

Aus der Chirurgischen Veterinärklinik
- Kleintierchirurgie -
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Die Sonographie des Hüftgelenkes bei Deutschen Schäferhundwelpen
vom 1. Lebenstag bis zur 8. Lebenswoche

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades beim
Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
ALEXANDER FLÖCK

Gießen 2002

Aus der Chirurgischen Veterinärklinik
- Kleintierchirurgie -
der Justus-Liebig-Universität Gießen
Betreuer: Prof. Dr. M. Kramer

Die Sonographie des Hüftgelenkes an Deutschen Schäferhundwelpen
vom 1. Lebenstag bis zur 8. Lebenswoche

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Eingereicht von
ALEXANDER FLÖCK
Tierarzt aus Trier

Gießen 2002

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

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. B. Hoffmann

1. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Kramer

2. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Bergmann

Tag der mündlichen Prüfung: 1. Juli 2002

Meiner Familie

Gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 EINLEITUNG	1
2 LITERATURÜBERSICHT	3
2.1 Physikalische Grundlagen der Sonographie	3
2.1.1 Artefakte	5
2.1.1.1 Rauschen	5
2.1.1.2 Schallschatten	5
2.1.1.3 Wiederholungsechos (Reverberationen, Palisaden, Mehrfachreflexionen).....	6
2.1.1.4 Bogenartefakt (Nebenkeulenartefakt, Hyperbelartefakt).....	6
2.1.1.5 Pseudousur	6
2.1.1.6 Schallverstärkung.....	7
2.1.1.7 Tangentialphänomen, lateral shadowing	7
2.1.2 Auswirkungen von Ultraschall auf lebende Gewebe.....	7
2.2 Technische Grundlagen – Apparative Voraussetzung	8
2.2.1 Schallkopftypen und Schallkopffrequenzen	9
2.2.2 Geräteeinstellung	9
2.3 Nomenklatur und Befundbeschreibung.....	10
2.4 Orthopädische Sonographie.....	12
2.4.1 Orthopädische Sonographie beim Hund	12
2.4.1.1 Sonoanatomisches Erscheinungsbild der Gewebe beim Hund.....	12
2.4.1.1.1 Haut.....	12
2.4.1.1.2 Unterhaut	13
2.4.1.1.3 Muskeln	13
2.4.1.1.4 Sehnen.....	13

2.4.1.1.5	Knochen	13
2.4.1.1.6	Knorpel	13
2.4.2	Orthopädische Sonographie des Hüftgelenkes in der Humanmedizin	14
2.4.2.1	Sonographischer Untersuchungsgang des Hüftgelenkes beim Säugling	14
2.4.2.2	Deskriptive Befundung der Säuglingshüfte	17
2.4.2.3	Messtechnische Bewertung der Säuglingshüfte	17
2.4.2.4	Typisierung der sonographischen Hüftgelenksbefunde beim Säugling	19
2.4.3	Orthopädische Sonographie des Hüftgelenkes in der Veterinärmedizin	22
2.5	Das Hüftgelenk des Hundes	24
2.5.1	Die postnatale Entwicklung des Hüftgelenkes beim Hund	24
2.5.2	Die Anatomie des Hüftgelenkes beim Hund	26
2.6	Die Hüftgelenksdysplasie beim Hund	31
2.6.1	Definition, Ätiologie und Pathogenese der Hüftgelenksdysplasie	31
2.6.2	Diagnostik der Hüftgelenksdysplasie	33
3	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	36
3.1	Material und Methode.....	36
3.1.1	Gerätebeschreibung	36
3.1.1.1	Bildeinstellung	36
3.1.1.1.1	Voreinstellung (Preset-Einstellung).....	36
3.1.1.1.2	Verstärkung.....	37
3.1.1.1.3	Darstellungstiefe	37
3.1.1.2	Bildwiedergabe	38
3.1.1.2.1	Single-B-Mode.....	38
3.1.1.2.2	Dual-B-Mode	38
3.1.1.2.3	Fokuszonon	38
3.1.1.2.4	Bildsequenz-Analyse (Cineloop®).....	39

3.1.1.2.5	Messvorrichtung	39
3.1.1.2.6	Beschriftung.....	39
3.1.1.2.7	Monitor	40
3.1.1.3	Schallkopf	40
3.1.1.4	Dokumentation.....	40
3.1.2	Untersuchungsgut	41
3.2	Voruntersuchungen	44
3.3	Hauptuntersuchung	46
3.3.1	Vorbereitung der Tiere.....	46
3.3.1.1	Aufbau des Arbeitsplatzes und Lagerung des Tieres.....	46
3.3.1.2	Scheren.....	47
3.3.1.3	Ankopplung	47
3.3.2	Durchführung der Untersuchung	48
3.3.3	Datenerfassung, statistische Auswertung und graphische Darstellung.....	48
3.3.3.1	Datenerfassung.....	48
3.3.3.2	Statistische Auswertung.....	48
4	Ergebnisse	50
4.1	Geräteeinstellung	50
4.2	Sonoanatomie	51
4.2.1	Das Hüftgelenk im Wasserbad	51
4.2.2	Sonoanatomie der lateralen Standardebene	55
4.2.3	Sonoanatomie der lateralen Standardebene mit Außenrotation.....	58
4.2.4	Sonoanatomie der inguinalen Schnittebene	59
4.3	Sonographisch-morphologische Entwicklung.....	62
4.3.1	Sonographisch-morphologische Entwicklung der lateralen Standardebene.....	62
4.3.2	Sonographisch-morphologische Entwicklung der lateralen Standardebene mit Außenrotation	66

4.3.3	Sonographisch-morphologische Entwicklung der inguinalen Schnittebene	68
4.4	Sonographischer Untersuchungsgang und Befundung	72
4.4.1.1	Sonographische Identifizierung der anatomischen Strukturen	72
4.4.1.2	Die laterale Standardebene mit neutraler Stellung der Gliedmaße	74
4.4.1.3	Die laterale Schnittebene mit Außenrotation der Gliedmaße	76
4.4.1.4	Dynamische Stressuntersuchung	77
4.4.1.5	Die inguinale Schnittebene	78
4.4.2	Befundung der Hüftsonogramme.....	78
4.4.2.1	Deskriptive Befundung	78
4.4.2.2	Quantitative Befundung.....	79
4.4.2.2.1	Alpha-Knochenwinkel und Beta-Knorpelwinkel	80
4.4.2.2.2	Epiphysenscheibenhöhe.....	83
4.4.2.2.3	Distraktionswert.....	84
4.4.2.2.4	Gelenkkapseldicke und Femurkopfkontur-Kapselabstand	85
4.5	Untersuchungsalter	86
4.6	Deskriptive Befunde	86
4.6.1	Ausformung der knöchernen Pfanne, des knöchernen Erkers und des knorpeligen Pfannendaches	86
4.7	Quantitative Befunde und Statistik.....	92
4.7.1	Alpha-Knochenwinkel und Beta-Knorpelwinkel	92
4.7.2	Epiphysenscheibenhöhe.....	108
4.7.3	Distraktionswert.....	111
4.7.4	Gelenkkapseldicke	116
4.7.5	Femurkopfkontur-Kapselabstand.....	119
5	Diskussion	122
5.1	Allgemeines.....	122
5.2	Methodik der Untersuchung.....	122

5.3	Die Sonoanatomie des Hüftgelenkes und die morphologische Entwicklung.....	123
5.4	Der Sonographische Untersuchungsgang und die Befundung	124
6	Zusammenfassung	131
7	Summary.....	134
8	Literaturverzeichnis	137

Danksagung

Abkürzungsverzeichnis

A-Mode	Amplituden Modus
Aus	Ausstelllinie
Az	Azetabulum
B-Mode	Brightness Modus
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
d	Tage
dB	Dezibel
DNS	Desoxyribonukleinsäure
DSH	Deutscher Schäferhund
DW	Distraktionswert
ESH	Epiphysenscheibenhöhe
Fa	Fossa acetabuli
FK	Femurkopf
Fl	Facies lunata
g	Gramm
GD	Gelenkkapseldicke
ggf.	gegebenenfalls
Gr	Grundlinie
H	Hauptuntersuchung
HD	Hüftgelenksdysplasie
Hz	Herz
Id	Identifikationsnummer
kE	knöcherner Erker
KHz	Kiloherz
KKKA	Kopfkontur-Kapselabstand
Kn	Knorpeldachlinie
knöch.	Knöchern
knorp.	Knorpelig
kP	hyalin-knorpelig präformiertes Pfannendach
La	Labrum acetabulare
li.	Links
lt.	Laut

Lw.	Lebenswoche
m	Männlich
M.	Musculus
m/s	Meter pro Sekunde
Madd□	Musculus adductor magnus et brevis
mBit	Megabit
Mgm	Musculus glutaesus medius
Mgp□	Musculus glutaesus profundus
Mgr	Musculus gracilis
Mgs□	Musculus glutaesus superficialis
MHz	Megahertz
Mil	Musculus iliopsoas
mm	Millimeter
M-Mode	Motion Modus
Mobt	Musculus obturatorius ext.
Mpec	Musculus pectineus et adductor longus
mW/cm ²	Milliwatt pro Quadratcentimeter
n	Anzahl
n. s.	nicht signifikant
Os il.	Os ileum
Os isch.	Os ischii
Os pub.	Os pubis
p	Signifikanz
PC	Personalcomputer
PennHip	Pennsylvania Hip Improvement Program
Pf	Pfannendachlinie
re.	Rechts
s	Standardabweichung
TGC	Time Gain Compensation
Tma	Trochanter major
UF	Umschlagsfalte der Gelenkkapsel
US	Ultraschall
USA	United States of America
US-Bild	Ultraschallbild
V	Voruntersuchung

w	Weiblich
Welpenr.	Welpennummer
x	Mittelwert
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

1 EINLEITUNG

Die Sonographie des Hüftgelenkes wird in der Humanmedizin bei Säuglingen in den ersten Lebenswochen zur Überprüfung einer Dysplasie und/oder Femurkopfluxation als das standardisierte Diagnostikum genutzt. Das frühzeitige Erkennen der Erkrankung hat den Vorteil, dass mit relativ geringen therapeutischen Mitteln (z. B. Spreizhöschen) die Hüftgelenksdysplasie erfolgreich behandelt werden kann (Graf, 2000).

Im Gegensatz zur Humanmedizin wird das Vorliegen der Hüftgelenksdysplasie beim Hund mit der standardisierten Röntgenuntersuchung in einem wesentlich höheren Alter diagnostiziert. Das zu untersuchende Tier ist bereits 12 Monate bzw. 13 bis 18 Monate alt (große und schwere Rassen). Das Hüftgelenk muss für die Röntgenuntersuchung knöchern ausgereift sein, da der knorpelig präformierte Teil des Gelenkes nicht zur Darstellung gelangt und damit nicht zu beurteilen ist (Müller und Saar, 1966; Brass, 1989; Dietschi et al., 2000).

Als weiteres bildgebendes Diagnostikverfahren eignet sich die Computertomographie. Aufgrund der hohen Kosten ist diese Methode zur Zeit in der Veterinärmedizin nicht für die Routinediagnostik einsetzbar (Linnmann, 1998).

Die klinische Untersuchung der Hüftgelenksdysplasie ist kein sicheres Diagnostikverfahren. In der Literatur werden verschiedene Untersuchungstechniken angegeben. So wird zur Feststellung der Instabilität des Hüftgelenkes der Ortolani-Test (Ortolani, 1976) durchgeführt. Dabei kann ggf. eine mangelhafte Gelenkstabilität ab einem Alter von 7 bis 8 Wochen erkannt werden (Chalman und Butler, 1985; Schimke und Paatsama, 1993). Bei dieser Untersuchung wird der Femurkopf manuell nach dorsal disloziert. Der instabile Oberschenkelkopf lässt sich dabei bis an den Rand der Gelenkpfanne oder darüber hinaus verschieben (Subluxation, Luxation). Während der dann folgenden Abduktion der Gliedmaße gleitet der Femurkopf in die Pfanne zurück, was als Schnappen fühlbar, oft auch als Klicken hörbar ist. Dieses Schnapp- bzw. Klickphänomen wird als positives Ortolani-Zeichen bezeichnet.

Erstrebenswert wäre auch in der Veterinärmedizin die Früherkennung der Hüftgelenksdysplasie. Die Methode zur Erlangung dieses Zieles könnte die sonographische Untersuchung sein. Ein Vorteil der frühen Diagnose wäre die Möglichkeit der Einleitung von früheren Therapien

sowie das rechtzeitige Ausschließen von betroffenen Tieren aus der Zucht. Es entstehen für Züchter und Käufer vielfältige Vorteile.

Als nicht invasives Verfahren erlaubt die Sonographie die gute Darstellung der knorpeligen Gegebenheiten und der knöchernen Oberfläche. Die Untersuchung ist ohne großen Geräteaufwand durchführbar und relativ kostengünstig.

Mit der vorgelegten Arbeit soll überprüft werden, ob die umfassende sonographische Darstellbarkeit der Hüftgelenkstrukturen bei einer bestimmten Hunderasse (Deutscher Schäferhund) möglich ist. Dabei werden die anatomischen Strukturen des Hüftgelenkes sonographisch beschrieben. Zu diesem Zweck wird eine standardisierte Untersuchungsmethode entwickelt bzw. die bereits in der Humanpädiatrie etablierten und die vereinzelt in der Veterinärmedizin angegebenen Verfahren auf ihre Anwendbarkeit beim Hundewelpen überprüft. Gleichzeitig werden für diese Rasse Referenzwerte erarbeitet.

Die erhaltenen Daten sollen als Grundlage für weitergehende Untersuchungen an Hüftgelenken beim Rassehund dienen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Physikalische Grundlagen der Sonographie

Bei der Beschreibung der physikalischen Grundlagen und Grundbegriffe ist es notwendig, Begriffe aus der Optik (Reflexion, Beugung, Brechung, Streuung, Absorption) zu verwenden. Die Analogie ergibt sich daraus, dass sich der Ultraschall im menschlichen und tierischen Körper ähnlich wie Licht in der Wellenoptik ausbreitet. Die Ultraschallwelle unterliegt neben Beugungs- und Interferenz- auch Reflexions-, Streuungs- und Absorptionserscheinungen. Sie pflanzen sich im Medium als periodische Schwankungen der Dichte durch longitudinale Wellen fort. Beugung und Brechung haben nur geringen Einfluss auf das Ultraschallbild, während die wichtigsten physikalischen Erscheinungen zur Entstehung des Bildes Reflexion und Rückstreuung sind (Kaarmann und Wessels, 1991).

Die Schallwellen wandern mit einer bestimmten *Schwingungszahl pro Sekunde* durch das Gewebe, die in Hertz (Hz) angegeben wird (Kaarmann und Wessels, 1991). Als Ultraschall bezeichnet man Schallwellen, deren *Frequenz* oberhalb von 20.000 Hertz liegt. Das menschliche Ohr nimmt Frequenzen von 16 Hz bis 20 KHz wahr. Unterhalb der Hörgrenze werden die Frequenzen als Infraschall bezeichnet. Die für die medizinische Diagnostik verwendeten Frequenzen liegen zwischen 3 und 10 Megahertz (Graf und Schuler, 1988; Dubs-Kunz, 1990; Sattler, 1994).

Die Erzeugung von Ultraschallwellen beruht auf dem reziproken piezoelektrischen Effekt von Quarztitanaten, Zirkonaten oder künstlichen Kristallen. Das Anlegen einer elektrischen Spannung an die Kristalle bewirkt Größenveränderungen, wodurch mechanische Schwingungen erzeugt werden, die sich als Welle im Weichteilgewebe fortpflanzen. Umgekehrt ist es möglich, Ultraschallwellen auch mit diesen Kristallen wieder zu empfangen, die dann in elektrische Spannung transformiert wird (piezoelektrischer Effekt). Die zum Sender zurückkehrenden Echos werden nach dem Zeit-Weg-Prinzip analysiert. Der reflektierte Teil des Ultraschallimpulses wird als Ultraschallecho bezeichnet (Graf und Schuler, 1988; Dubs-Kunz, 1990; Kaarmann und Wessels, 1991).

Die ausgesandte Ultraschallwelle hat in verschiedenen Gewebearten unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten. Die beiden wichtigsten akustischen Eigenschaften des Gewebes sind die Dichte und Elastizität. Aus diesen lassen sich die Schallgeschwindigkeit und der

Schallwiderstand berechnen, die als sogenannte *akustische Impedanz* bezeichnet wird (Hedtmann und Fett, 1988). An Grenzflächen von Geweben mit unterschiedlicher akustischer Eigenschaft werden Ultraschallwellen unterschiedlich reflektiert. Ein Teil der Schallwelle durchdringt das nachfolgende Gewebe (Transmission). Die Intensität der *Reflexion* ist abhängig vom Grad des akustischen Gewebeunterschiedes und vom Einfallswinkel. Die Echos werden bei der Entstehung des Ultraschallbildes hinsichtlich ihres Reflexionsortes als auch ihrer Intensität ausgewertet. Dadurch entstehen Ultraschallbilder, an denen Grenzflächen und unterschiedliche Strukturen gesehen werden können. Je größer der Impedanzunterschied, desto größer ist auch der Anteil der reflektierten Schallwelle. Die Schallwellen verhalten sich bei der Reflexion nach dem Gesetz der Optik „Einfallswinkel gleich Ausfallswinkel“. Die Intensität des Echos ist auch abhängig von der *Rauigkeit* der Grenzflächen. So geben rauhe und schräg getroffene Grenzflächen schwächere Echos ab (Fritsch und Gerwing, 1993; Sattler, 1994; Graf, 2000).

Die *Schallgeschwindigkeit* ist abhängig von der Dichte der Materie. Bei akustisch dichter Materie steigt sie an. So beträgt die Schallgeschwindigkeit in der Luft 300 Meter/Sekunde (m/s), im Wasser 1.500 m/s, in Weichteilgeweben dagegen nur in geringen Grenzen zwischen 1.470 m/s (Fett) und 1.630 m/s (Muskel). Als *Auflösung* wird der Mindestabstand zweier Bildpunkte verstanden, die im Sonogramm gerade noch unterschieden werden können. Differenziert wird zwischen der axialen und lateralen Auflösung. Die Axiale ist die Auflösung in Schallausbreitungsrichtung und wird von der Impulsdauer bestimmt. Die laterale Auflösung wird von der Breite des Ultraschallimpulses bestimmt (Hedtmann und Fett, 1988; Fritsch und Gerwing, 1993; Sattler, 1994;).

Charakteristische Besonderheiten bzgl. des Schallechos zeigen Knochen, Luft und Wasser. Knochen reflektieren ca. 50 % der Schallenergie, die andere Hälfte wird absorbiert. Luft bewirkt Totalreflexion. Im Ultraschallbild ist ein reflexreicher Bezirk dargestellt, hinter dem keine weiteren realen Strukturen abgebildet werden. Ebenso verhalten sich Konkremente, Knochenoberflächen, Metalle und Bariumsulfat. Im Wasser (bzw. wässrige Lösungen) transmittiert die Schallwelle zu 100 %, so dass Wasser bzw. Körperflüssigkeiten exzellente Hilfen für die sonographische Untersuchung darstellen (Kaarmann und Wessels, 1991; Graf, 2000).

2.1.1 Artefakte

Artefakte sind Bildstrukturen, die nicht anatomischen Strukturen entsprechen. Ihre Erkennung ist von großer Bedeutung, um Fehlbeurteilungen zu vermeiden. (Hedtmann und Fett, 1988; Fritsch und Gerwing, 1993; Graf, 2000).

Eine vermeidbare Ursache für das Auftreten von Artefakten ist die mangelhafte Patientenvorbereitung. So kann bei ungenügender Schur oder bei Verwendung zu geringer Mengen von Ultraschallgel kein ausreichender Kontakt zwischen Schallkopf und Haut hergestellt werden. Als Folge entstehen auf dem Ultraschallbild Ankopplungsartefakte in Form von Wiederholungsechos. Eine mangelhafte Geräteeinstellung kann ebenfalls Artefakte hervorrufen und die Auswertungsfähigkeit der Sonogramme negativ beeinflussen. So bewirkt z. B. die zu hohe Einstellung der Verstärkung (Gesamt- und/oder Tiefenverstärkung) das Artefakt des Rauschens (Kaarmann und Wessels, 1991). Begründen sich die Artefakte jedoch auf physikalische Eigenschaften der Ultraschallwellen, so ist ihr Auftreten nicht vermeidbar. Bei korrekter Auswertung können sie für die Bildinterpretation sogar hilfreich sein (Fritsch und Gerwing, 1993; Flückiger, 1997; Graf, 2000).

Nachfolgend sind die für die Hüftsonographie wichtigsten und häufigsten Artefakte aufgeführt.

2.1.1.1 Rauschen

Unter dem Begriff Rauschen versteht man das diffuse oder das lokale Auftreten von multiplen kleinen echoreichen Punkten auf dem Monitor, die aufgrund von ungerichteten Bewegungen von Elektronen auf dem Bildschirm entstehen (Braun'sche Molekularbewegung). Ausgelöst wird das Rauschen durch die zu hohe Einstellung der Grundverstärkung, Gesamtverstärkung oder des Tiefenausgleichs (Fritsch und Gerwing, 1993; Späthling und Lüftl, 1996).

2.1.1.2 Schallschatten

Das Phänomen des Schallschattens tritt auf, wenn die Schallwellen an Grenzflächen total reflektiert (z. B. Luft) und/oder absorbiert (z. B. Knochen) werden. Es kommt unterhalb dieser Strukturen zur Schallauslöschung und somit ist hinter diesen Strukturen keine Aussage möglich (Hedtmann und Fett, 1988). An der Grenzfläche wird ein sehr starkes Echo erzeugt. An der unregelmäßigen Oberfläche von Gas findet zwar nahezu Totalreflexion statt, aber es ent-

stehen zusätzlich zahlreiche andere Artefakte im Schallschatten (z. B. Reverberationen). Der Schallschatten erscheint dadurch grau und wird auch als „schmutziger Schallschatten“ bezeichnet (Dubs-Kunz, 1990).

Schallschatten treten bei der Hüftsonographie regelmäßig auf. Das Phänomen ist bei der Wahl des Untersuchungszeitpunktes des Hundewelpen besonders wichtig (Kresken, 1991), da der Schallschatten des Verknöcherungskerns des Femurs (größenabhängig) dem Untersucher keinen Einblick auf die dahinterliegenden Strukturen erlaubt (Graf, 2000).

2.1.1.3 Wiederholungsechos (Reverberationen, Palisaden, Mehrfachreflexionen)

Das Wiederholungsecho tritt an Grenzflächen mit hohem Impedanzsprung auf. Dabei kommt es zu mehrfacher Reflexion der Ultraschallwellen. Schallwellen, die zweimal reflektiert werden, benötigen die doppelte Laufzeit, bis sie zum Schallkopf zurückkehren. Durch die längere Laufzeit wird die Grenzfläche in der Tiefe mehrfach abgebildet (Dubs-Kunz, 1990; Fritsch und Gerwing, 1993). Reverberationen können z. T. am medialen Anteil der Knorpelknochen-Grenze des Femurs beobachtet werden (Graf, 2000).

2.1.1.4 Bogenartefakt (Nebenkeulenartefakt, Hyperbelartefakt)

Stark reflexreiche Strukturen bringen auch die schwachen Ausläufer des Schallfeldes zur Abbildung bzw. können hyperechogene gebogene Linien erzeugen (Sattler, 1994). Das Bogenartefakt tritt in der Hüftsonographie unter anderem am Verknöcherungskern des Femur auf, dort wird es auch als Halbmondphänomen bezeichnet. Der Hüftkopfkern wird nicht als kräftiger runder Reflex abgebildet, sondern zeigt bogenförmige auslaufende Echos (Graf, 2000).

2.1.1.5 Pseudousur

Die Pseudousur tritt an konvex gebogenen, halbrunden Knochenstrukturen auf, die die Ultraschallwelle tangential trifft. Hier entsteht eine scheinbare Lücke in der Kontur des Knochens. Die echte Usur weist im Gegensatz zur Pseudousur einen reflexogenen Usurgrund auf (Graf und Schuler, 1988; Hedtmann und Fett, 1988; Sattler, 1994).

2.1.1.6 Schallverstärkung

Beim Durchlaufen von reflexarmen oder reflexlosen Geweben (Flüssigkeiten) werden die Ultraschallwellen in ihrer Intensität nicht oder nur deutlich weniger abgeschwächt als dies beim Durchdringen von Geweben mit höherer Dichte wäre. Das Gewebe unter diesen Strukturen erscheint echogener als in der vergleichbaren Nachbarschaft. (Fritsch und Gerwing, 1993).

2.1.1.7 Tangentialphänomen, lateral shadowing

In den Randbereichen von zystischen Gebilden werden tangential auftretende Schallwellen gestreut oder gebrochen, so dass sie nicht zum Schallkopf zurückkehren (Einfallswinkel = Ausfallswinkel). Es entstehen schmale Schallschatten unterhalb und an den Seitenzonen, die in Richtung der Schallwellen verlaufen. (Fritsch und Gerwing, 1993).

2.1.2 Auswirkungen von Ultraschall auf lebende Gewebe

Bis heute sind keine negativen Auswirkungen bei der diagnostischen Anwendung der Sonographie bekannt. Allerdings wurden einige physikalisch-chemische Primärwirkungen des Ultraschalls festgestellt (Rott, 1984; Kaarmann und Wessels, 1991).

Treffen Ultraschallwellen auf Gewebe, so wird Wärme erzeugt. Sie ist von der Beschallungsdauer, von der Schallintensität, dem Absorptionskoeffizienten und der Leitfähigkeit des Gewebes abhängig. Gefäße haben dabei eine wärmeableitende Funktion. Bei B-Mode Ultraschallanwendungen spielt die Wärmeentwicklung keine Rolle (Rott, 1984; Graf, 2000).

Eine weitere physikalische Primärwirkung des Ultraschalls ist die Kavitation. Dabei kommt es zur Bildung von Gasblasen in Flüssigkeiten und Geweben und es entstehen hohe Druckwerte und Temperaturen, die zu Zell- und Gewebszerreißen führen können. Auch tritt Flüssigkeits- und Plasmabewegung ein, die als Mikrostreaming bezeichnet wird. Bei der chemischen Primärwirkung werden Makromoleküle depolymerisiert. Der Effekt wurde auch an verschiedenen Proteinen nachgewiesen, insbesondere an der Desoxyribonukleinsäure. An der zellulären DNS konnte keine dieser Mechanismen beobachtet werden (Graf und Schuler, 1988; Kaarmann und Wessels, 1991; Dudwiesus, 1995; Graf, 2000).

Die beschriebenen Schäden sind abhängig von der Ultraschallintensität und der Frequenz. Damit keine Gewebeirritation eintritt, darf die angewendete Ultraschallleistung 100 mW/cm^2 nicht überschreiten. Die heutigen zur Diagnostik eingesetzten Ultraschallgeräte liegen mit ihrer Leistung zwischen $5 - 50 \text{ mW/cm}^2$. Damit unterscheidet sich der diagnostische Ultraschall wesentlich von den Diagnostikverfahren mit ionisierender Strahlung, bei denen die Primärwirkung unabhängig von Dosis und Intensität immer vorhanden ist (Graf und Schuler, 1988; Kaarmann und Wessels, 1991; Graf, 2000).

2.2 Technische Grundlagen – Apparative Voraussetzung

Das Ultraschallgerät setzt sich aus dem Schallkopf (Applikator, Transducer, Scanner), der zentralen Steuereinheit und dem Monitor zusammen. Der Schallkopf sendet und empfängt Ultraschallwellen. Die zentrale Einheit enthält die Elemente zur elektronischen Steuerung des Sende- und Empfangvorganges und zur Verarbeitung der Signale. Die in Bildinformationen umgewandelten Signale werden anschließend auf dem Monitor dargestellt (Kaarmann und Wessels, 1991; Fritsch und Gerwing, 1993).

Bei der Sonographie unterscheidet man zwischen dem Impuls-Echo-Verfahren, dem Compound Verfahren und dem Real-Time-Verfahren (Kaarmann und Wessels, 1991). Die heute eingesetzten Geräte verwenden das Real-Time-Verfahren, bei dem durch schnellen Bildaufbau die sonographierten Gewebe/Organe im gleichen Moment als bewegte Ultraschallbilder dargestellt werden (Echtzeitverfahren) (Graf, 2000).

Bei der Umwandlung der gewonnenen Informationen in ein Bild werden verschiedene Modi verwendet: A-, B- und M-Modus. Der A-Modus (A=Amplitude) findet im Bereich der Ophthalmologie Anwendung (Kaarmann und Wessels, 1991). Beim B-Modus (B= Brightness modulation) werden die erhaltenen Messwerte aus dem Gewebe in schwarz-weiß Bildpunkte auf dem Monitor umgewandelt. Je stärker das Signal (reflexreicher), um so heller ist der Punkt. Die Tiefenposition des Bildpunktes wird durch die Laufzeit des Schallimpulses festgelegt (Graf und Schuler, 1988, Kaarmann und Wessels, 1991). Die Hüftsonographie findet im B-Modus statt. Beim M-Modus (M=Motion) wird nicht das ganze B-Bild abgebildet, sondern nur eine Zeile. Dieses Prinzip wird bei der Herzsonographie eingesetzt (Kaarmann und Wessels, 1991).

2.2.1 Schallkopftypen und Schallkopffrequenzen

Je nach Form lassen sich Schallköpfe in Sektor und Linearscanner einteilen. Weiterhin unterscheiden sich Schallköpfe in der Ansteuerung der Kristalle in elektronische und mechanische Scanner (Kaarmann und Wessels, 1991).

Beim Linearschallkopf sind 40 - 256 Kristalle parallel auf einer Linie angeordnet. Der Vorteil liegt in der sehr guten Auflösung und der linearen Geometrie des Bildes. Der Nachteil ist die relativ große Ankopplungsfläche. Beim Sektorschallkopf treten die Schallwellen aus dem Schallkopf in einem bestimmten Winkel (ca. 90 - 100°) divergierend aus. Der Vorteil dieser Schallköpfe liegt in einer kleineren Ankopplungsfläche, wobei in der Tiefe trotzdem ein großer Bildausschnitt vorhanden ist. Als Nachteil ist die Verzeichnung des Bildes, insbesondere bei der Winkelmessung, festzustellen. Aus diesem Grund sollten zur Hüftsonographie, bei der die verschiedenen Winkelmessungen durchgeführt werden, nur Linearschallköpfe eingesetzt werden. (Dubs-Kunz, 1990; Kaarmann und Wessels, 1991; Graf, 2000).

Das wichtige Charakteristikum des Schallkopfes ist seine Frequenz. Dabei verhalten sich Frequenz und Eindringtiefe umgekehrt proportional. Mit höherer Frequenz steigt das Auflösungsvermögen bei verringerter Eindringtiefe und umgekehrt. Hüftgelenke von Neugeborenen bestehen aus relativ kleinen anatomischen Strukturen in geringer Tiefe. Aus diesem Grund sollten zur Hüftsonographie Schallköpfe mit Mindestfrequenzen von 7 MHz verwendet werden (Graf, 2000).

2.2.2 Geräteeinstellung

Am Ultraschallgerät können verschiedene Parameter durch Regler verändert werden. Die wichtigsten Regelgrößen zur Bildeinstellung sind die Grundverstärkung, der Tiefenausgleich, der Kontrastregler und der Fokusbereich. Die Grundverstärkung bestimmt die Energie, mit der das Gewebe beschallt wird. Je höher die Verstärkung eingestellt ist, desto heller wird das Bild auf dem Monitor und umgekehrt. Eine zu hohe oder zu niedrige Einstellung führt dazu, dass dunkle oder helle Bildteile nicht mehr wiedergegeben werden. Mit dem Tiefenausgleich (tiefenabhängige Verstärkung oder TGC=Time Gain Compensation) ist es möglich, die mit zunehmender Tiefe an Intensität abnehmenden Signale auszugleichen. Um ein gleichmäßig helles Bild zu erhalten, ist es notwendig, die aus der Tiefe kommenden Schallreflexe mehr zu verstärken als die mittleren oder die oberflächlichen (Kaarmann und Wessels, 1991; Sattler, 1994).

Mit dem Kontrastregler lässt sich die Darstellung verschiedener Graustufen verändern. Damit können schwache Echos gefiltert werden und Organkonturen besser dargestellt werden. Früher bevorzugte man bei der Sonographie der Säuglingshüfte ein sehr kontrastreiches, hartes Bild (Graf, 1986). Demgegenüber wird die heutige Hüftsonographie wesentlich weicher (Darstellung vieler Graustufen) durchgeführt (Graf, 2000). Dies lässt sich dadurch erklären, dass mit den modernen, hochauflösenden Geräten auch kleinste Strukturen dargestellt werden können. Damit auch diese „feinen“ Strukturen dargestellt werden, sollte das Bild nicht zu kontrastreich sein (Graf, 2000).

Die Grundverstärkung, der Tiefenausgleich und die Kontrasteinstellung sollte bei der Hüftsonographie so eingestellt werden, dass der hyaline Femurkopf echoarm, aber nicht echofrei, dargestellt wird (Graf, 2000).

Im Fokusbereich des Ultraschallkopfes ist die Auflösung des Bildes am größten. Bei den heute verwendeten Ultraschallgeräten kann der Fokusbereich tiefenabhängig variiert werden. Der Fokusbereich sollte auf die Region gelegt werden, die im Mittelpunkt der Untersuchung steht (Graf und Schuler, 1988; Kaarmann und Wessels, 1991; Sattler, 1994).

2.3 Nomenklatur und Befundbeschreibung

Entsprechend der abdominalen Sonographie (Fritsch und Gerwing, 1993; Flückinger, 1997) werden im orthopädischen Ultraschall die Strukturen standardisiert beschrieben. Bei der Befundung muss eine einheitliche Nomenklatur benutzt werden. Die entsprechenden sonomorphologischen Begriffe sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

Begriffe	Beschreibung
echolos, echofrei, reflexlos, anechogen	Bereiche ohne Echo; schwarze Bezirke (z. B. Knorpel)
echoarm, reflexarm, hypoechogen	Bereiche mit geringer Anzahl von Echos; gräuliche Bezirke (z. B. Muskulatur)
mittleres Echomuster, mittlere Echodichte	graue Bezirke (z. B. Sehne)
echoreich, echogen, reflexreich, hyperechogen	Bereich mit vielen hellen Echos; weiß-graue Bezirke (z. B. Faszie, Knochenoberfläche)

Tabelle 1

Sonomorphologische Begriffsbestimmung

Neben der Beschreibung der Echogenität gehört zur exakten Befundung auch die Erfassung des Verteilungsmusters der Reflexpunkte. Eine Beschreibung der Verteilungsmuster erfolgt in Tabelle 2.

Begriffe	Beschreibung
homogen	einzelne Reflexpunkte sind gleichmäßig auf dem Sonogramm verteilt (z. B. Muskulatur)
inhomogen	im Ultraschallbild finden sich unregelmäßige Echoverteilungen (z. B. Hämatom)
komplexe Echomuster	Bereich mit echogenen, echoarmen Bezirken sowie Strukturen mit mittlerer Echodichte; das Gebiet stellt sich weiß/grau/schwarz dar (z. B. Hämatom)

Tabelle 2

Beschreibung der Verteilungsmuster (Homogenität)

Zu der Beschreibung der Verteilungsmuster wird auch der Grad der Echogenität dokumentiert. Es lassen sich Abstufungen in geringgradig, mittelgradig oder hochgradig vornehmen.

Anschließend erfolgt die Bestimmung der Lage, Größe und Form der untersuchten Organe (Dubs-Kunz, 1990).

Damit erstellte Ultraschallbilder einheitlich beurteilt werden können, wird die Schallkopfrichtung in Bezug zur Darstellung auf dem Sonogramm definiert (Tabelle 3).

Schnittrichtung zur Körperachse	Darstellung auf dem Sonogramm bzw. Monitor	
längs	linke Bildseite	Darstellung der kranialen Körperpartie
	rechte Bildseite	Darstellung der kaudalen Körperpartie
quer	linke Bildseite	Darstellung der rechten Körperpartie
	rechte Bildseite	Darstellung der linken Körperpartie

Tabelle 3

Lage- und Richtungsvereinbarung des Schallkopfes in Bezug zur Darstellung auf dem Sonogramm

Die Dorsalfläche erscheint bei dorsaler Ankopplung des Scanners immer schallkopfnah am oberen Bildrand, die ventral bzw. plantar gelegenen Bereiche liegen hierbei am unteren Bildrand. Bei ventraler bzw. plantarer Ankopplung wird die Ventral- bzw. Plantarfläche am oberen Bildrand abgebildet, die Dorsalfläche liegt am unteren Bildrand (Fritsch und Gerwing, 1993; Flückiger, 1997; Graf, 2000).

2.4 Orthopädische Sonographie

2.4.1 Orthopädische Sonographie beim Hund

Erste sonographische Untersuchungen in der Orthopädie des Hundes wurden von Gerwing und Kramer (1991a, 1991b) durchgeführt. Dabei wurden grundlegende Beschreibungen von Muskulatur, Sehnen und Gelenken beim Hund gemacht. Es folgten Berichte über den Einsatz der Ultraschalldiagnostik bei orthopädischen Erkrankungen (Gerwing und Kramer 1992, 1993; Kramer 1992, 1999; Kramer et al. 1994a, 1994b, 1996a, 1996b, 1997, 1999; Schimke et al. 1992; Schleich et al. 1992; Engelke et al. 1996, 1997; Michele, 2000).

Die Sonographie des Stütz- und Bewegungsapparates gestaltet sich beim Hund (Kramer 1999) prinzipiell ähnlich wie beim Menschen. Abweichungen treten in den Untersuchungsgängen von Gelenken durch Unterschiede in der Anatomie und Funktion auf.

Damit die Reproduzierbarkeit von Befunden in der orthopädischen Sonographie des Hundes gewährleistet ist, müssen Standardschnittebenen sowie für bestimmte Körperregionen feste Untersuchungsgänge festgelegt werden (Kramer, 1992; Engelke et al., 1997; Kramer et al. 1997; Stengel, 1997; Kramer et al. 1999). Bei Muskeln oder Sehnen sind es üblicherweise Längsschnitte in Richtung des Faserverlaufs. Der dazugehörige Querschnitt steht senkrecht dazu. In der Gelenksonographie werden spezielle Standardschnittebenen festgelegt (Kramer 1991, 1992; Engelke et al., 1997; Stengel, 1997; Kramer, 1999).

Die orthopädischen Ultraschalluntersuchungen werden beim Hund üblicherweise mit mindestens 7,5 MHz Linearschallköpfen durchgeführt. Bei kleinen Tieren oder sehr oberflächlichen Strukturen werden gegebenenfalls Vorlaufstrecken verwendet (Kramer, 1992; Kramer et al., 1994a und 1997; Kramer und Gerwing, 1996b; Engelke 1997).

2.4.1.1 Sonoanatomisches Erscheinungsbild der Gewebe beim Hund

2.4.1.1.1 Haut

Die Haut stellt sich als eine echoreiche, oberflächliche Linie dar. Verwendet man eine Vorlaufstrecke kann die Haut mit hochauflösenden Schallköpfen als Reflexdoppellamelle dargestellt werden (Kramer, 1992).

2.4.1.1.2 Unterhaut

Die Darstellung der Dicke der Unterhaut ist abhängig von Fetteinlagerungen. Die Grundstruktur des Gewebes ist echoarm mit diffus verteilten feinen reflexreichen Punkten (Kramer, 1992).

2.4.1.1.3 Muskeln

Muskeln weisen eine echoarme Grundstruktur auf, die im Longitudinalschnitt von parallel oder gefiedert verlaufenden reflexreichen Linien, den Muskelsepten, unterbrochen wird. Die Grundtextur der Muskeln ist im Querschnitt ebenfalls echoarm. Die Muskelsepten stellen sich im Querschnitt als diffus verteilte echoreiche Punkte in der reflexarmen Muskulatur dar (Gerwing und Kramer, 1991; Kramer, 1992).

2.4.1.1.4 Sehnen

Sehnen stellen sich im longitudinalen Sonogramm als echoreiche Bänder dar, die aus zahlreichen parallelen Linien bestehen. Nur orthograd untersuchte Bereiche können beurteilt werden, da schräg getroffene Sehnenanteile sich ohne fibrilläre Struktur darstellen. Im Transversalschnitt sind Sehnen rund bis ovoid, reflexreich und aufgrund ihrer fibrillären Textur geringgradig inhomogen (Kramer, 1991, 1992; Gerwing und Kramer, 1992; Kramer et al. 1994a).

2.4.1.1.5 Knochen

Die Knochenoberfläche erscheint im Ultraschallbild als sehr echodichte Linie mit charakteristischer distaler Schallauslöschung. Die Kortikalis stellt sich nur dort glatt dar, wo sie orthograd von den Schallwellen getroffen wird, bei schrägem Auftreffen der Schallwellen wird eine Pseudousur (siehe Artefakte) sichtbar (Kramer, 1992).

2.4.1.1.6 Knorpel

Der hyaline Knorpel stellt sich an Gelenkflächen, wo er sich der Kontur des Knochens anpasst, als echoloser Saum ohne distale Schallverstärkung dar. Hyaliner Knorpel in Form der

Vorstufe des Knochens bei der chondralen Ossifikation ist echolos, z. T. treten im Ultraschallbild mit hochauflösenden Ultraschallgeräten im hyalinen Knorpel (so z. B. beim knorpeligen Femurkopf) kleine wurmartige reflexreiche Pünktchen auf. Sie entsprechen Gefäßechos im hyalinen Femurkopfanteil. Faserknorpel oder kollagenfaseriger Knorpel (z. B. das Labrum acetabulare) stellt sich im Sonogramm reflexreich dar (Graf, 2000).

2.4.2 Orthopädische Sonographie des Hüftgelenkes in der Humanmedizin

Bereits 1980 wurde von Graf die Sonographie zur bildgebenden Diagnose „luxierter“ Hüftgelenke beim Menschen erfolgreich eingesetzt. Die Hüftsonographie ist seit 20 Jahren in der Humanmedizin etabliert und wird als das bildgebende Verfahren der Wahl zur Diagnose von Hüftreifungsstörungen beim Säugling genutzt. Sie wurde in dieser Zeit kontinuierlich weiterentwickelt und perfektioniert (Graf, 1982a, 1983, 1986, 1987, 1997, 2000; Dorn und Hattwich, 1987; Graf und Schuler, 1988; Casser, 1992; Melzer, 1994, 1997; Graf und Tschauner, 1994; Franke et al., 1997; Hofmann et al., 1998).

Seit 1992 ist sie in Österreich und seit 1996 in Deutschland obligater Bestandteil der öffentlichen Gesundheitsvorsorge („Mutter-Kind-Paß“). Es wird ein allgemeines Hüft-Screening aller Säuglinge mit Ultraschall durchgeführt (Graf, 1997; Grill und Müller, 1997).

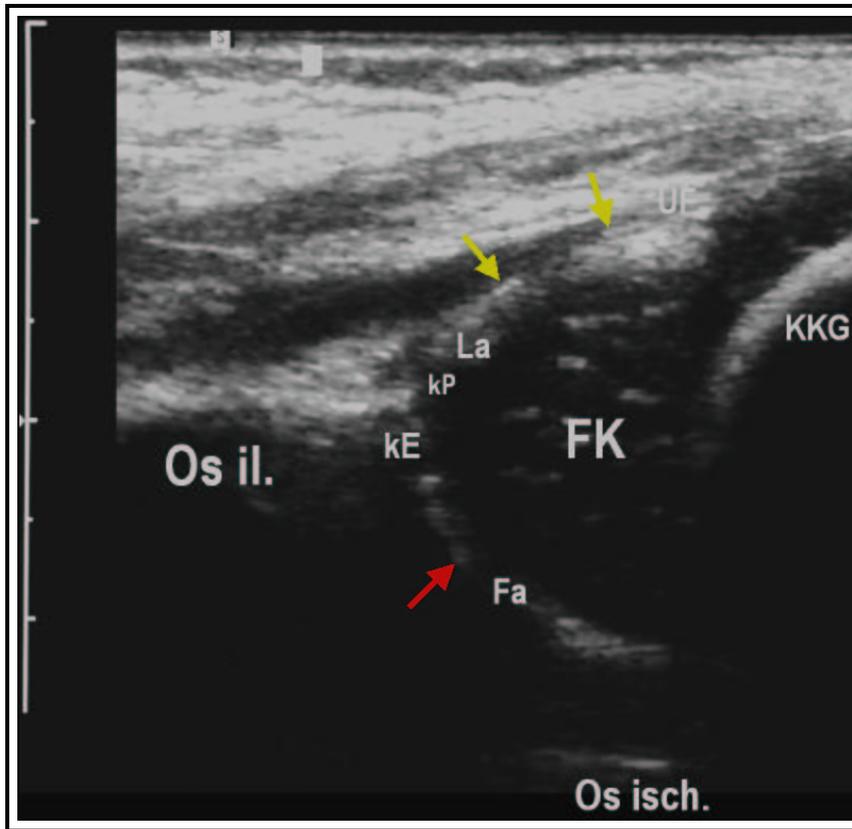
Die Ultraschalluntersuchung sollte mit 5 oder 7,5 MHz Linearschallköpfen durchgeführt werden. Der Linearschallkopf ist einfacher zu handhaben, die Schnittebenen lassen sich besser und einfacher auffinden und er ermöglicht die übersichtlichere Darstellung des Hüftgelenkes mit allen periartikulären Strukturen. Die Untersuchung der Säuglingshüfte findet unter standardisierten Bedingungen statt (Graf, 2000).

2.4.2.1 Sonographischer Untersuchungsgang des Hüftgelenkes beim Säugling

Der Säugling liegt in speziell entwickelten Lagerungsschalen oder auf weichen Unterlagen. Um das Verkippen des Schallkopfes zu vermeiden, wurde die Schallkopfführungsapparatur entwickelt. Der Säugling wird seitlich gelagert, das oben liegende Bein leicht nach innen rotiert. Es sollte nicht über den Wulst der Lagerungsschale hinausragen.

Bei dem sonographischen Untersuchungsgang der Säuglingshüfte nach Graf (2000) werden zunächst die anatomischen Hüftgelenksstrukturen identifiziert. Der Schallkopf wird parallel und senkrecht zur Lagerungsschale auf das Hüftgelenk aufgesetzt. Der Transducer wird aus

dieser Grundstellung heraus parallel nach dorsal und ventral verschoben. Als erste anatomische Struktur wird die *Knorpel-Knochen-Grenze* aufgesucht (US-Bild 1, KKG). Folgt man dieser nach medial, gelangt man zur mehr oder weniger runden, echoarmen Zone des *Femurkopfes* (US-Bild 1, FK).



US-Bild 1

Hüftgelenk eines Säuglings

- FK : *Femurkopf*
 Fa : *Fossa acetabuli*
 🟩 : *Gelenkkapsel*
 kP : *hyalin-knorpelig präformiertes Pfannendach*
 kE : *knöcherner Erker*
 La : *Labrum acetabulare*
 Os il. : *Os ileum*
 Os isch. : *Os ischii*
 UF : *Umschlagsfalte der Gelenkkapsel*
 🟥 : *Unterrand des Os ileum*

Nach dessen Identifizierung liegt lateral des Hüftkopfes und proximal der Knorpel-Knochen-Grenze das Echo der *Umschlagsfalte* (US-Bild 1, UF). Danach folgt man der Gelenkkapsel (US-Bild 1, 🟩) nach proximal bis zum *Labrum acetabulare* (US-Bild 1, La). Es ragt als

akzessorischer Gelenkanteil in das Gelenk dreieckförmig hinein und schmiegt sich von innen her an die Gelenkkapsel an. Das Labrum acetabulare ist nur am hyalin-knorpelig präformierten Pfannendach fixiert.

Es kann in manchen Fällen schwierig sein, das Labrum sonographisch sicher zu lokalisieren, da es nicht von dem hyalinen Knorpel des Pfannendaches, der in diesen Fällen ebenfalls echogen ist, differenziert werden kann. Dann müssen die 4 Labrumdefinitionen zu Hilfe genommen werden. Es genügt, das Labrum mit einer einzigen Definition zweifelsfrei festzulegen. Die vier Labrumdefinitionen (Graf, 2000) lauten:

Das Labrum liegt intraartikulär und hat immer Hüftkopfkontakt.

Das Labrum ist immer jenes Echo, das sich lateral-distal vom Schalloch 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.

Folgt man nach der Identifizierung des Labrum acetabulare der Hüftkopfoberfläche im Uhrzeigersinn von lateral nach medial, dann stellt sich als nächste Struktur das *hyalin-knorpelig präformierte Pfannendach* (US-Bild 1, kP) dar. Geht man weiter nach medial, sind die Echos der *knöchernen Pfanne* zu identifizieren. Die Reihenfolge von lateral nach medial ist: Labrum acetabulare, Knorpeldach und knöcherne Pfanne.

Die Reihenfolge vom Labrum, Knorpeldach und knöcherner Pfanne wird nach Graf (2000) auch als die Standardsituation bezeichnet, weil sie auch bei pathologischen Hüftgelenken prinzipiell unverändert sind. Als letzte anatomische Struktur wird der knöcherne Erker (US-Bild 1, kE) dargestellt. Er ist ein wichtiger Bezugspunkt für die Typisierung der Hüftgelenkpfanne. Der knöcherne Erker ist der am weitesten lateral liegende Punkt der knöchernen Pfannenkonkavität.

Nach dem sonographischen Auffinden der beschriebenen Strukturen wird die Standardschnittebene (=Messebene) dargestellt, damit man bei der sonographischen Untersuchung reproduzierbare Schnitte erhält. Sie ist definiert durch den Unterrand des Os ilium (US-Bild 1, ) in der Fossa acetabuli (US-Bild1, Fa), das Pfannendach und das Labrum acetabulare. Sie werden auch als „Landmarks“ bezeichnet.

Wenn nur einer der Punkte fehlt oder nicht korrekt dargestellt ist, ist das Sonogramm nicht auswertbar. Der Unterrand des Os ilium dient dazu sicherzustellen, dass der Schnitt durch die Mitte des Azetabulums geht (1. Schnittpunkt).

Als 2. Schnittpunkt der Ebene wird das mittlere Pfannendach herangezogen. Um zu differenzieren, dass das Pfannendach im ventralen, mittleren oder posterioren Anteil von der Schnittebene getroffen wurde, ist primär die Darstellung des Unterrandes des Os ilium als Punkt, durch den die Rotationsachse gelegt wird, entscheidend. Der 3. Schnittpunkt, das Labrum acetabulare, verhindert eine Kippung der Ebene in ventrozentraler und dorsozentraler Richtung (schräge Schnittführung) (Graf, 2000).

2.4.2.2 Deskriptive Befundung der Säuglingshüfte

Es folgt die morphologische Beschreibung der knöchernen und knorpeligen Anteile des Pfannendaches mit einheitlichen Termini (Tabelle 4). Dabei werden prinzipiell die knöchernen und knorpeligen Verhältnisse des Pfannendaches getrennt beschrieben. Beurteilt werden der knorpelige Erker, der knöcherner Erker und die knöcherner Formgebung der Hüfte.

Knorpeliger Erker	Knöcherner Erker	Knöcherner Formgebung
übergreifend	eckig	gut
noch übergreifend	meist geschweift („stumpf“)	ausreichend
verdrängt	rund	mangelhaft
nach kranial verdrängt - ohne Strukturstörung	rund bis flach	hochgradig mangelhaft
nach kranial verdrängt - mit Strukturstörung	flach	schlecht
nach mediokaudal verdrängt		

Tabelle 4

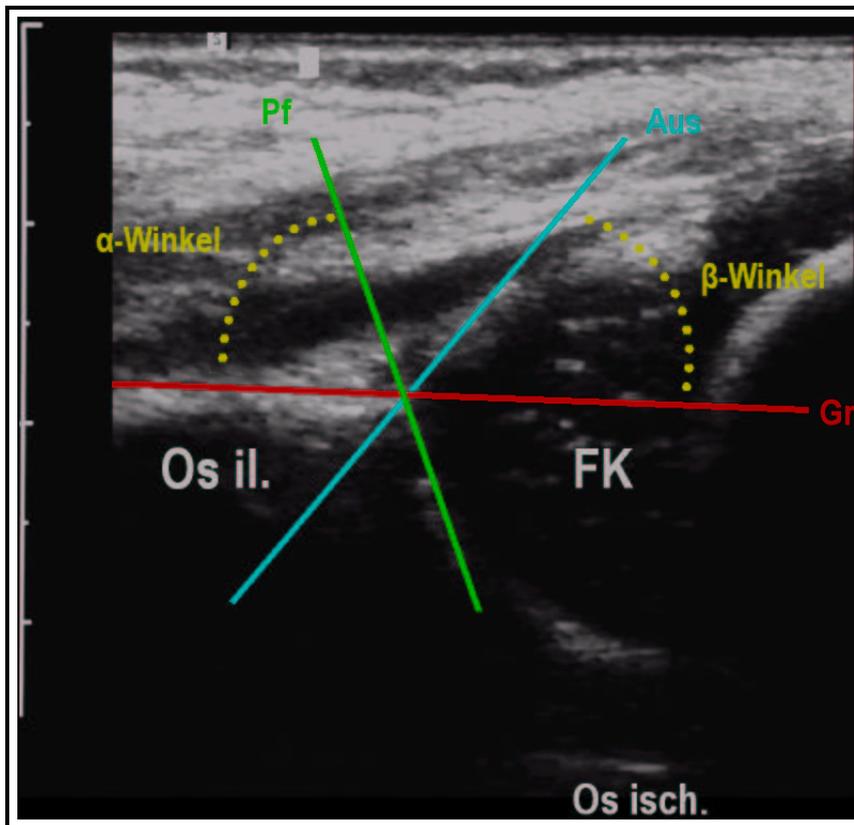
Deskriptive Befundung der Säuglingshüften nach Graf (2000)

2.4.2.3 Messtechnische Bewertung der Säuglingshüfte

Nach der korrekten Einstellung wird die messtechnische Bewertung der Standardschnittebene vorgenommen. Die von Graf (2000) beschriebenen Messwinkel, Knochenwinkel Alpha und Knorpelwinkel Beta haben sich bewährt und können sowohl an großen, als auch an kleinen Hüftgelenken angewendet werden. Mit beiden Winkeln, die in Relationen zueinander stehen, lässt sich die Gesamtpfanne im knöchernen und knorpeligen Anteil mit ausreichender Genauigkeit einem vorher festgelegten Typ zuordnen. Das Messsystem mit dem Alpha- und Beta-

Winkel hat den Vorteil, lage- und projektionsunabhängig zu sein. Auch ist der Wert der beiden Winkel unabhängig von der Haltung des Femurs.

Damit die Winkel bestimmt werden können, werden drei Linien in das Sonogramm gelegt. Die erste Linie ist die *Pfannendachlinie* (US-Bild 2, Pf), auch als *Knochendachlinie* bezeichnet.



US-Bild 2

Hüftgelenk eines Säuglings mit Messlinien

- Aus : Ausstelllinie (blaue Linie)
 Gr : Grundlinie (rote Linie)
 Pf : Pfannendachlinie (grüne Linie)

Das Echo des Unterrandes des Os ilium stellt einen Drehpunkt dar, von dem aus eine Linie von lateral her an die knöcherne Pfanne angelegt wird. Die zweite Linie ist die *Grundlinie* (US-Bild 2, Gr), *Basislinie*, auch *Iliumwandlinie* genannt. Zunächst wird der oberste Erkerpunkt aufgesucht (Z-Punkt), an dem das Echo des proximalen Perichondriums in Kontakt mit den Echos des Os ilium tritt. Von diesem Drehpunkt aus wird die Grundlinie von lateral her an das Echo des Os ilium nach distal angelegt. Die dritte definierte Linie ist die *Ausstelllinie*

(US-Bild 2, Aus) oder auch *Knorpellinie*. Sie ist die Verbindung vom knöchernen Erker mit der Mitte des Labrum acetabulare (Graf, 2000).

Zwischen der Pfannendachlinie und der Grundlinie befindet sich der *Knochenwinkel Alpha* (US-Bild 2, Alpha), der ein Maß für die Ausbildung der knöchernen Pfanne ist. Grund- und Ausstellinie definieren den *Knorpelwinkel Beta* (US-Bild 2, Beta). Er ist das Maß für Größe und Ausformung des knorpeligen Pfannendaches (Graf, 2000).

2.4.2.4 Typisierung der sonographischen Hüftgelenksbefunde beim Säugling

Nach Graf (2000) ist für die Diagnostik und Klassifizierung der Hüftdysplasie nötig, Veränderungen am knöchernen und am knorpeligen Anteil der Hüftpfanne festzuhalten. Da sich das Hüftkopf-Pfannen-System gegenseitig beeinflusst, hinterlässt der Hüftkopf seine Spuren bei Luxationsvorgängen an der Hüftpfanne. Es ist laut Graf möglich, besonders diesen Wachstumsbereich in seiner knöchernen und knorpeligen Ausprägung zu klassifizieren. Damit können auch Spuren des luxierenden Hüftkopfes an der Hüftpfanne gesehen werden. Aus diesem Grund ist es wiederum nicht notwendig, die Stellung des koxalen Femurendes in die sonographische Diagnostik mit einzubeziehen.

Zur Auswertung der im Ultraschallschnittbild gefundenen Winkelwerte wird das Sonometer nach Graf benutzt. Es dient in der Humanmedizin zur graphischen Anordnung der im Ultraschallschnittbild ermittelten Knochenwinkel Alpha und Knorpelwinkel Beta. Der Alpha-Winkel steht entsprechend seiner anatomischen Wertigkeit in einem bestimmten Verhältnis zu dem gemessenen Beta-Winkel. In die anatomischen Verhältnisse übertragen bedeutet dies, dass große Alpha-Werte Ausdruck für eine gute knöcherne Überdachung sind. Bei der guten knöchernen Überdachung ist das knorpelige Pfannendach klein und drückt sich durch einen kleinen Beta-Wert aus. Dies bedeutet, dass bei steigenden Alpha-Werten die Beta-Werte kleiner werden und umgekehrt. Graf (1986) hat die Alpha-Werte in linearer Anordnung den Beta-Werten in den einzelnen Gruppen der Hüfttypen gegenübergestellt. Durch Einstellung der Alpha- und Beta-Werte kann durch die Verbindungslinien der beiden Werte die Gruppenzugehörigkeit der untersuchten Hüfte diagnostiziert werden. Es resultieren aus dieser Anordnung im wesentlichen drei große Teilbereiche, die am Sonometer ablesbar sind (Tabelle 5). Die Einteilung der Hüfttypen kann auch in Winkelwerten ausgedrückt werden (Tabelle 6).

Hüfttyp	Reifegrad der Hüfte	Anordnung auf dem Sonometer
I	ausgereifte Hüfte	rechte Seite des Sonometers
II	verschiedene Schweregrade der Verknöcherungsstörung	mittlerer Bereich des Sonometers
III + IV	dezentrierte Hüfte	linke Seite des Sonometers

Tabelle 5

Hüfttypeneinteilung und deren Anordnung auf dem Sonometer nach Graf (2000)

Zusammen mit der deskriptiven Befundung kann eine Einteilung bzw. Feindifferenzierung der untersuchten Säuglingshüfte in eine der von Graf definierten Hüfttypen (Typ I, Typ IIa , Typ IIb, Typ IIc, Typ D, Typ IIIa, Typ IIIb und Typ IV) vorgenommen werden. Bei der Einteilung in eine der Hüfttypen hat die deskriptive Befundung gegenüber der messtechnischen Befundung an Wert verloren, da die Deskription stark vom Untersucher abhängig ist und somit subjektiv ist.

Entsprechend der vorgenommenen Einteilung des Hüftgelenkes des Säuglings werden ggf. therapeutische Maßnahmen zur Vermeidung einer Hüftdysplasie eingesetzt.

Neben dieser Untersuchungstechnik kann bei klinischer Instabilität eine dynamische Stressuntersuchung unter Ultraschallkontrolle durchgeführt werden. Dabei wird das Herausgleiten des Hüftkopfes aus der Pfanne beobachtet (Graf, 2000).

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

Tabelle 6

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

2.4.3 Orthopädische Sonographie des Hüftgelenkes in der Veterinärmedizin

Kresken (1991) erarbeitete eine sonographische Untersuchungsmethode am Hüftgelenk des Welpen. 13 Beaglewelpen wurden im sedierten Zustand sonographisch zwischen der 1. und 32. Lebenswoche in drei definierten Standardpositionen untersucht. Er beschreibt in seiner Arbeit die postnatale Entwicklung des Hüftgelenkes im Hinblick auf das Wachstum und die Verknöcherung der Hüftgelenksanteile. Dabei konnte die fortschreitende Verknöcherung des Femurkopfes vom Auftreten des Verknöcherungskerns bis zum Schluss der Epiphysenfuge (in der 32. Lebenswoche) gut verfolgt werden. Ebenso beschreibt er die Entwicklung des kraniodorsalen (kraniolateralen) Azetabulumrandes.

Am Ultraschallbild des Hüftgelenkes führte er verschiedene Messungen durch: Bestimmung des Kopfkontur-Kapselabstandes, Bestimmung der Gelenkkapseldicke, Bestimmung der knöchernen und knorpeligen Überdachungsverhältnisse des Femurkopfes am kraniodorsalen Azetabulumrandes (Abbildung 1). Diese Werte können seiner Meinung nach zur Frühbeurteilung des Hüftgelenkes beim Beagle herangezogen werden.

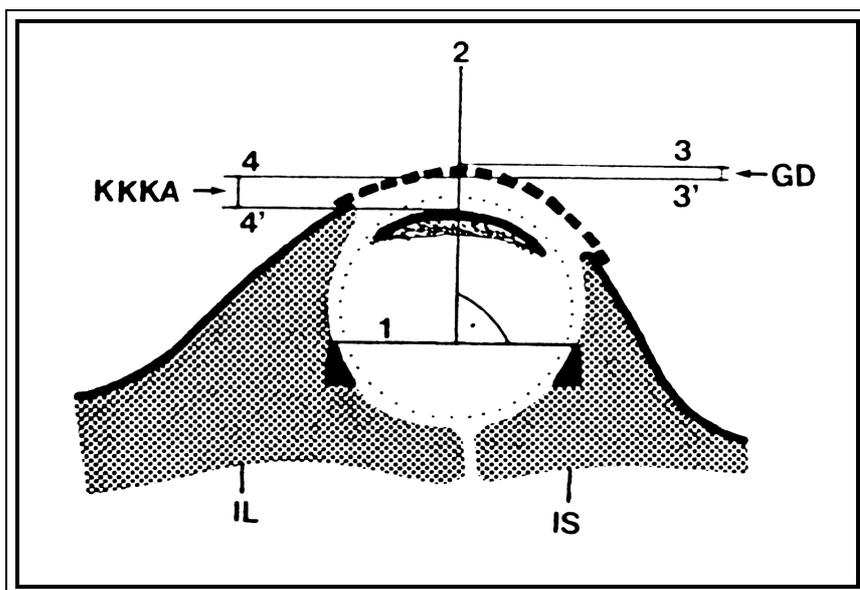


Abbildung 1

Messung des Kopfkontur-Kapselabstandes und der Gelenkkapseldicke (Kresken, 1991). Die horizontale Linie (1) verbindet die Azetabulumbodenechos. (2) Lot auf die Mitte von Linie (1); (3) und (3') geben die Gelenkkapseldicke an, (4) und (4') den Kopfkontur-Kapselabstand

Der Zeitraum, in dem die sonographische Untersuchung des Hüftgelenkes beim Beagle möglich ist, wird von Kresken auf die 1. bis 8. Lebenswoche begrenzt. Allerdings bleibt es nach Kresken zu überprüfen, ob der in der Arbeit angegebene Zeitraum auch für größere Rassen (z. B. Deutscher Schäferhund) zutrifft.

Fink (1996) führte Untersuchungen an den Hüftgelenken von 11 Rottweilerwelpen zweier Würfe durch. Die Hüftgelenke dieser Welpen wurden mit Ultraschall, Röntgen, Computertomographie und Magnetresonanztomographie untersucht. Der Vergleich der verschiedenen Untersuchungsmethoden in Bezug auf die Eignung zur Screeninguntersuchung der Hüftgelenke wurde gezogen. Dabei wurde festgestellt, dass die Sonographie für die Frühuntersuchung des Hüftgelenks am besten geeignet ist. Genauere Beschreibungen oder Begründungen für diese Behauptungen wurden nicht gegeben.

Greshake und Ackermann (1992) untersuchten Hüftgelenke von 20 Springer-Spanielwelpen im Alter zwischen 1 Tag und 12 Wochen mittels Ultraschall. Die Tiere waren nicht sediert. Dabei konnten die anatomischen Strukturen des Hüftgelenks bis zum Alter von 8 Wochen dargestellt werden. Bei den 12 Wochen alten Tieren war die Verknöcherung des Femurkopfes soweit vorangeschritten, dass die Beurteilung des Azetabulums nicht mehr möglich war. Es konnte auch die Beweglichkeit des Femurkopfes innerhalb des Azetabulums gezeigt werden.

Trout et al. (1993) untersuchten 39 Labradorwelpen im Alter von 2 bis 4 Wochen mit einem 5 MHz-Linearschallkopf. Sie bestimmten bei ihren Untersuchungen den Alpha-Knochenwinkel der Tiere. Als Ergebnis fanden sie Alpha-Winkelwerte zwischen 62° bis 85° , wobei 67% der Winkelbestimmungen zwischen 71° und 80° lagen.

O'Brien, et al. (1994) untersuchten 41 Rasse- und Mischlingshunde im Alter zwischen dem 1. und 6. Monat in Narkose. Es gelang ihnen, die coxofemorale Gelenklockerheit mittels Ultraschall qualitativ zu erfassen. Im Alter von 4 Wochen erwies sich die dynamische Ultraschalluntersuchung als nicht exakt, da sich die Ränder des Ossifikationskerns des Femurkopfes undeutlich und unregelmäßig abbildeten. Ein Vergleich der im Alter von 6 bis 8 Wochen mittels der dynamischen Ultraschalluntersuchung gemessenen Gelenklockerheit und der mit einem Jahr durchgeführten Röntgenaufnahme (Position 1) zeigte eine signifikante Korrelation der erhobenen Befunde. So wiesen die Tiere, die im Alter von 6 bis 8 Wochen eine deutlich größere laterale Verschieblichkeit des Femurkopfes bei der Ultraschalluntersuchung zeigten, im Alter von einem Jahr röntgenologisch Inkongruenz bzw. arthrotische Veränderungen am entsprechenden Hüftgelenk auf.

2.5 Das Hüftgelenk des Hundes

2.5.1 Die postnatale Entwicklung des Hüftgelenkes beim Hund

Bei der Geburt des Hundes besteht das Hüftgelenk zum größten Teil aus Knorpel. Lediglich der kaudale Anteil der Pfanne ist vor der Geburt verknöchert (Smith 1964; Köppel 1991). In den folgenden Wochen und Monaten werden die knorpeligen Strukturen durch Knochen ersetzt (enchondrale Ossifikation).

Das Azetabulum entsteht aus der Vereinigung der drei Beckenknochen Os ilium, Os pubis und Os ischii.

Außerdem sind noch weitere Knochenkerne, das Os acetabulare und dem Os coxae quartum beteiligt (Köppel 1991). Die Angaben über den genauen Zeitpunkt der Anlage der Verknöcherungskerne der Beckenknochen (Os ilium, Os pubis, Os ischii) sind unterschiedlich. Hare (1961) und Smith (1964) beschreiben, dass sie schon bei der Geburt röntgenologisch nachweisbar sind. Nach Riser (1973) erscheint der Verknöcherungskern für das Schambein erst im Alter von 4 Wochen. Die Verknöcherungskerne vergrößern sich in den nächsten Wochen und Monaten, bis nur noch eine Knorpelzone zwischen ihnen vorhanden ist. Nach Schran (1973) erfolgt der Schluss bereits ab Beginn des 4. Lebensmonats, während Widmer (1978) dafür ein Alter von 5 bis 6 Monaten nennt. Smith (1964) beschreibt den Schluss im Alter von 4 bis 7 Monaten. Bei allen Angaben müssen die rassespezifisch unterschiedlichen Wachstumsgeschwindigkeiten berücksichtigt werden.

Der Verknöcherungskern für das Os acetabulare wird nach Köppel (1991) zwischen der 8. und 11. Lebenswoche sichtbar. Er liegt im Welpenalter als keilförmiger Knochen im Zentrum der Knorpelzone und formt den Pfannenboden (Köppel 1991). Das Os coxae quartum entwickelt sich aus drei kleineren Kernen. Ausgehend von der Knorpelfuge zwischen Darm- und Sitzbein entstehen ein zentraler Kernanteil, sowie entlang des dorsalen Randes der Pfanne ein kranialer und kaudaler Kernanteil. Das Os coxae quartum wird laut Köppel (1991) im Röntgenbild ab der 14. Lebenswoche sichtbar und bildet das Pfannendach.

Auch das Caput ossis femoris besitzt einen eigenen Verknöcherungskern. Nach Hare (1961) ist der Ossifikationskern im Alter von 1 bis 3 Wochen, nach Ticer (1975) im Alter von 2 Wochen, nach Widmer (1978) im Alter von 2 bis 4 Wochen sichtbar. Kresken (1991) stellte bei Beaglewelpen den Verknöcherungskern in der zweiten Lebenswoche beim Beaglehund (zehnter Lebensstag) sonographisch fest. Der Ossifikationskern sitzt dem Femurhals kappenartig auf

und vergrößert sich nach allen Seiten, bis nur noch der Gelenkknorpel und die Wachstumsfuge als knorpelige Bestandteile vorhanden sind (Abbildung 2 und Abbildung 3).

In diesem Bereich findet das weitere Wachstum des Femurkopfes bzw. das Längenwachstum des Femurhalses statt. Der Verknöcherungskern des Trochanter major erscheint in der 5. bis 9. Lebenswoche (Hare 1961).

Schran (1973) gibt für den Schluss der Knorpelzonen des Darm-, Sitz- und Schambeins ein Alter von 4 Monaten, Widmer (1978) ein Alter von 5 bis 6 Monaten an und Smith legt die Altersgrenze auf 4 bis 7 Monate fest. Auch für den Zeitpunkt des Knorpelzonenschlusses spielen rassespezifische Wachstumsgeschwindigkeiten die wichtigste Rolle.

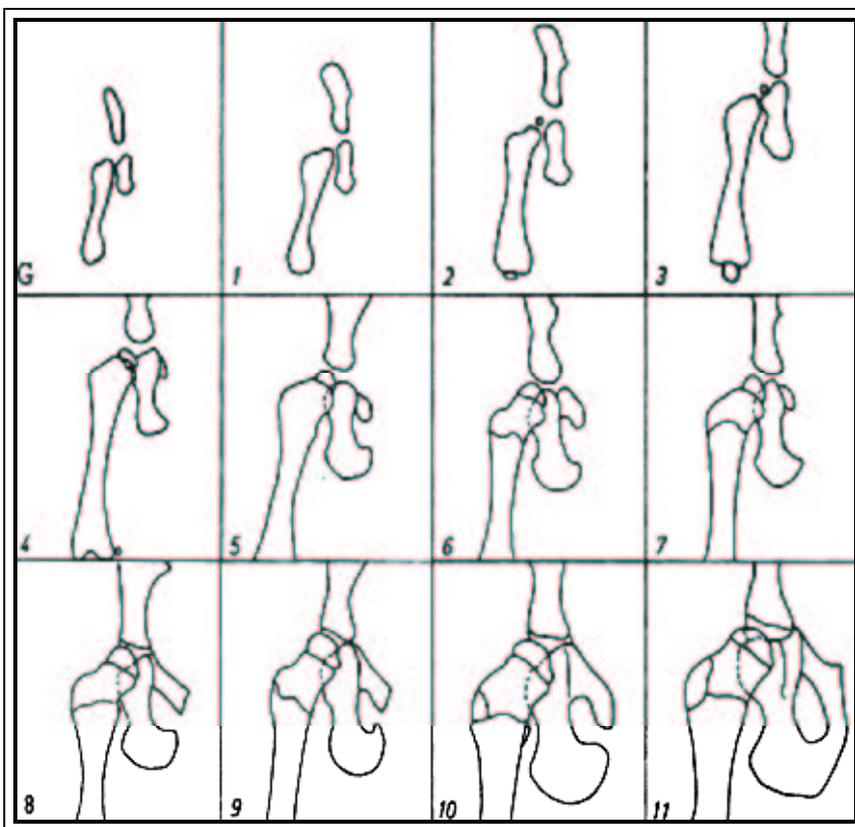


Abbildung 2

Entwicklung des Hüftgelenkes; Zeichnung nach Röntgenaufnahmen, Alter in Wochen (Riser, 1973)

Das Os acetabulare verschmilzt unmittelbar nach seinem röntgenologischen Sichtbarwerden (8. Lebenswoche) mit dem Schambein und im Verlauf von weiteren 8 bis 12 Wochen mit dem Darm- und Sitzbein (Köppel, 1991).

Das Os coxae quartum vereinigt sich bis zur 20. Lebenswoche mit dem übrigen Acetabulum (Köppel 1991). Widmer (1978) gibt dafür die 20. bis 24. Lebenswoche an.

Der Epiphysenschluß des Femurkopfes wird bei verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen Zeiten angegeben. Nach Ticer (1975) schließt sich die Fuge zwischen dem 7. und 11. Lebensmonat, nach Widmer (1978) zwischen dem 10. und 12. Lebensmonat.

Die Verschmelzung des Trochanter major mit dem Schaft des Femurs erfolgt im Alter von 10 bis 11 Monaten (Morgan und Stephens 1985).

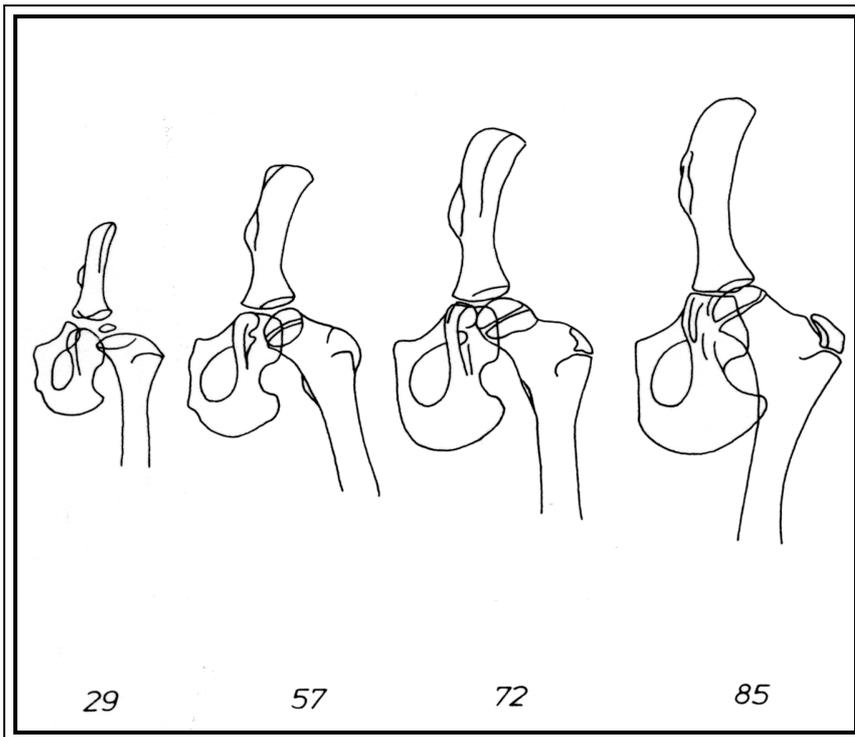


Abbildung 3

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

2.5.2 Die Anatomie des Hüftgelenkes beim Hund

Das Hüftgelenk (*Articulatio coxae*) des Hundes wird aus dem Azetabulum des Hüftbeins und dem *Caput ossis femoris* gebildet.

In dem Azetabulum vereinigen sich das kaudale Ende des *Os ilium*, der Körper des *Os pubis* und das *Os ischii*. Das Azetabulum ist halbkugelig ausgehöhlt und öffnet sich laterodistal. Die Gelenkfläche, die *Facies lunata*, ist halbmondförmig ausgebildet und liegt peripher. Das Zentrum der Pfanne wird von der tiefen *Fossa acetabuli* gebildet. Sie mündet auf dem *Corpus ossis*

ischii. Die Mündungsstelle der Fossa acetabuli wird Incisura acetabuli genannt (Abbildung 4) (Koch und Berg, 1992; Nickel et al., 1992).

Der Femurkopf entspricht bis auf eine ovale kleine Grube, Fovea capitis, fast der Form einer Halbkugel. Das Caput ossis femoris ist durch den Oberschenkelhals, Collum ossis femoris vom Schaft abgesetzt. Lateral des Gelenkkopfes besitzt das Os femoris den einen großen Knochenfortsatz, Trochanter major. Medial am Oberschenkel liegt der Trochanter minor. Die Knochenfortsätze dienen als Ansatzstelle für die Muskeln des Hüftgelenkes (Koch und Berg, 1992; Nickel et al., 1992).

Die Gelenkflächen sind von elastischem, glatten Gelenkknorpel überzogen. Zwischen den Knorpelflächen ist der Gelenkspalt zu finden. Er enthält die Synovia, eine klare visköse Flüssigkeit. Sie ermöglicht ein besseres Gleiten der Gelenkflächen und ernährt den Gelenkknorpel (Loeffler, 1994).

Umschlossen ist das Hüftgelenk von der Gelenkkapsel, Capsula articularis. Sie geht distal vom Gelenkrand in das Periost des Os femoris und in den Azetabulumrand über (Abbildung 5). Im Gegensatz zu anderen Tierarten besitzt der Hund keine intrakapsulären Bänder. Lediglich entsprechende Kapselverdickungen sind festzustellen (Nickel et al., 1992). Henschel (1983) beschreibt, dass die Membrana fibrosa der Gelenkkapsel proximal des Pfannenrandes über dem Labrum acetabulare entspringt. Die Kapsel besteht aus zwei Schichten, einer straffen Bindegewebsschicht, Stratum fibrosum und der Gelenksinnenhaut, Stratum synoviale, die auch Synovia bildet. Als einziger Gelenkanteil ist die Gelenkkapsel sensibel innerviert (Budras und Fricke, 1983).

Der Rand des Azetabulum ist durch den faserknorpeligen Ergänzungssaum, dem Labrum acetabulare erhöht (Abbildung 5). Dadurch wird die Pfanne vergrößert und sie umfasst den Femurkopf um mehr als die Hälfte. Daher wird das Hüftgelenk als eine besondere Form des Kugelgelenkes, als Nussgelenk, bezeichnet (Budras und Fricke, 1983; Henninger, 1992; Koch und Berg, 1992; Nickel et al., 1992; Anderson und Anderson, 1994). Nach Henschel (1983) handelt es sich bei dem Hüftgelenk nicht um ein Nussgelenk, da das Labrum acetabulare nur aus Faserknorpelsträngen, die in die Gelenkkapsel einstrahlen, besteht. Dadurch wäre der Femurkopf um weniger als 50 % umschlossen und es würde sich damit um ein einfaches Kugelgelenk handeln.

Das Ligamentum capitis ossis femoris (Femurkopfband), auch als Ligamentum teres bezeichnet, entspringt in der Fossa acetabuli und zieht zur Fovea capitis des Os femoris. Es ist im gedehnten Zustand (abhängig von der Größe des Hundes) zwischen 1 und 1,5 cm lang (Köp-

pel, 1991). Das Ligamentum transversum acetabuli überspannt die Incisura acetabuli und hält damit das Ligamentum teres in seiner Lage (Abbildung 5) (Nickel et al., 1992).

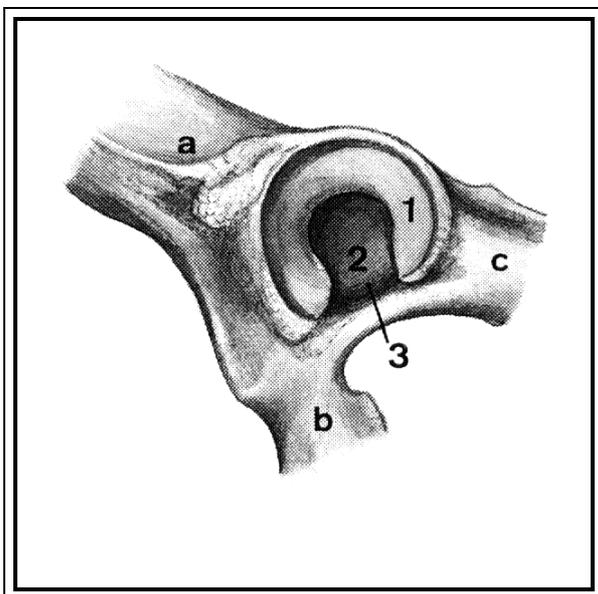


Abbildung 4

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*

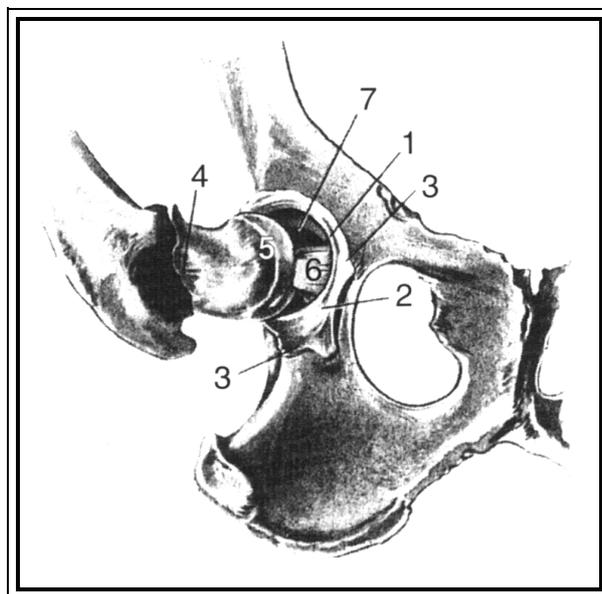


Abbildung 5

Hüftgelenk eines Schäferhundes; nach Eröffnung, des Oberschenkelbeins, lateral herausgezogen. 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*

Im Bereich des Hüftgelenkes befindet sich unter der Haut eine schwache Subkutis, gefolgt von der mehrblättrigen und starken Fascia glutea superficialis. Sie überzieht die äußeren Beckenmuskeln (Nickel et al., 1992).

Der Musculus gluteus superficialis entspringt sehnig aus der Fascia glutea und damit an der Spina iliaca dorsalis sowie an der Schwanzfaszie, fleischig an der Pars lateralis des Kreuzbeins, am Querfortsatz des 1. Schwanzwirbels und an der proximalen Hälfte des Ligamentum sacrotuberale. Seine Fasern ziehen konvergierend in kaudodistale Richtung und gehen in eine Sehne über, welche über den Trochanter major hinwegzieht und am Labium laterale ossis femoris endet (Nickel et al., 1992).

Der *Musculus gluteus medius* liegt lateral dem Darmbeinflügel auf. Er hat seinen Ursprung zwischen der *Crista iliaca* und der tiefsten *Linea glutea*. Er zieht über den *Musculus gluteus profundus* hinweg und findet seinen Ansatz am *Trochanter major* (Nickel et al., 1992).

Der *Musculus piriformis* wird vom *M. gluteus medius* und vom *M. gluteus superficialis* vollständig verdeckt. Er entspringt am Querfortsatz des letzten Kreuz- und des 1. Schwanzwirbels. Er zieht mit einer dünnen Endsehne über die kaudolaterale Fläche des *Trochanter major* und endet am Oberschenkelbein (Nickel et al., 1992).

Der *Musculus gluteus profundus* stellt eine Muskelpyramide dar, die direkt dem Hüftgelenk aufliegt. Der Ursprung ist an der lateralen Fläche der Darmbeinsäule und der *Spina ischiadica* zu finden. Sein Ansatz befindet sich am *Trochanter major ossis femoris* (Nickel et al., 1992).

Der *Musculus tensor fasciae latae* entspringt an der *Spina iliaca ventralis cranialis* und aus der Aponeurose des *Musculus gluteus medius* und strahlt fächerförmig in die *Fascia lata*. Er geht in der Mitte des Oberschenkels in die *Fascia lata* über (Nickel et al., 1992).

Der *Musculus biceps femoris* reicht vom Sitzbeinhöcker bis zur Mitte des Unterschenkels. Er entspringt mit zwei undeutlich getrennten Köpfen mit seinem Hauptkopf fleischig am distalen Ende des *Ligamentum sacrotuberale* und sehnig am lateralen Winkel des Sitzbeinhöckers. Sein Nebenkopf hat seinen Ursprung am lateralen Winkel des *Tuber ischiadicum*. Aus dem Hauptkopf entwickelt sich die kraniale Bizepsportion und aus dem Nebenkopf die kaudale. Sie verschmilzt mit der *Fascia lata* und *Fascia cruris*. Die kraniale Bizepsportion setzt an der Patella, der *Tuberositas tibiae* und am *Margo cranialis tibiae* an (Nickel et al., 1992).

Der *Musculus sartorius* gehört wie der *Musculus gracilis*, der *Musculus pectineus* und der *Musculus adductor magnus* zur medialen Oberschenkelmuskulatur. Unterhalb der *Fascia femoralis medialis* liegt der *M. gracilis* als oberflächliche Muskelschicht. Er überdeckt die direkt über dem Hüftgelenk gelegene mittlere Muskelschicht, die aus dem *M. pectineus*, *M. adductor longus* und *M. adductor magnus* und *brevis* besteht. Den kaudalen Teil der mittleren Muskelschicht bildet der stark ausgebildete *M. adductor magnus* (Nickel et al., 1992).

In der Tiefe befindet sich der *M. obturatorius externus*, der das Hüftgelenk von kaudal begrenzt. Von kranial wird es von dem *M. iliopsoas* umschlossen (Nickel et al., 1992).

Die oberflächlichen und tiefen Muskelgruppen festigen durch ihr Zusammenwirken die Stabilität des Hüftgelenkes. Allerdings beeinträchtigen sie auch die Bewegungsfreiheit des Gelenkes (Nickel et al., 1992).

Einige Hunderassen variieren im anatomischen Erscheinungsbild des Hüftgelenkes. So fanden Richter und Loeffler (1976) rassebedingte Besonderheiten in der anatomischen Darstellung des Azetabulum und Femurkopfes. Sie verglichen die Hüftgelenke der Rassen: Deutscher Schäferhund, Boxer, Teckel, Spaniel und Pudel. Das Azetabulum von Boxer und Pudel weist eine fast kreisrunde äußere Kontur auf. Beim Spaniel und Deutschen Schäferhund ist diese mehr längsoval (Abbildung 6). Rasseunterschiede sind auch in der kranialen Begrenzung des vorderen äußeren Azetabulumrandes zu finden (Abbildung 7). Auch die Form des Femurkopfes bzw. -halses zeigen rassetypische Merkmale. Schäferhunde, Boxer und Pudel besitzen einen fast halbkugelförmigen Femurkopf, der dem deutlich ausgebildeten Hals relativ breitflächig aufsitzt. Der Teckel weist einen längsovalen Femurkopf auf.

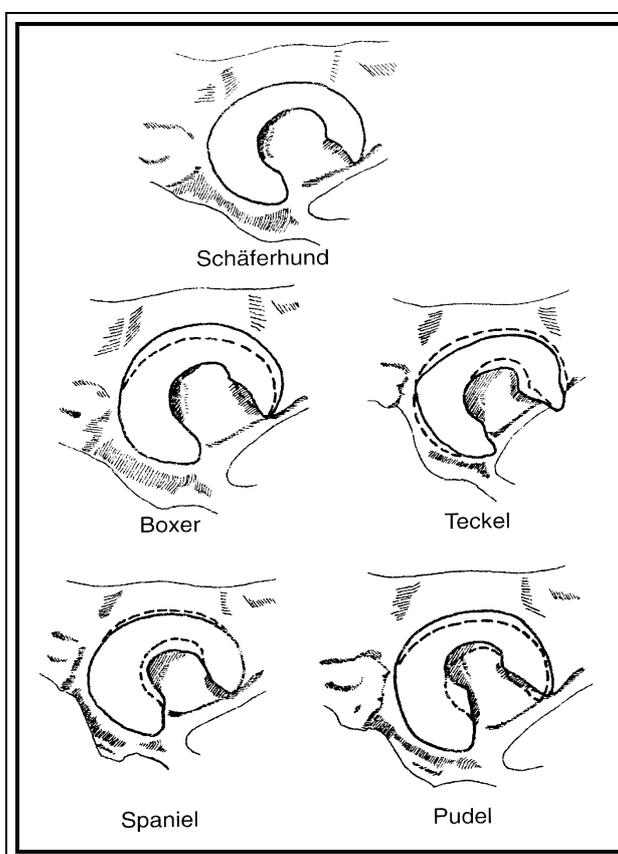


Abbildung 6

Azetabuli verschiedener Hunderassen mit *Facies lunata*, ventrolaterale Ansicht (Richter und Loeffler, 1976)

---: Kontur der *Facies lunata* des Schäferhundes

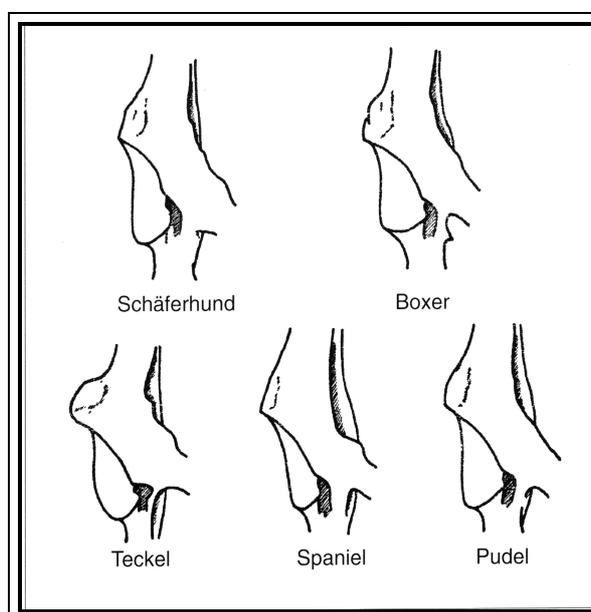


Abbildung 7

Kraniale Begrenzung des rechten Azetabulumrandes, ventrolaterale Ansicht (Richter und Loeffler, 1976)

2.6 Die Hüftgelenksdysplasie beim Hund

2.6.1 Definition, Ätiologie und Pathogenese der Hüftgelenksdysplasie

Definition

Die Hüftgelenksdysplasie (HD) gehört zu den wichtigsten kongenitalen Gelenksdysplasien. Sie wird bei Mensch, Hund, Katze, Pferd und Rind beobachtet (Dahme und Weiss, 1988).

Die HD kommt bei fast allen Hunderassen vor und ist die häufigste Erkrankung der Hüfte (Keller, 1991). 1935 berichtete Schnelle erstmals über Fälle von Hüftgelenksdysplasie bei Deutschen Schäferhunden in den USA.

Die HD wird von verschiedenen Autoren unterschiedlich definiert. Nach Loeffler (1990) ist die HD des Hundes eine erblich bedingte Fehlbildung des Hüftgelenks, bei der das Azetabulum und der Femurkopf in ihrer Form nicht aufeinander abgestimmt sind. Brass (1989) bezeichnet die HD als schlecht passende Artikulation des Hüftgelenkes. Morgan und Stephens (1985) beziehen neben der Definition von Brass noch die Entwicklung von Arthosen als Folge der HD ein. Nach diesen Autoren ist die HD entwicklungsbedingt, multifaktoriell und genetisch beeinflusst.

Ätiologie

In den letzten Jahren wurde intensiv versucht, die Ätiologie der kaninen HD zu klären. Dabei wurden die verschiedensten Theorien über begünstigende Faktoren aufgestellt. Unumstritten ist die genetische Basis dieser Erkrankung. Es wurde nachgewiesen, dass eine statistisch signifikante Korrelation zwischen dem Auftreten der HD bei Eltern und Nachkommen besteht (Henricson et al., 1966; Marx, 1975; Böhme, 1976). Allgemein geht man davon aus, dass an der Ausprägung der HD zahlreiche Gene beteiligt sind, wobei die phänotypische Wirkung der einzelnen Gene zu gering ist, um sie klar zu erfassen (Morgan und Stephens, 1985; Riser, et al., 1985; Köppel, 1991, Dämmrich und Brass, 1993; Flückiger et al., 1995). Die Heritabilität der HD wird in der Literatur zwischen 0 und 0,7 angegeben. Diese Werte variieren erheblich, da sie von der jeweils untersuchten Hundepopulation und der Untersuchungsmethodik abhängig sind (Brass, 1989). Für den Deutschen Schäferhund gibt Lanting (1981) eine Heritabilität von 0,2 - 0,3 an.

Neben den genetischen Faktoren spielen auch umweltbedingte Einflüsse bei der phänotypischen Ausprägung der HD eine Rolle. Übermäßige Fütterung und die Fehlernährung mit den

Mineralstoffen Kalzium und Phosphor sowie ein inadäquates Verhältnis von Natrium und Kalium zu Chlorid sollen während der Wachstumsphase dysplasiefördernd wirken (Riser et al., 1964; Kealy et al., 1992). Auch zu viel Bewegung bei noch unreifem Skelett kann die Entstehung der HD begünstigen (Riser, 1975, 1987).

Pathogenese

Meist wird die HD auf die Instabilität bzw. Lockerheit des Hüftgelenks zurückgeführt. Einige Autoren sehen diese Veränderung als die primäre Ursache an (Riser, et al. 1985; Brass, 1989; Bloomberg, 1990). Andere Autoren sind der Ansicht, dass primär das zu flache Azetabulum oder der zu kleine Femurkopf bzw. die mangelhafte Entwicklung von Azetabulum und Femurkopf vorliegt. Daraus resultiert die sekundäre Gelenkinstabilität (Paatsama, et al., 1966; Gustafsson et al., 1972; Schimke und Paatsama, 1993).

Beim instabilen Hüftgelenk ist der Femurkopf mehr oder weniger schlecht in der Pfanne fixiert und verändert dadurch seine Lage bei jeglicher Bewegung. Beim normalen Hüftgelenk geht vom Femurkopf ein plastischer Reiz zur korrekten Ausbildung der Pfanne aus. Beim instabilen Hüftgelenk kommt es durch die vom Gewicht des Tieres und den Muskeln ausgeübten Kräfte zum vermehrten Druck des Oberschenkelkopfes gegen den vorderen äußeren Pfannenrand. Dadurch bleibt die Pfanne im Wachstum zurück und wird flacher. Dies führt zu einem stärkeren Heraustreten des Kopfes aus der Pfanne. Damit erhöht sich der Druck auf den Pfannenrand und er flacht weiter ab (Loeffler, 1979; Olsson, 1980).

Die Lageveränderungen des Femurkopfes wird in Subluxation und Luxation eingeteilt. Bei der Subluxation liegt mehr als die Hälfte des Femurkopfes außerhalb der Pfanne. Bei der Luxation ist der Kopf vollständig aus der Pfanne herausgetreten (Kealy, 1991).

Die HD ist nach dem Abschluss des Skelettwachstums (bei mittelgroßen Rassen im Alter von einem Jahr) voll entwickelt. Danach treten nur noch sekundäre arthrotische Veränderungen auf, die sich mit zunehmendem Alter verstärken (Brass, 1989).

Morphologisch lassen sich schon ab der dritten Lebenswoche Längenveränderungen am Ligamentum capitis femoris erkennen, die bereits nach weiteren zwei Wochen zu einer beginnenden Subluxationsstellung des Oberschenkelkopfes führen. Als Folge des pathologischen Reizes entwickelt sich im Verlauf der folgenden Wochen der kraniodorsale Pfannenrand langsamer und bleibt flacher (Riser, 1985).

Die Arthrose des Hüftgelenks (Coxarthrose) ist eine degenerative Erkrankung und kommt durch Inkongruenz im Gelenk zustande. Der Druck wird nicht gleichmäßig über die gesamten

tragenden Gelenkknorpeloberflächen verteilt, sondern es treten aufgrund der pathologischen Verkleinerung der tragenden Fläche sogenannte Druckspitzen auf (Prieur, 1980).

Durch die Druckspitzen kommt es zur mechanischen Überbeanspruchung und damit zur Zerstörung des Knorpels. Er wird aufgeraut, matt und beginnt sich aufzufasern. Es findet ein fortschreitender Knorpelabrieb bis auf den subchondralen Knochen statt (Debrunner, 1985). Während des Knorpelabriebs wird der darunter liegende Knochen umgebaut. Dieser versucht die Belastung durch Neubildungen von verdichtetem und härterem Knochen entgegenzuwirken (subchondrale Sklerose). Dabei verkürzt sich mit zunehmendem Druck der sklerotische Bereich und nimmt an Breite zu (Flückiger, 1993). Durch die Knochensklerose wird jedoch der Knorpel, dem der subchondrale Knochen als Widerlager dient, zusätzlich geschädigt, da er auf die härtere Unterlage gepresst wird (Zilch, 1989).

An nicht belasteten Randzonen des Gelenks entstehen knöcherne Auflagerungen, die als Osteophyten oder Exostosen bezeichnet werden. Durch die reaktiven Veränderungen versucht der Körper die Kontaktflächen und damit die lastübertragende Fläche zu vergrößern. Am Femurkopf treten Osteophyten vor allem am Übergang des Oberschenkelkopfes zum Hals auf (Morgan und Stephens, 1985).

Durch die Überbeanspruchung kommt es zusätzlich zu Veränderungen der bindegewebigen Anteile des Gelenks. Das Ligamentum capitis femoris fasert auf oder reißt völlig durch. Das Labrum acetabulare verdickt sich, fasert auf und reißt schließlich auch (Henninger, 1992). Die Gelenkkapsel, die beim gesunden Hüftgelenk pergamentpapierdünn, halbdurchscheinend und weich ist, wird bei arthrotischen Hüftgelenken bis zu 10 mm dick und knorpelig hart. Es entstehen beim Ablauf der arthrotischen Prozesse sekundäre Entzündungen der Gelenkkapsel (reaktive Synovialitis), da die bei der Knorpelzerstörung freiwerdenden Abbauprodukte Reizzustände in der Kapsel hervorrufen (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 letztendlich zu Schmerzen und Lahmheiten.

2.6.2 Diagnostik der Hüftgelenkdysplasie

Die klinisch-orthopädische Untersuchung des Hüftgelenkes lässt keine sichere Diagnose der HD zu. Nach Brunnberg (1999) sind die Symptome altersabhängig. Dabei zeigen Tiere bis zu einem Alter von zehn Lebensmonaten plötzlich ein- oder beiderseitige Beschwerden oder

Bewegungsunlust. Beim Aufstehen haben sie Schwierigkeiten und gehen intermittierend lahm. Dies begründet er damit, dass der Femurkopf nicht genügend Halt im Azetabulum hat, sondern auf den Azetabulumrand rutscht. Dabei wird das Periost mit den Nervenfasern irritiert.

Ältere Tiere zeigen Schwierigkeiten beim Aufstehen, Bewegungsunlust und Lahmheit nach Bewegung. Die Becken- und Oberschenkelmuskulatur atrophiert gering- bis hochgradig. Die Probleme resultieren hauptsächlich aus schmerzhaften und fortschreitenden Sekundärarthrosen (Coxarthrose). Allerdings muss bedacht werden, dass auch klinisch unauffällige Tiere eine HD haben können.

Nach Erstellung des Signalement und der Anamnese folgt die Adspektion der Gliedmaßen im Stand und in der Bewegung, gefolgt von der Palpation der einzelnen Gliedmaßen.

Bei der klinisch-orthopädischen Untersuchung des Hüftgelenkes werden die tastbaren Knochenpunkte (Trochanter major, Tuber sacrale, Tuber ischiadicus, Christa iliaca) aufgesucht und mit der anderen Gliedmaßenseite verglichen. Es folgt die Extension, Flexion, Abduktion, Adduktion und Rotation des Gelenkes. Dabei wird auf Schmerz, Krepitation, eingeschränkte bzw. übermäßige Beweglichkeit und Subluxation bzw. Luxation geachtet. Anschließend wird die Adduktorenmuskulatur untersucht (Brunnberg, 1999). Der Sitz des Femurkopfes in der Pfanne wird auf verschiedene Weise überprüft. Die Untersuchungen sollten in Narkose erfolgen, da sie sehr schmerzhaft sein können. Praktische Bedeutung hat noch der Ortolani-Test (Ortolani, 1976). An dem auf dem Rücken liegenden Tier erfasst man beide nahe zueinander gebrachten Kniegelenke und drückt die Oberschenkel gegen das Becken. Bei vorhandener Lockerung gleitet der Femurkopf auf oder über den Azetabulumrand. Wenn der Femurkopf beim Nachlassen des Druckes wieder in das Azetabulum gleitet, hört und/oder fühlt man ein „Klicken“, den sogenannten Ortolani-Klick oder das Ortolani-Zeichen (Ortolani, 1976; Chalmers und Butler, 1985; Schimke und Paatsama, 1993).

Die endgültige Diagnose der HD beim älteren Hund erfolgt röntgenologisch, da vergleichbare klinische Symptome auch bei anderen Erkrankungen auftreten können (Schimke und Paatsama, 1993). Für die offizielle HD-Röntgenuntersuchung muss der Deutsche Schäferhund ein Mindestalter von 12 Monaten aufweisen (Burk und Ackermann, 1991; Kealy, 1991).

Standardisierte Aufnahmen werden seit 1965 nach einheitlichen (modifizierten) Richtlinien, die von der wissenschaftlichen Kommission der Fédération Cynologique Internationale (FCI) aufgestellt wurden, ausgewertet. Für die Röntgenuntersuchung müssen alle Hunde sediert

oder narkotisiert sein, um eine ausreichende Muskelrelaxation zu erreichen (Burk und Ackermann, 1991; Kealy, 1991; Flückiger, 1993).

Die ersten röntgenologischen Veränderungen des Hüftgelenkes lassen sich im Alter von zwei bis vier Monaten erkennen (Riser und Shirer, 1966; Riser, 1975), da zu einem früheren Zeitpunkt das Hüftgelenk knorpelig präformiert ist und diese Anteile im Röntgenbild nicht dargestellt werden können. Daher erlaubt die Interpretation von Röntgenaufnahmen im Welpen- bzw. Junghundealter nur eine begrenzte Aussagefähigkeit.

3 EIGENE UNTERSUCHUNGEN

3.1 Material und Methode

3.1.1 Gerätebeschreibung

Für die in dieser Arbeit durchgeführten sonographischen Untersuchungen wurde das Ultraschalldiagnostikgerät Powervision 8000, SSA-390A der Firma Toshiba verwendet. Die Maschine arbeitet im Real-Time-Verfahren. An ihr können Linear-, Konvex- und Sektorschallköpfe angeschlossen werden.

Es wurde ausschließlich der 12 MHz Linear Array PLN-1204AT mit einer wählbaren Frequenz von 8 – 15 MHz verwendet.

Damit beide Hände des Untersuchers zum Halten des Schallkopfes und des Untersuchungsobjektes benutzt werden können, ist das Ultraschallgerät mit einem Fußschalter (UZFS-002A) zum Einfrieren des Bildes ausgestattet.

3.1.1.1 Bildeinstellung

3.1.1.1.1 Voreinstellung (Preset-Einstellung)

Das verwendete Ultraschallgerät bietet die Möglichkeit, bestimmte Einstellungen als Voreinstellung zu speichern. Damit sind optimale Geräte- und Bildeinstellungen für die zu untersuchenden Strukturen gegeben.

3.1.1.1.1.1 Dynamikbereich

Mit dem Dynamikbereich wird festgelegt, welche Echointensität im Ultraschallbild wiedergegeben wird. Es kann der interessierende Anteil der Grauskala hervorgehoben und für unterschiedliche Gewebe eine entsprechende Einstellung vorgenommen werden. Je geringer der Dynamikbereich gewählt wird, desto härter ist das Bild und desto größer ist der Schwarzweiß-Kontrast.

Der Dynamikbereich bei den hier vorgenommenen Untersuchungen bewegte sich zwischen 50 und 80 dB. Die Einstellung kann über eine Kipp-Taste (Paddle-Schalter) vorgenommen werden.

3.1.1.1.2 Verstärkung

3.1.1.1.2.1 Gesamtverstärkung (Gain)

Vom Transducer werden Schallwellen in den Körper abgegeben, die zum Schallkopf als Echos zurückkehren und vom Ultraschallgerät in Signale umgewandelt werden. Die Intensität der Signale kann mittels eines Drehreglers reguliert werden. Je höher die Gesamtverstärkung eingestellt ist, desto heller ist das Ultraschallgerät und umgekehrt. Die Verstärkung erfolgt unabhängig von der Tiefe, aus der die Echos stammen. Die Grundverstärkung wird an der verwendeten Ultraschallmaschine über einen Drehschalter in zwei dB-Schritten zwischen 62 und 100 dB reguliert.

3.1.1.1.2.2 Tiefenabhängige Verstärkung (time gain compensation)

Vom Schallkopf ausgesandte Schallwellen werden beim Durchtritt durch den Körper reflektiert, absorbiert und gestreut. Die Schallintensität nimmt mit zunehmender Eindringtiefe ab, daher muss eine Gegenregulation mit der tiefenabhängigen Verstärkung erfolgen, damit Gewebe mit identischer Dichte mit derselben Echointensität abgebildet werden. Bei der Power-*vision* wird die Einstellung mit 11 Schiebereglern vorgenommen. Dabei ist jeder Regler einer bestimmten Tiefe zugeordnet.

3.1.1.1.3 Darstellungstiefe

Die Untersuchungstiefe ist über einen Drehregler einstellbar und ist von dem ausgewählten Schallkopf abhängig. An der am linken Bildrand vorhandenen Tiefenskala in Zentimeter kann die jeweilige Tiefe von Strukturen abgelesen werden. Die Untersuchungstiefe des verwendeten 8 - 15 MHz Schallkopfes beträgt 2 – 24 cm.

3.1.1.2 Bildwiedergabe

3.1.1.2.1 Single-B-Mode

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde die zweidimensionale Darstellung im B-Mode verwendet. Auf dem Bildschirm werden die aus dem Körper reflektierten und vom Schallkopf empfangenen Echos als helle Punkte dargestellt (Brightness-Modulation). Je nach der Stärke der Echointensität werden weiße (vollständige Reflexion), schwarze (keine Reflexion) oder verschiedene graufarbige Punkte (unterschiedliche Reflexion) abgebildet. Daraus ergibt sich ein zweidimensionales Schnittbild, das den anatomischen Verhältnissen annähernd entspricht. Das erzeugte Ultraschallbild füllt im Single-Mode die komplette Bildfläche aus.

3.1.1.2.2 Dual-B-Mode

Die Bildfläche des Monitors wird in zwei gleichgroße, nebeneinandergelegene Flächen unterteilt. Eine Hälfte zeigt ein Standbild, während auf der anderen das Ultraschallbild im Real-Time-Verfahren betrachtet und unabhängig vom ersten eingefroren werden kann. Die Seite des eingefrorenen bzw. aktiven Bildes kann jederzeit beliebig gewechselt werden.

3.1.1.2.3 Fokuszonen

Im Fokusbereich des Ultraschallkopfes ist die Auflösung des Bildes am höchsten. Die Fokussierung wird durch Bündelung der Schallwellen mittels Filter und Spiegel erreicht. Bei dem verwendeten Ultraschallgerät kann der Fokusbereich tiefenabhängig variiert werden. Die zweite Fokuszone wird mit einem Abstand zur ersten von 0,75 cm oder 1,25 cm definiert. Der Fokusbereich sollte auf die Region gelegt werden, die im Mittelpunkt der Untersuchung steht. Arbeitet der Schallkopf mit einer Fokuszone, so beträgt die Bildaufbaufrequenz 40 Hz. Sobald die zweite Fokuszone zum Einsatz kommt, reduziert sich die Bildwiederholrate auf 20 Hz.

3.1.1.2.4 Bildsequenz-Analyse (Cineloop®)

Das Ultraschallgerät speichert während der Untersuchung eine Bildfolge. Wird das Ultraschallbild eingefroren, so stehen die letzten gespeicherten Bilder zur Ansicht bereit. Bei dem verwendeten Ultraschallgerät mit dem verwendeten Linearschallkopf 8 - 15 MHz sind die letzten 24 Bilder verfügbar. Mit Hilfe des Cineloop®-Verfahrens können Bewegungsunschärfen durch die Möglichkeit der Auswahl eines scharfen Bildes ausgeglichen werden.

3.1.1.2.5 Messvorrichtung

Mit dem Trackball werden Anfangs- und Endpunkte einer Strecke auf dem Ultraschallbild festgesetzt. Es ist möglich, mehrere Messungen durchzuführen. Die Messdaten werden nebeneinander am linken unteren Bildrand in Millimeter angezeigt.

Das verwendete Ultraschallgerät verfügt über ein Hüft-Programm, um die Winkelmessung nach Graf am Hüftsonogramm durchzuführen. Es werden drei Geraden in das Ultraschallbild eingezeichnet. Dabei ist die Gerade 1 die Grundlinie, die Gerade 2 die Ausstelllinie und die Gerade 3 die Pfannendachlinie. Mit Hilfe eines Drehknopfes kann die jeweils ausgewählte Gerade rotiert und durch den Trackball auf die richtige Position gebracht werden. Die Ultraschallmaschine errechnet dann automatisch zwei Winkel zwischen der Geraden 1 und 2, sowie zwischen 1 und 3. Das Ergebnis wird am linken unteren Bildrand mit der Bezeichnung α (1,2) und β (1,3) in Grad angezeigt. Dabei ist zu beachten, dass die Bezeichnung α sich nicht auf den Knochenwinkel Alpha bezieht, sondern den Knorpelwinkel Beta darstellt. Bezeichnung β stellt den Wert für Knochenwinkel Alpha dar.

3.1.1.2.6 Beschriftung

Am rechten oberen Bildrand wird automatisch der Zeitpunkt der Untersuchung durch die mitlaufende Uhr festgehalten.

Am rechten unteren Bildrand werden die für die Untersuchung gewählten Geräteeinstellungen dargestellt.

In der Kopfzeile können Patientendaten über die Tastatur eingegeben werden. Es hat sich dabei bewährt, Angaben über Rasse, Name des Tieres, Geschlecht und Alter vorzunehmen.

In der Fußzeile werden Angaben über die untersuchte Körperseite (rechts/links) und die Schnittebene gemacht.

3.1.1.2.7 Monitor

Die Bildwiedergabe erfolgt über einen hochauflösenden 15 Zoll Farbmonitor. Dieser wird gleichzeitig mittels eines Umschaltknopfes als Computermonitor für die eingebaute Computer-Workstation (Powerview) genutzt.

3.1.1.3 Schallkopf

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde der Linear Array PLN-1204AT mit der wählbaren Frequenz von 8 - 15 MHz verwendet (Abbildung 9). Seine relativ kleine Kontaktfläche von 12 x 49 mm ermöglicht eine gute Ankopplung an die kleinen Strukturen der Welpen im Hüftgelenksbereich. Im Nahbereich steht die volle Abtastbreite zur Verfügung, was sich besonders zur Darstellung von oberflächlichen Strukturen eignet. Durch den parallelen Zeilen-
aufbau wird das Schnittbild rechteckig abgebildet.

3.1.1.4 Dokumentation

Die Dokumentation der Ultraschallbilder erfolgt digital über die in das Ultraschallgerät eingebaute Workstation (Powerview Model UIDM-400A). Die Workstation arbeitet mit dem Betriebssystem Windows Nt® 4.0 und ist direkt mit dem Ultraschallbild verbunden. Der Rechner ist über eine Twisted-Pair-Verkabelung (10 mBit) an das klinikeigene Intranet angeschlossen. Gespeicherte Bilder werden zunächst auf der Festplatte des Computers mit voller Auflösung von 640 mal 480 Bildpunkten im Dicom-Format gespeichert. Nach der erfolgten Untersuchung werden die Sonogramme in die Client-Server-Datenbank (Poet®) mittels der Dicom-Schnittstelle transferiert. Zugriff auf die Untersuchungsdaten wird über die Software Sonowin® genommen. Das Programm ermöglicht, über verschiedene Suchfunktionen (Besitzer, Name des Tieres, Patienten-ID) das entsprechende Tier aufzurufen. Sonowin® läuft auf jedem an das Kliniknetz angeschlossenem PC (Betriebssystem: Windows 95, 98, ME oder Windows Nt). Nach dem Aufrufen der Daten werden alle Ultraschallbilder des Patienten in einer Übersicht angezeigt. Jedes Bild kann in Originalgröße angezeigt, ausgedruckt, kopiert

und bearbeitet werden. Auch besteht die Möglichkeit, über die Workstation (Powerview) Videosequenzen von bis zu 21 Sekunden (mit 17 Bildern pro Sekunde) aufzuzeichnen.

3.1.2 Untersuchungsgut

Die Untersuchungen wurden an 78 Hüftgelenken von 38 verstorbenen und einem lebenden Deutschen Schäferhundwelpen im Alter von einem Lebenstag bis zur achten Lebenswoche durchgeführt. Der lebende Welpe stammt aus dem Patientengut der Chirurgischen Veterinärklinik -Kleintierchirurgie-. Die toten Hundewelpen wurden von Züchtern und Tierarztpraxen in einer speziellen Kühlbox übersandt.

An 24 Hüftgelenken von 12 Welpen wurden Voruntersuchungen vorgenommen. Wie aus Tabelle 7 ersichtlich, wurden sechs weibliche und sechs männliche Tiere mit einem Körpergewicht von 450 g bis 3500 g untersucht (Durchschnittsgewicht 1053 g). Von sieben Tieren ist die Todesursache nicht bekannt, drei Tiere wurden tot geboren. Ein Tier wurde erdrückt und ein weiteres Tier starb durch eine Bissverletzung (Angabe der Züchter). Das älteste Tier der Voruntersuchungsgruppe war 53 Tage alt. Das Durchschnittsalter der Tiere betrug 12,5 Tage.

Die Hauptuntersuchung wurde an 54 Hüftgelenken von 26 toten und einem lebenden Deutschen Schäferhundwelpen durchgeführt. Wie aus Tabelle 8 ersichtlich, wurden 10 weibliche und 17 männliche Tiere mit einem Körpergewicht von 350 g bis 4900 g untersucht (Durchschnittsgewicht 2706 g). Von 14 Tieren ist die Todesursache nicht bekannt, sechs Tiere wurden tot geboren. Ein Tier starb wegen eines Herzfehlers, ein Welpe an einem Darmvolvulus, zwei Welpen an Bissverletzungen und zwei Welpen wurden wegen eines Megaesophagus euthanasiert (Angabe der Züchter). Das älteste Tier der Voruntersuchungsgruppe war 53 Tage alt. Das Durchschnittsalter der Tiere betrug 14,9 Tage.

Welpennr.	Gewicht (Gramm)	Geschlecht	Alter (Woche)	Alter (Tage)	Todesursache
V01	3500	m	7	53	unbekannt
V02	480	w	1	1	Todgeburt
V03	550	w	1	1	unbekannt
V04	550	m	1	1	Todgeburt
V05	1970	m	3	21	unbekannt
V06	1200	w	3	21	Bißverletzung
V07	2000	m	5	37	unbekannt
V08	500	m	1	1	Todgeburt
V09	590	w	1	4	erdrückt
V10	350	w	1	2	unbekannt
V11	450	w	1	5	unbekannt
V12	500	m	1	3	unbekannt

Tabelle 7

Deutsche Schäferhundwelpen, Voruntersuchung (n=12)

Welpennr.	Gewicht (Gramm)	Geschlecht	Alter (Woche)	Alter (Tage)	Todesursache
H01	370	m	1	1	unbekannt
H02	440	m	1	1	Todgeburt
H03	560	w	1	1	Todgeburt
H04	1600	m	3	15	unbekannt
H05	560	m	1	1	Todgeburt
H06	4900	w	8	55	lebend
H07	680	w	1	5	Bißverletzung
H08	470	m	1	1	unbekannt
H09	380	m	1	1	unbekannt
H10	390	w	1	1	unbekannt
H11	400	m	1	1	unbekannt
H12	300	m	1	1	Todgeburt
H13	360	m	1	1	unbekannt
H14	430	m	1	1	unbekannt
H15	360	w	1	1	Todgeburt
H16	420	w	1	1	unbekannt
H17	2600	w	6	42	Megaesophagus
H18	3400	m	7	47	Herzfehler
H19	4420	w	9	58	unbekannt
H20	4300	m	7	45	Volvolus
H21	360	w	1	2	unbekannt
H22	470	m	1	5	unbekannt

Welpennr.	Gewicht (Gramm)	Geschlecht	Alter (Woche)	Alter (Tage)	Todesursache
H23	420	m	1	3	unbekannt
H24	3700	m	8	54	Megaoesophagus
H25	2000	m	3	22	Bißverletzung
H26	2000	m	5	36	unbekannt
H27	460	w	1	1	Todgeburt

Tabelle 8

Deutsche Schäferhundwelpen, Hauptuntersuchung (n=27)

3.2 Voruntersuchungen

Zunächst wurde die sonographische Identifizierung der anatomischen Strukturen, wie das Os ileum, Os ischii, Os pubis, Trochanter major, Femurkopf, Knorpel-Knochen-Grenze des Femurhalses, Gelenkkapsel, Knorpeldach, knöcherne Pfanne und das Labrum acetabulare geübt und überprüft.

Dazu wurde an allen Welpen von außen über die Hautoberfläche sonographiert. An einigen der Welpen (V01, V03, V05, V07, V11) wurde die Haut, Unterhaut und die Muskulatur des Hüftgelenkes abpräpariert und das Hüftgelenk mit und ohne Gelenkkapsel im Wasserbad geschallt.

Schließlich fand eine separate Untersuchung des Os ileum mit der knöchernen Pfanne, Knorpeldach und Labrum acetabulare, des Femurkopfes mit dem Rest des Ligamentum capitis femoris, der Knorpel-Knochen-Grenze des Femurhalses, des Os ischii und des Os pubis im Wasserbad statt. Als Medium wurde destilliertes Wasser verwendet.

Die in der Literatur beschriebenen sonographischen Schnittebenen wurden aufgesucht und die entsprechenden Messungen an den Ultraschallbildern z. T. von Hand und z. T. mit dem Messprogramm des Ultraschallgerätes vorgenommen. Mit den Untersuchungen wurden die Schnittebenen für die Hauptuntersuchung festgelegt und ein Untersuchungsgang definiert.

Bei der Voruntersuchung wurden verschiedene Geräteeinstellungen angewendet. Insbesondere wurden verschiedene Einstellungen bezüglich Fokuszonен, Frequenz, Darstellungstiefe, Gesamtverstärkung und Dynamikbereich überprüft.

3.3 Hauptuntersuchung

3.3.1 Vorbereitung der Tiere

3.3.1.1 Aufbau des Arbeitsplatzes und Lagerung des Tieres

Die Ultraschallmaschine befindet sich links neben dem Untersuchungstisch, auf dem sich das Lagerungskissen befindet. Der Untersucher sitzt am Tische, so dass die Einstellungen der Ultraschallmaschine bequem mit der linken Hand vorgenommen werden können. Der Fußschalter zum Einfrieren des Bildes befindet sich auf dem Fußboden in unmittelbarer Nähe des Untersuchers (Abbildung 8).

Das Tier liegt zunächst in rechter Seitenlage, dabei wird das kaudale Ende des Hundes zum Untersucher gerichtet. Nachdem alle Schnittführungen am linken Hüftgelenk durchgeführt worden sind, wird der Welpen auf die linke Körperseite umgelagert und das rechte Hüftgelenk untersucht.



Abbildung 8

Anordnung des Arbeitsplatzes mit dem Ultraschallgerät Powervision 8000, SSA-390A der Firma Toshiba



Abbildung 9

Linearschallkopf (PLN-1204AT) mit einer wählbaren Frequenz von 8 - 15 MHz

3.3.1.2 Scheren

Beim orthopädischen Ultraschall ist das Scheren des Untersuchungsgebietes besonders wichtig, da durch Knochenvorsprünge die notwendige Ankopplung zum Teil erschwert wird. Das Haarkleid wird dorsal des Trochanter major auf jeder Körperseite zwischen den Verbindungslinien Trochanter major, Tuber coxae und Tuber ischiadicum auf einen Zehntelmillimeter Länge geschoren (Abbildung 10).



Abbildung 10

Zur Ultraschalluntersuchung geschorener Hüftgelenksbereich

3.3.1.3 Ankopplung

Der enge Kontakt zwischen Schallkopfoberfläche und Haut der zu untersuchenden Körperregion ermöglicht ein optimales sonographisches Bild. Der durch Haare oder Körperunebenheiten hervorgerufener Luftzwischenraum führt zu störenden Artefakten (z. B. Reverberationen). Zur Vermeidung der Lufteinschlüsse muss Ultraschallgel großzügig auf den geschorenen Bereich aufgetragen werden und einige Minuten einwirken. Als Ankopplungsmedium wird das Ultraschallgel Sonogel® der Firma Sonogel aus Bad Camberg verwendet.

3.3.2 Durchführung der Untersuchung

Die sonographischen Untersuchungen wurden nach einem festgelegten Untersuchungsgang durchgeführt (der Untersuchungsgang wurde nach den Ergebnissen der Voruntersuchung definiert, siehe Punkt 4.4).

3.3.3 Datenerfassung, statistische Auswertung und graphische Darstellung

3.3.3.1 Datenerfassung

Im Protokoll der Ultraschalluntersuchung wurden die Welpennummer, Geschlecht, Alter, fünf Alpha-Winkelwerte, fünf Beta-Winkelwerte, die Beschreibung der knöchernen Formgebung, des knöchernen Erkers und des knorpeligen Pfannesdaches, die Epiphysenscheibenhöhe, der Femurkopfkontur-Kapselabstand, die Gelenkkapseldicke und der Distraktionswert beider Hüftgelenke eingetragen.

Sämtliche Parameter wurden manuell in einer Datenbank (Microsoft® Access 2000, Microsoft Corporation USA) zur weiteren Datenverarbeitung festgehalten.

3.3.3.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde von der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen betreut. Arithmetische Mittelwerte und Standardabweichungen und weitere Werte der gemessenen Parameter wurden mit Hilfe der Statistiksoftware BMDP (BMDP Statistical Software, Inc. USA) berechnet (Dixon, 1993).

Die statistischen Verfahren wurden an den Parametern der Hauptuntersuchung angewendet. Es wurden von den fünf Messungen des Alpha- und Beta-Winkels (pro Hüftgelenk) der Mittelwert errechnet. Von diesen Mittelwerten wurde der Mittelwert, die Standardabweichung und der Minimal- und Maximalwert bestimmt. Von den restlichen Parametern wurde ebenfalls der Mittelwert, die Standardabweichung und der Minimal- und Maximalwert bestimmt.

Für die fünf Messungen der Alpha- und Beta-Winkel wurde eine Schätzung der Wiederholbarkeit pro Hüftgelenk und die statistische Signifikanz bestimmt.

Eine Korrelationsanalyse der Parameter zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk wurde durchgeführt. Dabei wurde der Korrelationskoeffizient und die statistische Signifikanz bestimmt.

Eine Regressionsanalyse der Parameter wurde bzgl. der Altersabhängigkeit durchgeführt. Auch hier wurde die statistische Signifikanz bestimmt.

Eine Prüfung auf Normalverteilung der altersbereinigten Daten (auf den 14. Tag) und die Prüfung auf Signifikanz wurde auf alle Parameter angewendet (Shapiro-Wilk-Test).

Der Zusammenhang zwischen der qualitativen Bewertung und der quantitativen Winkelbestimmung wurde mit dem Rangkorrelationsanalyse überprüft.

4 Ergebnisse

4.1 Geräteeinstellung

Darstellungstiefe

Die Darstellungstiefe wurde bei den bis zu drei Wochen alten Welpen auf zwei cm eingestellt. Bei den älteren Tieren wurde die Tiefe so ausgewählt, dass mindestens die y-Fuge des Darm-, Sitz- und Schambeines dargestellt wird. Die maximale Darstellungstiefe betrug vier cm.

Fokuszone

Die Einstellung einer Fokuszone erwies sich bei den Voruntersuchungen als ausreichend. Sie sollte auf den Bereich der knöchernen Oberfläche des Os ileum und des knöchernen Erkers eingestellt werden. Dieser Bereich liegt bei der sonographischen Untersuchung im Mittelpunkt des Interesses. Eine zweite Fokuszone kann bei der verwendeten Ultraschallmaschine erst im Abstand von 0,75 cm gesetzt werden, dadurch reduziert sich die Bildwiederholungsrate von 40 Hz auf 20 Hz.

Dynamikbereich (Kontrastregelung)

Zunächst wurde mit dem gleichen Dynamikbereich (80 dB), wie es beim abdominalen Ultraschall üblich ist, untersucht. Dabei werden die Weichteile mit vielen Grauwertstufen besonders gut dargestellt. Danach wurde ein kontrastreicheres, hartes Bild mit 70 dB eingestellt (gleiche Einstellung der Gesamtverstärkung und des Tiefenausgleiches). Bei dem kontrastreicheren Bild können einzelne Strukturen (z. B. Unterrand des Os ileum, Labrum acetabulare, knöcherner Erker, knöcherne Oberfläche des Os ileum) gegenüber anderen Gelenkanteilen besser dargestellt und abgegrenzt werden. Der Dynamikbereich sollte auf 70 dB eingestellt werden. Als Faustregel zum Einstellen der Gesamtverstärkung, des Tiefenausgleiches und des Dynamikbereiches gilt, dass der hyaline Femurkopf echoarm, aber nicht echofrei dargestellt werden sollte.

Schallkopffrequenz

Die Schallkopffrequenz wurde bei einer Darstellungstiefe von zwei cm auf 12 MHz eingestellt. Die Einstellung auf 15 MHz hatte den Nachteil, dass der Unterrand des Os ileum nicht deutlich dargestellt wurde. Bei den älteren Tieren wurde die Frequenz z. T. bis auf 8 MHz reduziert, damit der Unterrand des Os ileum deutlich dargestellt werden konnte.

4.2 Sonoanatomie

4.2.1 Das Hüftgelenk im Wasserbad

Aus den Tierkörpern wurde das Femur, das Os ileum, das Os pubis und das Os ischii herauspräpariert. Es erfolgte nacheinander die Entfernung der Haut und der einzelnen Muskelschichten bis der Knochen und die Gelenkkapsel freilagen (Abbildung 11). Die Sonoanatomie des umgebenden Weichteilmantels wird unter Punkt 4.2.2 erläutert.

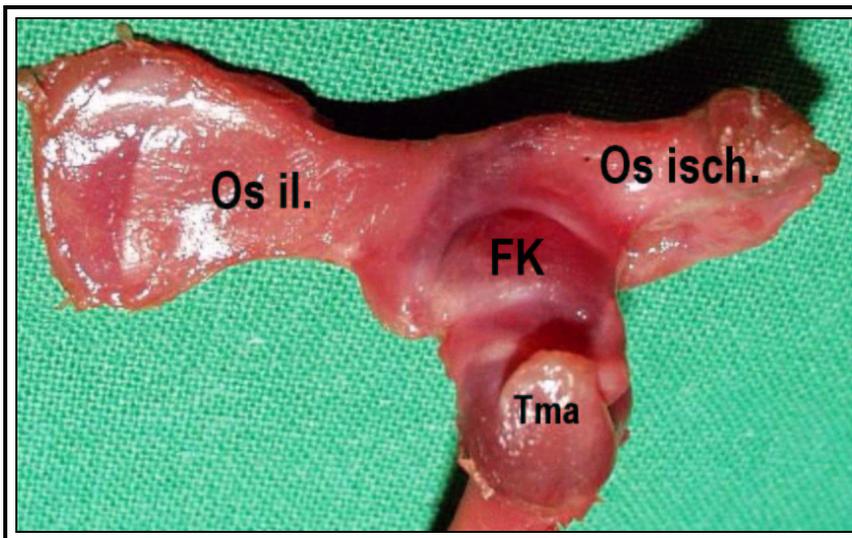


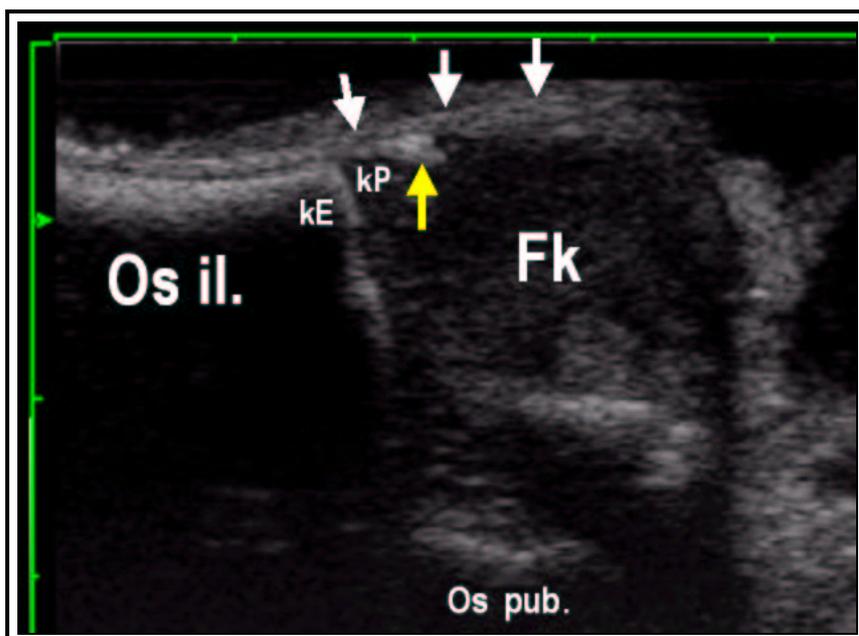
Abbildung 11

Freipräpariertes linkes Hüftgelenk eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V03), Haut und Muskulatur entfernt

- FK* : *Femurkopf*
Os il. : *Os ileum*
Os isch. : *Os ischii*
Tma : *Trochanter major*

Os ileum

Im Ultraschallbild stellt sich das Os ileum als leicht konkav geschwungene echoreiche Zone mit distalem Schallschatten dar (US-Bild 3 + US-Bild 4 + US-Bild 5, Os il.). Die konkave Mulde entspricht der Fossa glutealis. Auf dem Os ileum sitzt eine etwas rauh erscheinende echoreiche Zone. Sie entspricht dem Periost des Os ileum. Die Rauigkeit ist deutlich im US-Bild 3 mit freipräparierten Os ileum sichtbar. Das Periost wurde auf allen Knochenanteilen belassen (Abbildung 11).



US-Bild 3

Linkes Hüftgelenk eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V03) im Wasserbad, Haut und Muskulatur entfernt

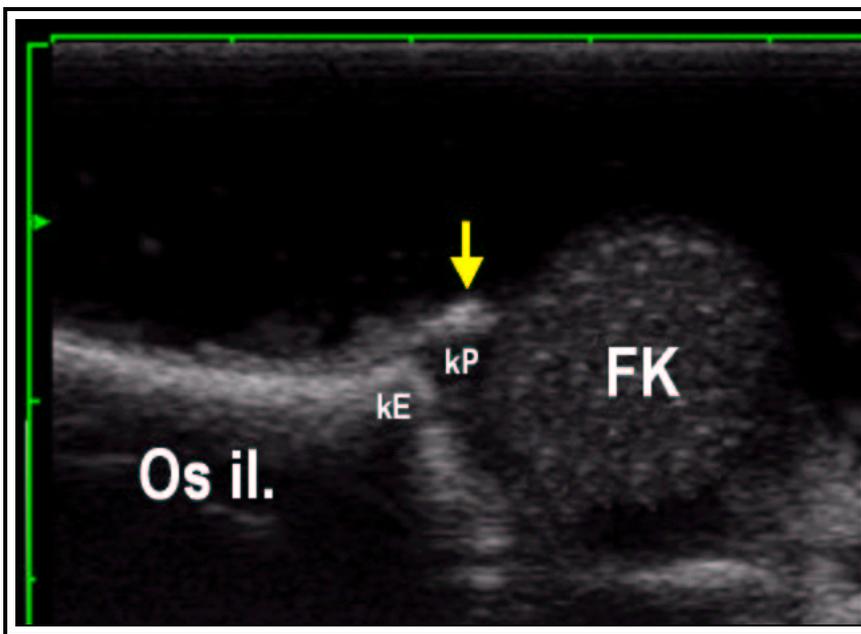
- ☑ : *Labrum acetabulare*
- ☑ : *Gelenkkapsel*
- FK : *Femurkopf*
- KE : *knöcherner Erker*
- KP : *knorpelig-präformiertes Pfannendach*
- Os il. : *Os ileum*
- Os pub. : *Os pubis*

Pfannendach und Gelenkkapsel

Weiter kaudal geht das Periost über in eine bogenförmig verlaufende echoreiche Linie (US-Bild 3, ☑). Es handelt sich um die Gelenkkapsel. Im US-Bild 3 ist das Periost und die Gelenkkapsel komplett vorhanden. Im Gegensatz zum US-Bild 4. Dort wurde die Gelenkkapsel und das Periost vorsichtig abpräpariert.

Kaudal endet das Darmbein mit einem stumpfen Rand (US-Bild 3 + US-Bild 4 + US-Bild 5, kE), der dem knöchernen Erker (kranio-lateraler Pfannenrand) entspricht. Es folgt ein zwischen der Gelenkkapsel, dem knöchernen Erker und dem Femurkopf gelegener echoarmer Bezirk, der dem hyalin-knorpelig präformierten Pfannendach (US-Bild 3 + US-Bild 4 + US-Bild 5, kP) entspricht. Es ossifiziert in den nächsten Wochen und bildet das knöcherne Pfannendach.

Kaudal endet das knorpelige Pfannendach in einem kleinen echoreichen Bereich (stellt sich z. T. auch als echoreiche blasige Struktur dar), dem Labrum acetabulare (US-Bild 3, ) . Das Labrum acetabulare besteht aus Faserknorpel, woraus sich auch die Echogenität begründet. Das Labrum wird von der Gelenkkapsel überzogen (US-Bild 3, ) . Abbildung 12 und Abbildung 13 geben eine anatomische Übersicht des gesamten Hüftgelenkes. In Abbildung 13 ist der kranio-laterale Pfannenrand deutlich erkennbar, durch den das Ultraschallschnittbild verläuft. Im US-Bild 5 ist nach der Entfernung des Weichteilmantels, der Gelenkkapsel und des Femurkopfes das knorpelig präformierte Pfannendach (kp) mit dem kleinen am kaudalen Ende gelegenen echoreichen Endbezirk, dem Labrum acetabulare () deutlich sichtbar.



US-Bild 4

Linkes Hüftgelenk eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V03) im Wasserbad, Haut, Muskulatur und Gelenkkapsel entfernt

-  : Labrum acetabulare
- FK : Femurkopf
- kE : knöcherner Erker
- kp : knorpelig präformiertes Pfannendach
- Os il. : Os ileum
- Os pub. : Os pubis

Femurkopf

Kaudal dem Os ileum ist der rund-ovale echoarme bis echofreie Femurkopf (US-Bild 3 + US-Bild 4, Fk) sichtbar. Das echoarme bis echolose Muster ist von kleinen wurmartigen bis

strichartigen echoreichen Mustern durchsetzt, die den Gefäßechos des hyalin-knorpelig präformierten Femurkopfes entsprechen. Der Femurkopf wird lateral von der Gelenkkapsel überzogen. Das typische Muster des Femurkopfes ist nach Entfernung des Weichteilmantels und der Gelenkkapsel im US-Bild 4 sichtbar.

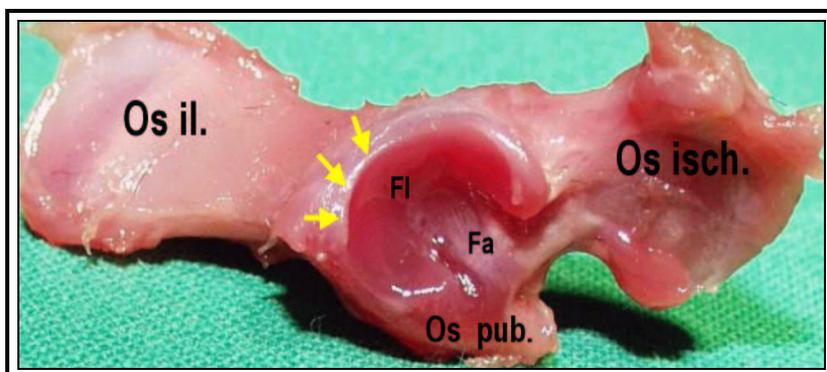


Abbildung 12

Freipräpariertes linkes Hüftgelenk eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V03) ohne Femurkopf (Lateralansicht)

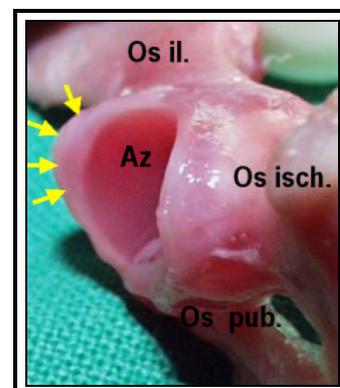


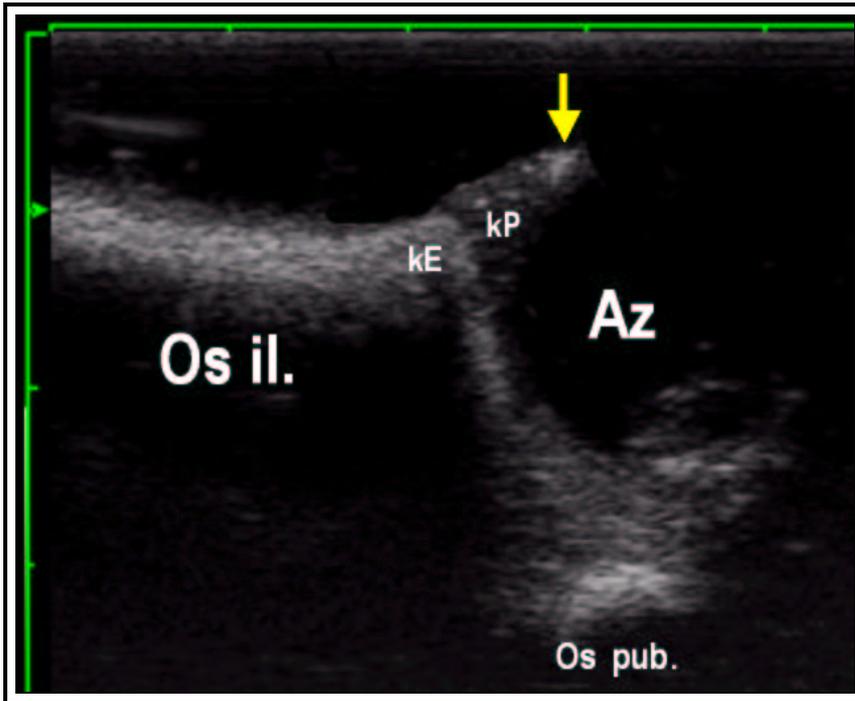
Abbildung 13

Linkes Hüftgelenk eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V03) ohne Femurkopf (Kaudalansicht)

- ☑ : *Kraniolateraler Pfannenrand*
- Az : *Azetabulum*
- Fa : *Fossa acetabuli*
- Fl : *Facies lunata*
- Os il. : *Os ileum*
- Os isch. : *Os ischii*
- Os pub. : *Os pubis*

Os pubis

Medial des Femurkopfes stellt sich das Os pubis (US-Bild 3, Os pub.) als echoreiche Struktur mit distaler Schallauslöschung dar. Zwischen dem Unterrand des Os ileum und des Os pubis befindet sich ein echoarmer Bezirk, der der Wachstumsfuge (y-Fuge) entspricht. Im US-Bild 5 ist das Os pubis (Os pub.) dargestellt, dort wurden der Femurkopf und das Os ischii wegpräpariert.



US-Bild 5

Linkes Hüftgelenk eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V03) im Wasserbad, Haut, Muskulatur, Gelenkkapsel, Femurkopf und Os ischii entfernt

- ☑ : *Labrum acetabulare*
- Az : *Acetabulum*
- kE : *knöcherner Erker*
- kP : *knorpelig präformiertes Pfannendach*
- Os il. : *Os ileum*
- Os pub. : *Os pubis*

4.2.2 Sonoanatomie der lateralen Standardebene

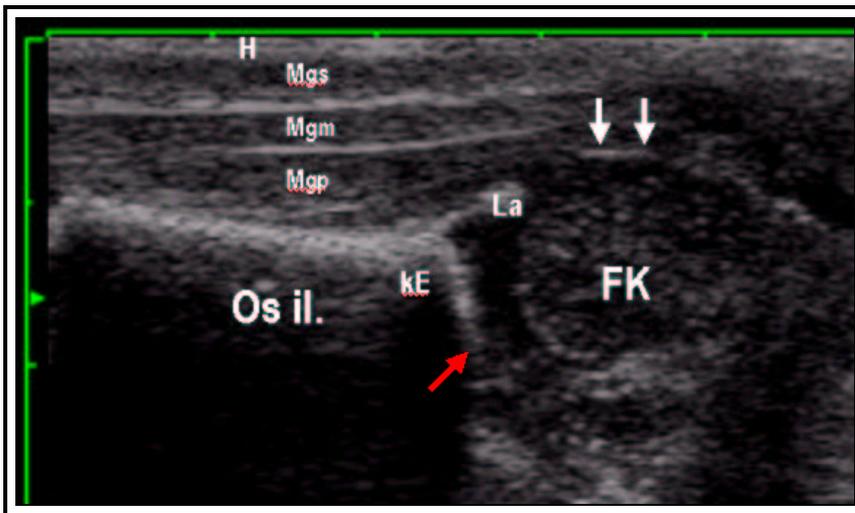
Weichteilmantel

Oberflächlich erscheint zunächst eine zarte, reflexreiche Linie, gefolgt von einer dünnen reflexärmeren Schicht. Diese stellen die Haut und Unterhaut (US-Bild 6, H) dar. Es folgt eine echoarme Schicht, die homogen von mehr oder weniger echogenen Punkten durchsetzt ist. Eingegrenzt ist sie durch echogene Linien. Es handelt sich um den Querschnitt durch den Musculus gluteus superficialis (US-Bild 6 + US-Bild 8, Mgs). Es folgt der Musculus gluteus medius (US-Bild 6, Mgm) und der Musculus gluteus profundus (US-Bild 6 + US-Bild 8, Mgp) im Querschnitt. Sie haben die gleiche Echotextur wie der Musculus gluteus

superficialis und sind durch echogene Linien voneinander abgegrenzt. Die echogenen Linien entstehen durch die unterschiedliche Impedanz zwischen Muskelfaszie und dem umgebenden Gewebe.

Os ileum

Das Os ileum (US-Bild 6 + US-Bild 8, Os il.) mit seinem knöchernen Erker (US-Bild 6 + US-Bild 8, kE) stellt sich in der lateralen Standardebene, wie unter Punkt 4.2.1 beschrieben, dar. Folgt man der echoreichen Struktur des Os ileum nach medial, so endet diese im Unterrand des Os ileum (US-Bild 6 + US-Bild 8, )



US-Bild 6

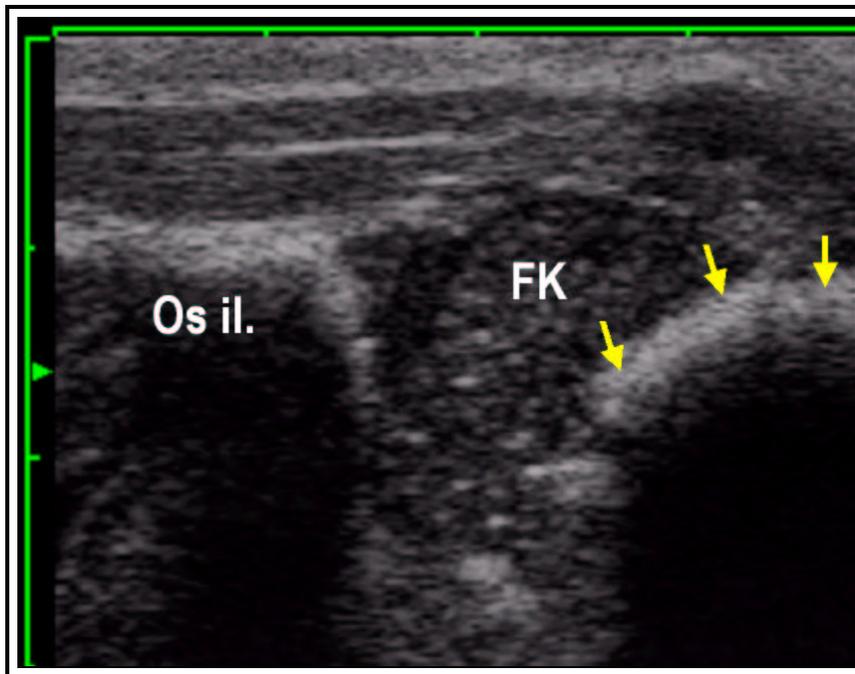
Laterale Standardebene eines 3 Tage alten Welpen (V12), rechtes Hüftgelenk

-  : *Gelenkkapsel*
-  : *Unterrand des Os ileum*
- FK* : *Femurkopf*
- H* : *Haut und Unterhaut*
- kE* : *knöcherner Erker*
- La* : *Labrum acetabulare*
- Mgm* : *Musculus gluteus medius*
- Mgp* : *Musculus gluteus profundus*
- Mgs* : *Musculus gluteus superficialis*
- Os il.* : *Os ileum*

Pfannendach, Gelenkkapsel, Femurkopf und Os pubis

Die Gelenkkapsel (US-Bild 6 + US-Bild 8, ) , das knorpelig präformierte Pfannendach, mit seinem Labrum acetabulare (US-Bild 6 + US-Bild 8, La), der Femurkopf (US-Bild 6 + US-Bild 8, Fk) und das Os pubis (US-Bild 8, Os pub.) stellen sich in der lateralen Standardebene, wie unter Punkt 4.2.1 beschrieben, dar. Zwischen Gelenkkapsel und Femurkopf ist eine dünne reflexlose Zone sichtbar, die dem Gelenkspalt mit Gelenkflüssigkeit entspricht.

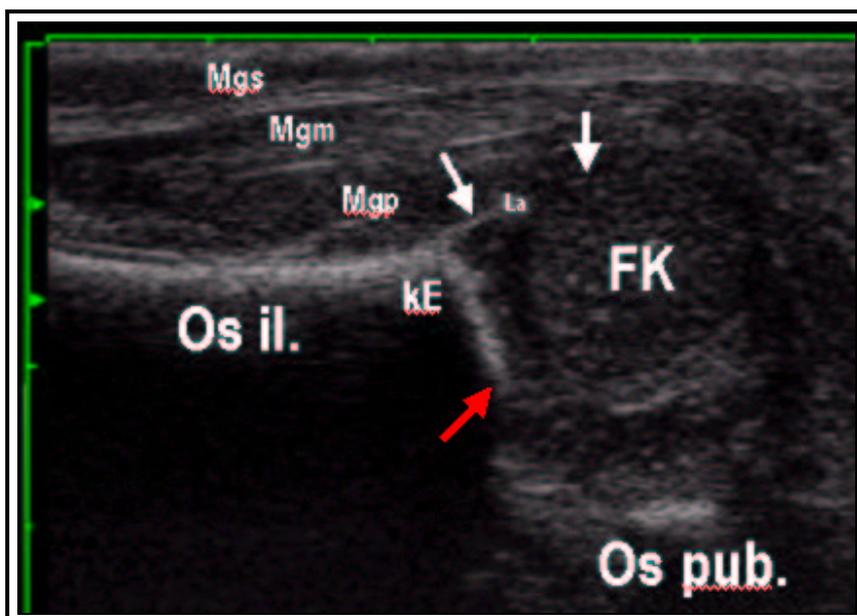
Verschiebt man den Schallkopf nach lateral, so geht kaudal der Femurkopf über in den Femurhals. Dort stellt sich eine echoreiche, leicht bogenförmig verlaufende Linie mit distalem Schallschatten dar. Es handelt sich um die Knorpel-Knochen-Grenze (US-Bild 7, ). In dieser findet die Ossifikation des Femurhalses statt.



US-Bild 7

Linkes Hüftgelenk eines 4 Tage alten DSH-Welpen (V09) mit der Knorpel-Knochen-Grenze

-  : Knorpel-Knochen-Grenze
- FK : Femurkopf
- Os il. : Os ileum



US-Bild 8

Laterale Standardebene eines 4 Tage alten DSH-Welpen (V09), rechtes Hüftgelenk

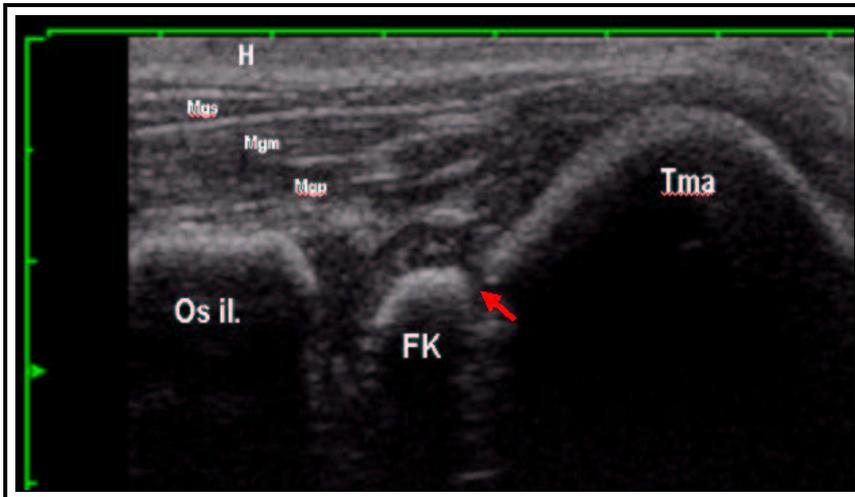
- ☑ : Gelenkkapsel
- ☑ : Unterrand des Os ileum
- FK : Femurkopf
- kE : knöcherner Erker
- La : Labrum acetabulare
- Mgm : Musculus gluteus medius
- Mgp : Musculus gluteus profundus
- Mgs : Musculus gluteus superficialis
- Os il. : Os ileum
- Os pub. : Os pubis

4.2.3 Sonoanatomie der lateralen Standardebene mit Außenrotation

Der Weichteilmantel (US-Bild 9, H, Mgs, Mgm, Mgp) stellt sich in den lateralen Standardebenen mit Außenrotation der Gliedmaße, wie unter Punkt 4.2.2 beschrieben, dar.

Wie unter Punkt 4.2.1 ausgeführt, stellt sich auch das Os ileum (US-Bild 9, Os il.) in der lateralen Standardebene mit Außenrotation dar. Kaudal des Os ileum folgt der Femurkopf als echoarmer schmaler Bereich (US-Bild 9, Fk). Im mittleren Bereich des Femurkopfes ist bei dem 37 Tage alten Welpen (V07) das Verknöcherungszentrum als echoreicher Bezirk mit distaler Schallauslöschung sichtbar. Weiter kaudal geht die Kontur des Femurhalses über in den Trochanter major (US-Bild 9, Tma). Am Übergang des Verknöcherungszentrums des

Femurkopfes zum Femurhals ist ein echoarmer Spalt sichtbar (US-Bild 9, ) , dabei handelt es sich um die Epiphysenfuge.



US-Bild 9

Laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße eines 37 Tage alten DSH-Welpen (V07), rechtes Hüftgelenk

-  : *Epiphysenfuge*
- FK* : *Femurkopf*
- H* : *Haut und Unterhaut*
- Mgm* : *Musculus gluteus medius*
- Mgp* : *Musculus gluteus profundus*
- Mgs* : *Musculus gluteus superficialis*
- Os il.* : *Os ileum*
- Tma* : *Trochanter major*

4.2.4 Sonoanatomie der inguinalen Schnittebene

Oberflächlich erscheint zunächst eine zarte reflexreiche Linie, gefolgt von einer dünnen reflexärmeren Schicht. Diese stellen die Haut und Unterhaut (US-Bild 10, H) dar.

Darunter befindet sich eine Schicht mit reflexreichen, dünnen, längsverlaufenden, zum Teil unterbrochenen Linien und Strichen. Es handelt sich um das typische Echomuster von Muskulatur im Längsschnitt. Dargestellt ist der Musculus gracilis (US-Bild 10, Mgr).

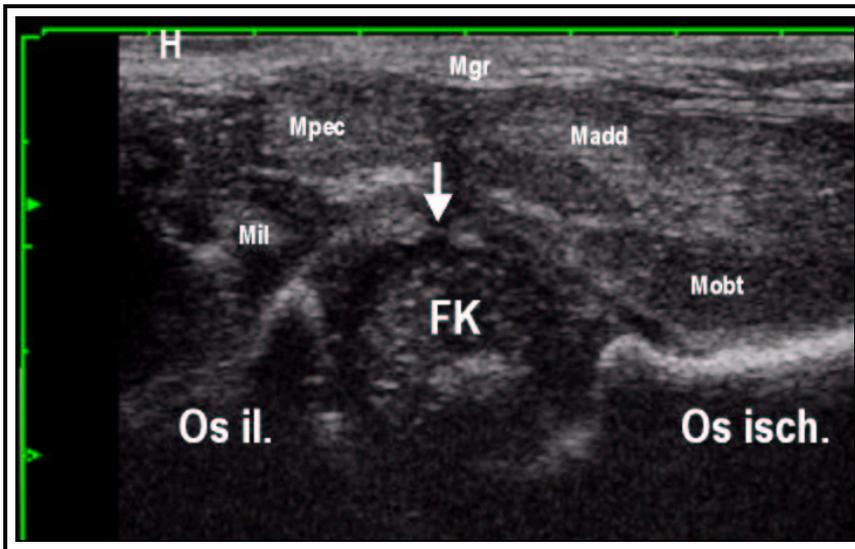
Es folgen der Musculus pectineus et adductor longus (US-Bild 10, Mpec) und die Musculi adductores (US-Bild 10, Madd) im Querschnitt mit einer echoarmen Schicht, die homogen von mehr oder weniger echogenen Punkten durchsetzt ist.

Kranial und kaudal schieben sich zwischen diesen Muskeln und dem Os ileum und dem Os ischii der Musculus ilioas (US-Bild 10, Mil) und der Musculus obturatorius externus (US-Bild 10, Mobt) (im Querschnitt).

Kranial ist das Os ileum (US-Bild 10, Os il.) und kaudal das Os ischii (US-Bild 10, Os isch.) als echoreiche Struktur mit distaler Schallauslöschung sichtbar.

Zwischen diesen liegt der rund-ovale echoarme bis echofreie Femurkopf (US-Bild 10, Fk) im Acetabulum, das hier durch das Os ileum und Os ischii gebildet wird. Auch in dieser Schnittebene erscheint das echoarme bis echofreie Muster des Femurkopfes von kleinen wurmartigen bis strichartigen echoreichen Mustern durchsetzt (Gefäßechos).

Die Gelenkkapsel (US-Bild 10, ) überspannt den Femurkopf als konvexe echoreiche Linie.

**US-Bild 10**

Inguinale Schnittebene eines 21 Tage alten DSH-Welpen (V05), rechtes Hüftgelenk

- ☑ : *Gelenkkapsel*
- FK : *Femurkopf*
- H : *Haut und Unterhaut*
- Madd : *Musculus adductor magnus et brevis*
- Mgr : *Musculus gracilis*
- Mil : *Musculus iliopsoas*
- Mobt : *Musculus obturatorius ext.*
- Mpec : *Musculus pectineus et adductor longus*
- Os il. : *Os ileum*
- Os isch. : *Os ischii*

4.3 Sonographisch-morphologische Entwicklung

Die Untersuchungen wurden an toten Tieren durchgeführt. Aus diesem Grund konnte die Weiterentwicklung einzelner Tiere nicht verfolgt werden.

4.3.1 Sonographisch-morphologische Entwicklung der lateralen Standardebene

Femurkopf

Der rund-ovale Femurkopf ist in der ersten Lebenswoche komplett knorpelig präformiert (US-Bild 11). Bei dem 15 Tage alten Welpen befindet sich im Zentrum die Verknöcherungszone (US-Bild 12) als echoreiches Areal mit distalem Schallschatten. Der Femurkopfkern ist nicht rund und liegt auch nicht immer im Zentrum des Oberschenkelkopfes.

Die Verknöcherung des Femurkopfes schreitet in den nächsten Wochen fort (US-Bild 13, US-Bild 14, US-Bild 15, US-Bild 16). In der achten Lebenswoche ist bis auf einen dünnen äußeren Saum und der Wachstumsfuge der gesamte Femurkopf verknöchert (US-Bild 15, US-Bild 16). An der knöchernen Oberfläche des Femurkopfkernes werden die Schallwellen total reflektiert. Aus diesem Grund wird nur die laterale Oberfläche des Femurkopfkernes dargestellt, so dass dieser sich wie ein Halbmond darstellt (Halbmondphänomen).

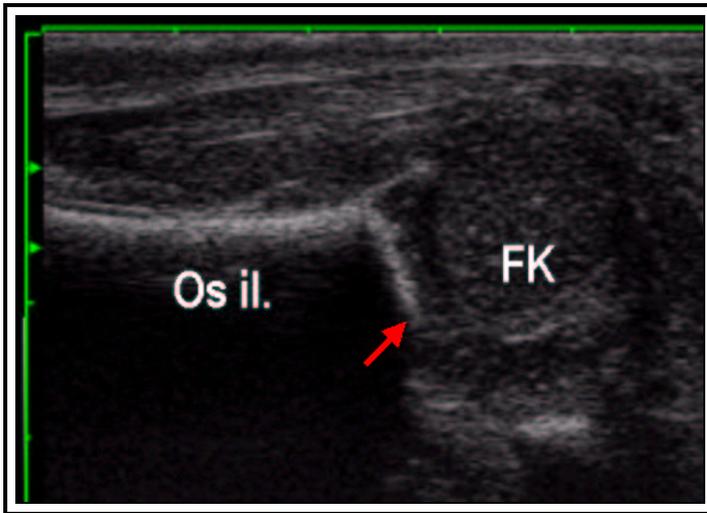
Durch die Schallauslöschung können distal des Hüftkopfkernes gelegene Strukturen nicht mehr dargestellt werden. So kann das Os pubis bei dem 15 Tage alten Welpen nur noch z. T. dargestellt werden (US-Bild 12). Bei dem 58 Tage alten Welpen (US-Bild 16) ist der Femurkopf soweit verknöchert, dass der Unterand des Os ileum nicht mehr erkennbar ist.

Kaudal des Femurkopfes ist in den Ultraschallbildern der 14 Tage, 37 Tage, 53 Tage und 58 Tage alten Welpen die Epiphysenfuge in Form eines reflexarmen Spaltes und der Femurhals als echoreiche Zone mit distalem Schallschatten sichtbar (US-Bild 12, US-Bild 14, US-Bild 15, US-Bild 16).

Os ileum

Das Os ileum zeigt in den ersten acht Lebenswochen deutliche Längenzunahmen. Der knöchernen Erker stellt sich in der ersten Lebenswoche rund dar (US-Bild 11). Durch die weitere Verknöcherung des kranial-lateralen Pfannenrandes nimmt diese Kontur bei fortgeschrittenem Alter eine stumpfe und schließlich eine stumpf-eckige Struktur an (US-Bild 15, US-Bild 16). Wie bei der Entwicklung des Femurkopfes schon erwähnt, ist der Unterrand des Os ileum im

Zeitraum zwischen der 8. und 9. Lebenswoche nur noch andeutungsweise bzw. nicht mehr erkennbar (US-Bild 15, US-Bild 16).



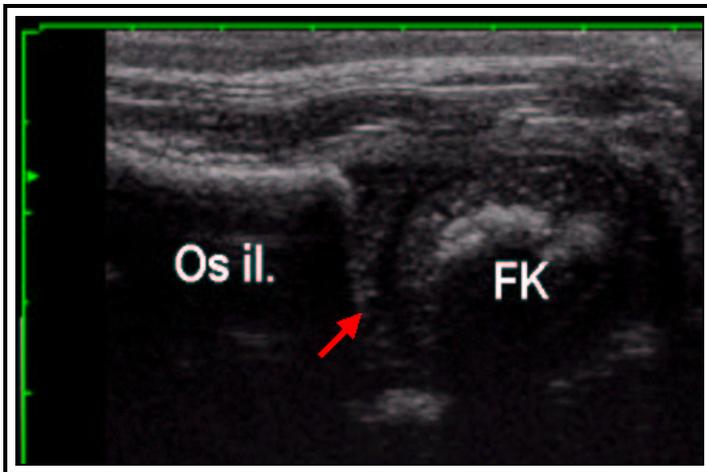
US-Bild 11

Laterale Standardebene eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V09), linkes Hüftgelenk

▣ : Unterrand des Os ileum

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum



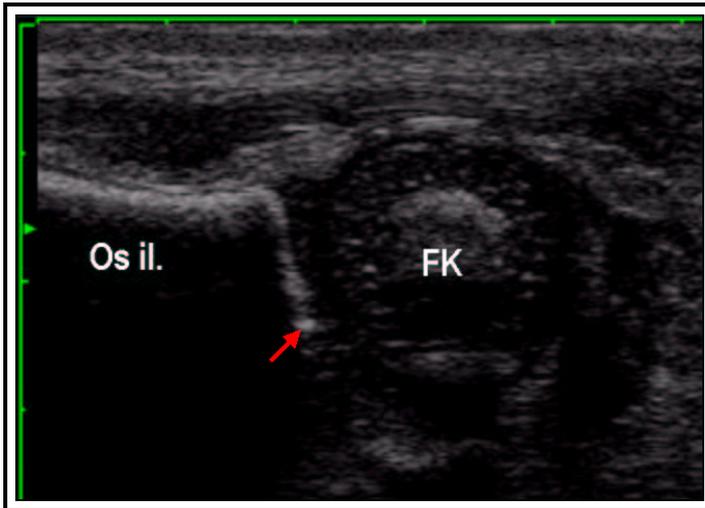
US-Bild 12

Laterale Standardebene eines 15 Tage alten DSH-Welpen (H04), linkes Hüftgelenk

▣ : Unterrand des Os ileum

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

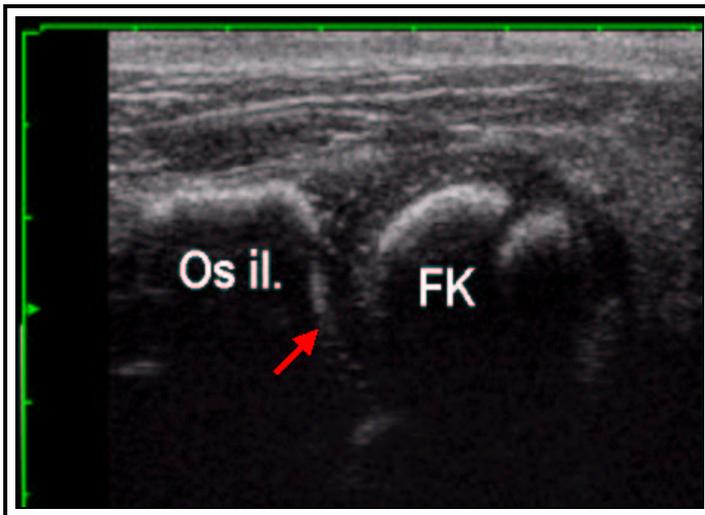
**US-Bild 13**

Laterale Standardebene eines 21 Tage alten DSH-Welpen (V06), linkes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

 : *Unterrand des Os ileum*

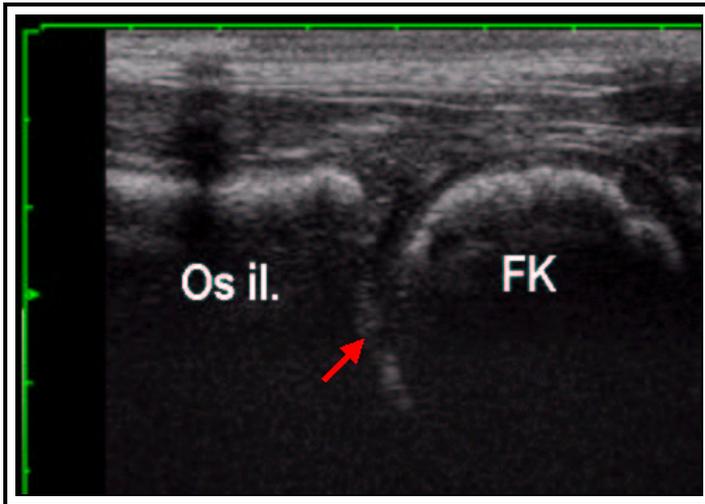
**US-Bild 14**

Laterale Standardebene eines 37 Tage alten DSH-Welpen (V07), linkes Hüftgelenk

 : *Unterrand des Os ileum*

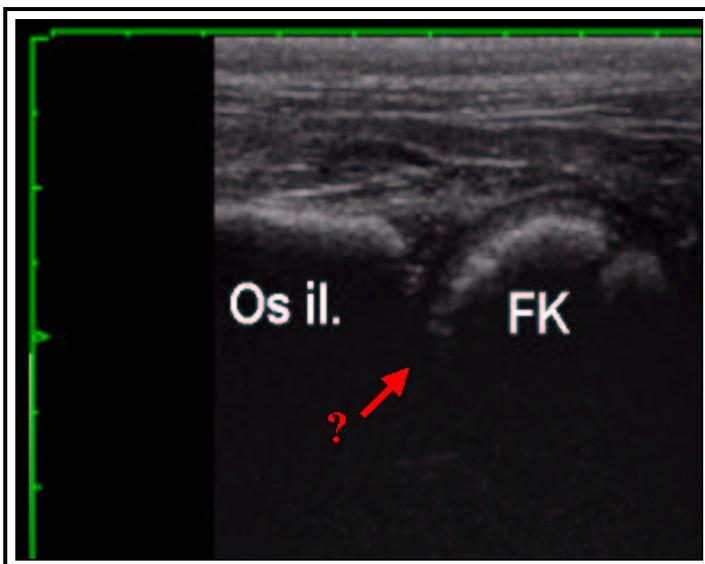
FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

**US-Bild 15**

Laterale Standardebene eines 53 Tage alten DSH-Welpen (V01), linkes Hüftgelenk

- ▣ : *Unterrand des Os ileum*
- FK : *Femurkopf*
- Os il. : *Os ileum*

**US-Bild 16**

Laterale Standardebene eines 58 Tage alten DSH-Welpen (H19), linkes Hüftgelenk

- ▣? : *Unterrand des Os ileum nicht abgrenzbar*
- FK : *Femurkopf*
- Os il. : *Os ileum*

4.3.2 Sonographisch-morphologische Entwicklung der lateralen Standardebene mit Außenrotation

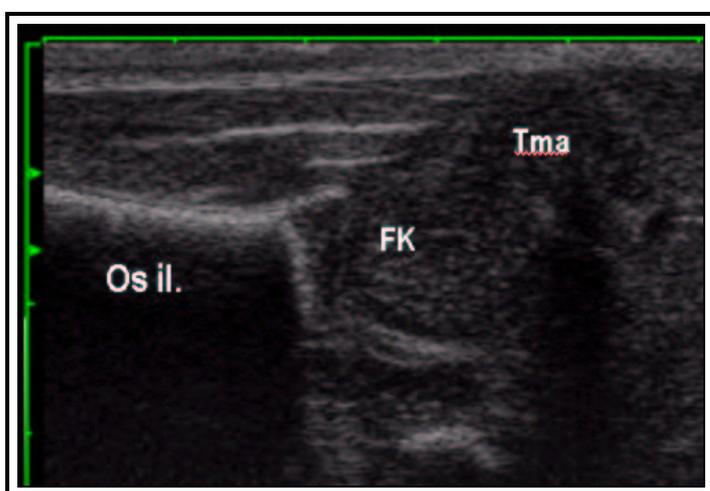
Femurkopf und Hals

Der Femurkopf ist in der ersten Lebenswoche komplett knorpelig präformiert (US-Bild 17). Erst bei dem 15 Tage alten Welpen ist der Verknöcherungskern sichtbar. Der Verknöcherungskern nimmt bei den älteren Welpen an Größe zu (US-Bild 18, US-Bild 19, US-Bild 20, US-Bild 21). Der Rest des Kopfes besteht weiterhin aus Knorpel.

Die Epiphysenfuge des Femurhalses wird bei den älteren Tieren stetig kleiner (US-Bild 18, US-Bild 19, US-Bild 20, US-Bild 21).

Trochanter major

Der Trochanter major stellt sich in der ersten Lebenswoche mit echoarmer bis echoloser Grundstruktur dar, die mit feinen reflexreichen strichartigen Mustern durchsetzt ist (US-Bild 17). Der Trochanter ist in diesem Alter komplett knorpelig präformiert. Bei dem 15 Tage alten Welpen ist ein echoreicher Bezirk mit angedeutetem Schallschatten zu sehen (US-Bild 18, ). Bei den älteren Welpen stellte sich der Trochanter major als reflexreiche Bande mit distalem Schallschatten dar (US-Bild 19, US-Bild 20, US-Bild 21).



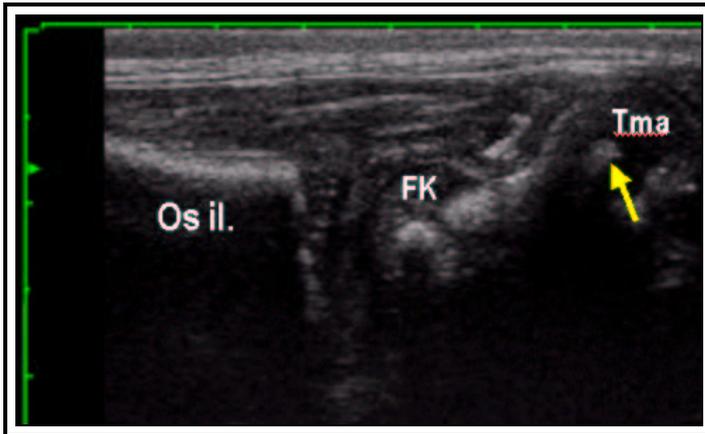
US-Bild 17

Laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße eines 1 Tage alten DSH-Welpen (H05), linkes Hüftgelenk

FK : *Femurkopf*

Os il. : *Os ileum*

Tma : *Trochanter major*

**US-Bild 18**

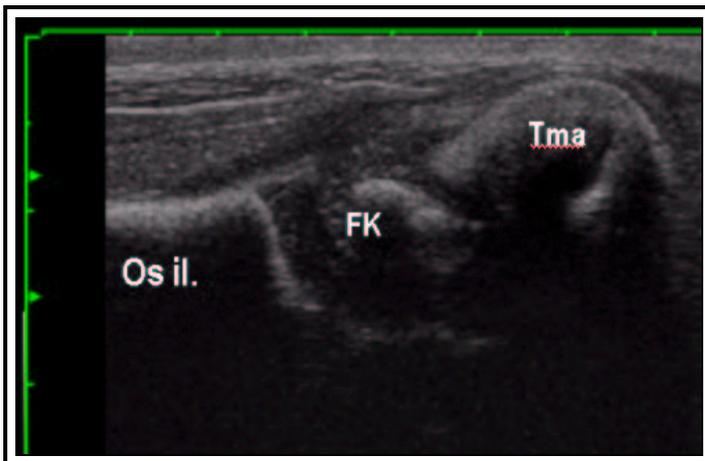
Laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße eines 15 Tage alten DSH-Welpen (H04), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

Tma : Trochanter major

📌 : Ossifikationszentrum

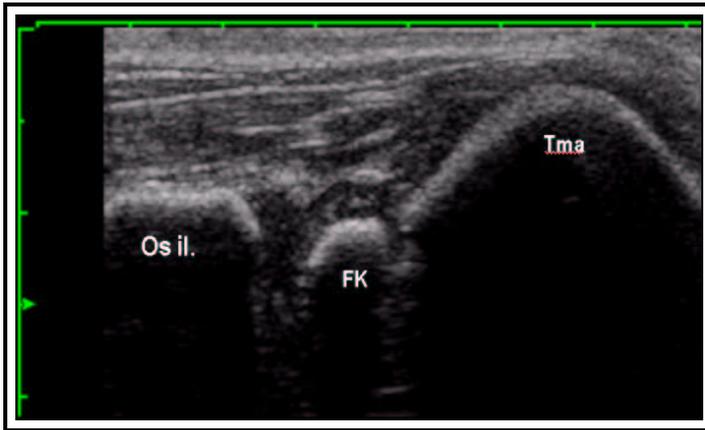
**US-Bild 19**

Laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße eines 21 Tage alten DSH-Welpen (V05), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

Tma : Trochanter major

**US-Bild 20**

Laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße eines 37 Tage alten DSH-Welpen (V07), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

Tma : Trochanter major

**US-Bild 21**

Laterale Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße eines 53 Tage alten DSH-Welpen (V01), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

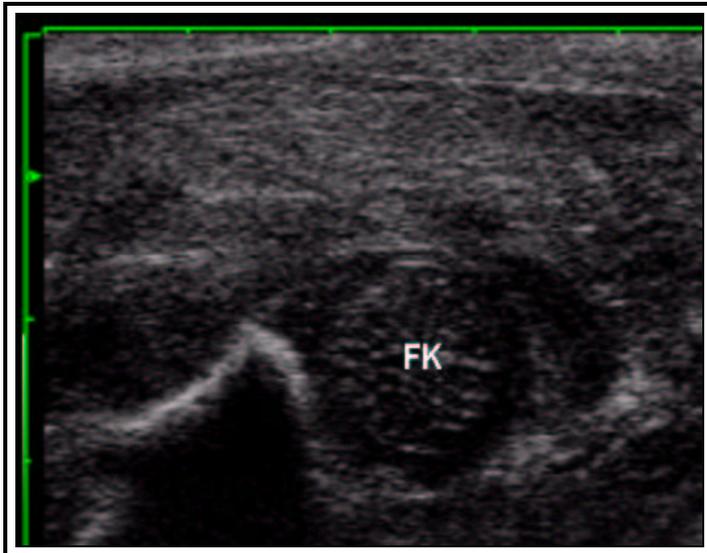
Tma : Trochanter major

4.3.3 Sonographisch-morphologische Entwicklung der inguinalen Schnittebene

Auch in dieser Schnittebene lässt sich die fortschreitende Ossifikation des Femurkopfes nachvollziehen (US-Bild 22, US-Bild 23, US-Bild 24, US-Bild 25, US-Bild 26). So ist bei den Welpen in der ersten Lebenswoche (US-Bild 22) der gesamte Femurkopf knorpelig präfor-

miert. Bei dem 53 Tage alten Welpen ist bis auf eine kleine äußere reflexarme Bande fast der gesamte Femurkopf ossifiziert (US-Bild 26).

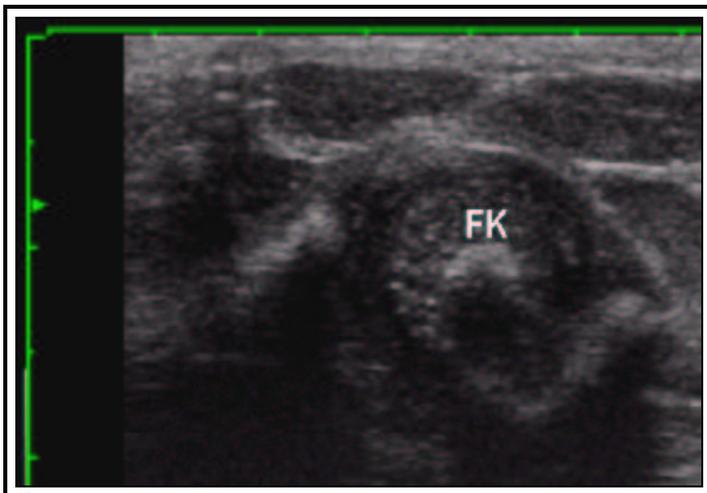
Der Boden des Azetabulums war bei den Welpen ab der 3. Lebenswoche nur noch z. T. durch den größer werdenden Femurkopfkern erkennbar.



US-Bild 22

Inguinale Schnittebene eines 1 Tage alten DSH-Welpen (V04), linkes Hüftgelenk

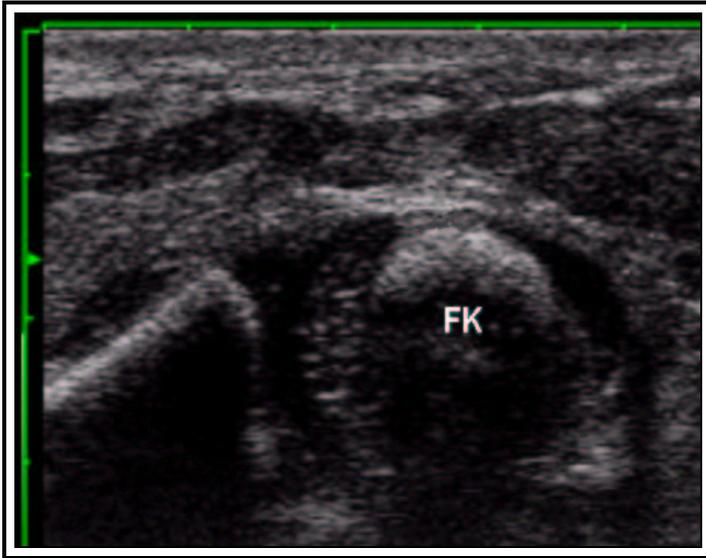
FK : Femurkopf



US-Bild 23

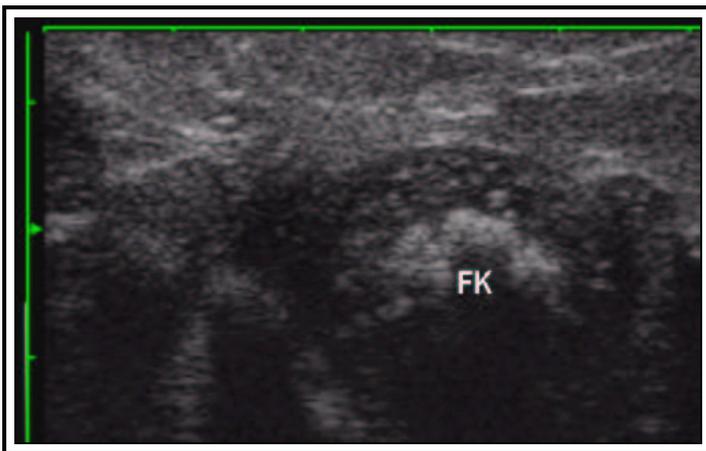
Inguinale Schnittebene eines 15 Tage alten DSH-Welpen (H04), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

**US-Bild 24**

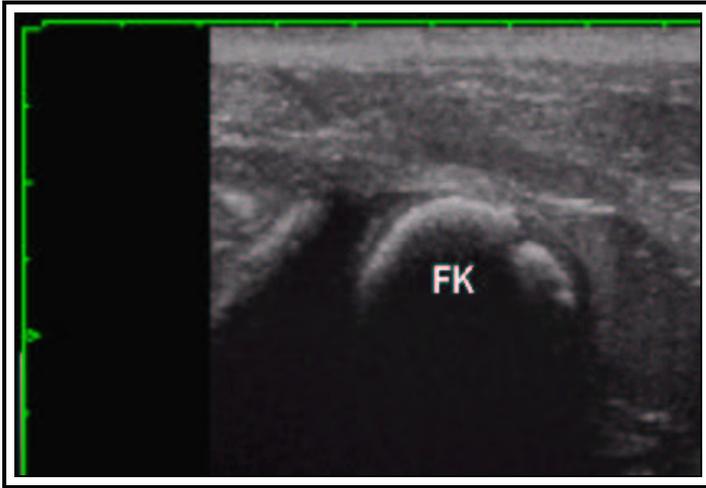
Inguinale Schnittebene eines 21 Tage alten DSH-Welpen (V06), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

**US-Bild 25**

Inguinale Schnittebene eines 37 Tage alten DSH-Welpen (V07), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

**US-Bild 26**

Inguinale Schnittebene eines 53 Tage alten DSH-Welpen (V01), rechtes Hüftgelenk

FK : Femurkopf

4.4 Sonographischer Untersuchungsgang und Befundung

4.4.1.1 Sonographische Identifizierung der anatomischen Strukturen

Zunächst erfolgt die Identifizierung der wichtigsten anatomischen Strukturen, damit Verwechslungen ausgeschlossen sind.

Die Anordnung des Arbeitsplatzes und die Lagerung des Tieres, das Scheren des Untersuchungsbereiches und das Aufbringen des Ultraschallgels sind unter den Punkten 3.3.1.1, 3.3.1.2 und 3.3.1.3 beschrieben. Beide Hintergliedmaßen werden in Normalstellung mit einer Winkelung der Hüftgelenke von ca. 100° gebracht.

Die linke Hand des Untersuchers ergreift das linke Hinterbein, mit der rechten Hand wird der Schallkopf senkrecht dorsal des Trochanter major in Längsrichtung auf das Hüftgelenk aufgesetzt (Abbildung 14). Zunächst wird der knorpelige Femurkopf (US-Bild 27, Fk) dargestellt, dann der Schallkopf etwas weiter nach kranial bewegt und das Os ileum aufgesucht (US-Bild 27, Os il.). Der Transducer wird wieder etwas nach kaudal bewegt und der knöcherne Erker (US-Bild 28, kE) und der Unterrand des Os ileum werden abgebildet. Nach der Identifizierung der Gelenkkapsel (US-Bild 28, ) folgt man ihr nach kranial bis zum Labrum acetabulare (US-Bild 28, La). Das als Labrum acetabulare identifizierte Echo muss mit Hilfe der Labrumdefinitionen als tatsächliches Echo des Labrums verifiziert werden.

Dabei müssen nicht alle vier Definitionen gleichzeitig zutreffen, sondern lediglich eine:

Das Labrum liegt intraartikulär und hat immer Femurkopfkontakt.

Das Labrum ist immer jenes Echo, das sich kaudo-lateral 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.

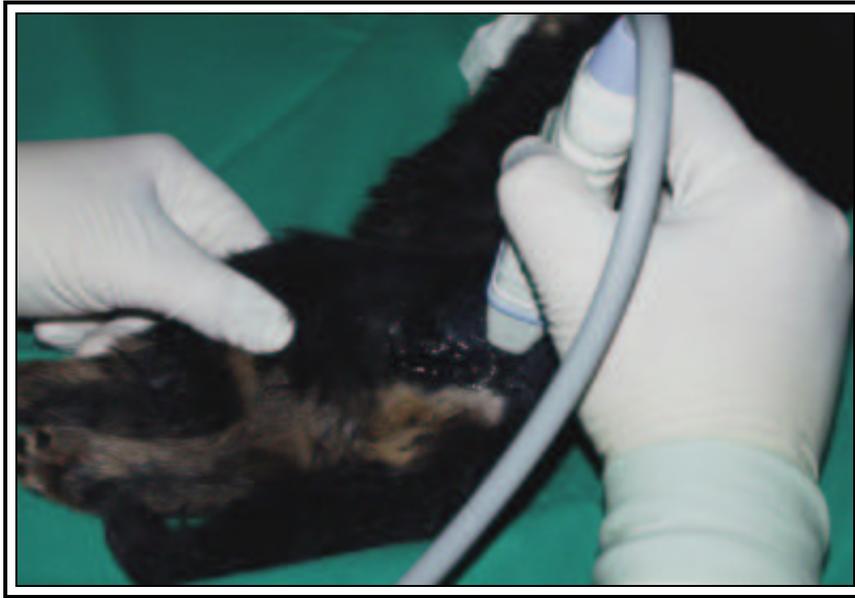
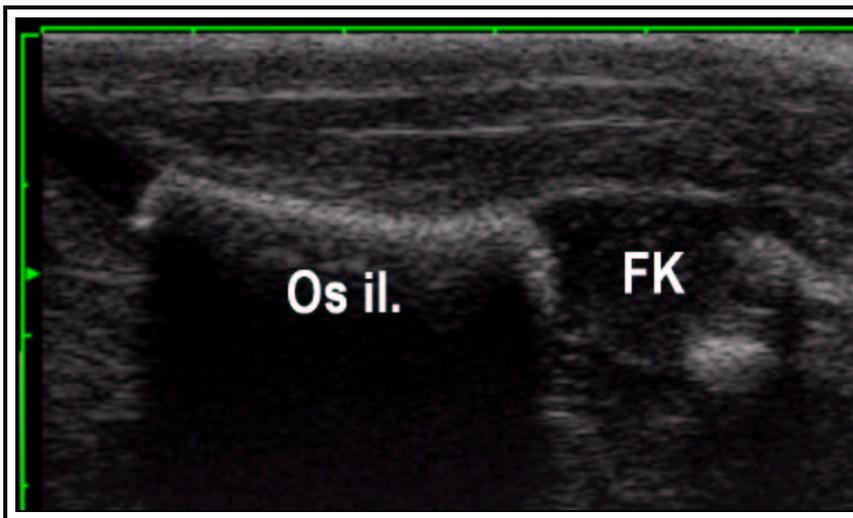


Abbildung 14

Untersuchung des linken Hüftgelenkes mit Schallkopfpositionierung

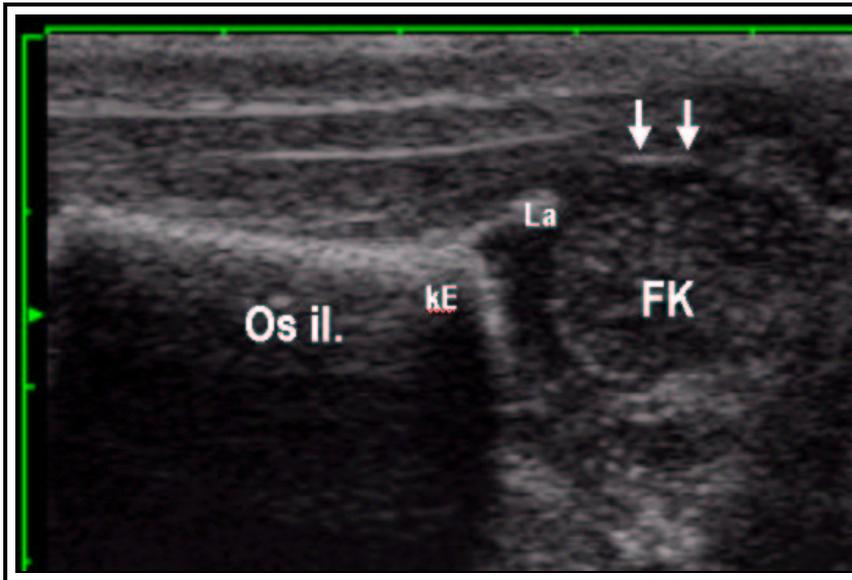


US-Bild 27

Identifizierung des Femurkopfes und Os ileum

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum



US-Bild 28

Identifizierung des knöchernen Erkers, Gelenkkapsel und Labrum acetabulare

- ☑ : *Gelenkkapsel*
- FK : *Femurkopf*
- kE : *knöcherner Erker*
- La : *Labrum acetabulare*
- Os il. : *Os ileum*

4.4.1.2 Die laterale Standardebene mit neutraler Stellung der Gliedmaße

Damit die ermittelten quantitativen und qualitativen Parameter zweier Hüftgelenke eines Tieres bzw. der Hüftgelenke mehrerer Tiere miteinander verglichen werden können, müssen bei den erhobenen Befunden der einzelnen Hüftgelenke vergleichbare Schnittebenen vorliegen. Diese Ebene kann räumlich nur festgelegt werden, wenn mindestens drei Punkte im Raum definiert sind. Bezogen auf ein Hüftsonogramm beim Deutschen Schäferhundwelpen sind dies folgende Punkte (US-Bild 29):

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

Darüber hinaus sollte der Femurkopf rund dargestellt werden und die knöcherne Kontur des Os ileum relativ gerade abgebildet werden (US-Bild 29).

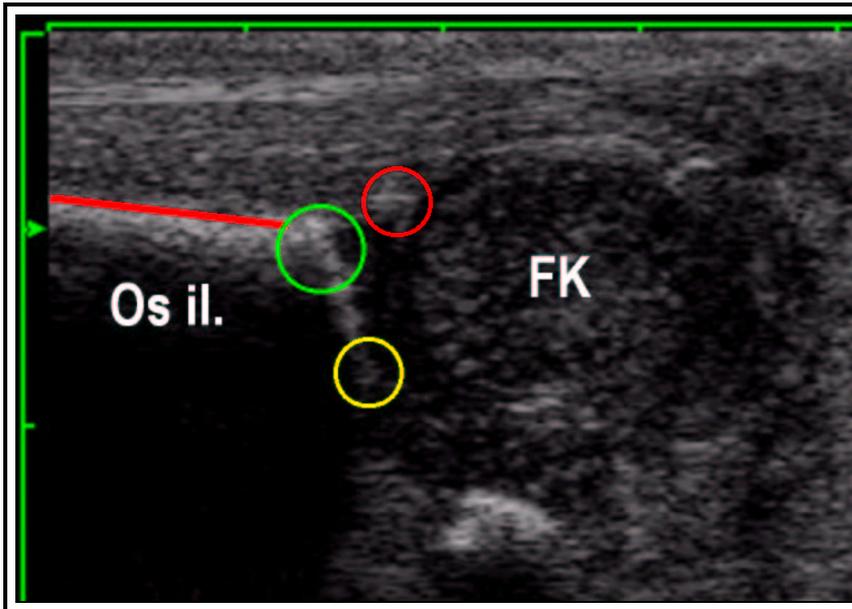
Ausgehend von der letzten Position bei der Identifizierung der anatomischen Strukturen (Punkt 4.4.1.1) wird der Schallkopf um ca. 30° aus der senkrechten Ebene in Richtung Sagittalebene des Tieres gekippt und um ca. 20° in seiner Längsachse in Richtung Tarsalgelenk gedreht (Abbildung 15).



Abbildung 15

Drehung des Schallkopfes zum Aufsuchen der lateralen Standardebene

Durch die Kombination aus Drehen und Parallelverschiebung des Schallkopfes werden die beschriebenen Punkte aufgesucht und das Ultraschallbild (US-Bild 29) eingefroren.



US-Bild 29

Laterale Standardebene

FK : Femurkopf

Gelber Kreis : 1. Schnittpunkt der Standardebene – Unterrand des Os ileum

Grüner Kreis : 2. Schnittpunkt der Standardebene – knöcherner Erker

Os il. : Os ileum

Rote Gerade : knöcherne Kontur des Os ileum

Roter Kreis : 3. Schnittpunkt der Standardebene – Labrum acetabulare

4.4.1.3 Die laterale Schnittebene mit Außenrotation der Gliedmaße

Die Positionierung des Schallkopfes entspricht dem Punkt 4.4.1.2. Die Gliedmaße wird nach außen rotiert. Dabei greift der Untersucher die Gliedmaße am proximalen Tibiaschaft und rotiert das Femur um ca. 45 Grad zur Tischoberfläche nach außen. Es folgt die geringgradige Abduktion der Gliedmaße, wodurch der Trochanter major in die Schallebene gedreht wird (Abbildung 16).



Abbildung 16

Außenrotation der Gliedmaße und Schallkopfposition bei Aufsuchen der lateralen Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße

4.4.1.4 Dynamische Stressuntersuchung

Die Lagerung des Tieres und die Positionierung des Schallkopfes entspricht der lateralen Standardebene. Beide Hintergliedmaßen werden in Neutralstellung gebracht. Zunächst wird die Schnittebene durch das Hüftgelenk aufgesucht, in der die Kontur des Femurkopfes gut abgegrenzt werden kann. Das Os ileum sollte relativ gerade abgebildet sein. Der Unterrand des Os ileum und der knöcherne Erker müssen erkennbar sein.

Die Ultraschallmaschine wird in den Dual-B-Mode umgeschaltet. Auf der linken Bildschirmhälfte wird das Sonogramm ohne Kompression eingefroren. Es wird auf die rechte Bildschirmseite als aktive Seite gewechselt.

Zur Durchführung der dynamischen Untersuchung wird die gleiche Schnittebene aufgesucht. Es wird mit der Hand das Kniegelenk gefasst und Druck in die kraniodorsale Richtung ausgeübt, um den Femurkopf zu subluzieren. Auch hier ist darauf zu achten, dass die Kontur des Femurkopfes gut erkennbar ist. Das Os ileum sollte relativ gerade abgebildet sein. Der Unterrand des Os ileum und der knöcherne Erker müssen erkennbar sein. Die rechte Bildschirmseite wird eingefroren.

4.4.1.5 Die inguinale Schnittebene

Der Hund liegt in Seitenlage. Die Gliedmaße wird vom Untersucher am Kniegelenk ergriffen und um ca. 75 ° abduziert. Der Schallkopf wird senkrecht in die Mitte der Linie Kniefalte - Os ischii im Bereich des Überganges der Haut zum Rumpf aufgesetzt (Abbildung 17). Beim Aufsuchen der Schnittebene sollte die Kontur des Femurkopfes und die Gelenkkapsel deutlich erkennbar sein. Das Os ileum muss abgebildet werden.



Abbildung 17

Positionierung des Schallkopfes zur Darstellung der inguinalen Schnittebene

4.4.2 Befundung der Hüftsonogramme

4.4.2.1 Deskriptive Befundung

Die deskriptive Befundung wird an der lateralen Standardebene vorgenommen. Es werden getrennt die knöchernen und knorpeligen Anteile des Schnittbildes beschrieben.

Bei den knöchernen Anteilen werden die Ausformung der knöchernen Pfanne („knöcherne Formgebung“) und der knöchernen Erker („Erkerkonturierung“) beurteilt.

Die Ausformung der knöchernen Pfanne wird mit folgenden Begriffen beurteilt:

- gut
- ausreichend
- mangelhaft
- hochgradig mangelhaft
- schlecht

Der knöcherne Erker wird mit einem der folgenden Termini beschrieben:

- eckig
- stumpf
- rund
- rund-flach
- flach

Das knorpelige Pfannendach wird hinsichtlich seiner Ausformung und seiner sonographischen Struktur folgendermaßen beschrieben:

- übergreifend
- noch übergreifend
- verdrängt

4.4.2.2 Quantitative Befundung

Bei der quantitativen Befundung werden folgende Parameter ermittelt:

- Alpha-Knochenwinkel
- Beta-Knorpelwinkel
- Epiphysenscheibenhöhe
- Distraktionswert
- Gelenkkapseldicke
- Femurkopfkantur-Kapselabstand

4.4.2.2.1 Alpha-Knochenwinkel und Beta-Knorpelwinkel

Beide Parameter werden an der lateralen Standardebene mit neutraler Stellung der Gliedmaße erhoben.

Die Ermittlung der beiden Werte kann von Hand, mit dem auf der Ultraschallmaschine vorhandenem Vermessungsprogramm oder mit der speziellen Auswertungssoftware vorgenommen werden. Das Prinzip der Auswertung ist bei allen Verfahren gleich und wird folgendermaßen beschrieben:

Zuerst wird die Grundlinie (Basislinie oder auch Ileumwandlinie) eingezeichnet. Der kaudolateralste Punkt des Os ileum wird aufgesucht. Von diesem Drehpunkt aus wird die Grundlinie von lateral an das Echo des Os ileum nach kranial angelegt (US-Bild 30). Es ist zu beachten, dass in einigen Schnittbildern nur das erste Stück des Echos des Os ileum gerade verläuft. In diesem Fall orientiert man sich beim Anlegen der Grundlinie an dem gerade verlaufenden Teilstück. Die Basislinie kann, muss aber nicht, parallel zum oberen Bildrand verlaufen.

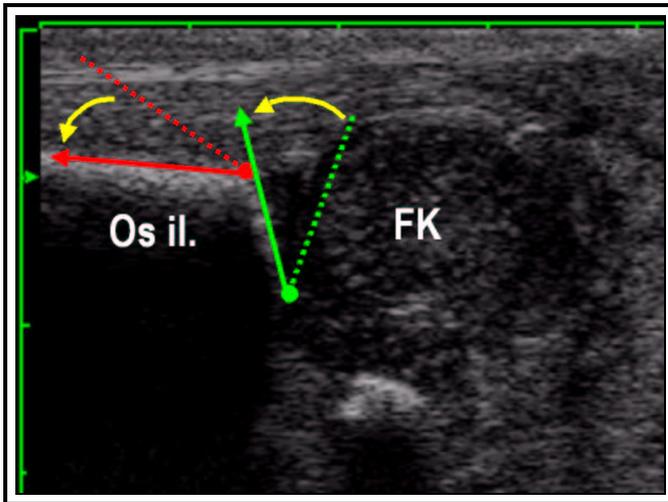
Als nächstes wird die Pfannendachlinie (Knochendachlinie) eingezeichnet. Dabei wird das Echo des Unterrandes des Os ileum als Drehpunkt genutzt. Von diesem Punkt aus wird eine Linie von kaudal tangential an die knöcherne Pfanne bzw. an den knöchernen Erker gelegt (US-Bild 30).

Als dritte Linie wird die Ausstelllinie (Knorpeldachlinie) eingezeichnet (US-Bild 31). Die Ausstelllinie ist die Verbindung von dem knöchernen Erker bzw. des Umschlagpunktes mit der Mitte des Labrum acetabulare. Dabei ist zu beachten, dass der knöchernen Erker nicht automatisch der Schnittpunkt von Grund- und Pfannendachlinie ist. Nur bei Hüftgelenken mit eckigem Erker ist dies der Fall. Bei Hüftgelenken mit einem nicht eckigen Erker wird der Umschlagpunkt definiert. Es ist jener Punkt, an dem das knöchernen Pfannendach aus der Konkavität des Azetabulums in die Konvexität des Darmbeines umschlägt. Der Umschlagpunkt dient als Drehpunkt zum Einzeichnen der Ausstelllinie.

Der Knochenwinkel Alpha wird durch die Grundlinie und Pfannendachlinie gebildet. Der Knorpelwinkel Beta befindet sich zwischen der Grundlinie und der Ausstelllinie (US-Bild 32). Die Winkel können mit einem Winkelmesser von Hand oder per Software gemessen werden.

Bei der Hauptuntersuchung der vorliegenden Arbeit wurde das Messprogramm der Ultraschallmaschine zur Bestimmung des Alpha- und Beta-Winkels benutzt. Bei der Voruntersu-

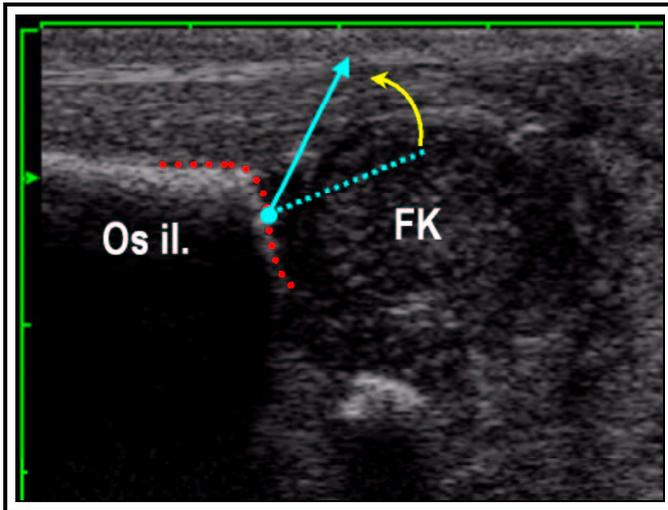
chung wurde der Winkel von Hand mit dem Winkelmesser der Firma Medical Equipment, Dr. Magnus Peil, Bad Nauheim, bestimmt.



US-Bild 30

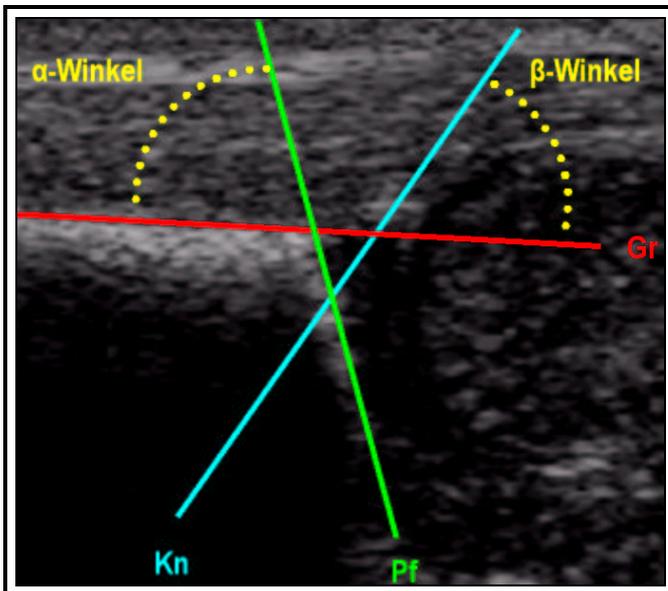
Laterale Standardebene mit Drehpunkten für die Grund- und Pfannendachlinie

- FK* : *Femurkopf*
Grüne Gerade : *Pfannendachlinie*
Grüner Punkt : *Drehpunkt für die Pfannendachlinie*
Os il. : *Os ileum*
Rote Gerade : *Grundlinie*
Roter Punkt : *Drehpunkt für die Grundlinie*

**US-Bild 31**

Laterale Standardebene mit Drehpunkt für die Ausstelllinie

- FK : Femurkopf
 Hellblaue Gerade : Knorpeldachlinie
 Hellblauer Punkt : Umschlagspunkt der Pfanne und Drehpunkt für die Pfannendachlinie
 Os il. : Os ileum
 Rote gestrichelte Linie : Verlauf der knöchernen Pfanne mit Konkavität und Konvexität

**US-Bild 32**

Laterale Standardebene mit Winkelbestimmung

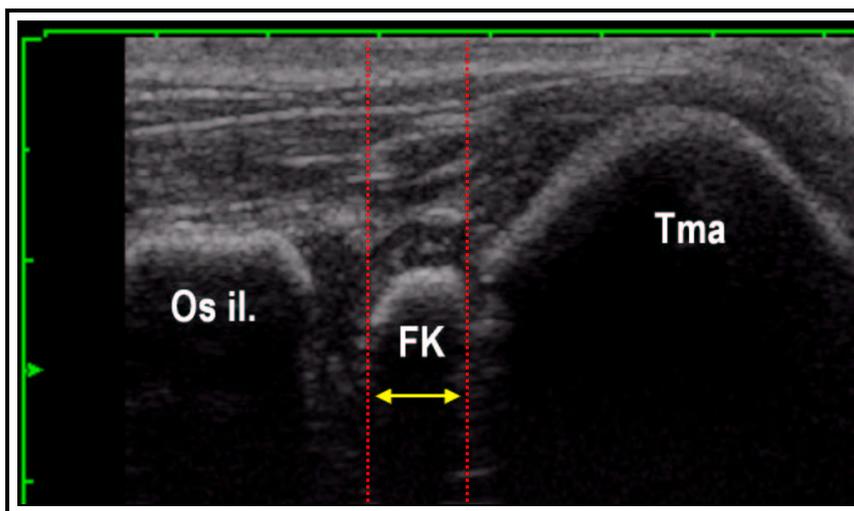
- Grüne Gerade : Pfannendachlinie (Pf)
 Hellblaue Gerade : Knorpeldachlinie (Kn)
 Rote Gerade : Grundlinie (Gr)

4.4.2.2 Epiphysenscheibenhöhe

Sie wird an der lateralen Schnittebene mit Außenrotation der Gliedmaße gemessen. Es werden zwei Linien tangential von kranial und kaudal an die Echos der Epiphysenscheibe angelegt. Die Linien verlaufen im rechten Winkel zum oberen Bildrand. Der Abstand zwischen beiden Linien stellt die Höhe der Epiphysenscheibe dar (US-Bild 33).

Bei der vorliegenden Arbeit wurden die Linien zuerst von Hand in das ausgedruckte Ultraschallbild eingezeichnet und der Abstand ausgemessen. Dabei muss der auf dem ausgedruckten Ultraschallbild gemessene Wert (Messstrecke) in Verhältnis zu dem Maßstab des Ultraschallbildes gesetzt werden. Die Strecke, die einem Zentimeter auf dem ausgedruckten Ultraschallbild entspricht, wird ausgemessen (Maßstabstrecke) und anschließend werden die Werte in folgende Gleichung eingesetzt:

$$\text{Epiphysenscheibenhöhe} = \text{Messstrecke (cm)} \times [1 / \text{Maßstabstrecke}]$$



US-Bild 33

Laterale Schnittebene mit Außenrotation der Gliedmaße (DSH-Welpe 37. Lebensstag)

FK : Femurkopf

Os il. : Os ileum

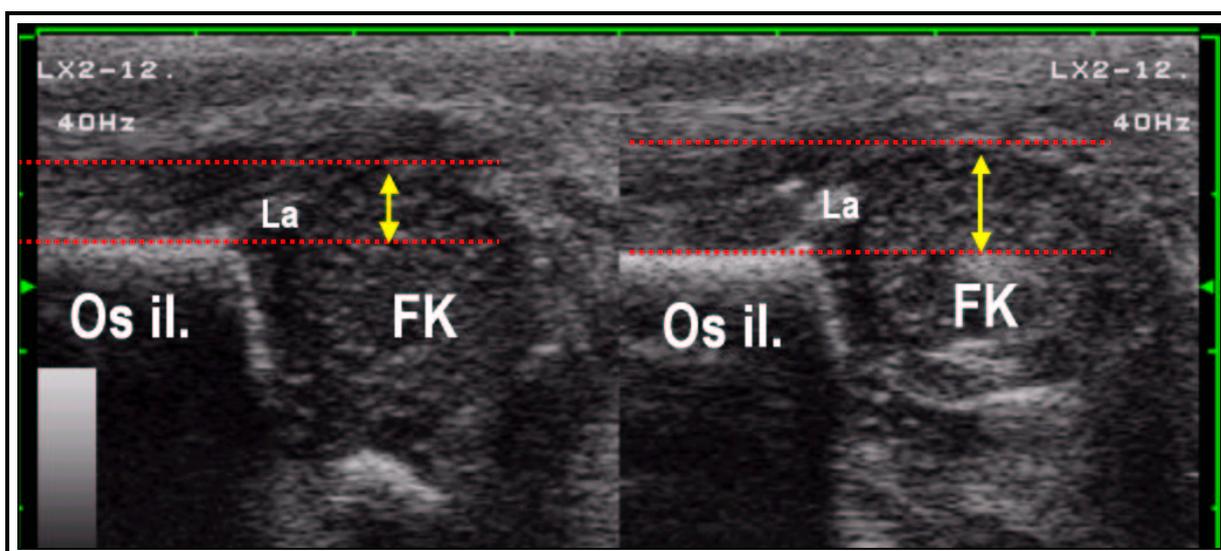
Rote gestrichelte Linien : Tangential verlaufende Messlinien

Tma : Trochanter major

4.4.2.2.3 Distraktionswert

Der Distraktionswert wird an den Ultraschallbildern der dynamischen Stressuntersuchung bestimmt. Es liegt ein Bild mit zwei Sonogrammen vor, dabei stellt das linke das „neutrale“ Hüftgelenk und das rechte das „dynamische“ Hüftgelenk dar. Zunächst wird wie unter Punkt 4.4.2.2.1 die Grundlinie in beide Sonogramme eingezeichnet. Anschließend wird eine zweite Linie durch Parallelverschiebung der Grundlinie von dorsal tangential an die Femurkopfkontur angelegt (US-Bild 34). Der Abstand der beiden Geraden in beiden Sonogrammen wird bestimmt („neutrale“ Distraktionsstrecke und „dynamische“ Distraktionsstrecke). Der Distraktionswert ergibt sich aus der Subtraktion der „dynamischen“ Distraktionsstrecke minus der „neutralen“ Distraktionsstrecke).

Bei der vorliegenden Arbeit wurde die Auswertung von Hand vorgenommen. Auch hier ist wieder die Angleichung der auf dem ausgedruckten Ultraschallbild gemessenen Werte an den Maßstab zu beachten. Dazu wurde die unter Punkt 4.4.2.2.2 angewendete Formel zur Bestimmung der „neutralen“ und „dynamischen“ Distraktionsstrecken benutzt.



US-Bild 34

Dynamische Stressuntersuchung mit Bestimmung des Distraktionswertes

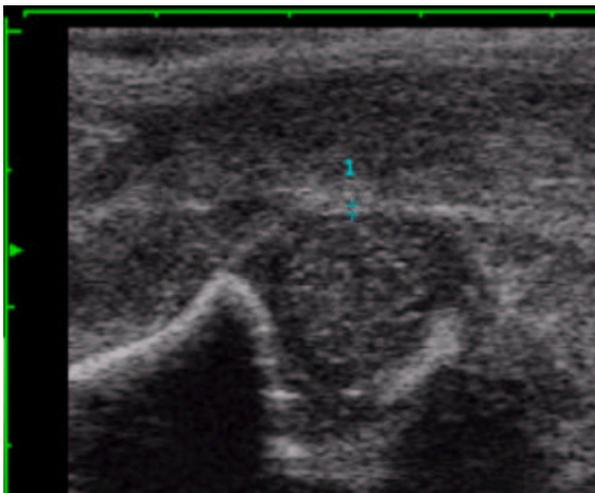
- | | | |
|--------------------------------|---|---|
| <i>FK</i> | : | <i>Femurkopf</i> |
| <i>La</i> | : | <i>Labrum acetabulare</i> |
| <i>Os il.</i> | : | <i>Os ileum</i> |
| <i>Rote gestrichelte Linie</i> | : | <i>Grundlinie und parallel verlaufende Femurkopfkonturlinie</i> |

4.4.2.2.4 Gelenkkapseldicke und Femurkopfkontur-Kapselabstand

Beide Parameter werden an der inguinalen Schnittebene bestimmt.

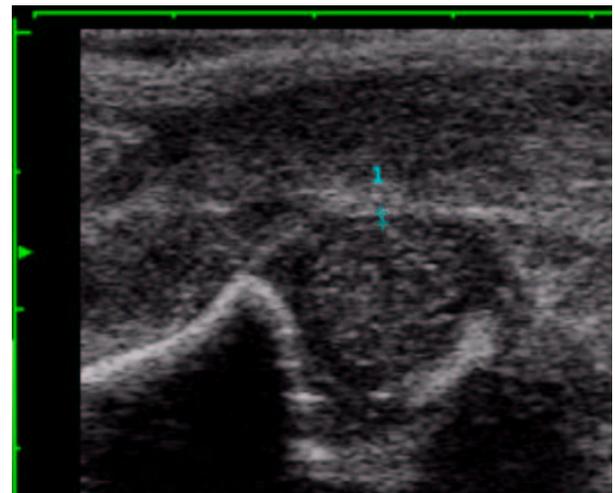
Die Messung der Gelenkkapseldicke sollte an der Stelle vorgenommen werden, an der die Gelenkkapsel orthograd von den Schallwellen getroffen wird. Der Untersucher denkt sich eine rechtwinklige Gerade vom oberen Bildrand durch die Gelenkkapsel und setzt den ersten Messpunkt an die Außenseite der Gelenkkapsel. Der zweite Messpunkt wird entlang dieser Geraden an die Innenseite der Gelenkkapsel gesetzt. Die Messung wird mit der Messvorrichtung der Ultraschallmaschine durchgeführt (US-Bild 35).

Bei der Femurkopfkontur-Kapselabstandmessung wird der Abstand der Innenseite der Gelenkkapsel zur Kontur des Femurkopfes bestimmt. Dabei wird der zweite Messpunkt an die Oberfläche der knorpeligen Kontur des Femurkopfes gesetzt (US-Bild 36). Auch diese Messung wird mit der Messvorrichtung der Ultraschallmaschine vorgenommen.



US-Bild 35

Inguinale Schnittebene mit Bestimmung der Gelenkkapseldicke



US-Bild 36

Inguinale Schnittebene mit Bestimmung des Femurkopfkontur-Kapselabstandes

4.5 Untersuchungsalter

Der beschriebene Untersuchungsgang und die Erhebung der entsprechenden Parameter konnte bereits bei den totgeborenen Welpen durchgeführt werden. Die Epiphysenscheibenhöhe konnte erst mit dem Einsetzen der Ossifikation des Femurkopfkernes bestimmt werden (bei den untersuchten Welpen ab dem 15. Lebenstag).

Die Untersuchungen können bis zur 8. Lebenswoche durchgeführt werden. In diesem Zeitraum nimmt die Größe des Verknöcherungskernes des Femurkopfes solche Ausmaße an, dass der Unterrand des Os ileum nicht mehr sicher aufgesucht werden kann. Die Darstellung des Unterrandes des Os ileum ist zum Auffinden der Standardebenen nötig (siehe Punkt 4.3.1.).

4.6 Deskriptive Befunde

4.6.1 Ausformung der knöchernen Pfanne, des knöchernen Erkers und des knorpeligen Pfannendaches

Die deskriptiven Befunde wurden an der lateralen Standardebene erhoben. Die Ausprägung des knöchernen Erkers stellte sich bei den Welpen z. T. sehr unterschiedlich dar. Für alle Erkerausprägungen konnten bei den untersuchten Welpen Beispiele gefunden werden. Zunächst wurden die unterschiedlich ausgeprägten Erker herausgesucht und die Bilder direkt nebeneinander betrachtet (siehe Tabelle 9). Bei dem eckigen Erker stellt sich der knöcherne kranio-laterale Pfannenrand „kantig“ dar (Tabelle 9, Welpennr. V12). Bei den stumpfen und runden knöchernen Erkern (Tabelle 9, Welpennr. V01 und H04) verliert sich die Kantigkeit und die knöcherne Kontur nimmt runde Züge an. Die Unterscheidung zwischen stumpfer und runder Ausprägung des Erkers fällt z. T. schwer, da sich die Zustände stark ähneln. Zwischen diesen Zuständen und einem rund-flachen Erker (Tabelle 9, Welpennr. V02) ist ein deutlicher Unterschied vorhanden. Der Erker ist deutlich runder und abgeflacht. Bei dem flachen Erker (Tabelle 9, Welpennr. V11) fällt eine stark abgeflachte Kontur des kranio-lateralen Pfannenrandes auf.

Mit der Ausprägung der knöchernen Formgebung wird die Ausformung der knöchernen Pfanne beschrieben. Insgesamt gibt es hierfür fünf Zustände (gut - ausreichend - mangelhaft - hochgradig - schlecht). Bei den untersuchten Welpen wurden nur gute und ausreichende Zustände der knöchernen Pfanne gefunden (Tabelle 9, Welpennr. V12, V01, H04, V02, V11).

Hüftgelenke mit einer guten knöchernen Formgebung (Tabelle 9, Welpennr. V12, V01, H04) wiesen einen steilen Übergang vom knöchernen Erker zur knöchernen Begrenzung nach medial auf (bis zum Unterand des Os ileum). Bei der ausreichenden knöchernen Formgebung fällt auf, dass die knöcherne Begrenzung nach medial flach verläuft (Tabelle 9, Welpennr. V02, V11).

Wie aus Tabelle 10 ersichtlich, stellten sich ein Hüftgelenk mit eckigem, sieben Hüftgelenke mit stumpfem, vier Hüftgelenke mit rundem, zehn Hüftgelenke mit rund-flachem und zwei Hüftgelenke mit flachem knöchernem Erker in der Voruntersuchung dar. Davon hatten 14 eine gute und 10 eine ausreichende knöcherne Formgebung (Tabelle 10). In der Hauptuntersuchung stellten sich 14 knöcherne Erker stumpf, 4 rund, 31 rund-flach und 5 flach dar (Tabelle 11). Insgesamt ist festzustellen, dass je älter die Tiere werden, desto besser (kantiger) ist auch der knöcherne Erker geformt. Von diesen Welpen hatten 43 eine gute und 11 eine ausreichende knöcherne Formgebung (Tabelle 11).

Bei der Beurteilung des knorpeligen Pfannendaches wird die Ausformung und das Umfassen des Femurkopfes durch das knorpelige Pfannendach beurteilt. Überdacht es den Femurkopf weit nach kaudal und ist dieses gut ausgeformt, spricht man von einem übergreifenden knorpeligen Pfannendach (Tabelle 9, V12, V01, H04). Wölbt sich die Kontur des Femurkopfes über das knorpelige Pfannendach hinaus, so spricht man von einem noch übergreifenden knorpeligen Pfannendach (Tabelle 9, V02, V11). Den Zustand eines verdrängten knorpeligen Pfannendaches wurde bei den untersuchten Hüftgelenken nicht gefunden. Bei der Voruntersuchung stellten sich 10 Hüftgelenke mit noch übergreifendem und 14 mit übergreifendem knorpeligen Pfannendach dar (Tabelle 10). Wie aus Tabelle 11 ersichtlich, stellten sich bei der Hauptuntersuchung 28 Hüftgelenke mit noch übergreifenden und 26 mit einem übergreifenden Hüftgelenk dar. In der Regel stellte sich das knorpelige Pfannendach ab der zweiten und dritten Lebenswoche als übergreifend dar.

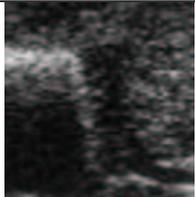
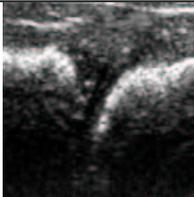
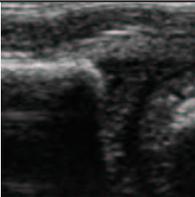
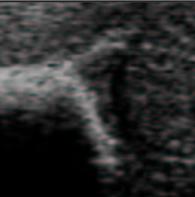
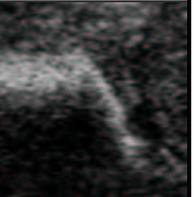
Knöcherner Erker	eckig	stumpf	rund	rund-flach	flach
Knorpeliges Pfannendach	übergreifend	übergreifend	übergreifend	noch übergreifend	noch übergreifend
Knöcherne Formgebung	gut	gut	gut	ausreichend	ausreichend
US-Bild					
Welpennr.	V12	V01	H04	V02	V11
Alter in Tage	1	53	15	1	5

Tabelle 9

Beispiele zu den verschiedenen Graden des knöchernen Erkers, des knorpeligen Pfannendaches und der knöchernen Formgebung

Welpen- nr.	Alter (d)	knöcherner Erker re.	knöcherner Erker li.	knöcherner Formgebung re.	knöcherner Formgebung li.	knorp. Pfannendach re.	knorp. Pfan- nendach li.
V08	1	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
V03	1	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
V04	1	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
V02	1	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
V10	2	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
V12	3	rund	eckig	gut	gut	übergreifend	übergreifend
V09	4	rund-flach	rund-flach	gut	gut	übergreifend	übergreifend
V11	5	flach	flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
V06	21	stumpf	rund	gut	gut	übergreifend	übergreifend
V05	21	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
V07	37	rund	rund	gut	gut	übergreifend	übergreifend
V01	53	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend

Tabelle 10

Beschreibung der knöchernen Formgebung, des knöchernen Erkers und des knorpeligen Pfannendaches des rechten und linken Hüftgelenkes der Welpen aus der Voruntersuchung (nach Alter in Tagen sortiert)

Welpen- nr.	Alter (d)	knöcherner Erker re.	knöcherner Erker li.	knöcherner Formgebung re.	knöcherner Formgebung li.	knorp. Pfan- nendach re.	knorp. Pfan- nendach li.
H0015	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0002	1	flach	flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
H0003	1	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
H0005	1	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
H0008	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0009	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0010	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0011	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	übergreifend
H0012	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0001	1	rund-flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	noch übergreifend
H0014	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0027	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0016	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0013	1	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0021	2	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0023	3	flach	flach	ausreichend	gut	noch übergreifend	noch übergreifend

Welpen- nr.	Alter (d)	knöcherner Erker re.	knöcherner Erker li.	knöcherne Formgebung re.	knöcherne Formgebung li.	knorp. Pfan- nendach re.	knorp. Pfan- nendach li.
H0022	5	rund-flach	rund-flach	gut	gut	noch übergreifend	noch übergreifend
H0007	5	flach	rund-flach	ausreichend	ausreichend	noch übergreifend	übergreifend
H0004	15	rund	rund	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0025	22	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0026	36	rund	rund	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0017	42	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0020	45	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0018	47	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0024	54	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0006	55	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend
H0019	58	stumpf	stumpf	gut	gut	übergreifend	übergreifend

Tabelle 11

Beschreibung der knöchernen Formgebung, des knöchernen Erkers und des knorpeligen Pfannendaches des rechten und linken Hüftgelenkes der Welpen aus der Hauptuntersuchung (nach Alter in Tagen sortiert)

4.7 Quantitative Befunde und Statistik

Die Ergebnisse der Messungen werden sowohl für die Vor- als auch für die Hauptuntersuchung in Tabellen angegeben. Die statistische Auswertung wird für die Hauptuntersuchung beschrieben, da die Stichprobenzahl der Voruntersuchung zu gering ist.

4.7.1 Alpha-Knochenwinkel und Beta-Knorpelwinkel

Die in der Vor- und Hauptuntersuchung gemessenen Alpha- und Beta-Winkelwerte (pro Hüftgelenk 5 Stück) können aus Tabelle 20 und Tabelle 21 entnommen werden. Der niedrigste in der Hauptuntersuchung gemessene Alpha-Winkel beträgt 71° (H21), der höchste 87° (H06). Der höchste gemessene Beta-Winkel beträgt 64° (H07), der niedrigste 25° (H24). Bei dem Welpen (H19) mit einem Alter von 58 Tagen konnte wegen fortgeschrittener Ossifikation keine Winkelmessung vorgenommen werden.

Der Minimalmittelwert des Alpha-Winkels innerhalb der fünf Messungen an einem rechten Hüftgelenk beträgt 72° , der Maximalwert $85,8^\circ$, am linken Hüftgelenk beträgt der Minimalmittelwert 72° und der Maximalwert $86,2^\circ$. Der Minimalmittelwert des Beta-Winkels am rechten Hüftgelenk beträgt 26° , der Maximalwert 61° , am linken Hüftgelenk beträgt der Minimalwert $26,6^\circ$ und der Maximalwert 63° (Tabelle 17). Der Maximalwert der Standardabweichungen innerhalb der fünf Messungen pro Hüftgelenk beträgt am rechten Hüftgelenk für den Alpha-Winkel 1,2 (Minimalwert 0,4), am linken Hüftgelenk 1,26 (Minimalwert 0,0) und für den Beta-Winkel am rechten Hüftgelenk 5,24 (Minimalwert 0,63) und am linken Hüftgelenk 5,3 (Minimalwert 0,6) (Tabelle 17).

Der Vergleich der Minimal-/Maximalwerte und die Darstellung der Standardabweichungen in Abbildung 18 und Abbildung 19 der fünf Messungen innerhalb eines Hüftgelenkes zeigt, dass die Schwankungen bei dem wiederholten Bestimmen des Beta-Winkels deutlich höher gegenüber dem Alpha-Winkel sind.

	Re. Alpha-Winkel	Li. Alpha-Winkel	Re. Beta-Winkel	Li. Beta-Winkel
Varianz der Wiederholbarkeit	0,78	0,95	5,99	5,99
Standardabweichung der Wiederholbarkeit	0,88	0,97	2,45	2,45

Tabelle 12*Varianz und Standardabweichung der Wiederholbarkeitsprüfung*

Der Gesamtmittelwert des rechten Alpha-Winkels beträgt $78,5^\circ$, des linken Alpha-Winkels $78,3^\circ$, des rechten Beta-Winkels $51,6^\circ$ und des linken Beta-Winkels $50,8^\circ$. Die Gesamtstandardabweichung des rechten Alpha-Winkels beträgt 3,96, des linken Alpha-Winkels 4,14, des rechten Beta-Winkels 9,13 und des linken Beta-Winkels 9,80. Die relativ hohen Gesamtstandardabweichungen beim Alpha- und beim Beta-Winkel kommen dadurch zustande, dass eine Reifung der Hüftgelenke stattfindet. Dadurch werden die Alpha-Winkel größer und die Beta-Winkel kleiner. Aus diesem Grund hat auch der Gesamtmittelwert des Alpha- und Beta-Winkels keine große Aussagekraft. Die altersbedingte Zunahme der Alpha-Winkelmittelwerte der fünf Messungen ist in dem Säulendiagramm (Abbildung 20) ersichtlich.

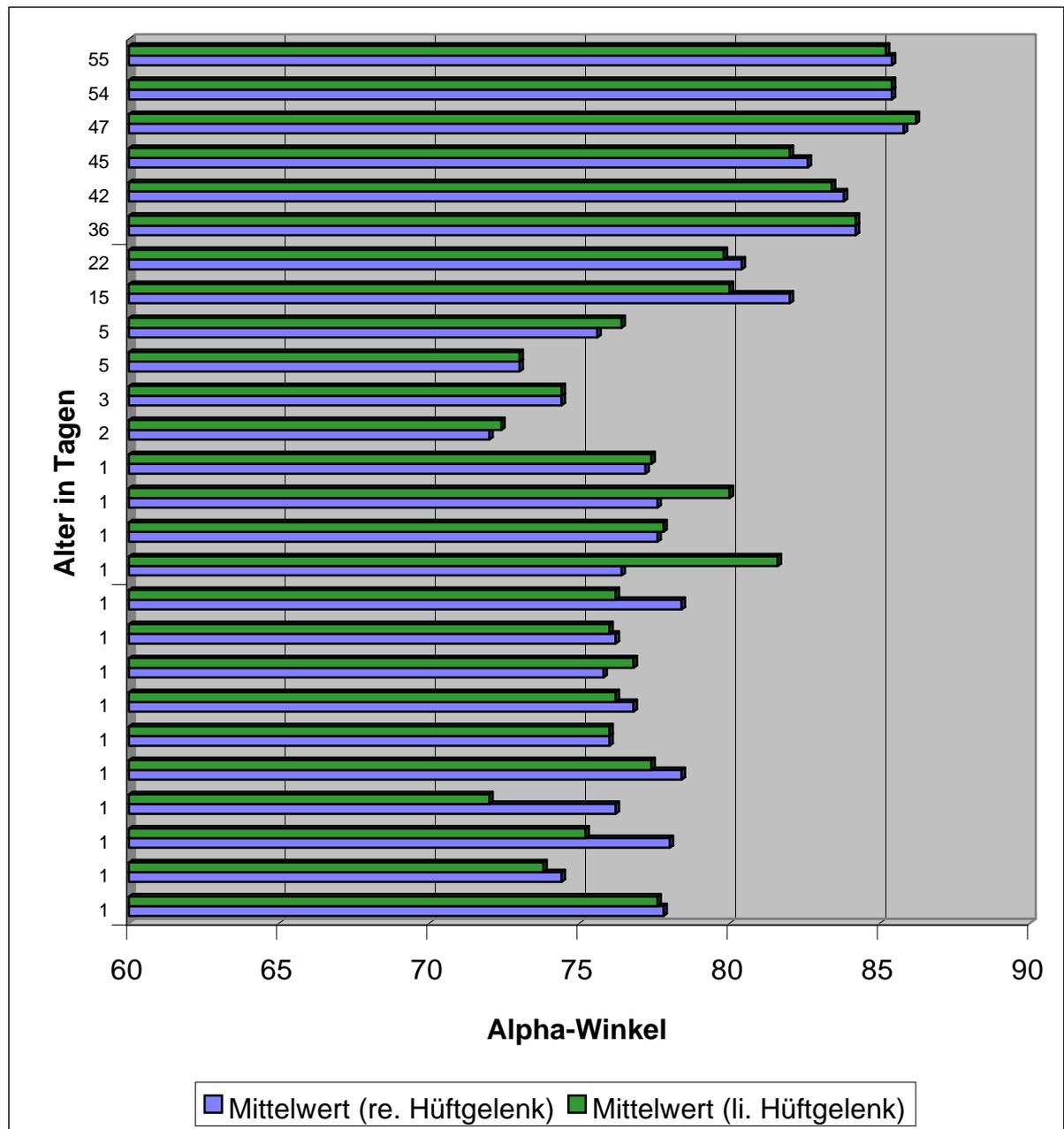


Abbildung 20

Mittelwerte des Alpha-Winkels der 5 Messungen des rechten und linken Hüftgelenkes (Hauptuntersuchung)

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ist sowohl für die Alpha-Winkel als auch für die Beta-Winkel mit $p < 0,001$ hoch signifikant (Tabelle 13).

	Regressionsgeradengleichung	Signifikanz
Re. Alpha-Winkel	$y=76,1+0,181*\text{Alter (Tage)}$	$p<0,001^{***}$
Re. Beta-Winkel	$y=57,0+0,405*\text{Alter (Tage)}$	$p<0,001^{***}$
Li. Alpha-Winkel	$y=75,9+1,796*\text{Alter (Tage)}$	$p<0,001^{***}$
Li. Beta-Winkel	$y=56,7-0,442*\text{Alter (Tage)}$	$p<0,001^{***}$

Tabelle 13

Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk ist für den Alpha- und Beta-Winkel mit $p<0,001$ hoch signifikant (Tabelle 14). Da jeweils rechter und linker Alpha- und Beta-Winkel gleichberechtigte Variablen darstellen, wurde die Hauptkomponentengleichung bestimmt. Sie zeigt eine Steigung von 1,1. Die Steigung liegt nahe bei 1 und stellt fast die Winkelhalbierende dar. Dies zeigt ebenfalls einen hohen Zusammenhang zwischen den Messungen am rechten und linken Hüftgelenk. Im Einzelfall gibt es allerdings deutliche Unterschiede zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk, so z. B. Welpen H05 mit einem Mittelwert von Alpha für das rechte Hüftgelenk von $76,2$ ($s=0,7$) und für das linke Hüftgelenk von $72,0^\circ$ ($s=0,6$).

	Hauptkomponentengleichung	Rangkorrelationskoeffizient	Signifikanz
Rechter und linker Alpha-Winkel	$y=1,1*x-4,13$	0,915	$p<0,001^{***}$
Rechter und linker Beta-Winkel	$y=1,1*x-4,75$	0,949	$p<0,001^{***}$

Tabelle 14

Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk

Es wurde gezeigt, dass die Entwicklung des Alpha- und Beta-Winkels altersabhängig ist. Aus diesem Grund wurden 5 Altersgruppen definiert. Die Aufteilung wurde nach Lebenswochen vorgenommen, so dass jede Gruppe mindestens zwei Tiere beinhaltet (Gruppen nach Lebenswochen 1; 3; 5,5; 7 und 8). Für die jeweilige Altersgruppe wurde der Mittelwert des rechten und linken Alpha- und Beta-Winkels, sowie die Standardabweichung errechnet (Tabelle 18 und Tabelle 19). Der Mittelwert und die Standardabweichung für beide Hüftseiten der jeweiligen Altersgruppe wurde bestimmt. Anhand dieser Werte wurde eine Reifungskurve für

den Alpha- und Beta-Winkel (Abbildung 21 und Abbildung 22) erstellt. Die Reifungskurve des Alpha-Winkels zeigt einen deutlichen Anstieg von $76,2^\circ$ in der ersten Lebenswoche auf $80,6^\circ$ in der dritten Woche, auch danach findet noch einmal ein Anstieg auf $83,9^\circ$ statt. Die Reifungskurve wird nach der 5,5-ten Lebenswoche etwas flacher. In der siebten Woche ist ein Alphawert von $84,2^\circ$ erreicht. Bis zur achten Woche nimmt der Alpha-Winkel noch einmal um $1,12^\circ$ zu. Danach kann der Alpha-Winkel nicht mehr bestimmt werden.

Die Reifungskurve des Beta-Winkels zeigt eine deutliche Abnahme des Beta-Winkels von $55,9^\circ$ in der ersten Woche auf $51,3^\circ$ in der dritten Woche. Bis zur 5,5-ten Woche nimmt der Beta-Winkel noch einmal deutlich ab (auf $42,3^\circ$). Auch danach findet eine deutliche Reduzierung des Winkels auf $38,3^\circ$ in der siebten und bis auf $31,6^\circ$ in der achten Woche statt.

Zu den Reifungskurven wurde der Bereich der einfachen Standardabweichung in der Abbildung 21 und Abbildung 22 dargestellt. Die Standardabweichungen der einzelnen Altersgruppen bleiben beim Alpha-Winkel mit einem Maximalwert von $0,78^\circ$ deutlich unter 1° . Beim Beta-Winkel beträgt die maximale Standardabweichung bei den Altersgruppen $2,14^\circ$. Sie ist gegenüber dem Alpha-Winkel mehr als doppelt so hoch.

Auch hier wurden im Einzelfall deutliche Abweichungen von dem Mittelwert der Altersgruppe gefunden, so z. B. beim Welpen H21. Er weist einen Alphawert rechts von 72° ($s=0,9$) und links von $72,4^\circ$ ($s=0,8$) auf. Der Mittelwert der Altersgruppe liegt bei $76,2^\circ$ ($s=0,7$) für rechts und für links bei $76,1^\circ$ ($s=0,8$).

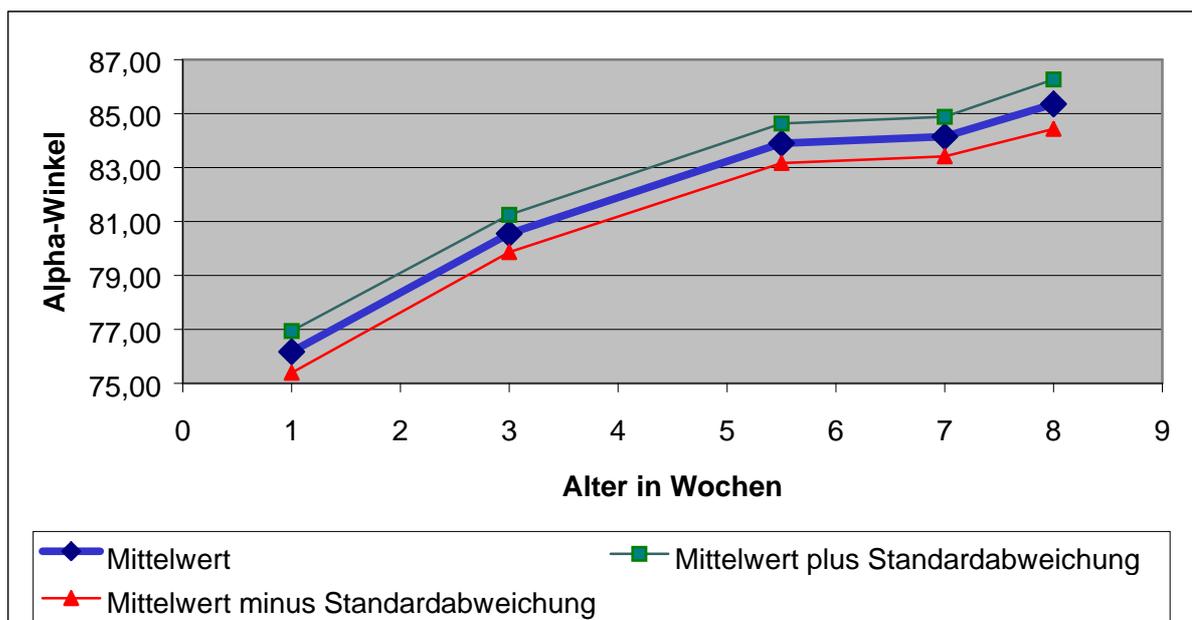


Abbildung 21

Reifungskurve des Alpha-Winkels

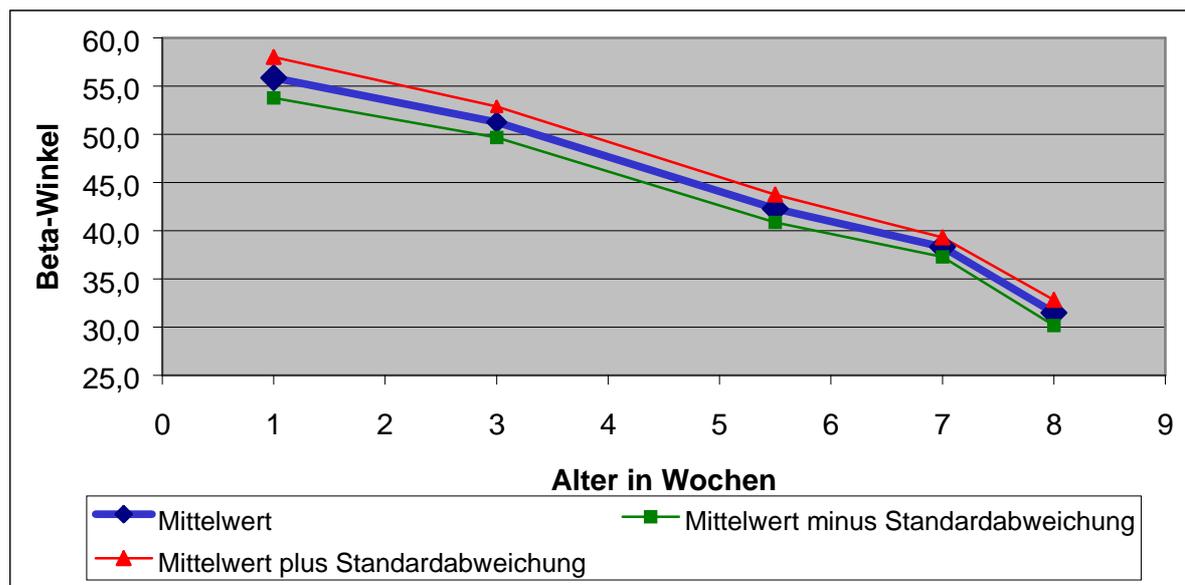


Abbildung 22

Reifungskurve des Beta-Winkels

Die Korrelationsprüfung nach Spearman der qualitativen Befundung mit der quantitativen Bewertung ergibt für beide Winkel in Korrelation mit der Ausformung des knöchernen Erkers eine hohe Signifikanz ($p=0,0001$). Eine niedrige bzw. kein Signifikanz ($p=0,02$ und $p=0,9$) besteht zwischen der Korrelation des Alpha-Winkels mit der knöchernen Formgebung. Dagegen ist die Korrelation zwischen dem Beta-Winkel und der Ausformung des knorpeligen Pfannendachs für beide Hüftgelenksseiten mit $p=0,0015$ und $=0,0042$ signifikant (Tabelle 15).

	Korrelationskoeffizient	Signifikanz
Re. Alpha-Winkel versus re. knöch. Erker	-0,87	$p=0,0001^{***}$
Re. Alpha-Winkel versus re. knöch. Formgebung	-0,33	$p=0,9$ (n. s.)
Re. Beta-Winkel versus re. knorp. Pfannendach	0,58	$p=0,0015^{***}$
Li. Alpha-Winkel versus li. knöch. Erker	-0,81	$p=0,0001^{***}$
Li. Alpha-Winkel versus li. knöch. Formgebung	-0,43	$p=0,02^*$
Li. Beta-Winkel versus li. knorp. Pfannendach	0,53	$p=0,0042^{**}$

Tabelle 15

Korrelationsanalyse zwischen der qualitativen und quantitativen Bewertung

Der Shapiro-Wilk-Test (Prüfung auf Normalverteilung) zeigt keine statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung bei beiden Winkeln für beide Hüftgelenksseiten (Tabelle 16).

	W-Statistik	Signifikanz
Re. Alpha-Winkel	0,95	p=0,23 (n. s.)
Li. Alpha-Winkel	0,95	p=0,28 (n. s.)
Re. Beta-Winkel	0,95	p=0,21 (n. s.)
Li. Beta-Winkel	0,96	p=0,52 (n. s.)

Tabelle 16

Prüfung auf Normalverteilung - altersbereinigt auf den 14. Tag (Shapiro-Wilk-Test)

Welpen- nr.	Alter (d)	x	s	x	s	x	s	x	s
		Alpha- winkel re.	Alpha- winkel re.	Alpha- winkel li.	Alpha- winkel li.	Beta- winkel re.	Beta- winkel re.	Beta- winkel li.	Beta- winkel li.
H0015	1	77,8	0,4	77,6	1,0	56	3,7	54,4	2,3
H0002	1	74,4	1,2	73,8	1,1	61	2,0	63	1,5
H0003	1	78	0,6	75,2	0,9	59,2	2,7	59,4	0,8
H0005	1	76,2	0,7	72	0,6	56,8	2,3	56	3,5
H0008	1	78,4	0,8	77,4	0,8	58,4	2,0	55	0,9
H0009	1	76	0,9	76	0,6	54,4	5,2	46,4	5,3
H0010	1	76,8	1,2	76,2	0,7	54,6	2,0	56,4	2,1
H0011	1	75,8	0,7	76,8	0,4	51	2,0	55	3,6
H0012	1	76,2	0,7	76	0,8	53,2	1,1	57	2,8
H0001	1	78,4	0,5	76,2	0,7	59	1,2	57,6	1,6
H0014	1	76,4	0,5	81,6	0,8	59,8	2,2	57,6	2,3
H0027	1	77,6	0,8	77,8	0,4	58,8	2,4	59	1,5
H0016	1	77,6	0,5	80	0,6	55,6	1,8	55,2	0,7
H0013	1	77,2	0,7	77,4	0,4	59,2	1,1	57,8	1,5
H0021	2	72	0,9	72,4	0,8	54,2	1,7	54,2	3,1
H0023	3	74,4	0,8	74,4	1,6	53,4	3,8	52,4	1,0
H0022	5	73	0,6	73	0,6	43,8	0,7	44	0,6
H0007	5	75,6	0,8	76,4	1,2	60,6	1,2	61,6	2,0

Welpen- nr.	Alter (d)	x	s	x	s	x	s	x	s
		Alpha- winkel re.	Alpha- winkel re.	Alpha- winkel li.	Alpha- winkel li.	Beta- winkel re.	Beta- winkel re.	Beta- winkel li.	Beta- winkel li.
H0004	15	82	0,6	80	0,0	52	0,8	52,2	0,7
H0025	22	80,4	1,2	79,8	0,9	50,2	1,4	50,6	3,4
H0026	36	84,2	0,7	84,2	0,7	53	1,6	48,8	0,7
H0017	42	83,8	0,7	83,4	0,8	33,6	1,8	33,8	1,5
H0020	45	82,6	0,5	82	1,2	41,6	1,0	41,2	0,7
H0018	47	85,8	0,4	86,2	0,7	40,4	1,6	30	0,6
H0024	54	85,4	0,5	85,4	0,8	26	0,6	26,6	1,0
H0006	55	85,4	1,2	85,2	1,17	36,8	1,47	36,6	2,2
H0019	58	*	*	*	*	*	*	*	*

Tabelle 17

Mittelwerte und Standardabweichungen der 5 Messungen des rechten und linken Hüftgelenkes

Wochen- alter	n	x	x	x	s	s	s	x + s	x - s
		Alpha- winkel re.	Alpha- winkel li.	Alpha- winkel	Alpha- winkel re.	Alpha- winkel li.	Alpha- winkel	Alpha- winkel	Alpha- winkel
1	19	76,2	76,1	76,2	0,74	0,81	0,78	76,9	75,4
3	2	81,2	79,9	80,6	0,9	0,49	0,69	81,2	79,9
5,5	2	84,0	83,8	83,9	0,7	0,77	0,74	84,6	83,2
7	2	84,2	84,1	84,2	0,45	1,01	0,73	84,9	83,4
8	2	85,4	85,3	85,4	0,85	0,98	0,92	86,3	84,4

Tabelle 18

Mittelwert und Standardabweichung des Alpha-Winkels der Mittelwerte des rechten und linken Hüftgelenkes (5 Altersgruppen)

Wochen- alter	n	x	x	x	s	s	s	x + s	x - s
		Beta- winkel re.	Beta - winkel li.	Beta - winkel	Beta - winkel re.	Beta - winkel li.	Beta - winkel	Beta - winkel	Beta - winkel
1	19	56,1	55,7	55,9	2,21	2,1	2,14	58,0	53,8
3	2	51,1	51,4	51,3	1,18	2,1	1,62	52,9	49,7
5,5	2	43,3	41,3	42,3	1,76	1,1	1,43	43,7	40,9
7	2	41,0	35,6	38,3	1,32	0,7	1,01	39,3	37,3
8	2	31,4	31,6	31,5	1,05	1,6	1,32	32,8	30,2

Tabelle 19

Mittelwert und Standardabweichung des Beta-Winkels der Mittelwerte des rechten und linken Hüftgelenkes (5 Altersgruppen)

Welpennr.	Alter (d)	1 Alpha- Winkel re.	2 Alpha- Winkel re.	3 Alpha- Winkel re.	4 Alpha- Winkel re.	5 Alpha- Winkel re.	1 Beta- Winkel re.	2 Beta- Winkel re.	3 Beta- Winkel re.	4 Beta- Winkel re.	5 Beta- Winkel re.
V08	1	78	79	78	78	78	52	54	55	56	55
V04	1	76	75	78	76	75	52	55	50	52	60
V02	1	78	78	77	75	76	57	53	54	52	57
V03	1	78	78	76	78	77	60	60	60	60	60
V10	2	79	80	79	80	80	50	48	54	50	54
V12	3	77	78	77	79	76	58	60	62	62	58
V09	4	78	74	76	76	74	55	60	54	50	54
V11	5	78	76	75	74	74	60	63	65	62	62
V06	21	80	80	82	82	80	48	55	56	55	56
V05	21	83	80	81	81	81	44	44	42	46	46
V07	37	85	84	84	85	86	48	54	52	50	54
V01	53	86	84	85	84	85	25	26	27	26	26

Tabelle 20

Alpha- und Beta-Winkel der Voruntersuchung des rechten Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

Welpennr.	Alter (d)	1 Alpha-Winkel li.	2 Alpha-Winkel li.	3 Alpha-Winkel li.	4 Alpha-Winkel li.	5 Alpha-Winkel li.	1 Beta-Winkel li.	2 Beta-Winkel li.	3 Beta-Winkel li.	4 Beta-Winkel li.	5 Beta-Winkel li.
V08	0	76	75	78	76	76	50	55	58	52	56
V04	0	75	75	75	76	76	55	58	50	56	54
V02	0	77	77	76	76	76	54	60	55	57	56
V03	1	77	79	78	78	78	59	60	60	59	59
V10	2	75	76	76	78	78	52	54	55	50	48
V12	3	80	81	81	79	81	56	65	57	61	61
V09	4	78	77	77	75	75	52	50	50	58	50
V11	5	75	78	77	78	76	63	63	67	64	64
V06	21	82	80	80	79	78	50	55	52	50	53
V05	21	80	80	80	80	81	49	46	46	46	45
V07	37	85	84	86	85	85	50	48	48	50	48
V01	53	86	85	86	86	86	28	27	25	26	27

Tabelle 21

Alpha- und Beta-Winkel der Voruntersuchung des linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

Welpennr.	Alter (d)	1 Alpha- Winkel re.	2 Alpha- Winkel re.	3 Alpha- Winkel re.	4 Alpha- Winkel re.	5 Alpha- Winkel re.	1 Beta- Winkel re.	2 Beta- Winkel re.	3 Beta- Winkel re.	4 Beta- Winkel re.	5 Beta- Winkel re.
H15	1	78	78	77	78	78	50	55	55	60	60
H02	1	76	74	73	73	76	60	60	60	65	60
H03	1	77	78	78	78	79	62	60	60	54	60
H05	1	75	76	77	76	77	53	60	57	56	58
H08	1	78	78	80	78	78	57	60	55	60	60
H09	1	77	76	77	75	75	47	55	50	60	60
H10	1	78	78	77	75	76	57	53	54	52	57
H11	1	75	76	76	77	75	50	50	50	55	50
H12	1	75	76	76	77	77	52	53	52	54	55
H01	1	78	79	79	78	78	60	60	58	57	60
H14	1	77	76	76	76	77	63	60	60	56	60
H27	1	78	76	78	78	78	60	60	60	60	54
H16	1	77	78	77	78	78	54	53	57	58	56
H13	1	76	77	78	78	77	60	59	57	60	60
H21	2	71	71	72	73	73	57	52	53	54	55
H23	3	74	73	75	75	75	54	54	60	50	49

Welpennr.	Alter (d)	1 Alpha- Winkel re.	2 Alpha- Winkel re.	3 Alpha- Winkel re.	4 Alpha- Winkel re.	5 Alpha- Winkel re.	1 Beta- Winkel re.	2 Beta- Winkel re.	3 Beta- Winkel re.	4 Beta- Winkel re.	5 Beta- Winkel re.
H22	5	72	73	73	74	73	45	44	43	43	44
H07	5	75	77	76	75	75	63	60	60	60	60
H04	15	83	82	81	82	82	51	53	52	51	53
H25	22	82	79	81	79	81	53	50	49	50	49
H26	36	85	84	84	83	85	50	55	54	53	53
H17	42	85	84	83	83	84	32	35	31	36	34
H20	45	83	82	83	83	82	42	41	40	42	43
H18	47	85	86	86	86	86	38	40	43	41	40
H24	54	86	86	85	85	85	25	26	27	26	26
H06	55	84	84	86	86	87	38	35	36	36	39
H19	58	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabelle 22

Alpha- und Beta-Winkel der Hauptuntersuchung des rechten Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert (-1 = kein Messwert vorhanden)

Welpennr.	Alter (d)	1 Alpha- Winkel li.	2 Alpha- Winkel li.	3 Alpha- Winkel li.	4 Alpha- Winkel li.	5 Alpha- Winkel li.	1 Beta- Winkel li.	2 Beta- Winkel li.	3 Beta- Winkel li.	4 Beta- Winkel li.	5 Beta- Winkel li.
H15	1	76	77	78	79	78	54	57	51	53	57
H02	1	75	73	74	75	72	60	63	64	64	64
H03	1	75	75	77	75	74	60	58	59	60	60
H05	1	72	72	72	73	71	51	60	55	60	54
H08	1	78	77	78	78	76	54	55	56	54	56
H09	1	76	75	76	77	76	48	50	43	38	53
H10	1	77	77	76	76	75	54	60	55	57	56
H11	1	76	77	77	77	77	55	58	51	51	60
H12	1	75	76	75	77	77	55	60	53	57	60
H01	1	76	77	75	76	77	57	55	58	58	60
H14	1	81	82	81	81	83	60	54	56	60	58
H27	1	78	78	78	77	78	60	59	56	60	60
H16	1	80	81	79	80	80	55	56	56	55	54
H13	1	77	78	77	78	77	60	59	57	57	56
H21	2	72	73	73	73	71	52	52	55	60	52
H23	3	72	77	74	74	75	52	53	51	54	52

Welpennr.	Alter (d)	1 Alpha-Winkel li.	2 Alpha-Winkel li.	3 Alpha-Winkel li.	4 Alpha-Winkel li.	5 Alpha-Winkel li.	1 Beta-Winkel li.	2 Beta-Winkel li.	3 Beta-Winkel li.	4 Beta-Winkel li.	5 Beta-Winkel li.
H22	5	73	72	73	74	73	44	45	43	44	44
H07	5	75	75	78	77	77	64	60	60	64	60
H04	15	80	80	80	80	80	52	53	51	53	52
H25	22	81	80	80	80	78	53	51	52	53	44
H26	36	83	85	84	84	85	48	49	50	48	49
H17	42	84	82	84	83	84	36	35	33	33	32
H20	45	80	82	84	82	82	40	42	41	42	41
H18	47	87	85	86	86	87	30	30	31	29	30
H24	54	86	86	84	86	85	28	27	25	26	27
H06	55	86	86	85	83	86	36	35	34	40	38
H19	58	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

Tabelle 23

Alpha- und Beta-Winkel der Hauptuntersuchung des linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert (-1 = kein Messwert vorhanden)

4.7.2 Epiphysenscheibenhöhe

Die in der Vor- und Hauptuntersuchung gemessenen ESH-Werte können aus Tabelle 27 und Tabelle 28 entnommen werden.

In der ersten Lebenswoche konnte die Epiphysenscheibenhöhe noch nicht gemessen werden, da zu diesem Zeitpunkt noch keine Verknöcherung sichtbar ist. Innerhalb der zur Verfügung stehenden Welpen konnte bei dem 15 Tage (H04) alten Welpen eine Epiphysenscheibenhöhe von 3,3 mm (rechtes Hüftgelenk) und 2,5 mm (linkes Hüftgelenk) gemessen werden. Der Maximalwert der ESH wurde bei dem 58 Tage alten Welpen (H19) mit 9,2 mm (rechts) und 9,3 mm gefunden (links).

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ist mit $p < 0,009$ (rechts) und $p < 0,005$ (links) signifikant (Tabelle 24).

	Regressionsgeradengleichung	Signifikanz
Rechtes Hüftgelenk	$y = 2,0 + 0,091 * \text{Alter (Tage)}$	$p < 0,009^{**}$
Linkes Hüftgelenk	$y = 1,1 + 0,111 * \text{Alter (Tage)}$	$p < 0,005^{**}$

Tabelle 24

Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk ist mit $p < 0,001$ signifikant (Tabelle 25).

	Hauptkomponentengleichung	Rangkorrelationskoeffizient	Signifikanz
Rechte und linke Epiphysenscheibenhöhe	$y = 1,165 * x - 1,03$	0,982	$p < 0,001^{***}$

Tabelle 25

Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk

Der Shapiro-Wilk-Test (Prüfung auf Normalverteilung) zeigt keine statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung (Tabelle 27).

	W-Statistik	Signifikanz
Re. ESH	0,96	p=0,83 (n. s.)
Li. ESH	0,92	p=0,44 (n. s.)

Tabelle 26

Prüfung auf Normalverteilung - altersbereinigt auf den 14. Tag (Shapiro-Wilk-Test)

Welpennr.	Alter (d)	Epiphysenscheibenhöhe re. (mm)	Epiphysenscheibenhöhe li. (mm)
V08	0	-1	-1
V04	0	-1	-1
V02	0	-1	-1
V03	1	-1	-1
V10	2	-1	-1
V12	3	-1	-1
V09	4	-1	-1
V11	5	-1	-1
V06	21	4,2	4,1
V05	21	4,1	4,2
V07	37	4,6	4,7
V01	53	5,6	5,8

Tabelle 27

Epiphysenscheibenhöhe der Voruntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert (-1 = kein Messwert vorhanden)

Welpennr.	Alter (d)	Epiphysenscheibenhöhe re.	Epiphysenscheibenhöhe li.
H15	1	-1	-1
H02	1	-1	-1
H03	1	-1	-1
H05	1	-1	-1
H08	1	-1	-1
H09	1	-1	-1
H10	1	-1	-1
H11	1	-1	-1
H12	1	-1	-1
H01	1	-1	-1
H14	1	-1	-1
H27	1	-1	-1
H16	1	-1	-1
H13	1	-1	-1
H21	2	-1	-1
H23	3	-1	-1
H22	5	-1	-1
H07	5	-1	-1
H04	15	3,3	2,5
H25	22	4,8	4,6
H26	36	4,8	4,6
H17	42	5,0	4,5
H20	45	6,2	6,8
H18	47	7,2	7,2
H24	54	5,6	6,1
H06	55	6,4	6,3
H19	58	9,2	9,3

Tabelle 28

Epiphysenscheibenhöhe der Hauptuntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert (-1 = kein Messwert vorhanden)

4.7.3 Distraktionswert

Die in der Vor- und Hauptuntersuchung bestimmten Distraktionswerte können aus Tabelle 33 und Tabelle 34 entnommen werden.

Bei dem lebenden Welpen (H06) konnte der Distraktionswert aufgrund seiner Verletzungen im Kruppenbereich nicht gemessen werden.

Der Maximalwert liegt bei 4,3 mm (H26) und der Minimalwert bei 0,5 mm (H07) (Abbildung 23).

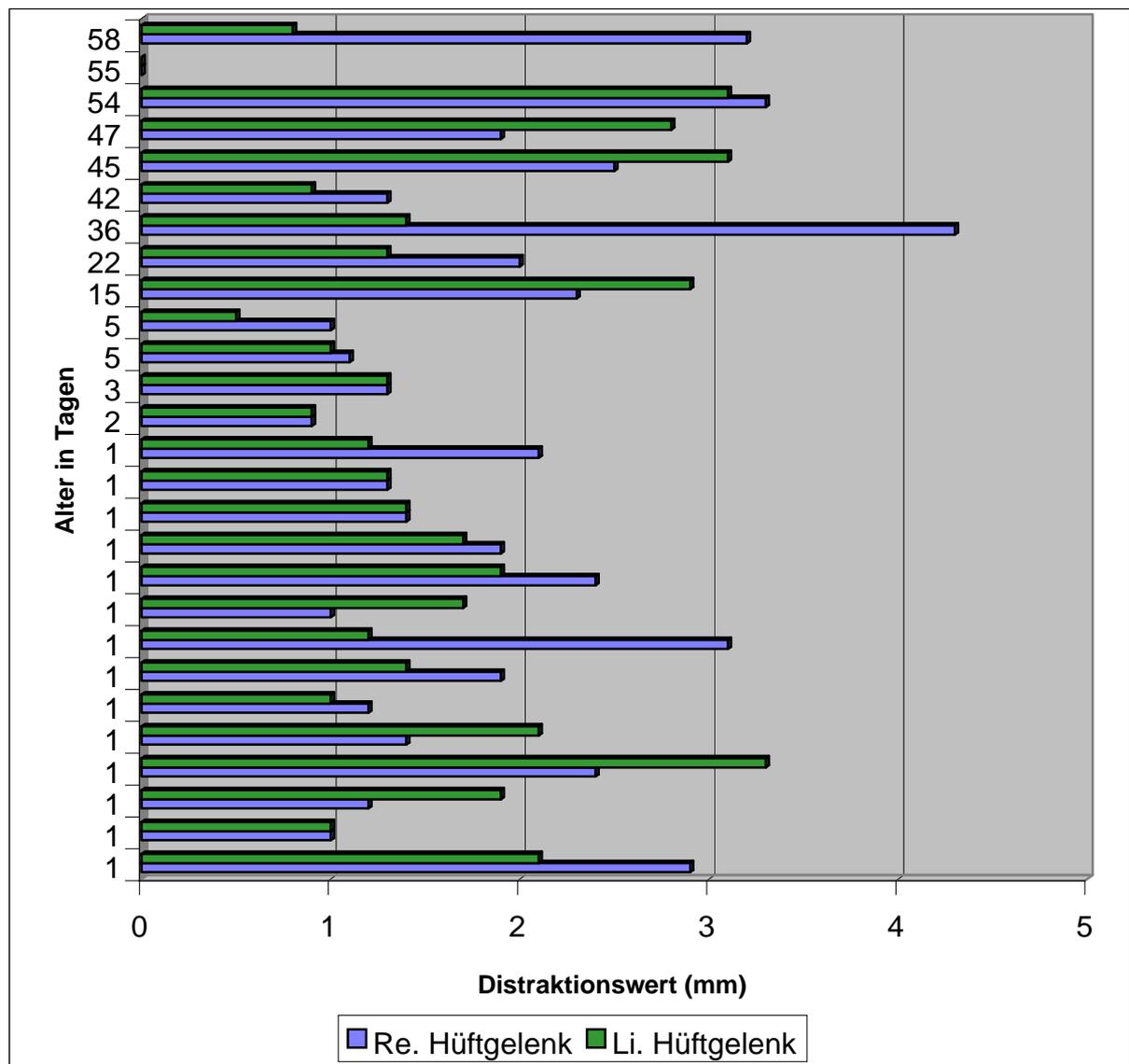


Abbildung 23

Distraktionswerte des rechten und linken Hüftgelenkes (Hauptuntersuchung)

Der Gesamtmittelwert beträgt rechts 1,9 mm (Gesamtstandardabweichung: 0,88 mm) und links 1,7 mm (Gesamtstandardabweichung: 0,79 mm).

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ist für den rechten Distractionswert mit $p=0,008$ signifikant und für links mit $p=0,192$ nicht signifikant.

	Regressionsgeradengleichung	Signifikanz
Rechtes Hüftgelenk	$y=1,6+0,023*\text{Alter (Tage)}$	$p<0,008^{**}$
Linkes Hüftgelenk	$y=1,5+0,011*\text{Alter (Tage)}$	$p<0,192$ (n. s.)

Tabelle 29

Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk ist mit $p=0,18$ nicht signifikant (Tabelle 30).

	Hauptkomponenten- gleichung	Rangkorrelationskoeffi- zient	Signifikanz
Rechter und linker Distractionswert	$y=0,74*x+0,22$	0,360	$p=0,071$ (n. s.)

Tabelle 30

Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk

Betrachtet man die Einzelwerte, so fallen deutliche Schwankungen innerhalb desselben Tieres auf (siehe auch Korrelationsprüfung rechtes und linkes Hüftgelenk und Abbildung 23). So zeigt Welpen H26 rechts einen Distractionswert von 4,3 mm und links von 1,4 mm. Die Mittelwerte des Distractionswertes wurden für fünf Altersgruppen errechnet (Tabelle 31). Es fallen relativ hohe Standardabweichungen innerhalb der Altersgruppen auf (z. B. Gruppe 5,5 Lebenswochen mit einem Mittelwert von 2,58 mm und mit einer Standardabweichung von 1,36). Dies zeigt, dass die Femurköpfe ohne erkennbares Muster innerhalb desselben Welpen relativ locker sein können und auch innerhalb der einzelnen Altersgruppen starke Unterschiede auftreten können.

Wochenalter	n	x (DW)	s (DW)
1	19	1,57	0,64
3	2	2,13	0,58
5,5	2	1,98	1,36
7	2	2,58	0,44
8,5	2	2,60	1,04

Tabelle 31

Mittelwert und Standardabweichung des Distraktionswertes pro Altersgruppe

Der Shapiro-Wilk-Test (Prüfung auf Normalverteilung) zeigt keine statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung (Tabelle 32).

	W-Statistik	Signifikanz
Re. Distraktionswert	0,94	p=0,18 (n. s.)
Li. Distraktionswert	0,97	p=0,59 (n. s.)

Tabelle 32

Prüfung auf Normalverteilung - altersbereinigt auf den 14. Tag (Shapiro-Wilk-Test)

Welpennr.	Alter (d)	Distraktionswert re.	Distraktionswert li.
V08	1	1,2	1,0
V04	1	1,3	1,5
V02	1	1,9	1,4
V03	1	1,4	1,4
V10	2	1,5	1,5
V12	3	0,9	0,7
V09	4	1,5	1
V11	5	0,5	0,5
V06	21	2,4	2,9
V05	21	2,2	1,4
V07	37	2,6	0,9
V01	53	3,3	3,2

Tabelle 33

Distraktionswert der Voruntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

Welpennr.	Alter (d)	Distraktionswert re.	Distraktionswert li.
H15	1	2,9	2,1
H02	1	1	1
H03	1	1,2	1,9
H05	1	2,4	3,3
H08	1	1,4	2,1
H09	1	1,2	1
H10	1	1,9	1,4
H11	1	3,1	1,2
H12	1	1	1,7

Welpennr.	Alter (d)	Distractionswert re.	Distractionswert li.
H01	1	2,4	1,9
H14	1	1,9	1,7
H27	1	1,4	1,4
H16	1	1,3	1,3
H13	1	2,1	1,2
H21	2	0,9	0,9
H23	3	1,3	1,3
H22	5	1,1	1
H07	5	1	0,5
H04	15	2,3	2,9
H25	22	2,0	1,3
H26	36	4,3	1,4
H17	42	1,3	0,9
H20	45	2,5	3,1
H18	47	1,9	2,8
H24	54	3,3	3,1
H06	55	-1	-1
H19	58	3,2	0,8

Tabelle 34

Distractionswert der Hauptuntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert (-1 = kein Messwert vorhanden)

4.7.4 Gelenkkapseldicke

Die in der Vor- und Hauptuntersuchung gemessenen Gelenkkapseldicken können aus Tabelle 38 und Tabelle 39 entnommen werden.

Der Minimalwert beträgt 0,2 mm und der Maximalwert 0,6 mm. Der Gesamtmittelwert der Gelenkkapseldicke ist für das rechte Hüftgelenk 0,35 mm (Standardabweichung: 0,11 mm) und für das linke 0,34 mm (Standardabweichung: 0,11 mm).

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ist mit $p < 0,001$ statistisch signifikant (Tabelle 35).

	Regressionsgeradengleichung	Signifikanz
Rechtes Hüftgelenk	$y = 0,3 + 0,004 * \text{Alter (Tage)}$	$p < 0,001$ ***
Linkes Hüftgelenk	$y = 0,3 + 0,004 * \text{Alter (Tage)}$	$p < 0,001$ ***

Tabelle 35

Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk ist mit $p < 0,001$ signifikant (Tabelle 36).

	Hauptkomponentengleichung	Rangkorrelationskoeffizient	Signifikanz
Rechte und linke Gelenkkapseldicke	$y = 1,00 * x - 0,01$	0,660	$p = 0,001$ ***

Tabelle 36

Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk

Der Shapiro-Wilk-Test (Prüfung auf Normalverteilung) zeigt für eine mit $p = 0,0061$ und $p = 0,0026$ statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung (Tabelle 37). Dies erklärt sich daraus, dass die Werte nur grob abgestuft sind und sich daher nicht normal verteilen können.

	W-Statistik	Signifikanz
Re. Gelenkkapseldicke	0,89	$p = 0,0061$ **
Li. Gelenkkapseldicke	0,87	$p = 0,0026$ **

Tabelle 37

Prüfung auf Normalverteilung - altersbereinigt auf den 14. Tag (Shapiro-Wilk-Test)

Welpennr.	Alter (d)	Gelenkkapseldicke re.	Gelenkkapseldicke li.
V08	1	0,2	0,2
V04	1	0,2	0,2
V02	1	0,4	0,2
V03	1	0,2	0,3
V10	2	0,2	0,2
V12	3	0,3	0,3
V09	4	0,3	0,3
V11	5	0,3	0,2
V06	21	0,3	0,2
V05	21	0,6	0,6
V07	37	0,5	0,4
V01	53	0,4	0,4

Tabelle 38

Gelenkkapseldicke (mm) der Voruntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

Welpennr.	Alter (d)	Gelenkkapseldicke li.	Gelenkkapseldicke re.
H15	1	0,3	0,4
H02	1	0,3	0,3
H03	1	0,3	0,3
H05	1	0,2	0,2
H08	1	0,3	0,3
H09	1	0,2	0,3
H10	1	0,2	0,4
H11	1	0,3	0,4
H12	1	0,3	0,3
H01	1	0,3	0,2

Welpennr.	Alter (d)	Gelenkkapseldicke li.	Gelenkkapseldicke re.
H14	1	0,4	0,3
H27	1	0,3	0,2
H16	1	0,3	0,2
H13	1	0,3	0,3
H21	2	0,3	0,3
H23	3	0,2	0,2
H22	5	0,3	0,3
H07	5	0,3	0,3
H04	15	0,4	0,4
H25	22	0,4	0,6
H26	36	0,5	0,5
H17	42	0,5	0,5
H20	45	0,6	0,4
H18	47	0,4	0,4
H24	54	0,4	0,4
H06	55	0,5	0,6
H19	58	0,5	0,4

Tabelle 39

Gelenkkapseldicke (mm) der Hauptuntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

4.7.5 Femurkopfkontur-Kapselabstand

Die in der Vor- und Hauptuntersuchung gemessenen Gelenkkapseldicken können aus Tabelle 43 und Tabelle 44 entnommen werden.

Der Minimalwert ist 0,2 mm und der Maximalwert 1,3 mm. Der Gesamtmittelwert beträgt für das rechte Hüftgelenk 0,46 mm ($s=0,19$ mm) und für das Linke 0,50 mm ($s=0,21$ mm).

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ist für das rechte Hüftgelenk mit $p=0,054$ statistisch nicht signifikant und für das linke Hüftgelenk mit $p=0,008$ statistisch signifikant (Tabelle 40).

	Regressionsgeradengleichung	Signifikanz
Rechtes Hüftgelenk	$y=0,4+0,004*\text{Alter (Tage)}$	$p=0,054$
Linkes Hüftgelenk	$y=0,4+0,005*\text{Alter (Tage)}$	$p=0,008^{**}$

Tabelle 40

Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit

Die Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk ist mit $p<0,001$ signifikant (Tabelle 41).

	Hauptkomponentengleichung	Rangkorrelationskoeffizient	Signifikanz
Rechter und linker Kopfkontur-Kapselabstand	$y=1,09*x+0,008$	0,777	$P<0,001^{***}$

Tabelle 41

Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk

Der Shapiro-Wilk-Test (Prüfung auf Normalverteilung) zeigt mit $p<0,001$ statistisch signifikante Abweichung von der Normalverteilung (Tabelle 42). Dies erklärt sich daraus, dass die Werte nur grob abgestuft sind und sich daher nicht normal verteilen können.

	W-Statistik	Signifikanz
Re. Kopfkontur-Kapselabstand	0,78	$p<0,001^{***}$
Li. Kopfkontur-Kapselabstand	0,81	$p<0,001^{***}$

Tabelle 42

Prüfung auf Normalverteilung - altersbereinigt auf den 14. Tag (Shapiro-Wilk-Test)

Welpennr.	Alter (d)	KKKA re.	KKKA li.
V08	1	0,5	0,5
V04	1	0,5	0,4
V02	1	0,3	0,3
V03	1	0,3	0,5
V10	2	0,4	0,5
V12	3	0,4	0,4
V09	4	0,5	0,5
V11	5	0,4	0,3
V06	21	0,7	0,4
V05	21	0,7	0,8
V07	37	0,5	0,6
V01	53	0,5	0,6

Tabelle 43

Femurkopfkontur-Kapselabstand (mm) der Voruntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

Welpennr.	Alter (d)	KKKA re.	KKKA li.
H15	1	0,5	0,4
H02	1	0,4	0,5
H03	1	0,5	0,7
H05	1	0,3	0,3
H08	1	0,4	0,5
H09	1	0,4	0,3
H10	1	0,3	0,3
H11	1	0,7	0,5
H12	1	0,4	0,3
H01	1	0,3	0,4

Welpennr.	Alter (d)	KKKA re.	KKKA li.
H14	1	0,2	0,2
H27	1	0,3	0,7
H16	1	0,4	0,4
H13	1	0,2	0,5
H21	2	0,5	0,4
H23	3	0,4	0,4
H22	5	0,4	0,4
H07	5	0,7	0,7
H04	15	0,5	0,5
H25	22	0,7	0,6
H26	36	0,5	0,6
H17	42	0,4	0,4
H20	45	0,4	0,4
H18	47	0,4	0,5
H24	54	0,5	0,6
H06	55	1,2	1,3
H19	58	0,4	0,7

Tabelle 44

Femurkopfkontur-Kapselabstand (mm) der Hauptuntersuchung des rechten und linken Hüftgelenkes nach Alter in Tagen sortiert

5 Diskussion

5.1 Allgemeines

Mit dieser Arbeit wurden grundlegende Voraussetzungen zur sonographischen Untersuchung des Hüftgelenkes beim Deutschen Schäferhundwelpen geschaffen. Zunächst wurde die Sonoanatomie erarbeitet und die knöchernen Gegebenheiten und deren Weichteilmantel beschrieben. Durch Präparation und sonographische Untersuchungen im Wasserbad wurden die Ergebnisse überprüft und die sonographisch-morphologische Entwicklung erörtert.

Es folgte die Definition von Standardschnitten und die Erstellung eines standardisierten Untersuchungsganges mit festgelegter Befundung. Die Ergebnisse der verschiedenen Parameter wurde statistisch ausgewertet und erste Referenzwerte für den Deutschen Schäferhundwelpen ermittelt.

Die Ergebnisse sollen als Grundlage für weitere Untersuchungen am Hüftgelenk bei lebenden Welpen dienen. Insbesondere sollen sie zur Etablierung der Untersuchungsmethode zur Diagnostik der Hüftgelenksdysplasie in der Veterinärmedizin beitragen.

5.2 Methodik der Untersuchung

Die Voruntersuchungen der Hüftgelenke im Wasserbad und die anatomische Präparation ergaben wichtige Erkenntnisse zur Sonoanatomie des Hüftgelenkes. Dabei erwies sich die Untersuchungsmethodik wie sie Graf (1982b) und Kresken (1991) benutzten als übertragbar auf den Deutschen Schäferhund.

Analog zur Sonographie des Hüftgelenkes beim Säugling (Graf, 2000), des Kniegelenkes (Stengel, 1997) und des Ellbogengelenkes beim (Michele, 2000) hat sich die Lagerung des Tieres auf der Seite bewährt. In Übereinstimmung mit Untersuchungen in der Abdominalsonographie (Gerwing, 1989) und der orthopädischen Sonographie beim Hund (Kresken, 1991; Kramer, 1992; Stengel, 1997; Kramer, 1999; Michele, 2000) ist das Scheren des zu untersuchenden Gelenkes unumgänglich. Für die luftfreie Ankopplung des Schallkopfes auf die Haut des Tieres eignet sich handelsübliches Ultraschallgel.

Die Verwendung eines hochfrequenten Linearscanners hat sich in der Humanmedizin (Sattler, 1994; Graf, 2000) und beim orthopädischen Ultraschall beim Hund (Kramer 1992, Stengel 1997; Kramer, 1999; Michele 2000) bewährt. Zur Hüftsonographie beim Säugling wird ein 7,5 MHz Schallkopf von Graf (2000) empfohlen. In dieser Arbeit wurde ein Schallkopf mit einer wählbaren Frequenz von 8-15 MHz eingesetzt. Da die Strukturen des Hüftgelenkes beim Welpen kleiner als beim Säugling sind, wurde in der Regel mit höherer Frequenz als in der Humanmedizin geschallt. Beim abdominalen Ultraschall wird ein weiches Bild bevorzugt (Fritsch und Gerwing, 1993). Anders verhält es sich bei der Sonographie des Hüftgelenkes, hier wird von Graf (2000) für den Säugling und von Kresken (1991) für den Welpen kontrastreichere Ultraschallbilder empfohlen. Gleiches wurde auch in dieser Arbeit festgestellt, dabei wurde nach der Empfehlung von Graf (2000) der Kontrast des Ultraschallbildes so eingestellt, dass der hyaline Femurkopf echoarm, aber nicht echofrei, dargestellt wird. Wie in der Humanmedizin (Graf, 2000) ist die Ausstattung des Ultraschallgerätes mit Fußschalter zum Einfrieren der Bilder sehr empfehlenswert. Der Untersucher hat beide Hände zum Fixieren des Beines und des Schallkopfes frei. Für das direkte Vermessen der Sonogramme am Ultraschallgerät (Alpha- und Betawinkel) hat sich das vorhandene Hüftprogramm bewährt.

5.3 Die Sonoanatomie des Hüftgelenkes und die morphologische Entwicklung

Die Haut, Unterhaut und Muskulatur stellen sich bei den Welpen im Bereich des Hüftgelenkes, wie bereits von Kramer (1992) für den erwachsenen Hund und von Graf (2000) für den Säugling beschrieben, mit ähnlichen Echomustern dar.

Das Os ileum zeigt eine konkave geschwungene echoreiche Zone mit distalem Schallschatten. Im Unterschied zum Hüftgelenk des Säuglings (Graf, 2000) ist die Konkavität deutlicher ausgeprägt.

Die Gelenkkapsel stellt sich, wie in der Humanmedizin beschrieben, als echoreiche Linie dar. Weiter kaudal geht sie beim Menschen in eine Umschlagfalte über (Graf, 2000). Die Darstellung der Umschlagfalte ist beim Welpen nur andeutungsweise möglich. Der knöchernen Erker lässt sich auch beim Welpen gut darstellen, ist aber insgesamt im Vergleich zum Säugling deutlich runder. Das hyalin-knorpelige Pfannendach, das zwischen knöchernem Erker und Labrum acetabulare liegt, ist wie beim Säugling echoarm. Es zeigt sich beim Welpen kleiner (Kresken, 1991). Weiter kaudal folgt das Labrum acetabulare, das sich, wie bereits von

Kresken (1991) beschrieben, nicht so deutlich darstellt wie beim Menschen. Henschel (1983) hat ebenfalls beschrieben, dass das Labrum acetabulare schwächer ausgeprägt ist.

Der Femurkopf stellt sich beim Welpen ähnlich dem des Säuglings dar. Im Unterschied zur Humanmedizin ist die sich medial des Femurkopfes darstellende echoreiche Struktur mit distalem Schallschatten das Os pubis (Kresken, 1991). Beim Säugling handelt es sich laut Graf (2000) um das Os ischii. Für den Welpen konnte durch Entfernung des Os ischii und anschließender Sonographie des Hüftgelenkes im Wasserbad die anatomische Identifikation bewiesen werden.

Die Darstellung der Knorpel-Knochengrenze ist ebenfalls beim Welpen möglich, allerdings muss hierfür der Schallkopf nach lateral bewegt werden.

Graf (2000) beschreibt, dass der Verknöcherungskern des Femurkopfes im 2. bis 8. Lebensmonat beim Säugling erscheint. Bei den zur Verfügung stehenden DSH-Welpen wurde der Femurkopfkern zum ersten Mal bei dem 15 Tage alten Welpen identifiziert. Kresken (1991) beschreibt, dass der Ossifikationskern beim Beagle ab dem 10. Lebenstag sonographisch dargestellt werden konnte. Nach Hare (1961) ist der Kern im Alter von 1 bis 3 Wochen, nach Ticer (1975) im Alter von 2 und nach Widmer (1978) im Alter von 2 bis 4 Wochen sichtbar. Analog zur Darstellung beim Menschen (Graf, 2000) liegt der Femurkopfkern nicht immer im Zentrum des Oberschenkelkopfes und stellt sich auch nicht rund dar. Mit voranschreitender Verknöcherung nimmt der Ossifikationskern deutlich an Größe zu. Dies geschieht wesentlich schneller als beim Säugling. Im Zeitraum der achten bis neunten Lebenswoche hat er eine solche Größe angenommen, dass durch das Artefakt der Schallauslöschung die distalen Strukturen des Azetabulums nicht mehr eingesehen werden können. Insbesondere kann der für die Bestimmung des Alpha-Winkels notwendige Unterrand des Os ileum nicht mehr eindeutig eingesehen werden. Auch Kresken (1991) hat bei Beagle-Welpen ein Ende der Bestimmungsmöglichkeit des Alpha- und Betawinkels durch mangelhafte Einsicht des Azetabulums in der achten Lebenswoche beschrieben. Beim Säugling verknöchert der Femurkopf wesentlich langsamer. Bis zum 12. Lebensmonat kann in der Humanmedizin das Azetabulum eingesehen werden (Graf, 2000).

5.4 Der Sonographische Untersuchungsgang und die Befundung

Der in der Humanmedizin durch Graf (2000) festgelegte Untersuchungsgang für den Säugling kann nicht vollständig für den Hundewelpen übernommen werden.

Analog zur Humanmedizin erfolgt zunächst die Identifizierung der anatomischen Strukturen. Nach Graf (2000) wird im ersten Schritt beim Säugling die Knorpel-Knochen-Grenze aufgesucht. Anschließend wird der Femurkopf dargestellt. Nach der Darstellung der Umschlagfalte folgt man der Gelenkkapsel bis zum Labrum acetabulare. Anschließend wird das Labrum mittels der Labrumdefinitionen als tatsächliches Echo des Labrums verifiziert (Graf, 2000). Da die Darstellung der Umschlagfalte der Gelenkkapsel äußerst schwierig ist und die Knorpel-Knochengrenze beim Welpen sehr weit lateral liegt, sollte zunächst das Os ileum aufgesucht werden. Kaudal des Darmbeines werden schließlich der knöcherne Erker, der Unterrand des Os ileum, die Gelenkkapsel und das Labrum acetabulare identifiziert. Das Echo des Labrums wird, wie in der Humanmedizin beschrieben, durch die Labrumdefinition identifiziert. Anders als in der Humanmedizin wurden für den Welpen drei Standardschnittebenen definiert (Kresken, 1991).

Die Erkennung der einzelnen Anteile des Hüftgelenkes und das Aufsuchen der Standardschnittebenen kann beim DSH-Welpen ab dem 1. Lebenstag durchgeführt werden. Kresken (1991) konnte bei den Beaglewelpen die einzelnen Strukturen des Hüftgelenkes erst in der zweiten Lebenswoche differenzieren.

Nach der Identifikation wird zunächst die laterale Standardebene mit neutraler Stellung der Gliedmaßen aufgesucht. Sie entspricht der Standardschnittebene aus der Humanmedizin (Graf, 2000) und der Position I nach Kresken (1991). Auch die Untersuchungen von Trout et al. (1993) an Labradorwelpen und von Fink (1996) an Rottweilerwelpen wurden an dieser Schnittebene durchgeführt. Analog zum Säugling ist die Schnittebene durch drei Schnittpunkte (Landmarks) festgelegt. Zum Aufsuchen dieser Schnittebene muss jedoch im Unterschied zum Säugling der Schallkopf um ca. 30° aus der senkrechten Ebene in Richtung Sagittalebene des Tieres gekippt und um ca. 20° in seiner Längsachse in Richtung Tarsalgelenk gedreht werden. Ohne das Kippen ist beim DSH-Welpen das Auffinden der Standardschnittebene nicht möglich. Eine genauere Definition der Standardebene wird von den Autoren der Veterinärmedizin (Kresken, 1991; Tout et al., 1993; Fink, 1996) nicht vorgenommen. Im Unterschied zur Humanmedizin ist die Knorpel-Knochengrenze im Schnittbild beim Welpen nicht mit abgebildet.

Wie in der Humanmedizin (Graf, 2000) wird der Alpha-Knochenwinkel und der Beta-Knorpelwinkel bestimmt. Im Gegensatz zum Säugling stellt sich der knöcherne Erker beim DSH-Welpen in der Regel nicht eckig dar. Aus diesem Grund muss beim Einzeichnen der

Ausstell- und der Pfannendachlinie der Umschlagspunkt der Konkavität des Azetabulums in die Konvexität des Darmbeines als Drehpunkt genommen werden.

Etwas schwierig ist z. T. die Bestimmung des Beta-Winkels, da das Labrum acetabulare im Vergleich zum Säugling kleiner ist und damit auch etwas schwieriger zu identifizieren (Fink, 1996).

Analog zur Humanmedizin wird zunächst eine deskriptive Befundung an dieser Schnittebene vorgenommen. Sie dient zur Überprüfung der Gesamtbefundung des Hüftgelenkes. So kann z. B. ein Hüftgelenk, dass mit guter knöcherner Formgebung und einem eckigen Erker beschrieben worden ist, kein verdrängtes Pfannendach aufweisen (Graf, 2000).

Die Hüftgelenke der Welpen zeigen insgesamt wesentlich seltener einen eckigen Erker. Die in der Humanmedizin üblichen Termini wurden entsprechend den Ausformungen der Hüftgelenke zugeordnet. Das verdrängte knorpelige Pfannendach oder die mangelhaft bis schlecht ausgeprägte knöcherne Pfanne wurden bei den untersuchten Welpen nicht gefunden.

Die Wiederholbarkeitsprüfung für den Alpha- und Beta-Winkel zeigt eine gute Wiederholbarkeit bei der Bestimmung des Alpha-Winkels (s der Wiederholbarkeit=0,88) und die geringgradig schlechtere Wiederholbarkeit für den Beta-Winkel (s der Wiederholbarkeit=2,45). Die etwas ungenauere Bestimmung des Beta-Winkels kommt daher, dass es z. T. schwierig ist, den Mittelpunkt des Labrum acetabulare exakt zu bestimmen. Dabei ist festzuhalten, dass der Alpha-Winkel in der Humanmedizin der entscheidende Winkel bei der Beurteilung des Hüftgelenkes ist (Graf, 2000). Der Beta-Winkel hat nur sekundäre Bedeutung, so dass die exakte Bestimmung des Alpha-Winkels sehr wichtig ist und dies ist auch beim DSH-Welpen gegeben.

Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ist sowohl für den Alpha- als auch für den Beta-Winkel hoch signifikant. Dabei zeigt sich bei den älteren Welpen ein deutlich höherer Alpha-Winkel und ein niedrigerer Beta-Winkel. Vergleicht man die Reifungskurve der DSH-Welpen (Alpha-Winkel) mit der Reifungskurve aus der Humanmedizin (Graf, 2000), so kann in den ersten acht Lebenswochen ein Anstieg des Alpha-Winkels um $9,2^\circ$ festgestellt werden. Die Säuglinge zeigen in den ersten zwölf Lebensmonaten einen Anstieg von 7° . Das Hüftgelenk des Hundes reift im Vergleich zum Säugling wesentlich schneller.

Die Alpha-Winkelwerte der Säuglinge sind im Vergleich mit den ermittelten Werten beim DSH-Welpen deutlich höher. Der obere Grenzwert für die Säuglinge wird von Graf mit 72° (12. Lebensmonat) angegeben. Der Mittelwert des Alphawinkels der acht Wochen alten Wel-

pen beträgt $85,4^\circ$. Die Beta-Winkel der DSH-Welpen sind in der achten Lebenswoche mit $31,5^\circ$ deutlich kleiner als beim Säugling ($43-55^\circ$). Es ist daher nicht möglich, die in der Humanmedizin festgelegte Typeneinteilung der Hüftgelenke zu übernehmen.

Der Minimalwert des Alpha-Winkels liegt nach Kresken (1991) beim Beaglewelpen bei 72° und der Maximalwert bei 87° . Der Minimalwert der DSH-Welpen beträgt 72° und der Maximalwert $86,2^\circ$. Der Alpha-Winkel liegt damit beim DSH-Welpen und beim Beagle-Welpen innerhalb des gleichen Bereiches. Die Beta-Werte liegen bei den Beaglewelpen zwischen 30° und 40° . Bei den DSH-Welpen beträgt der Minimalwert für den Beta-Winkel 25° und der Maximalwert 64° . Der große Unterschied bei dem Maximalwert des Beta-Winkels ist dadurch zu erklären, dass bei Kresken der Drehpunkt beim Einzeichnen der Ausstelllinie auf der Grundlinie liegt. Dadurch werden wesentlich kleinere Beta-Winkel vor allem an noch nicht weit ausgereiften Hüftgelenken gemessen. Je älter die Tiere werden, desto weiter verschiebt sich der Drehpunkt (Umschlagspunkt aus der Konkavität zur Konvexität des Hüftgelenkes) Richtung Grundlinie und der Winkel wird kleiner. Vergleicht man die durchschnittlichen Alpha-Werte von $78,4^\circ$ und die Beta-Werte von $34,4^\circ$ der Beaglewelpen der vierten Lebenswoche mit den Werten der dritten Lebenswoche beim DSH-Welpen von $80,6^\circ$ und $51,3^\circ$, so fällt auch hier wieder der deutlich höhere Beta-Winkel auf.

Fink (1996) hat Alpha-Winkelwerte zwischen 65° und 79° bei Rottweilerwelpen im Alter der zweiten bis dritten Lebenswoche gefunden. Dabei lagen 70% der ermittelten Werte zwischen $73,2^\circ$ und $79,2^\circ$. Der Mittelwert für den Alpha-Winkel liegt für die Rottweilerwelpen bei $76,2^\circ$. Trout et al. (1993) bestimmte bei zwei bis vier Wochen alten Labradorwelpen Alpha-Winkelwerte zwischen 62° und 85° . Insgesamt lagen 67% zwischen 71° und 80° . Die gefundenen Alpha-Werte der Beaglewelpen, der Rottweilerwelpen und der DSH-Welpen zeigen gewisse Unterschiede, aber insgesamt liegen sie innerhalb einer bestimmten Spannweite (ca. 70° bis 80°).

Wie bereits Kresken (1991) feststellte, gibt es zwischen den Werten des rechten und linken Hüftgelenkes eine hohe Korrelation (hoch signifikant). Allerdings wurden bei einzelnen Tieren deutliche Unterschiede der gemessenen Werte zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk festgestellt.

In der Humanmedizin wird die dynamische Stressuntersuchung an der Standardebene durchgeführt. Dabei wird subjektiv beurteilt, in wie weit der Femurkopf aus der Pfanne „hochfedert“ (Graf, 2000). Bereits Kresken (1991) und Greshake et al. (1992) konnten bei ihren Untersuchungen die Beweglichkeit des Femurkopfes innerhalb des Acetabulum beobachten. Da

der Grad der Gelenklockerheit einen wichtigen Hinweis auf spätere Gelenksveränderungen liefern kann (Chalman und Butler, 1985; Smith et al., 1990) wurde ein Verfahren zum Messen der Gelenklockerheit beim Welpen erarbeitet. Dabei wird anhand der lateralen Standardebenen der Distraktionswert bestimmt. Die neutrale Stellung dient als Vergleich zur Distraction. Auf den Femurkopf wird nicht, wie bei O'Brien et al. (1997) angegeben, Kompression und Distraction ausgeübt, sondern es wird versucht, wie bei der Ortolaniprobe (Ortolani, 1976; Chalman und Butler, 1985; Schimke und Paatsama, 1993) den Femurkopf in kraniodorsale Richtung zu subluzieren. Ähnlich erfolgt auch in der Humanmedizin die dynamische Stressuntersuchung (Graf, 2000). Die Methode von O'Brien et al. (1997) entspricht dem Prinzip des Subluxationsversuches der PennHip Technik (Pennsylvania Hip Improvement Program) (Smith et al., 1990). Im Gegensatz zu der Technik von O'Brien et al. (1997) werden bei der an den DSH-Welpen angewendeten Technik die Femurköpfe nicht nur nach lateral, sondern zusätzlich nach kraniodorsal verschoben. Dies entspricht der Richtung der Femurkopfverlagerung unter natürlicher Belastung bei der Fortbewegung (Montavon, 1992).

Im Unterschied zu O'Brien et al. (1997) werden bei der Auswertung die beiden Ultraschallbilder der Kompression und Distraction nicht per Bildbearbeitungssoftware übereinander gelegt, sondern es wird an dem Bild in Neutralstellung und an dem Sonogramm in Distractionstellung die neutrale und die dynamische Distractionsstrecke gemessen und der Distractionswert ausgerechnet. Durch diese Methode ist keine Nachbearbeitung der Bilder mit spezieller Software nötig.

O'Brien et al. (1997) misst die Distraction anhand der Verknöcherungskerne des Femurkopfes und beschreibt Schwierigkeiten bei der Bestimmung der Ränder des Ossifikationskernes im Alter von 4 Wochen. Qualitativ gute Bilder lassen sich nach O'Brien et al. (1997) zwischen der 6. und 16. Woche anfertigen. Als Bezugspunkt bei der Bestimmung der Distractionsstrecken beim DSH-Welpen werden im Unterschied zu O'Brien et al. (1997) nicht die Femurkopfkerns genutzt, sondern die knorpelige Kontur des Femurkopfes. Der Vorteil ist, dass ab dem 1. Lebenstag die Bestimmung des Distractionswertes möglich ist, da ab diesem Zeitpunkt die knorpelige Struktur des Femurkopfes dargestellt werden kann. Über den gesamten Untersuchungszeitraum (1. Lebenstag bis 8. Lebenswoche) gab es keine Probleme, die entsprechenden Punkte mit einer guten Qualität und reproduzierbar wiederzugeben.

Die ermittelten Distractionswerte zeigen deutliche Unterschiede innerhalb der gleichen Altersgruppe, aber auch zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk. So konnte keine Korrelation zwischen dem rechten und linken Gelenk nachgewiesen werden ($p=0,18$).

Die gemessenen Distractionswerte liegen bei den DSH-Welpen zwischen 0,5 mm und 4,3 mm. O'Brien et al. (1997) bestimmte bei Rasse- (Labrador, Husky) und Mischlingshunden Distractionsstrecken zwischen 0,8 mm und 6,8 mm zwischen der 4. und 16. Lebenswoche. Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit zeigt für das rechte Hüftgelenk eine signifikante Abhängigkeit des Distractionswertes vom Alter ($p=0,008$). Der Distractionswert wird, je älter die Tiere werden, größer. O'Brien et al. (1997) stellt ebenfalls eine Korrelation zwischen der Zunahme der Distraction und des Alters fest. Für das linke Hüftgelenk ist keine signifikante Korrelation auf Altersabhängigkeit beim DSH-Welpen vorhanden. Insgesamt zeigt aber die Regressionsgerade auch für das linke Hüftgelenk eine positive Steigung.

Die laterale Schnittebene mit Außenrotation der Gliedmaße und die inguinale Schnittebene ist in der Humanmedizin nicht definiert. Sie wurden von Kresken (1991) zur Ermittlung der Gelenkkapseldicke, des Kopfkonturkapselabstandes und der Epiphysenscheibenhöhe herangezogen.

Im Unterschied zu Kresken (1991) wurden bei den verstorbenen DSH-Welpen deutlich niedrigere Gelenkkapseldicken gemessen. Kresken ermittelte für die Beaglewelpen in der 4. Lebenswoche für das linke Gelenk eine Kapseldicke von 1,2 mm und für rechts 1,3 mm. Nach Morgan (1985) beträgt die Gelenkkapseldicke beim erwachsenen Hund 1-2 mm. Die bei den DSH-Welpen (1. Lebenstag bis 8. Lebenswoche) gemessenen Kapseldicken liegen zwischen 0,2 mm und 0,6 mm. Statistisch hoch signifikant ist die Zunahme der Gelenkkapseldicke mit zunehmendem Alter. Auch Kresken stellt bei den älteren Beaglewelpen eine deutliche Zunahme der Gelenkkapseldicke fest. Die Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk für die Gelenkkapseldicke zeigen den signifikanten Zusammenhang beider Hüftgelenkseiten. Auch bei Kresken (1991) ist kein Unterschied zwischen der Gelenkkapseldicke des rechten und linken Hüftgelenkes zu finden. Pathologische Vorgänge im Hüftgelenk gehen z. T. mit der Verdickung der Gelenkkapsel einher, so stellte Riser (1975) bei einer Synovialitis die Verdickung der Kapsel fest. Die Veränderung der Gelenkkapseldicke kann mit dieser Untersuchungsmethode beim Welpen bestimmt werden.

Der Femurkopfkontur-Kapselabstand wurde im Gegensatz zu Kresken (1991) zwischen der äußeren knorpeligen Kontur des Femurkopfes und der Gelenkkapsel gemessen. Kresken bestimmt die Strecke zwischen dem Femurkopfkern und der Gelenkkapsel. Er beschreibt, dass er Probleme hat, das gesamte Ausmaß des Femurkopfes im Ultraschallbild einzusehen. Die äußere Kontur und der gesamte knorpelig präformierte Femurkopfes kann in der inguinalen Schnittebene beim DSH-Welpen ab dem 1. Lebenstag gut dargestellt werden. Die

Methode, die bei den DSH-Welpen angewendet wurde, hat den Vorteil, dass der Abstand auch bei den Welpen bestimmt werden kann, die noch keinen im Ultraschall sichtbaren Verknöcherungskern aufweisen. Auch wird von Graf (2000) angegeben, dass der Ossifikationskern nicht im Zentrum des Femurkopfes liegen muss, sondern die Lage variieren kann. Durch die unterschiedlichen Messpunkte wurden gegenüber den Beaglewelpen beim DSH-Welpen deutlich andere Werte für den Kopfkanturkapselabstand gefunden. So stellte Kresken die Abnahme des Kopfkanturkapselabstandes mit zunehmenden Alter durch das Wachstum des Ossifikationskernes fest. Bei den DSH-Welpen zeigt das linke Hüftgelenk eine Signifikanz zwischen der Zunahme des Kopfkanturkapselabstandes und dem zunehmendem Alter der Welpen. Auch die Steigung der Regressionsgerade für das rechte Hüftgelenk ist positiv und zeigt damit die Zunahme des Kopfkanturkapselabstandes mit zunehmenden Alter. Der Femurkopfkantur-Kapselabstand lässt auf die Füllung des Hüftgelenkes zurückschließen. So kann sich nach Lust et al. (1980) die Menge der Gelenkflüssigkeit um das Dreifache erhöhen. Die vermehrte Füllung hat eine Straffung und Lateralisierung der Gelenkkapsel zur Folge. Der Abstand zwischen der Gelenkkapsel und des Femurkopfes vergrößert sich damit.

Analog zu Kresken (1991) ist die Messung der Epiphysenscheibenhöhe beim DSH-Welpen wie beim Beaglewelpen durchführbar. Dabei kann eine deutliche Zunahme des ESH-Wertes mit zunehmendem Alter festgestellt werden. Dies zeigt auch die Korrelationsprüfung auf Altersabhängigkeit, die für beide Hüftgelenke signifikant ist. Die Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk ist mit $p < 0,001$ hoch signifikant. Zum gleichen Ergebnis kommt auch Kresken in seiner Arbeit. Kresken bestimmte für vier Wochen alte Beaglewelpen einen ESH-Wert von 4,89 mm. Die drei Wochen alten DSH-Welpen zeigen eine Epiphysenscheibenhöhe von 4,15 mm.

6 Zusammenfassung

Die Hüftsonographie ist seit 20 Jahren in der Humanmedizin etabliert und wird als das bildgebende Verfahren der Wahl zur Diagnose von Hüftreifungsstörungen beim Säugling in den ersten Lebenswochen genutzt. Es wird ein standardisierter Untersuchungsgang angewendet, bei dem quantitative (Knochenwinkel Alpha und Knorpelwinkel Beta) und qualitative Parameter bestimmt werden. Mit der Hilfe von Standardwerten wird eine Typisierung des Hüftgelenkes vorgenommen. Im Gegensatz zur Humanmedizin wird das Vorliegen einer Hüftgelenksdysplasie beim Hund mit der standardisierten Röntgenuntersuchung im Rahmen des offiziellen Screeningverfahrens in einem wesentlich höheren Alter diagnostiziert. Das zu untersuchende Tier ist bereits 12 Monate bzw. 13 bis 18 Monate alt (große und schwere Rassen).

Die Untersuchungen wurden mit dem Ultraschallgerät Toshiba Powervision 8000 mit einem 8 – 15 MHz Linearschallkopf an 78 Hüftgelenken von 38 verstorbenen und einem lebenden Deutschen Schäferhundwelpen (1. Lebenstag bis 8. Lebenswoche) durchgeführt. Zunächst erfolgte die Darstellung der anatomischen Strukturen sonographisch und der Vergleich mit präparierten Hüftgelenken. Ab dem 1. Lebenstag konnten die einzelnen Anteile des Hüftgelenkes beim DSH-Welpen sonographisch identifiziert werden.

Neben der Sonoanatomie des Hüftgelenkes wurde die somomorphologische Entwicklung des Gelenkes beschrieben. Der fortschreitende Verknöcherungszustand des Femurkopfes wurde bis zur 8. Lebenswoche beschrieben. Am Ende der 8. Lebenswoche war bis auf einen dünnen äußeren Saum und der Wachstumsfuge der gesamte Femurkopf verknöchert. Der Ossifikationskern des Oberschenkelkopfes hatte eine solche Größe angenommen, dass durch die distale Schallauslöschung die distalen Strukturen des Azetabulums nicht mehr eingesehen werden konnten. Beim Säugling verknöchert der Femurkopf wesentlich langsamer. Dort kann bis zum 12. Lebensmonat das Azetabulum eingesehen werden.

Ein Standarduntersuchungsgang mit drei Standardschnittebenen mit Befundung wurde erarbeitet. Dabei wurden folgende Parameter an den Hüftgelenken ermittelt: Alpha-Knochen- und Beta-Knorpel-Winkel, Distaktionswert, Epiphysenscheibenhöhe, Gelenkkapseldicke, Femurkopfkontur-Kapselabstand.

Der Standarduntersuchungsgang aus der Humanmedizin konnte modifiziert beim Deutschen Schäferhundwelpen vom ersten Lebenstag bis zur achten Lebenswoche angewendet werden. Zunächst erfolgt die Identifikation der anatomischen Strukturen. Dabei soll beim DSH-Welpen im Unterschied zum Säugling das Os ileum, die Gelenkkapsel und das Labrum aceta-

bulare aufgesucht werden. Die laterale Standardebene wurde analog zur Humanmedizin durch drei Schnittpunkte (Unterrand des Os ileum, knöcherner Erker des Pfannendaches, Labrum acetabulare) festgelegt. Zum Aufsuchen der Schnittebene muss im Unterschied zum Säugling der Schallkopf um ca. 30° aus der senkrechten Ebene in Richtung Sagittalebene des Tieres gekippt und um ca. 20° in seiner Längsrichtung in Richtung Tarsalgelenk gedreht werden. Im Gegensatz zur Humanmedizin stellte sich der knöcherne Erker beim DSH-Welpen in der Regel nicht eckig dar. Aus diesem Grund muss beim Einzeichnen der Ausstell- und Pfannendachlinie der Umschlagspunkt der Konkavität des Azetabulums in die Konvexität des Darmbeines als Drehpunkt genommen werden.

Zur Überprüfung der Wiederholbarkeit bei der Bestimmung der Winkelwerte wurden die Winkel an jedem Hüftgelenk fünf mal bestimmt. Die Wiederholbarkeitsprüfung für den Alpha- und Beta-Winkel zeigte eine gute Wiederholbarkeit bei der Bestimmung des Alpha-Winkels (s der Wiederholbarkeit=0,88) und eine geringgradig schlechtere Wiederholbarkeit für den Beta-Winkel (s der Wiederholbarkeit=2,45). Die Korrelationsprüfung zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk war für beide Winkel hoch signifikant ($p < 0,001$). Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit ergab sowohl für den Alpha- als auch für den Beta-Winkel eine hohe Signifikanz ($p < 0,001$). Die ermittelten Alpha- und Beta-Winkel wiesen erhebliche Abweichungen von den Parametern der Säuglingshüfte auf. Der errechnete Minimalmittelwert des Alpha-Winkels innerhalb der fünf Messungen betrug 72° und der Maximalwert $86,2^\circ$. Die Mittelwerte der fünf durchgeführten Messungen des Beta-Winkels lagen zwischen 26° und 63° . Eine Reifungskurve analog zur Humanmedizin wurde für beide Winkel erstellt. Dazu wurden fünf Altersgruppen definiert (1., 3.; 5,5., 7. und 8. Lebenswoche). Für jede Altersgruppe wurden die Mittelwerte der Winkel errechnet. Die Reifungskurve des Alpha-Winkels zeigte einen Anstieg von $76,2^\circ$ (1. Lebenswoche) bis auf $85,4^\circ$ (8. Lebenswoche). Der Beta-Winkel zeigte eine deutliche Abnahme von $55,9^\circ$ (1. Lebenswoche) bis auf $31,6^\circ$ (8. Lebenswoche).

Zur quantitativen Ermittlung der Gelenklockerheit des Hüftgelenkes beim Welpen diente der Distraktionswert. Dabei wurde die Subluxationsfähigkeit des Femurkopfes in kranio-dorsale Richtung sonographisch an der lateralen Standardebene dargestellt und durch Messungen quantitativ bestimmt. Der Distraktionswert lag bei den untersuchten Welpen zwischen 0,5 mm und 4,3 mm. Der Mittelwert betrug 1,8 mm (Standardabweichung=0,84). Die Einzelwerte zeigten deutliche Schwankungen innerhalb desselben Tieres und innerhalb der einzelnen Altersgruppen (z. B. Welpen 36 Tage alt: Distraktionswert rechts von 4,3 mm und links von

1,4 mm). Es konnte keine Korrelation zwischen dem rechten und linken Gelenk nachgewiesen werden ($p=0,18$).

Die Epiphysenscheibenhöhe wurde an der lateralen Standardebene mit Außenrotation der Gliedmaße bestimmt. In der ersten Lebenswoche konnte die Epiphysenscheibenhöhe noch nicht gemessen werden, da zu diesem Zeitpunkt noch kein Ossifikationskern des Femurkopfes sichtbar war. Innerhalb der zur Verfügung stehenden Welpen konnte bei dem 15 Tage alten Welpen die Epiphysenscheibenhöhe gemessen werden. Die Epiphysenscheibenhöhe lag bei den untersuchten Welpen zwischen 2,5 mm (15 Tage alter Welpe) und 9,3 mm (58 Tage alter Welpe). Die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit und die Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk waren signifikant. Es wurde eine deutliche Zunahme der Epiphysenscheibenhöhe mit zunehmendem Alter festgestellt.

Die Gelenkkapseldicke und der Femurkopfkontur-Kapselabstand wurde an der inguinalen Schnittebene bestimmt. Die Gelenkkapseldicke lag bei den untersuchten Welpen zwischen 0,2 mm und 0,6 mm. Sowohl die Regressionsanalyse auf Altersabhängigkeit, als auch die Korrelationsanalyse zwischen dem rechten und linken Hüftgelenk waren mit $p<0,001$ signifikant. Die Methode zur Ermittlung des Femurkopfkontur-Kapselabstandes wurde neu definiert. Der Femurkopfkontur-Kapselabstand wurde zwischen der äußeren knorpeligen Kontur des Femurkopfes und der Gelenkkapsel gemessen. Der Minimalwert betrug 0,2 mm und der Maximalwert 1,3 mm. Mit zunehmendem Alter wurde auch eine Zunahme des Femurkopfkontur-Kapselabstandes festgestellt.

7 Summary

Hip sonography has been established in human medicine for 20 years and is the preferred imaging method for the diagnosis of hip development disorders (hip dysplasia) among babies in the first weeks of life. A standardised examination method is used in which both quantitative (angle of bone alpha and angle of cartilage beta) and qualitative parameters are determined. The hip is typified using standard values. In comparison to human medicine, dysplasia of the hip joint in dogs is diagnosed at a much later age, whereby standardised x-ray examination is used as part of the official screening process. The animal to be examined has already reached the age of 12 months, or 13 to 18 months in the case of large and heavy breeds.

Examinations were carried out on 78 hip joints in 38 dead German Shepherd puppies and one living puppy (1 day to 8 weeks old) using the Toshiba Powervision 8000 ultrasound machine equipped with a high-resolution linear ultrasound scanner (8-15 MHz). First of all the anatomical structures were represented by sonography and compared to prepared hip joints. It was possible from the first day of life onwards to identify the separate parts of the hip joint of a German Shepherd puppy sonographically. Both the sonoanatomy and the sonomorphological development of the hip joint were examined. The ongoing ossification of the femur head was described up to the 8th week. At the end of the 8th week the whole femur head was ossified, except for a thin outer rim and the growth groove. The ossification centre of the femur head had spread to such an extent that it was not possible anymore to identify the distal structures of the acetabulum by means of distal sound deletion. In the case of the human baby, the femur head takes much longer to ossify, and it is possible to look inside the acetabulum up to the 12th month.

A standardised examination procedure was developed using three incision planes. The following parameters could be ascertained at the hip joints: angle of bone alpha and angle of cartilage beta, distraction value, height of the proximal epiphysis of femur bone, thickness of the joint capsule, and distance between head of femur and joint capsule.

A modified version of the standardised examination procedure used in human medicine could be applied in the case of German Shepherd puppies aged 1 day to 8 weeks. First the anatomical structures were identified. This involved locating the Os ileum, joint capsule and Labrum acetabulare of the German Shepherd puppy. As in human medicine, the standard lateral plane was determined by using three intersecting points (lower rim of the Os ileum,

bony convexity and Labrum acetabulare). In order to go to the incision plane, the scanner was tilted by 30° from the vertical plane in the direction of the sagittal plane of the animal and then turned longitudinally by 20° towards the tarsal joint. Unlike in the human baby, the bony convexity in the German Shepherd puppy does not have an angular shape. For this reason when drawing the line of measurement, the changeover from the concavity of the acetabulum to the convexity of the iliac bone has to be taken as a pivotal point.

In order to check the reproducibility of the values, the angles of each hip joint were measured five times. Reproducibility was good in the case of angle alpha (standard deviation [s] = 0.88) and slightly worse in the case of angle beta (s = 2.45). The correlation between the right and the left hip joint was highly significant for both angles ($p < 0.001$), as was the regression analysis of the age-dependency factor ($p < 0.001$). The parameters of the two angles showed significant differences to those of the hip of the human baby. The minimum mean value of angle alpha after five readings was 72° , the maximum value was 86.2° . The mean values of the five readings of angle beta lay between 26° and 63° . A maturity curve analogous to human medicine was drawn for both angles. For this purpose, five different age groups were defined (at 1, 3, 5.5, 7 and 8 weeks of life). The mean values of the angles were calculated for each group. The maturity curve of angle alpha increased from 76.2° (1st week) to 85.4° (8th week). Angle beta decreased significantly from 55.9° (1st week) to 31.6° (8th week).

The looseness of the hip joint in the puppy was determined with the help of the distraction value. Hereby, the ability of the femur head to sublunate was shown sonographically in a cranial-dorsal direction at the lateral incision plane and measured quantitatively by taking readings. The distraction value in the puppies which were examined lay between 0.5 mm and 4.3 mm. The mean value was 1.8 mm (standard deviation = 0.84). The single values diverged significantly from age group to age group, and even in the same animal (e.g. one puppy aged 36 days had a distraction value of 4.3 mm on the right and 1.4 mm on the left). No correlation could be shown between the right and the left joint ($p=0.18$).

The height of the proximal epiphysis of femur bone was determined by means of outer rotation at the lateral plane. It was not possible to carry out the measuring procedure in first week of life, since at that time the ossification centre of the femur head was not yet visible. The minimum age for this examination was considered to be 15 days. The height of the proximal epiphysis of femur bone was found to range from 2.5 mm (in a 15-day-old puppy) to 9.3 mm (in a 58-day-old puppy). Regression analysis of the age-dependency factor and the correlation between the right and the left hip joint were significant. Thus it was shown that

with increasing age, there was a distinct rise in the height of the proximal epiphysis of femur bone.

The thickness of the joint capsule and the distance between the femur head and the joint capsule were determined at the inguinal incision plane. The thickness of the joint capsule in the puppies which were examined lay between 0.2 mm and 0.6 mm. Regression analysis of the age-dependency factor and the correlation between the right and the left hip joint showed a significant value of $p < 0.001$. The method for determining the distance between the femur head and the joint capsule was newly defined. It was now measured from the outer cartilaginous contour. The minimal value was 0.2 mm and the maximum value was 1.3 mm. Thus it was shown that with increasing age, there was also a widening of the gap between the femur head and the joint capsule.

8 Literaturverzeichnis

Anderson, W. D., Anderson, B. G. (1994)

Atlas of Canine Anatomy
Lea und Febiger

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

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

Bloomberg, M. S. (1990)

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

Böhme, R. (1976)

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

Brass, W. (1989)

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

Brunnberg, L. (1999)

Lahmheitsdiagnostik beim Hund
Parey Buchverlag, Berlin

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

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

Burk, R. L., Ackermann, N. (1991)

Lehrbuch und Atlas der Kleintierradiologie
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Casser, H. R. (1992)

Sonographiegesteuerte Behandlung der dysplastischen Säuglingshüfte
Enke, Stuttgart

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

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

Dahme, E., Weiss, E. (1988)

Grundriss der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere, Kapitel 11, Stütz-
und Bewegungsapparat, 314-351
Enke Verlag, Stuttgart

Dämmrich, K., Brass, W. (1993)

Hüftgelenksdysplasie (Dysplasia acetabuli) 118-120 in Schebitz, H., Brass, W., Wint-
zer, H.-J.: Allgemeine Chirurgie für Tierärzte und Studierende, 2. Auflage,
Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg

Debrunner, A. M. (1985)

Orthopädie – Die Störungen des Bewegungsapparates in Klinik und Praxis, 2. Auflage
Verlag Hans Huber, Göttingen

Dietschi, E., Claude, G. Schawalder, P. (2000)

Die HD-Diagnostik beim Hund mit speziellen Bemerkungen zum Schweizer HD-
Beurteilungsschema im Hinblick auf die Zuchtwertschätzung
Kleintierpraxis 45, 81-93

Dixon, W. J. (1993)

BMDP Statistical Software Manual
University of California Press, Los Angeles, Berkeley, New York

Dorn, U., Hattwich, M. (1987)

Erste Erfahrungen mit der routinemäßig durchgeführten Hüftsonographie bei Neuge-
borenen
Wien Klin. Wochenschr. 99: 92-95

Dubs-Kunz, B. (1990)

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

Dudwiesus, H. (1995)

in: Sohn/Holzgreve: Ultraschall in Gynäkologie und Geburtshilfe
Georg Thieme Verlag, Stuttgart

Engelke, A., Gassner, G. (1996)

Kapitel 12: Gliedmaßen und Wirbelsäule, 329-365
in: Poulsen-Nautrup, Tobias: Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik
bei Hund und Katze
Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover

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

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

Fink, I. (1996)

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

Flückiger, M. (1993)

Die standardisierte Beurteilung von Röntgenbildern von Hunden auf Hüftgelenksdysplasie
Kleintierpraxis 38, 693-702

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

Die Bekämpfung der Hüftgelenksdysplasie in der Schweiz; ein Rückblick auf die vergangenen 24 Jahre
Schweiz. Arch. Tierheilk. 137, 243-250

Flückiger, M. (1997)

Kap. 1: Grundlagen der Ultraschalldiagnostik, 1-8
in: Braun, U.
Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik beim Rind, Parey

Franke, D., Lazovic, D., Overhoff, H. M., v. Jan, U., Rühmann, O. (1997)

Neue Ansätze zu einer 3D-sonographischen Darstellung der Säuglingshüfte
Orthopäde 26, 210-214, Springer-Verlag

Fritsch, R., 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
Vet. Med. Diss., Giessen

Gerwing, M., Kramer, M. (1991a)

Neue Anwendungsgebiete der Sonographie beim Kleintier
in: 37. Jahrestagung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft
Kongr. Ber., Stuttgart, 51-54

Gerwing, M., Kramer, M. (1991b)

Sonographie in der Orthopädie
in: XVI: WSAVA und VI. Jahrestagung VÖK
Kongr.-Ber., Wien, 407-408

Gerwing, M., Kramer, M. (1992)

Sonographische Weichteilbeurteilung in der Orthopädie bzw. Traumatologie
in: 38. Jahrestagung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft
Kongr. Ber., Bonn, 435-438

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

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

Graf, R. (1982a)

Ultraschalldiagnostik bei Säuglingshüften
Z. Orthop. 120, 583-589

Graf, R. (1982b)

Anatomische Strukturen der Säuglingshüfte und ihre sonographische Darstellung
Morphol. Med. 2, 29-32

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. (1997)

Die aktuelle Hüftsonographie-Screeningdiskussion: Entwicklung in Deutschland, Ös-
terreich und international
Praktische Pädiatrie 3, 274-283

Graf, R. (2000)

Sonographie der Säuglingshüfte und therapeutische Konsequenzen
Thieme Verlag, Stuttgart

Graf, R., Schuler, P. (1988)

Sonographie am Stütz- und Bewegungsapparat bei Erwachsenen und Kindern
Ed. Medizin, VCH, Weinheim

Graf, R., Tschauer, Chr. (1994)

Sonographie der Säuglingshüfte – Fehlerquellen, Fortschritte und aktuelle klinische
Relevanz
Radiologe 34, 30-38

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

Ultrasound evaluation of the coxofemoral joints of the canine neonate
Vet. Radiol. 33, 99-104

Grill, F., Müller, D. (1997)

Ergebnisse des Hüftultraschallscreenings in Österreich
Orthopäde 26, 25-32

Gustafsson, P. O., Kasström, H., Olsson, S.-E., 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

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

Hedtmann, A., Fett, H. (1988)

Atlas und Lehrbuch der Schultersonographie
Bücherei des Orthopäden Band 52
Enke Verlag, Stuttgart

Henninger, W. (1992)

Der kraniallaterale Pfannenrand des kaninen Hüftgelenkes. Ein Beitrag zur Hüftgelenkdysplasie
Vet. Med. Diss., Wien

Henricson, B., Norberg, I., Olsson, S.-E. (1966)

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

Henschel, K. (1983)

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

Hofmann, S., Tschauer, C., Urban, M., Eder, T., Czerny, C. (1998)

Klinische und bildgebende Diagnostik der Labrumläsion des Hüftgelenks
Orthopäde 27, 681-689, Springer-Verlag

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

Kapitel II-1: Physikalische Grundlagen
in: Braun, Günther, Schwark (1983):
Ultraschalldiagnostik. Lehrbuch und Atlas
Verlag ECOMED, Landsberg, München, Zürich

Kealy, J. K. (1991)

Röntgendiagnostik bei Hund und Katze, 2. Auflage
Enke Verlag Stuttgart

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

Effects of limited food consumption on the incidence of hip dysplasia in growing dogs
J. Am. Vet. Med. Assoc. 201, 857-863

Keller, G. G. (1991)

Stress radiography: an aid for early detection of canine hip dysplasia
Can. Pract. 16, 5-14

Koch, T., Berg, R. (1992)

Lehrbuch der Veterinär-Anatomie, Band I: Bewegungsapparat
5. Auflage
Gustav Fischer Verlag, Jena, 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 beim Hund
37. Jahrestagung der Fachgruppe Kleintierkrankheiten der DVG, Stuttgart
Kongr. Ber., Stuttgart, 51-54

Kramer, M. (1992)

Die sonographische Anatomie des Schultergelenkes und seines Weichteilmantels beim erwachsenen Hund
Vet. Med. Diss., Giessen

Kramer, M., Gerwing, M. (1994a)

Die Sonographie des Schultergelenkes und seiner umgebenden Weichteile beim Hund
Teil A: Die sonographische Anatomie des Schultergelenkes und seines Weichteilmantels
Kleintierpraxis 39, 71-80

Kramer, M., Gerwing, M., Tellhelm, B. (1994b)

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., Gerwing, M. (1996a)

Die Bedeutung der Sonographie in der Orthopädie beim Hund
Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 109, 130-135

Kramer, M., Gerwing, M. (1996b)

Die sonographische Diagnostik von Fremdkörpern bei Hund und Katze
Tierärztl. Prax. 24, 378-384

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

Sonography of the musculoskeletal system in dogs and cats
Vet. Radiol. & Ultrasound 38, 139-149

Kramer, M., Gerwing, M., Sheppard, C., Schimke, E. (1999)

Sonography of the canine stifle
Vet. Radiol. & Ultrasound 40, 282-293

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, Universität Giessen

Kresken, J.-G. (1991)

Zur Ultraschalluntersuchung des Hüftgelenkes beim Hundewelpen
Vet. Med. Diss., München

Lanting, F. (1981)

Canine hip dysplasia and other orthopedic problems
Alpine Publications, Inc. South Garfield, Loveland, Colorado

Linnmann, M. (1998)

Die Hüftgelenkdysplasie des Hundes
Parey Buchverlag, Berlin

Loeffler, K. (1979)

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

Loeffler, K. (1990)

in: Ficus, H. J., Loeffler, K., Schneider-Haiss, M., Stur, I.
Hüftgelenkdysplasie bei Hunden
Enke Verlag, Stuttgart

Loeffler, K. (1994)

Anatomie und Physiologie der Haustiere
9. Auflage
Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart

Lust, G., Beilman, W. T., Rendano, V. T. (1980)

A relationship between degree of laxity and synovial fluid volume in coxofemoral joints of dogs predisposed for hip dysplasia
Am. J. Vet. Res. 41, 55-60

Marx, I. (1975)

Beiträge zum Vorkommen und zur Genese der Mißbildungen bei Hunden dargestellt am Beispiel der Hüftgelenkdysplasie, des Kryptorchismus und der Praemolarverluste beim Deutschen Wachtelhund
Vet. Med. Diss., Leipzig

Melzer, C. (1994)

Besteht ein Zusammenhang zwischen dem sonographischen und röntgenologischen Bild des Säuglingshüftgelenkes?
Ultraschall Klin. Prax. 8, 253-257

Melzer, C. (1997)

Korrelation Sono und Röntgen
Orthopäde 26, 43-48, Springer-Verlag

Michele, U. (2000)

Sonographie des Ellbogengelenkes und seines Weichteilmantels beim gesunden Hund
Vet. Med. Diss., Giessen

Montavon, P. M. (1992)

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

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

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

Müller, L.F., Saar, C. (1966)

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

Nickel, R., Schummer, A., Wille, K.-H., Wilkens, H. (1992)

Passiver Bewegungsapparat, Skelettsystem, 15-569
in: Band I, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, 6. Auflage
Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E.
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

O'Brien, R. T., Dueland, R. T., Adams, W. M., Meinen, J. (1994)

Ultrasound diagnosis of hip dysplasia in two litters of puppies
Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 7, 59-65

O'Brien, R. T., Dueland, R. T., Adams, W. M., Meinen, J. (1997)

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

Olsson, S.-E. (1980)

Gelenkleiden bei Hunden als Folge von Entwicklungsstörungen. In: 26. Jahrestagung der Dtsch. Vet. Med. Ges., Fachgruppe Kleintierkrankheiten, Karlsruhe 13.-15.11.1980
Kongr. Ber., Giessen, 111-130

Ortolani, M. (1976)

The classic: Congenital hip dysplasia in the light of early and very early diagnosis
Clin. Ortho. Rel. Res. 119, 6

Paatsama, S., Rissanen, P., Rokkanen, P. (1966)

Some aspects of hip dysplasia and coxa plana in dogs
J. Small Anim. Pract. 7, 477-481

Prieur, W. D. (1980)

Coxarthrosis in the dog part I: Normal and abnormal biomechanics of the hip joint
Vet. Surg. 9, 145-149

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

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

Riser, W. H., Cohen, D., Lindqvist, S., Mansson, J., Chen, S. (1964)

Influence of early rapid growth and weight gain on hip dysplasia in the German Shepherd Dog
J. Am. Vet. Med. Assoc. 145, 661-668

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

Hip dysplasia – Coxofemoral abnormalities in neonatal German Shepherd Dogs
J. Small Anim. Pract. 7, 7-12

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. (1975)

The dog as a model for the study of hip dysplasia. Growth, form and development of the normal and dysplastic hip joint

Vet. Pathol. 12, 235-334

Riser, W. H., Rhodes, W. H., Newton, C. H. (1985)

Hip dysplasia , 953-980, in: Newton, C. D., Nunamaker, D. M. (1985): Textbook of small animal orthopedics

J. B. Lippincott Comp., Philadelphia

Riser, W. H. (1987)

A half century of canine hip dysplasia

Sem. Vet. Med. Surg. Small Anim. 2, 87-91

Rott, H. D. (1984)

Ultraschall in der Medizin: Biologische Wirkungen und Sicherheitsaspekte

Deutsches Ärzteblatt 81, 1071-1074

Sattler, H. (1994)

Arthrosonographie in:

Braun, B., Günther, R., Schwerk, WB. (1983)

Ultraschalldiagnostik – Lehrbuch und Atlas

Ecomed Verlagsgesellschaft, Landsber, München, Zürich

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

Musculus-gracilis-Kontraktur beim Hund

38. Jahrestagung der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft Bonn

Kongr. Ber, Bonn, 404-405

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

Gelenkerkrankungen, Kap. 24, 790-828, in: Freudiger, U., Grünbaum, E.-G., Schimke, E.: Klinik der Hundekrankheiten, 2. überarbeitete Auflage

Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart

Schleich, S., Tellhelm, B., Schimke, E., Gerwing, M., 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, Bonn
Kongr. Ber., Bonn, 406-420

Smith, R. N. (1964)

The pelvis of the young dog
Vet. Rec. 76, 975-979

Smith, G. K., Biery, D. N., Gregor, T. P. (1990)

New concepts of coxofemoral joint laxity and development of a clinical stress-radiography method for quantitating hip joint laxity in the dog
J. Am. Vet. Med. Assoc. 196, 59-70

Schran, M. (1973)

Zur Frühdiagnose der Hüftgelenksdysplasie und ihre territoriale Verbreitung im Gebiet der DDR
Vet. Med. Diss., Berlin

Stengel, H. (1997)

Sonographische Darstellung des Kniegelenkes und seiner Weichteile beim gesunden erwachsenen Hund
Vet. Med. Diss. Universität Giessen, 1997

Späthling, S., Lüftl, S. (1996)

Kap. 1.2: Artefakte, 6-11
in: Kellner, H. und Reimers, C.D.
Sonographie der Bewegungsorgane
Urban und Schwarzenberg

Ticer, J. W. (1975)

Radiographic technique
in Small Animal Practice, W. B. Saunders Co., Philadelphia

Trout, N. J., Boudrieau, R. J., Penninck, D. G., Wooton, S. (1993)

A prospective study of canine hip dysplasia using ultrasound

A preliminary report

Vet. Surg. 22, 248

Widmer, W. (1978)

Beitrag zur Entwicklung des Skeletts der Hintergliedmaße beim Deutschen Schäferhund

Vet. Med. Diss., Humboldt Univ., Berlin

Zilch, H. (1989)

in: Zilch, H., Weber, U.: Lehrbuch der Orthopädie

Walter de Gruyter, Berlin, New York, 205-227; 421-428

DANKSAGUNG

Ein herzliches Dankeschön all denen, die mich während der Erarbeitung und Niederschrift meiner Dissertation in fachlicher und moralischer Hinsicht tatkräftig unterstützten.

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. E. Schimke für die freundliche Aufnahme in der Chirurgischen Veterinärklinik der JLU-Giessen und für die Ausbildung auf dem Gebiet der Chirurgie.

Herrn Prof. Dr. M. Kramer gilt mein besonderer Dank für die chirurgische und sonographische Ausbildung, für die stets spontane und freundliche Unterstützung bei der Erstellung der Arbeit und für die vertrauensvolle Überlassung des interessanten Themas.

Mein aufrichtiger Dank gebührt Herrn Prof. Dr. E. Schimke und Herrn Prof. Dr. M. Kramer für ihren großen persönlichen Einsatz und die stetige Diskussionsbereitschaft.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. B. Tellhelm für die fachliche Anleitung in der Hüftgelenksdiagnostik, für die vielen Anregungen und Ratschläge und für die radiologische Ausbildung danken.

Einen herzlichen Dank auch allen Kolleginnen/Kollegen und Mitarbeiterinnen/Mitarbeitern für die praktischen und theoretischen Hilfestellungen; im besonderen Herrn Privatdozent Dr. M. Gerwing für die fachliche Anleitung im sonographischen Bereich.

Desweiteren bedanke ich mich bei Herrn Dr. Failing und Herrn Heiter für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Für die spontane Hilfsbereitschaft und die freundliche Einarbeitung in der kinderradiologischen Diagnostik, insbesondere auf dem Gebiet der Hüftsonographie beim Säugling, danke ich Herrn Prof. Dr. Alzen und seinen Mitarbeitern der Kinderradiologischen Abteilung der JLU-Giessen.

Nicht zuletzt gilt mein besonderes Dankeschön allen Schäferhundzüchtern und Tierärzten, ohne deren Interesse an der Durchführung und den Ergebnissen der Arbeit eine Fertigstellung nicht möglich gewesen wäre.

Ferner danke ich meiner Familie und meinen Freunden für den Beistand, hier im besonderen meiner Mutter, meinem Vater und meinem Bruder.

Meiner Frau und meinen Kinder sei für die unermüdliche Geduld und für den Zuspruch herzlich gedankt.