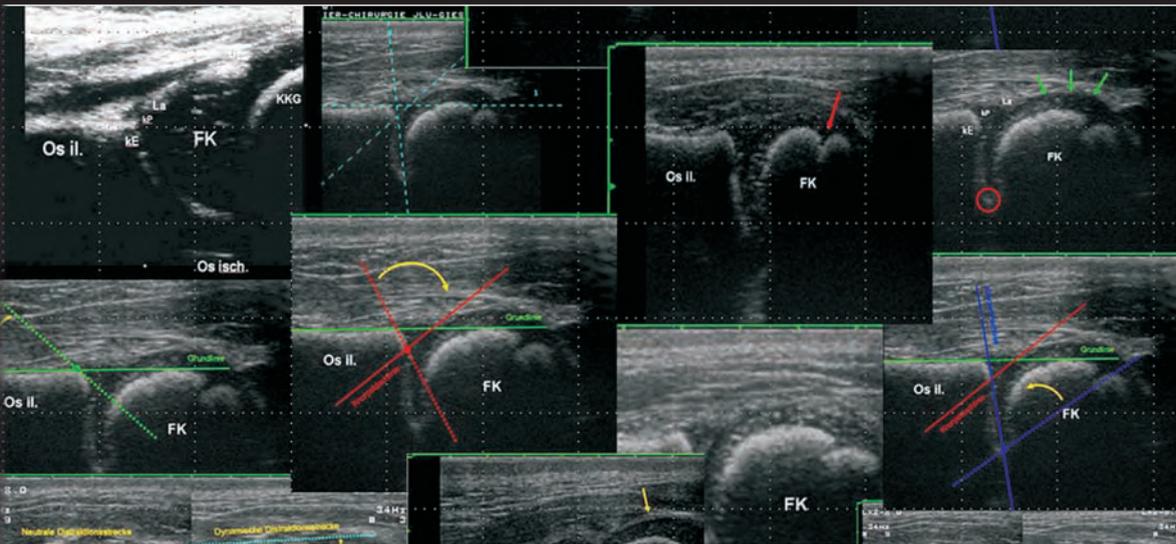


# DIE KANINE HÜFTGELENKSDYSPLASIE

—

## STATISCHE UND DYNAMISCHE ULTRASCHALL- UNTERSUCHUNG DER HÜFTGELENKE BEIM HUNDEWELPEN IM VERGLEICH ZUR RÖNTGENOLOGISCHEN HD-BEURTEILUNG

**ANDREAS FISCHER**



**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**



**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2008

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1<sup>st</sup> Edition 2008

© 2008 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**  
édition scientifique

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)

Aus dem Klinikum Veterinärmedizin  
Klink für Kleintiere, Chirurgie  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Betreuer: Prof. Dr. M. Kramer

**Die kanine Hüftgelenksdysplasie – Statische und dynamische  
Ultraschalluntersuchung der Hüftgelenke beim Hundewelpen  
im Vergleich zur röntgenologischen HD-Beurteilung**

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.  
beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

**ANDREAS FISCHER**

Tierarzt aus Köln

Gießen 2008

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. habil. G. Baljer

Gutachter: Prof. Dr. M. Kramer

PD Dr. R. Hospes

Tag der Disputation: 10. April 2008

*Für meine Eltern*



## **Inhaltsverzeichnis**

<b>Inhaltsverzeichnis.....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2. LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Das Hüftgelenk des Hundes.....</b>	<b>2</b>
2.1.1 Anatomie des Hüftgelenkes.....	2
2.1.2 Postnatale Entwicklung des Hüftgelenkes .....	4
<b>2.2 Die Hüftgelenkdysplasie des Hundes .....</b>	<b>6</b>
2.2.1 Definition.....	6
2.2.2 Ätiologie .....	6
2.2.2.1 Genetik und Heritabilität .....	6
2.2.2.2 Umwelteinflüsse und andere Einflüsse .....	7
2.2.3 Pathogenese .....	8
2.2.4 Diagnostik der Hüftgelenkdysplasie .....	10
<b>2.3 Sonographie .....</b>	<b>14</b>
2.3.1 Physikalische Grundlagen .....	14
2.3.2 Artefakte .....	15
2.3.2.1 Rauschen .....	16
2.3.2.2 Schallschatten .....	16
2.3.2.3 Wiederholungsechos (Reverberationen) .....	16
2.3.2.4 Nebenkeulenartefakte (Bogenartefakte).....	17
2.3.2.5 Pseudousur.....	17
2.3.2.6 Schichtdickenartefakt .....	17
2.3.3 Biologische Wirkungen bei der Anwendung von Ultraschall.....	18
2.3.4 Technische Grundlagen und apparative Voraussetzungen.....	19

## Inhaltsverzeichnis

---

2.3.5	Sonographische Nomenklatur .....	22
2.3.6	Orthopädische Sonographie .....	23
2.3.6.1	Sonoanatomie in der orthopädischen Sonographie .....	24
2.3.6.1.1	Haut .....	24
2.3.6.1.2	Unterhaut .....	24
2.3.6.1.3	Muskulatur.....	24
2.3.6.1.4	Sehnen .....	24
2.3.6.1.5	Knochen.....	25
2.3.6.1.6	Knorpel.....	25
2.3.6.2	Sonographie des Hüftgelenkes beim Säugling.....	25
2.3.6.2.1	Sonographischer Untersuchungsgang .....	26
2.3.6.2.2	Anatomische Identifizierung .....	27
2.3.6.2.3	Brauchbarkeitsprüfung .....	29
2.3.6.2.4	Deskriptive Befundung.....	30
2.3.6.2.5	$\alpha$ -Knochenwinkel und $\beta$ -Knorpelwinkel.....	30
2.3.6.2.6	Typeneinteilung sonographierter Hüftgelenke nach Graf .....	31
2.3.6.2.7	Dynamische Untersuchungstechniken .....	33
2.3.6.2.8	Therapeutische Konsequenz.....	34
2.3.6.3	Sonographie des Hüftgelenkes beim Hundewelpen.....	34
<b>2.4</b>	<b>Frühdiagnostik der kaninen Hüftgelenksdysplasie.....</b>	<b>40</b>
2.4.1	Klinische Untersuchungstechniken .....	40
2.4.2	Röntgenologische Untersuchungstechniken.....	41
2.4.3	Untersuchungen per Ultraschall .....	42
<b>3.</b>	<b>EIGENE UNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Material und Methode .....</b>	<b>43</b>
3.1.1	Gerätebeschreibung und -einstellung .....	43
3.1.1.1	Schallkopf.....	43

## Inhaltsverzeichnis

---

3.1.1.2	Bildeinstellungen.....	43
3.1.1.3	Bildwiedergabe.....	44
3.1.1.3.1	Single-B-Mode .....	44
3.1.1.3.2	Dual-B-Mode.....	44
3.1.1.3.3	Bildsequenz - Analyse (Cineloop®) .....	45
3.1.1.3.4	Beschriftung .....	45
3.1.1.4	Messvorrichtungen .....	45
3.1.1.5	Dokumentation .....	45
3.1.2	Untersuchungsgut.....	45
<b>3.2</b>	<b>Sonographische Untersuchung.....</b>	<b>48</b>
3.2.1	Aufbau des Arbeitsplatzes.....	48
3.2.2	Ablauf der sonographischen Untersuchungen.....	48
3.2.3	Laterale Standardschnittebene.....	49
3.2.4	Sonographische Messwerte .....	52
3.2.4.1	$\alpha$ -Knochen- und $\beta$ -Knorpelwinkelmessung .....	52
3.2.4.2	Dynamische Stressuntersuchung.....	55
3.2.4.3	Distraktionswert .....	56
3.2.4.4	Manuelle $\alpha$ -Knochenwinkelmessung .....	57
<b>3.3</b>	<b>Wiederholbarkeitsstudie.....</b>	<b>58</b>
3.3.1	$\alpha$ -Knochenwinkelmessung .....	58
3.3.2	Distraktionswertmessung .....	58
<b>3.4</b>	<b>Röntgenologische Untersuchung.....</b>	<b>59</b>
<b>3.5</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>61</b>
<b>4.</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Sonographische Untersuchung.....</b>	<b>62</b>
4.1.1	Technische Einstellungen.....	62
4.1.2	Durchführung der sonographischen Untersuchung.....	62

## Inhaltsverzeichnis

---

4.1.3	Sonoanatomie und morphologische Entwicklung.....	62
4.1.4	$\alpha$ -Knochenwinkel .....	69
4.1.4.1	Deskriptive Statistik $\alpha$ -Knochenwinkelmessung .....	69
4.1.4.2	Vergleich der Rassen.....	70
4.1.4.3	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	72
4.1.4.4	Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit .....	73
4.1.5	Dynamische Stressuntersuchung.....	74
4.1.5.1	Deskriptive Statistik der dynamische Stressuntersuchung.....	74
4.1.5.2	Vergleich der Rassen.....	75
4.1.5.3	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	76
4.1.5.4	Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit .....	76
4.1.6	Distraktionswert .....	77
4.1.6.1	Deskriptive Statistik der Distraktionswertmessung .....	77
4.1.6.2	Vergleich der Rassen.....	78
4.1.6.3	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	79
4.1.6.4	Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit .....	79
4.1.7	Korrelationsanalysen.....	80
4.1.7.1	Vergleich von maschinell und manuell gemessenem $\alpha$ -Knochenwinkel.....	80
4.1.7.2	Vergleich von dynamischer Stressuntersuchung und Distraktionswertmessung ..	80
4.1.8	Wiederholbarkeitsstudie.....	81
4.1.8.1	$\alpha$ -Knochenwinkelmessung .....	81
4.1.8.2	Distraktionswertmessung .....	81
<b>4.2</b>	<b>Röntgenologische Untersuchung.....</b>	<b>82</b>
4.2.1	Rücklaufquote .....	82
4.2.2	Verteilung der HD-Befunde .....	83
4.2.2.1	Vergleich der Rassen.....	84
4.2.2.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	85

## Inhaltsverzeichnis

---

4.2.3	Korrelation der röntgenologischen Parameter mit dem HD-Grad .....	86
<b>4.3</b>	<b>Korrelationsanalysen Sonographie – Röntgen .....</b>	<b>87</b>
4.3.1	$\alpha$ -Knochenwinkel .....	87
4.3.1.1	Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – HD-Grad.....	87
4.3.1.1.1	Vergleich der Rassen.....	88
4.3.1.1.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	88
4.3.1.2	Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – Norberg-Winkel .....	89
4.3.1.2.1	Vergleich der Rassen.....	89
4.3.1.2.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	90
4.3.1.3	Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – Distaktionsindex .....	90
4.3.1.3.1	Vergleich der Rassen.....	90
4.3.1.3.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	91
4.3.1.4	Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – Lage des Femurkopfzentrums .....	91
4.3.1.4.1	Vergleich der Rassen.....	92
4.3.1.4.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	92
4.3.2	Dynamische Stressuntersuchung .....	93
4.3.2.1	Korrelation dynamische Stressuntersuchung – HD-Grad .....	93
4.3.2.1.1	Vergleich der Rassen.....	93
4.3.2.1.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	93
4.3.2.2	Korrelation dynamische Stressuntersuchung – Norberg-Winkel .....	94
4.3.2.2.1	Vergleich der Rassen.....	94
4.3.2.2.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	95
4.3.2.3	Korrelation dynamische Stressuntersuchung – Distaktionsindex .....	95
4.3.2.3.1	Vergleich der Rassen.....	95
4.3.2.3.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	96
4.3.2.4	Korrelation dynamische Stressuntersuchung – Lage des Femurkopfzentrums.....	96
4.3.2.4.1	Vergleich der Rassen.....	97

## Inhaltsverzeichnis

---

4.3.2.4.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	97
4.3.3	Distraktionswert .....	98
4.3.3.1	Korrelation Distraktionswert – HD-Grad.....	98
4.3.3.1.1	Vergleich der Rassen.....	98
4.3.3.1.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	98
4.3.3.2	Korrelation Distraktionswert – Norberg-Winkel .....	99
4.3.3.2.1	Vergleich der Rassen.....	99
4.3.3.2.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	100
4.3.3.3	Korrelation Distraktionswert – Distraktionsindex .....	100
4.3.3.3.1	Vergleich der Rassen.....	100
4.3.3.3.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	101
4.3.3.4	Korrelation Distraktionswert – Lage des Femurkopfzentrums .....	101
4.3.3.4.1	Vergleich der Rassen.....	102
4.3.3.4.2	Vergleich der Gruppen nach Körpergröße .....	102
<b>5.</b>	<b>DISKUSSION .....</b>	<b>103</b>
<b>5.1</b>	<b>Sonographische Untersuchung.....</b>	<b>103</b>
5.1.1	Studiendesign .....	103
5.1.2	Sonoanatomie und morphologische Entwicklung.....	104
5.1.3	$\alpha$ -Knochenwinkelmessung .....	106
5.1.4	Dynamische Stressuntersuchung und Distraktionswertmessung .....	108
<b>5.2</b>	<b>Röntgenologische Untersuchung.....</b>	<b>109</b>
<b>5.3</b>	<b>Korrelationen Sonographie - Röntgen .....</b>	<b>110</b>
5.3.1	$\alpha$ -Knochenwinkel .....	110
5.3.2	Dynamische Stressuntersuchung und Distraktionswert .....	112
<b>6.</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG.....</b>	<b>114</b>
<b>7.</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>116</b>
<b>8.</b>	<b>LITERATURVERZEICHNISS.....</b>	<b>118</b>

***Abkürzungsverzeichnis***

3D	dreidimensional
Abb.	Abbildung
ca.	circa
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
dB	Dezibel
dB/cm	Dezibel pro Zentimeter
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DSH	Deutscher Schäferhund
FCI	Fédération Cynologique Internationale
FHC	femoral head coverage
FK	Femurkopf
ggf.	gegebenenfalls
HD	Hüftgelenkdysplasie
Hz	Hertz
KKG	Knorpel-Knochen-Grenze
kP	hyalin-knorpelig präformiertes Pfannendach
MHz	Millionen Hertz / Mega Hertz
kE	knöcherner Erker
kHZ	Kilohertz
La	Labrum acetabulare
M.	Musculus
min	Minute
mm	Millimeter
m/s	Meter pro Sekunde
n	Anzahl
Nr.	Nummer
Os il.	Os ilium
Os isch.	Os ischii
Os pub.	Os pubis
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PennHip	Pennsylvania Hip Improvement Program
r	Korrelationskoeffizient

## Abkürzungsverzeichnis

---

$r_s$	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
s	Standardabweichung
sog.	sogenannt
Tab.	Tabelle
UF	Umschlagsfalte der Gelenkkapsel
US	Ultraschall
v. a.	vor allem
x	Mittelwert
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

## 1. EINLEITUNG

Die sonographische Untersuchung der Hüftgelenke ist ein in der Pädiatrie etabliertes Untersuchungsverfahren zur Diagnostik der kongenitalen Hüftgelenksdysplasie. Die Untersuchung besteht aus der Messung des  $\alpha$ -Knochen- und  $\beta$ -Knorpelwinkels und einer dynamischen Untersuchung der Hüftgelenke. Hüftreifungsstörungen und luxierte bzw. subluxierte Gelenke können mit einer hohen Sensitivität und Spezifität entdeckt und frühzeitig therapiert werden.

Beim Hund kann die Hüftgelenksdysplasie zurzeit frühestens ab einem Alter von vier Monaten durch Röntgenaufnahmen der Hüftgelenke unter Distraction diagnostiziert werden. Dieses recht aufwendige Verfahren kann nur von lizenzierten Tierärzten durchgeführt werden. Die Routinediagnostik erfolgt in Deutschland im Alter von 12-18 Monaten durch Röntgenaufnahmen des Beckens mit gestreckten Hintergliedmaßen. Für beide Verfahren ist eine Vollnarkose vorgeschrieben.

Verschiedene veterinärmedizinische Arbeiten über die sonographische Untersuchung der Hüftgelenke beim Hundewelpen wurden in den letzten 25 Jahren verfasst. Es wurden zunächst die anatomischen Strukturen dargestellt, Standardschnittebenen definiert und der humanmedizinische Untersuchungsgang auf den Hund übertragen und angepasst. Anschließend erfolgten Untersuchungen über die  $\alpha$ -Knochen- und  $\beta$ -Knorpelwinkelmessung sowie sonographische Darstellungen von dynamischen Distaktionsuntersuchungen. Sowohl die Qualität der Studien als auch deren Ergebnisse sind von großer Heterogenität geprägt.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Technik des Hüftultraschalls an nicht narkotisierten lebenden Welpen verschiedener Hunderassen angewendet und ihre Durchführbarkeit getestet. Bisher durchgeführte Untersuchungsansätze wurden erneut aufgegriffen und ihre Eignung zur Frühdiagnostik der Hüftgelenksdysplasie beim Hund überprüft.

Als Vergleich dienten offizielle Röntgenaufnahmen zur Beurteilung der Hüftgelenke im Alter von mindestens 12 bis 18 Monaten.

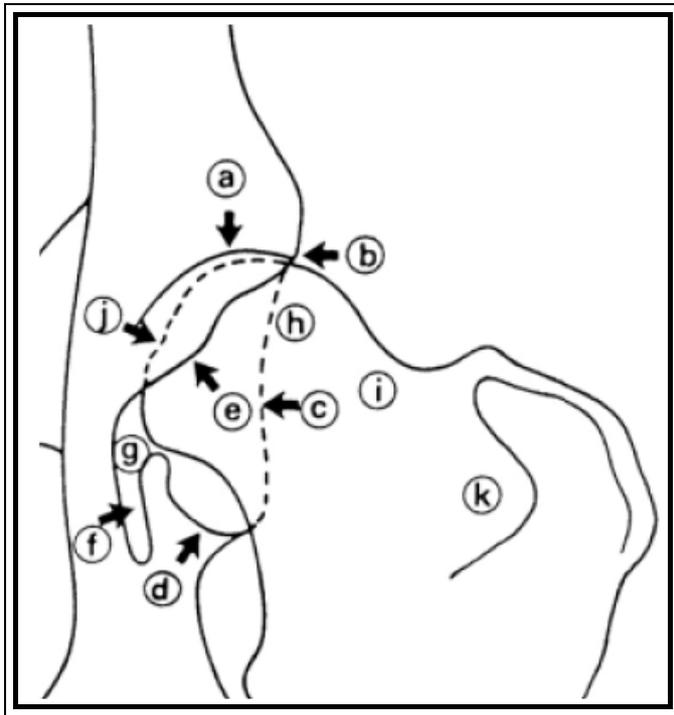
## 2. LITERATURÜBERSICHT

### 2.1 Das Hüftgelenk des Hundes

#### 2.1.1 Anatomie des Hüftgelenkes

Das Hüftgelenk, *Articulatio coxae*, besteht aus der Hüftpfanne, dem Azetabulum und dem Oberschenkelkopf, dem *Capitis ossis femoris*.

Das Azetabulum setzt sich aus dem kaudalen Ende des Darmbeines (*Os ilium*), dem Körper des Schambeines (*Os pubis*) und dem Sitzbein (*Os ischii*) zusammen. Es gleicht in seiner Form einer hohlen Halbkugel, die sich nach laterodistal öffnet. Die Gelenkfläche, *Facies lunata*, ist sichelförmig ausgebildet und wird von der *Incisura acetabuli* unterbrochen. Im Zentrum befindet sich eine Vertiefung, die *Fossa acetabuli*. Das *Ligamentum transversum acetabuli* spannt sich zwischen den Enden der *Incisura acetabuli* und schließt diese zu einem Kreis (NICKEL et al., 1992).



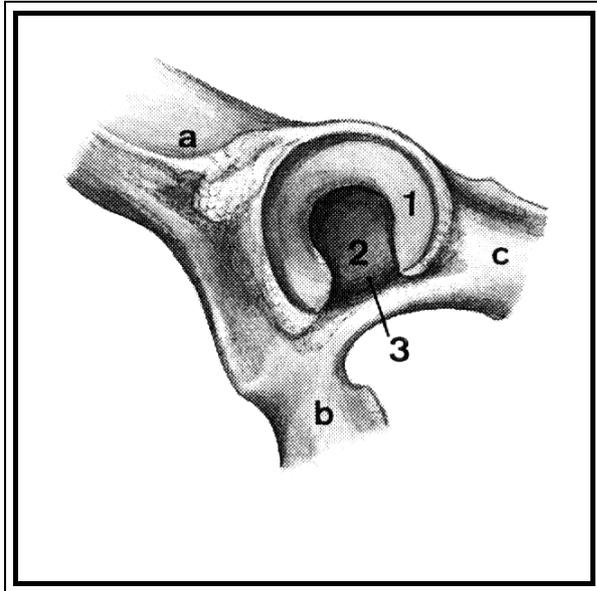
**Abbildung 1**

*Anatomie des Hüftgelenkes des Hundes  
modifiziert nach KÜRSTEINER (1990)*

- a : kraniale Azetabulumkontur*
- b : kraniolateraler Azetabulumrand*
- c : dorsaler Azetabulumrand*
- d : kaudaler Azetabulumrand*
- e : ventraler Azetabulumrand*
- f : Incisura acetabuli*
- g : Fossa acetabuli*
- h : Femurkopf*
- i : Femurhals*
- j : Bandgrube*
- k : Fossa trochanterica*

Der Rand des Azetabulums wird durch einen faserknorpeligen Ergänzungssaum (*Labrum acetabulare*) erhöht. Die Gelenkpfanne wird dadurch vergrößert, sodass der Femurkopf zu mehr als der Hälfte umschlossen wird. Aus einem einfachen Kugelgelenk (HENSCHEL, 1983) wird dadurch ein spezialisiertes Kugelgelenk, respektive ein Nussgelenk (NICKEL et al., 1992; LINNMANN, 1998).

Hinsichtlich der Form und der Tiefe des Azetabulums gibt es rassespezifische Unterschiede. Die Hüftpfanne von Boxer und Pudel weist eine fast kreisrunde Kontur auf. Beim Schäferhund und Spaniel ist sie mehr längsoval. Eine elliptische Form findet man beim Basset und eine deutlich längsovale Form beim Dackel (WHITTINGTON et al., 1961; RICHTER und LOEFFLER, 1976).



**Abbildung 2**

*Azetabulum des Hundes (NICKEL et al., 1992)*

*a : Os ilium*

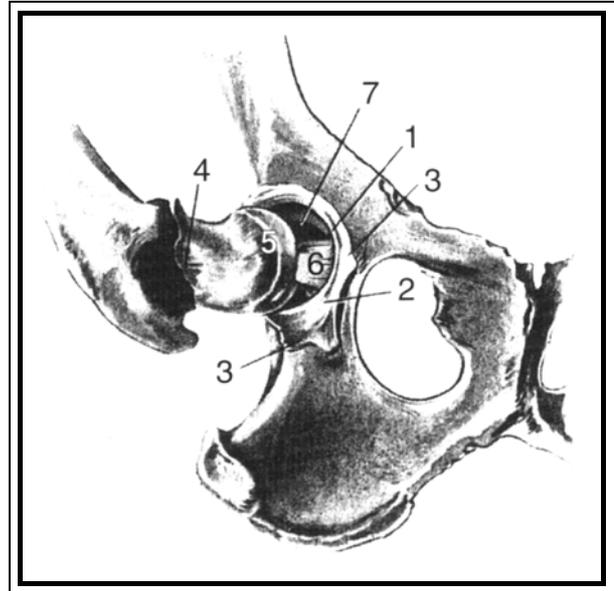
*b : Os pubis*

*c : Os ischii*

*1 : Facies lunata*

*2 : Fossa acetabuli*

*3 : Inc. acetabuli*



**Abbildung 3**

*Hüftgelenk eines Schäferhundes, ventrolaterale Ansicht (BAUM und ZIETZSCHMANN, 1936)*

*1 : Labrum acetabulare*

*2 : Lig. transversum*

*3 : Capsula articularis*

*4 : Capsula articularis*

*5 : Caput femoris*

*6 : Lig. teres*

*7 : Fossa acetabuli*

Der Oberschenkelkopf entspricht bis auf eine kleine ovale Grube (Fovea capitis) fast der Form einer Halbkugel und wird durch den Oberschenkelhals (Collum ossis femoris) vom Knochenschaft (Os femoris) abgesetzt. Lateral des Femurkopfes befindet sich ein großer Knochenfortsatz (Trochanter major) und medial ein kleinerer Knochenfortsatz (Trochanter minor). Sie dienen den Muskeln des Hüftgelenkes als Ansatzpunkte. Diese beiden Knochenfortsätze schließen eine grubige Vertiefung ein (Fossa trochanterica) (NICKEL et al., 1992).

Schäferhunde, Pudel und Boxer besitzen einen fast halbkugeligen Oberschenkelkopf, der dem deutlich ausgebildeten Hals relativ breitflächig aufsitzt. Dagegen findet man beim Dackel einen kappenförmigen Oberschenkelkopf, der eine längsovale Form hat und sich deutlich vom Oberschenkelhals absetzt (SCHNEIDER-HAISS und LOEFFLER, 1987; LOEFFLER, 1990b).

Die Gelenkflächen von Azetabulum und Femurkopf sind von glattem, elastischem Gelenkknorpel überzogen. Die Gelenkflüssigkeit, Synovia, ermöglicht ein besseres Gleiten der Gelenkflächen und ernährt den Knorpel (LOEFFLER, 1994).

Das Hüftgelenk wird von der Gelenkkapsel (Capsula articularis) umgeben. Sie besteht aus einer straffen Bindegewebsschicht (Stratum fibrosum) und der Gelenksinnenhaut (Stratum synoviale), die die Synovia bildet. Das Stratum fibrosum geht in das Periost des Azetabulums und des Femurschaftes über (BUDRAS und FRICKE, 1983). Im Gegensatz zu anderen Tierarten besitzt der Hund keine intrakapsulären Bänder, es sind lediglich entsprechende Kapselverdickungen festzustellen (NICKEL et al., 1992). Laut BUDRAS und FRICKE (1983) ist die Gelenkkapsel als einziger Gelenkanteil sensibel innerviert. Nach LUST (1993) trifft dies auch auf das Ligamentum capitis ossis femoris zu.

Dieses auch als Ligamentum teres bezeichnete Band verläuft von der Fossa acetabuli zur Fovea capitis und wird vom Ligamentum transversum acetabuli in seiner Position gehalten. Es ist in Abhängigkeit von der Größe des Hundes zwischen 1 und 1,5 cm lang (KÖPPEL, 1991; NICKEL et al., 1992; LINNMANN, 1998).

### **2.1.2 Postnatale Entwicklung des Hüftgelenkes**

Bei der Geburt des Hundes besteht das Becken, bis auf den kaudalen Anteil der Hüftpfanne, vollständig aus Knorpel (SMITH, 1964; KÖPPEL, 1991). Im Rahmen der enchondralen Ossifikation wird dieser, ausgehend von sog. Verknöcherungskernen, im Laufe des Wachstums durch Knochen ersetzt.

Nach HARE (1961) und SMITH (1964) sind die Verknöcherungskerne von Darm-, Sitz- und Schambein bereits bei der Geburt röntgenologisch nachweisbar, während nach RISER (1973) der Verknöcherungskern des Schambeines erst im Alter von 4 Wochen erscheint. Je nach Rasse verschmelzen die Verknöcherungskerne im Azetabulum zwischen dem 4. und 7. Lebensmonat (SCHRAN, 1973; WIDMER, 1978).

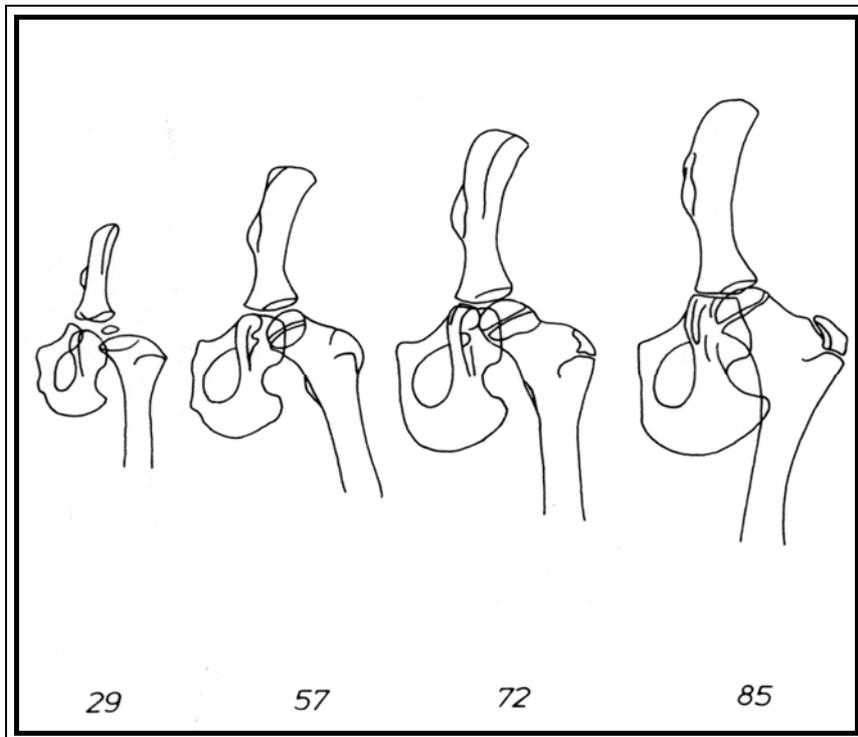
Neben diesen drei Verknöcherungskernen sind an der Ausbildung der Hüftpfanne noch zwei weitere Verknöcherungskerne beteiligt. Das Os acetabulare tritt zwischen der 7. und 12. Lebenswoche (HARE, 1961; SCHRAN, 1973; KÖPPEL, 1991) als keilförmiges Verknöcherungszentrum im Zentrum der Knorpelzone des Azetabulums in Erscheinung und bildet den Pfannenboden (KÖPPEL, 1991). Kurz darauf verschmilzt es mit dem Schambein und im Verlauf von weiteren 8-12 Wochen mit dem Darm- und Sitzbein (KÖPPEL, 1991).

Das Os coxae quartum entwickelt sich entlang des dorsalen Randes der Hüftpfanne aus einem zentralen, einem kranialen und einem kaudalen Verknöcherungskern. Es ist ab der 14. Le-

benswoche als t-förmige Struktur sichtbar und verschmilzt bis zur 20. Lebenswoche mit dem übrigen Azetabulum. Es bildet das Pfannendach, weshalb es auch Pfannendachkern genannt wird (KÖPPEL, 1991).

Der Verknöcherungskern des Femurkopfes wird je nach Autor zwischen der 1. und 4. Lebenswoche röntgenologisch sichtbar (HARE, 1961; TICER, 1975; WIDMER, 1978). KRESKEN (1991) konnte den Femurkopfverknöcherungskern beim Beagle am 10. Lebenstag und FLÖCK (2002) beim Deutschen Schäferhund im Alter von 15 Tagen sonographisch nachweisen. Er sitzt dem Femurhals kappenartig auf und reicht bis zu dessen Epiphysenfuge, welche sich zwischen dem 7. und 12. Lebensmonat verschließt (TICER, 1975; WIDMER, 1978).

Nach KÖPPEL (1991) hat die Hüftgelenkpfanne im Alter von 5 Monaten ihre endgültige und bleibende Form erreicht. Zu diesem Zeitpunkt ist das Pfannenwachstum abgeschlossen.



**Abbildung 4**

*Postnatale Entwicklung der linken Beckenhälfte und des linken Hüftgelenkes, ventro-dorsale Ansicht, Deutscher Schäferhund, Lebensalter in Tagen (RISER, 1973)*

## **2.2 Die Hüftgelenksdysplasie des Hundes**

### **2.2.1 Definition**

Der Begriff Hüftgelenksdysplasie (HD) leitet sich aus dem Griechischen dys = schlecht und plasia = Form ab. Er wurde von SCHNELLE eingeführt, der das Krankheitsbild 1935 bei Deutschen Schäferhunden in den USA beschrieb und es kurze Zeit später „kongenitale Subluxation“ nennt. Neuere Erkenntnisse zur Ätiologie und Pathogenese der Erkrankung führten zu dem heute weitgehend akzeptierten Begriff der „erblich bedingten postnatalen Fehlentwicklung des Hüftgelenkes“.

Je nach Autor werden dabei die Schwerpunkte unterschiedlich gesetzt. Nach LOEFFLER (1990a) ist die HD eine erblich bedingte Fehlentwicklung des Hüftgelenkes, bei der die Hüftgelenkpfanne und der Oberschenkelkopf nicht aufeinander abgestimmt sind. KÖPPEL (1991) macht ein in Form und Tiefe nicht ausreichend ausgebildetes Azetabulum verantwortlich. Eine lose, schlecht passende Artikulation charakterisiert laut BRASS (1989) die HD. MORGAN und STEPHENS (1985) sehen in der Entwicklung von Arthrosen und umweltbedingten Einflüssen (FLÜCKIGER, 1996) weitere Ursachen.

### **2.2.2 Ätiologie**

#### **2.2.2.1 Genetik und Heritabilität**

Die Entstehung der HD ist ein multifaktorielles Geschehen, bei der eine genetische Grundursache heute weitgehend anerkannt ist. Schon früh konnte nachgewiesen werden, dass Nachkommen dysplastischer Elterntiere zu einem höheren Prozentsatz an HD erkranken als Nachkommen gesunder Elterntiere (SCHALES, 1956; RISER, 1964; HENRICSON et al., 1966; KAMAN und GOSSLING, 1967; BÖHME, 1976). Das Muster der Vererbung gibt Hinweise darauf, dass mehrere Gene Einfluss auf die Ausprägung der HD haben, also ein multifaktorieller oder polygenetischer Erbgang vorliegt (HENRICSON und OLSSON, 1959; RISER, 1964; LEIGHTON et al., 1977; FLÜCKIGER et al., 1995).

Zur phänotypischen Ausprägung der HD kommt es, wenn durch die Summation einzelner sog. Defektgene ein Schwellenwert überschritten wird (STUR, 1990). Daraus folgt, dass auch phänotypisch gesunde Tiere einzelne der Defektgene in sich tragen können, ohne sie phänotypisch auszuprägen. LEIGHTON (1997) proklamiert die Existenz eines major-Gens, welches maßgeblich an der Ausprägung der HD beteiligt ist. Untersuchungen von JANUTTA (2005) unterstützen diese These.

Der genetisch bedingte Anteil an der phänotypischen Ausprägung eines Merkmales in einer Population wird Heritabilität ( $h^2$ ) oder Erblichkeitsgrad genannt (LINNMANN, 1998). Sie wird durch populationsgenetische Methoden ermittelt und ist spezifisch für die Population, an der sie geschätzt wurde (KRÄUßLICH, 1994). Die Heritabilität ist abhängig vom Untersuchungsalter und der Untersuchungsmethodik (BRASS, 1989; STUR, 1990; JANUTTA, 2005). Beträgt die Heritabilität beispielsweise 0,4, besagt dies, dass in der untersuchten Hundepopulation die beobachtete Variation der Hüftgelenksausbildung zu 40% auf Erbfaktoren beruht (MEYER, 1968) und zu 60% durch umweltbedingte Einflüsse bestimmt wird. Da die Heritabilität immer ein durchschnittlicher Schätzwert für die gesamte untersuchte Population ist, kann dies auf das Einzeltier bezogen bedeuten, dass bei einem Tier der genetische Einfluss bei 70% lag und bei einem anderen bei 10%.

Die Literatur gibt Heritabilitätsschätzwerte von 0 bis 0,7 an (LEIGHTON et al., 1977; LINNMANN, 1998). Nach Studien von HEDHAMMAR (1979), LEPÄNEN (2000) und HAMANN (2003) beträgt die Heritabilität für die HD beim Deutschen Schäferhund 0,4 bis 0,5, 0,31 bis 0,35 bzw. 0,24 bis 0,26.

#### 2.2.2.2 Umwelteinflüsse und andere Einflüsse

Neben den genetischen Grundlagen wurden viele umweltassoziierte Einflüsse untersucht, die die Ausprägung der HD beeinflussen (LOEFFLER, 1990a; LINNMANN, 1998). In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass durch eine übermäßige *Fütterung* die Stärke und Häufigkeit der Ausprägung der HD bei genetisch verdächtigen Tieren verstärkt werden konnte (HEDHAMMAR et al., 1974; KASSTRÖM, 1975; KEALY et al., 2000). Eine reduzierte Fütterung führte dagegen zu einer weniger starken Ausprägung der HD (KEALY et al., 1992). Auch die Futterzusammensetzung respektive das Verhältnis von Kalzium und Phosphor sowie von anderen Mineralien in der Nahrung kann beeinflussend wirken (RISER, 1964; KEALY et al., 1992).

Nach RISER (1987) soll es möglich sein, die Ausprägung der HD bei genetisch belasteten Tieren durch weitgehende Einschränkungen der *Bewegung* während des Wachstums zu reduzieren. LOEFFLER (1990a) dagegen befürwortet, durch gleichmäßige Bewegung die Ausbildung der Oberschenkelmuskulatur zu fördern, was sich günstig auf die Gelenkentwicklung auswirken soll.

Andere Untersuchungen befassen sich mit der Rolle von *Hormonen* und *Wachstumsfaktoren* bei der Ausprägung der HD. Nach Untersuchungen von BELING (1975) und STEINETZ (1997) persistiert Relaxin bei dysplastischen Labradormüttern während der gesamten Lakta-

tion in der Muttermilch, während es bei gesunden Tieren nur 1-2 Wochen nachweisbar ist. Testosteron ist ein weiteres Hormon, das nur in der Milch dysplastischer Muttertiere nachgewiesen werden konnte. Aromatasen im Blut der Welpen verstoffwechseln Testosteron zu Estradiol-17  $\beta$ . Die Injektion von Aromatase-Inhibitoren reduzierte die Gelenklockerheit bei Labradorwelpen signifikant (STEINETZ et al., 1997).

### **2.2.3 Pathogenese**

Genetisch vorbelastete neugeborene Welpen weisen noch keine pathologischen Veränderungen der Hüftgelenke auf (RISER und SHIRER, 1966). Erste Veränderungen lassen sich ab der dritten Lebenswoche als Längenveränderungen am Ligamentum capitis ossis femoris erkennen. Weitere zwei Wochen später treten erste Subluxationsstellungen des Oberschenkelkopfes auf (RISER et al., 1985).

Beim normal entwickelten Hüftgelenk übt der Oberschenkelkopf einen formativen Reiz auf die Hüftpfanne aus. Beim instabilen Hüftgelenk fehlt dieser Reiz, was eine Abflachung des Azetabulums zur Folge hat. Durch die in der Folge auftretende Subluxationsstellung des Femurkopfes erhöht sich der Druck auf den kranio-dorsalen Pfannenrand, wodurch dieser wiederum im Wachstum zurück bleibt und abflacht (LOEFFLER, 1979).

Einige Autoren sehen in der Instabilität bzw. Lockerheit des Hüftgelenkes die primäre Ursache der HD (RISER et al., 1985; BRASS, 1989; BLOOMBERG, 1990; SMITH et al., 1990; O'BRIEN et al., 1997). MADSEN (1991) konnte Unterschiede im Aufbau der Gelenkkapsel von Hunden mit lockeren und festen Hüftgelenken feststellen.

Andere Autoren betrachten die Instabilität als sekundäre Veränderung, die in Folge einer primären Fehlentwicklung der knöchernen Anteile des Hüftgelenkes auftritt. HARTUNG (1966) beschreibt ein primär zu flaches Azetabulum und SPRINKLE und KROOK (1969) einen zu kleinen Femurkopf. Nach PAATSAMA et al. (1966), GUSTAFSSON (1972) und SCHIMKE und PAATSAMA (1993) ist eine mangelhafte Entwicklung von Azetabulum und Femurkopf die primäre Ursache für ein instabiles Hüftgelenk. KÖPPEL (1991) unterscheidet sogar zwei Dysplasieformen, die Defektform und die Subluxationsform. Bei der Defektform führt das Fehlen oder die unvollständige Verknöcherung des Os coxae quartum, eines zusätzlichen Verknöcherungskernes, der den kraniodorsalen Pfannenrand bildet, zu einer flachen Ausbildung des Azetabulums. Bei der Subluxationsform führt eine fehlerhafte Entwicklung des Ligamentum capitis ossis femoris zu einer frühzeitigen Instabilität und anschließenden Fehlentwicklung der knöchernen Gelenkanteile.

In Studien von MADSEN (1991) und TODHUNTER (1997) konnte gezeigt werden, dass es bei dysplastischen Hunden zu einer verzögerten Ossifikation des dorsalen Azetabulumrandes und der Femurkopfepiphyse kommt. Der Verknöcherungskern des Femurkopfes weist nach computertomographischen Untersuchungen von FOELS (2000) bei dysplastischen Hunden im Alter von vier Wochen ein kleineres Volumen auf, im Alter von 6-12 Wochen aber ein größeres.

Die Entwicklung der HD ist mit dem Ende des Wachstums des knöchernen Skelettes abgeschlossen. Danach nehmen nur noch sekundäre arthrotische Veränderungen zu (BRASS, 1989). Die ersten arthrotischen Veränderungen treten im Bereich des Ligamentum capitis ossis femoris auf (WILTBERGER und LUST, 1975). Durch die Inkongruenz des dysplastischen Gelenkes entstehen Druckspitzen, die zu einer Überbeanspruchung und Zerstörung des Gelenkknorpels in den gewichttragenden Anteilen führen (PRIEUR, 1980; STROM und SVALASTOGA, 1993). Der Knorpel wird matt, aufgeraut und fasert auf. Durch den Knorpelabrieb schimmert der subchondrale Knochen durch, was den Knorpel gelblich bis rötlich erscheinen lässt (DEBRUNNER, 1985; MORGAN, 1997). Der subchondrale Knochen verdichtet sich, es entsteht eine röntgenologisch sichtbare subchondrale Sklerose. Der Knorpel wird dadurch gegen eine noch härtere Unterlage gepresst und zusätzlich geschädigt (ZILCH und WEBER, 1989).

An den nicht belasteten Randzonen des Gelenks entstehen knöcherne Zubildungen, sog. Osteophyten oder Exostosen. Dadurch versucht der Körper die Kontaktfläche zwischen Femur und Azetabulum zu vergrößern und die Gewichtslast zu verteilen (MORGAN und STEPHENS, 1985; ZILCH und WEBER, 1989). Am Übergang vom Periost in die Fibrosa der Gelenkkapsel bildet sich die sog. Morganlinie (LOEFFLER, 1990a). Knöcherne Auflagerungen am Übergang von Femurkopf zu Femurhals bezeichnet man als Kragenlinie (LOEFFLER, 1980).

Auch die bindegewebigen Gelenksanteile werden durch die Instabilität verstärkt beansprucht. Das Ligamentum capitis ossis femoris und das Labrum acetabulare verdicken sich, fasern auf und/oder reißen völlig durch (HENNINGER, 1992). Die Gelenkkapsel, beim gesunden Hund dünn wie Pergamentpapier und halb durchscheinend, wird bei arthrotischen Hüftgelenken bis zu 10 mm dick und knorpelig hart (SCHMIDT, 1961 und 1963). Die bei der Knorpelzerstörung frei werdenden Abbauprodukte rufen eine sekundäre Entzündung der Gelenkkapsel (reaktive Synovialitis) hervor (DÄMMRICH und BRASS, 1993). Aus der Entzündung resultiert eine Vermehrung und Änderung der Zusammensetzung der

Gelenkflüssigkeit, was die weitere Knorpeldestruktion begünstigt (MORGAN und STEPHENS, 1985).

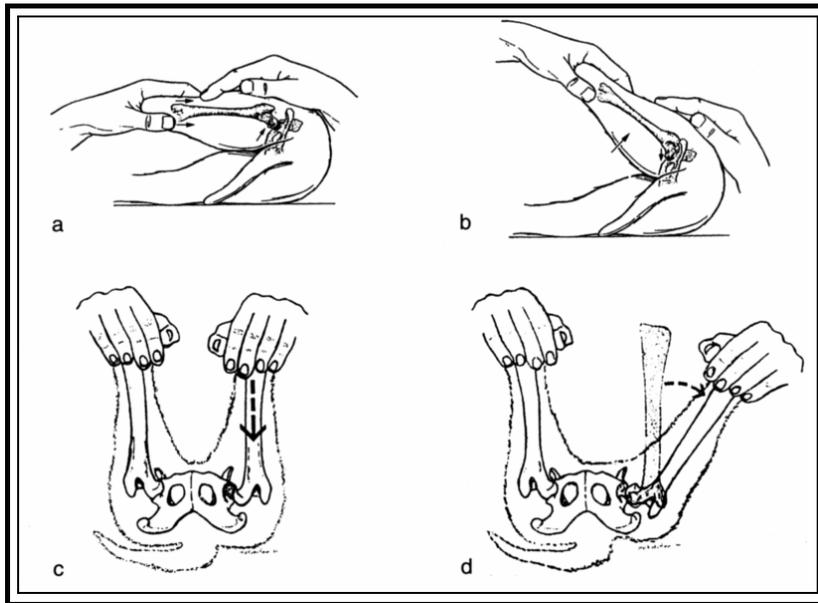
Alle beschriebenen Veränderungen führen letztlich durch die Freilegung des subchondralen Knochens und den Zug an der Gelenkkapsel zu Schmerzen und Lahmheiten (LOEFFLER, 1990a).

#### **2.2.4 Diagnostik der Hüftgelenkdysplasie**

Eine sichere klinische Diagnostik der HD durch die orthopädische Untersuchung ist nicht möglich (BURNS et al., 1987). Die Bandbreite der möglichen klinischen Symptome ist groß. Junge Tiere zeigen plötzlich auftretende oder intermittierende Lahmheiten, die einseitig oder beidseitig auftreten können. Diese entstehen durch Druck des subluxierten oder luxierten Femurkopfes auf das Periost des Azetabulumrandes oder durch Zug an der Gelenkkapsel (LOEFFLER, 1990a; BRUNNBERG, 1999). Ältere Tiere haben häufig Schwierigkeiten beim Aufstehen, springen ungern, zeigen einen steifen Gang und eine Atrophie der Oberschenkelmuskulatur oder eine generelle Bewegungsunlust (SCHIMKE und PAATSAMA, 1993).

Bei der orthopädischen Untersuchung folgt nach Aufnahme des Signalements und der Anamnese die Adspektion in Ruhe und in Bewegung. Es schließt sich eine orientierende Palpation von proximal nach distal an, bei der v. a. auf Symmetrie der tastbaren Knochenpunkte (Trochanter major, Tuber ischiadicum, Tuber sacrale), der Gelenke und der Muskulatur (M. quadriceps femoris, M. pectineus, M. gracilis) geachtet wird. Anschließend folgt die Extension, Flexion, Abduktion, Adduktion und Rotation der Gelenke, beim in Seitenlage liegenden Tier, von distal nach proximal (SCHARVOGEL, 2004). Dabei wird auf Schmerz, Krepitation, eingeschränkte bzw. übermäßige Beweglichkeit und Subluxation bzw. Luxation geachtet (BRUNNBERG, 1999).

Die Festigkeit des Hüftgelenkes wird mit dem Ortolani-Test überprüft (ORTOLANI, 1976). Da diese Untersuchung schmerzhaft sein kann und eine Entspannung der Muskulatur erwünscht ist, sollte sie in Narkose erfolgen (CHALMAN und BUTLER, 1985). Die Untersuchung kann in Rücken- oder in Seitenlage durchgeführt werden (Abbildung 5). Der Untersucher ergreift die Kniegelenke des Hundes und drückt die Oberschenkel in Femurlängsachse in Richtung Becken. Bei bestehender Lockerheit gleiten die Oberschenkelköpfe aus der Hüftpfanne heraus. Werden die Gliedmaßen nun abduziert, gleiten die Oberschenkelköpfe wieder in das Azetabulum hinein und ein „Klicken“, der sog. Ortolani-Klick oder das Ortolani-Zeichen, ist fühlbar und/oder hörbar (ORTOLANI, 1976; SCHARVOGEL, 2004).



**Abbildung 5**

*Ortolani-Test in Seitenlage (a & b) und Rückenlage (c & d)  
nach LINNMANN (1998)*

Die endgültige Diagnose der HD erfolgt beim ausgewachsenen Hund *röntgenologisch*, da vergleichbare Symptome auch bei anderen Erkrankungen auftreten können (SCHIMKE und PAATSAMA, 1993). Seit 1965 werden in Deutschland standardisierte Röntgenaufnahmen nach den einheitlichen (modifizierten) Richtlinien der Fédération Cynologique Internationale (FCI) erstellt und ausgewertet. Die FCI gibt für nahezu alle Rassen ein Mindestalter (DSH, Labrador etc. 12 Monate; großwüchsige Rassen wie z. B. Doggen etc. 18 Monate) vor, da die Hunde für diese Untersuchung ausgewachsen sein müssen. Um eine ausreichende Muskelrelaxation zu erreichen, ist eine Narkose oder Sedation vorgeschrieben (MÜLLER und SAAR, 1966; KEALY, 1991; FLÜCKIGER, 1993).

Die Röntgenaufnahmen werden in Rückenlage in ventrodorsalem Strahlengang angefertigt. Die Hintergliedmaßen sollen parallel zueinander und parallel zur Röntgentischoberfläche gehalten werden. Die Beine sollen nach innen gedreht und maximal gestreckt werden, sodass die Kniescheiben mittig in der Trochlea ossis femoris liegen (Röntgenbild 1, Position I). Eine asymmetrische Lagerung führt zu einer fehlerhaften Darstellung der Hüftgelenke (MORGAN und STEPHENS, 1985; TELLHELM und BRASS, 1989).

**Röntgenbild 1**

*Röntgenbild einer korrekt geröntgten Hüfte in gestreckter Lagerung (Position I)*

In Position II (frog-leg Position oder Froschstellung) werden die Hintergliedmaßen gebeugt, sodass die Oberschenkel in einem Winkel von 90° zum Becken stehen (Röntgenbild 2). Die Tarsalgelenke sollen dabei deutlich vom Röntgentisch abgehoben sein (FLÜCKIGER, 1993).

**Röntgenbild 2**

*Röntgenbild einer korrekt geröntgten Hüfte in gebeugter Lagerung (Position II)*

In Deutschland wird lediglich die Röntgenaufnahme in Position I gefordert. Für ein HD-Obergutachten wird zusätzlich eine Aufnahme in Position II verlangt, ebenso von den schweizerischen und niederländischen HD-Auswertungszentralen.

Die Beurteilung der Röntgenaufnahmen erfolgt nach den Richtlinien der FCI. Diese beinhaltet die Winkelmessung nach Norberg (NORBERG, 1964) sowie die Interpretation weiterer subjektiver Parameter. Eine Einteilung in fünf Gruppen wird vorgenommen (Tabelle 1).

<b>Kein Hinweis für HD – A</b>
Der Femurkopf und das Azetabulum sind kongruent. Der kranio laterale Rand des Azetabulums zeigt sich scharf konturiert und läuft abgerundet aus. Der Gelenkspalt ist eng und gleichmäßig. Der Winkel nach NORBERG (in Position I) beträgt etwa 105° (als Referenz). Bei hervorragenden Hüftgelenken umgreift der kranio laterale Azetabulumrand den Femurkopf etwas weiter nach laterokaudal.
<b>Übergangsform - B</b>
Entweder sind Femurkopf und Azetabulum in geringem Maße inkongruent mit einem Winkel nach NORBERG (in Position I) von etwa 105° oder das Zentrum des Femurkopfes liegt medial des dorsalen Azetabulumrandes und Femurkopf und das Azetabulum sind kongruent. Anmerkung: Norberg-Winkel bei der 2. Alternative kleiner als (etwa) 105°
<b>Leichte HD – C</b>
Femurkopf und Azetabulum sind inkongruent, der Winkel nach NORBERG beträgt etwa 100° und/oder der kranio laterale Rand des Azetabulums ist in geringem Maße abgeflacht. Unschärfen oder höchstens geringe Anzeichen osteoarthrotischer Veränderungen des kranialen, kaudalen oder dorsalen Azetabulumrandes, des Femurkopfes oder -halses können vorhanden sein.
<b>Mittlere HD - D</b>
Deutliche Inkongruenz zwischen Femurkopf und Azetabulum mit Subluxation. Winkel nach NORBERG größer als 90° (nur als Referenz). Abflachung des kranio lateralen Azetabulumrandes und/oder osteoarthrotische Merkmale.
<b>Schwere HD - E</b>
Auffällige dysplastische Veränderungen an den Hüftgelenken, wie z.B. Luxation oder deutliche Subluxation. Winkel nach NORBERG unter 90°, deutliche Abflachung des kranialen Azetabulumrandes, Deformierung des Femurkopfes (pilzförmig, abgeflacht) oder andere osteoarthrotische Merkmale.

**Tabelle 1**

*Richtlinien der FCI-Auswertung von 1993 zur Beurteilung von HD-Röntgenaufnahmen*

Angeregt durch den Zusammenhang zwischen dem Auftreten von lockeren Hüftgelenken und der Ausbildung einer HD entwickelten verschiedene Autoren Stressröntgentechniken, bei den die Femurköpfe aus dem Azetabulum herausgehoben werden (HENRY und PARK, 1972; KLIMT, 1990; FLÜCKIGER, 1996). Dabei steht der Grad der Lockerheit und das Auftreten von Arthrosen bzw. degenerativen Gelenkerkrankungen in einem engen Zusammenhang (O'BRIEN et al., 1997; SMITH, 1997; FLÜCKIGER et al., 1998; OHLERTH et al., 2003).

## 2.3 Sonographie

### 2.3.1 Physikalische Grundlagen

Das menschliche Ohr nimmt akustische Wellen mit Frequenzen zwischen 16 Hertz (Hz) und 20.000 Hz (= 20kHz) als Ton wahr. Ein Hertz entspricht dabei einem Schallwellenzyklus pro Sekunde. Sonographie ist die Anwendung und Darstellung von Schallwellen mit Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörvermögens (>20.000 Hz). Schallwellen mit einer Frequenz kleiner als 16 Hertz bezeichnet man als Infraschall. In der medizinischen Diagnostik werden Ultraschallwellen von etwa 2-15 Megahertz (MHz) eingesetzt.

Diese werden durch Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes von bestimmten Kristallen erzeugt, der erstmals 1880 durch die Gebrüder Jacques und Pierre Curie beschrieben wurde. Er besteht darin, dass eine Krafteinwirkung auf ein piezoelektrisches Element eine Ladungsverschiebung in dessen Kristallgitter und damit eine elektrische Spannung erzeugt. Beim umgekehrten piezoelektrischen Effekt wird eine alternierende Spannung an ein piezoelektrisches Element gelegt, wodurch dieses eine mechanische Deformation erfährt und Schallwellen aussendet. Als piezoelektrische Elemente dienen verschiedene Kristalle, v.a. Zirkonattitanate (REIMERS et al., 2004). Einer oder mehrere dieser Kristalle befinden sich im Ultraschallkopf, der gleichzeitig als Sender und Empfänger der Ultraschallwellen dient. Dieses sog. Impuls-Echo-Verfahren wird heute von allen aktuellen Ultraschallgeräten verwendet. Dabei beträgt das Verhältnis von Sendezeit zu Empfangszeit ungefähr 1:1000 (LOHSS, 1998).

Ultraschallwellen breiten sich im Weichteilgewebe in Form von Longitudinalwellen mit einer mittleren Schallgeschwindigkeit von 1540 m/s aus. Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Dichte und Komprimierbarkeit des Gewebes. Sie ist höher in Medien mit hoher Dichte, wie z.B. Knochen (bis 4100 m/s) und niedriger in weniger dichten, komprimierbaren Medien wie z.B. Luft (332 m/s) (REIMERS et al., 2004). Für die Schallausbreitung ist der Schallwellenwiderstand des Gewebes oder die akustische Impedanz von zentraler Bedeutung. Die akustische Impedanz ist das Produkt aus Materialdichte und Schallwellengeschwindigkeit (POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001).

Grenzen Gewebe mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften aneinander, kommt es zur Reflexion. Der nicht reflektierte Teil der Schallwellen setzt seinen Weg im neuen Medium fort, er transmittiert. Je größer der Impedanzsprung zwischen zwei Geweben ist, desto größer ist der Teil der reflektierten Wellen. Schallwellen werden von Luft zu 99,8% und von Knochen zu 46% reflektiert (GERWING, 1989). Treffen die Ultraschallwellen schräg auf eine

akustische Grenzfläche, kommt es zur Brechung. Der reflektierte Wellenteil erreicht den Ultraschallkopf nicht mehr (POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001). Dadurch geben schräg getroffene oder raue Oberflächen schwächere Echos ab (FRITSCH und GERWING, 1993).

An kleinen, unregelmäßig gestalteten akustischen Grenzflächen werden die Ultraschallwellen in viele verschiedene Richtungen reflektiert, sie werden gestreut.

In Randbereichen von abgerundeten Organen kommt es zur Beugung der Ultraschallwellen zum Organ hin, bzw. in dessen Schallschatten hinein.

Breiten sich Ultraschallwellen in einem homogenen Medium aus, wird beim Durchgang durch die Materie ein Teil der Schallenergie absorbiert und in Wärme umgewandelt. Die Absorption in Wasser ist mit 0,002 db/cm sehr gering, in Knochen jedoch mit 5,0 db/cm so hoch, dass dahinter ein so genannter Schallschatten entsteht. Die Absorption nimmt auch mit der Höhe der verwendeten Frequenz zu, sodass eine hohe Frequenz eine niedrige und eine niedrige eine hohe Eindringtiefe in das Gewebe bedingt. Ein Schallkopf mit einer Frequenz von 5 MHz hat eine ungefähre Eindringtiefe von 10 cm. Bei 10 MHz sinkt die Eindringtiefe auf 5 cm (GRAF, 2000; POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001).

Als Auflösungsvermögen bezeichnet man den Mindestabstand zweier Punkte, die im sonographischen Bild gerade noch zu unterscheiden sind. Dabei werden ein axiales Auflösungsvermögen, das dem minimalen Abstand zweier eben noch differenzierbarer Objekte in Schallrichtung entspricht, und ein laterales Auflösungsvermögen senkrecht zur Schallrichtung unterschieden. Das axiale Auflösungsvermögen wird von der Impulsdauer und Wellenlänge bestimmt und nimmt mit der Höhe der verwendeten Frequenz zu. Schallköpfe mit einer Frequenz von 5 bis 7,5 MHz erreichen ein axiales Auflösungsvermögen von 0,2 bis 0,4 mm. Das laterale Auflösungsvermögen wird von der Impulsbreite bestimmt und ist üblicherweise zwei- bis dreimal niedriger. Eine hohe Frequenz ergibt also eine niedrige Eindringtiefe, aber ein hohes Auflösungsvermögen und umgekehrt (GRAF, 2000; POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001; REIMERS et al., 2004).

### **2.3.2 Artefakte**

Kunstprodukte in der bildgebenden Diagnostik bezeichnet man als Artefakte.

Sie werden einerseits durch Bedienungsfehler des Ultraschallgerätes oder mangelhafte Untersuchungstechnik (ungenügende Schur, mangelnde Ankopplung) begründet, andererseits durch die Gesetze der Wellenlehre und die Besonderheiten der untersuchten Organe oder Gewebe (MEIER, 1989; REIMERS et al., 2004).

Artefakte können:

- das Vorhandensein nichtvorhandener Strukturen vortäuschen
- tatsächlich vorhandene Strukturen verdecken
- die Lokalisation, Form oder Reflektivität einer Struktur verändern
- dynamische Vorgänge verzerren (POWIS und POWIS, 1984; REIMERS et al., 2004).

Ihre Erkennung ist von großer Bedeutung, um Fehlbeurteilungen zu vermeiden. Bei korrekter Interpretation können sie für die Bildbeurteilung jedoch z. T. hilfreich sein (FRITSCH und GERWING, 1993; GRAF, 2000).

### **2.3.2.1 Rauschen**

Als Rauschen bezeichnet man die Überlagerung von Strukturen durch einen Schleier aus multiplen echoreichen Punkten. Das Rauschen ist eine Folge zu großer Verstärkung und tritt häufig im schallkopfnahen Bereich flüssigkeitsgefüllter Hohlgänge auf. Es lässt sich durch Verringerung der Gesamtverstärkung oder der tiefenabhängigen Verstärkung vermeiden. Manche ältere Ultraschallgeräte können auch auf Störungen durch andere elektronische Geräte mit Rauschen reagieren (KAARMANN und WESSELS, 1991; POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001; REIMERS et al., 2004).

### **2.3.2.2 Schallschatten**

Grenzen Gewebe mit sehr unterschiedlicher akustischer Impedanz aneinander, kommt es zur Totalreflexion (z.B. Luft) oder Totalabsorption (z.B. Verkalkung) der Ultraschallwellen. Abgebildet wird eine echoreiche Grenzfläche, gefolgt von einer echolosen Zone, dem so genannten Schallschatten. Der Schallschatten hinter Lufteinschlüssen erscheint durch weitere auftretende Artefakte (z. B. Reverberationen) grau und wird daher als „schmutziger“ Schallschatten bezeichnet. Neben dem kompletten Schallschatten kommt noch ein inkompletter Schallschatten bei unvollständiger Totalreflexion vor, z.B. hinter Konkrementen. Im Hüftultraschall findet man Schallschatten hinter den knöchernen Strukturen (DUBSKUNZ, 1990; GRAF, 2000; POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001; REIMERS et al., 2004).

### **2.3.2.3 Wiederholungsechos (Reverberationen)**

Wiederholungsechos treten auf, wenn zwei Grenzflächen mit hohem Impedanzsprung kurz hintereinander im Ultraschallfeld liegen. Dabei kommt es zu Mehrfachreflexionen der

Schallwellen zwischen diesen Grenzflächen, ehe sie zum Schallkopf zurückkehren. Da die Reflexdarstellung auf dem Bildschirm aus der Laufzeit der Schallwellen berechnet wird, entstehen auf diese Weise Phantomechos, deren Abstände von der schallkopffernen Grenzfläche jeweils einem Vielfachen des Abstandes zwischen den beiden reflektierenden Grenzflächen entsprechen.

Reverberationen treten beispielsweise auf, wenn sich zwischen Schallkopf und Haut Restluft befindet, die zu einer schlechten Ankopplung führt.

Im Hüftultraschall können Wiederholungsechos am medialen Anteil der Knochen-Knorpel-Grenze auftreten (GRAF, 2000; POULSEN NAUTRUP und TOBIAS, 2001; REIMERS et al., 2004).

#### **2.3.2.4 Nebenkeulenartefakte (Bogenartefakte)**

Bei der Aussendung des Schallimpulses treten nicht nur zentral aus dem Schallkopf, sondern auch nach lateral gerichtete schwächere Schallkeulen auf (sog. Nebenkeulen). Die Echos dieser Nebenkeulen führen dazu, dass echoreiche Strukturen im Sichtfeld der Hauptkeule seitlich ausgezogen erscheinen. Wegen ihrer geringen Intensität fallen sie nur auf, wenn sie sich über sehr echoarme Areale projizieren (REIMERS et al., 2004). Von KREMER und DOBRINSKI (2000) wird dieses Phänomen auch als Bogenartefakt bezeichnet.

Im Hüftultraschall kann der Verknöcherungskern des Femurkopfes auf diese Weise bogenförmig seitlich auslaufende Echos aufzeigen (GRAF, 2000).

#### **2.3.2.5 Pseudousur**

Der Teil der Ultraschallwellen, der eine reflexreiche, gekrümmte Struktur tangential trifft, wird so reflektiert, dass das Echo nicht zum Ultraschallkopf zurückkehrt. Dieser Bereich erscheint reflexarm oder reflexlos. Ein solcher scheinbarer Defekt wird als Pseudousur bezeichnet. Bei senkrechter Anschallung verschwindet dieses Artefakt (MICHELE, 2000).

Im Hüftultraschall kann das gekrümmte Os ilium eine Pseudousur aufweisen.

#### **2.3.2.6 Schichtdickenartefakt**

Die vom Schallkopf ausgesandten Schallwellen breiten sich nicht nur streng in einer Schnittebene aus, sondern haben auch eine bestimmte seitliche Ausdehnung. Treffen diese lateralen Anteile der Ultraschallwellen auf stark reflektierende, gebogene Strukturen, können diese zur

Darstellung gelangen und dadurch zur ungenauen Abbildung von Grenzflächen führen (REIMERS et al., 2004), dem sog. Schichtdickenartefakt.

Das Schichtdickenartefakt tritt beim Hüfulterschall bei nicht orthograder Anschallung der knöchernen Strukturen auf (GRAF, 2000).

### **2.3.3 Biologische Wirkungen bei der Anwendung von Ultraschall**

Ultraschall wird seit über 30 Jahren zu diagnostischen Zwecken eingesetzt, ohne dass bisher Schädigungen durch diese Untersuchungsmethode nachgewiesen werden konnten. Zahlreiche Untersuchungen aus den Anfangsjahren der Sonographie kommen zu dem Schluss, dass diagnostische Ultraschallverfahren mit den derzeit verwendeten Ultraschallqualitäten harmlos und mit keinem gesundheitlichen Risiko verbunden sind (ROTT, 1984).

Die biologische Wirkung des Ultraschalls auf lebendes Gewebe lässt sich im Wesentlichen auf vier physikalisch-chemische Primärwirkungen zurückführen (ROTT, 1984).

Durch die Absorption der Ultraschallwellen im Gewebe kommt es zur Entwicklung von Wärme. Der Grad der Erwärmung ist abhängig von der Ultraschallintensität, der Beschallungsdauer, dem Absorptionskoeffizienten und der Wärmeleitfähigkeit des jeweiligen Gewebes sowie von der Kapazität des Wärmeabtransportes über das Blut. Die Absorption nimmt mit steigender Frequenz zu, Knochen absorbiert stark, Fett kaum. Oberflächliche Schichten werden stärker erwärmt als tiefe. Ultraschall höherer Intensität kann daher therapeutisch genutzt werden. Bei diagnostischen Intensitäten spielt die Wärmeentwicklung keine Rolle (ROTT, 1984).

Eine Kavitation tritt nur bei therapeutischen Intensitäten auf. Dabei induziert der Ultraschall in der Sogphase die Bildung von Gasbläschen im Gewebe. In der Druckphase kollabieren diese, wobei lokal sehr hohe Druckwerte und Temperaturen auftreten, was zu Zell- und Gewebeerreißung führen kann. Oszillieren diese Bläschen im Ultraschallfeld, entstehen Flüssigkeits- und Plasmabewegungen, die als Microstreaming bezeichnet werden. Die dabei entstehenden Scherkräfte können zu Membran- und Zellschädigungen führen (ROTT, 1984).

Chemische Wirkungen des Ultraschalls beruhen darauf, Makromoleküle zu depolymerisieren. Dieser Effekt ist für verschiedene Proteine und auch an isolierter Desoxyribonukleinsäure (DNS) beschrieben. Die Molekülgröße zellulärer DNS ist zu beschränkt, als dass dieser Effekt dort wirken kann (ROTT, 1984).

Die Primärwirkungen des diagnostischen Ultraschalls sind abhängig von der Dosis und Intensität. Sie treten bei Leistungen von 5-50 mW/cm<sup>2</sup>, wie sie zu diagnostischen Zwecken einge-

setzt werden, nicht auf. Dadurch unterscheiden sie sich von den ionisierenden Strahlen, bei denen Primärwirkungen dosis- und intensitätsunabhängig sind (ROTT, 1984).

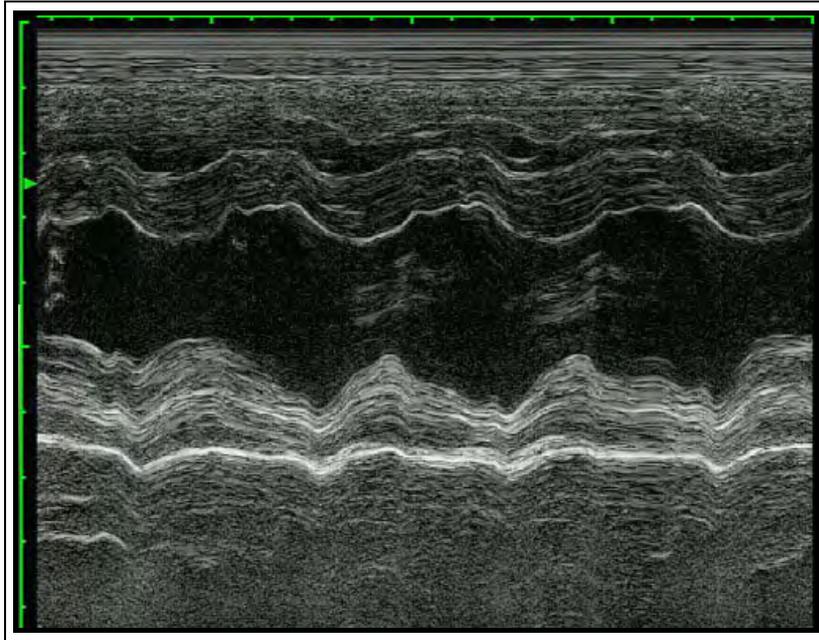
Experimentell lassen sich durch Ultraschall verschiedene biologische Wirkungen erzielen. Sie beruhen einerseits auf thermischen Wirkungen von der Hyperämie bis zur Nekrose, andererseits auf Hämorrhagien infolge von Gewebszerreißungen infolge von Kavitation.

Teratogene Effekte konnten allein auf thermische Wirkungen zurückgeführt werden. Mutagenität wurde bei Pflanzen und Insekten nachgewiesen. Diese Beobachtung wird auf die Tatsache zurückgeführt, dass diese Organismen mit luftgefüllten Hohlräumen durchsetzt sind und damit die Voraussetzung für eine Schädigung durch Kavitation und Microstreaming erfüllen. Diagnostische Ultraschallanwendungen können derartige Wirkungen nicht herbeiführen (ROTT, 1984).

#### **2.3.4 Technische Grundlagen und apparative Voraussetzungen**

Im Ultraschall unterscheidet man zwischen dem Compound-Verfahren und dem Real-Time-Verfahren (KAARMANN und WESSELS, 1991). Die heute in der Kleintiermedizin eingesetzten Ultraschallgeräte verwenden das Real-Time-Verfahren. Dabei werden die sonographierten Strukturen ohne Zeitverzögerung auf dem Monitor abgebildet.

Die Darstellung der vom Schallkopf empfangenen Echos erfolgt im A-, B- oder M-Mode. Der A-Mode (Amplituden-Mode) findet Anwendung in der Sonographie des Auges. Dabei werden die reflektierten Echos in Form von unterschiedlich hohen Amplituden proportional zur Intensität und Laufzeit angezeigt. Beim B-Mode (Brightness-Mode) wird die Stärke des Reflexes in einen Bildpunkt mit entsprechender Helligkeit umgewandelt. Ein starker Reflex wird weiß und ein schwacher Reflex schwarz angezeigt. Im M-Mode (Motion-Mode) wird ein vom Transducer ausgehender strichförmiger Teil des B-Mode-Bildes im zeitlichen Verlauf eindimensional dargestellt (Ultraschallbild 1). Dieser Modus eignet sich besonders zur Darstellung von Organen in Bewegung und wird in der Herzsonographie angewendet (GERWING, 1989; KAARMANN und WESSELS, 1991; REIMERS et al., 2004).

**Ultraschallbild 1**

*Darstellung der Herzkappenbewegung im M-Mode*

Bei den heutigen Real-Time-Schallköpfen wird das Bild durch einen rotierenden Schallkopf (mechanischer Schallkopf), eine sequenzielle elektronische Ansteuerung der einzelnen Schallelemente (elektronischer Schallkopf) oder durch eine Kombination mechanischer und elektronischer Bauelemente erstellt. So werden in rascher Folge die Bilder aktualisiert und somit die Darstellung von Bewegungen des Gewebes möglich (REIMERS et al., 2004).

Entsprechend ihrer Form werden die Schallköpfe als Linear-, Sektor- oder Curved-array-Schallköpfe bezeichnet (Abbildung 6). Der Linearschallkopf hat eine plane, relativ große Oberfläche und führt zu einer unverzerrten Darstellung der Strukturen. Dagegen hat der Sektorschallkopf eine kleine konvexe (mechanischer Sektorschallkopf) oder plane (elektronischer Sektorschallkopf) Oberfläche, was zu einer leichteren Ankopplung auf ungeraden Flächen, aber auch zu einer verzerrten Darstellung der Strukturen führt. Die Oberfläche des Curved-array- oder Konvexschallkopfes ist mäßig konvex gekrümmt, wodurch es zu einer weniger divergierenden Schallstrahlausrichtung kommt. Er vereinigt die Eigenschaften des Linear- und Sektorschallkopfes in sich (KONERMANN und GRUBER, 1999; REIMERS et al., 2004).



**Abbildung 6**  
*Linearschallkopf, Konvexschallkopf, Sektorschallkopf*

Die Wahl des Schallkopfes richtet sich nach der Art der vorzunehmenden Untersuchung (FRITSCH und GERWING, 1993). Für den Hüftultraschall eignet sich ausschließlich der Linearschallkopf, da es bei nicht parallel einfallenden Schallstrahlen zu nicht unerheblichen Winkelverzerrungen und damit zu Messfehlern kommt (GRAF, 2000).

Mit höherer Frequenz steigt das Auflösungsvermögen bei verringerter Eindringtiefe und umgekehrt. GRAF (2000) empfiehlt zur Untersuchung von Hüftgelenken neugeborener Kinder mit ihren feinen anatomischen Strukturen in geringer Tiefe Schallköpfe mit 7,5 MHz. Zahlreiche Autoren veterinärmedizinischer Arbeiten führten ihre Untersuchungen entsprechend mit 7 bzw. 7,5 MHz Linearscannern durch (KRESKEN, 1991; GRESHAKE und ACKERMANN, 1992; FINK, 1996; O'BRIEN et al., 1997; ADAMS et al., 2000; FLÖCK, 2002).

Mit Hilfe der Grundverstärkung, des Tiefenausgleiches, des Kontrastreglers und des Fokusbereiches kann die Bildqualität entscheidend verändert werden (GRAF, 2000). Die Grundverstärkung bestimmt die Energie, mit der das Gewebe beschallt wird (GRAF, 2000). Eine höhere Grundverstärkung führt zu einer helleren Darstellung der Strukturen, eine niedrige Grundverstärkung zu einer insgesamt dunkleren Abbildung auf dem Monitor. Eine zu hohe oder zu niedrige Einstellung führt dazu, dass dunkle oder helle Bildteile nicht mehr wiedergegeben werden, dadurch kommt es zu einem Kontrastverlust (KAARMANN und WESSELS, 1991; FRITSCH und GERWING, 1993). Mit dem Tiefenausgleich (tiefenabhängige Verstärkung, TGC = time gain compensation) kann der Untersucher die Ab-

schwächung der Schallreflexe aus zunehmender Tiefe ausgleichen, um ein gleichmäßig helles Bild zu erreichen (KAARMANN und WESSELS, 1991; GRAF, 2000). Mit dem Kontrastregler wird die Abstufung der Graustufen eingestellt. Schwache Echos werden gefiltert, so dass Organstrukturen besser dargestellt und abgegrenzt werden können. In den Anfängen des Hüftultraschalls wurde ein kontrastreiches, hartes Bild bevorzugt (GRAF, 1986). Inzwischen ist es durch die Entwicklung hochauflösender Ultraschallgeräte möglich, auch sehr feine Strukturen darzustellen, sodass eine weichere Darstellung mit mehr Graustufen auch im Hüftultraschall empfohlen wird (GRAF, 2000). Dabei werden Grundverstärkung, Tiefenausgleich und Kontrast so gewählt, dass der hyalin-knorpelige Hüftkopf echoarm, aber nicht echolos dargestellt wird.

Im Fokusbereich des Ultraschallkopfes ist die Auflösung des Bildes am größten. Je nach Größe des untersuchten Hundewelpens lässt er sich tiefenabhängig verschieben. Der Fokusbereich sollte auf die Region eingestellt sein, die im Mittelpunkt der Untersuchung steht (KAARMANN und WESSELS, 1991; GRAF, 2000).

### **2.3.5 Sonographische Nomenklatur**

Eine allgemein verständliche Befundbeschreibung bedarf einer standardisierten sonographischen Nomenklatur. Die Struktur eines Gewebes oder Organs beschreibt das Verteilungsmuster der Reflexpunkte. Ein gleichmäßiges Verteilungsmuster nennt man homogen, z.B. den hyalin-knorpeligen Femurkopf. Ein ungleichmäßig strukturiertes Bild mit einer unregelmäßigen Verteilung der Echos, wie in der Verknöcherungszone des Femurkopfes, wird als inhomogen bezeichnet. Komplexe Echostrukturen, wie sie z.B. bei einem Hämatom vorkommen, zeichnen sich durch mehrere nebeneinanderliegende Bereiche unterschiedlicher Echogenität aus (FRITSCH und GERWING, 1993).

Die Echogenität wird von reflexlos (echolos, echofrei, anechogen – z.B. homogene Flüssigkeit) über reflexarm (echoarm, hypoechogen – z.B. hyaliner Knorpel) und mittel reflexreich (mittleres Echomuster, mittlere Echodichte – z.B. Muskulatur) nach reflexreich (echoreich, hyperechogen – z.B. Knochenoberfläche) abgestuft (FRITSCH und GERWING, 1993).

Der Schallkopf wird so gehalten, dass auf dem Monitor links die kraniale Körperpartie abgebildet wird und rechts die kaudale. Im Querschnitt wird der Schallkopf gegen den Uhrzeigersinn gedreht, sodass sich links die rechte Körperpartie abbildet und rechts die linke (FRITSCH und GERWING, 1993). Am oberen Bildrand erscheint beim Ultraschall des Welpenhüftgelenks die schallkopfnaher Dorsalfläche des Tieres. Bei der Sonographie des Abdomens befinden sich die Tiere üblicherweise in Rückenlage, sodass schallkopfnah und

somit am oberen Bildrand die ventrale Körperpartie abgebildet wird. Am unteren Bildrand erscheint die dorsale Körperpartie (FRITSCH und GERWING, 1993).

Dagegen ist es bei der Sonographie der Säuglingshüfte üblich, das Monitorbild um 90° gegen den Uhrzeigersinn zu drehen, sodass es der Anatomie eines aufrecht stehenden Menschen entspricht (GRAF, 2000).

### **2.3.6 Orthopädische Sonographie**

Beim Menschen stellt die Sonographie in der Diagnostik pathologischer Veränderungen am Stütz- und Bewegungsorgan ein etabliertes Untersuchungsverfahren dar (KONERMANN und GRUBER, 1999). Neben der Sonographie der Muskeln, Sehnen und Nerven eignet sie sich durch die Möglichkeit dynamischer Untersuchungsverfahren insbesondere für die Arthrosonographie (KONERMANN und GRUBER, 1999; REIMERS et al., 2004). Dabei dient die Sonographie sowohl zur Feststellung pathologischer Veränderungen als auch zur Therapie- und Verlaufskontrolle (SCHULER und GRAF, 1986). Ist die Sonographie in der Diagnostik vieler Erkrankungen und Veränderungen im Bereich der Stütz- und Bewegungsorgane im Vergleich mit anderen bildgebenden Verfahren zum Teil als gleichwertig einzustufen (KONERMANN und GRUBER, 1999), so stellt sie zur Diagnostik von Hüftreifungsstörungen beim Säugling das bildgebende Verfahren der Wahl dar (SCHULER und GRAF, 1986; GRAF, 2000). Begründer des Hüftultraschalls ist Prof. Reinhard Graf aus Wien, der 1978 begann Hüftreifungsstörungen sonographisch darzustellen und in die noch heute gültigen Typen einteilte.

In der Veterinärmedizin befassten sich erste Untersuchungen mit Verletzungen der Sehnen und Bänder der distalen Extremität beim Pferd (RANTANEN, 1982; SPAULDING, 1984). In den 90er Jahren folgten erste sonographische Untersuchungen des Stütz- und Bewegungsapparates bei Hund und Katze (GERWING und KRAMER, 1991; KRAMER et al., 1993; KRAMER und GERWING, 1996; KRAMER et al., 1997; KRAMER, 1999). Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen dabei Gelenke (KRESKEN, 1991; GRESHAKE und ACKERMANN, 1992; KRAMER, 1992; SCHLEICH et al., 1992; KRAMER und GERWING, 1994; KRAMER et al., 1994; ENGELKE et al., 1997; KRAMER et al., 1999; MICHELE, 2000; MAHN et al., 2005; VANDEVELDE et al., 2006), Sehnen (GERWING und KRAMER, 1993; BRUCE et al., 2000), die Muskulatur (SCHIMKE et al., 1992; BRUCE et al., 1997) und Knochen (RISSELADA et al., 2003; RISSELADA et al., 2005; RISSELADA et al., 2006a; RISSELADA et al., 2006b). Es wurden Untersuchungsgänge erarbeitet und Standardschnittebenen definiert. Auf dem Gebiet der Arthrosonographie

untersuchten KRESKEN (1991) und GRESHAKE und ACKERMANN (1992) die Hüftgelenke gesunder Welpen und KRAMER et al. (1991, 1992, 1994) die Schultergelenke ausgewachsener Hunde. Es folgten Untersuchungen der Ellbogengelenke (SCHLEICH et al., 1992; MICHELE, 2000) und Kniegelenke (ENGELKE et al., 1997; KRAMER et al., 1999) beim Hund.

### **2.3.6.1 Sonoanatomie in der orthopädischen Sonographie**

#### **2.3.6.1.1 Haut**

Die Haut stellt sich als 1-2 mm dicke reflexreiche Linie dar. Mit hochfrequenten Schallköpfen und vorgeschalteter Vorlaufstrecke sind zwei getrennte dünne, reflexreiche Linie erkennbar, die von einer reflexarmen Schicht getrennt sind (Reflexdoppellamelle) (KRAMER, 1992).

#### **2.3.6.1.2 Unterhaut**

Die Unterhaut stellt sich ebenfalls als eine 1-2 mm dicke, jedoch reflexarme Schicht dar, mit homogen verteilten kleinen, reflexreichen Punkten. Sie besteht größtenteils aus Fett und ist von der Muskulatur durch eine reflexreiche Linie abgegrenzt (KRAMER, 1992).

#### **2.3.6.1.3 Muskulatur**

Die Muskulatur besteht aus einer echoarmen bis echolosen Grundstruktur, die im Längsschnitt von dünnen echoreichen Linien unterbrochen wird, welche den Muskelsepten entsprechen. Im Querschnitt stellen sich die Muskelsepten als echogene Punkte dar (KRAMER, 1992).

#### **2.3.6.1.4 Sehnen**

Im Längsschnitt sieht man die einzelnen Sehnenfasern als dünne reflexreiche Linien. Diese werden vom hyperechogenen Peritendineum zum umgebenden Gewebe abgegrenzt. Eine orthograde Schallkopfausrichtung ist dabei von besonderer Bedeutung, da sich Sehnenanteile im Randbereich ansonsten echoarm bis echolos darstellen (wandernder Reflex) (KRAMER, 1992; KRAMER et al., 1993). Im Querschnitt sehen Sehnen rundlich oval und reflexreich mit einer leicht inhomogenen Binnenstruktur aus (KRAMER, 1992).

### **2.3.6.1.5 Knochen**

Aufgrund der vollständigen Reflexion und Absorption der Schallwellen stellt sich die Knochenoberfläche bei orthograder Anschallung als hyperechogene Linie mit distalem Schallschatten dar (RISSELADA et al., 2003; RISSELADA et al., 2005; RISSELADA et al., 2006a; RISSELADA et al., 2006b).

### **2.3.6.1.6 Knorpel**

Hyaliner Knorpel bildet sich aufgrund seines hohen Wassergehaltes echoarm bis echolos ab (KRAMER, 1992). Der hyalin-knorpelige Femurkopf beim Welpen, als Vorstufe des knöchernen Femurkopfes im Rahmen der enchondralen Ossifikation, enthält kleine wurmartige, reflexreiche Pünktchen, die Gefäßechos entsprechen (GRAF, 2000). Faserknorpel, wie das Labrum acetabulare, stellt sich aufgrund seines hohen Anteils an Bindegewebe reflexreich dar (GRAF, 2000).

### **2.3.6.2 Sonographie des Hüftgelenkes beim Säugling**

Ziel der sonographischen Untersuchung der Säuglingshüfte ist die Frühdiagnose vorliegender Hüftreifungsstörungen (GRAF, 2000). Die Erstuntersuchung sollte nach GRAF (1983) und TÖNNIS (1985) so früh wie möglich erfolgen. Der optimale Zeitraum für die Untersuchung des Hüftgelenkes des Kindes erstreckt sich vom ersten Lebenstag bis zum zwölften Lebensmonat (CASSER und FORST, 1985), da nur zu dieser Zeit das weitgehend hyalin-knorpelig präformierte Säuglingshüftgelenk eine umfassende sonographische Untersuchung ermöglicht (SCHULER und GRAF, 1986). Eine konsequente Früherfassung der Hüftreifungsstörung unmittelbar nach der Geburt kann eine nahezu vollständige anatomische Heilung ermöglichen, wenn eine adäquate Behandlung sofort eingeleitet wird (BARLOW, 1962; VON ROSEN, 1969; SAHLSTRAND et al., 1985).

Im Laufe der Zeit entwickelten sich verschiedene Untersuchungsansätze. Zum einen statische Techniken (GRAF, 1983; ROSENDAHL et al., 1992), welche eine Dysplasie des Azetabulums als Ursache der HD ansehen, zum anderen dynamische Techniken (HARCKE et al., 1984; BOEREE und CLARKE, 1994), welche eine neonatale Hüftinstabilität als Ursache favorisieren und Kombinationen aus beiden (MORIN et al., 1985; TERJESEN et al., 1989).

Fraglos gilt der Hüftultraschall als wenig belastendes und kostengünstiges Verfahren zur Diagnose von Hüftreifungsstörungen beim Säugling (GRAF, 2000). Es besteht jedoch kein

Konsensus über die Screening Strategie (universal oder selektiv) und die therapeutischen Konsequenzen (ROSENDAHL und TOMA, 2007).

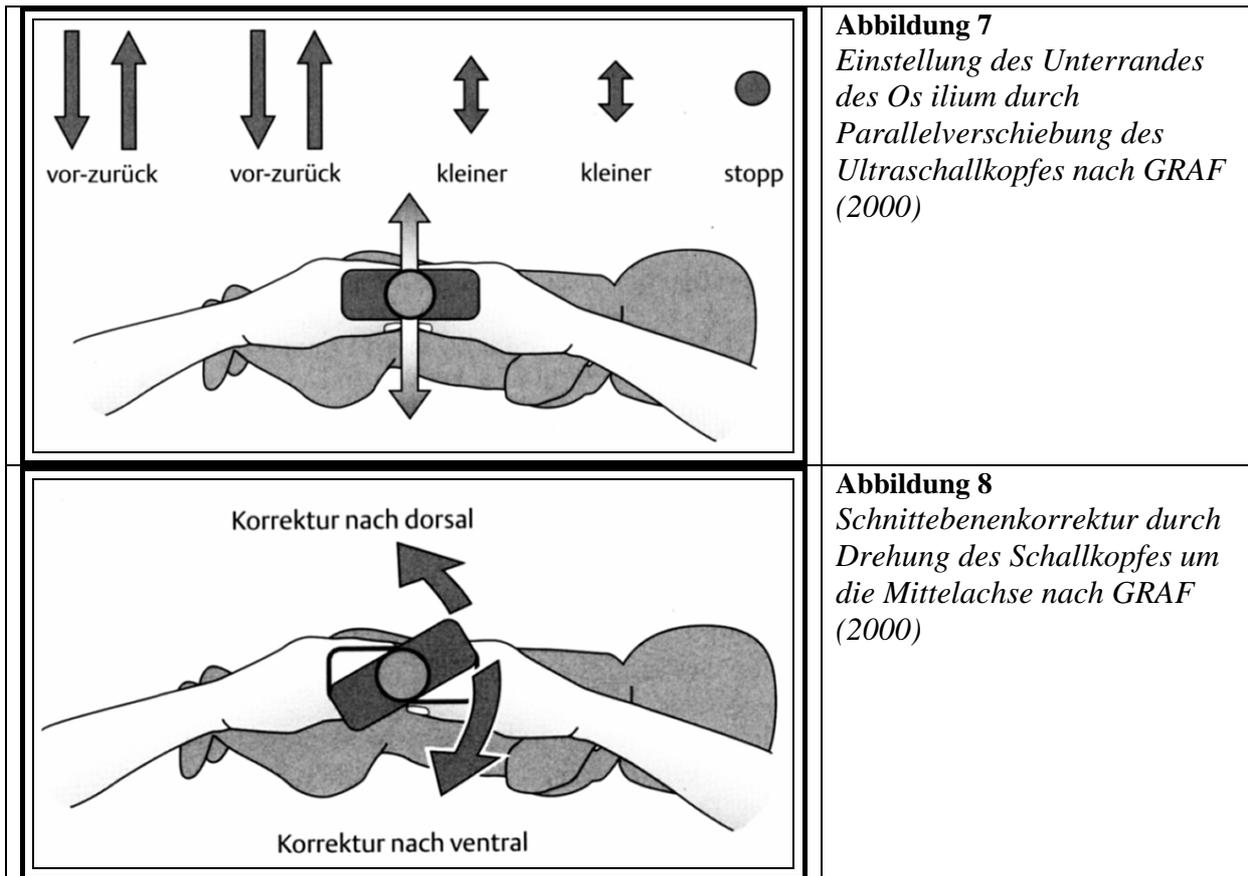
Seit 1992 existiert in Österreich ein generelles Neugeborenencreening, wodurch die chirurgische Behandlungsrate um 50% gesenkt werden konnte (GRAF, 1987). In Deutschland ist die Hüftsonographie seit 1996 Bestandteil der allgemeinen Vorsorgeuntersuchung in den ersten Lebenswochen des Kindes (GRAF, 1987).

#### **2.3.6.2.1 Sonographischer Untersuchungsgang**

Die am weitesten verbreitete Untersuchungstechnik ist der statische Hüftultraschall nach Graf. Zur Untersuchung befindet sich das Kind exakt seitlich in einer Lagerungshilfe. Das zu untersuchende Bein sollte nicht über den Randwulst der Lagerungshilfe nach vorne oder hinten herausrutschen. Ein in Spontanhaltung häufig etwas angezogenes Bein stört den Untersuchungsablauf nicht. Eine leichte Innenrotation dreht den Trochanter major, der als Ankopplungspunkt dient, nach ventral (GRAF, 2000). Obwohl das Beurteilungssystem für die Säuglinshüfte am Sonogramm lagerungsunabhängig ist, erleichtert eine standardisierte Lagerung das schnelle und sichere Auffinden der Untersuchungsebene (GRAF, 2000).

Zur Untersuchung wird ein 7-MHz-Linearschallkopf bei Neugeborenen und ein 5-MHz-Linearschallkopf bei Kindern zwischen drei und sechs Lebensmonaten empfohlen (GRAF, 2000). Die Verwendung eines Sektorscanners führt in Abhängigkeit von der Position des Schallkopfes und des Abstandes zum Zentrum des Hüftkopfes zu erheblichen Winkelabweichungen. Diese können beim  $\alpha$ -Knochenwinkel bis  $8^\circ$  und beim  $\beta$ -Knorpelwinkel bis  $13,5^\circ$  betragen. Bei Linearscannern ist die Verzerrung geringer und unabhängig von der Position des Schallkopfes und dem Abstand des Scanners vom Hüftkopf. Dadurch sind die Winkelverzerrungen reproduzierbar und kalkulierbar und somit diagnostisch nicht relevant (GRAF und SOLDNER, 1989).

Der Schallkopf wird von lateral parallel und senkrecht zur Lagerungsschale und damit zur Körperachse des Kindes auf das Hüftgelenk aufgesetzt. Durch kleiner werdende parallele Verschiebungen des Schallkopfes nach dorsal und ventral wird das Hüftgelenk zunächst als Ganzes erfasst und schließlich der Unterrand des Os ilium eingestellt. Es folgt die Schnittebenenkorrektur, wobei der Untersucher durch Drehen des Schallkopfes um seine Mittelachse, ohne ihn zu verkippen, die Schnittebene durch das Pfannendach legt. Anschließend wird durch erneute Parallelverschiebung abermals der Unterrand des Os ilium eingestellt und das Schnittbild eingefroren. Das Labrum acetabulare wird bei dieser Abtasttechnik spontan eingestellt (GRAF, 2000).



### 2.3.6.2.2 Anatomische Identifizierung

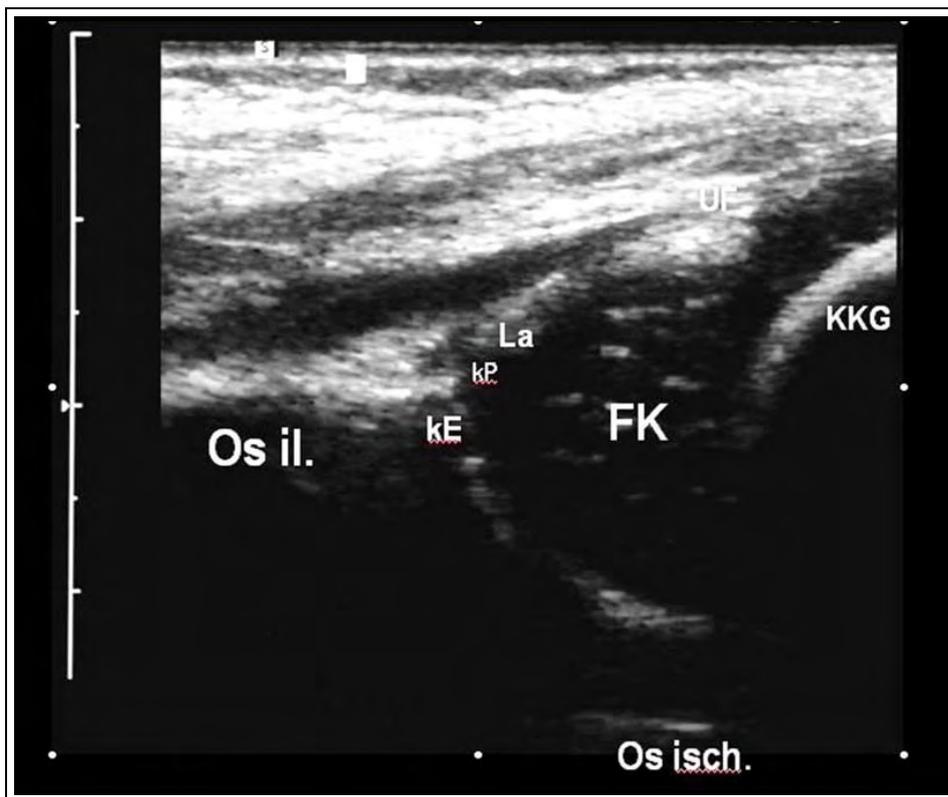
Vor der Beurteilung des Hüftsonogramms muss eine anatomische Identifizierung durchgeführt werden (Ultraschallbild 2) (GRAF, 2000): Als erste anatomische Struktur wird die Knorpel-Knochen-Grenze aufgesucht.

Diese geht medial in die mehr oder weniger runde, echoarme Zone des hyalin-knorpelig präformierten Femurkopfes über. Lateral des Hüftkopfes und proximal der Knorpel-Knochen-Grenze befindet sich das Echo der Gelenkkapselumschlagsfalte. Folgt man der Gelenkkapsel nach proximal, erreicht man das Labrum acetabulare. Dieses ist am hyalin-knorpelig präformierten Pfannendach fixiert und ragt als akzessorischer Gelenkanteil in das Gelenk dreieckförmig hinein. Um das Labrum acetabulare zweifelsfrei in seiner Lage zu bestimmen, können vier Labrumdefinitionen (GRAF, 2000) zu Hilfe genommen werden:

1. Das Labrum liegt intraartikulär und hat immer Hüftkopfkontakt.
2. Das Labrum ist immer jenes Echo, das sich lateral-distal vom Schallloch des hyalinen Pfannendaches an der Gelenkkapsel innen befindet.
3. Das Labrum befindet sich immer kaudal des so genannten Perichondriumlochs.
4. Das Labrum acetabulare befindet sich an jener Stelle, an der sich die Gelenkkapsel von der Oberfläche des Hüftkopfes abhebt.

Geht man nach Identifizierung des Labrum acetabulare und des hyalin-knorpelig präformierten Pfannendaches weiter nach medial, erreicht man die Echos der knöchernen Pfanne. Der lateralste Punkt der knöchernen Pfannenkonkavität ist der knöcherner Erker. Er ist ein wichtiger Bezugspunkt für die Typisierung der Hüftgelenkpfanne. Um ihn auch bei wenig gut ausgeprägten oder gar flachen knöchernen Pfannen sicher festzulegen, behilft man sich mit folgender Definition:

„Der knöcherner Erker ist jener Punkt, an dem das knöcherner Pfannendach aus der Konkavität des Azetabulums in die Konvexität des Darmbeines umschlägt.“(GRAF, 2000)



### Ultraschallbild 2

Hüftsonogramm eines Säuglings (modifiziert nach FLÖCK (2002))

- FK : Femurkopf
- kP : hyalin-knorpelig präformiertes Pfannendach
- kE : knöcherner Erker
- La : Labrum acetabulare
- Os il. : Os ilium
- UF : Umschlagsfalte der Gelenkkapsel
- KKG : Knorpel-Knochen-Grenze

### 2.3.6.2.3 Brauchbarkeitsprüfung

Nach der Identifizierung der anatomischen Strukturen wird eine *Brauchbarkeitsprüfung* der Standardschnittebene durchgeführt, indem die drei so genannten „Landmarks“ eindeutig angesprochen werden (GRAF, 2000):

1. Unterrand des Os ilium

Die Darstellung des Unterrandes des Os ilium, welcher als Rotationspunkt dient, gewährleistet eine Schnittebene, die durch die Mitte des Hüftgelenkes führt.

2. Mittlerer Bereich des knöchernen Pfannendaches

Aus Gründen, die sich aus der Evolution vom Vierfüßergang in den aufrechten Stand erklären lassen, sind die dorsalen Anteile des knöchernen Azetabulums besser ausgebildet als die mittleren und ventralen (GRAF, 2000). Die Standardschnittebene soll durch den tragenden mittleren Anteil des Pfannendaches führen. Im entsprechenden Hüftsonogramm verläuft die Darmbeinsilhouette gestreckt und oft parallel zum Bildrand. Eine Abweichung nach dorsal erkennt man an einem muldenförmigen Verlauf der Darmbeinsilhouette und einer nasenförmigen Ausziehung des knöchernen Erkers. Beim Schnitt durch den ventralen Anteil des Pfannendaches neigt sich die Darmbeinsilhouette zum Schallkopf.

3. Labrum acetabulare

Um eine Verkipfung der Schnittebene in ventrozentraler und dorsozentraler Richtung zu verhindern, wurde als dritte „Landmark“ eine Struktur gewählt, die lateral der Achse durch Os ilium und mittleren Pfannendachbereich liegt. Obwohl das Labrum acetabulare kreisförmig um die Gelenkspfanne verläuft, wird es sonographisch nur mit einem deutlichen Reflex dargestellt, wenn es weitgehend orthograd angeschallt wird.

Erst nach bestandener Brauchbarkeitsprüfung erfolgt die Beurteilung des erstellten Hüftsonogramms (GRAF, 2000).

### 2.3.6.2.4 Deskriptive Befundung

Die knöchernen und knorpeligen Anteile des Pfannendaches werden getrennt beschrieben. Beurteilt werden die knöcherne Formgebung der Pfanne, der knöcherne Erker und das knorpelig präformierte Pfannendach (Tabelle 2). Folgende Termini werden verwendet (GRAF, 2000):

Knöcherne Formgebung	Knöcherner Erker	Knorpelig präformiertes Pfannendach
gut	eckig	übergreifend
ausreichend	stumpf	noch übergreifend
mangelhaft	rund	verdrängt
hochgradig mangelhaft	rund bis flach	nach kranial verdrängt - ohne Strukturstörung
schlecht	flach	nach kranial verdrängt - mit Strukturveränderung
		nach mediokaudal verdrängt

**Tabelle 2**

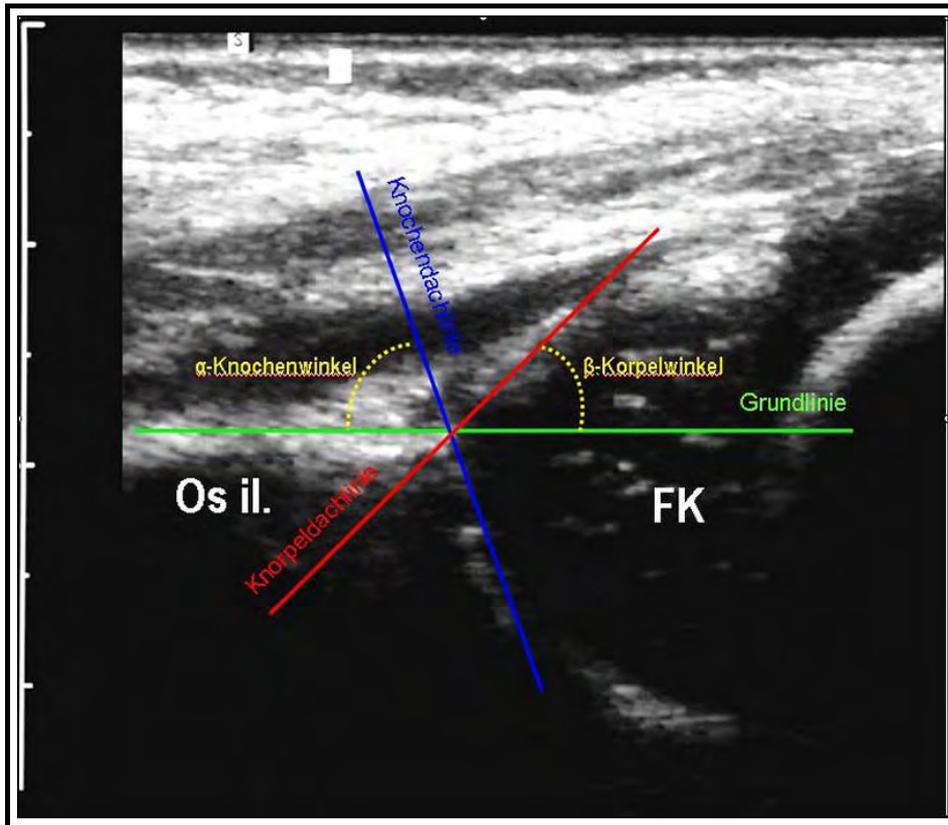
*Deskriptive Befundung der Säuglingshöften nach Graf (2000)*

### 2.3.6.2.5 $\alpha$ -Knochenwinkel und $\beta$ -Knorpelwinkel

Durch die Projektion dreier Messlinien (Grundlinie, Pfannendachlinie, Knorpeldachlinie) in das Hüftsonogramm werden der  $\alpha$ -Knochenwinkel und der  $\beta$ -Knorpelwinkel bestimmt. Mit ihrer Hilfe lassen sich die knöchernen und knorpeligen Anteile der gesamten Hüftpfanne objektiv vermessen und bewerten. Der  $\alpha$ -Knochenwinkel charakterisiert die Ausformung der knöchernen Pfanne. Der  $\beta$ -Knorpelwinkel ist ein Maß für die Größe und Ausformung des knorpeligen Pfannendaches. Die Lage und Position des Hüftkopfes hat auf die Auswertung keine Auswirkung (GRAF, 2000).

Zur Erstellung der Grundlinie (Basislinie) wird der oberste Erkerpunkt oder auch Z-Punkt aufgesucht. Im Hüftsonogramm ist das jener Punkt, an dem das Echo des Perichondiums des Pfannendaches auf das Echo des Os ilium trifft. Von diesem Drehpunkt wird die Messlinie an das Os ilium angelegt. Die Knorpeldachlinie, auch Ausstelllinie genannt, ist die Verbindung des knöchernen Erkers mit der Mitte des Labrum acetabulare. Grundlinie und Ausstelllinie schließen den  $\beta$ -Knorpelwinkel ein (GRAF, 2000).

Die Knochendachlinie (Pfannendachlinie) wird von dem Echo des Unterrandes des Os ilium tangential an das Echo der knöchernen Pfanne angelegt. Zwischen der Pfannendachlinie und der Grundlinie befindet sich der  $\alpha$ -Knochenwinkel (GRAF, 2000).



### Ultraschallbild 3

Grundlinie, Knochendachlinie und Knorpeldachlinie im Sonogramm einer Säuglingshüfte zur Messung des  $\alpha$ -Knochenwinkels und des  $\beta$ -Knorpelwinkels

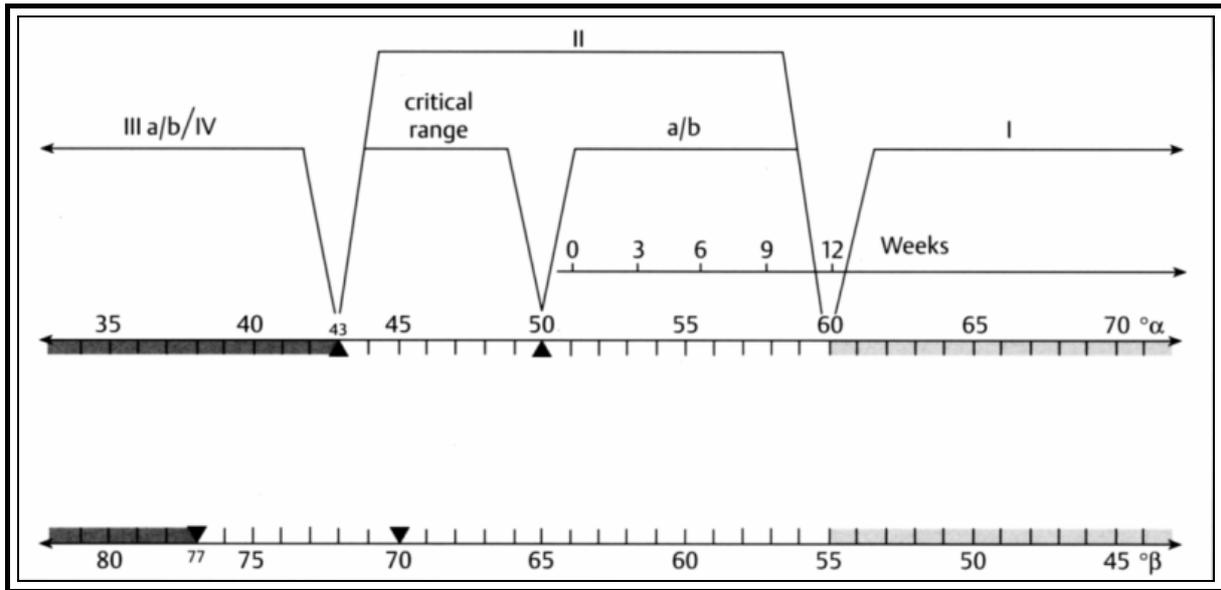
Os il. : Os ilium

FK : Femurkopf

### 2.3.6.2.6 Typeneinteilung sonographierter Hüftgelenke nach Graf

Die Typeneinteilung nach Graf basiert auf der deskriptiven Befundung der knöchernen und knorpeligen Anteile des Pfannendaches und der Messung des  $\alpha$ -Knochenwinkels und des  $\beta$ -Knorpelwinkels. Erfolgte die Typisierung der Hüftgelenke primär nur nach subjektiven morphologischen Kriterien, verlor diese durch eine zunehmende Verbesserung der messtechnischen Auswertung an Bedeutung. Die Deskription und die messtechnische Auswertung müssen stimmig sein. Ein Widerspruch zwischen Beschreibung und Messtechnik weist auf Untersuchungsfehler hin und muss nach GRAF (2000) als Konsequenz eine erneute anatomische Identifizierung und nochmalige Brauchbarkeitsprüfung haben.

Eine große Bedeutung bei der Typeneinteilung kommt dem Alter des Säuglings zu. Im sogenannten Sonometer nach GRAF (2000) trägt man die typischen sonographischen Messwerte für verschiedene Altersgruppen in eine Grafik ein und ordnet diese den verschiedenen Hüfttypen zu (Abbildung 9).

**Abbildung 9**

*Sonometer nach GRAF (2000)*

Ein ansteigender  $\alpha$ -Knochenwinkel, Ausdruck für eine ausgeprägte knöcherne Überdachung, geht dabei mit einem abnehmenden  $\beta$ -Knorpelwinkel einher. Als Ergebnis werden die Hüftgelenke in vier Grundtypen eingeteilt:

- Typ I:           ausgereifte Hüfte
- Typ II:          Verknöcherungsverzögerung (Dysplasie)
- Typ III:         dezentrierte Hüfte (Subluxation)
- Typ IV:         luxierte Hüfte (Luxation)

Eine Feindifferenzierung in die verschiedenen Untergruppen (Typ Ia, Ib; Typ IIa +/-, IIb, IIc; Typ D; Typ IIIa, IIIb; Typ IV) erfolgt anhand des Alters und der Winkelmessung.

Hüfttyp	Knöcherne Formgebung Knochenwinkel Alpha	Knöcherner Erker	Knorpelig präform. Pfannendach Knorpelwinkel Beta
<b>Typ I</b> reifes Hüftgelenk jedes Alter	gut Alpha = 60° oder größer	eckig/stumpf	übergreifend Ia -> Beta < 55° Ib -> Beta > 55°
<b>Typ IIa (plus)</b> physiologisch unreif -> altersentsprechend <12 LWo	ausreichend Alpha = 50-59° (lt. Sonometer altersentsprechend)	rund	übergreifend
<b>Typ IIa (minus)</b> physiologisch unreif -> mit Reifungsdefizit < 12 LWo	mangelhaft Alpha = 50-59° (lt. Sonometer zu klein) nicht altersentsprechend	rund	übergreifend
<b>Typ IIb</b> Verknöcherungs- verzögerung > 12 LWo	mangelhaft  Alpha=50-59°	rund	übergreifend
<b>Typ IIc</b> Gefährdungsbereich jedes Alter	hochgradig mangelhaft  Alpha = 43-49°	rund bis flach	noch übergreifend  Beta < 77°
<b>Typ D</b> am dezentrieren jedes Alter	hochgradig mangelhaft  Alpha = 43-49°	rund bis flach	verdrängt  Beta > 77°
<b>Typ IIIa</b> Dezentriertes Gelenk	schlecht Alpha < 43°	flach	nach kranial verdrängt – ohne Strukturstörungen
<b>Typ IIIb</b> Dezentriertes Gelenk	schlecht Alpha < 43°	flach	nach kranial verdrängt – mit Strukturstörungen
<b>Typ IV</b> Dezentriertes Gelenk	schlecht Alpha < 43°	flach	nach mediokaudal verdrängt
<b>Ausnahme</b> <b>Typ II mit</b> <b>Nachreifung</b>	mangelhaft bzw. ausreichend	eckig (als Zeichen der Nachreifung)	übergreifend

**Tabelle 3**

Hüfttypenbeschreibung mit Angabe der Winkelwerte und der deskriptiven Beschreibung (GRAF, 2000)

### 2.3.6.2.7 Dynamische Untersuchungstechniken

Neben der statischen Untersuchungsmethode nach Graf existieren verschiedene dynamische Untersuchungstechniken. Bei einer Methode wird in der Standardschnittebene eine Kraft entsprechend des Barlow-Manövers auf das Femur ausgeübt und die Dislozierbarkeit des Hüftkopfes bewertet [modifiziert Graf (Rosendahl)] (ROSENDAHL et al., 1992). In einer

weiteren Technik wird die knöcherne Überdachung des Femurkopfes (FHC=femoral head coverage) bestimmt [modifiziert Morin (Terjesen)] (TERJESEN et al., 1989). Die am wenigsten verbreitete Untersuchungstechnik ist die von HARCKE et al. (1984) beschriebene Methode („dynamic four-step method“). Basierend auf verschiedenen sonographischen Schnittebenen wird das Hüftgelenk in neutraler und gebeugter Stellung untersucht.

### **2.3.6.2.8 Therapeutische Konsequenz**

Ziel der sonographischen Frühdiagnostik ist es, therapiebedürftige Hüftgelenke möglichst früh zu diagnostizieren, um eine typgerechte Therapie einzuleiten. Je früher eine rezentrierende Therapie zum Einsatz kommen kann, desto zuverlässiger und eher kommt es zur vollständigen Ausheilung und desto kürzer ist die Behandlungszeit (GRAF, 2000).

Die Therapie gliedert sich in die Repositionsphase, die Retentionsphase (Phase der Ruhigstellung) und die Nachreifungsphase. Die einzelnen Hüfttypen werden dabei - je nach Schweregrad der Dysplasie - mit verschiedenen Abspreizmethoden behandelt (breites Wickeln, Spreizhose, Reposition). Ziel der Therapie ist eine Rückführung pathoanatomischer Veränderungen in den altersentsprechenden Normalzustand (GRAF, 2000).

Interessanter Weise konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass eine alleinige Instabilität bei morphologisch physiologischen Hüftgelenken unbedeutend für die Entwicklung einer HD ist (REIKERAS et al., 2002; RIBONI et al., 2003). Andererseits existieren wenige Studien, die eine spontane Heilung geringgradig dysplastischer Hüftgelenke ohne zusätzliche Lockerheit beschreiben (WOOD et al., 2000; SAMPATH et al., 2003). In weiteren Studien erreichten bis zu 97% der unreifen Hüftgelenke auch ohne Therapie eine physiologische Ausreifung (DE PELLEGRIN, 1991; ROSENDAHL et al., 1994).

### **2.3.6.3 Sonographie des Hüftgelenkes beim Hundewelpen**

Erste Berichte über die sonographische Untersuchung der Hüftgelenke von Hundewelpen erfolgten von WEIGEL et al. (1983). Die Autoren versuchten, die anatomischen Strukturen der Hüftgelenke von 7-8 Wochen alten verstorbenen Welpen darzustellen und verglichen sie mit röntgenologischen Aufnahmen. Die Möglichkeit der Visualisierung dynamischer Interaktionen von Muskeln, Knorpel, Knochen, Sehnen und Gelenken wird erwähnt. Obwohl einige Anteile des Hüftgelenkes dargestellt werden konnten, kamen die Autoren zum Schluss, dass noch weitergehende Untersuchungen und Entwicklungen notwendig wären, bevor die

sonographische Untersuchungstechnik ein nutzvolles diagnostisches Hilfsmittel werden könnte.

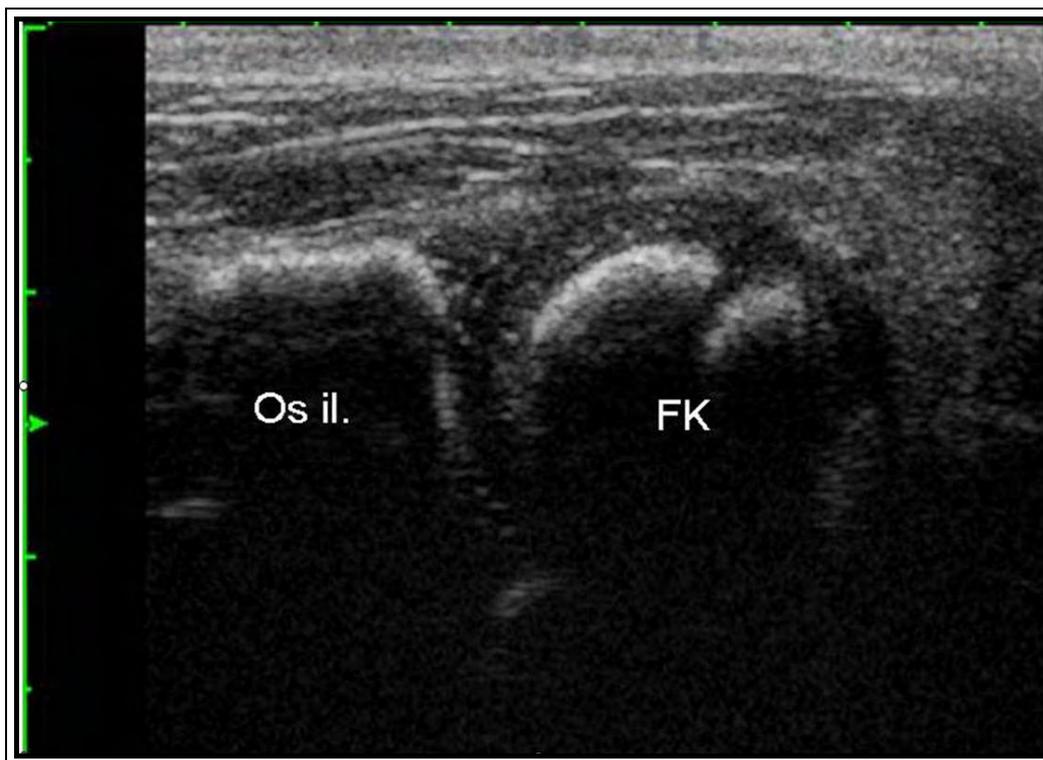
In drei folgenden Arbeiten wurden die Hüftgelenke von Beagle-, Springer-Spaniel- und Deutschen-Schäferhund-Welpen umfassend sonographisch untersucht (KRESKEN, 1991; GRESHAKE und ACKERMANN, 1992; FLÖCK, 2002). Es wurden standardisierte Schallkopfpositionen und Schnittebenen erarbeitet.

KRESKEN (1991) dokumentierte die entwicklungsbedingten Veränderungen des Hüftgelenkes bei 13 lebenden Beagle-Welpen von der ersten bis zur 32. Lebenswoche. Dafür definierte er drei sonographische Schnittebenen. In Position 1 wird das Hüftgelenk von dorsolateral angeschallt. Das Schnittbild führt durch den kraniodorsalen Pfannenrand, das Azetabulum und den Femurkopf. In Position 2 befinden sich die Hintergliedmaßen in Supinationsstellung. Die Lokalisation des Schallkopfes entspricht der von Position 1. In Position 3 befindet sich der Welpen in Rückenlage. Der Schallkopf wird inguinal im Bereich des Canalis femoralis bei leicht abduzierten Gliedmaßen angesetzt. KRESKEN (1991) konnte so die entwicklungsbedingten Veränderungen der Epiphysenscheibenhöhe, den Kopfkontur-Kapselabstand und die Gelenkkapseldicke darstellen. Des Weiteren vermaß er, in Anlehnung an die Humanpädiatrie, den A-Knochen- und B-Knorpelwinkel. Er folgerte, dass diese Parameter möglicherweise zur HD-Frühdagnostik und zur Erkennung von Morbus Legg-Calvé-Perthes und der septischen Koxarthritits herangezogen werden können. Die zunehmende Verknöcherung des Femurkopfes, vom Auftreten des Verknöcherungskernes bis zum Schluss der Epiphysenfuge in der 32. Lebenswoche, beschränkt laut KRESKEN (1991) den Untersuchungszeitraum des Hüftgelenkes beim Beagle auf die ersten vier Lebensmonate. Zu einem späteren Zeitpunkt verhindert der verknöcherte Femurkopf die Sicht ins Azetabulum. In Position 1 ist der Untersuchungszeitraum bis zur 8. Lebenswoche, in Position 2 bis zur 10. Lebenswoche beschränkt.

GRESHAKE und ACKERMANN (1992) untersuchten die Effizienz der sonographischen Darstellung der Hüftgelenksanatomie. Dafür sonographierten sie 20 Springer-Spaniel-Welpen vom 1. Lebenstag bis zum Alter von 8 Wochen und in der 13. Lebenswoche. Drei verschiedene Schnittebenen wurden angewendet. Die dorsolaterale und die inguinallongitudinale Ebene ergaben die besten Bilder im Welpenalter von 4 bis 8 Wochen. Im Alter von 12 Wochen verhinderte der fortgeschrittene Ossifikationsgrad eine vollständige Erfassung der Gelenke. In der inguinaltransversalen Schnittebene konnten die Hüftgelenke nur bis zum Alter von 4 Wochen dargestellt werden. Die Autoren halten die sonographische Frühuntersuchung der Hüftgelenke von Hundewelpen für geeignet zur Darstellung anatomischer

Strukturen. Weitere Untersuchungen zur Differenzierung zwischen gesunden und dysplastischen Gelenken wurden gefordert.

In der Arbeit von FLÖCK (2002) wurden neben weiteren Parametern sowohl die Messungen von  $\alpha$ -Knochenwinkel und  $\beta$ -Knorpelwinkel als auch die Erstellung von Distraktionswerten untersucht. FLÖCK (2002) beschrieb die Sonoanatomie und sonomorphologische Entwicklung an 78 Hüftgelenken 38 verstorbener und einem lebenden Deutschen Schäferhund-Welpen vom 1. Lebenstag bis zur 8. Lebenswoche. Er erarbeitete einen Standarduntersuchungsgang mit drei Standardschnittebenen (laterale Standardebene, laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße, inguinale Schnittebene). Folgende Parameter wurden bestimmt:  $\alpha$ -Knochenwinkel ( $72^\circ$  bis  $86,2^\circ$ ) und  $\beta$ -Knorpelwinkel ( $26^\circ$  bis  $63^\circ$ ), Distraktionswert, Epiphysenscheibenhöhe, Gelenkkapseldicke, Femurkopfkontur-Kapselabstand. Eine Reifungskurve analog zur Humanmedizin wurde für beide Winkel erstellt.



#### Ultraschallbild 4

Laterale Standardebene nach FLÖCK (2002) bei einem 37 Tage alten DSH-Welpen

Os il. : Os ilium

FK : Femurkopf

Untersuchungen zur Eignung von Ultraschalluntersuchungen zur Frühdiagnostik der kaninen Hüftgelenksdysplasie wurden erstmals von TROUT et al. (1993) durchgeführt. In dieser prospektiven Studie wurden 39 Labrador-Welpen im Alter von 2 bis 4 Wochen sonographisch untersucht.  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $62^\circ$  bis  $85^\circ$  wurden bestimmt. 67% der gemessenen Winkel

lagen zwischen  $71^\circ$  und  $80^\circ$ . 30 dieser Labradore wurden im Alter von 6 Monaten geröntgt. Die Ergebnisse des Vorröntgens korrelierten nicht mit den gemessenen Knochenwinkeln (TROUT et al., 1993).

OLIVIERI (1994) berichtete von Screeninguntersuchungen zur Erkennung der kaninen Hüftgelenksdysplasie beim Deutschen Schäferhund. Er bestimmte  $\alpha$ -Knochenwinkel zwischen  $48^\circ$  und  $86^\circ$  und  $\beta$ -Knorpelwinkel zwischen  $34^\circ$  und  $75^\circ$ . Nachfolgende röntgenologische Untersuchungen von Welpen mit Hinweisen auf Hüftgelenksdysplasie blieben aus.

FINK (1996) verglich die Darstellbarkeit der Hüftgelenke eines 10 Wochen alten toten Yorkshire Terriers mittels Ultraschalluntersuchung nach GRAF (1986) mit weiteren bildgebenden Verfahren (3D-Ultraschall, Röntgen, Computertomographie, 3D-Computertomographie, Magnetresonanztomographie und Magnetresonanarthrographie) im Hinblick auf eine mögliche Eignung als Screeningverfahren zur Frühdiagnostik der Hüftgelenksdysplasie beim Hund. Des Weiteren wurden die Hüftgelenke von 11 Rottweiler-Welpen im Alter von 17-23 Tagen sonographiert und die  $\alpha$ -Knochenwinkel ( $65^\circ$  bis  $79^\circ$ ) und  $\beta$ -Knorpelwinkel ( $30^\circ$  bis  $44^\circ$ ) nach GRAF (1986) bestimmt. Diese Werte verglich FINK (1996) schließlich mit den Norberg-Winkeln dieser Welpen, die anhand von Röntgenaufnahmen im Alter von einem Jahr erstellt wurden. Die Autorin kam zu dem Schluss, dass die Sonographie der Welpenhüfte sich grundsätzlich als Screeningverfahren zur Frühdiagnostik der Hüftgelenksdysplasie eignet, weitere Untersuchungen aber notwendig seien.

MÜLLER (2002) verglich sonographisch ermittelte Knochenwinkelmesswerte von 216 Hundewelpen (Boxer, Deutscher Schäferhund, Rottweiler, Golden Retriever) im Alter von 10-18 Tagen mit HD-Röntgenaufnahmen im Alter von einem Jahr. Für die Untersuchungen wurde ein 7,5-MHz-Konvexschallkopf verwendet. Die Autorin ermittelte  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $41,9^\circ$  bis  $81,5^\circ$ . Sie kam zu dem Ergebnis, dass 48% der Hunde mit Knochenwinkeln kleiner als  $60^\circ$  eine mittlere bis schwere Hüftgelenksdysplasie (HD-Befund C, D oder E) entwickeln. Dagegen entwickeln 81,8% der Hunde mit Knochenwinkeln größer als  $60^\circ$  keine Anzeichen einer Hüftgelenksdysplasie oder eine Übergangsform (HD-Befund A oder B). Laut MÜLLER (2002) hat ein Hund mit einem großen Knochenwinkel eine gute Prognose als HD-frei oder als Übergangsform beurteilt zu werden, wohingegen ein kleiner Knochenwinkel im Welpenalter nicht grundsätzlich die Entwicklung einer Hüftgelenksdysplasie nach sich zieht. Eine Korrelation zwischen einem kleinen Knochenwinkel und dem späteren Auftreten einer Hüftgelenksdysplasie konnte nur beim Golden Retriever nachgewiesen werden. Die Schwierigkeit der Untersuchungstechnik zeigte sich in dieser Studie an „Ausreißen“ durch Messfehler infolge schlecht darstellbarer Strukturen. So entwickelte ein Hund mit einem

Knochenwinkel von 51° ein HD-freies Hüftgelenk, wohingegen ein Hund mit einem Winkel von 73° mit schwerer HD bewertet wurde.

Die Effizienz dynamischer Ultraschalluntersuchungen von Welpenhüftgelenken wurde in zwei amerikanischen und einer Schweizer Arbeit untersucht. In allen drei Studien wurde die laterale Distraktionsfähigkeit der Femurköpfe bewertet. Dafür wurden die Hintergliedmaßen entweder manuell abduziert oder über einer zwischen den Beinen platzierten Distraktionshilfe adduziert.

O`BRIEN et al. (1997) untersuchten an 30 Greyhounds und 17 Hunden anderer Rassen im Alter von 4 bis 26 Wochen die passive Hüftgelenklockerheit. Dafür wurden dynamische Ultraschalluntersuchungen und Distraktionsröntgenaufnahmen (SMITH et al., 1990) im Alter von 4, 6, 8, 12, 16 und 26 Wochen durchgeführt. Die Hüftgelenke wurden unter Allgemeinanästhesie manuell subluxiert und die Dislokation des Femurkopfes nach lateral gemessen. Die Greyhounds hatten, verglichen mit den Welpen der anderen Rassen, signifikant kleinere Distraktionsabstände. Im Alter von sechs und acht Wochen korrelierten die sonographisch ermittelten Distraktionsabstände signifikant mit den radiologisch ermittelten Distraktionsindices. Im Alter von einem Jahr durchgeführte Distraktionsröntgenaufnahmen wiesen signifikant höhere „Abnormalitäten“ (Inkongruenzen oder degenerative Veränderungen) an den Gelenken derjenigen Hunde auf, die im Alter von sechs und acht Wochen höhere Distraktionsabstände und Distraktionsindices aufwiesen. Eine exakte dynamische Ultraschalluntersuchung war im Alter von 4 Wochen nicht möglich, da sich das Ossifikationszentrum des Femurkopfes noch unregelmäßig und unklar darstellte und im Alter von 26 Wochen die fortgeschrittene Ossifikation des Azetabulums die Sicht ins Hüftgelenk verhinderte.

ADAMS et al. (2000) verglichen zwei palpatorische, vier röntgenologische und drei dynamische sonographische Untersuchungsmethoden zur Frühdiagnostik der leichten bis mittleren kaninen Hüftgelenkdysplasie. Dafür wurden 60 Golden Retriever, 23 Labrador Retriever und 24 Labrador / Golden-Retriever-Mischlinge im Alter von 6,5 bis 9 Wochen untersucht. Die Ergebnisse wurden mit dem Auftreten von Hüftgelenkdysplasie mit und ohne degenerativen Veränderungen im Alter von ungefähr einem Jahr verglichen. Als aussagekräftig erwies sich die Palpation nach BARDENS (1968) beim Golden Retriever, die Messung des Norberg-Winkels mit distrahierten Hintergliedmaßen in Neutralstellung nach PennHip-Methode (SMITH et al., 1990) beim Labrador Retriever und Retrievermischling und die dynamischen Ultraschalluntersuchungen beim Retrievermischling. Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Ergebnisse die Schwierigkeit der Früherkennung der kaninen Hüftgelenkdysplasie verdeutlichen.

---

OHLERT et al. (2003) verglichen die Aussagekraft von zwei radiologischen Distractionstechniken (PennHip Distraktor (SMITH et al., 1990) und Distraktor nach BADERTSCHER (1977) in PennHip Position), einer sonographischen Distractionstechnik (mit PennHip Distraktor (SMITH et al., 1990)) und der Beurteilung konventioneller Röntgenaufnahmen des Beckens nach Richtlinien der Fédération Cynologique Internationale (FCI) bei 81 acht Monate alten Labrador Retrievern mit der Interpretation nach FCI-Richtlinien im Alter von einem Jahr. Die Beurteilung nach dem FCI-Punktesystem im Alter von acht Monaten stellte sich als zuverlässigste Methode zur Voraussage der Beurteilung nach FCI im Alter von einem Jahr heraus. Beide röntgenologische Distractionstechniken erzielten eine hohe Sensitivität in der Voraussage von echt negativen Tieren, aber nur eine geringe Spezifität (54% bzw. 71%). Die Tiere, die mit acht Monaten geringe Distaktionsindices aufwiesen, erzielten im Alter von einem Jahr zu 100% bzw. 85% gute Beurteilungen nach FCI-Richtlinien, die Hunde mit hohen Distaktionsindices entwickelten aber nicht zwangsläufig eine Hüftgelenkdysplasie. Die sonographische Distractionstechnik erzielte insgesamt eine nur mäßige Sensitivität (62%) und Spezifität (67%).

## **2.4 Frühdiagnostik der kaninen Hüftgelenksdysplasie**

Zur Diagnostik der kaninen Hüftgelenksdysplasie beim noch nicht ausgewachsenen Hund werden in der Veterinärmedizin verschiedene Untersuchungsmethoden angewendet. Sie lassen sich in klinische Untersuchungstechniken, röntgenologische Untersuchungstechniken und Untersuchungen per Ultraschall unterteilen.

### **2.4.1 Klinische Untersuchungstechniken**

BARDENS und HARDWICK (1968) entwickelten eine Palpationsmethode zur Frühdiagnostik der Hüftgelenksdysplasie, bei der am sedierten Welpen die Gelenklockerheit geprüft wird. Beim in Seitenlage befindlichen Welpen wird mit einer Hand Druck auf den Femur nach dorsal ausgeübt, während der Daumen der anderen Hand diese Bewegung verfolgt. Laut Aussage der Autoren kann mit dieser Methode beim vier bis acht Wochen alten Hund eine Aussage über den zukünftigen HD-Grad mit einer 85- 95%-igen Sicherheit gestellt werden. In einer Studie von LUST et al. (1973) wurde bei Untersuchungen an 92 Hunden im Alter von 7 bis 11 Wochen in 35% der Fälle falsch negative und in 47% der Fälle falsch positive Vorraussagen erzielt. GODDARD und MASON (1982) erzielten eine Korrelation von 0,46 zwischen Palpationsergebnis und späterem Röntgenergebnis. In einer Studie von ADAMS et al. (1998) zeigten 19% der Hunde mit degenerativen Veränderungen ein positives Bardens-Zeichen im Alter von sechs bis 10 Wochen. Falsch positive Befunde traten in dem Alter nicht auf. In einer weiteren Studie von ADAMS et al. (2000) zeigte sich der Bardentest, zumindest bei einem Teil der Hunde, als voraussagend für die Entwicklung von degenerativen Gelenksveränderungen ( $p = 0,02$ ).

Beim Ortolani-Test (ORTOLANI, 1976) wird manuell eine Subluxation des Femurkopfes nach kraniodorsal provoziert. Bei nachlassendem Druck und gleichzeitiger Abduktion der Gliedmaße rutscht der Femurkopf in die Beckenpfanne zurück, was als positives Ortolani-Zeichen bezeichnet wird. Verschiede Studien (LUST et al., 1973; ADAMS et al., 1998) zweifeln die Aussagekraft des Ortolani-Tests an, da die Gelenklockerheit in einigen Fällen wieder verschwindet und in vielen Fällen nicht zur Ausprägung einer Hüftgelenksdysplasie führt. In der Studie von ADAMS et al. (1998) wurde festgestellt, dass im Alter von 6 bis 10 Wochen bei nur 15% der Hunde, die im Alter von einem Jahr degenerative Veränderungen der Hüftgelenke zeigten, ein positives Ortolani-Zeichen ausgelöst werden konnte.

Ein Zusammenhang zwischen dysplastischen Hüftgelenken und vermehrt gespannten Musculi pectinei wurde von BARDENS und HARDWICK (1968) beobachtet. In Rückenlage werden

beim sedierten Welpen die Oberschenkel im 90° Winkel zum Körper abgespreizt. Bei normaler Spannung der Musculi pectinei berühren die Kniegelenke den Untergrund. In Bauchlage können die Hintergliedmaßen so weit abduziert werden, bis beide Kniegelenke und das Schambein den Untergrund berühren.

#### **2.4.2 Röntgenologische Untersuchungstechniken**

ADAMS et al. verglichen 1998 und 2000 in zwei Studien verschiedene Untersuchungstechniken im Hinblick auf ihre Tauglichkeit zur Voraussage der Entwicklung von degenerativen Veränderungen der Hüftgelenke beim Hund im Alter von einem Jahr.

Die subjektive Beurteilung von Standardröntgenaufnahmen mit gestreckten Hintergliedmaßen ergaben im Alter von 6 bis 10 Wochen 89% und im Alter von 16 bis 18 Wochen 56% falsch negative Befunde, was die Entwicklung von degenerativen Veränderungen der Hüftgelenke im Alter von 52 Wochen angeht (ADAMS et al., 1998).

Norberg-Winkel-Messungen im Alter von 7 bis 9 Wochen waren aussagekräftig bei Labrador Retrievern und Labrador / Golden-Retriever-Mischlingen, nicht aber bei reinrassigen Golden Retrievern (ADAMS et al., 2000). Bei Hunden anderer Rassen mit Norberg-Winkeln kleiner als 95° im Alter von 6 bis 10 Wochen zeigten 68% degenerative Veränderungen der Hüftgelenke im Alter von einem Jahr. War der Norberg-Winkel im Alter von 16 bis 18 Wochen kleiner als 95°, entwickelten die Hunde zu 100% degenerative Veränderungen (ADAMS et al., 1998).

Nach SMITH et al. (1995) korreliert die Messung des Distraktionsindex nach dem University of Pennsylvania Hip Improvement Program (PennHIP) ab dem Alter von 4 Monaten mit dem Auftreten von degenerativen Veränderungen der Hüftgelenke beim ausgewachsenen Hund und steigt mit zunehmendem Alter noch.

In der Studie von ADAMS et al. (1998) entwickelten sich alle Gelenke mit einem Distraktionsindex kleiner als 0,31 und 81% der Gelenke mit einem Distraktionsindex von 0,31 bis 0,41 im Alter von 6 bis 10 Wochen zu normalen Hüftgelenken. Im Alter von 16 bis 18 Wochen stieg dieser Wert auf 93%. Dem gegenüber entwickelten 90% der Gelenke mit einem Distraktionsindex größer als 0,60 und 100% der Gelenke mit einem Distraktionsindex größer als 0,70 im Alter von 6 bis 10 Wochen degenerative Veränderungen der Hüftgelenke.

Die Messung des Norberg-Winkels unter Distraction erwies sich mit 68,6% bzw. 78,4% Übereinstimmung in den beiden Altersgruppen ebenfalls als aussagekräftig (ADAMS et al., 1998). In der späteren Studie von ADAMS et al. (2000) war dagegen keine der untersuchten Methoden zur Feststellung von Gelenklockerheit im Alter von 6,5 bis 9 Wochen dazu

geeignet, bei allen drei untersuchten Rassen verlässlich die Entwicklung dysplastischer Hüftgelenke mit oder ohne degenerativen Veränderungen im Alter von einem Jahr vorherzusagen.

### **2.4.3 Untersuchungen per Ultraschall**

Die Versuche, durch Ultraschalluntersuchungen dysplastische Hüftgelenke bei Hundewelpen zu erfassen, lassen sich in zwei verschiedene Ansätze aufteilen. TROUT (1993), FINK (1996) und MÜLLER (2002) maßen, in Anlehnung an die Humanmedizin,  $\alpha$ -Knochenwinkel und  $\beta$ -Knorpelwinkel bei Welpen verschiedener Hunderassen (Labrador Retriever, Rottweiler, Boxer, Deutschem Schäferhund, Golden Retriever) und verglichen diese Werte mit Röntgenaufnahmen des Beckens im Erwachsenenalter. O`BRIEN (1997) und ADAMS (2000) führten sonographisch kontrollierte Distractionsmessungen durch. Einzelheiten zu diesen Studien werden in dem Kapitel 2.3.6.3 behandelt.

### **3. EIGENE UNTERSUCHUNGEN**

Ziel und Aufgabenstellung dieser Arbeit war, die Eignung der sonographischen Untersuchung der Hüftgelenke von Hundewelpen, durch Messung des  $\alpha$ -Knochenwinkels, Einschätzung der passiven Gelenklockerheit und Ermittlung des Distractionswertes, als Screenigverfahren zur Frühdiagnostik der Hüftgelenksdysplasie des Hundes zu überprüfen. Die sonographisch ermittelten Befunde wurden mit den offiziellen HD-Befunden dieser Hunde verglichen.

#### **3.1 Material und Methode**

##### **3.1.1 Gerätebeschreibung und -einstellung**

Die in dieser Arbeit durchgeführten sonographischen Untersuchungen wurden mit dem Ultraschallgerät Powervision 8000, SAA-390A der Firma Toshiba durchgeführt. Die Maschine arbeitet im Real-Time-Verfahren. Es können Linear-, Konvex- und Sektorschallköpfe angeschlossen werden. Zum Einfrieren des Bildes ist das Ultraschallgerät mit einem Fußschalter (UZFS-002A) ausgestattet.

###### **3.1.1.1 Schallkopf**

Für die Untersuchungen wurden, je nach Größe des Welpen, der Linearschallkopf Linear Array PLN-1204AT mit einer wählbaren Frequenz von 8 – 15 MHz und der Linearschallkopf Linear Array PLN-805AT mit einer wählbaren Frequenz von 6 – 12 MHz verwendet. Bei jungen Hunden (< 3-4 Wochen) und Welpen kleiner Rassen (z.B. Shelties) wurde der Schallkopf mit der höheren Frequenz genutzt, bei älteren Tieren und Welpen mittel- und großwüchsiger Rassen der mit der niedrigeren Frequenz.

###### **3.1.1.2 Bildeinstellungen**

Durch die Verwendung von auswählbaren Wiedergabeeinstellungen war eine gleich bleibende und optimale Bildeinstellung für die zu untersuchenden Strukturen gewährleistet. Alle Untersuchungen fanden im Neonaten-Modus statt. Teil dieses Modus ist ein pädiatrisches Softwareprogramm zur Messung des  $\alpha$ -Knochenwinkels und  $\beta$ -Knorpelwinkels.

Die Darstellungstiefe schwankte in Abhängigkeit von der Größe des Welpen zwischen 2 und 4 cm und wurde so angepasst, dass am unteren Bildrand die Y-Fuge des Darm-, Sitz- und Schambeines abgebildet wurde.

Im Bereich der Fokuszone ist die Bildauflösung am höchsten. Sie wurde bei der sonographischen Untersuchung des Hüftgelenkes auf den Bereich der knöchernen Oberfläche des Os ilium und des knöchernen Erkers ausgerichtet.

Die Gesamtverstärkung wird über einen Drehregler in zwei dB-Schritten zwischen 62 und 100dB reguliert. Aufgrund der Absorption der Schallwellen vom Gewebe, nimmt die Schallintensität mit zunehmender Eindringtiefe ab. Dadurch werden tiefer liegende Gewebeschichten dunkler abgebildet als oberflächliche Schichten. Durch die tiefenabhängige Verstärkung (time gain compensation) kann dies ausgeglichen werden, sodass alle Gewebeschichten in der gleichen Echointensität abgebildet werden. Bei dem verwendeten Ultraschallgerät erfolgt die Einstellung der tiefenabhängigen Verstärkung über 11 Schieberegler, die jeweils einer bestimmten Tiefe zugeordnet sind. Die Verstärkung wurde so eingestellt, dass der hyalin-knorpelige Femurkopf reflexarm, aber nicht reflexlos erschien.

Eine Einschränkung des Dynamikbereiches auf 70 dB führte zu einer Reduktion der Graustufen und einem kontrastreicheren Bild. Dadurch konnten die knöchernen und knorpeligen Gelenkanteile besser dargestellt und differenziert werden.

### **3.1.1.3 Bildwiedergabe**

#### **3.1.1.3.1 Single-B-Mode**

Die Darstellung und Vermessung der Welpenhüftgelenke erfolgte als zweidimensionales Schnittbild im B-Mode (Brightness-Mode). Dabei füllt das Ultraschallbild den gesamten Monitor aus.

#### **3.1.1.3.2 Dual-B-Mode**

Im Dual-B-Mode ist das Monitorbild in zwei nebeneinander liegende, gleich große Flächen unterteilt. Während die eine Hälfte ein eingefrorenes Standbild zeigt, wird auf der anderen das Ultraschallbild im Real-Time-Verfahren betrachtet.

Der Dual-B-Mode wurde für die Untersuchungen der passiven Gelenklockerheit verwendet.

### **3.1.1.3.3 Bildsequenz - Analyse (Cineloop®)**

Das Ultraschallgerät speichert während der Untersuchung automatisch eine Bildfolge der letzten 24 Bilder. Wird ein Bild eingefroren, können Bewegungsunschärfen mit Hilfe des Cineloop® - Verfahrens durch die Auswahl eines scharfen Bildes ausgeglichen werden.

### **3.1.1.3.4 Beschriftung**

Automatisch werden am oberen Bildrand der Untersuchungszeitpunkt und am rechten Bildrand die gewählten Geräteeinstellungen festgehalten. In der Kopfzeile wird die dem jeweiligen Tier zugeordnete Untersuchungsnummer eingegeben. In der Fußzeile wird festgehalten, ob die linke oder rechte Seite untersucht wird.

### **3.1.1.4 Messvorrichtungen**

Im Neonat - Modus verfügt das verwendete Ultraschallgerät über ein pädiatrisches Softwareprogramm, das es ermöglicht, Winkel zwischen zwei Geraden zu bestimmen. Drei Linien werden mit Hilfe des Trackballs und eines Drehknopfes an die entsprechenden Positionen im Hüftsonogramm gelegt. Automatisch errechnet das Programm dann die zwischen den Graden eingeschlossenen Winkel.

### **3.1.1.5 Dokumentation**

Die Dokumentation der Bilder erfolgt digital über die in das Ultraschallgerät eingebaute Workstation. Nach Übertragung in die Server-Datenbank können die Bilder mit dem Programm Sonowin® am PC aufgerufen und bearbeitet werden.

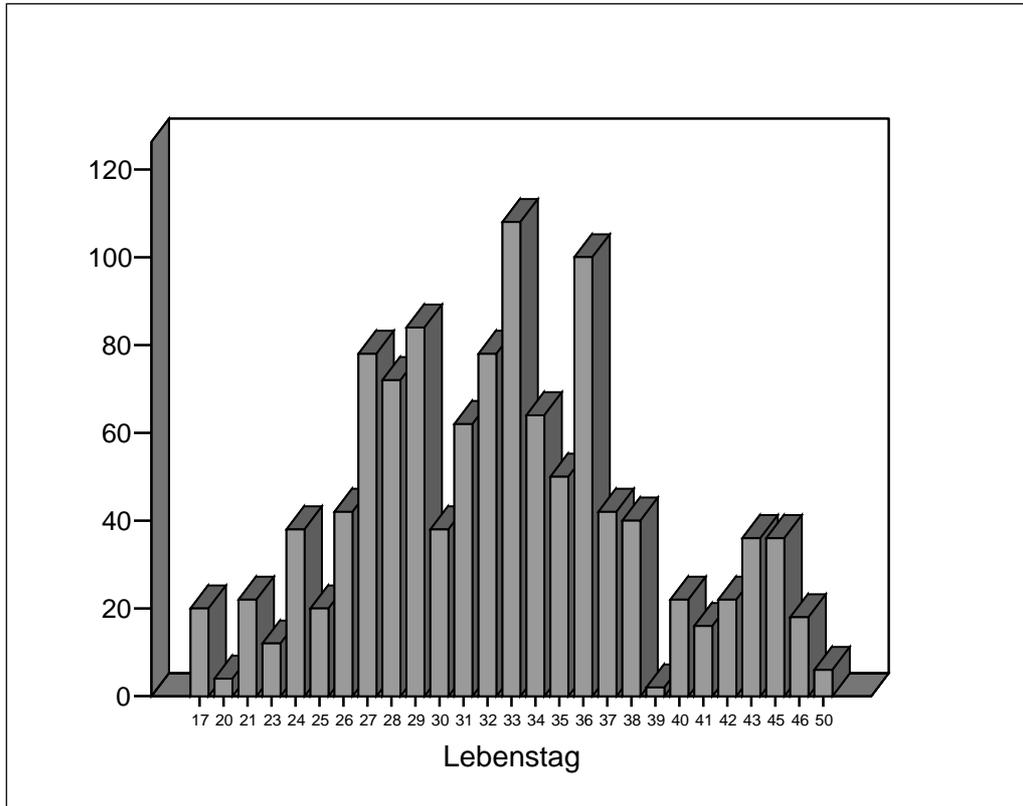
## **3.1.2 Untersuchungsgut**

Im Rahmen der Arbeit wurden die Hüftgelenke von 566 Hundewelpen (1132 Hüftgelenke) aus 17 verschiedenen Hunderassen sonographisch untersucht (Tabelle 4). Zum Zeitpunkt der Untersuchung befanden sich sämtliche Welpen noch im Besitz der Züchter. Die jüngsten Welpen waren zum Untersuchungszeitpunkt 16 Tage alt, die ältesten 49 Tage (Diagramm 1). Das durchschnittliche Lebensalter betrug 32,49 Tage. 287 der Tiere waren männlichen und 279 weiblichen Geschlechts.

Rasse	Würfe	Anzahl	Anteil in %
Deutsche Dogge	13	129	22,8
Deutscher Schäferhund	12	90	15,9
Labrador	10	85	15,0
Hovawart	9	60	10,6
Airedale Terrier	5	44	7,8
Shelti	5	20	3,5
Polski Owczarek Podhalanski	4	29	5,1
Großer Schweizer Sennenhund	3	21	3,7
Weißer Schweizer Schäferhund	2	22	3,9
Australian Shepherd	2	14	2,5
Wolfspitz	2	13	2,3
Alaskan Malamute	2	11	1,9
Rottweiler	2	8	1,4
Appenzeller Sennenhund	1	7	1,2
Collie	1	6	1,1
Bernhardiner	1	5	0,9
Cavalier King Charles Spaniel	1	2	0,4
	n = 75	n = 566	

**Tabelle 4**

*Sonographierte Welpen unterteilt in Rasse, untersuchte Würfe, Anzahl der Welpen und Prozent*

**Diagramm 1**

*Altersverteilung der sonographisch untersuchten Welpen*

## **3.2 Sonographische Untersuchung**

Die sonographische Untersuchung der Welpen fand im Klinikum Veterinärmedizin - Klinik für Kleintiere, Chirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen im Beisein des Züchters statt. Alle zur Auswertung genutzten Sonogramme wurden vom gleichen Untersucher erstellt.

### **3.2.1 Aufbau des Arbeitsplatzes**

Das Ultraschallgerät befand sich an der linken Seite des Untersuchungstisches. An dessen Fußende saß der Untersucher. Mit der linken Hand wurden die Einstellungen der Ultraschallmaschine angepasst, während die rechte Hand die Untersuchungen vornahm. Unter dem Untersuchungstisch befand sich der Fußschalter zum Einfrieren des Bildes. Zum Schutz der zum Zeitpunkt der Untersuchung ungeimpften Welpen trug der Untersucher einen sauberen OP-Kittel. Des Weiteren wurde der Untersuchungstisch mit einem sterilen OP-Tuch abgedeckt und der Schallkopf und die Hände des Untersuchers wurden mit Alkohol desinfiziert.

### **3.2.2 Ablauf der sonographischen Untersuchungen**

Um eine gute Ankopplung des Schallkopfes zu gewährleisten, wurde das Haarkleid dorsal des Trochanter major zwischen Tuber coxae und Tuber ischiadicum auf einer Fläche von ca. 1 mal 3 cm geschoren. Als Ankopplungsmedium diente handelsübliches Ultraschallgel (Abbildung 10).

In rechter Seitenlage wurde zunächst das linke, dann das rechte Hüftgelenk des Welpen untersucht. Jedes Hüftgelenk wurde zweimal hintereinander vermessen. Aus den Ergebnissen der  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung wurde der Mittelwert errechnet. Anschließend wurde die dynamische Stressuntersuchung durchgeführt.

Zum Schluss wurde jeder Welpen mit einem Transponder gekennzeichnet, um zum Zeitpunkt der Röntgenuntersuchung eindeutig identifizierbar zu sein.

Im Untersuchungsprotokoll wurden die Kontaktdaten der Züchter, das Geburtsdatum der Welpen und das Untersuchungsdatum festgehalten. Jeder Welpen wurde mit fortlaufender Welpennummer, Chip-Nummer und Geschlecht dokumentiert. Für jedes Hüftgelenk wurden die Ergebnisse der zwei  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen, der daraus resultierende Mittelwert und die subjektive Einschätzung der passiven Gelenklockerheit notiert.



**Abbildung 10**

*Sonographische Untersuchung des rechten Hüftgelenkes eines DSH-Welpens*

### **3.2.3 Laterale Standardschnittebene**

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen und Messungen fanden in der sog. lateralen Standardschnittebene statt. Diese in der Humanpädiatrie (GRAF, 2000) verwendete Schnittebene wurde in vorangegangenen Untersuchungen auf den Hund übertragen und getestet (KRESKEN, 1991; GRESHAKE und ACKERMANN, 1992; TROUT et al., 1993; OLIVIERI, 1994; FINK, 1996; FLÖCK, 2002; MÜLLER, 2002).

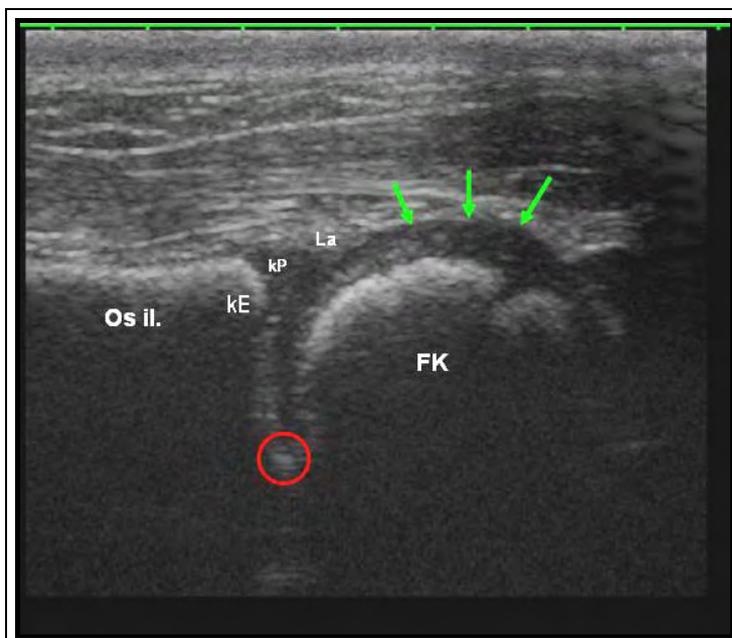
Der Welpen befand sich zunächst in rechter Seitenlage. Die Vordergliedmaßen fixierte in der Regel der Züchter. Die Hintergliedmaßen nahmen eine physiologische Normalstellung ein. Der Schallkopf wurde dorsal des Trochanter major in Längsrichtung auf das Hüftgelenk aufgesetzt. Der Femurkopf, mit seinem hyalin-knorpelig präformierten Anteil (Ultraschallbild 5, ) und zentral gelegenen Verknöcherungskern (Ultraschallbild 5, FK) und das kranial davon befindliche Os ilium (Ultraschallbild 5, Os il.) wurden identifiziert. Das Os ilium endet

kaudal als sog. knöcherner Erker (Ultraschallbild 5, kE) und beteiligt sich medial mit seinem Unterrand (Ultraschallbild 5, ) an der Ausbildung des Azetabulums.

Kaudal des knöchernen Erkers sitzt das hyalin-knorpelig präformierte Pfannendach (Ultraschallbild 5, kP) als reflexarme Zone dem Os ilium auf. Weiter nach kaudal folgend geht das hyalin-knorpelig präformierte Pfannendach in die reflexreiche, dreieckige Struktur des faserknorpeligen Labrum acetabulare (Ultraschallbild 5, La) über. Für eine sichere Identifizierung des Labrums muss mindestens eine der vier Labrumdefinitionen zutreffen:

- Das Labrum liegt intraartikulär und hat immer Femurkopfkontakt.
- Das Labrum ist immer jenes Echo, das sich kaudolateral vom Schallloch des hyalinen Pfannendaches an der Gelenkkapsel innen befindet.
- Das Labrum befindet sich immer kaudal des sogenannten Perichondriumlochs.
- Das Labrum acetabulare befindet sich an jener Stelle, an der sich die Gelenkkapsel von der Oberfläche des Hüftkopfes abhebt.

Die Gelenkkapsel kann als reflexreiche Linie identifiziert werden, die dem Labrum acetabulare und dem Femurkopf lateral anliegt.



### Ultraschallbild 5

*Laterale Standardschneitebene bei einem 37 Tage alten Hovawart-Welpen*

-  : *hyalin-knorpelig präformierter Anteil des Femurkopfes*
-  : *Unterrand Os ilium*
- Os il.* : *Os ilium*
- kE* : *knöcherner Erker*
- La* : *Labrum acetabulare*
- FK* : *Femurkopf*
- kP* : *hyalin-knorpelig präformiertes Pfannendach*

Um wiederholbare Messungen vorzunehmen, muss gewährleistet sein, die Standardschnittebene reproduzierbar aufsuchen zu können. Eine Ebene kann in einem 3-dimensionalen Raum nur festgelegt werden, wenn drei Punkte im Raum definiert sind, die nicht auf einer Geraden liegen. Bezogen auf das Hüftsonogramm sind das folgende drei Orientierungsmarken:

1. Der Unterrand des Os ilium in der Fossa acetabuli
2. Der knöcherne Erker des Pfannendaches
3. Das Labrum acetabulare

Der Unterrand des Os ilium markiert den sonographischen Mittelpunkt des Azetabulums und soll als möglichst deutlicher Reflex dargestellt werden.

Die Standardschnittebene soll durch den mittleren Abschnitt des Pfannendaches bzw. des knöchernen Erkers verlaufen. Dies ist gewährleistet, wenn das Os ilium möglichst gerade abgebildet wird.

Das Labrum acetabulare soll ebenfalls als möglichst deutlicher Reflex dargestellt werden.

Darüber hinaus sollte der Femurkopf rund abgebildet werden.

Im Gegensatz zur Humanpädiatrie, wo das Verkippen des Schallkopfes verboten ist, muss der Schallkopf bei der Sonographie von Hundewelpen um ca. 20° in seiner Längsachse in Richtung Tarsalgelenk gedreht (Abbildung 12) und um ca. 30° aus der senkrechten Ebene in Richtung Sagittalebene des Tieres geneigt werden (Abbildung 13), um die laterale Standardschnittebene einzustellen.

Sind alle anatomischen Strukturen identifiziert und die drei Orientierungsmarken aufgefunden, wird das Bild durch Betätigung des Fußschalters eingefroren.



**Abbildung 11**  
*Senkrechte Schallkopfposition*



**Abbildung 12**  
*Drehung um ca. 20° um die Längsachse*



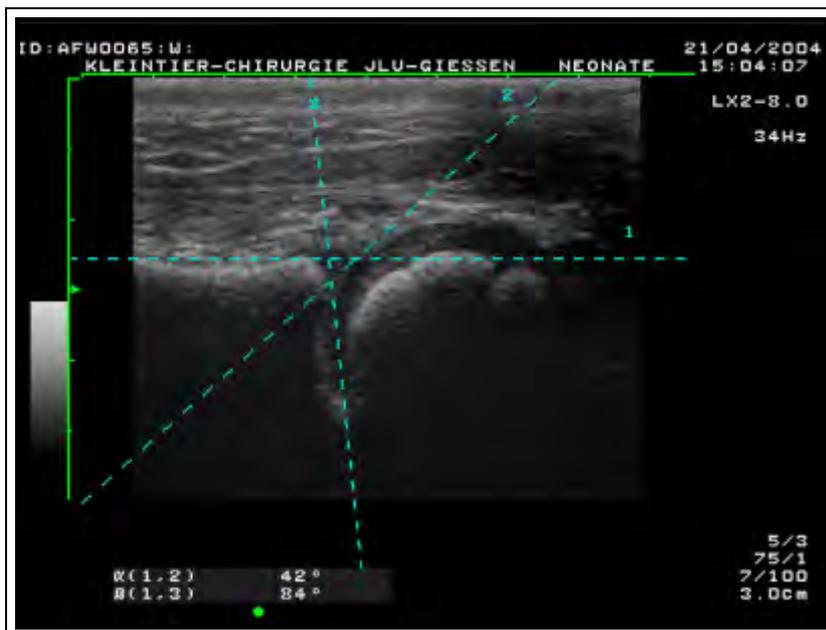
**Abbildung 13**  
*Neigung um ca. 30° zur Sagittalebene*

### 3.2.4 Sonographische Messwerte

#### 3.2.4.1 $\alpha$ -Knochen- und $\beta$ -Knorpelwinkelmessung

In das eingefrorene Hüftsonogramm wurden mit Hilfe des auf dem Ultraschallgerät vorhandenen pädiatrischen Winkelmessprogramms die Grundlinie, Knochendachlinie und Knorpeldachlinie eingezeichnet (Ultraschallbild 6).

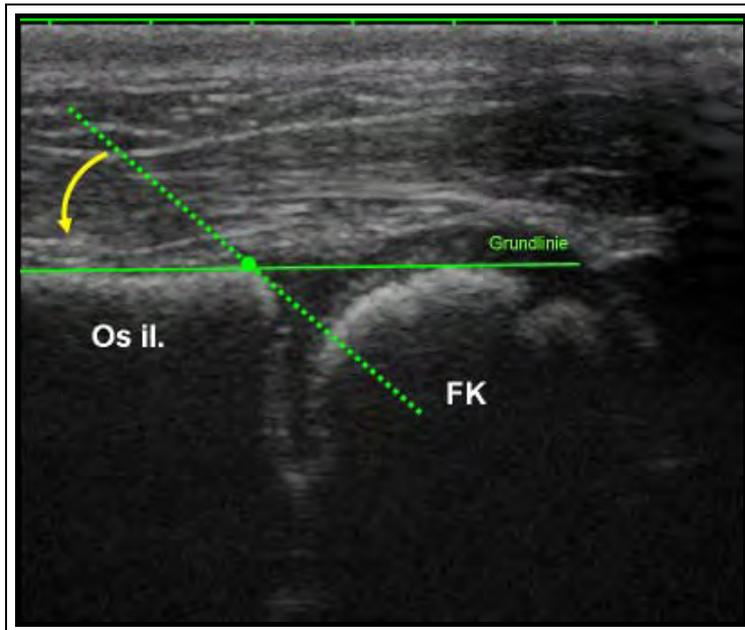
Das Programm errechnet automatisch die zwischen den Gradeneingeschlossenen Winkel. Der auf dem Bildschirm mit  $\alpha$  angegebene Wert entspricht dabei dem von Grundlinie und Knorpeldachlinie eingeschlossenen  $\beta$ -Knorpelwinkel und der mit  $\beta$  angegebene Wert dem von Grundlinie und Knochendachlinie eingeschlossenen  $\alpha$ -Knochenwinkel (Ultraschallbild 6). Es wurden pro Seite jeweils zwei unabhängige Messungen an unterschiedlichen Sonogrammen vorgenommen und daraus wurde der Mittelwert errechnet. In die Auswertung einbezogen wurden nur die Messungen des  $\alpha$ -Knochenwinkels, da die  $\beta$ -Knorpelwinkelmessungen in einer vorangegangenen Untersuchung von FLÖCK (2002) eine zu geringe Wiederholbarkeit zeigten.



**Ultraschallbild 6**

*Hüftsonogramm eines 37 Tage alten Hovawart-Welpen mit eingezeichneter Grund-, Knorpeldach- und Knochendachlinie*

Zuerst wurde die Grundlinie (Basislinie oder auch Iliumwandlinie) eingezeichnet. Dafür wurde die Messlinie parallel zum Reflex des Os iliums ausgerichtet und von lateral an dieses angelegt. Verläuft das Os ilium etwas konkav, wird die Grundlinie tangential an den kaudalsten Punkt des Os iliums angelegt und von diesem Drehpunkt lateral auf das Os ilium abgesenkt (Ultraschallbild 7).



### Ultraschallbild 7

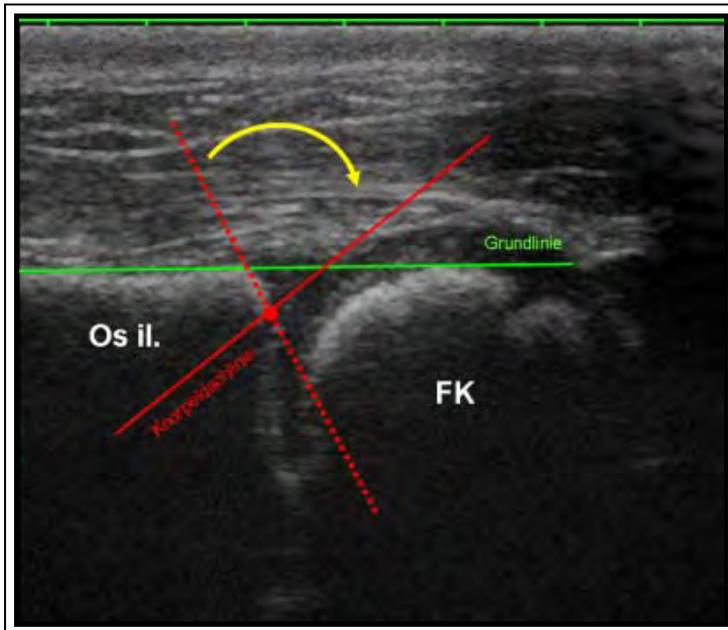
*Laterale Standardebene mit Drehpunkt für die Grundlinie im Hüftsonogramm eines 37 Tage alten Hovawart-Welpen*

*Os il.* : *Os ilium*

*FK* : *Femurkopf*

*Grüner Punkt* : *Drehpunkt für die Grundlinie*

Als nächstes wurde die Knorpeldachlinie (Ausstelllinie) eingezeichnet. Sie verläuft vom knöchernen Erker mittig durch den Reflex des Labrum acetabulare. In den Fällen, wo der knöcherne Erker nicht eckig ausgebildet ist, wird nach GRAF (2000) und FLÖCK (2002) der Umschlagpunkt der Konkavität des Azetabulums in die Konvexität des Darmbeins als knöcherner Erker definiert. In diesen Fällen schneiden sich Grundlinie und Knorpeldachlinie nicht im knöchernen Erker (Ultraschallbild 8).



### Ultraschallbild 8

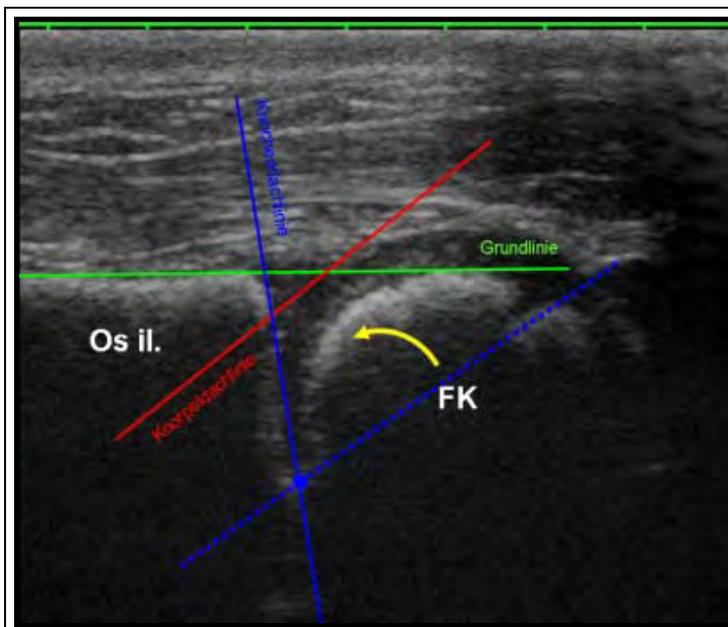
Laterale Standardebene mit Grundlinie und Drehpunkt für die Knorpeldachlinie im Hüftsonogramm eines 37 Tage alten Hovawart-Welpen

Os il. : Os ilium

FK : Femurkopf

Roter Punkt : Drehpunkt für die Knorpeldachlinie

Als dritte Messlinie wurde die Knochendachlinie (Pfannendachlinie) eingezeichnet. Dafür wurde der Unterrand des Os ilium als Drehpunkt aufgesucht und die Linie von kaudal tangential an den knöchernen Erker angelegt (Ultraschallbild 9).



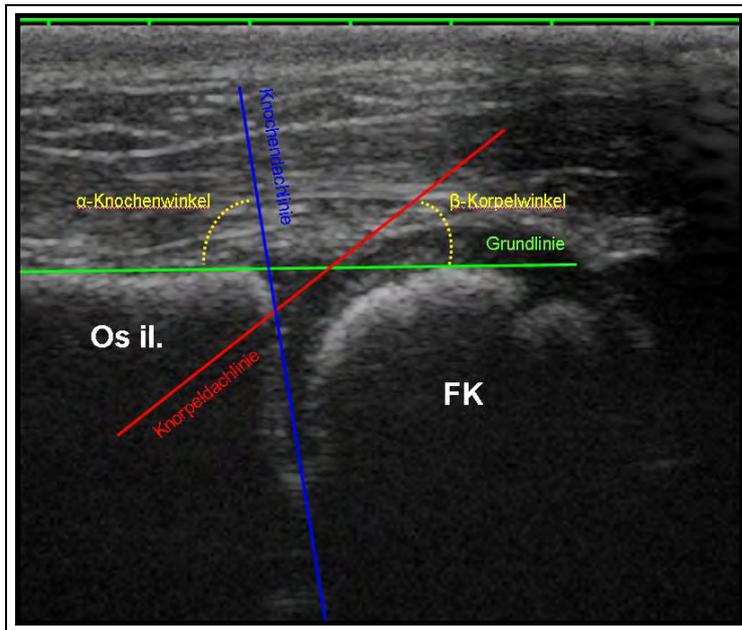
### Ultraschallbild 9

Laterale Standardebene mit Grundlinie, Knorpeldachlinie und Drehpunkt für die Knochendachlinie im Hüftsonogramm eines 37 Tage alten Hovawart-Welpen

Os il. : Os ilium

FK : Femurkopf

Blauer Punkt : Drehpunkt für die Knochendachlinie



#### Ultraschallbild 10

Laterale Standardebene mit eingezeichneten Messlinien und Winkeln im Hüftsonogramm eines 37 Tage alten Hovawart-Welpen

Os il. : Os ilium

FK : Femurkopf

#### 3.2.4.2 Dynamische Stressuntersuchung

Die passive Gelenklockerheit wurde durch eine dynamische Stressuntersuchung überprüft. Bewertet wurde dabei die dorsolaterale Beweglichkeit des Femurkopfes. Dies entspricht der natürlichen Belastungsrichtung beim stehenden Hund. Bei der Untersuchung des linken Hüftgelenkes erfasste die linke Hand des Untersuchers das Kniegelenk des Welpen und schob die Gliedmaße, entsprechend dem Ortolani-Test, nach dorsal. Die rechte Hand fixierte den Schallkopf in der lateralen Standardschnittebene und hielt dem ausgeübten Druck entgegen (Abbildung 14). Das Os ilium sollte möglichst gerade abgebildet und die Kontur des Femurkopfes rund und deutlich dargestellt sein.

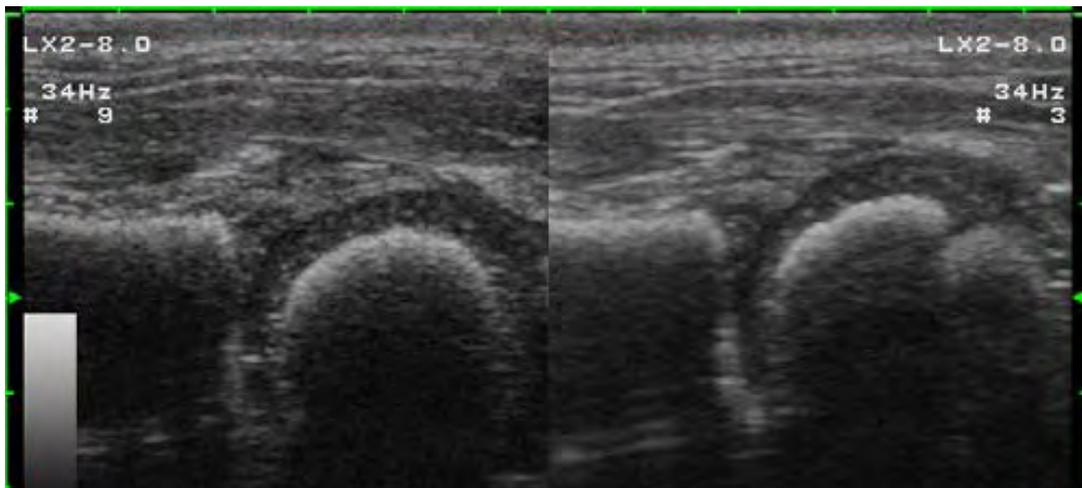
Umgekehrt führte bei der Untersuchung des rechten Hüftgelenkes die linke Hand den Schallkopf und die rechte Hand übte den Druck auf die Gliedmaße aus. Im Dual-B-Mode wurde nebeneinander ein Sonogramm in Neutralstellung und eins unter Distraction eingefroren (Ultraschallbild 11). Die Beurteilung der passiven Gelenklockerheit erfolgte subjektiv auf einer Skala von 0-3 (0=keine Lockerheit, 1=geringe Lockerheit, 2=mittlere

Lockerheit, 3=deutliche Lockerheit). Im Zweifelsfall wurden auch Mittelwerte vergeben (z.B. 0,5).



**Abbildung 14**

*Dynamische Stressuntersuchung des linken Hüftgelenkes eines DSH-Welpens*



**Ultraschallbild 11**

*Ultraschallbild eines 37 Tage alten Hovawart-Welpen im Dual-B-Mode: links Neutralstellung, rechts Distraktion*

### 3.2.4.3 Distraktionswert

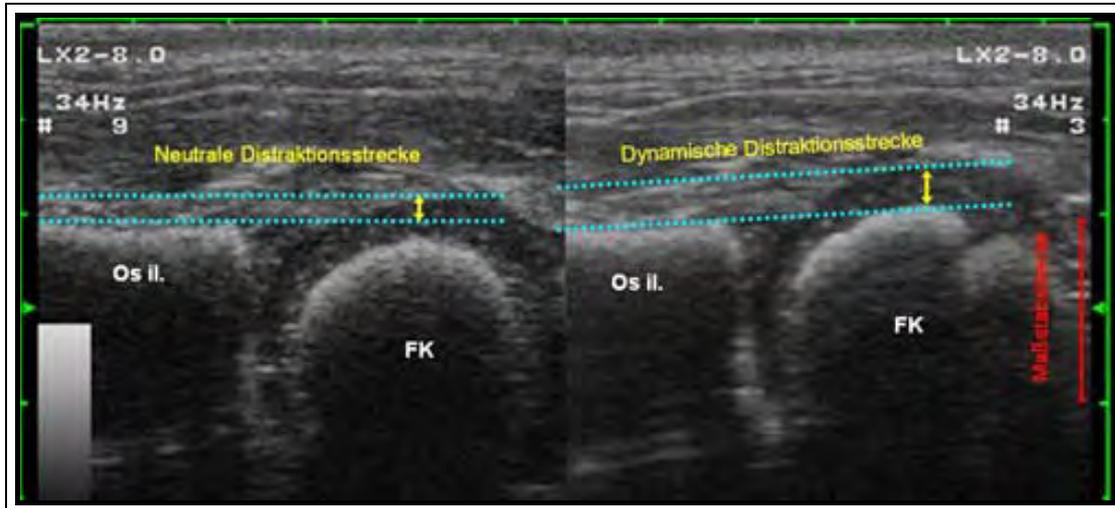
Der Distraktionswert wurde für die Hunde ermittelt, für die ein HD-Befund vorlag. Er wurde anhand der ausgedruckten Ultraschallbilder der dynamischen Stressuntersuchung bestimmt und diente zur Objektivierung der Einschätzung der passiven Gelenklockerheit.

In beide Sonogramme wurde die Grundlinie eingezeichnet und eine weitere parallel dazu verlaufende Linie, welche die äußerste knorpelig präformierte Femurkopfkontur tangiert (Ultraschallbild 12).

Der Abstand der beiden Linien ergab die neutrale, bzw. dynamische Distraktionsstrecke.

Der Distraktionswert entsprach der maßstabkorrigierten Differenz der beiden Distraktionsstrecken und wurde nach folgender Formel berechnet. Die Maßstabstrecke war dabei der Strecke, die auf dem ausgedruckten Ultraschallbild einem Zentimeter entsprach:

Distraktionswert (mm) = [dynamische – neutrale Distraktionsstrecke] x 1/Maßstabstrecke



### Ultraschallbild 12

*Bestimmung des Distraktionswertes*

*Os il.* : *Os ilium*

*FK.* : *Femurkopf*

*blaue gestrichelte Linie* : *Grundlinie und parallel verlaufende Femurkopfkonturlinie*



: *Neutrale / Dynamische Distraktionsstrecke*



: *Maßstabstrecke*

### 3.2.4.4 Manuelle $\alpha$ -Knochenwinkelmessung

Zur Überprüfung der mit dem Messprogramm des Ultraschallgerätes ermittelten  $\alpha$ -Knochenwinkel wurden die Sonogramme aller HD-geröntgten-Hunde ausgedruckt und erneut manuell vermessen. Analog zur maschinellen Knochenwinkelmessung wurden für jedes Hüftgelenk zwei unabhängige Messungen an unterschiedlichen Sonogrammen vorgenommen und der daraus resultierende Mittelwert errechnet.

### **3.3 Wiederholbarkeitsstudie**

#### **3.3.1 $\alpha$ -Knochenwinkelmessung**

Zur Überprüfung der Wiederholbarkeit der manuellen  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung wurden anhand der ausgedruckten Hüftsonogramme von 30 frei ausgewählten Hunden eine zweite identische Untersuchung vom gleichen Untersucher durchgeführt, ohne die zuvor ermittelten Werte zu kennen.

#### **3.3.2 Distraktionswertmessung**

Zur Überprüfung der Wiederholbarkeit der manuellen Distraktionswertmessung wurden anhand der ausgedruckten Hüftsonogramme von 30 frei ausgewählten Hunden eine zweite identische Untersuchung vom gleichen Untersucher durchgeführt, ohne die zuvor ermittelten Werte zu kennen.

### 3.4 Röntgenologische Untersuchung

Die Beurteilung des HD-Grades erfolgte anhand standardisierter Röntgenaufnahmen mit gestreckten Hintergliedmaßen unter Allgemeinanästhesie. Diese Aufnahmen wurden im Alter von mindestens 12 Monaten (bzw. 18 Monaten bei Hunden der Rassen Deutsche Dogge, Polski Owczarek Podhalanski) im Klinikum Veterinärmedizin, Klinik für Kleintiere, Chirurgie, der Justus-Liebig-Universität Gießen angefertigt oder von niedergelassenen Kolleginnen und Kollegen eingeschickt.

Zusätzlich wurden bei einigen Hunden Aufnahmen mit angewinkelten Hintergliedmaßen (Froschaufnahme) und Distraktionsröntgenaufnahmen erstellt. Dafür wurde eine Distraktionshilfe zwischen die Oberschenkel des Hundes platziert und die Hintergliedmaßen darüber adduziert. Die Oberschenkelknochen nahmen dabei eine physiologische Stellung ein, zeigten also in einem Winkel von ca. 90-120° vom Röntgentisch nach oben. Dadurch wurde eine Torsion der Hüftgelenkscapsel vermieden, was nach SMITH (1993) zu einem festeren Erscheinungsbild des Gelenkes führen soll (Abbildung 15 und 16).



**Abbildung 15 und 16**

*Anfertigung von Distraktionsröntgenaufnahmen bei einem Deutschen Schäferhund*

Die Röntgenbilder wurden nach den Richtlinien der Fédération Cynologique Internationale (F.C.I.) ausgewertet. Die Einstufung der HD-Befunde erfolgte in acht Kategorien (A1 – E) (Tabelle 5).

HD - frei		HD - Übergang		HD - leicht		HD - mittel	HD - schwer
A1	A2	B1	B2	C1	C2	D	E

**Tabelle 5**

*Einstufung der HD-Befunde*

Alle vorliegenden Röntgenbilder wurden unabhängig voneinander von zwei verschiedenen Gutachtern beurteilt. Bei unstimmgigen Interpretationen des HD-Grades erfolgte die endgültige Beurteilung durch einen Diplomate des European College of Veterinary Diagnostic Imaging. In die statistische Auswertung einbezogen wurde, neben dem HD-Grad, der Norberg-Winkel (in Grad), die Lage des Femurkopfzentrums zur dorsalen Pfannenrandbegrenzung (0 = innerhalb, 1 = auf, 2 = außerhalb) und der Distraaktionsindex (Wert zwischen 0 – 1). Der Distraaktionsindex wurde - wie von SMITH (1990) beschrieben - ermittelt.

### 3.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde von der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen betreut und unter Verwendung des Statistikprogrammpaketes BMDP (DIXON, 1993) durchgeführt. Die Diagramme zur Datenbeschreibung wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 14.0 (SPSS Inc. Chicago, Illinois) erstellt.

Für die statistische Auswertung wurde jedes Hüftgelenk als eine statistische Einheit angesehen. Die Überprüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgte durch den Shapiro-Wilk-Test mit dem Programm BMDP2V. Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) wurde verwendet, um die Unterschiede zwischen den Hunderassen und Gruppen unterschiedlicher Größe auf statistische Signifikanz zu überprüfen. Waren die Messwerte nicht annähernd normalverteilt, wurde der Gruppenvergleich mit Hilfe des nichtparametrischen Kruskal-Wallis-Test (BMDP3S) durchgeführt. Korrelationsprüfungen erfolgten mit dem Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten nach Pearson bzw. der Rangkorrelation nach Spearman. Der Vergleich zwischen maschinell und manuell ermittelten  $\alpha$ -Knochenwinkeln bzw. dynamischer Stressuntersuchung und Distraktionswertmessung erfolgte durch einen t-Test für abhängige Stichproben bzw. bei Nicht-Normal-Verteilung durch den Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (BMDP3S). Als statistisch signifikant wurden generell Unterschiede ab einer Überschreitungswahrscheinlichkeiten von 5% ( $p \leq 0,05$ ) betrachtet.

## **4. ERGEBNISSE**

### **4.1 Sonographische Untersuchung**

#### **4.1.1 Technische Einstellungen**

Entsprechend der Erfahrungen vorangegangener Untersuchungen (KRAMER, 1991; KRESKEN, 1991; GRAF, 2000; MICHELE, 2000; FLÖCK, 2002; RISSELADA et al., 2006a) konnte auch in dieser Arbeit festgestellt werden, dass beim orthopädischen Ultraschall eine kontrastreiche Bildeinstellung die Darstellung der anatomischen Strukturen erleichtert.

Beide verwendeten Linearschallköpfe erwiesen sich während der gesamten Untersuchungen als geeignet. Durch das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum von 6 - 15 MHz konnten alle Hüftgelenke - unabhängig von der Größe des Welpen - detailliert dargestellt werden.

Eine Winkelverzerrung wurde durch die Verwendung von Linearschallköpfen praktisch ausgeschlossen.

Durch den Gebrauch eines Fußschalters konnten beide Hände zur Untersuchung des Welpen eingesetzt werden.

#### **4.1.2 Durchführung der sonographischen Untersuchung**

Bei allen untersuchten Hundewelpen konnte die sonographische Untersuchung der Hüftgelenke ohne Sedation oder Anästhesie durchgeführt werden. Die Gesamtdauer der Untersuchungen betrug pro Tier ca. 10 Minuten. Das Aufsuchen der lateralen Standardansichtebene bereitete im Allgemeinen keine Schwierigkeiten.

#### **4.1.3 Sonoanatomie und morphologische Entwicklung**

##### *Femurkopf*

Alle Welpen zeigten zum Zeitpunkt der Untersuchung schon eine beginnende Verknöcherung des Femurkopfes, sodass der erste Zeitpunkt des Auftretens der Verknöcherung nicht beobachtet wurde. Bei den jüngsten untersuchten Hunden, einem Wurf 16 Tage alter Deutscher-Schäferhund-Welpen, stellte sich der Femurkopfverknöcherungskern als halbmondförmiges echoreiches Areal mit distalem Schallschatten dar. Er wird vom hyalin-knorpelig präformierten Anteil des Femurkopfes umgeben, der deutlich als echoarmer Saum mit reflexreichen Pünktchen erkennbar war (Ultraschallbild 13).

Mit zunehmendem Alter schritt die Verknöcherung des Femurkopfes fort. Der hyalin-knorpelig präformierte Anteil wurde dünner und war im Alter von 49 Tagen nur noch als schmaler Knorpelsaum sichtbar (Ultraschallbild 18). Die Oberfläche des zunächst rauen Femurkopfverknöcherungskernes erschien bei den älteren Welpen glatter und verlief weniger stark gebogen (Ultraschallbild 16Ultraschallbild 18).

Bei gleich alten Welpen unterschiedlicher Rassen schien die Verknöcherung vergleichbar weit fortgeschritten (Ultraschallbild 19Ultraschallbild 20 undUltraschallbild 22).

Kaudal des Femurkopfverknöcherungskernes ist auf den Ultraschallbildern 13, 16, 17 und 19 - 22 die Epiphysenfuge des Femurkopfes als reflexarme Einkerbung zu sehen.

### *Os ilium*

Das Os ilium stellte sich als leicht konkav gebogene reflexreiche Linie dar, die kaudal im knöchernen Erker endet. Der kraniale Verlauf wurde vom linken Bildrand abgeschnitten. Dem knöchernen Erker sitzt das hyalin-knorpelig präformierte Pfannendach auf.

Der Unterrand des Os ilium war als reflexreiche Struktur im Azetabulum zu sehen (Ultraschallbild 13).

Selbst bei den ältesten untersuchten Welpen, einem Wurf 49 Tage alter Deutscher Doggen, war die Verknöcherung des Femurkopfes noch nicht so weit fortgeschritten, dass der Unterrand des Os ilium durch die distale Schallauslöschung überlagert wäre (Ultraschallbild 18).

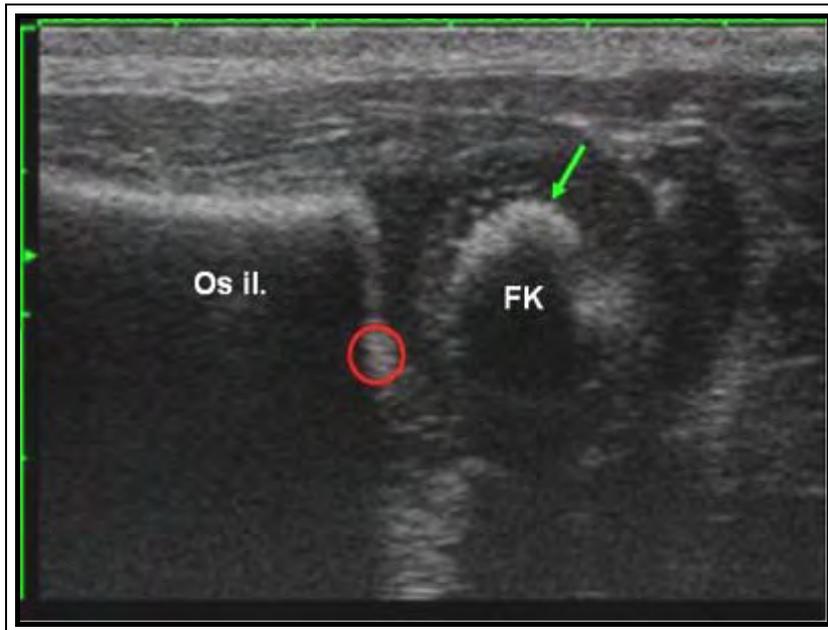
### *Os pubis*

Das Os pubis war bei den 16 Tage alten Welpen als reflexreiche Struktur am Grund des Azetabulums zu erkennen (Ultraschallbild 13). Mit zunehmendem Alter wurde es vom distalen Schallschatten des Femurkopfverknöcherungskernes überlagert, sodass es im Ultraschall nicht mehr sichtbar war.

### *Labrum acetabulare und Gelenkkapsel*

Das Labrum acetabulare schließt sich dem hyalin-knorpelig präformierte Pfannendach an und war als reflexreiche Struktur zwischen dem hyalin-knorpelig präformierten Pfannendach, dem Femurkopf und der Gelenkkapsel zu sehen (siehe Kapitel 2.3.6.2.2, Labrumdefinitionen).

Die Gelenkkapsel stellte sich als reflexreiche, dem Femurkopf anliegende Linie dar (Ultraschallbild 20).



### Ultraschallbild 13

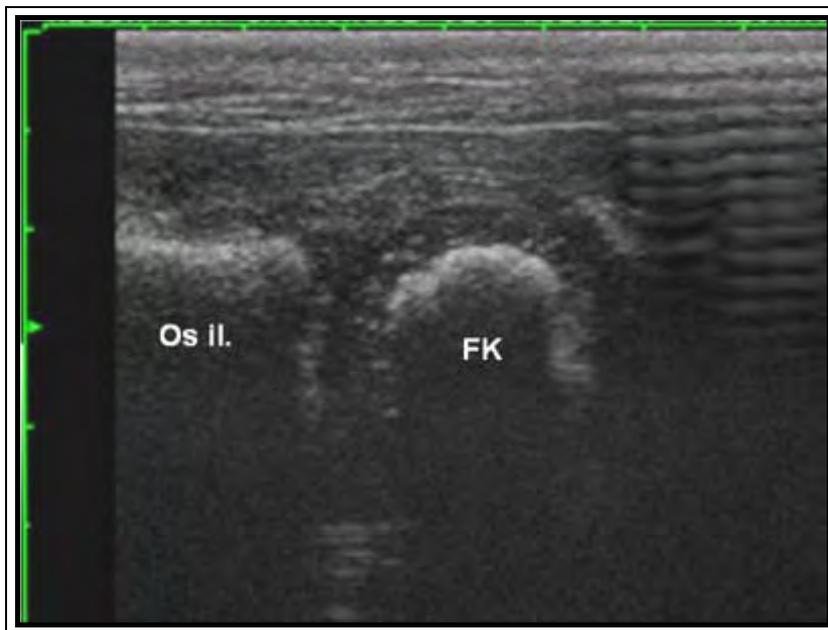
Hüftsonogramm eines 16 Tage alten DSH-Welpen

FK : Femurkopf

Os il. : Os ilium

 : Unterrand Os ilium

 : Femurkopfverknöcherungskern

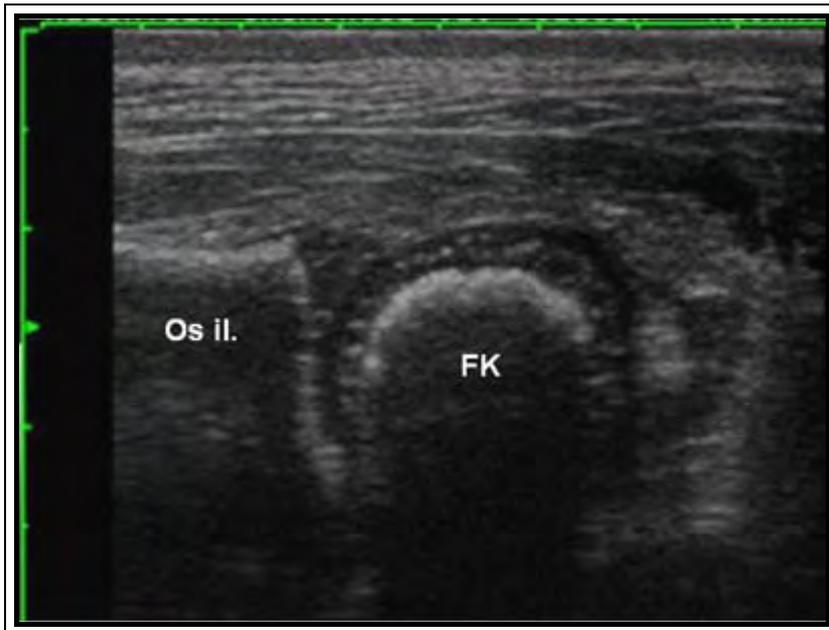


### Ultraschallbild 14

Hüftsonogramm eines 27 Tage alten DSH-Welpen

FK : Femurkopf

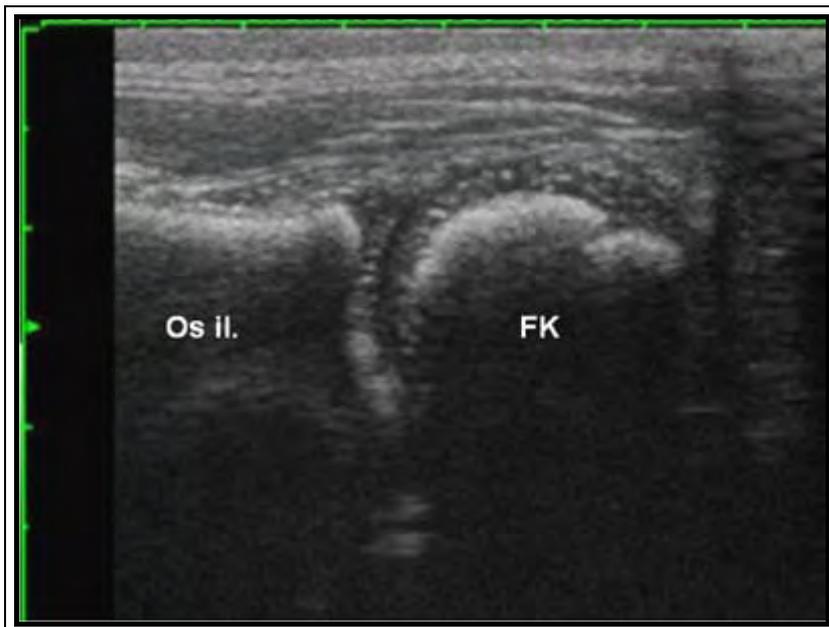
Os il. : Os ilium

**Ultraschallbild 15**

*Hüftsonogramm eines 35 Tage alten DSH-Welpen*

*FK : Femurkopf*

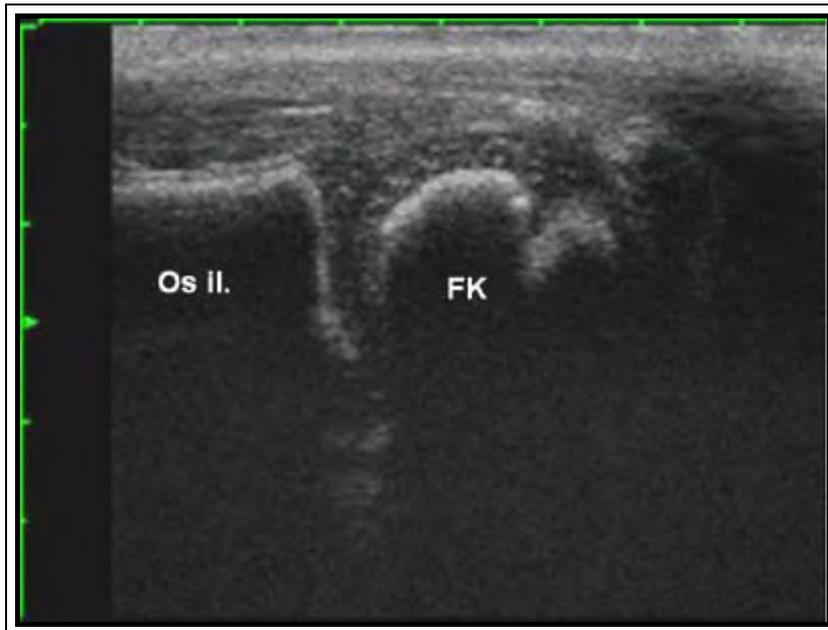
*Os il. : Os ilium*

**Ultraschallbild 16**

*Hüftsonogramm eines 37 Tage alten DSH-Welpen*

*FK : Femurkopf*

*Os il. : Os ilium*

**Ultraschallbild 17**

*Hüftsonogramm eines 24 Tage alten Doggen-Welpen*

*FK : Femurkopf*

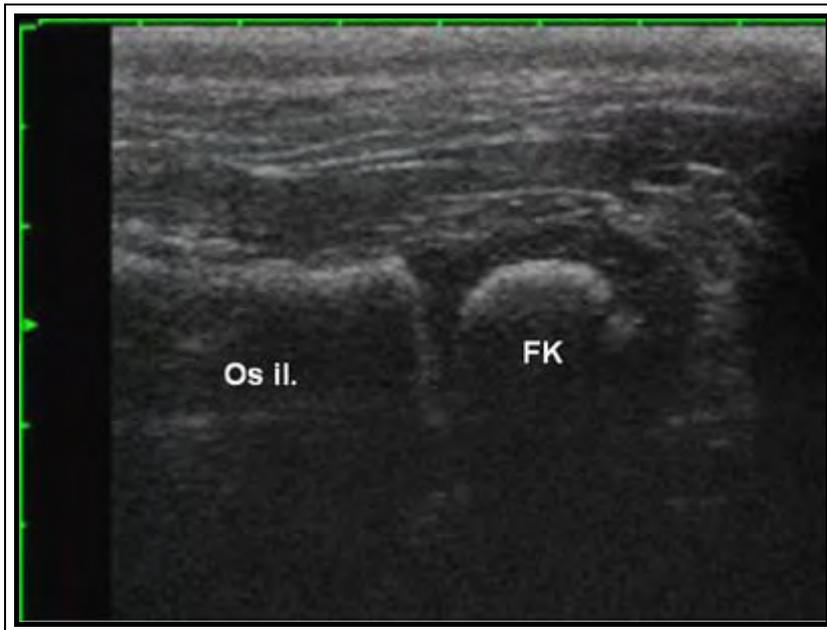
*Os il. : Os ilium*

**Ultraschallbild 18**

*Hüftsonogramm eines 49 Tage alten Doggen-Welpen*

*FK : Femurkopf*

*Os il. : Os ilium*

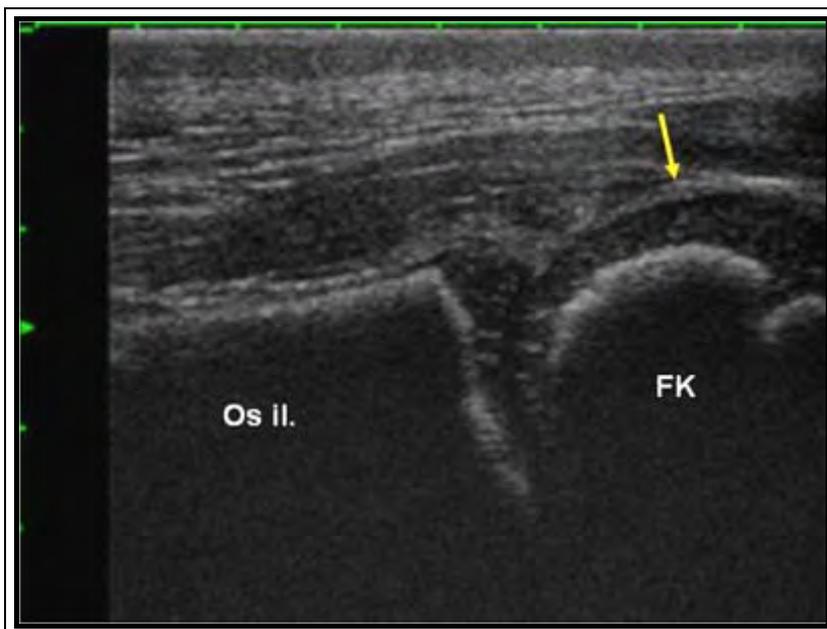


### Ultraschallbild 19

Hüftsonogramm eines 32 Tage alten Sheltie-Welpen

FK : Femurkopf

Os il. : Os ilium



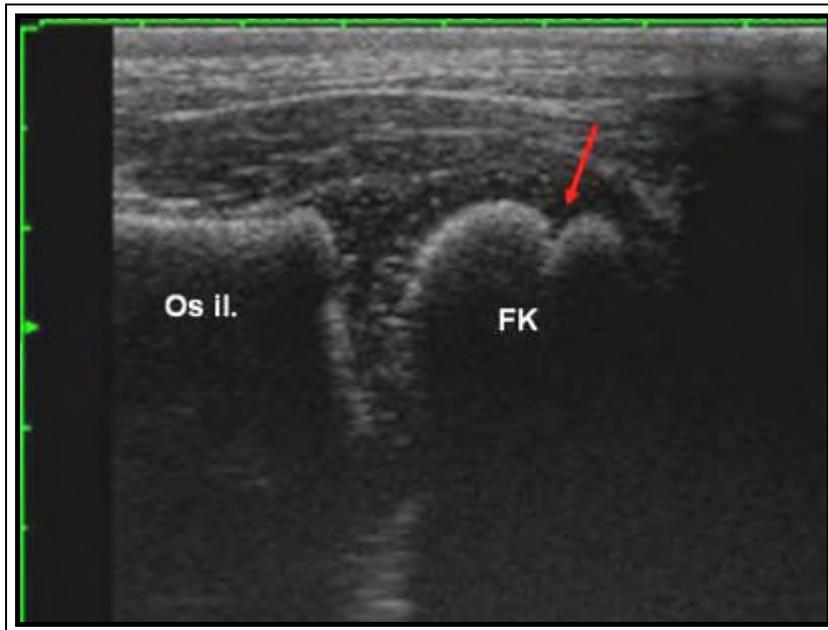
### Ultraschallbild 20

Hüftsonogramm eines 32 Tage alten Polski-Owczarek-Podhalanski-Welpen

FK : Femurkopf

Os il. : Os ilium

☑ : Gelenkkapsel

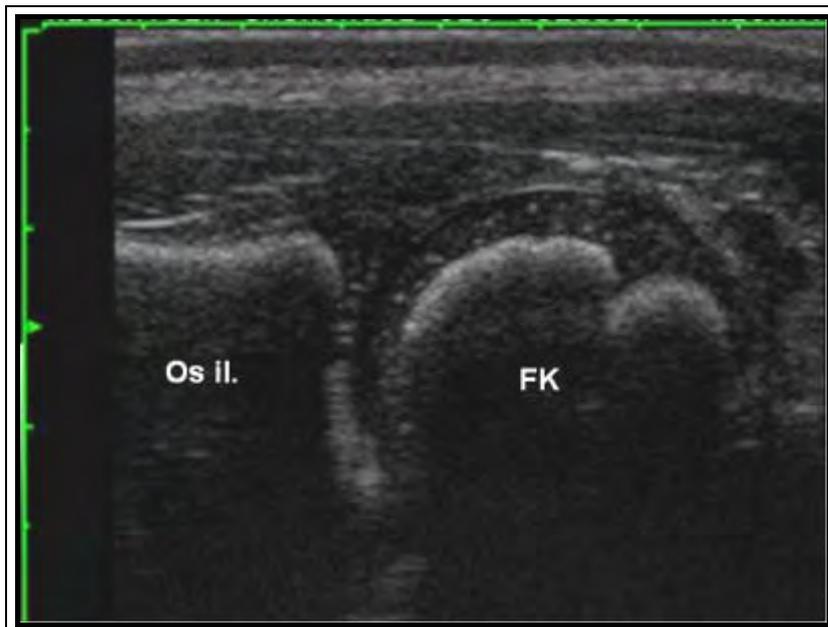
**Ultraschallbild 21**

Hüftsonogramm eines 32 Tage alten DSH-Welpen

FK : Femurkopf

Os il. : Os ilium

➤ : Femurkopfepiphyse

**Ultraschallbild 22**

Hüftsonogramm eines 32 Tage alten Doggen-Welpen

FK : Femurkopf

Os il. : Os ilium

#### 4.1.4 $\alpha$ -Knochenwinkel

##### 4.1.4.1 Deskriptive Statistik $\alpha$ -Knochenwinkelmessung

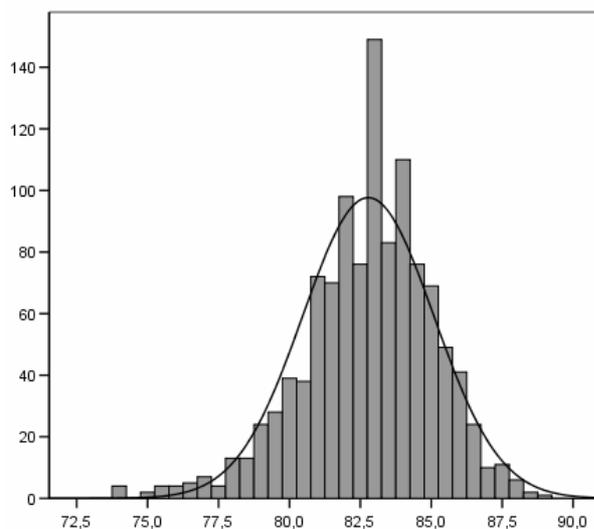
Insgesamt wurden 1132 Hüftgelenke von 566 Welpen sonographisch untersucht und zeitgleich mit dem Winkelmessprogramm der Ultraschallmaschine vermessen.

Der kleinste maschinell gemessene  $\alpha$ -Knochenwinkel betrug  $73,0^\circ$  und wurde bei einem 45 Tage alten Airedale Terrier gemessen. Den größten Winkel wies mit  $90,0^\circ$  ein 35 Tage alter Hovawart auf. Der kleinste Mittelwert der zwei jeweils durchgeführten Messungen mit  $74,0^\circ$  kam bei drei 45 Tage alten Airedale Terrier Geschwistern und einem 35 Tage alten Rottweiler vor. Der größte Mittelwert mit  $89,0^\circ$  wurde bei einem 26 Tage alten Doggen-Welpen gemessen.

Der Gesamtmittelwert der  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung betrug  $82,8^\circ$  bei einer Standardabweichung von  $2,31^\circ$ .

Die Wiederholbarkeit zwischen den Messungen des  $\alpha$ -Knochenwinkels innerhalb der einzelnen Hüftgelenke zeigte eine Varianz von  $0,43^\circ \pm 0,66$ . Bei einem Gesamtmittelwert der  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $82,8^\circ$  ergab sich daraus im Mittel eine relative Standardabweichung von 0,8%. Aufgrund dieser guten Wiederholbarkeit wurden die im weiteren Verlauf durchgeführten Untersuchungen mit dem Mittelwert der zwei Messungen durchgeführt.

Der Shapiro-Wilk-Test (Prüfung auf Normalverteilung) zeigte für den Mittelwert der  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung formal eine statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung ( $p < 0,0001$ ). Diese kam durch einige wenige Ausreißer (kleine Winkel) bei ansonsten normalverteilten Ergebnissen zustande.



**Abbildung 17**

*Verteilung der Mittelwerte der  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen mit Normalverteilungskurve*

Am linken Hüftgelenk reichten die gemessenen Winkel von  $74,0^\circ$  bis  $89,0^\circ$  bei einem Mittelwert von  $82,6^\circ \pm 2,42$ . Rechts lagen die Winkel zwischen  $74,0^\circ$  und  $88,5^\circ$  bei einem Mittelwert von  $83,0^\circ \pm 2,18$  (Tabelle 6). Die Korrelationsprüfung zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk wies eine hohe Korrelation auf (Korrelationskoeffizient  $r=0,738$ ) und war mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p<0,001$  hochsignifikant. Wies ein Welp links einen großen Winkel auf, so war es wahrscheinlich, dass auch für das rechte Hüftgelenk ein großer Winkel gemessen wurde. Dennoch zeigten sich im Einzelfall deutliche Unterschiede zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk. Zum Beispiel wies der Welp Nummer 397 links einen  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $75^\circ$  auf und rechts einen Winkel von  $86^\circ$ .

in °	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert	Standardabweichung
<b>links</b>	74,0	89,0	82,6	2,42
<b>rechts</b>	74,0	88,5	83,0	2,18
<b>gesamt</b>	74,0	89,0	82,8	2,31

**Tabelle 6**

*Minimal-, Maximal-, Mittelwert und Standardabweichung der maschinellen  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung der linken und rechten Hüftgelenke*

#### 4.1.4.2 Vergleich der Rassen

Die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte des  $\alpha$ -Knochenwinkels mit Standardabweichung aufgeschlüsselt in die einzelnen Rassen sind in Tabelle 7 dargestellt. Der größte Mittelwert mit  $84,6^\circ$  fand sich bei den Bernhardinern. Der kleinste Mittelwert mit  $80,0^\circ$  wurde bei den Airedale Terriern gemessen (Tabelle 7).

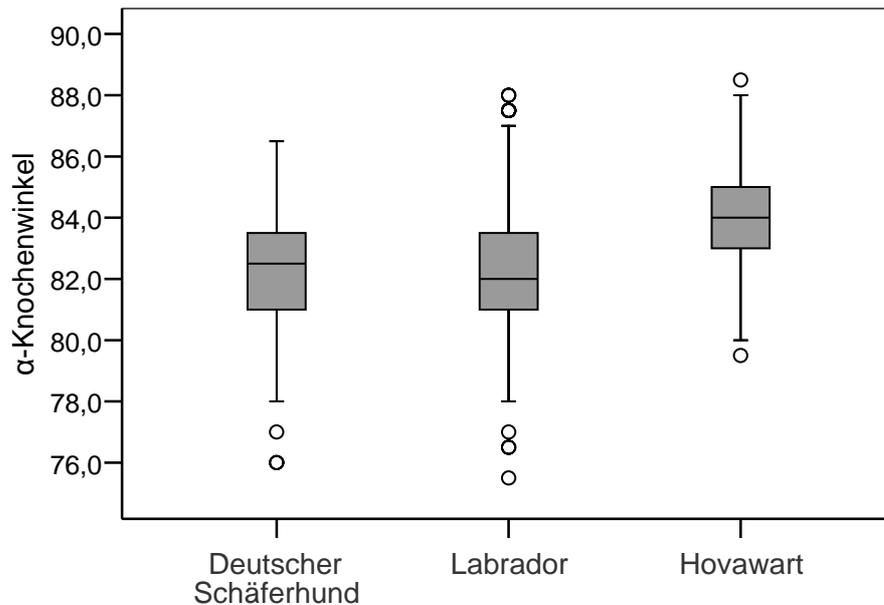
Statistische Vergleiche wurden im Weiteren nur zwischen den drei Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart durchgeführt. Da diese Rassen auch in der folgenden röntgenologischen Untersuchung häufig genug vertreten waren, konnten aussagekräftige statistische Analysen durchführen werden. Die Verteilung der gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel dieser Rassen ist in Diagramm 2 dargestellt.

In der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) zeigte die Ausprägung des  $\alpha$ -Knochenwinkels hochsignifikante Unterschiede zwischen den drei Rassen ( $p<0,0001$ ). Dabei unterschied sich die Rasse Hovawart (Mittelwert =  $84,0^\circ$ ) signifikant von den Rassen DSH (Mittelwert =  $82,3^\circ$ ) und Labrador (Mittelwert =  $82,2^\circ$ ). DSH und Labradore dagegen unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Diagramm 2).

Rasse	n	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert	s
Deutsche Dogge	129	76,5°	89,0°	84,1°	1,84
Deutscher Schäferhund	90	76,0°	86,5°	82,3°	1,89
Labrador	85	75,5°	88,0°	82,2°	2,40
Hovawart	60	79,5°	88,5°	84,0°	1,58
Airedale Terrier	44	74,0°	84,5°	80,0°	2,47
Shelti	20	77,0°	86,0°	82,2°	1,97
Polski Owczarek Podhalanski	29	75,0°	86,5°	81,8°	2,11
Großer Schweizer Sennenhund	21	82,5°	86,0°	84,1°	0,91
Weißer Schweizer Schäferhund	22	77,5°	85,5°	82,7°	1,82
Australian Shepherd	14	80,0°	85,5°	83,2°	1,28
Wolfspitz	13	77,0°	84,0°	81,8°	1,82
Alaskan Malamute	11	81,0°	86,0°	83,8°	1,53
Rottweiler	8	74,0°	84,0°	80,5°	2,86
Appenzeller Sennenhund	7	81,0°	84,0°	82,3°	0,91
Collie	6	80,0°	86,0°	83,8°	1,47
Bernhardiner	5	82,0°	86,5°	84,6°	1,55
Cavalier King Charles Spaniel	2	82,0°	86,0°	84,0°	1,68

**Tabelle 7**

*Minimal-, Maximal-, Mittelwert und Standardabweichung der  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung nach Rassen sortiert*

**Diagramm 2**

Verteilung der  $\alpha$ -Knochenwinkel bei den Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart

#### 4.1.4.3 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Um zu untersuchen, ob es Unterschiede in der Ausprägung des  $\alpha$ -Knochenwinkels zwischen Hunden großer, mittlerer und kleiner Rassen gibt, wurden folgende drei Gruppen zusammengefasst:

Körpergröße	Rassen
Große Rassen	<i>Deutsche Dogge, Polski Owczarek Podhalanski, Großer Schweizer Sennenhund, Bernhardiner</i>
Mittlere Rassen	<i>Deutscher Schäferhund, Labrador, Hovawart, Airedale Terrier, Weißer Schweizer Schäferhund, Alaskan Malamute, Rottweiler, Collie</i>
Kleine Rassen	<i>Shelti, Australian Shepherd, Wolfspitz, Appenzeller Sennenhund, Cavalier King Charles Spaniel</i>

**Tabelle 8**

Aufteilung der Rassen nach Körpergröße

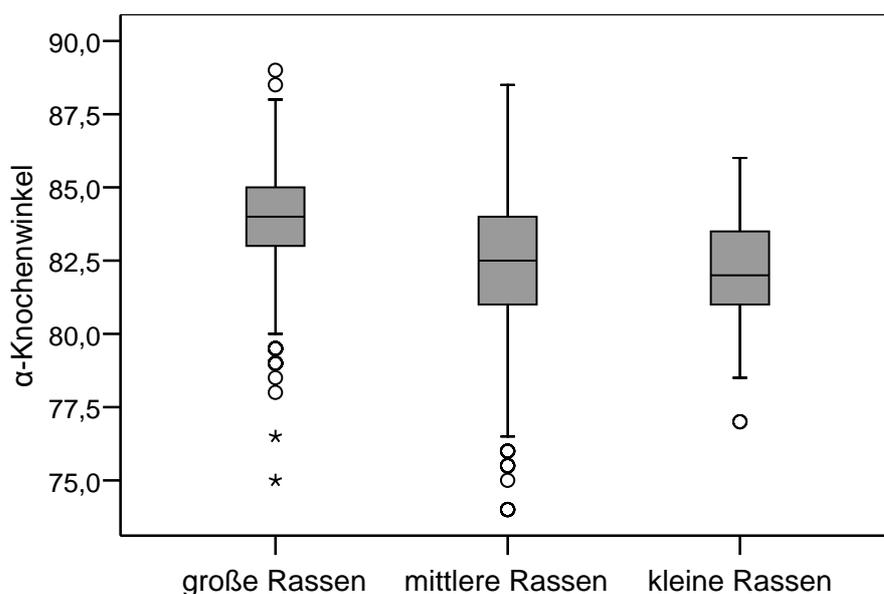
Bei den Hunden großwüchsiger Rassen wurden Winkel zwischen  $75,0^\circ$  und  $89,0^\circ$  gemessen. Der Mittelwert betrug  $83,7^\circ \pm 1,99$ . Bei den mittelgroßen Rassen lagen die Winkel zwischen  $74,0^\circ$  und  $88,5^\circ$ , bei einem Mittelwert von  $82,3^\circ \pm 2,40$ . Winkel zwischen  $77,0^\circ$  und  $86,0^\circ$  bei einem Mittelwert von  $82,5^\circ \pm 1,76$  wurden bei den kleinen Hunderassen festgestellt.

	n	Minimalwert	Maximalwert	Mittelwert	s
<b>Große Rassen</b>	368	75,0°	89,0°	83,7°	1,99
<b>Mittlere Rassen</b>	652	74,0°	88,5°	82,3°	2,39
<b>Kleine Rassen</b>	112	77,0°	86,0°	82,3°	1,76

**Tabelle 9**

*Minimal-, Maximal-, Mittelwert und Standardabweichung der  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung nach Körpergröße sortiert*

In Diagramm 3 ist die Verteilung der gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel bei Welpen großer, mittlerer und kleiner Rassen dargestellt. In der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) zeigte die Ausprägung des  $\alpha$ -Knochenwinkels hochsignifikante Unterschiede zwischen den drei Größengruppen ( $p < 0,0001$ ). Dabei unterschieden sich die großwüchsigen Rassen (Mittelwert = 83,7°) von den mittleren (Mittelwert = 82,3°) und kleinen Rassen (Mittelwert = 82,3°).

**Diagramm 3**

*Verteilung der  $\alpha$ -Knochenwinkel bei den großen, mittlere und kleinen Rassen*

#### 4.1.4.4 Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Für die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit wurden ausschließlich Hunde mit den HD-Befunden A1 und A2 zur Analyse herangezogen, da bei diesen Tieren von einer physiologischen Hüftentwicklung ausgegangen werden konnte. Die Altersabhängigkeit der  $\alpha$ -Knochenwinkelentwicklung war mit  $p < 0,001$  signifikant und verhielt sich nach folgender Regressions-

gradengleichung:  $y = 86,4 - 0,106 * \text{Alter in Tagen}$ . Demnach wurde der  $\alpha$ -Knochenwinkel mit jedem Lebenstag im Schnitt um  $0,1^\circ$  kleiner.

Betrachtet man alle ausgewerteten Hüftgelenke (HD-Grad A bis E) so ergab sich eine Abnahme des  $\alpha$ -Knochenwinkels mit jedem Lebenstag um im Schnitt  $0,065^\circ$  ( $y = 84,9 - 0,065 * \text{Alter in Tagen}$ ,  $p < 0,001$ ). Auch die Hüftgelenke mit einem positiven HD-Befund (HD-Grad C bis E) zeigten eine Abnahme des  $\alpha$ -Knochenwinkels mit zunehmendem Alter ( $y = 83,9 - 0,033 * \text{Alter in Tagen}$ ,  $p < 0,001$ ).

	<b>Regressionsgeradengleichung</b>	<b>Signifikanz</b>
<b>HD-frei</b>	$y = 86,4 - 0,106 * \text{Alter in Tagen}$	$p < 0,001$
<b>HD</b>	$y = 83,9 - 0,033 * \text{Alter in Tagen}$	$p < 0,001$
<b>gesamt</b>	$y = 84,9 - 0,065 * \text{Alter in Tagen}$	$p < 0,001$

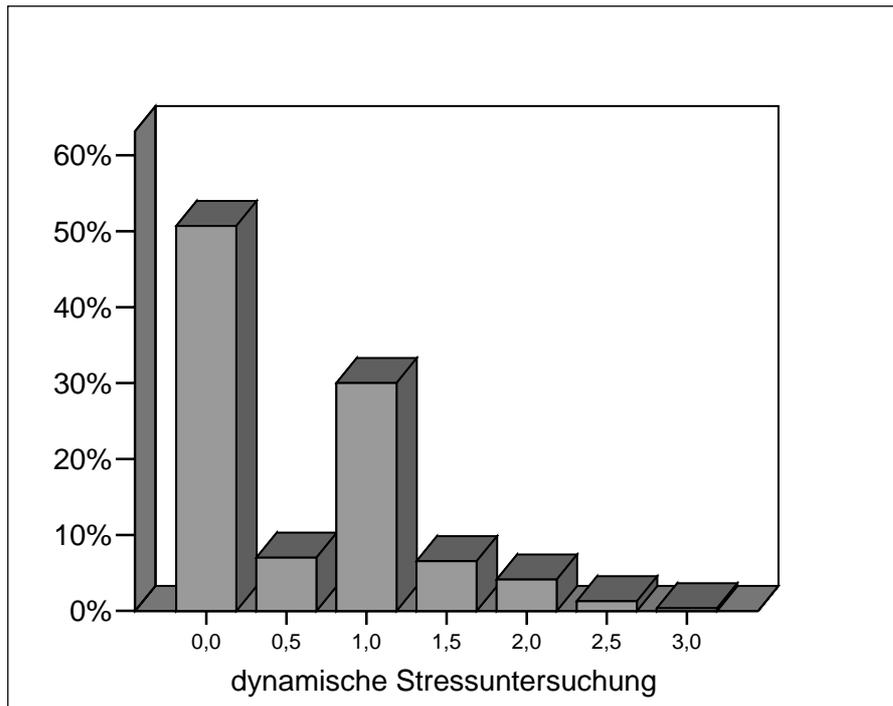
**Tabelle 10**

*Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit bei unterschiedlichem HD-Befund*

#### 4.1.5 Dynamische Stressuntersuchung

##### 4.1.5.1 Deskriptive Statistik der dynamische Stressuntersuchung

Untersuchungen zur passiven Gelenklockerheit wurden an 870 Hüftgelenken durchgeführt. Die Verteilung der Einschätzungen der passiven Gelenklockerheit bei der dynamischen Stressuntersuchung wird in Diagramm 4 dargestellt. 50,7% der untersuchten Welpen zeigten keine passive Gelenklockerheit (0,0). Eine geringgradige Lockerheit konnte bei 43,6% der Tiere nachgewiesen werden (0,5 – 1,5). 5,7% der Tiere wiesen eine mittel- bis hochgradige Gelenklockerheit auf (2,0 – 3,0). Die durchschnittliche passive Gelenklockerheit betrug links 0,54 und rechts 0,57.



**Diagramm 4**

*Prozentuale Häufigkeit der Einschätzung der passiven Gelenklockerheit in %*

Die Korrelationsprüfung nach Spearman ergab eine hochsignifikante ( $p < 0,0001$ ), aber niedrige positive Korrelation ( $r_s = 0,3531$ ) zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk. Auch hier zeigen sich im Einzelfall jedoch deutliche Unterschiede zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk. Zum Beispiel wies der Welpe Nummer 204 links eine passive Gelenklockerheit von 3 und rechts von 0 auf.

#### 4.1.5.2 Vergleich der Rassen

Die Varianzanalyse mit dem Kruskal–Wallis-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen der passiven Gelenklockerheit zwischen den drei Rassen ( $p < 0,0053$ ). Dabei unterschieden sich die Labradore mit einer im Mittel größeren passiven Gelenklockerheit von 0,64 von den DSH (0,45) und den Hovawarts (0,43) (Tabelle 11).

Der Deutsche Schäferhund wies in der Einschätzung der passiven Gelenklockerheit Werte von 0,0 bis 2,5 (Mittelwert =  $0,45 \pm 0,60$ ) auf. Beim Labrador ergaben sich Werte von 0,0 bis 3,0 (Mittelwert =  $0,64 \pm 0,68$ ). Die Hovawart Welpen wiesen eine passive Gelenklockerheit von 0,0 bis 2,5 auf (Mittelwert =  $0,43 \pm 0,57$ ).

	<b>Mittelwert der passiven Gelenklockerheit</b>
<b>Deutscher Schäferhund</b>	0,45
<b>Labrador</b>	0,64
<b>Hovawart</b>	0,43

**Tabelle 11**

*Mittelwerte der passiven Gelenklockerheit bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.1.5.3 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Die Varianzanalyse mit dem Kruskal–Wallis-Test zeigte hochsignifikante Unterschiede zwischen der passiven Gelenklockerheit bei den Gruppen unterschiedlich großer Rassen ( $p < 0,0001$ ). Vergleicht man die Gruppen miteinander, fiel auf, dass der prozentuale Anteil der geringgradig und mittel- bis hochgradig lockeren Hüftgelenke bei den kleinwüchsigen Rassen höher ist (55,1% gegenüber 40,9 bzw. 46,2% und 15,4% gegenüber 5,6 bzw. 3,8%). Der Anteil der Gelenke, bei denen keine passive Gelenklockerheit ausgelöst werden konnte, war mit 29,5% bei den kleinwüchsigen Rassen gegenüber 54,0 bzw. 50,0% bei den mittelgroßen und großwüchsigen Rassen niedriger.

%	<b>0</b>	<b>0,5 -1,5</b>	<b>2,0 – 3,0</b>
<b>Große Rassen</b>	50,0	46,2	3,8
<b>Mittlere Rassen</b>	54,0	40,9	5,6
<b>Kleine Rassen</b>	29,5	55,1	15,4

**Tabelle 12**

*Prozentuale Häufigkeit der passiven Gelenklockerheit nach Körpergröße sortiert*

#### 4.1.5.4 Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ergab weder für die HD-freien Tiere noch für die mit einem positiven HD-Befund einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der passiven Gelenklockerheit und dem Alter der untersuchten Welpen.

	<b>Signifikanz</b>
<b>HD-frei</b>	p= 0,637
<b>HD</b>	p= 0,681
<b>gesamt</b>	p=0,211

**Tabelle 13**

*Signifikanz der Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit bei unterschiedlichem HD-Befund*

#### 4.1.6 Distraktionswert

##### 4.1.6.1 Deskriptive Statistik der Distraktionswertmessung

Der Distraktionswert von 389 Hüftgelenken wurde ausgemessen.

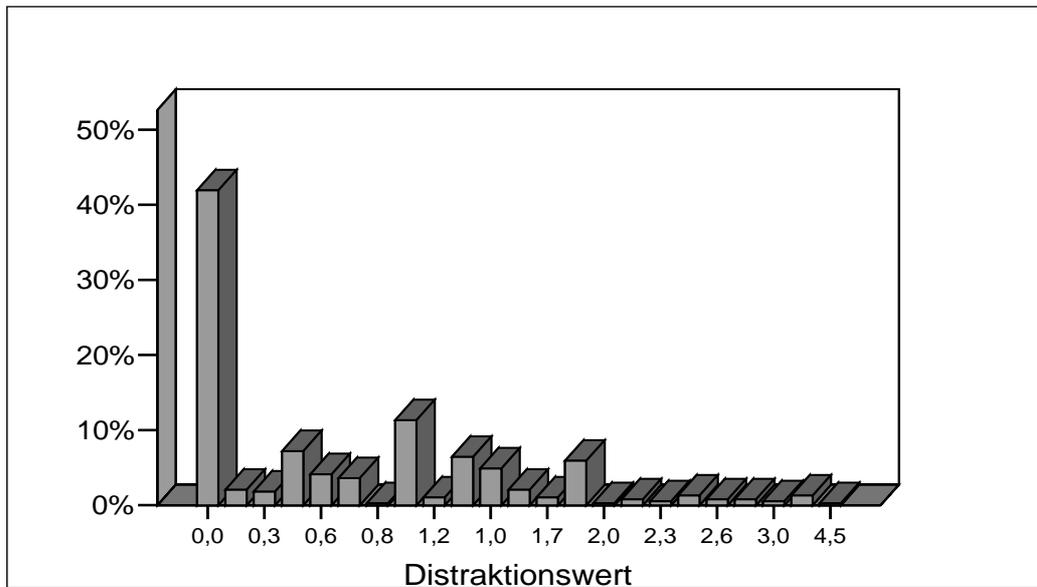
Der kleinste gemessene Wert lag bei 0,0mm, der größte bei 4,5mm. Die Spannweite links betrug zwischen 0,0mm und 3,3mm bei einem Gesamtmittelwert von 0,53mm±0,69. Rechts lagen die Distraktionswerte zwischen 0,0mm und 4,5mm bei einem Gesamtmittelwert von 0,95mm±0,93. Der Gesamtmittelwert beider Seiten betrug 0,74mm±0,84.

in mm	<b>Minimalwert</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>Mittelwert</b>	<b>Standardabweichung</b>
<b>links</b>	0,0	3,3	0,53	0,69
<b>rechts</b>	0,0	4,5	0,95	0,93
<b>gesamt</b>	0,0	4,5	0,74	0,84

**Tabelle 14**

*Minimal-, Maximal-, Mittelwert und Standardabweichung des Distraktionswertes*

Die Verteilung der Distraktionswertmessung wird in Diagramm 5 dargestellt. 60,9% der untersuchten Hüftgelenke wiesen einen Distraktionswert von kleiner als 1mm auf. Bei 26,7% lag der Messwert zwischen 1,0 mm und < 2,0 mm. Ein Distraktionswert von 2,0 mm bis < 3,0 mm fand sich bei 10,4% der vermessenen Hüftgelenke. Lediglich in 2,1% der Fälle wurde ein Distraktionswert gleich oder größer als 3,0 mm gemessen.



**Diagramm 5**

*Prozentuale Häufigkeit der Distractionswerte in mm*

Die Korrelationsprüfung nach Spearman ergab eine signifikante ( $p < 0,0009$ ), aber niedrige positive Korrelation ( $r_s = 0,2412$ ) zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk. Auch hier gab es im Einzelfall jedoch deutliche Unterschiede zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk. Zum Beispiel konnte beim Welpen Nummer 366 links keine Distraction gemessen werden, wogegen rechts ein Distractionswert von 4,5mm vorlag.

#### 4.1.6.2 Vergleich der Rassen

Im Vergleich der Rassen traten die im Mittel niedrigsten Distractionswerte beim Hovawart auf. Bei den Deutschen-Schäferhund- und Labrador-Welpen wurden Distractionswerte von 0,0 bis 3,33mm bei einem Mittelwert von 0,81mm bzw. 0,88 mm und einer Standardabweichung von 0,78, bzw. 0,99 gemessen. Beim Hovawart traten Werte von 0,0 bis 2,75mm auf (Mittelwert = 0,65mm, Standardabweichung = 0,74).

Keine signifikanten Unterschiede zeigte der Kruskal-Wallis-Test zwischen den Distractionswerten der unterschiedlichen Rassen ( $p < 0,335$ ).

	Mittelwert des Distraktionswertes
<b>Deutscher Schäferhund</b>	0,81mm
<b>Labrador</b>	0,88mm
<b>Hovawart</b>	0,65mm

**Tabelle 15**

Mittelwerte des Distraktionswertes bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart

#### 4.1.6.3 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Die Varianzanalyse mit dem Kruskal-Wallis-Test zeigte, dass keine signifikanten Unterschiede ( $p < 0,349$ ) zwischen den gemessenen Distraktionswerten der unterschiedlich großen Hunderassen bestehen. Im Gegensatz zur Einschätzung der passiven Gelenklockerheit, trat bei der dynamischen Stressuntersuchung ein Distraktionswert von 0 bis  $< 1$ mm bei den Hunden kleinwüchsiger Rassen ähnlich häufig auf wie bei den mittelgroßen und großwüchsigen Hunderassen. Auch ein Distraktionswert von größer als 2,0mm trat bei den unterschiedlich großen Hunderassen ähnlich häufig auf. Allerdings waren die absoluten Werte niedrig und damit statistischen wenig aussagekräftig.

%	0 - < 1,0 mm	1,0 - < 2,0 mm	2,0 - < 3,0 mm	>3,0 mm
<b>Große Rassen</b>	65,8 (42)	25,0 (16)	7,9 (5)	1,6 (1)
<b>Mittlere Rassen</b>	59,3 (160)	27,8 (75)	11,0 (30)	1,9 (5)
<b>Kleine Rassen</b>	63,5 (35)	23,6 (13)	9,1 (5)	3,6 (2)

**Tabelle 16**

Prozentuale Häufigkeit der Distraktionswertmessungen nach Körpergröße sortiert, absolute Werte in Klammern

#### 4.1.6.4 Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ergab weder für die HD-freien Tiere noch für die mit einem positiven HD-Befund einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem gemessenen Distraktionswert und dem Alter der untersuchten Welpen.

	Signifikanz
<b>HD-frei</b>	p= 0,491
<b>HD</b>	p= 0,537
<b>gesamt</b>	p=0,583

**Tabelle 17**

*Signifikanz der Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit bei unterschiedlichem HD-Befund*

#### 4.1.7 Korrelationsanalysen

##### 4.1.7.1 Vergleich von maschinell und manuell gemessenem $\alpha$ -Knochenwinkel

Der Vergleich von maschinell und manuell gemessenem  $\alpha$ -Knochenwinkel ergab im t-Test für abhängige Stichproben eine statistisch signifikante ( $p < 0,001$ ) und gute Korrelation (Korrelationskoeffizient  $r = 0,646$ ) zwischen den beiden Messmethoden.

Im t-Test für abhängige Stichproben ließ sich dennoch ein statistisch signifikanter Unterschied ( $p < 0,0001$ ) zwischen den maschinell oder manuell ermittelten Winkeln nachweisen. Dabei war der manuell gemessene  $\alpha$ -Knochenwinkel im Mittel um  $1,04^\circ$  kleiner als der maschinell gemessene  $\alpha$ -Knochenwinkel (Standardabweichung =  $1,95^\circ$ ). Die maximale Differenz von  $8^\circ$  wurde am rechten Hüftgelenk eines 25 Tage alten Alaskan Malamut-Welpen verzeichnet (maschineller Winkel =  $85^\circ$  / manueller Winkel =  $77^\circ$ ). Bei einem 34 Tage alten Labrador war der maschinelle gemessene Winkel  $5^\circ$  kleiner als der manuell gemessene Winkel (maschineller Winkel =  $81^\circ$  / manueller Winkel =  $86^\circ$ ).

##### 4.1.7.2 Vergleich von dynamischer Stressuntersuchung und Distraktionswertmessung

Die Überprüfung der Korrelation von subjektiver Einschätzung der passiven Gelenklockerheit in der dynamischen Stressuntersuchung mit den Messungen des Distraktionswertes ergab eine signifikante Korrelation (Korrelationskoeffizient nach Spearman  $r_s = 0,312$ ,  $p < 0,0001$ ) zwischen den beiden Parametern.

## 4.1.8 Wiederholbarkeitsstudie

### 4.1.8.1 $\alpha$ -Knochenwinkelmessung

Der Vergleich der zwei manuellen  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen zeigte im t-Test für abhängige Stichproben keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der beiden Messungen ( $p=0,18$ ). Im Mittel bestand eine Differenz von  $0,19^\circ$  bei einer Standardabweichung von  $s=1,09^\circ$ . In einem Fall wurde jedoch auch eine Differenz von  $4,5^\circ$  gemessen. In 49 von 60 Fällen (81,7%) war die Differenz  $\leq 1^\circ$ .

Wurden die Faktoren Hüftgelenk, Sonogramm und Wiederholungsmessung in einer 3-faktoriellen hierarchischen Varianzanalyse analysiert, erhielt man für die erste und zweite manuelle Messung innerhalb desselben Hüftsonogramms eine Standardabweichung von  $s=1,05^\circ$ . Die Standardabweichung zwischen den jeweiligen Messungen des ersten und zweiten Sonogrammes ist mit  $s=1,47^\circ$  größer.

### 4.1.8.2 Distaktionswertmessung

Der Vergleich der zwei Distaktionswertmessungen mit dem t-Test für abhängige Stichproben ergab keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Messungen ( $p=0,22$ ). Im Mittel unterschieden sich die Ergebnisse um 0,08mm. Die größte Differenz zwischen den beiden Messungen betrug in einem Fall 1,33mm. In 44 von 60 Fällen (73,3%) war die Differenz  $\leq 0,5$ mm. Die Standardabweichung zwischen der ersten und zweiten Messung des Distaktionsabstandes am gleichen Bild lag im Mittel bei 0,37mm (2-faktorielle hierarchische Varianzanalyse).

## 4.2 Röntgenologische Untersuchung

### 4.2.1 Rücklaufquote

In die Auswertungen einbezogen wurden die Beurteilungen des HD-Grades der Hüftgelenke von 203 Hunden. Dies entspricht einem Anteil von 35,9% der 566 sonographierten Welpen. Die beste Rücklaufquote wurde mit 42 geröntgten Tieren von 60 geschallten Welpen (70%) bei der Rasse Hovawart erzielt. Die schlechteste Rücklaufquote trat mit 11 von 129 Tieren (8,53%) bei der Rasse Deutsche Dogge auf.

Rasse	geschallt	%	Rasse	geschallt	%
	geröntgt			geröntgt	
Deutsche Dogge	129	8,53	Australian Shepherd	14	42,86
	11			6	
Deutscher Schäferhund	90	42,22	Wolfspitz	13	61,54
	38			8	
Labrador	85	56,47	Alaskan Malamute	11	27,27
	48			3	
Hovawart	60	70,00	Rottweiler	8	12,50
	42			1	
Airedale Terrier	44	9,09	Appenzeller Sennenhund	7	28,57
	4			2	
Shelti	20	55,00	Collie	6	16,67
	11			1	
Polski Owczarek Podhalanski	29	37,93	Bernhardiner	5	40,00
	11			2	
Großer Schweizer Sennenhund	21	42,86	Cavalier King Charles Spaniel	2	50,00
	9			1	
Weißer Schweizer Schäferhund	22	22,72			
	5				

**Tabelle 18**

Anzahl der geschallten und geröntgten Tiere, Rücklaufquote in %

#### 4.2.2 Verteilung der HD-Befunde

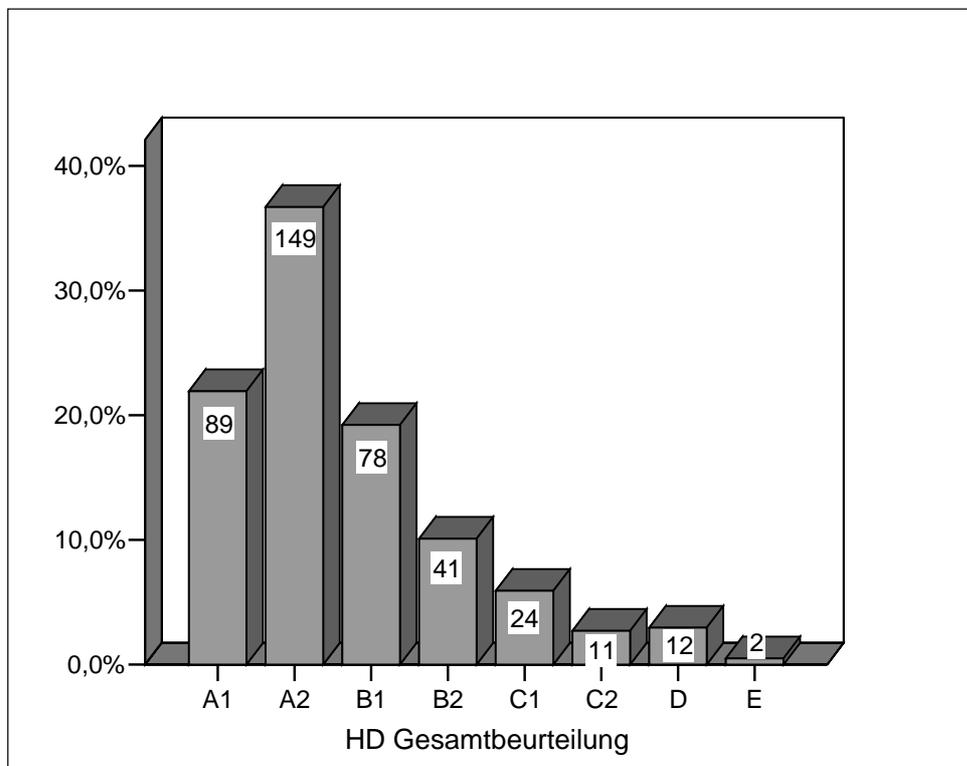
Die Beurteilung der Hüftgelenke erfolgte für jedes Gelenk einzeln und isoliert vom jeweiligen Individuum. Insgesamt wurde in dieser Studie eine niedrige Inzidenz von geringer, mittlerer und schwerer Hüftgelenksdysplasie festgestellt. 238 Hüftgelenke wurden (58,6%) mit dem Grad A1 oder A2 (HD-frei) beurteilt. 119 (29,3%) der geröntgten Gelenke erhielten die Beurteilung B1 oder B2 (Übergangsform). Mit C1 oder C2 (leichte HD) beurteilt wurden 35 Hüftgelenke (8,6%). Eine mittlere HD (Grad D) wurde bei 12 Gelenken (3%) festgestellt. Eine schwere HD (Grad E) lag bei 2 Hüftgelenken (0,5%) eines Tieres vor.

Somit erhielten 49 Hüftgelenke (12,1%) einen positiven HD-Befund (Grad C1 – E) und 357 Gelenke (87,9%) einen negativen HD-Befund (Grad A1 – B2).

HD-Grad	A		B		C		D	E
	1	2	1	2	1	2		
Anzahl der Hüftgelenke	89	149	78	41	24	11	12	2
Anteil in %	21,9	36,7	19,2	10,1	5,9	2,7	3,0	0,5

**Tabelle 19**

*Verteilung der HD-Befunde: Gesamtanzahl und Prozente*



**Diagramm 6**

*Häufigkeit der HD-Befunde: Gesamtanzahl und Prozente*

#### 4.2.2.1 Vergleich der Rassen

Ein Vergleich der HD-Grade war aufgrund der Vielzahl der Rassen und dadurch relativ niedrige Gesamtzahlen nur eingeschränkt möglich.

HD-Grad in %	A		B		C		D	E
	1	2	1	2	1	2		
Deutsche Dogge	18,2	54,2	18,2	4,5	4,5	0	0	0
Deutscher Schäferhund	5,3	35,5	25,0	17,1	6,6	3,9	3,9	2,6
Labrador	33,3	34,4	17,7	5,2	6,3	1,0	2,1	0
Hovawart	32,1	34,5	15,5	9,5	2,4	2,4	3,6	0
Airedale Terrier	0	62,5	37,5	0	0	0	0	0
Shelti	13,6	50,0	13,6	13,6	9,1	0	0	0
Polski Owczarek Podhalanski	27,3	36,4	13,6	9,1	4,5	4,5	4,5	0
Großer Schweizer Sennenhund	5,6	22,2	22,2	5,6	16,7	16,7	11,1	0
Weißer Schweizer Schäferhund	30,0	20,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	0
Australian Shepherd	50,0	33,3	16,7	0	0	0	0	0
Wolfspitz	12,5	31,3	25,0	18,8	12,5	0	0	0
Alaskan Malamute	0	0	33,3	66,7	0	0	0	0
Rottweiler	0	0	100,0	0	0	0	0	0
Appenzeller Sennenhund	0	100,0	0	0	0	0	0	0
Collie	0	100,0	0	0	0	0	0	0
Bernhardiner	25,0	75,0	0	0	0	0	0	0
Cavalier King Charles Spaniel	0	0	50,0	0	50,0	0	0	0

**Tabelle 20**

*Häufigkeit der HD-Befunde in Prozent nach Rassen sortiert*

Lediglich die Rassen Deutscher Schäferhund (38 Tiere), Labrador (48 Tiere) und Hovawart (42 Tiere) waren ausreichend häufig repräsentiert. Im Vergleich dieser drei Rassen fiel ein

hochsignifikanter Unterschied auf ( $p < 0,001$ ). Dabei unterschieden sich der Deutsche Schäferhund jeweils signifikant ( $p < 0,001$ ) vom Labrador und Hovawart. Die Labradore und Hovawarts unterschieden sich nicht signifikant ( $p < 0,788$ ) voneinander. Beim Deutschen Schäferhund trat ein positiver HD-Befund 1,8, bzw. 2,0mal so häufig auf, wie beim Hovawart, bzw. Labrador (17% gegenüber 9,4 bzw. 8,4%). Dem entsprechend seltener wiesen die Schäferhunde den HD-Grad A = HD-frei (40,8% gegenüber 67,7 bzw. 66,6%) auf. Der HD-Grad B = Übergangsform kam beim Deutschen Schäferhund häufiger vor, als bei den beiden Vergleichsrassen (42,1% gegenüber 22,9 bzw. 25,0%).

HD-Grad in %	A	B	C+D+E
<b>Deutscher Schäferhund (n=38)</b>	40,8	42,1	17
<b>Labrador (n=48)</b>	67,7	22,9	9,4
<b>Hovawart (n=42)</b>	66,6	25,0	8,4

**Tabelle 21**

*Häufigkeit der HD-Befunde beim Deutschen Schäferhund, Labrador und Hovawart*

#### 4.2.2.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Im Vergleich der Hunderassen ähnlicher Körpergröße stieg der Anteil HD positiver Hüftgelenke (HD-Grad C+D+E) mit zunehmender Körpergröße von 8,9% bei den kleinen Rassen, über 11,3% bei den mittelgroßen Hunden, auf 18,2% bei den großwüchsigen Hunderassen. Somit hatten 90,1% der kleinwüchsigen Hunderassen, 88,7% der mittelgroßen Hunde und 81,9% der großen Rassen keine HD (HD-Grad A) oder eine Übergangsform (HD-Grad B).

HD-Grad In %	A	B	C+D+E
<b>Große Rassen (n=66)</b>	59,1	22,8	18,2
<b>Mittlere Rassen (n=284)</b>	57,7	31,0	11,3
<b>Kleine Rassen (n=56)</b>	62,5	28,6	8,9

**Tabelle 22**

*Häufigkeit der HD-Befunde nach Körpergröße sortiert*

### 4.2.3 Korrelation der röntgenologischen Parameter mit dem HD-Grad

Alle drei röntgenologischen Einzelparameter, die im Folgenden mit den sonographischen Messwerten verglichen wurden, wiesen eine positive Korrelation mit dem HD-Grad des entsprechenden Hüftgelenkes auf. Die schwächste Korrelation trat bei der Messung des Distraktionsindex auf (Tabelle 23).

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Norberg-Winkel</b>	$r = 0,726$	$p < 0,001$
<b>Distraktionsindex</b>	$r = 0,341$	$p < 0,001$
<b>Lage des Femurkopfzentrums</b>	$r = 0,766$	$p < 0,001$

**Tabelle 23**

*Korrelation der röntgenologischen Parameter mit dem HD-Grad*

### 4.3 Korrelationsanalysen Sonographie – Röntgen

Zur Überprüfung der Zusammenhänge zwischen im Welpenalter sonographisch ermittelten Parametern ( $\alpha$ -Knochenwinkel, dynamische Stressuntersuchung, Distraktionswert) und im Erwachsenenalter radiologisch erhobenen Befunden (HD-Grad, Norberg-Winkel, Distraktionsindex, Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand) wurden Korrelations- und Regressionsanalysen durchgeführt. Anschließend wurden diese Zusammenhänge gesondert für die Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador, Hovawart und für die Gruppen unterschiedlich großer Hunderassen überprüft.

#### 4.3.1 $\alpha$ -Knochenwinkel

##### 4.3.1.1 Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – HD-Grad

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades ( $r=-0,018$ ,  $p=0,722$ ).

$\alpha$ -Knochenwinkel – HD-Grad	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = -0,018$	$p = 0,722$

#### Tabelle 24

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und HD-Grad*

In der einfaktoriellen Varianzanalyse waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den  $\alpha$ -Knochenwinkeln der unterschiedlichen HD-Gruppen nachweisbar ( $p=0,94$ ). Der Mittelwert der  $\alpha$ -Knochenwinkel bei Hunden, welche eine HD und solche, die keine entwickelten war fast identisch ( $82,99^\circ$  gegenüber  $82,91^\circ$ ).

HD-Grad	A		B		C		D	E
	1	2	1	2	1	2		
<b><math>\alpha</math>-Knochenwinkel</b>	83,17	82,77	82,72	82,96	82,92	82,91	82,88	83,25
<b>Standardabweichung</b>	2,16	2,29	2,60	1,68	2,40	1,96	1,52	0,35
<b>Minimum</b>	75,0	76,5	74,0	79,5	78,5	80,0	80,0	83,0
<b>Maximum</b>	87,5	87,5	88,0	86,0	87,0	85,5	85,5	83,5

**Tabelle 25**

Mittelwert, Standardabweichung, Minimum und Maximum des  $\alpha$ -Knochenwinkels und zugehöriger HD-Grad

#### 4.3.1.1.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = 0,071$	$p = 0,544$
<b>Labrador</b>	$r = -0,047$	$p = 0,650$
<b>Hovawart</b>	$r = -0,168$	$p = 0,128$

**Tabelle 26**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und HD-Grad bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart

#### 4.3.1.1.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,136$	$p = 0,276$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,055$	$p = 0,357$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = -0,140$	$p = 0,304$

**Tabelle 27**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und HD-Grad nach Körpergröße sortiert

#### 4.3.1.2 Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – Norberg-Winkel

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels ( $r=0,071$ ,  $p=0,182$ ).

$\alpha$ -Knochenwinkel – Norberg-Winkel	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = -0,071$	$p = 0,182$

**Tabelle 28**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Norberg-Winkel

#### 4.3.1.2.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = -0,275$	$p = 0,086$
<b>Labrador</b>	$r = 0,046$	$p = 0,657$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,118$	$p = 0,284$

**Tabelle 29**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Norberg-Winkel bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart

#### 4.3.1.2.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
Große Rassen	$r = -0,203$	$p = 0,141$
Mittlere Rassen	$r = -0,031$	$p = 0,630$
Kleine Rassen	$r = -0,137$	$p = 0,315$

**Tabelle 30**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Norberg-Winkel nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.1.3 Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – Distractionsindex

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und dessen Distractionsindex ( $r=0,110$ ,  $p=0,081$ ).

$\alpha$ -Knochenwinkel – Distractionsindex	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = - 0,110$	$p = 0,081$

**Tabelle 31**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Distractionsindex*

#### 4.3.1.3.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und dessen Distractionsindex für die Rassen Deutscher Schäferhund und Labrador nachgewiesen werden. Eine geringe positive Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Distractionsindex besteht beim Hovawart. Demnach führt ein großer  $\alpha$ -Winkel beim ausgewachsenen Hund zu einem größeren Distractionsindex.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = -0,091$	$p = 0,610$
<b>Labrador</b>	$r = 0,049$	$p = 0,651$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,340$	$p = 0,017$

**Tabelle 32**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Distaktionsindex bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart

#### 4.3.1.3.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und dessen Distaktionsindex für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,062$	$p=0,736$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,125$	$p=0,086$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = -0,122$	$p=0,520$

**Tabelle 33**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Distaktionsindex nach Körpergröße sortiert

#### 4.3.1.4 Korrelation $\alpha$ -Knochenwinkel – Lage des Femurkopfzentrums

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand ( $r=0,035$ ,  $p=0,508$ ).

$\alpha$ -Knochenwinkel – Femurkopfzentrum	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = 0,035$	$p = 0,508$

**Tabelle 34**

Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand

#### 4.3.1.4.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = 0,236$	$p = 0,143$
<b>Labrador</b>	$r = 0,040$	$p = 0,703$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,163$	$p = 0,139$

**Tabelle 35**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.1.4.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen  $\alpha$ -Knochenwinkel eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,215$	$p = 0,118$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = 0,024$	$p = 0,707$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = 0,001$	$p = 0,992$

**Tabelle 36**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkel und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand nach Körpergröße sortiert*

### 4.3.2 Dynamische Stressuntersuchung

#### 4.3.2.1 Korrelation dynamische Stressuntersuchung – HD-Grad

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades ( $r=0,077$ ,  $p=0,162$ ).

Dynamische Stressuntersuchung – HD-Grad	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = - 0,077$	$p = 0,162$

**Tabelle 37**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und HD-Grad*

#### 4.3.2.1.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = -0,159$	$p = 0,170$
<b>Labrador</b>	$r = 0,006$	$p = 0,952$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,071$	$p = 0,604$

**Tabelle 38**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und HD-Grad bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.2.1.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades für die Gruppen großer und mittlerer Rassen nachgewiesen werden. Eine geringe negative Korrelation zwischen passiver Gelenklockerheit und HD-Grad bestand bei der Gruppe der kleinen Hunderassen. Demnach führte eine geringe passive Gelenklockerheit zu einer schlechteren Beurteilung des HD-Grades beim ausgewachsenen Hund.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,159$	$p = 0,328$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,054$	$p = 0,390$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = -0,346$	$p = 0,033$

**Tabelle 39**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und HD-Grad nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.2.2 Korrelation dynamische Stressuntersuchung – Norberg-Winkel

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels ( $r=0,034$ ,  $p=0,561$ ).

Dynamische Stressuntersuchung – Norberg-Winkel	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = 0,034$	$p = 0,561$

**Tabelle 40**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Norberg-Winkel*

#### 4.3.2.2.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = -0,086$	$p = 0,597$
<b>Labrador</b>	$r = -0,063$	$p = 0,549$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,065$	$p = 0,632$

**Tabelle 41**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Norberg-Winkel bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.2.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,077$	$p = 0,675$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,005$	$p = 0,941$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = 0,031$	$p = 0,851$

**Tabelle 42**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Norberg-Winkel nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.2.3 Korrelation dynamische Stressuntersuchung – Distraktionsindex

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und dessen Distraktionsindex ( $r=0,030$ ,  $p=0,658$ ).

Dynamische Stressuntersuchung – Distraktionsindex	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = - 0,030$	$p = 0,658$

**Tabelle 43**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Distraktionsindex*

#### 4.3.2.3.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und dessen Distraktionsindex für die Rassen Deutscher Schäferhund und Labrador nachgewiesen werden. Eine geringe negative Korrelation zwischen passiver Gelenklockerheit und Distraktionsindex bestand beim Hovawart. Demnach führte eine geringe passive Gelenklockerheit zu einem größeren Distraktionsindex.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = 0,041$	$p = 0,819$
<b>Labrador</b>	$r = -0,022$	$p = 0,841$
<b>Hovawart</b>	$r = -0,386$	$p = 0,024$

**Tabelle 44**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation dynamischer Stressuntersuchung und Distraaktionsindex bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.2.3.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und dessen Distraaktionsindex für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,088$	$p = 0,682$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,015$	$p = 0,845$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = -0,066$	$p = 0,769$

**Tabelle 45**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation dynamischer Stressuntersuchung und Distraaktionsindex nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.2.4 Korrelation dynamische Stressuntersuchung – Lage des Femurkopfzentrums

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand ( $r=0,031$ ,  $p=0,602$ ).

<b>Dynamische Stressuntersuchung – Femurkopfzentrum</b>	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = 0,031$	$p = 0,602$

**Tabelle 46**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand*

#### 4.3.2.4.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = 0,067$	$p = 0,679$
<b>Labrador</b>	$r = 0,106$	$p = 0,308$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,028$	$p = 0,836$

**Tabelle 47**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.2.4.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,140$	$p = 0,445$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = 0,025$	$p = 0,718$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = 0,077$	$p = 0,647$

**Tabelle 48**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen dynamischer Stressuntersuchung und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand nach Körpergröße sortiert*

### 4.3.3 Distraktionswert

#### 4.3.3.1 Korrelation Distraktionswert – HD-Grad

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades ( $r=0,025$ ,  $p=0,628$ ).

Distraktionswert – HD-Grad	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = - 0,025$	$p = 0,628$

**Tabelle 49**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distraktionswert und HD-Grad*

#### 4.3.3.1.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = 0,022$	$p = 0,851$
<b>Labrador</b>	$r = -0,087$	$p = 0,423$
<b>Hovawart</b>	$r = -0,140$	$p = 0,213$

**Tabelle 50**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distraktionswert und HD-Grad bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.3.1.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen HD-Grades für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,131$	$p = 0,303$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,073$	$p = 0,234$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = 0,063$	$p = 0,648$

**Tabelle 51**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation Distractionswert und HD-Grad nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.3.2 Korrelation Distractionswert – Norberg-Winkel

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen Distractionswert eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels ( $r=0,016$ ,  $p=0,775$ ).

Distractionswert – Norberg-Winkel	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = - 0,016$	$p = 0,775$

**Tabelle 52**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distractionswert und Norberg-Winkel*

#### 4.3.3.2.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distractionswert eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = -0,152$	$p = 0,356$
<b>Labrador</b>	$r = 0,051$	$p = 0,641$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,181$	$p = 0,105$

**Tabelle 53**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distractionswert und Norberg-Winkel bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.3.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und der Beurteilung dessen Norberg-Winkels für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
Große Rassen	$r = - 0,060$	$p = 0,670$
Mittlere Rassen	$r = - 0,006$	$p = 0,928$
Kleine Rassen	$r = - 0,066$	$p = 0,633$

**Tabelle 54**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distraktionswert und Norberg-Winkel nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.3.3 Korrelation Distraktionswert – Distraktionsindex

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und dessen Distraktionsindex ( $r=0,095$ ,  $p=0,147$ ).

Distraktionswert – Distraktionsindex	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = - 0,095$	$p = 0,147$

**Tabelle 55**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distraktionswert und Distraktionsindex*

#### 4.3.3.3.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und dessen Distraktionsindex für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund und Hovawart nachgewiesen werden. Eine geringe negative Korrelation zwischen Distraktionswert und Distraktionsindex bestand beim Labrador. Demnach führte ein niedriger Distraktionswert zu einem größeren Distraktionsindex.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = -0,145$	$p = 0,413$
<b>Labrador</b>	$r = -0,307$	$p = 0,007$
<b>Hovawart</b>	$r = -0,257$	$p = 0,084$

**Tabelle 56**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distractionswert und Distractionsindex bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.3.3.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distractionswert eines Hüftgelenkes und dessen Distractionsindex für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = -0,070$	$p = 0,276$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = -0,146$	$p = 0,357$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = 0,169$	$p = 0,304$

**Tabelle 57**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distractionswert und Distractionsindex nach Körpergröße sortiert*

#### 4.3.3.4 Korrelation Distractionswert – Lage des Femurkopfzentrums

Die Korrelationsanalyse ergab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem gemessenen Distractionswert eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand ( $r=0,054$ ,  $p=0,321$ ).

Distractionswert – Femurkopfzentrum	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
	$r = 0,054$	$p = 0,321$

**Tabelle 58**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distractionswert und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand*

#### 4.3.3.4.1 Vergleich der Rassen

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand für die ausgewählten Rassen Deutscher Schäferhund, Labrador und Hovawart nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Deutscher Schäferhund</b>	$r = 0,055$	$p = 0,740$
<b>Labrador</b>	$r = 0,053$	$p = 0,628$
<b>Hovawart</b>	$r = 0,160$	$p = 0,154$

**Tabelle 59**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation zwischen Distraktionswert und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart*

#### 4.3.3.4.2 Vergleich der Gruppen nach Körpergröße

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen dem gemessenen Distraktionswert eines Hüftgelenkes und der Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand für die Gruppen großer, mittlerer und kleiner Rassen nachgewiesen werden.

	Korrelationskoeffizient	Irrtumswahrscheinlichkeit
<b>Große Rassen</b>	$r = 0,029$	$p = 0,836$
<b>Mittlere Rassen</b>	$r = 0,068$	$p = 0,305$
<b>Kleine Rassen</b>	$r = 0,027$	$p = 0,845$

**Tabelle 60**

*Korrelationskoeffizient und Irrtumswahrscheinlichkeit für die Korrelation Distraktionswert und Lage des Femurkopfzentrums zum dorsalen Azetabulumrand nach Körpergröße sortiert*

## 5. DISKUSSION

Neben dem primären Ziel der vorliegenden Arbeit, die Eignung der sonographischen Untersuchung der Hüftgelenke von Hundewelpen durch Messung des  $\alpha$ -Knochenwinkels, Einschätzung der passiven Gelenklockerheit und Ermittlung des Distractionswertes als Screenigverfahren zur Frühdiagnostik der Hüftgelenksdysplasie des Hundes zu überprüfen, konnte die Technik des Hüftultraschalls beim Hundewelpen weiterentwickelt und geprüft werden.

### 5.1 Sonographische Untersuchung

#### 5.1.1 Studiendesign

Zu keinem Zeitpunkt der Studie traten Schwierigkeiten auf, genügend Hundezüchter für die Untersuchung der Welpen zu gewinnen, obwohl die Tiere, im Gegensatz zu anderen Studien (KRESKEN, 1991; GRESHAKE und ACKERMANN, 1992; FINK, 1996; ADAMS et al., 2000; OHLERTH et al., 2003), fast ausschließlich von Privatpersonen gehalten wurden. Auch das notwendige Scheren des Haarkleides wurde von den Züchtern problemlos toleriert, im Gegensatz zu Berichten von Müller (2002).

Wie in den Studien von Greshake und Ackermann (1992) und Müller (2002) waren die Welpen bei der Durchführung der sonographischen Untersuchungen nicht narkotisiert. Die Mehrzahl der veterinärmedizinischen Studien wurden jedoch an narkotisierten Welpen durchgeführt (KRESKEN, 1991; O'BRIEN et al., 1997; ADAMS et al., 2000; OHLERTH et al., 2003). Die Messungen des  $\alpha$ -Knochenwinkels konnte dennoch in aller Regel zügig und problemlos durchgeführt werden. Mehr Schwierigkeiten traten bei den dynamischen Ultraschalluntersuchungen auf. Durch die Abwehrbewegungen der Welpen war es nicht immer möglich, ein Standbild in der korrekten Schnittebene während der maximalen Distraction zu erhalten. Dadurch konnte nicht für alle Hüftgelenke ein Distractionswert ausgemessen werden.

Entsprechend vorangegangener Erfahrungen mit dem orthopädischem Ultraschall (KRAMER, 1992; MICHELE, 2000) und Hüftultraschall (FLÖCK, 2002) beim Hund, konnten durch die Verwendung von Linearultraschallköpfen mit einem hohen Frequenzspektrum (6 – 15 MHz)

detailreiche Hüftsonogramme erstellt werden. Eine kontrastreiche Einstellung erleichterte das Auffinden der knöchernen und knorpeligen Strukturen. Die Verwendung von Sektorschallköpfen oder konvexen Schallköpfen, wie sie in der Arbeit von Müller (2002) zu Anwendung kamen, kann nicht empfohlen werden, da sie zu nicht unerheblichen Winkelverzerrungen führen können (GRAF und SOLDNER, 1989).

Die heterogene Zusammensetzung der Studienpopulation machte eine Auswertung der Ergebnisse in manchen Teilen schwierig. Trotz der großen Gesamtzahl der untersuchten Tiere standen letztlich nur bei den Rassen DSH, Labrador und Hovawart ausreichende Daten zur Verfügung, um einen statistischen Vergleich zwischen den Ultraschalluntersuchungen und der radiologischen Auswertungen für die einzelnen Rassen durchzuführen. Eine Beschränkung auf weniger Rassen ist für zukünftige Untersuchungen zu empfehlen.

Alle sonographischen Untersuchungen wurden von der gleichen Person durchgeführt, um ggf. auftretende Abweichungen zwischen verschiedenen Untersuchern auszuschließen. Die Röntgenaufnahmen wurden von verschiedenen Personen mit zum Teil beträchtlichem Erfahrungsunterschied angefertigt. Dadurch ist es möglich, dass es bei der Anfertigung der Distraktionsaufnahmen zu nicht unerheblichen Untersucher-bedingten Abweichungen gekommen sein könnte.

### **5.1.2 Sonoanatomie und morphologische Entwicklung**

Der juvenile Femurkopf besteht aus dem Femurkopfverknöcherungskern und dem hyalin-knorpelig präformiertem Anteil des Femurkopfes. Kresken (1991) konnte das Ossifikationszentrum beim Beagle ab dem 10. Lebenstag, Greshake und Ackermann (1992) beim Springer Spaniel im Alter von einer Woche und Flöck (2002) beim Deutschen Schäferhund ab dem 16. Lebenstag, sonographisch darstellen. Die jüngsten in dieser Arbeit untersuchten Welpen wurden am 17. Lebenstag sonographiert und wiesen ebenfalls schon alle eine beginnende Verknöcherung des Femurkopfes auf.

Durch die entwicklungsbedingten morphologischen Veränderungen des Verknöcherungskernes erschien es für Distraktionswertmessungen sinnvoller, die Oberfläche des hyalin-knorpelig präformierten Anteiles des Femurkopfes zu verwenden. Diese war ab dem ersten Lebenstag darstellbar (FLÖCK, 2002) und veränderte sich in ihrer Position und Gestalt nicht.

Ab der achten Lebenswoche ist die Verknöcherung so weit fortgeschritten, dass der Unterrand des Os ilium nicht mehr einsehbar ist (KRESKEN, 1991; FLÖCK, 2002). In dieser Arbeit war es durch die Beschränkung des Untersuchungsalters auf die ersten 50 Lebenstage bei allen Tieren möglich, den Unterrand des Os ilium darzustellen.

Für die Messungen wurde die laterale Standardschnittebene aufgesucht. Sie entspricht der Standardebene aus der Humanmedizin und wurde in den Untersuchungen von Kresken (1991) Greshake und Ackermann (1992), Trout et al. (1993), Fink (1996), Flöck (2002) und Müller (2002) auf den Hund übertragen. Um die in der Humanmedizin geforderten drei Fixpunkte (Unterrand Os ilium, Labrum acetabulare, gerader Verlauf der Darmbeinsilhouette) darzustellen, musste der Schallkopf jedoch im Gegensatz zum pädiatrischen Ultraschall gekippt und gedreht werden (KRESKEN, 1991; FLÖCK, 2002). Bis auf Flöck (2002) erwähnen die veterinärmedizinischen Autoren bei der Beschreibungen der in ihren Studien aufgesuchten Schnittebenen nicht, ob diese Vorgaben stets exakt eingehalten wurden. In Ermangelung der Darstellbarkeit des Labrum acetabulare definiert Müller (2002) eine Schnittebene, die durch eine gerade Abbildung des Os ilium, die Darstellung des Unterrandes des Os ilium und die Abbildung des Azetabulums mit einem möglichst großen Durchmesser charakterisiert ist. Welpen, die älter als 18 Tage alt sind, konnten nach ihren Ergebnissen nicht sonographisch untersucht werden, da die fortschreitende Verknöcherung des Femurkopfes zu einem späteren Zeitpunkt die Einsicht in das gesamte Azetabulum verhinderte. In der hier vorliegenden Arbeit wurde darauf geachtet, stets die drei geforderten Orientierungspunkte aufzufinden.

Auf eine Messung des  $\beta$ -Knorpelwinkels wurde in dieser Studie verzichtet, da in einer vorangegangenen Arbeit (FLÖCK, 2002) gezeigt werden konnte, dass es bei der  $\beta$ -Knorpelwinkelmessung zu hohen Standardabweichungen kommt, weil die exakte Bestimmung des Mittelpunktes des Labrum acetabulare schwierig ist. In der Arbeit von Müller (2002) konnte das Labrum nicht dargestellt werden. Fink (1996) gelang dies beim Rottweiler ab dem Alter von 17 Tagen. Dabei ist zu beachten, dass für die Beurteilung der Hüftgelenke der  $\alpha$ -Knochenwinkel bestimmend ist und der  $\beta$ -Knorpelwinkel nur eine sekundäre Bedeutung hat (GRAF, 2000).

### 5.1.3 $\alpha$ -Knochenwinkelmessung

Mittelwerte für  $\alpha$ -Knochenwinkel beim Säugling werden von Graf (2000) mit  $60^\circ$  bis  $65^\circ$  im Laufe des ersten Lebensjahres angegeben (Messbereich  $33^\circ$  bis  $72^\circ$  (GRAF, 1987)). In der vorliegenden Arbeit wurden  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $73^\circ$  bis  $90^\circ$  bei einem Gesamtmittelwert von  $82,8^\circ$  gemessen, was den Ergebnissen der übrigen veterinärmedizinischen Studien entspricht. Kresken (1991) gab für Beagle Werte von  $72^\circ$  bis  $83^\circ$  bei einem Mittelwert von  $78,3^\circ$  an. Für Rottweiler wurden Winkel von  $65^\circ$  bis  $79^\circ$  angegeben (Mittelwert =  $76,2^\circ$ ) (FINK, 1996). Trout (1993) bestimmte für den Labrador  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $62^\circ$  bis  $85^\circ$ . 67% der gemessenen Winkel lagen zwischen  $71^\circ$  und  $80^\circ$ . Für die DSH-Welpen wurden von Flöck (2002) Winkel von  $72^\circ$  bis  $86,2^\circ$  (Mittelwert =  $78,4^\circ$ ) ermittelt. Im Vergleich sind die  $\alpha$ -Knochenwinkel der Säuglinge gegenüber den beim Hundewelpen ermittelten Werten deutlich niedriger. Wie Flöck (2002) schon feststellte, ist es daher nicht möglich, die humanmedizinische Typeneinteilung der Hüftgelenke zu übernehmen. Lediglich Müller (2002) maß in ihrer Arbeit mit den humanmedizinischen Werten vergleichbare  $\alpha$ -Knochenwinkel. Sie ermittelte Werte von  $42,6^\circ$  bis  $81,5^\circ$  bei einem Mittelwert von ca.  $62^\circ$ . Allerdings verwendete sie für ihre Messungen als Einzige einen Konvexschallkopf. Einen  $\alpha$ -Knochenwinkel von  $60^\circ$  gibt sie als Wendepunkt für oder gegen die Entwicklung einer HD an.

Insgesamt wiesen die gemessenen Winkel eine Spannweite von  $17^\circ \pm 2,31$  auf (Differenz zwischen Minimum und Maximum). Kresken maß Werte innerhalb von  $11^\circ \pm 2,94$  links und  $\pm 3,42$  rechts. Bei Fink trat eine Differenz von  $14^\circ \pm 3$  auf. Flöck maß Werte innerhalb von  $14,2^\circ \pm 3,96$  links und  $\pm 4,14$  rechts. Die größte Spannweite trat bei Müller mit  $38,9^\circ \pm 6$  auf. Im Vergleich zeigt sich, dass in der vorliegenden Arbeit trotz der relativ großen Differenz zwischen kleinstem und größtem gemessenen Winkel eine niedrige Streuung vorlag.

Entsprechend den vorherigen Studien (KRESKEN, 1991; FLÖCK, 2002) gibt es eine hohe signifikante Korrelation zwischen dem linken und rechten Hüftgelenk eines Tieres. Bei einzelnen Tieren wurden im Seitenvergleich jedoch auch Unterschiede bis zu  $11^\circ$  festgestellt.

Die mit dem Messprogramm des Ultraschallgerätes gemessenen Winkel zeigten eine hohe Korrelation mit den manuell nachgemessenen Winkeln. Der signifikante Unterschied von im Mittel  $1,04^\circ$  kann dabei vernachlässigt werden, da die Gesamtverteilung der Messungen übereinstimmt. Die manuelle Nachmessung kann als Kontrolle empfohlen werden, um bei größeren Abweichungen potentielle Fehlmessungen aus der weiteren Analyse herauszufiltern.

Die zwei Wiederholungsmessungen innerhalb desselben Hüftgelenkes zeigten eine hohe Übereinstimmung (Varianz =  $0,43^\circ \pm 0,66$ ). Ähnliche Werte konnte Flöck bei fünf Wiederholungsmessungen ermitteln (Varianz =  $0,78^\circ$  bis  $0,88^\circ \pm 0,95-0,97$ ). Dabei muss beachtet werden, dass für diese Wiederholungsmessungen die Schnittebene zwar jeweils neu aufgesucht wurde, die Messungen aber unmittelbar hintereinander erfolgten und somit nicht verblindet waren.

In der verblindeten Wiederholbarkeitsstudie erwies sich die Variabilität der manuellen Winkelmessungen innerhalb eines Untersuchers (intraobserver variability) mit einer Standardabweichung von  $1,09^\circ$  als niedrig. Eine Wiederholbarkeitsstudie zwischen unterschiedlichen Untersuchern (interobserver variability) wurde nicht durchgeführt.

Der Vergleich verschiedener Rassen gestaltete sich aufgrund der sehr unterschiedlichen Anzahl an untersuchten Tieren schwierig. Signifikant größere  $\alpha$ -Knochenwinkel bei einer niedrigen Streuung, traten in dieser Arbeit bei der Rasse Hovawart auf. In der bekannten Literatur wurde diese Rasse bisher noch nicht untersucht, sodass Vergleiche nicht möglich waren. Müller (2002) stellte in ihrer Arbeit beim DSH größere Winkel im Vergleich zum Golden Retriever und Boxer fest. Die kleinsten Winkel wurden beim Rottweiler gemessen. In der vorliegenden Arbeit konnten signifikant größere Winkel für den DSH nicht bestätigt werden. Die untersuchten acht Rottweiler-Welpen wiesen jedoch den 2. kleinsten Mittelwert auf. Auch im Vergleich der Gesamtmittelwerte von Beagle (KRESKEN, 1991), Rottweiler (FINK, 1996) und DSH (FLÖCK, 2002) wurden für die Rottweiler die niedrigsten Winkel beschrieben. Dabei müssen jedoch individuelle Unterschiede in der Messtechnik der Untersucher berücksichtigt werden.

Vergleicht man die Gruppen verschieden großer Hunderassen miteinander, unterschieden sich die großen Hunderassen von den kleinwüchsigen und mittelgroßen Rassen durch einen signifikant größeren  $\alpha$ -Knochenwinkel. Der Unterschied betrug jedoch nur  $1,4^\circ$ .

Flöck (2002) wies in seiner Arbeit, analog zur Humanmedizin, einen mit zunehmendem Alter größer werdenden  $\alpha$ -Knochenwinkel nach. Im Gegensatz dazu konnte in der vorliegenden Arbeit keine Reifung der Hüftgelenke in diesem Sinne festgestellt werden. Im Mittel nahmen die gemessenen Winkel bei den Tieren mit gesunden Hüftgelenken mit jedem Lebensjahr sogar um  $0,1^\circ$  ab.

#### 5.1.4 Dynamische Stressuntersuchung und Distractionswertmessung

Die Gelenklockerheit scheint ein wesentlicher Faktor bei der Entwicklung der HD zu sein (RISER et al., 1985; SMITH et al., 1990). In dieser Studie wurde die dorsolaterale Distractionsfähigkeit der Hüftgelenke überprüft. Flöck (2002) führte entsprechende Untersuchungen an toten DSH-Welpen durch. Diese Kraftwirkung entspricht der natürlichen Belastungsrichtung beim stehenden Hund (MONTAVON, 1992). Drei andere Studien (O'BRIEN et al., 1997; ADAMS et al., 2000; OHLERTH et al., 2003) untersuchten die laterale Luxierbarkeit des Hüftgelenks in Anlehnung an die Distractionstechnik nach PennHip, wodurch Vergleiche nur bedingt möglich waren.

Die dynamische Stressuntersuchung und Distractionswertmessung konnten durch die Verwendung der Oberfläche des knorpeligen Femurkopfes als Messpunkt vom ersten Lebenstag an durchgeführt werden. Wurde das Verknöcherungszentrum des Femurkopfes zur Distractionswertmessung verwendet, konnten erst ab dem Alter von sechs Wochen verlässliche Messungen durchgeführt werden, da das Verknöcherungszentrum bei jüngeren Welpen eine zu unregelmäßig Oberfläche aufwies (O'BRIEN et al., 1997).

Die Hüftgelenklockerheit wurde zunächst subjektiv eingeschätzt, da es durch die Abwehrbewegungen der Welpen nicht immer möglich war, ein auswertbares Standbild während der maximalen Distraction zu erhalten. Die Autoren von zwei weiteren Studien berichteten ebenfalls, dass sie Probleme hatten, den maximalen Distractionswert zu messen, da die Distractionsrichtung des Femurkopfes mitunter aus der sonographischen Schnittebene abwich (O'BRIEN et al., 1997; OHLERTH et al., 2003). Statistisch ließ sich dennoch eine signifikante, wenn auch niedrige Korrelation zwischen der subjektiven Einschätzung der Gelenklockerheit und der Messung des Distractionswertes nachweisen.

Insgesamt wurden in dieser Arbeit Distractionswerte bis zu 4,5mm gemessen. Die durchschnittliche Distraction lag mit 0,74mm unter dem Mittelwert von 1,8mm, den Flöck (2002) für den DSH angab. Eine laterale Distractionsfähigkeit von im Mittel 2,6mm bzw. 2,7mm konnten O'Brien et al. (1997), bzw. Adams et al. (2000) dokumentieren. Allerdings wurden diese Untersuchungen an toten oder anästhesierten Welpen durchgeführt. Es muss daher von einer stärkeren Relaxation der Muskulatur ausgegangen werden. Zusätzlich sind Fehlmessungen unwahrscheinlicher, die durch die Auswertung von Bildern entstehen, die aufgrund Abwehrbewegungen des Welpen verfälscht wurden.

Eine signifikant höhere passive Gelenklockerheit wurde für den Labrador nachgewiesen. Auch in der Distractionswertmessung wurde der höchste Mittelwert (0,88mm) beim Labrador ermittelt. Die niedrigste Distractionsfähigkeit trat beim Hovawart auf (0,65mm), wobei die Unterschiede nicht statistisch signifikant sind. Auch in den Untersuchungen von Adams et al. (2000) wiesen die Labradore sonographisch lockerere Hüftgelenke auf als die Vergleichshunde.

Die statistisch signifikante Lockerheit bei Hunden kleiner Rassen lässt sich vermutlich damit erklären, dass sich bei diesen Welpen eine Distraction einfacher auszulösen war und dass schon eine geringe Lockerheit verhältnismäßig deutlich erschien. Ohlerth et al. (2003) umgingen das Problem der rassebedingten Größenunterschiede durch die Errechnung eines vom Femurkopfradius abhängigen Distractionsindex. Ein Anstieg des Distractionswertes mit zunehmendem Alter, wie er bei O'Brien et al. (1997) und Flöck (2002) beschrieben wurde, konnte nicht beobachtet werden.

## **5.2 Röntgenologische Untersuchung**

Die Anfertigung der Röntgenbilder war nicht zwangsläufig damit verbunden, die Bilder zur offiziellen Auswertung durch die Zuchtverbände einzuschicken. Trotzdem konnte nur für 35,9% der sonographierten Welpen beim ausgewachsenen Hund eine röntgenologische Beurteilung der Hüftgelenke durchgeführt werden. Die Aufklärung über die Notwendigkeit der Röntgenuntersuchungen sowohl für diese Studie als auch für den zuchthygienischen Fortschritt der Rassen, erfolgte bei Abgabe der Welpen über die Züchter. Ein entsprechendes Informationsblatt zur Weitergabe an die neuen Welpenbesitzer wurde den Züchtern nach Durchführung der Ultraschalluntersuchung in ausreichender Anzahl ausgehändigt. Eine ausgesprochen hohe Bereitschaft bestand bei den Besitzern von Hovawarts, die schlechteste bei den Deutschen Doggen und Airedale Terrier Besitzern. Durch die sehr unterschiedliche Röntgenpräsenz entsteht der Eindruck, dass die Züchter der verschiedenen Rassen ein unterschiedliches Interesse am Hüftgelenkzustand ihrer Tiere haben. Müller (2002) erreichte in ihrer Studie durch eine Kautio, die der Züchter an den Käufer nach Durchführung der Röntgenaufnahmen rückzahlte, eine Rücklaufquote von 45,4%, obwohl die Bilder zwangsläufig offiziell ausgewertet wurden.

12,1% der geröntgten Hunde entwickelten im Alter von 12 bis 18 Monaten röntgenologische Anzeichen einer Hüftgelenksdysplasie. Von den drei in der Röntgenuntersuchung am häufigsten vertretenen Hunderassen entwickelte der DSH am häufigsten dysplastische Hüftgelenke (17%). Beim Hovawart und Labrador war mit 9,4% bzw. 8,4% das Vorkommen der HD deutlich niedriger als die in der Literatur angegebene Prävalenz der HD beim Hund von 19% (RETTENMAIER et al., 2002). Dieses Ergebnis impliziert, dass an der vorliegenden Studie vornehmlich Züchter mit Elterntieren teilgenommen haben, die eine geringe Veranlagung zur Entwicklung einer HD vererben, und dass die Besitzer ggf. betroffener Tiere diese nicht zum Röntgen vorstellten. Die niedrige Prävalenz der HD in der untersuchten Hundepopulation erschwerte die statistische Auswertung und Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse. Ähnliche Erfahrungen machten Ohlerth et al. (2003) bei ihrer Studie.

Insgesamt trat die HD bei großwüchsigen Hunden häufiger auf als bei kleinwüchsigen Rassen. Dies bestätigt, dass es sich bei der HD vor allem um eine Erkrankung der großen Hunde handelt (LINNMANN, 1998).

### **5.3 Korrelationen Sonographie - Röntgen**

#### **5.3.1 $\alpha$ -Knochenwinkel**

Die Ergebnisse dieser Studie suggerieren, dass  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen beim Hund im Alter von 16 bis 49 Tagen nicht mit der Entwicklung einer Hüftgelenksdysplasie im Alter von 12 bis 18 Monaten korrelieren. Kein Unterschied bestand zwischen den Mittelwerten der  $\alpha$ -Knochenwinkel bei Hunden, die eine HD entwickelten und denen, die keine HD entwickelten ( $82,99^\circ$  gegenüber  $82,91^\circ$ ). In der Analyse der einzelnen Hunderassen und Gruppen unterschiedlicher Körpergröße traten ebenfalls keine Korrelationen zwischen der sonographischen Winkelmessung und der HD Beurteilung auf. Diese Ergebnisse unterscheiden sich von den Ergebnissen der Arbeit von Fink (1996). Sie ermittelte bei den drei Hüftgelenken, die einen Norberg-Winkel von kleiner als  $105^\circ$  aufwiesen,  $\alpha$ -Knochenwinkel, die um mindestens eine Standardabweichung kleiner waren als der Mittelwert. Eine statistische Auswertung der Daten erfolgte nicht. Müller (2002) konnte, bei vier untersuchten Rassen, eine statistisch signifikante Beziehung zwischen  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen und HD-Befund beim Golden Retriever nachweisen, nicht jedoch für Rottweiler, Boxer und DSH. Sieben von neun Golden Retrievern, welche eine mittlere oder schwere HD entwickelten, wiesen einen  $\alpha$ -Winkel

kleiner als  $60^\circ$  auf. Bei den übrigen zwei Tieren wurde zwar ein Winkel größer als  $60^\circ$  gemessen, aber sie wurden nachträglich als Messfehler eingestuft. In gleicher Weise verfuhr sie mit zwei weiteren Tieren der insgesamt 14 Hunde mit mittlerer oder schwerer HD, was den Wert dieser Ergebnisse fraglich erscheinen lässt.

Im Vergleich der einzelnen radiologischen Parameter (Norberg-Winkel, Distaktionsindex, Lage des Femurkopfzentrums) konnte für den Hovawart eine signifikante Korrelation zwischen den  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen und den Messungen des Distaktionsindex ermittelt werden. Demnach wiesen Hovawarts mit großen  $\alpha$ -Knochenwinkeln im Welpenalter einen hohen Distaktionsindex als adulter Hund auf. Dieses Ergebnis steht im Widerspruch zur Hypothese, dass ein großer  $\alpha$ -Knochenwinkel ein Maß für eine fortgeschrittene knöcherne Ausprägung der Hüftgelenkspfanne ist (GRAF, 2000), ein hoher Distaktionsindex aber die Entwicklung einer HD wahrscheinlich werden lässt (SMITH et al., 1990). Zumindest beim Hovawart scheint es so zu sein, dass ein im Welpenalter gut ausgebildetes Azetabulum nicht vor der Entwicklung einer Hüftgelenklockerheit schützt. Dabei muss beachtet werden, dass es sich bei einem mittleren Distaktionsindex von 0,28 beim Hovawart in dieser Studie um Tiere mit vergleichsmäßig sehr festsitzenden Hüftgelenken handelte.

Eine mögliche Erklärung dafür, dass sich die  $\alpha$ -Knochenwinkelmessung beim Hundewelpen, im Gegensatz zum Säugling, nicht zur Frühdiagnostik der Hüftgelenkdysplasie eignet, könnte sein, dass sich die HD beim Hund erst zu einem späteren Zeitpunkt entwickelt, was die These der erblich bedingten postnatalen Fehlentwicklung des Hüftgelenkes beim Hund im Gegensatz zur kongenitalen Hüftgelenkdysplasie des Menschen bekräftigt. Besonders interessant erscheint in diesem Zusammenhang das Schicksal von Welpen Nr. 263 (Hovawart), welcher im Alter von wenigen Monaten eine Fraktur der linken Tibia erlitt, die konservativ behandelt wurde. Dieses Tier entwickelte auf der betroffenen Seite eine HD Grad D. Das rechte Hüftgelenk, wie auch die überwiegende Mehrheit der Geschwistertiere (7 geröntgte Wurfgeschwister, 12 Gelenke Grad A, drei Gelenke Grad B), wies keine HD auf (Grad A2). Demnach könnte die mangelhafte oder unphysiologische Belastung der verletzten Gliedmaße im Verband zu einer dysplastischen Ausbildung des Gelenkes geführt haben. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können einen Beitrag in der Diskussion liefern, zu welchem Zeitpunkt HD beim Hund entsteht. Dies hat besondere Bedeutung bei Rechtsstreitigkeiten im Zusammenhang mit dem Kauf von Welpen. Subluxierte oder luxierte Hüftgelenke (Typ III und IV nach Graf (2000)) konnten, wie auch in allen weiteren veterinärmedizinischen Studien, nicht dargestellt werden. Sie scheinen beim Hundewelpen nicht vorzukommen.

Eine zusätzliche Schwierigkeit bestand beim Hund in der Standardisierung der sonographischen Schnittebene. Durch die notwendige Kippung und Drehung des Schallkopfes fehlt ein Fixpunkt, der im pädiatrischen Hüftultraschall durch das strikte Verbot der Abkippung gegeben ist. Dadurch könnte es möglich sein, unterschiedliche Schnittebenen durch ein Hüftgelenk zu legen, die alle Merkmale der Standardschnittebene enthalten, aber verschiedene  $\alpha$ -Knochenwinkel ergeben. In dieser Arbeit wurde gezeigt, dass ein Untersucher bei unmittelbar aufeinanderfolgenden  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen am gleichen Hüftgelenk eine gute Wiederholbarkeit erzielte. Das gleiche gilt für die verblindete wiederholte Vermessung bestehender Sonogramme. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um zu klären, welche Wiederholbarkeit ein Untersucher bei verblindeten Wiederholungsmessungen am Tier erzielt (intraobserver variability). Zu klären ist auch, ob verschiedene Untersucher am gleichen Gelenk vergleichbare  $\alpha$ -Knochenwinkel messen (interobserver variability). Aussagekräftige Untersuchungen dieser Art sind beim lebenden Welpen mit Strapazen für die Tiere verbunden, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht aufgewendet werden konnten.

### **5.3.2 Dynamische Stressuntersuchung und Distractionswert**

Weder durch die dynamische Stressuntersuchung noch die Distractionswertmessung konnte eine für alle Rassen gültige Vorhersagbarkeit bezüglich der Entstehung einer HD erzielt werden. Lediglich für die Hunde kleiner Rassen besteht eine negative Korrelation zwischen den Ergebnissen der dynamischen Stressuntersuchung und dem HD-Grad. Allerdings war diese Korrelation gering und sagt aus, dass eine im Welpenalter vorliegende höhere Gelenklockerheit zu einem besseren HD-Befund führt. Im Gegensatz dazu konnte O'Brien (1997) einen statistisch signifikanten positiven Zusammenhang zwischen dem maximalen Distractionsindex beim sechs bis acht Wochen alten Welpen und dem Auftreten von radiologischen Hinweisen einer HD im Alter von einem Jahr nachweisen. Die Korrelation war jedoch gering. In der Studie von Adams et al. (2000) korrelierte der maximale Distractionsindex nur bei einer von drei untersuchten Rassen mit dem Auftreten einer HD. Ohlerth et al. (2003) erzielten in ihrer Studie mit einer dynamischen Ultraschalltechnik nur eine niedrige Sensitivität und Spezifität im Hinblick auf die Vorhersagbarkeit der Entstehung einer HD. Möglich war es jedoch, Tiere, welche keine HD entwickelten, mit einer akzeptablen Vorhersagbarkeit zu identifizieren (negative predictive value 87%). Trotzdem lieferte die sonographische Untersuchung schlechtere Ergebnisse als die röntgenologischen Distractionsstechniken (95 bzw. 100%), mit welchen sie verglichen wurde.

---

Für den Hovawart konnte eine statistisch signifikante negative Korrelation zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und dessen Distraktionsindex nachgewiesen werden, nicht aber für die Labradore und Deutschen Schäferhunde. Demnach wiesen Hovawarts mit einer hohen passiven Gelenklockerheit im Welpenalter im Alter von einem Jahr ein festeres Hüftgelenk mit einem niedrigeren Distraktionsindex auf. Beim Labrador korrelierte ein niedriger sonographischer Distraktionswert mit einem höheren Distraktionsindex beim adulten Hund.

Kein signifikanter Zusammenhang konnte für die Ergebnisse der dynamischen Stressuntersuchung oder der Distraktionswertmessung und den zwei weiteren röntgenologischen Parametern (Norberg-Winkel, Lage des Femurkopfes zum dorsalen Azetabulumrand) für alle Tiere oder auch nur für einzelne Rassen nachgewiesen werden.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die durch dynamischen Ultraschall ermittelten Parameter zur Einschätzung der Hüftgelenklockerheit beim Hundwelpen keine Vorhersagbarkeit über eine tatsächlich präsente Gelenklockerheit im erwachsenen Alter ermöglichen. Beim Hovawart und Labrador scheinen sogar die Tiere, welche als Welpen lockere Hüftgelenke hatten, später als erwachsene Tiere die festeren Gelenke zu haben. Signifikante Korrelationen wurden jedoch jeweils nur für die dynamische Stressuntersuchung oder die Distraktionswertmessung ermittelt, nie aber für beide Parameter bei einer Rasse.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG

Sonographische Untersuchungen der Hüftgelenke von 566 Hundewelpen aus 17 verschiedenen Rassen wurden durchgeführt. Das Alter der Welpen lag zwischen 16 und 49 Tagen ( $\bar{x}$  32,49 Tage). Die Durchführbarkeit dieser Untersuchungstechnik wurde anhand von Vergleichen maschineller und manueller Knochenwinkelmessungen und einer Wiederholbarkeitsstudie überprüft. Drei sonographische Parameter wurden erhoben ( $\alpha$ -Knochenwinkel, dynamische Stressuntersuchung, Distractionswert) und im Hinblick auf ihre Korrelation mit der Auswertung von konventionellen Röntgenaufnahmen des Beckens mit gestreckten Hintergliedmaßen beim ausgewachsenen Hund verglichen. Im Weiteren wurden die sonographischen Parameter mit einzelnen röntgenologischen Merkmalen (Norberg-Winkel, Distractionsindex, Lage des Femurkopfzentrums) verglichen.

Es wurden  $\alpha$ -Knochenwinkel von 74 bis 89° gemessen ( $\bar{x}$  82,8° $\pm$ 2,31), wobei die kleinsten Winkel bei den Rassen Rottweiler und Airedale Terrier auftraten. Die größten Winkel wurden beim Hovawart gemessen. Welpen großwüchsiger Hunderassen wiesen einen signifikant größeren  $\alpha$ -Knochenwinkel auf als Welpen, die mittel- oder kleinwüchsigen Rassen angehören (83,7° gegen 82,3°). Eine Reifung der Hüfte im Sinne einer Zunahme des  $\alpha$ -Knochenwinkels mit fortschreitendem Alter konnte nicht beobachtet werden. Im Mittel werden die Winkel bei den HD-freien Tieren mit jedem Lebenstag um 0,106° kleiner.

Die zwei Wiederholungsmessungen innerhalb desselben Hüftgelenkes zeigten eine hohe Übereinstimmung (Varianz = 0,43° $\pm$ 0,66). Die manuelle Nachmessung des  $\alpha$ -Knochenwinkels ergab einen im Mittel um 1,04° kleineres Messergebnis bei gleicher Gesamtverteilung. In der wiederholten manuellen Ausmessung erwies sich die Variabilität innerhalb eines Untersuchers (intraobserver variability) mit einer Standardabweichung von 1,09° als niedrig.

Die Labradore wiesen in der dynamischen Stressuntersuchung signifikant lockerere Hüftgelenke auf als die Deutschen Schäferhunde und Hovawarts. Insgesamt wurden die Gelenke der Hunde kleinwüchsiger Rassen lockerer eingestuft als die der großwüchsigen und mittelgroßen Rassen.

Mit im Mittel 0,74mm lagen die gemessenen Distractionswerte unter den in vorangegangenen Studien publizierten Werten. Dabei muss beachtet werden, dass in diesen Untersuchungen zum Teil unterschiedliche Distractionstechniken angewendet wurden und/oder die Welpen narkotisiert waren bzw. die Studien an toten Welpen durchgeführt wurden. Auch in dieser

Untersuchung wiesen die Labradore den höchsten mittleren Distractionswert auf (0,88mm). Durch Abwehrbewegungen der Welpen war es nicht immer möglich, ein auswertbares Standbild während der maximalen Distraction einzufrieren, was die Auswertung der Bilder in manchen Fällen erschwerte.

Statistisch besteht eine signifikante, wenn auch niedrige Korrelation zwischen der subjektiven Einschätzung der Gelenklockerheit in der dynamischen Stressuntersuchung und der Messung des Distractionswertes.

Kein Unterschied besteht zwischen den Mittelwerten der  $\alpha$ -Knochenwinkel bei Hunden, die eine HD entwickeln und denen, die keine HD entwickeln (82,99 gegenüber 82,91°). In der Analyse der einzelnen Hunderassen und der Gruppen unterschiedlicher Körpergröße traten ebenfalls keine Korrelationen zwischen der sonographischen Winkelmessung und der HD-Beurteilung auf. Im Vergleich der einzelnen radiologischen Parameter (Norberg-Winkel, Distractionsindex, Lage des Femurkopfzentrums) konnte lediglich für den Hovawart eine signifikante Korrelation zwischen den  $\alpha$ -Knochenwinkelmessungen und den Messungen des Distractionsindex ermittelt werden. Basierend auf diesen Ergebnissen weisen Hovawarts mit einem großen  $\alpha$ -Knochenwinkel im Welpenalter einen hohen Distractionsindex als adulte Hunde auf.

Weder durch die dynamische Stressuntersuchung noch die Distractionswertmessung konnte eine für alle Rassen gültige Vorhersagbarkeit bezüglich der Entstehung einer HD erzielt werden. Lediglich für die kleinwüchsigen Rassen besteht eine Korrelation zwischen den Ergebnissen der dynamischen Stressuntersuchung und dem HD Grad. Für den Hovawart konnte eine statistisch signifikante Korrelation zwischen der in der dynamischen Stressuntersuchung gemessenen passiven Gelenklockerheit eines Hüftgelenkes und dessen Distractionsindex nachgewiesen werden. In beiden Fällen würden lockerere Hüftgelenke im Welpenalter zu einer besseren Beurteilung des HD-Grades bzw. zu einem niedrigeren Distractionsindex beim adulten Hund führen.

Im Rahmen dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die statische und dynamische sonographische Untersuchung der Hüftgelenke beim Hundewelpen, trotz guter Durchführbarkeit der Technik, keine Vorhersagbarkeit über die Entstehung einer Hüftgelenkdysplasie zulässt.

## 7. SUMMARY

Ultrasonographical examinations of the hip joints of 566 dog puppies from 17 different breeds were carried out. The age of the puppies was between 16 to 49 days ( $\bar{X}$  32.49 days). The practicability of the examination method was tested on the basis of comparisons of automatic and manual measurements of the  $\alpha$ -angel and the measurement's repeatability. Three ultrasonographic parameters ( $\alpha$ -angel, dynamic stress ultrasonography, distraction value) were collected. Correlation with conventional radiographs of the hip joints with extended hind limbs at the age of 12 to 18 months was assessed. The ultrasonographic parameters were compared to different radiographic characteristics including the Norberg angel, distraction index and position of the femoral head center.

$\alpha$ -angels between 74 and 89° ( $\bar{X}$  82,8° $\pm$ 2,31) were measured with the smallest angels found in Rottweilers and Airedale Terriers. The highest angels occurred in the Hovawarts. Significantly higher angels were found in giant dog breeds compared to the puppies of small and medium breeds (83.7° versus 82.3°). No evidence of hip maturation in terms of increasing size of the  $\alpha$ -angel could be observed. In the dogs with no signs of hip dysplasia the  $\alpha$ -angel decreased with every further day in life about 0.106°.

A high consistency was found in the two repeated measurements of the same hip joint (variance=0.43° $\pm$ 0.66).  $\alpha$ -angels measured manually had on average an 1.04° smaller result but were distributed equally. Manual control measurements observed a low intraobserver variability and standard deviation (s=1.09°).

A significantly higher hip joint laxity was found in the dynamic stress test in Labradors, compared to the Hovawarts and German Shepherds. All in all, the hip joint of small-size breed dogs were classified to have a higher incidence of hip joint laxity than dogs of tall- and medium-size breeds.

With a medium distraction value of 0.74mm, results in this study were smaller than published in other publications. Differences in the examination technique must be taken into account as in some cases, studies were performed on deceased or anaesthetized puppies. Corresponding to studies published before, the highest mean distraction value was observed in Labradors (0.88mm). Note that in some instances, it was not possible to freeze an image under maximum distraction which in some cases, lead to difficulties in correct distraction value measurement.

---

There was a statically significant correlation between subjective assessment of the passive joint laxity and distraction value measurement. However, this correlation was low.

No difference exists between the medium  $\alpha$ -angles in dogs which developed hip dysplasia and those which did not (82.99 vs. 82.91°). In comparison of the different breeds and sizes of dogs, no correlation could be found between the ultrasonographical parameters and evaluation of the radiographs. Compared to the different radiological parameters (Norberg angel, Distraction value, position of the femoral head center) the only statistically significant correlation found was a negative correlation between the measurement of the  $\alpha$ -angel and distraction value in Hovawarts. Based on this finding, it appears that Hovawart puppies with high  $\alpha$ -angles develop higher distraction values when they are adult dogs.

No predictive value could be achieved for the dynamic ultrasound techniques (dynamic stress test, distraction value) that were valid for every breed. A negative correlation between the results of the dynamic stress test could be found for the severity of the hip dysplasia in small-size breeds and the results of the distraction index for Hovawarts. In both cases a higher hip joint laxity at the puppy's age would lead to a better judgment of the degree of hip dysplasia, or a lower distraction index in adult dogs.

Within this study, it can be shown that based on static and dynamic ultrasonographical examination of the hip joint in puppies, despite the good practicability of the technique, no prediction of the development of canine hip dysplasia can be made.

## 8. LITERATURVERZEICHNISS

**Adams, W. M.; Dueland, R. T.; Daniels, R.; Fialkowski, J. P. und Nordheim, E. V. (2000)**

Comparison of two palpation, four radiographic and three ultrasound methods for early detection of mild to moderate canine hip dysplasia  
Vet. Radiol. Ultrasound., 41, 484-490

**Adams, W. M.; Dueland, R. T.; Meinen, J.; O'Brien, R. T.; Giuliano, E. und Nordheim, E. V. (1998)**

Early detection of canine hip dysplasia: comparison of two palpation and five radiographic methods  
J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 34, 339-347

**Badertscher, R. R. (1977)**

The half-axial position: improved radiographic visualization of subluxation in canine hip dysplasia  
University of Georgia, Athens

**Bardens, J. W. und Hardwick, H. (1968)**

New observations on the diagnosis and cause of hip dysplasia  
VMSAC, 63, 238-245

**Barlow, T. G. (1962)**

Early diagnosis and treatment of congenital dislocation of the hip  
J. Bone Joint Surg., 44, 292-301

**Baum, H. und Zietzschmann, O. (1936)**

Handbuch der Anatomie des Hundes  
Band 1, Skelett- und Muskelsystem  
Paul Parey Verlag

**Beling, C. G.; Gustafsson, P. O. und Kasstrom, H. (1975)**

Metabolism of estradiol in greyhounds and German shepherd dogs. An investigation with special reference to hip dysplasia  
Acta. Radiol. Suppl., 344, 109-120

**Bloomberg, M. S. (1990)**

Canine hip dysplasia - what's old, what's new, what's true  
Vet. Techn., 11, 303-309

**Boeree, N. R. und Clarke, N. M. (1994)**

Ultrasound imaging and secondary screening for congenital dislocation of the hip  
J. Bone Joint Surg. Br., 76, 525-533

**Böhme, R. (1976)**

Genetische Untersuchungen zur Hüftgelenksdysplasie beim Deutschen Schäferhund in der DDR  
Vet. Med. Diss., Humboldt - Universität, Berlin

**Brass, W. (1989)**

Hip dysplasia in dogs  
J. Small Anim. Pract., 30, 166-170

**Bruce, W. J.; Burbidge, H. M.; Bray, J. P. und Broome, C. J. (2000)**

Bicipital tendinitis and tenosynovitis in the dog: a study of 15 cases  
N. Z. Vet. J., 48, 44-52

**Bruce, W. J.; Spence, S. und Miller, A. (1997)**

Teres minor myopathy as a cause of lameness in a dog  
J. Small Anim. Pract., 38, 74-77

**Brunnberg, L. (1999)**

Lahmheitsdiagnostik beim Hund  
Parey Buchverlag, Berlin

**Budras, K.-D. und Fricke, W. (1983)**

Atlas der Anatomie des Hundes  
Kompendium für Tierärzte und Studierende  
Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover

**Burns, J.; Fox, S. M. und Burt, J. (1987)**

Diagnostic radiology: The only definitive determination of CHD  
Veterinary Medicine, 82, 694

**Casser, H. R. und Forst, R. (1985)**

Realtime-Sonographie des kindlichen Hüftgelenkes zur Frühdiagnostik der kongenitalen Hüftdysplasie  
Klin. Pädiatr., 197, 398-408

**Chalman, J. A. und Butler, H. C. (1985)**

Coxofemoral joint laxity and the Ortolani sign  
J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 21, 671-676

**Dämmrich, K. und Brass, W. (1993)**

Hüftgelenksdysplasie (Dysplasia acetabuli)  
In: Allgemeine Chirurgie für Tierärzte und Studierende, Hrsg.: Schebitz, H., Brass, W. und Wintzer, H.-J.  
Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg

**De Pellegrin, M. (1991)**

Ultrasound screening for congenital dislocation of the hip. Results and correlations between clinical and ultrasound findings  
Ital. J. Orthop. Traumatol., 17, 547-553

**Debrunner, A. M. (1985)**

Orthopädie - Die Störungen des Bewegungsapparates in Klinik und Praxis  
Verlag Paul Parey, Göttingen

**Dixon, W. J. (1993)**

BMDP Statistical Software Manual, Volume 1 and 2,  
University of California Press, Berkeley, Los Angeles, London

**Dubs-Kunz, B. (1990)**

Sonographie des Bewegungsapparates  
Verlag Hans Huber, Bern, Stuttgart, Toronto

**Engelke, A.; Meyer-Lindenberg, A. und Nolte, I. (1997)**

Die Ultraschalluntersuchung des Kniegelenkes des Hundes  
Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr., 110, 24-29

**Fink, I. (1996)**

Morphologische Vergleichsstudie des Hüftgelenkes der Hundewelpen anhand  
verschiedener Untersuchungsverfahren sowie sonographische Frühdiagnostik der  
Hüftgelenksdysplasie  
Vet. Med. Diss., Veterinärmedizinischen Universität, Wien

**Flöck, A. (2002)**

Die Sonographie des Hüftgelenkes bei Deutschen Schäferhundwelpen vom 1.  
Lebenstag bis zur 8. Lebenswoche  
Vet. Med. Diss., Justus-Liebig Universität, Gießen

**Flückiger, M. (1993)**

Die standardisierte Beurteilung von Röntgenbildern von Hund und Katze  
Kleintierpraxis, 38, 693-702

**Flückiger, M. (1996)**

Die Diagnose der Hüftgelenksdysplasie beim Hund  
Unser Rassehund, 5, 14-15

**Flückiger, M.; Lang, J.; Binder, H.; Busato, A. und Boos, J. (1995)**

Die Bekämpfung der Hüftgelenksdysplasie in der Schweiz. Ein Rückblick auf die  
vergangenen 24 Jahre  
Schweiz. Arch. Tierheilkd., 137, 243-250

**Flückiger, M. A.; Friedrich, G. A. und Binder, H. (1998)**

Correlation between hip joint laxity and subsequent coxarthrosis in dogs  
Zentralbl. Veterinarmed. A., 45, 199-207

**Foels, W. S. (2000)**

Secondary center of ossification differs in developmental dysplasia of the hip  
46th Annual Meeting, Orthopaedic Research Society, Chicago

**Fritsch, R. und Gerwing, M. (1993)**

Sonographie bei Hund und Katze  
Enke Verlag, Stuttgart

**Gerwing, M. (1989)**

Sonographische Darstellung von Milz und Prostata des Hundes unter besonderer Berücksichtigung der Messung ihrer Lage und Größe sowie des sonographischen Bildes der pathologischen Veränderung - Das Hydroperitoneum zur besseren Differenzierung abdominaler Organe  
Vet. Med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

**Gerwing, M. und Kramer, M. (1991)**

Sonographie in der Orthopädie  
XVI: WSA VA und VI. Jahrestagung VÖK, Kong.-Ber., Wien, 407-408

**Gerwing, M. und Kramer, M. (1993)**

Die Sonographie der Achillessehne beim Hund  
Tierärztliche Praxis, Sonderheft, 40-41

**Goddard, M. E. und Mason, T. A. (1982)**

The genetics and prediction of hip dysplasia  
Australian Veterinary Journal, 58, 1-4

**Graf, R. (1983)**

Die sonographische Beurteilung der Hüftdysplasie mit Hilfe der Erkerdiagnostik  
Z. Orthop., 121, 653-659

**Graf, R. (1986)**

Sonographie der Säuglingshüfte  
Enke Verlag, Stuttgart

**Graf, R. (1987)**

Die sonographische Diagnose von Hüftreifungsstörungen - Prinzipien, Fehlerquellen und Konsequenzen  
Ultraschall, 8, 2-8

**Graf, R. (2000)**

Sonographie der Säuglingshüfte und therapeutische Konsequenzen  
Thieme Verlag, Stuttgart

**Graf, R. und Soldner, R. (1989)**

Zum Problem der Winkelmessfehler bei der Hüftsonographie durch Linear- und Sektorscanner  
Ultraschall Klin. Prax., 4, 177-182

**Greshake, R. J. und Ackermann, N. (1992)**

Ultrasound evaluation of the coxofemoral joints of the canine neonate  
Vet. Radiol. Ultrasound., 33, No.6, 99-104

**Gustafsson, P. O.; Kasstrom, H.; Olsson, S. E. und Wennman, B. (1972)**

Skeletal development and sexual maturation in German Shepherds, Greyhounds and their crossbreed offspring. An investigation with special reference to hip dysplasia  
Acta. Radiol. Suppl., 319, 187-190

**Hamann, H.; Kirchoff, T. und Distl, O. (2003)**

Bayesian analysis of heritability of canine hip dysplasia in German Sheperd Dogs  
J. Anim. Breeding an Genetics, 120, 258-268

**Harcke, H. T.; Clarke, N. M.; Lee, M. S.; Borns, P. F. und MacEwen, G. D. (1984)**

Examination of the infant hip with real-time ultrasonography  
J Ultrasound Med, 3, 131-137

**Hare, W. C. D. (1961)**

The ages at which the centers of ossification appear roentgenographically in the limb bones of the dog  
Am. J. Vet. Res., 22, 825-835

**Hartung, K. (1966)**

Zur Hüftgelenksdysplasie  
Berl. und Münch. Tierärztl. Wochenschr., 79, 477-480

**Hedhammar, A.; Olsson, S. E.; Andersson, S. A.; Persson, L.; Pettersson, L.; Olausson, A. und Sundgren, P. E. (1979)**

Canine hip dysplasia: study of heritability in 401 litters of German Shepherd dogs  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 174, 1012-1016

**Hedhammar, A.; Wu, F. M.; Krook, L.; Schryver, H. F.; De Lahunta, A.; Whalen, J. P.; Kallfelz, F. A.; Nunez, E. A.; Hintz, H. F.; Sheffy, B. E. und Ryan, G. D. (1974)**

Overnutrition and skeletal disease. An experimental study in growing Great Dane dogs  
Cornell Vet., 64, Suppl 5:5-160

**Henninger, W. (1992)**

Der kraniallaterale Pfannenrand des kaninen Hüftgelenkes. Ein Beitrag zur Hüftgelenksdysplasie  
Vet. Med. Diss., Veterinärmedizinischen Universität, Wien

**Henricson, B.; Norberg, I. und Olsson, S. E. (1966)**

On the etiology and pathogenesis of hip dysplasia: a comparative review  
J. Small Anim. Pract., 7, 673-688

**Henricson, B. und Olsson, S. E. (1959)**

Hereditary acetabular dysplasia in German shepherd dogs  
J. Am. Vet. Med. Ass., 135, 207-210

**Henry, J. D. und Park, R. D. (1972)**

Wedge technique for demonstration of coxofemoral joint laxity in the canine  
Canine hip dysplasia symposium an workshop, Orth. Found. Anim.

**Henschel, E. (1983)**

Das Hüftgelenk von Hund und Katze - eine Enarthrosis?  
Tierärztl. Praxis, 11, 345-348

**Janutta, V. (2005)**

Genetic analyses of elbow and hip dysplasia in German sheperd dogs  
Vet. Med. Diss., Tierärztliche Hochschule, Hannover

**Kaarmann, H. und Wessels, G. (1991)**

Kapitel II: Physikalische Grundlagen

In: Ultraschalldiagnostik, Lehrbuch und Atlas (1983), Hrsg.: Braun, Günther und Schwerek

ECOMED, Landsberg, München, Zürich

**Kaman, C. H. und Gossling, H. R. (1967)**

A breeding program to reduce hip dysplasia in German shepherd dogs

J. Am. Vet. Med. Ass., 151, 562-571

**Kasström, H. (1975)**

Estrogens, nutrition and hip dysplasia in the dog

Vet. Med. Diss., Stockholm

**Kealy, J. K. (1991)**

Röntgendiagnostik bei Hund und Katze

Enke Verlag, Stuttgart

**Kealy, R. D.; Lawler, D. F.; Ballam, J. M.; Lust, G.; Biery, D. N.; Smith, G. K. und Mantz, S. L. (2000)**

Evaluation of the effect of limited food consumption on radiographic evidence of osteoarthritis in dogs

J. Am. Vet. Med. Ass., 217, 1678-1680

**Kealy, R. D.; Olsson, S. E.; Monti, K. L.; Lawler, D. F.; Biery, D. N.; Helms, R. W.; Lust, G. und Smith, G. K. (1992)**

Effects of limited food consumption on the incidence of hip dysplasia in growing dogs

J. Am. Vet. Med. Ass., 201, 857-863

**Klimt, U. (1990)**

Zum Problem der "Lockerer Hüfte" beim Hund. Röntgenuntersuchung zur

lagerungsbedingten Verschieblichkeit des Femurkopfes bei der Diagnostik der HD

Vet. Med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

**Konermann, W. und Gruber, G. (1999)**

Ultraschalldiagnostik der Stütz- und Bewegungsorgane

Thieme Verlag, Stuttgart

**Köppel, E. (1991)**

Zur Entwicklung der Articulatio coxae und radiologischen Frühdiagnostik der

Hüftgelenkdysplasie des Hundes

Enke Verlag, Stuttgart

**Kramer, M. (1991)**

Sonographie des Schultergelenkes

37. Jahrestagung der Fachgruppe Kleintierkrankheiten der DVG, Kong.-Ber., Stuttgart

**Kramer, M. (1992)**

Die sonographische Anatomie des Schultergelenkes und seines Weichteilmantels beim erwachsenen Hund

Vet. Med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

**Kramer, M. (1999)**

Möglichkeiten und Grenzen der Sonographie zur Darstellung physiologischer und pathologischer Prozesse im Bereich der Muskulatur, der Sehnen und der Gelenke des Hundes

Habilitationsschrift, Justus-Liebig-Universität, Gießen

**Kramer, M. und Gerwing, M. (1994)**

Die Sonographie des Schultergelenkes und seiner umgebenden Weichteile beim Hund  
Kleintierpraxis, 39, 71-80

**Kramer, M. und Gerwing, M. (1996)**

Die Bedeutung der Sonographie in der Orthopädie beim Hund

Berl. und Münch. Tierärztl. Wochenschr., 109, 130-135

**Kramer, M.; Gerwing, M.; Hach, V. und Schimke, E. (1997)**

Sonography of the musculoskeletal system in dogs and cats

Vet. Radiol. Ultrasound., 38, 139-149

**Kramer, M.; Gerwing, M. und Schimke, E. (1993)**

Diagnostik und Therapie ausgewählter Sehnen- und Muskelerkrankungen beim Hund

Kleintierpraxis, 38, 703-711

**Kramer, M.; Gerwing, M. und Tellhelm, B. (1994)**

Diagnostic value of radiographic findings in diseases of the shoulder region of the dog

Oral abstract, 10th IVRA Meeting, Philadelphia/USA

Vet. Radiol. Ultrasound., 35, 240

**Kramer, M.; Stengel, H.; Gerwing, M.; Schimke, E. und Sheppard, C. (1999)**

Sonography of the canine stifle

Vet. Radiol. Ultrasound., 40, 282-293

**Kräußlich, H. (1994)**

Tierzüchtungslehre

Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

**Kremer, H. und Dobrinski, W. (2000)**

Sonographische Diagnostik. Innere Medizin und angrenzende Gebiete

Urban & Fischer Verlag, Wien, Baltimore

**Kresken, J.-G. (1991)**

Zur Ultraschalluntersuchung des Hüftgelenkes beim Hundewelpen

Vet. Med. Diss., Ludwig-Maximilians-Universität, München

**Kürsteiner, D. (1990)**

Untersuchungen zur Validität der heute üblichen Kriterien bei der röntgenologischen Diagnose der Hüftgelenksdysplasie des Hundes  
Vet. Med. Diss., Zürich

**Leighton, E. A. (1997)**

Genetics of canine hip dysplasia  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 210, 1474-1479

**Leighton, E. A.; Linn, J. M.; Willham, R. L. und Castleberry, M. W. (1977)**

A genetic study of canine hip dysplasia  
Am. J. Vet. Res., 38, 241-244

**Lepänen, E. A.; Mäki, K.; Juga, J. und Saloniemi, H. (2000)**

Estimation of heritability for hip dysplasia in German Shepherd Dogs in Finland  
J. Anim. Breeding and Genetics, 117, 97-103

**Linnmann, S. (1998)**

Die Hüftgelenksdysplasie des Hundes  
Parey Buchverlag, Berlin

**Loeffler, K. (1979)**

Hüftgelenksdysplasie beim Hund  
Tierärztl. Prax., 7, 229-238

**Loeffler, K. (1980)**

Die Beurteilung von Röntgenaufnahmen für die Untersuchung auf Hüftgelenksdysplasie  
In: Röntgenkunde für praktische Tierärzte, Hrsg.: Loeffler, K.  
Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover

**Loeffler, K. (1990a)**

Hüftgelenksdysplasie bei Hunden  
Hrsg.: Ficus, H. J.; Loeffler, K.; Schneider-Haiss, M.; Stur, I  
Enke Verlag, Stuttgart

**Loeffler, K. (1990b)**

Die Bedeutung der Lagerung bei der röntgenologischen HD-Beurteilung  
Waltham Report 30, 41-48  
Effem Hamburg

**Loeffler, K. (1994)**

Anatomie und Physiologie der Haustiere  
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

**Lohss, E. (1998)**

Abdominelle Sonographie beim Kleintier  
Tierärztliche Praxis, 16, 423-426

**Lust, G.; Geary, J. C. und Sheffy, B. E. (1973)**

Development of hip dysplasia in dogs  
Am. J. Vet. Res., 34, 87-91

**Lust, G.; Williams, A. J.; Burton-Wurster, N.; Pijanowski, G. J.; Beck, K. A.; Rubin, G. und Smith, G. K. (1993)**

Joint laxity and its association with hip dysplasia in Labrador retrievers  
Am. J. Vet. Res., 54, 1990-1999

**Madsen, J. S. (1991)**

Delayed ossification of the femoral head in dogs with hip dysplasia  
J. Small Anim. Pract., 32, 351

**Mahn, M. M.; Cook, J. L.; Cook, C. R. und Balke, M. T. (2005)**

Arthroscopic verification of ultrasonographic diagnosis of meniscal pathology in dogs  
Vet. Surg., 34, 318-323

**Meier, H. (1989)**

Artefakte in der Ultraschalldiagnostik  
Tierärztliche Praxis Supplement, 4, 36-46

**Meyer, H. (1968)**

Zur Erblichkeit und züchterischen Bekämpfung der Hüftgelenksdysplasie des Hundes  
Kleintierpraxis, 13, 41-45

**Michele, U. (2000)**

Sonographie des Ellbogengelenkes und seines Weichteilmantels beim gesunden Hund  
Vet. Med. Diss., Justus-Liebig-Universität, Gießen

**Montavon, P. M. (1992)**

Morphometry and static biomechanical analysis of the canine hip joint: application to a colony of English foxhounds  
Habilitationsschrift, Zürich, Schweiz

**Morgan, J. P. und Stephens, M. (1985)**

Radiographic diagnosis and control of canine hip dysplasia  
University Press, Iowa State University

**Morgan, S. J. (1997)**

Pathologic alterations in canine hip dysplasia  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 210, 1446-1450

**Morin, C.; Harcke, H. T. und MacEwen, G. D. (1985)**

The infant hip: real-time US assessment of acetabular development  
Radiology, 157, 673-677

**Müller, L. F. und Saar, C. (1966)**

Eine Anleitung zur Röntgen-Diagnose der Hüftgelenksdysplasie  
Kleintierpraxis, 11, 33-42

**Müller, N. M. (2002)**

Sonographisch ermittelte Knochenwinkelmeßwerte der Welpenhüftgelenke von vier Hunderassen im Alter von 10 bis 18 Tagen im Vergleich zum röntgenologischen HD-Befund im Alter von einem Jahr

Vet. Med. Diss., Universität Hohenheim / Ludwig-Maximilians-Universität München, Hohenheim / München

**Nickel, R.; Schummer, A. und Seiferle, E. (1992)**

Passiver Bewegungsapparat, Knochenlehre

In: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Hrsg.: Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E.

Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

**Norberg, I. (1964)**

The hip joint

In: Veterinary Orthopaedics, Hrsg.: Hickmann, J.

Oliver & Boyd, Edingburgh, London

**O'Brien, R. T.; Dueland, R. T.; Adams, W. C. und Meinen, J. (1997)**

Dynamic ultrasonographic measurement of passive coxofemoral joint laxity in puppies  
J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 33, 275-281

**Ohlerth, S.; Busato, A.; Rauch, M.; Weber, U. und Lang, J. (2003)**

Comparison of three distraction methods and conventional radiography for early diagnosis of canine hip dysplasia

J. Small Anim. Pract., 44, 524-529

**Olivieri, M. (1994)**

Ultrasound screening for canine hip dysplasia

Third Annual Scientific Meeting, Riccione, Italy

**Ortolani, M. (1976)**

Congenital hip dysplasia in the light of early and very early diagnosis

Clin. Orthop., 119, 6-10

**Paatsama, S.; Rissanen, P. und Rokkanen, P. (1966)**

Some aspects of hip dysplasia and coxa plana in dogs

J. Small Anim. Pract., 7, 477-481

**Poulsen Nautrup, C. und Tobias, R. (2001)**

Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze

Schlütersche VerlagsGmbH & Co. KG

**Powis, R. L. und Powis, W. J. (1984)**

A Thinker's Guide to Ultrasonic Imaging

Baltimore

**Prieur, W. D. (1980)**

Coxarthrosis in the dog part I: normal and abnormal biomechanics of the hip joint

Vet. Surg., 9, 145-149

**Rantanen, N. W. (1982)**

The use of diagnostic ultrasound in limb disorders of the horse: A preliminary report  
J. Equine Vet. Sci., 2, 134-135

**Reikeras, O.; Kristiansen, L. P. und Gunderson, R. (2002)**

Ultrasonography of the infant hip: the significance of provokable instability with normal morphology  
Orthopedics, 25, 833-835

**Reimers, C. D.; Gaulrapp, H. und Kele, H. (2004)**

Sonographie der Muskeln, Sehnen und Nerven  
Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln

**Rettenmaier, J. L.; Keller, G. G.; Lattimer, J. C.; Corley, E. A. und Ellersieck, M. R. (2002)**

Prevalence of canine hip dysplasia in a veterinary teaching hospital population  
Vet. Radiol. Ultrasound, 43, 313-318

**Riboni, G.; Bellini, A.; Serantoni, S.; Rognoni, E. und Bisanti, L. (2003)**

Ultrasound screening for developmental dysplasia of the hip  
Pediatr Radiol, 33, 475-481

**Richter, V. und Loeffler, K. (1976)**

Rassespezifische Merkmale am Becken des Hundes  
Dtsch. Tierärztl. Wschr., 83, 455-461

**Riser, W. H. (1964)**

An analysis of the current status of hip dysplasia in dogs  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 144, 709-721

**Riser, W. H. (1973)**

Growth and development of the normal canine pelvis, hip joints and femurs from birth to maturity: a radiographic study  
J. Am. Vet. Radiol. Soc., 142, 24-34

**Riser, W. H. (1987)**

A half century of canine hip dysplasia  
Semin. Vet. Med. Surg. (Small Anim.), 2, 87-91

**Riser, W. H.; Rhodes, W. H. und Newton, C. H. (1985)**

Hip dysplasia  
In: Textbook of small animal orthopedics, Hrsg.: Newton, C. H. und Nunamaker, D. M.  
J. B. Lippincott Comp., Philadelphia

**Riser, W. H. und Shirer, J. F. (1966)**

Hip dysplasia: coxofemoral abnormalities in neonatal German Shepherd dogs  
J. Small Anim. Pract., 7, 7-12

**Risselada, M.; Kramer, M.; de Rooster, H.; Taeymans, O.; Verleyen, P. und van Bree, H. (2005)**

Ultrasonographic and radiographic assessment of uncomplicated secondary fracture healing of long bones in dogs and cats  
Vet. Surg., 34, 99-107

**Risselada, M.; Kramer, M.; Saunders, J. H.; Verleyen, P. und Van Bree, H. (2006a)**

Power Doppler assessment of the neovascularization during uncomplicated fracture healing of long bones in dogs and cats  
Vet. Radiol. Ultrasound, 47, 301-306

**Risselada, M.; Kramer, M. und van Bree, H. (2003)**

Approaches for ultrasonographic evaluation of long bones in the dog  
Vet. Radiol. Ultrasound, 44, 214-220

**Risselada, M.; van Bree, H.; Kramer, M.; Chiers, K.; Duchateau, L.; Verleyen, P. und Saunders, J. H. (2006b)**

Evaluation of nonunion fractures in dogs by use of B-mode ultrasonography, power Doppler ultrasonography, radiography, and histologic examination  
Am. J. Vet. Res., 67, 1354-1361

**Rosendahl, K.; Markestad, T. und Lie, R. T. (1992)**

Ultrasound in the early diagnosis of congenital dislocation of the hip: the significance of hip stability versus acetabular morphology  
Pediatr. Radiol., 22, 430-433

**Rosendahl, K.; Markestad, T. und Lie, R. T. (1994)**

Ultrasound screening for developmental dysplasia of the hip in the neonate: the effect on treatment rate and prevalence of late cases  
Pediatrics, 94, 47-52

**Rosendahl, K. und Toma, P. (2007)**

Ultrasound in the diagnosis of developmental dysplasia of the hip in newborns. The European approach. A review of methods, accuracy and clinical validity  
Eur. Radiol., 17, 1960-1967

**Rott, H.-D. (1984)**

Ultraschall in der Medizin: Biologische Wirkungen und Sicherheitsaspekte  
Deutsches Ärzteblatt, 81, 1071-1074

**Sahlstrand, T.; Malmgren, N.; Ahlgren, S. und Helgason, H. (1985)**

Management of neonatal hip instability: An analysis of efficiency in a consistent treatment program  
J. Pediatr. Orth., 5, 540-545

**Sampath, J. S.; Deakin, S. und Paton, R. W. (2003)**

Splintage in developmental dysplasia of the hip: how low can we go?  
J. Pediatr. Orthop., 23, 352-355

**Schales, O. (1956)**

Genetic aspects of dysplasia of the hip joint  
North American Veterinarian, 37, 476 - 478

**Scharvogel, S. (2004)**

Klinisch-orthopädischer Untersuchungsgang  
In: Kompendium der Allgemeinen Veterinärchirurgie, Hrsg.: Kramer, M.  
Schlütersche VerlagsGmbH & Co. KG, Hannover

**Schimke, E.; Kramer, M.; Gerwing, M. und Scherenmayer, W. (1992)**

Musculus-gracilis-Kontraktur beim Hund  
38. Jahrestagung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft, Kong.-Ber.,  
Bonn

**Schimke, E. und Paatsama, S. (1993)**

Gelenkerkrankungen, Kap. 24  
In: Klinik der Hundekrankheiten, Hrsg.: Freudiger, U., Grünbaum, E.-G. und  
Schimke, E.  
Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart

**Schleich, S.; Tellhelm, B.; Schimke, E.; Gerwing, M. und Kramer, M. (1992)**

Korrelation zwischen klinischen, radiologischen, sonographischen und intraoperativen  
Befunden beim fragmentierten Processus coronoideus medialis ulnae (FCP) sowie der  
Osteochondrosis dissecans (OCD) an der Trochlea humeri des Hundes  
38. Jahrestagung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft, Kong.-Ber.,  
Bonn

**Schmidt, W. (1961)**

Veränderungen an den Hüftgelenken alter Hunde  
Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschrift, 74, 245-250

**Schmidt, W. (1963)**

Ligamentum teres und Gelenkkapsel im gesunden und arthrotischen Hüftgelenk des  
Hundes mit einem Beitrag zur Kenntnis der subchondralen Zysten  
Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschrift, 76, 245-250

**Schneider-Haiss, M. und Loeffler, K. (1987)**

Die Bedeutung der Röntgenaufnahme mit gebeugten Hintergliedmaßen bei der  
Untersuchung auf Hüftgelenkdysplasie des Hundes  
Kleintierpraxis, 32, 359-362

**Schnelle, G. B. (1935)**

Some new diseases in the dog  
American Kennel Gazette, 52, 25-26

**Schran, M. (1973)**

Zur Frühdiagnose der Hüftgelenkdysplasie und ihre territoriale Verbreitung in der  
DDR  
Vet. Med. Diss., Berlin

**Schuler, P. und Graf, R. (1986)**

Kapitel III-8: Sonographie in der Orthopädie  
In: Ultraschalldiagnostik, Lehrbuch und Atlas (1983), Hrsg.: Braun, Günther und  
Schwerk  
ECOMED, Landsberg, München, Zürich

**Smith, G. K. (1997)**

Advances in diagnosing canine hip dysplasia  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 210, 1451-1457

**Smith, G. K.; Biery, D. N. und Gregor, T. P. (1990)**

New concepts of coxofemoral joint stability and the development of a clinical stress-  
radiographic method for quantitating hip joint laxity in the dog  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 196, 59-70

**Smith, G. K.; Gregor, T. P.; Rhodes, W. H. und Biery, D. N. (1993)**

Coxofemoral joint laxity from distraction radiography and its contemporaneous and  
prospective correlation with laxity, subjective score, and evidence of degenerative  
joint disease from conventional hip-extended radiography in dogs  
Am. J. Vet. Res., 54, 1021-1042

**Smith, G. K.; Popovitch, C. A.; Gregor, T. P. und Shofer, F. S. (1995)**

Evaluation of risk factors for degenerative joint disease associated with hip dysplasia  
in dogs  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 206, 642-647

**Smith, R. N. (1964)**

The pelvis of the young dog  
Vet. Rec., 76, 975-979

**Spaulding, K. (1984)**

Ultrasonic anatomy of the tendons and ligaments in the distal metacarpal-metatarsal  
region of the equine limb  
Vet. Radiol., 25, 155-166

**Sprinkle, T. A. und Krook, L. (1969)**

Hip dysplasia, elbow dysplasia and "Eosinophilic panosteitis". Three clinical  
manifestations of hyperestrinism in the dog?  
Cornell Vet., 60, 476-490

**Steinetz, B. G.; Randolph, C.; Weldele, M.; Frank, L. G.; Licht, P. und Glickman, S. E.  
(1997)**

Pattern and source of secretion of relaxin in the reproductive cycle of the spotted  
hyena (*Crocuta crocuta*)  
Biol. Reprod., 56, 1301-1306

**Strom, H. und Svalastoga, E. (1993)**

A quantitative assessment of the subchondral changes in osteoarthritis and its  
association to the cartilage degeneration  
Vet. Comp. Orthop. Traumatol., 6, 198-201

**Stur, I. (1990)**

Populationsgenetische Aspekte der Hüftgelenksdysplasie.  
In: Hüftgelenksdysplasie bei Hunden, Hrsg.: Ficus, H. J., Loeffler, K., Schneider-Haiss, M. und Stur, I.  
Enke Verlag, Stuttgart

**Tellhelm, B. und Brass, W. (1989)**

HD-Röntgenaufnahmen - Qualität und Beurteilung  
Kleintierpraxis, 34, 551 - 560

**Terjesen, T.; Bredland, T. und Berg, V. (1989)**

Ultrasound for hip assessment in the newborn  
J Bone Joint Surg Br, 71, 767-773

**Ticer, J. W. (1975)**

Radiographic technique  
In: Small Animal Practice  
W. B. Saunders Co., Philadelphia

**Todhunter, R. J.; Zachos, T. A.; Gilbert, R. O.; Erb, H. N.; Williams, A. J.; Burton-Wurster, N. und Lust, G. (1997)**

Onset of epiphyseal mineralization and growth plate closure in radiographically normal and dysplastic Labrador retrievers  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 210, 1458-1462

**Tönnis, D. (1985)**

Frühdagnose der angeborenen Hüftluxation durch Ultraschalluntersuchung  
Dtsch. med. Wschr., 110, 881-882

**Trout, N. J.; Boudrieau, R. J.; Pennick, D. G. und Wooton, S. (1993)**

A prospective study of canine hip dysplasia using ultrasound: a preliminary report  
ECVS, Second Annual Scientific Meeting, Cambridge, England

**Vandeveld, B.; Van Ryssen, B.; Saunders, J. H.; Kramer, M. und Van Bree, H. (2006)**

Comparison of the ultrasonographic appearance of osteochondrosis lesions in the canine shoulder with radiography, arthrography, and arthroscopy  
Vet. Radiol. Ultrasound, 47, 174-184

**von Rosen, S. (1969)**

Die konservative Behandlung der Hüftdysplasie und Hüftverrenkung  
Z. Orthop., 106, 173-178

**Weigel, J. P.; Cartee, R. E. und Marich, K. W. (1983)**

Preliminary study on the use of ultrasonic transmission imaging to evaluate the hip joint in the immature dog  
Ultrasound Med. Biol., 9, 371-378

**Whittington, K.; Banks, W. C.; Carlson, W. D.; Hoerlein, B. F.; Husted, P. W.; Leonhard, E. F.; Clöve, P. L. M.; Rhodes, W. H.; Riser, W. H. und Schnelle, G. B. (1961)**

Report of the panel on canine hip dysplasia  
J. Am. Vet. Med. Assoc., 139, 791-806

**Widmer, W. (1978)**

Beitrag zur Entwicklung des Skeletts der Hintergliedmaße beim Deutschen Schäferhund  
Vet. Med. Diss., Humboldt Univ., Berlin

**Wiltberger, H. und Lust, G. (1975)**

Ultrastructure of canine articular cartilage: comparison of normal and degenerative (osteoarthritic) hip joints  
Am. J. Vet. Res., 36, 727-740

**Wood, M. K.; Conboy, V. und Benson, M. K. (2000)**

Does early treatment by abduction splintage improve the development of dysplastic but stable neonatal hips?  
J. Pediatr. Orthop., 20, 302-305

**Zilch, H. und Weber, U. (1989)**

Lehrbuch der Orthopädie  
Walter de Gruyter, Berlin, New York

## **Danksagung**

Ein herzliches Dankeschön all denen, die mich während der Erstellung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein erster Dank geht an Prof. Dr. Martin Kramer, unter dessen Leitung ich diese Arbeit anfertigen konnte, der mich stets geführt und gefördert hat und dies noch immer tut. Dr. Alexander Flöck danke ich für sein Vertrauen, indem er mir die Fortführung seiner Arbeit überlassen hat. Seine Unterstützung war maßgeblich für das Gelingen dieses Projektes. Dr. Bernd Tellhelm möchte ich für die Hilfe bei der Interpretation der Röntgenbilder, seine Ratschläge und inspirierende Korrespondenz danken. Für die Hilfe bei der statistischen Auswertung danke ich Herrn Dr. Klaus Failing und Frau PD Dr. Sabine Tacke. Thorsten Förnges bewies ein ums andere Mal Geduld wenn der Computer nicht wollte wie ich. Des Weiteren möchte ich mich bei allen Mitarbeitern der Klinik für Kleintiere, Chirurgie bedanken, die bei der Erhebung der Daten beigetragen haben.

Ein herzlicher Dank gilt allen Züchtern und Besitzern der Hunde dieser Studie, ohne deren Bereitschaft die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

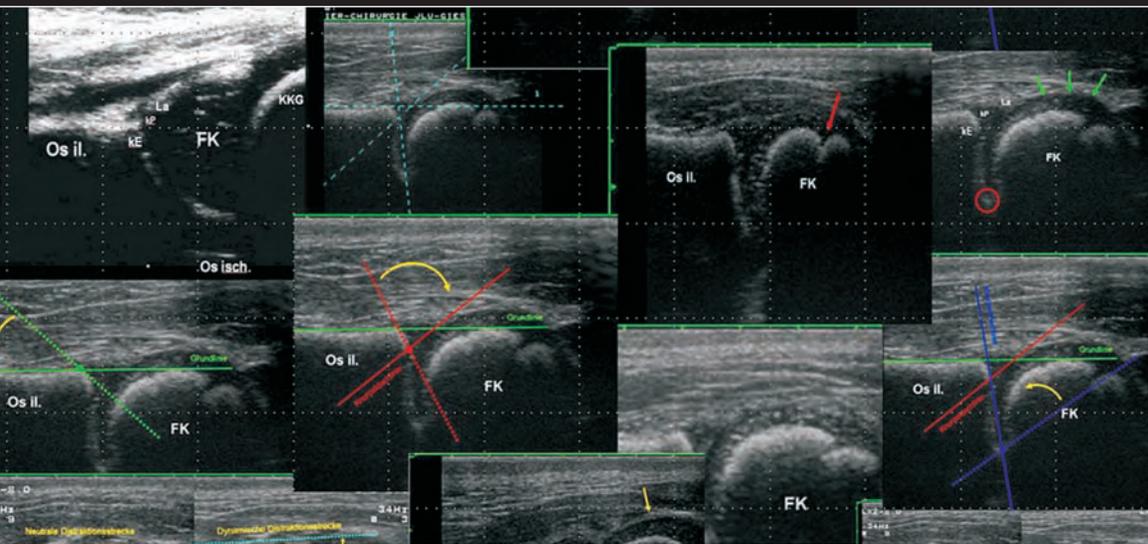
Mein Bruder Thomas stand mir mit Tipps und Anregungen bei der Erstellung des Manuskriptes zur Seite. Ohne meine Tante Moni und meinen Cousin Alvin wäre der Text noch heute mit Rechtschreibfehlern und holprigen Formulierungen gespickt.

Mein besonderer Dank geht an Nina Brinke für alles was uns verbindet.

Mein letzter Dank gilt meinen Eltern Chi-Fen und Hans-Friedrich Fischer. Ohne Eure Unterstützung und Geduld hätte ich diesen Weg nicht gehen können. Ich trage diesen Titel mit Stolz und im Bewusstsein daran, welchen Anteil Ihr dazu beigetragen habt.

## **Erklärung**

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.



édition scientifique  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

VVB LAUFERSWEILER VERLAG  
 STAUFENBERGRING 15  
 D-35396 GIESSEN

ISBN 3-8359-5278-1

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890  
 redaktion@doktorverlag.de  
 www.doktorverlag.de



9 783835 195278