg was found (mean ROM right: $27.3 \pm 5.7^\circ$, mean ROM left: $27.5 \pm 5.0^\circ$). The distance between the markers at the carpal joints ranged between 39.3 ± 2.4 cm and 17.3 ± 2.6 cm on average. This means a range of motion of 22.0 ± 2.6 cm. The maximal distance between the markers fixed at the fore-paws was 45.2 ± 2.5 cm and the smallest distance was 17.1 ± 2.4 cm on average (range: 27.9 ± 2.9 cm). The maximal elevation of the fore-paws was calculated as 9.4 ± 1.4 cm (right) and 10.2 ± 1.4 cm (left) on average. No significant differences between the right and left legs were found.

A three-dimensional, optical gait analysis system provides further information about the movement of a dog, but the results of the ground reaction forces and the sagittal joint movement seem to be comparable with the data collected with a two-dimensional system. Describing the movement of a dog remains challenging and takes time because of the complexity of the movement and the diversity of the dogs.

8. Anhang

Morphometrische Daten												
Hund Nr.	Geschlecht	Alter bei Aufnahme	Gewicht (kg)	WR (cm)	KR (cm)	Oberschenkelumfang rechts (cm)	Oberschenkelumfang links (cm)	Aufgabe	Beinlänge Schultergliedmaße rechte	Beinlänge Schultergliedmaße linke	Beinlänge Beckengliedmaße rechte	Beinlänge Beckengliedmaße linke
1	wk	3,69	34,0	63,0	62,0	48,0	48,0	Privathund	64,9	62,2	67,9	70,3
2	w	1,07	33,6	62,5	60,0	48,0	48,0	Diensthund Polizei	60,5	63,7	70,8	69,1
3	mk	2,49	34,5	69,5	64,5	47,5	48,0	Privathund	69,2	65,6	72,8	69,7
4	mk	3,66	38,0	65,0	65,0	47,0	47,0	Diensthund Polizei	63,5	63,0	69,0	70,7
5	wk	9,22	30,0	63,0	62,5	44,0	44,0	Diensthund Polizei	62,9	61,5	65,2	70,3
6	m	2,16	30,1	64,0	61,0	43,5	43,5	Diensthund Polizei	62,5	62,1	64,5	66,0
7	wk	6,93	27,5	61,0	57,5	45,5	45,5	Blindenführhund	58,6	56,1	66,0	67,4
8	wk	3,69	33,6	62,5	59,5	44,0	44,0	Privathund	59,1	57,6	65,8	63,5
9	wk	5,37	37,0	64,5	64,0	48,5	48,5	Privathund	63,9	65,8	70,2	71,5
10	m	1,73	30,5	62,0	61,0	45,0	45,5	Privathund	62,8	61,5	69,6	68,1
11	w	4,95	34,9	64,5	62,5	45,0	45,0	Privathund	61,4	64,2	69,5	69,6
12	w	8,37	31,5	59,0	57,5	49,0	49,0	Diensthund Polizei	52,6	55,3	67,4	65,5
13	wk	4,70	28,5	59,0	59,0	45,5	45,5	Diensthund Polizei	59,9	60,6	70,5	66,6
14	m	5,87	38,5	65,0	65,0	50,0	50,0	Diensthund Polizei	65,0	66,4	71,6	73,4
15	m	2,45	38,0	62,0	62,0	48,0	48,0	Privathund	67,7	67,2	70,3	67,8
16	mk	6,24	42,0	70,0	67,0	52,0	52,0	Privathund	64,6	67,3	71,5	71,7
Max		9,2	42,0	70,0	67,0	52,0	52,0		69,2	67,3	72,8	73,4
Min		1,1	27,5	59,0	57,5	43,5	43,5		52,6	55,3	64,5	63,5
MW		4,5	33,9	63,5	61,9	46,9	47,0		62,4	62,5	68,9	68,8
SD		2,3	3,9	2,9	2,7	2,3	2,3		3,8	3,6	2,4	2,5

Segmentlängen (cm)																
Hund Nr.	Ilium rechts	Ilium links	Femur rechts	Femur links	Tibia rechts	Tibia links	Metatarsus rechts	Metatarsus links	Scapula rechts	Scapula links	Humerus rechts	Humerus links	Radius rechts	Radius links	Metacarpus rechts	Metacarpus links
1	10,77	11,77	23,34	22,31	22,37	23,62	11,40	12,62	19,86	17,94	14,35	16,57	21,12	19,58	9,56	8,10
2	14,75	14,77	20,59	22,89	24,42	19,97	11,07	11,46	19,87	20,77	13,33	16,10	19,23	18,67	8,09	8,14
3	15,16	14,58	21,64	18,77	23,69	24,47	12,32	11,86	23,83	19,25	15,26	15,33	22,89	21,93	7,25	9,05
4	12,24	12,50	22,48	22,62	23,17	24,56	11,07	11,01	18,94	21,02	16,89	14,10	19,85	20,88	7,79	6,97
5	13,34	15,79	21,32	20,76	18,58	21,71	11,91	12,01	19,40	22,85	14,80	10,96	21,29	19,27	7,35	8,48
6	12,27	12,28	18,39	18,60	23,14	24,37	10,65	10,75	21,60	18,06	11,06	15,87	21,51	20,97	8,37	7,24
7	11,79	11,50	22,45	23,52	20,35	20,77	11,40	11,60	19,42	17,29	11,76	11,41	19,60	19,75	7,86	7,69
8	12,73	12,73	18,89	19,84	22,50	20,23	11,66	10,70	16,03	18,01	13,41	12,11	21,53	20,85	8,10	6,61
9	11,60	11,65	24,07	25,53	23,26	22,77	11,25	11,55	20,14	23,29	14,69	12,99	20,73	21,22	8,36	8,27
10	13,97	13,04	19,23	20,42	23,88	23,25	12,51	11,41	18,44	17,19	16,05	15,80	20,76	20,46	7,55	8,05
11	11,77	12,37	23,15	20,66	24,10	25,24	10,49	11,35	16,74	18,23	15,84	17,22	22,59	22,69	6,27	6,09
12	14,46	13,74	21,10	19,69	22,23	21,22	9,59	10,85	14,87	16,81	11,57	13,73	20,72	17,77	5,43	6,99
13	15,62	13,85	20,57	20,87	23,04	20,80	11,23	11,05	18,13	18,08	13,51	14,13	19,06	20,49	9,18	7,88
14	13,77	14,20	19,69	21,59	25,78	25,14	12,38	12,48	19,33	18,51	15,04	15,54	21,45	24,27	9,22	8,03
15	11,30	12,97	19,12	20,42	27,61	22,04	12,30	12,33	22,09	21,78	14,39	14,90	23,20	22,33	8,01	8,15
16	10,87	10,77	24,93	21,01	23,80	26,01	11,95	13,89	18,82	19,77	15,05	16,32	22,99	23,27	7,71	7,91
Max	15,62	15,79	24,93	25,53	27,61	26,01	12,51	13,89	23,83	23,29	16,89	17,22	23,20	24,27	9,56	9,05
Min	10,77	10,77	18,39	18,60	18,58	19,97	9,59	10,70	14,87	16,81	11,06	10,96	19,06	17,77	5,43	6,09
MW	12,90	13,03	21,31	21,22	23,25	22,89	11,45	11,68	19,22	19,30	14,19	14,57	21,16	20,90	7,88	7,73
SD	1,51	1,32	1,91	1,75	1,95	1,90	0,77	0,81	2,15	1,98	1,60	1,84	1,27	1,66	1,01	0,73

Kinetische Daten																	
Hund Nr.	Geschwindigkeit (m/s)	Vertikale Spitzenkraft rechts (% KGM)	Vertikale Spitzenkraft vorne links (% KGM)	Vertikale Spitzenkraft hinten rechts (% KGM)	Vertikale Spitzenkraft hinten links (% KGM)	Impuls vorne rechts (% KGM*s)	Impuls vorne links (% KGM*s)	Impuls hinten rechts (% KGM*s)	Impuls hinten links (% KGM*s)	Fzmax vorne rechts/Fzmax alle Gliedmaßen	Fzmax vorne links/Fzmax alle Gliedmaßen	Fzmax hinten rechts/Fzmax alle Gliedmaßen	Fzmax hinten links/Fzmax alle Gliedmaßen	Gesamtimpuls alle GLM	Gesamtimpuls alle GLM	Gesamtimpuls alle GLM	Gesamtimpuls alle GLM
1	0,84	56,70	52,60	42,90	44,40	0,219	0,199	0,154	0,149	28,84	26,75	21,82	22,58	30,37	27,60	21,36	20,67
2	0,73	56,45	59,30	37,16	37,26	0,244	0,253	0,142	0,152	29,68	31,18	19,54	19,59	30,85	31,97	17,95	19,24
3	0,78	59,09	58,44	31,50	29,50	0,219	0,224	0,112	0,095	33,10	32,73	17,64	16,52	33,70	34,50	17,25	14,55
4	0,86	56,20	58,04	37,62	37,83	0,222	0,222	0,144	0,148	29,63	30,60	19,83	19,94	30,20	30,14	19,52	20,14
5	0,75	56,67	54,74	37,71	37,52	0,208	0,202	0,159	0,145	30,36	29,33	20,21	20,10	29,16	28,24	22,29	20,32
6	0,78	45,38	45,91	41,24	40,98	0,167	0,150	0,152	0,139	26,15	26,46	23,77	23,62	27,49	24,73	24,98	22,80
7	0,70	61,89	60,83	39,65	39,44	0,250	0,242	0,154	0,168	30,67	30,14	19,65	19,54	30,65	29,77	18,95	20,62
8	0,70	53,07	50,34	39,49	38,02	0,188	0,178	0,145	0,138	29,33	27,82	21,83	21,01	28,96	27,45	22,31	21,28
9	0,78	57,59	55,15	38,04	35,96	0,236	0,216	0,156	0,141	30,84	29,53	20,37	19,26	31,51	28,84	20,84	18,80
10	0,94	57,15	56,72	39,61	39,86	0,194	0,209	0,136	0,129	29,56	29,34	20,49	20,62	28,98	31,25	20,41	19,36
11	0,94	57,15	56,72	42,32	42,43	0,194	0,209	0,136	0,137	27,95	28,60	21,69	21,75	27,64	27,55	22,34	22,47
12	0,74	54,53	55,78	35,44	33,87	0,168	0,167	0,143	0,120	31,81	30,94	19,05	18,21	32,86	30,55	19,94	16,66
13	0,83	59,17	57,55	39,21	39,38	0,236	0,219	0,157	0,158	28,22	28,38	21,65	21,75	27,34	28,50	21,99	22,17
14	0,81	53,55	54,09	40,66	37,51	0,215	0,195	0,160	0,147	28,82	29,11	21,88	20,19	29,93	27,26	22,26	20,54
15	0,91	52,78	54,65	42,85	43,64	0,180	0,179	0,147	0,148	27,22	28,18	22,10	22,50	27,52	27,40	22,50	22,59
16	0,84	60,66	62,36	35,26	34,52	0,211	0,219	0,138	0,121	31,46	32,34	18,29	17,90	30,57	31,83	20,06	17,54
Max	0,94	61,89	62,36	42,90	44,40	0,25	0,25	0,16	0,17	33,10	32,73	23,77	23,62	33,70	34,50	24,98	22,80
Min	0,70	45,38	45,91	31,50	29,50	0,17	0,15	0,11	0,09	26,15	26,46	17,64	16,52	27,34	24,73	17,25	14,55
MW	0,81	56,13	55,83	38,79	38,26	0,21	0,21	0,15	0,14	29,60	29,46	20,61	20,32	29,86	29,22	20,93	19,99
SD	0,08	3,73	3,88	2,96	3,66	0,02	0,03	0,01	0,02	1,72	1,74	1,55	1,81	1,83	2,33	1,90	2,20

Kinetische Daten																
Hund Nr.	Zeitpunkt vert. Spitzenkraft vorne rechts (s)	Zeitpunkt vert. Spitzenkraft vorne links (s)	Zeitpunkt vert. Spitzenkraft hinten rechts (s)	Zeitpunkt vert. Spitzenkraft hinten links (s)	Standphasendauer vorne rechts (s)	Standphasendauer vorne links (s)	Standphasendauer hinten rechts (s)	Standphasendauer hinten links (s)	Schwungphasendauer vorne rechts (s)	Schwungphasendauer vorne links (s)	Schwungphasendauer hinten rechts (s)	Schwungphasendauer hinten links (s)	Schrittdauer vorne rechts (s)	Schrittdauer vorne links (s)	Schrittdauer hinten rechts (s)	Schrittdauer hinten links (s)
1	0,360	0,340	0,287	0,309	0,567	0,526	0,429	0,444	0,219	0,199	0,154	0,149	0,900	0,895	0,910	0,896
2	0,387	0,377	0,309	0,322	0,565	0,593	0,372	0,373	0,244	0,253	0,142	0,152	1,102	1,102	1,107	1,109
3	0,306	0,324	0,306	0,321	0,591	0,584	0,315	0,295	0,219	0,224	0,112	0,095	1,073	1,077	1,084	1,107
4	0,400	0,430	0,331	0,280	0,562	0,580	0,376	0,378	0,222	0,222	0,144	0,148	0,991	0,998	0,996	0,977
5	0,287	0,226	0,363	0,331	0,567	0,547	0,377	0,375	0,208	0,202	0,159	0,145	1,026	1,021	1,046	1,023
6	0,269	0,232	0,361	0,314	0,454	0,459	0,412	0,410	0,167	0,150	0,152	0,139	1,013	1,015	1,016	1,013
7	0,417	0,446	0,344	0,334	0,619	0,608	0,397	0,394	0,250	0,242	0,154	0,168	1,087	1,082	1,089	1,082
8	0,426	0,436	0,346	0,368	0,531	0,503	0,395	0,380	0,188	0,178	0,145	0,138	0,952	0,948	0,950	0,951
9	0,357	0,336	0,358	0,390	0,576	0,552	0,380	0,360	0,236	0,216	0,156	0,141	1,014	1,001	1,006	1,014
10	0,312	0,254	0,292	0,223	0,571	0,567	0,396	0,399	0,194	0,209	0,136	0,129	0,995	0,987	0,990	0,992
11	0,312	0,254	0,269	0,374	0,571	0,567	0,423	0,424	0,194	0,209	0,136	0,137	0,995	0,987	0,886	0,882
12	0,310	0,238	0,226	0,341	0,545	0,558	0,354	0,339	0,168	0,167	0,143	0,120	0,889	0,875	1,100	1,097
13	0,224	0,252	0,305	0,353	0,592	0,576	0,392	0,394	0,236	0,219	0,157	0,158	1,111	1,084	1,014	1,021
14	0,401	0,354	0,321	0,329	0,536	0,541	0,407	0,375	0,215	0,195	0,160	0,147	0,932	0,921	0,923	0,925
15	0,390	0,283	0,264	0,241	0,528	0,547	0,429	0,436	0,180	0,179	0,147	0,148	0,968	0,931	0,958	0,967
16	0,361	0,326	0,254	0,276	0,607	0,624	0,353	0,345	0,211	0,219	0,138	0,121	0,966	0,972	0,977	0,995
Max	0,426	0,446	0,363	0,390	0,619	0,624	0,429	0,444	0,250	0,253	0,160	0,168	1,111	1,102	1,107	1,109
Min	0,224	0,226	0,226	0,223	0,454	0,459	0,315	0,295	0,167	0,150	0,112	0,095	0,889	0,875	0,886	0,882
MW	0,345	0,319	0,309	0,319	0,561	0,558	0,388	0,383	0,209	0,205	0,146	0,140	1,001	0,993	1,003	1,003
SD	0,056	0,073	0,040	0,044	0,037	0,039	0,030	0,037	0,025	0,026	0,012	0,017	0,065	0,067	0,067	0,068

Kinetische Daten																
Hund Nr.	Standphasen-/Schwungphasend	Standphasen-/Schwungphasend	Standphasen-/Schwungphasend	Standphasen-/Schwungphasend	Steigung vorne rechts (% KGW/s)	Steigung vorne links (% KGW/s)	Steigung hinten rechts (% KGW/s)	Steigung hinten links (% KGW/s)	Abfall vorne rechts (% KGW/s)	Abfall vorne links (% KGW/s)	Abfall hinten rechts (% KGW/s)	Abfall hinten links (% KGW/s)	Schrittlänge rechte Schultergliedm	Schrittlänge linke Schultergliedm	Schrittlänge rechte Beckengliedm	Schrittlänge linke Beckengliedm
1	2,589	2,643	2,786	2,980	2,390	2,501	2,754	1,860	-2,699	-2,945	-1,848	-2,004	0,573	0,557	0,616	0,601
2	2,310	2,342	2,615	2,445	2,555	2,652	2,519	2,163	-2,498	-2,430	-1,848	-2,036	0,567	0,579	0,622	0,620
3	2,700	2,609	2,813	3,122	3,264	3,275	2,482	2,035	-2,665	-2,611	-1,435	-1,572	0,561	0,538	0,596	0,611
4	2,528	2,616	2,619	2,551	2,639	2,224	2,431	2,388	-3,128	-3,339	-2,198	-2,046	0,617	0,621	0,650	0,656
5	2,720	2,713	2,368	2,584	3,945	4,271	2,079	1,992	-3,281	-3,143	-1,718	-1,761	0,587	0,553	0,540	0,536
6	2,715	3,053	2,715	2,956	2,509	2,860	2,302	1,736	-2,872	-3,042	-2,208	-2,227	0,559	0,541	0,557	0,524
7	2,480	2,510	2,570	2,350	3,044	2,846	1,368	1,533	-2,977	-3,212	-1,643	-1,645	0,543	0,560	0,548	0,538
8	2,829	2,831	2,733	2,758	2,802	2,628	1,697	1,862	-3,060	-3,172	-2,100	-2,106	0,496	0,488	0,490	0,484
9	2,443	2,556	2,440	2,557	2,341	2,948	2,361	2,292	-2,543	-2,197	-1,984	-1,896	0,586	0,575	0,620	0,600
10	2,951	2,716	2,904	3,080	3,589	3,971	2,844	3,468	-3,153	-3,418	-2,505	-2,539	0,636	0,610	0,646	0,660
11	2,951	2,716	3,119	3,109	3,589	3,971	3,791	3,626	-3,153	-3,418	-3,267	-3,139	0,600	0,577	0,593	0,601
12	3,249	3,334	2,475	2,830	3,716	3,935	2,631	1,512	-2,722	-2,945	-1,544	-1,800	0,576	0,580	0,646	0,660
13	2,507	2,623	2,501	2,491	4,055	3,493	2,756	2,065	-2,657	-3,038	-1,794	-2,053	0,575	0,535	0,463	0,453
14	2,497	2,768	2,548	2,548	2,405	2,310	3,061	2,403	-2,999	-2,781	-1,273	-1,380	0,622	0,634	0,655	0,632
15	2,936	3,053	2,915	2,957	3,057	3,540	3,014	3,263	-3,022	-2,944	-2,470	-2,405	0,591	0,589	0,598	0,577
16	2,882	2,846	2,552	2,858	2,641	3,074	3,067	2,869	-2,855	-2,629	-2,334	-2,129	0,620	0,619	0,627	0,599
Max	3,249	3,334	3,119	3,122	4,055	4,271	3,791	3,626	-2,498	-2,197	-1,273	-1,380	0,636	0,634	0,655	0,660
Min	2,310	2,342	2,368	2,350	2,341	2,224	1,368	1,512	-3,281	-3,418	-3,267	-3,139	0,496	0,488	0,463	0,453
MW	2,705	2,746	2,667	2,761	3,034	3,156	2,572	2,317	-2,893	-2,954	-2,011	-2,046	0,582	0,572	0,592	0,585
SD	0,240	0,233	0,195	0,249	0,568	0,624	0,554	0,639	0,232	0,340	0,477	0,403	0,033	0,037	0,056	0,060

Kinematische Daten (Grad)																		
Hund Nr.	Maximum Schultergelenkwinkel rechts	Maximum Schultergelenkwinkel links	Minimum Schultergelenkwinkel rechts	Minimum Schultergelenkwinkel links	Bewegungsumfang Schultergelenk rechts	Bewegungsumfang Schultergelenk links	Maximum Ellbogengelenkwinkel rechts	Maximum Ellbogengelenkwinkel links	Minimum Ellbogengelenkwinkel rechts	Minimum Ellbogengelenkwinkel links	Bewegungsumfang Ellbogengelenk rechts	Bewegungsumfang Ellbogengelenk links	Maximum Karpalgelenksumfang rechts	Maximum Karpalgelenksumfang links	Minimum Karpalgelenkwinkel rechts	Minimum Karpalgelenkwinkel links	Bewegungsumfang Karpalgelenk rechts	Bewegungsumfang Karpalgelenk links
1	156,97	143,18	115,91	99,35	41,06	43,83	168,98	158,64	102,15	85,57	66,83	73,07	216,33	210,80	116,30	116,70	100,04	94,10
2	169,01	148,15	131,01	109,44	38,00	38,70	168,88	154,63	115,39	94,45	53,49	60,18	206,21	215,92	119,25	106,30	86,96	109,62
3	149,19	157,30	112,81	120,20	36,38	37,11	145,19	147,15	92,97	94,27	52,22	52,88	220,45	216,81	123,23	111,98	97,22	104,82
4	157,41	146,36	115,30	109,57	42,10	36,78	150,16	148,49	102,95	100,16	47,21	48,33	203,78	189,33	114,32	106,67	89,46	82,66
5	155,64	145,99	119,49	112,82	36,16	33,17	170,59	160,44	113,14	99,63	57,45	60,81	222,41	203,34	138,56	133,38	83,85	69,96
6	139,07	145,16	99,38	109,70	39,69	35,45	155,93	166,01	102,20	111,10	53,73	54,91	205,88	203,62	106,15	100,74	99,74	102,88
7	168,36	169,77	124,54	128,45	43,82	41,32	156,10	159,63	99,03	100,74	57,06	58,89	213,71	223,40	104,71	112,55	109,00	110,84
8	139,20	151,82	112,62	122,32	26,58	29,50	162,88	164,20	115,35	119,60	47,53	44,60	233,42	209,35	132,64	123,07	100,78	86,28
9	165,37	152,68	125,26	110,85	40,11	41,83	162,82	141,44	108,36	84,41	54,45	57,04	209,45	204,11	121,74	120,28	87,71	83,83
10	153,66	154,93	112,56	112,27	41,10	42,66	137,24	138,05	84,81	85,43	52,43	52,63	197,70	192,17	109,37	102,79	88,32	89,38
11	160,93	145,28	126,69	116,83	34,24	28,45	158,35	150,96	100,50	88,50	57,86	62,45	214,00	208,94	91,95	105,98	122,05	102,95
12	153,38	149,86	118,22	116,22	35,16	33,64	159,81	163,13	99,93	108,98	59,88	54,16	195,16	204,50	115,22	129,15	79,94	75,35
13	151,31	138,85	114,67	108,83	36,64	30,02	162,20	166,22	110,02	111,85	52,18	54,37	208,34	221,92	108,28	119,96	100,05	101,96
14	147,49	135,94	103,55	99,76	43,93	36,18	140,51	138,82	85,20	80,89	55,31	57,93	207,07	215,95	116,78	127,84	90,30	88,11
15	163,76	151,66	128,57	116,54	35,19	35,12	164,99	164,79	114,54	104,57	50,45	60,22	189,73	205,00	105,89	108,97	83,84	96,03
16	159,17	155,27	128,83	123,27	30,35	32,00	146,40	139,56	96,61	90,01	49,79	49,56	197,71	197,25	92,63	107,10	105,08	90,15
Max	169,01	169,77	131,01	128,45	43,93	43,83	170,59	166,22	115,39	119,60	66,83	73,07	233,42	223,40	138,56	133,38	122,05	110,84
Min	139,07	135,94	99,38	99,35	26,58	28,45	137,24	138,05	84,81	80,89	47,21	44,60	189,73	189,33	91,95	100,74	79,94	69,96
MW	155,62	149,51	118,09	113,53	37,53	35,99	156,94	153,89	102,70	97,51	54,24	56,38	208,83	207,65	113,56	114,59	95,27	93,06
SD	8,76	7,72	8,79	7,65	4,58	4,63	10,00	10,09	9,49	11,11	4,77	6,43	10,83	9,47	12,11	9,73	10,70	11,58

Kinematische Daten (Grad)																		
Hund Nr.	Maximum rechts Hüftgelenkwinkel	Maximum links Hüftgelenkwinkel	Minimum rechts Hüftgelenkwinkel	Minimum links Hüftgelenkwinkel	Bewegungsumfang rechts Hüftgelenk	Bewegungsumfang links Hüftgelenk	Maximum rechts Kniegelenkwinkel	Maximum links Kniegelenkwinkel	Minimum rechts Kniegelenkwinkel	Minimum links Kniegelenkwinkel	Bewegungsumfang rechts Kniegelenk	Bewegungsumfang links Kniegelenk	Maximum Sprunggelenksumfang rechts	Maximum links Sprunggelenkwinkel	Minimum rechts Sprunggelenkwinkel	Minimum links Sprunggelenkwinkel	Bewegungsumfang rechts Sprunggelenk	Bewegungsumfang links Sprunggelenk
1	112,93	105,74	68,93	66,92	44,00	38,82	136,92	138,23	92,24	95,10	44,68	43,13	136,35	127,96	87,64	89,59	48,71	38,38
2	105,76	114,57	75,10	78,22	30,66	36,35	137,20	135,99	102,19	97,07	35,02	38,92	152,70	147,06	118,97	111,43	33,73	35,63
3	119,16	130,56	91,66	102,53	27,50	28,02	136,21	143,70	100,05	106,20	36,16	37,51	139,96	138,35	114,47	113,77	25,49	24,58
4	131,19	109,62	91,24	72,81	39,95	36,80	131,53	120,97	102,65	96,69	28,88	24,28	139,41	147,39	98,69	108,20	40,72	39,19
5	116,63	113,56	79,85	78,62	36,79	34,93	142,52	127,20	96,52	85,31	46,00	41,89	142,26	140,68	95,95	91,12	46,31	49,56
6	147,13	126,92	112,57	93,73	34,56	33,19	136,07	125,63	97,86	91,86	38,22	33,76	153,65	151,82	113,17	107,58	40,48	44,24
7	122,65	122,17	87,45	85,85	35,20	36,32	137,29	132,22	93,80	87,74	43,49	44,48	142,44	136,37	98,01	90,04	44,44	46,33
8	118,92	115,81	85,17	81,10	33,75	34,71	134,34	133,28	99,32	97,54	35,01	35,74	133,91	130,79	108,35	102,03	25,57	28,76
9	113,37	112,72	85,39	82,93	27,98	29,78	145,17	134,66	101,40	93,79	43,76	40,87	143,43	136,62	106,50	97,16	36,93	39,45
10	141,82	141,85	103,79	102,14	38,03	39,71	124,76	128,54	83,42	85,71	41,34	42,83	141,52	139,35	97,32	96,82	44,20	42,53
11	113,65	122,48	78,18	86,99	35,47	35,49	141,63	144,96	101,94	102,58	39,69	42,38	148,11	142,35	114,44	111,47	33,67	30,88
12	102,66	119,63	71,25	83,74	31,41	35,89	146,42	142,68	103,53	104,18	42,89	38,51	146,35	147,15	110,60	111,96	35,75	35,19
13	124,86	111,00	92,06	76,93	32,80	34,08	139,09	130,77	104,54	97,88	34,55	32,89	151,39	152,97	109,89	110,66	41,50	42,31
14	133,79	132,37	99,71	95,40	34,08	36,97	134,20	129,52	99,11	98,01	35,09	31,51	144,02	142,06	105,30	106,25	38,72	35,81
15	134,00	136,64	102,57	106,00	31,43	30,64	143,06	148,52	99,95	106,44	43,12	42,08	144,00	139,28	107,06	109,57	36,94	29,71
16	125,71	122,94	95,83	93,03	29,88	29,91	128,22	123,21	92,49	89,02	35,72	34,19	139,52	143,52	104,50	106,67	35,02	36,85
Max	147,13	141,85	112,57	106,00	44,00	39,71	146,42	148,52	104,54	106,44	46,00	44,48	153,65	152,97	118,97	113,77	48,71	49,56
Min	102,66	105,74	68,93	66,92	27,50	28,02	124,76	120,97	83,42	85,31	28,88	24,28	133,91	127,96	87,64	89,59	25,49	24,58
MW	122,76	121,16	88,80	86,68	33,97	34,48	137,16	133,76	98,19	95,94	38,98	37,81	143,69	141,48	105,68	104,02	38,01	37,46
SD	12,03	10,00	11,94	10,89	4,22	3,25	5,71	7,86	5,28	6,59	4,68	5,28	5,44	6,66	8,05	8,13	6,40	6,54

Kinematische Daten																	
Hund Nr.	Maximum Ab-/ Adduktion vorne rechts (Grad)	Maximum Ab-/ Adduktion vorne links (Grad)	Maximum Ab-/Adduktion hinten rechts (Grad)	Maximum Ab-/Adduktion hinten links (Grad)	Minimum Ab-/ Adduktion vorne rechts (Grad)	Minimum Ab-/ Adduktion vorne links (Grad)	Minimum Ab-/Adduktion hinten rechts (Grad)	Minimum Ab-/Adduktion hinten links (Grad)	Bewegungsumfang Ab-/ Adduktion vorne rechts (Grad)	Bewegungsumfang Ab-/ Adduktion vorne links (Grad)	Bewegungsumfang Ab-/Adduktion hinten rechts (Grad)	Bewegungsumfang Ab-/Adduktion hinten links (Grad)	Bewegungsumfang mediolaterale Hüftbewegung rechts (cm)	Bewegungsumfang mediolaterale Hüftbewegung links (cm)	Maximum Abstand Tarsalmarker (cm)	Minimum Abstand Tarsalmarker (cm)	Differenz Abstand Tarsalmarker (cm)
1	102,48	109,00	101,36	101,60	80,55	78,15	86,47	85,96	21,93	30,85	14,89	15,63	0,89	0,99	41,47	21,87	19,61
2	103,56	106,99	102,58	100,70	75,01	80,38	85,32	84,08	28,54	26,61	17,25	16,62	0,95	1,11	38,89	17,14	21,75
3	110,71	104,03	96,02	101,89	75,63	79,33	77,48	78,95	35,08	24,70	18,54	22,94	1,49	1,17	39,43	16,21	23,22
4	100,29	110,55	97,87	96,85	69,58	89,17	84,18	84,14	30,72	21,38	13,69	12,71	1,31	1,37	38,46	17,26	21,20
5	102,22	107,19	100,32	96,68	70,84	79,29	86,43	83,11	31,38	27,90	13,89	13,57	1,11	1,47	35,80	16,71	19,09
6	103,36	99,51	99,50	95,14	81,05	71,95	81,85	79,91	22,31	27,56	17,65	15,23	0,97	1,76	35,72	14,59	21,13
7	107,46	100,58	96,16	96,84	80,25	73,89	78,78	80,61	27,22	26,69	17,38	16,22	0,62	0,77	33,64	16,49	17,15
8	99,16	99,95	95,76	95,41	76,07	76,39	83,58	82,86	23,08	23,56	12,18	12,55	0,55	0,80	32,78	16,68	16,11
9	99,32	111,54	99,83	100,55	73,61	83,35	83,85	87,73	25,71	28,19	15,98	12,82	1,02	1,09	37,98	19,01	18,97
10	107,16	108,89	100,44	90,34	78,53	76,20	83,26	73,13	28,63	32,69	17,17	17,21	0,77	1,21	42,05	16,21	25,84
11	109,85	113,21	95,36	97,86	75,20	73,84	79,72	84,05	34,66	39,37	15,64	13,81	0,75	1,19	37,81	17,87	19,93
12	112,55	108,01	95,76	96,85	72,77	72,91	83,58	84,14	39,78	35,10	12,18	12,71	1,33	1,02	37,02	15,19	21,83
13	99,90	97,18	97,97	101,10	77,39	73,08	82,93	85,91	22,51	24,10	15,04	15,19	1,02	0,89	36,79	13,51	23,28
14	100,97	97,95	102,30	92,21	77,93	72,59	86,04	81,95	23,04	25,35	16,26	10,26	1,02	0,69	37,87	17,23	20,64
15	106,38	112,95	95,55	99,12	81,43	86,38	80,95	84,43	24,94	26,57	14,60	14,69	0,68	1,13	37,80	17,42	20,38
16	97,65	100,45	91,13	91,68	80,19	81,74	79,71	81,58	17,46	18,71	11,42	10,10	0,88	1,07	39,75	16,76	22,98
Max	112,55	113,21	102,58	101,89	81,43	89,17	86,47	87,73	39,78	39,37	18,54	22,94	1,49	1,76	42,05	21,87	25,84
Min	97,65	97,18	91,13	90,34	69,58	71,95	77,48	73,13	17,46	18,71	11,42	10,10	0,55	0,69	32,78	13,51	16,11
MW	103,94	105,50	98,00	97,18	76,63	78,04	82,76	82,66	27,31	27,46	15,24	14,52	0,96	1,11	37,70	16,88	20,82
SD	4,41	5,34	3,01	3,49	3,56	5,02	2,69	3,32	5,70	4,96	2,08	2,96	0,25	0,26	2,40	1,80	2,35

Kinematische Daten													
Hund Nr.	Maximum Abstand Karpalmarker (cm)	Minimum Abstand Karpalmarker (cm)	Differenz Abstand Karpalmarker (cm)	Maximum Abstand Pfotenmarker vorne (cm)	Minimum Abstand Pfotenmarker vorne (cm)	Differenz Abstand Pfotenmarker vorne (cm)	Maximum Abstand Pfotenmarker hinten (cm)	Minimum Abstand Pfotenmarker hinten (cm)	Differenz Abstand Pfotenmarker hinten (cm)	Maximum Anheben Pfote vorne (cm)	Maximum Anheben Pfote hinten (cm)	Maximum Anheben Pfote hinten (cm)	Maximum Anheben Pfote hinten (cm)
1	40,33	19,45	20,88	46,85	20,03	26,82	47,43	24,75	22,67	8,92	11,85	10,72	10,47
2	36,99	16,56	20,44	43,67	15,49	28,18	45,42	16,91	28,51	8,73	7,68	8,21	7,45
3	38,46	14,93	23,52	44,44	15,59	28,86	47,32	16,34	30,99	8,81	9,78	7,12	8,45
4	40,62	19,14	21,48	45,04	17,98	27,06	44,32	17,68	26,65	8,48	10,13	9,17	8,74
5	37,93	16,93	21,00	42,64	16,07	26,57	41,56	16,73	24,83	10,40	12,80	8,43	9,27
6	38,33	14,54	23,79	45,43	13,54	31,89	43,21	15,69	27,52	8,91	9,96	8,07	8,53
7	35,97	16,74	19,23	40,65	17,10	23,55	42,03	17,49	24,54	11,31	11,12	8,21	7,63
8	34,40	16,42	17,99	40,15	15,41	24,74	37,60	16,95	20,64	6,61	7,75	7,63	8,40
9	39,06	19,25	19,81	44,94	19,39	25,55	44,27	19,36	24,91	10,21	11,79	10,07	10,14
10	43,41	15,73	27,68	50,07	16,11	33,96	50,50	16,08	34,42	12,25	10,60	8,82	9,91
11	39,78	14,72	25,06	43,90	15,36	28,54	44,51	18,91	25,59	9,66	10,03	9,91	10,18
12	39,44	15,83	23,61	44,09	17,25	26,83	42,78	16,58	26,20	9,23	10,98	8,34	8,31
13	39,12	15,08	24,04	47,05	14,29	32,76	45,43	14,89	30,54	8,68	9,74	7,69	9,45
14	39,65	19,65	20,00	46,13	19,38	26,76	46,50	18,04	28,47	8,16	9,72	7,95	9,09
15	44,20	25,00	19,20	48,50	23,51	24,99	45,38	22,12	23,26	9,21	9,14	9,29	9,01
16	41,24	16,69	24,56	46,88	16,89	29,99	46,09	15,96	30,13	11,45	11,49	9,24	8,90
Max	44,20	25,00	27,68	50,07	23,51	33,96	50,50	24,75	34,42	12,25	12,80	10,72	10,47
Min	34,40	14,54	17,99	40,15	13,54	23,55	37,60	14,89	20,64	6,61	7,68	7,12	7,45
MW	39,31	17,29	22,02	45,03	17,09	27,94	44,65	17,78	26,87	9,44	10,29	8,68	9,00
SD	2,40	2,60	2,57	2,53	2,43	2,86	2,83	2,46	3,43	1,36	1,35	0,95	0,86

9. Quellenverzeichnis

Ackerman L

Mein gesunder Deutscher Schäferhund.

Ruhmannsfelden; Bede, 2001

Adrian MJ, Roy WE, Karpovich PV

Normal gait of the dog: An electrogoniometric study.

Am J Vet Res 1966; 27: 90-95

Alexander RM

The mechanics of jumping by a dog (*Canis familiaris*).

J Zool Lond 1974; 173: 549-573

Alexander RM

Optimization of structure and movement of the legs of animals.

J Biomech 1993; 26: 1-6

Alexander RM, Jayes AS

A dynamic silitary hypothesis for the gaits of quadrupedal animals.

J Zool 1983; 201: 135-152

Allen K, Camp CE, Braden TD, Bahms M

Kinematic gait analysis of the trot in healthy mixed breed dogs.

Vet Comp Orthop Traumatol 1994; 7: 148-153

Ballagas AJ, Montgomery RD, Henderson RA, Gillette R

Pre- and postoperative force plate analysis of dogs with experimentally transected cranial cruciate ligaments treated using tibial plateau levelling osteotomy.

Vet Surg 2004; 33: 187-190

Barclay OR

Some aspects of the mechanics of mammalian locomotion.

J Exp Biol 1953; 30: 116-120

Bartel DL, Schryver HF, Lowe JE, Parker RA

Locomotion in the horse: A procedure for computing the internal forces in the digit.

Am J Vet Res 1978; 39: 1721-1727

Bennett RL, DeCamp CE, Flo GL, Hauptman JG, Stajich M

Kinematic gait analysis in dogs with hip dysplasia.

Am J Vet Res 1996; 57: 966-971

Bertram JEA, Lee DV, Todhunter RJ, Foels WS, Williams AJ, Lust G

Multiple force platform analysis of the canine trot: a new approach to assessing basic characteristics of locomotion.

Vet Comp Orthop Traumatol 1997; 10: 160-169

Besancon MF, Conzemius MG, Derrick TR, Ritter MJ
Comparison of vertical forces forces in normal greyhounds between force platform and pressure walkway measurement systems.
Vet Comp Orthop Traumatol 2003; 16: 153-157

Björk G
Studies on the draught forces of horses: development of a method using strain gauges for measuring forces between hoof and ground.
Acat Agri Scand Suppl 4 1958; 8: 1-109

Bockstahler BA, Henninger W, Muller M, Mayrhofer E
Influence of borderline hip dysplasia on joint kinematics of clinically sound Belgian Shepherd dogs.
Am J Vet Res 2007; 68: 271-276

Bockstahler BA, Skalicky M, Peham C, Müller M, Lorinson D
Reliability of ground reaction forces measured on a treadmill system in healthy dogs.
Vet J 2007; 173: 373-378

Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW
Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs.
Am J Vet Res 1987; 48: 915-918

Budsberg SC, Jevens DJ, Brown J, Foutz TL, DeCamp CE, Lynn R
Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs.
Am J Vet Res 1993; 54: 1969-1574

Budsberg SC, Verstraete MC, Brown J, Reece L
Vertical loading rates in clinically normal dogs at a trot.
Am J Vet Res 1995; 56: 1275-1280

Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW
Force plate analysis before and after stabilization of canine stifles for cruciate injury.
Am J Vet Res 1988; 49: 1522-1524

Clemenst DN, Owen MR, Carmicheal S, Reid SWJ
Kinematic analysis of the gait of 10 labrador retrievers during treadmill locomotion.
Vet Rec 2005; 156: 478-481

Dalin G, Drevemo S, Federicson I, Jonnson K, Nilsson G
Ergonomic aspects of locomotor asymmetry in stanardbred horses trotting through turn.
Acta Vet Scand Suppl 1973; 44: 111-139

Dalin G, Jeffcot L.
Locomotion and gait analysis
Vet Clinics North Am: Equine Practice 1985; 1: 549-572

DeCamp CE
Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog.
Vet Clin North Am Small Anim Prac 1997; 27: 825-840

DeCamp CE

Is kinematic gait analysis necessary?

Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress, Munich, Germany
2002

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

Kinematic gait analysis of the trot in healthy Greyhound dogs.

Am J Vet Res 1993; 627-634

DeCamp CE, Riggs CM, Olivier B, Hauptman JG, Hottinger HA, Soutas-Little RW

Kinematic evaluation of gait in dogs with cranial cruciate ligament rupture.

Am J Vet Res 1996; 57: 120-126

Drevemo S, Dalin G, Fredericson I, Hjerten G

Equine locomotion 1: the analysis of linear and temporal stride characteristics of trotting standadbreeds.

Equine Vet J 1980; 12: 60-65

Dueland R, Bartel DL, Antonson E

Force-plate technique for canine gait analysis of total hip and excision arthroplasty.

J Am Anim Hosp Ass 1977; 13: 547-552.

Dueland RT, Dogan S, Vanderby R

Biomechanical comparison of standard excisional hip arthroplasty and modified deep gluteal muscle transfer excisional arthroplasty.

Vet Comp Orthop Traumatol 1997; 10: 95-100

Evans R, Horstman C, Conzemius M

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

Vet Surg 2005; 34: 445-449

Fanchon L, Valette JP, Sanaa M, Grandjean D

The measurement of ground reaction force in dogs trotting on a treadmill: an investigation of habituation

Vet Comp Orthop Traumatol 2006; 19: 81-6

Gillette RL, Zebas CJ

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

J Am Anim Hosp Assoc 1999; 35: 515-520

Griffon DJ, McLaughlin RM, Roush JK

Vertical ground reaction force redistribution during experimentally induced shoulder lameness in dog.

Vet Comp Orthop Traumatol 1994; 7: 154-157

Hatze H

The meaning of the term "biomechanics".

J Biomech 1974; 7: 189-190

Hottinger HA, DeCamp CE, Olivier NB, Hauptman JG, Soutas-Little RW
Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs.
Am J Vet Res 1996; 57: 381-388

Hutton WC, England JPS
The femoral head prosthesis and the dog.
J Small Anim Pract 1969 b; 10 79-85

Hutton WC, Freeman MAR, Swanson SAV
The forces exerted by the pads of the walking dog.
J Small Anim Pract 1969 a; 10: 71-77

Jeffcot LB, Dalin G, Drevemo S
Effect of induced back pain on gait and performance of trotting horses.
Equine Vet J 1982; 14: 129-133

Jevens DJ, Hauptman JG, De Camp CE, Budsberg SC, Soutas-Little RW
Contributions to variance in force-plate analysis of gait in dogs.
Am J Vet Res 1993; 54: 612-615

Kadaba MP, Ramakrishnan HK, Wootten ME, Gainey J, Gorton G, Cochran GVB
Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait.
J Orthop Res 1989; 7 849-860

Kaser W
Untersuchungen zur funktionellen Anatomie des Ellbogengelenkes (Articulatio cubiti)
des Hundes.
Diss Med Vet, München, 1998

Kapatkin AS, Arbittier G, Kass PH, Gilley RS, Smith GK
Kinetic gait analysis of healthy dogs on two different surfaces.
Vet Surg 2007; 36: 605-608

Kim J, Rietdyk S, Breur G J
Comparison of two-dimensional and three-dimensional systems for kinematic
analysis of the sagittal motion of canine hind limbs during walking.
Am J Vet Res 2008; 69:1116- 1122

Kimura T, Endo B
Comparison of force of foot between quadrupedal walking of dog and bipedal walking
of man.
J Fac Sci Uni Tokyo 1972; 5: 119-130

Larché WD
Der Einfluss mechanischer und funktioneller Faktoren auf das Angehen des Hundes.
Diss Med Vet, Gießen, 1962

Leach DH
Recommended terminology for researchers in locomotion and biomechanics of
quadrupedal animals.
Acta Anat 1993; 146: 130-136

Leach DH, Sumner-Smith G, Dagg AI
Diagnosis of lameness in dogs: a preliminary study.
Can Vet J 1977; 18: 58-63

Madore E, Huneault L, Moreau M, Dupuis J
Comparison of trot kinetics between dogs with stifle or hip arthrosis.
Vet Comp Orthop Traumatol, 2007, 20: 102-107

Maierl L, König HE, Liebich HG
Statik und Dynamik. In: König, HE und Liebich, HG , Anatomie der Haussäugetiere,
Bewegungsapparat Band 1.
Stuttgart, Schattauer: 2001: 265-272

Marghitu E, Huneault L, Moreau M, Dupuis J
Comparison of trot kinetics between dogs with stifle or hip arthrosis
Vet Comp Orthop Traumatol 2007; 2: 102- 107

Marsh AP, Eggebeen JD, Kornegay JN.
Kinematics of gait in golden retriever muscular dystrophy
Neuromuscul Disord 2009; 20:16-20.

McLaughlin RM Jr, Roush JK
Effects of subject stance time and velocity on ground reaction forces in clinically
normal greyhounds at the trot.
Am J Vet Res 1994; 55: 1666-1671

O´Conner BL, Visco MD, Heck DA, Myers L, Brandt KD
Gait alterations in dogs after transaction of the anterior cruciate ligament.
Arthritis Rheum 1989; 32: 9, 1142-1147

Off W
Klinische und ganganalytische Erhebungen zur Resektionsarthroplastik des
Hüftgelenks bei Hund und Katze in den Jahren 1978 bis 1989.
Diss Med Vet, München, 1992

Off W, Matis U
Ganganalyse beim Hund. Teil 1: Dynamometrische und kinemetrische Meßverfahren
und ihre Anwendung beim Tetrapoden.
Tierärztl Prax 1997 a; 25: 8-14

Off W, Matis U
Ganganalyse beim Hund 2. Teil: Aufbau eines Ganglabors und
bewegungsanalytische Untersuchungen.
Tierärztl Prax 1997 b; 25: 303-311

Off W, Matis U
Resektionsarthroplastik des Hüftgelenkes bei Hund und Katze. Klinische,
röntgenologische und ganganalytische Erhebungen an der Chirurgischen Tierklinik
der Ludwig-Maximilians-Universität München.
Tierärztl Prax 1997 c; 25: 379-387

Owen MR, Richards J, Clements DN, Drew ST, Bennett D, Carmichael S
Kinematics of the elbow and stifle joints in greyhounds during treadmill trotting- An investigation of familiarisation.

Vet Comp Orthop Traumatol 2004; 17: 141-145

Pandy MG, Kumar V, Berme N, Waldorn KJ

The dynamics of quadrupedal locomotion.

J Biomech Eng 1988; 110:230-237

Poy NSJ, DeCamp CE, Bennett RL, Hauptman JG

Kinematic gait analysis to describe differences in the trot between clinically normal dogs and dogs with hip dysplasia.

Am J Vet Res 2000; 61: 974-978

Pratt GW, O'Connor JT

Force plate studies of equine biomechanics.

Am J Vet Res 1976; 37: 1251-1255

Prost JH

Gaits of monkeys and horses: a methodological critique.

Am J Phys Anthropol 1970; 32: 121-128

Räber H

Enzyklopädie der Rassehunde: Bauernhunde, Hirtenhunde, Treibhunde, Schäferhunde.

Stuttgart, Kosmos, 1993

Renberg WC, Spencer AJ, Ye K, Budsberg SC

Comparison of stance time and velocity as control variables in force plate analysis of dogs

Am J Vet Res 1999; 60: 814- 819

Richards JD, Pramanik A, Sykes L, Pomeroy VM

A comparison of knee kinematic characteristics of stroke patients and age-matched healthy volunteers.

Clinical Rehabilitation 2003; 17 (5): 565-571

Riggs CM, De Camp CE, Soutas-Little RW, Braden TW, Richter MA

Effects of subject velocity on force plate-measured ground reaction forces in healthy greyhounds at the trot.

Am J Vet Res 1993; 54: 1523-1526

Roy WE

Examination of the canine locomotor system.

Vet Clin North Am Small Anim Prac 1971; 1: 53-70

Rumph PF, Kincaid SA, Baird DK, Kammermann J, Lander J, Milton J, Visco D

Preliminary ground reaction force profiles of trotting Greyhound and mongrel dogs.

Am Assoc Vet Anat Meet, Pullman, Wash 1991

Rumph PF, Lander JE, Kincaid SA, Baird DK, Kammermann JR, Visco DM
Ground reaction force profiles from force platform gait analysis of clinically normal mesomorphic dogs at the trot.
Am J Vet Res 1994; 55: 756-761

Rumph PF, Steiss JE, West MS
Interday variation in vertical ground reaction force in clinically normal greyhounds at the trot.
Am J Vet Res 1999; 60: 679-983

Seiferle E, Frewein J
Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologie. In: Nickel R, Schummer A und Seiferle E, Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band 1.
Berlin; Parey; 1992: 273-569

Seiferle E, Frewein J
Statik und Dynamik. In: Nickel R, Schummer A und Seiferle E,
Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band 1.
Berlin; Parey; 1992: 558-585

Tokuriki M
Electromyographic and joint-mechanical studies in quadrupedal locomotion I
Jpn J Vet Sci, 1973; 35: 433- 446

Unkel-Mohrmann F
Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes.
Diss Med Vet, München, 1999

Van Weeren PR, Van Den Borgert AJ, Barneveld A
Quantification of skin displacement near the carpal, tarsal, and fetlock joints of the walking horse.
Equine Vet J 1988; 20: 203-208

Van Weeren PR, Van Den Borgert AJ, Barneveld A
Correction models for skin displacement in equine kinematic gait analysis.
J Equine Vet Sci 1992; 12: 178-192

Vollmerhaus B, Roos H
Die postnatale Modellierung der Unterarmknochen des Hundes im Zuge funktioneller Anpassung.
Berl Münch Tierärz Wschr 1980; 93: 150-155

Voltz R
Der Deutsche Schäferhund.
Niederhausen, FALKEN, 1999

Voss K, Damur DM, Guerrero T, Haessig M, Monatvon PM
Force plate gait analysis to assess limb function after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament disease
Vet Comp Orthop Traumatol 2008; 21: 243-249

Wachtel H
Hundezucht 2000.
Berlin, Parey; 1997

Wiesner E, Ribbeck R
Lexikon der Veterinärmedizin
4. Auflage Stuttgart, ENKE im Hippokrates Verlag; 2000

Willis MB
Genetik der Hundezucht
Mürtenbach, Kynos; 1994

Yanoff SR, Hulse DA, Hogan HA, Slater MR, Longnecker MT
Measurement of vertical ground reaction force in jumping dogs.
Vet Comp Orthop Traumatol 1992; 5: 44-50

10. Danksagung

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. U. Matis für die Überlassung dieses interessanten Themas und ihre langjährige, wissenschaftliche und menschliche Unterstützung.

Danke für die Bereitstellung des Ganganalyselabors.

Für die Hilfe bei der Aufnahme der Hunde, deren Auswertung, ihre wissenschaftliche Unterstützung und unendliche Geduld bei der Durchsicht dieser Arbeit möchte ich mich bei meiner Freundin Stephanie Steigmeier bedanken.

Mein Dank gilt auch meinen Kollegen der Radiologie für Ihre Hilfe beim Anfertigen der Röntgenbilder und meinen Kollegen der Anästhesie für Ihre Geduld während der Anfertigung dieser Arbeit.

Auch möchte ich allen Hundebesitzern für Ihre Mitarbeit und die Bereitstellung ihrer Hunde Dank sagen. Ohne sie wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Danke auch allen die mich freundlich unterstützt haben und wie ich nie den Glauben an ein gutes Ende verloren haben.