

TANJA GOLLA

EINSATZ DER SONOGRAPHIE ZUR UNTERSUCHUNG
VON RÜCKENMARK UND RÜCKENMARKS-
ERKRANKUNGEN BEIM HUND, UNTER BESONDERER
BERÜCKSICHTIGUNG DES BANDSCHEIBENVORFALLS

-
eine intra - und postoperative Studie



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.

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

1. Auflage 2010

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

1st Edition 2010

© 2010 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen
Printed in Germany



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890
email: redaktion@doktorverlag.de

www.doktorverlag.de

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

Betreuer: Prof. Dr. M. Kramer

**Einsatz der Sonographie zur Untersuchung von Rückenmark und
Rückenmarkserkrankungen beim Hund, unter besonderer
Berücksichtigung des Bandscheibenvorfalles**

- eine intra – und postoperative Studie -

INAUGURAL- DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines

Dr. med. vet.

beim Fachbereich Veterinärmedizin der
Justus – Liebig – Universität Gießen

eingereicht von

TANJA GOLLA

Tierärztin aus Schwäbisch Hall

Gießen 2010

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

Dekan:

Prof. Dr. Dr. habil G. Baljer

Gutachter:

Prof. Dr. M. Kramer
PD Dr. M. Schneider

Tag der Disputation:

23. November 2009

Meinen Eltern gewidmet

Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbstständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus – Liebig – Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.

Tanja Golla

Inhaltsverzeichnis	Seite
Abkürzungsverzeichnis	
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht der Grundlagen	2
2.1. Anatomische Grundlagen	2
2.1.1. Knöcherner Anteil	2
2.1.2. Rückenmark und Rückenmarkshäute	5
2.1.3. Blutgefäßversorgung	8
2.1.4. Umgebende Muskulatur	9
2.2. Pathologische Grundlagen	11
2.2.1. Diskopathie (Bandscheibenvorfall)	11
2.2.2. Weitere Pathologien im Bereich des Rückenmarkes	12
2.3. Physikalische Grundlagen des Ultraschalls	15
2.3.1. Artefakte	16
2.3.1.1. Schallschatten (distale Schallauslöschung)	16
2.3.1.2 Schallverstärkung	16
2.3.1.3 Reverberation (Wiederholungsechos)	17
2.3.1.4. Rauschen	17
2.3.1.5. Tangentialphänomen	17
2.3.1.6. Bogenartefakt	17
2.4. Technische Grundlagen des Ultraschalls	18
2.4.1. Bildarten	18
2.4.2. Schallkopftypen	18
2.4.3. Verstärkung	19
2.4.4. Auflösung	19
2.4.5. Bildinterpretation	20
3 Literaturübersicht der Sonographie im Bereich der Wirbelsäule	21
3.1. Humanmedizinische Literatur	21
3.2. Veterinärmedizinische Literatur	26
4 Material und Methoden	31
4.1. Gerätebeschreibung	31
4.1.1. Schallköpfe	31
4.1.2. Bildeinstellung	31

4.1.2.1. Gesamtverstärkung	32
4.1.2.2. Tiefenverstärkung	32
4.1.2.3. Dynamikbereich	32
4.1.3. Bildwiedergabe	32
4.1.3.1. Fokuszonen	32
4.1.3.2. Beschriftung	32
4.1.3.3. Distanzmessung	33
4.1.3.4. Monitor	33
4.1.4. Dokumentation	33
4.2. Patientenauswahl	33
4.3. Voruntersuchungen	37
4.4. Eigentliche Untersuchungen	37
4.4.1. Vorbereitung und Untersuchung der intraoperativ untersuchten Diskopathiepatienten	37
4.4.1.1. Anästhesie	37
4.4.1.2. Lagerung	37
4.4.1.3. Scheren	38
4.4.1.4. Ankopplung	38
4.4.1.5. Untersuchungsgang	38
4.4.2. Vorbereitung und Untersuchung der postoperativ untersuchten Diskopathiepatienten	39
4.4.2.1. Lagerung	39
4.4.2.2. Scheren	39
4.4.2.3. Ankopplung	39
4.4.2.4. Untersuchungsgang	39
4.4.3. Vorbereitung und Untersuchung der Patienten mit weiteren Pathologien im Bereich des Rückenmarkes	40
4.4.3.1. Anästhesie	40
4.4.3.2. Lagerung	40
4.4.3.3. Scheren	40
4.4.3.4. Ankopplung	40
4.4.3.5. Untersuchungsgang	41
4.5. Statistische Auswertung	41

5 Ergebnisse	45
5.1. Ergebnisse der Voruntersuchungen	45
5.2. Ergebnisse der Diskopathiepatienten	47
5.2.1. Allgemeines	47
5.2.2. Untersuchung des Rückenmarkes	51
5.2.2.1. Intraoperative Untersuchungen	51
5.2.2.2. Postoperative Untersuchungen	53
5.2.3. Untersuchung der pathologischen Veränderungen (Bandscheibenvorfall, bzw. reflexreiches Material)	56
5.2.3.1. Intraoperative Untersuchungen	57
5.2.3.2. Postoperative Untersuchungen	61
5.3. Ergebnisse der Patienten mit weiteren Pathologien im Bereich des Rückenmarkes	71
5.3.1. Zyste	71
5.3.2. Rückenmarkstumor	73
5.3.3. Rückenmarkstrauma (Myelomalazie, Blutung)	79
6 Diskussion	87
7 Zusammenfassung	99
8 Summary	101
9 Literaturverzeichnis	103
10 Anhang	119
11 Danksagung	133

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Bdsch.	Bandscheiben
BSH	Berner Sennenhund
BWS	Brustwirbelsäule
bzw.	beziehungsweise
C	Cervikalabschnitt
ca.	circa
CKCS	Cavalier King Charles Spaniel
CT	Computer Tomographie
d.h.	das heißt
DSH	Deutscher Schäferhund
Dt. Jagdterrier	Deutscher Jagdterrier
E	Extrusion
E/P	Extrusion/Protrusion gemischt
evtl.	eventuell
Franz. Bulldogge	Französische Bulldogge
ggf.	gegebenenfalls
ggr.	geringgradig
H	Hemilaminektomie
H/K	Hemilaminektomie mit lateraler Korpektomie
hgr.	Hochgradig
HWS	Halswirbelsäule
i.d.R.	in der Regel
incl.	inclusive
J	Jahre
KHD	Kurzhaardackel
L	Laminektomie
LHD	Langhaardackel
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
Lokal.	Lokalisation
LWS	Lendenwirbelsäule
M	Männlich
M.	Musculus
Mm.	Musculi
mgr.	mittelgradig
Mix	Mischling
MRT	Magnetresonanztomographie
obB.	ohne besonderen Befund
OP	Operation
P	Protrusion
p	Signifikanz
Patho	Pathologie
pop	postoperativ
Proc.	Processus
Procc.	Processus
reflexr.	reflexreich
RM	Rückenmark
r _s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

S	Sakralabschnitt
Staffordshire T.	Staffordshire Terrier
Th	Thorakalabschnitt
US	Ultraschall
V	Ventral slot
V.	Vena
Vv.	Venae
v.a.	vor allem
W	Weiblich
Weißer Schäferh.	Weißer Schäferhund
WHT	West Highland White Terrier
z.B.	zum Beispiel
Z	Zeitpunkt
z.T.	zum Teil

1 Einleitung

In der Humanmedizin wird die Sonographie im Bereich der Orthopädie, z.B. zur Diagnostik von Meniskusschäden seit mehr als 25 Jahren eingesetzt und inzwischen routinemäßig verwendet (DRAGONAT et al. 1980, SOHN et al. 1987, RICHTER et al. 1992).

In der Neurochirurgie finden sich erste Berichte über den Einsatz des Ultraschalls ebenfalls bereits in den 80 er Jahren (FINLAY et al. 1981, HIBBERT et al. 1981). Ein weiterer Zweig, in dem die Sonographie inzwischen standardmäßig eingesetzt wird, ist die neurologische Pädiatrie. Sie stellt eine gut etablierte Methode dar, mit der angeborene Missbildungen von Wirbelkörpern, Wirbelkanal, Rückenmark und Rückenmarkshäuten diagnostiziert werden können (UNSINN et al. 2000, COLEY et al. 2001, LAM et al. 2004).

Bisher existieren in der Veterinärmedizin nur wenige Studien, die sich mit der Frage auseinandersetzen, inwieweit der Ultraschall des Rückenmarkes bei der bildgebenden Diagnostik von Pathologien, insbesondere beim Hund eine Rolle spielen könnte, z.B. zur intraoperativen Navigation oder zur postoperativen Kontrolle (FINN-BODNER et al. 1993, NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, HUDSON et al. 1995, GALLOWAY et al. 1999, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, TANAKA et al. 2006).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es zum einen, die in der Literatur sporadisch vorhandenen sonographischen Beschreibungen der anatomischen Gegebenheiten und einiger häufig auftretender pathologischer Veränderungen im Bereich des Rückenmarkes beim Hund, insbesondere der Bandscheibenvorfälle, zu überprüfen. Zum anderen sollen die intra – und postoperativen Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Sonographie eruiert und die Frage beantwortet werden, ob der Ultraschall bei Erkrankungen im Rückenmarksbereich eine sinnvolle Ergänzung zu den etablierten bildgebenden Verfahren in diesem Bereich, wie Myelographie, Röntgen, Computertomographie und Magnetresonanztomographie sein könnte.

2 Literaturübersicht der Grundlagen

2.1. Anatomische Grundlagen Wirbelsäule

2.1.1. Knöcherner Anteil

Wirbelsäule, Columna vertebralis des Fleischfressers

Die Wirbelsäule besteht aus einzelnen Wirbeln, die mit einem zentralen Wirbelloch versehen sind, dem Foramen vertebrale. Aneinandergereiht bilden sie den stabilen Wirbelkanal, den Canalis vertebralis, welcher die schützende Ummantelung für das Rückenmark darstellt und nur an wenigen Stellen eine vermehrte Beweglichkeit zulässt, so am Spatium interarcuale atlantooccipitale und Spatium interarcuale sacrococcygeale (NICKEL et al. 1975).

Die Wirbelsäule wird entsprechend ihrer Lokalisation in 5 Bereiche eingeteilt, in die Cervical-Thorakal-, Lumbal-, Sacral- und Coccygealwirbelsäule. Die Kurzbezeichnung umfasst den ersten Buchstaben des entsprechenden Wirbelsäulenabschnittes, gefolgt von einer Zahl, die die Anzahl der einzelnen Wirbelkörper angibt, also z.B. C7 für den 7-ten Halswirbel.

Allen Wirbeln gemeinsam ist ihre Grundform (siehe Abb. 1), die allerdings entsprechend ihrer Lage und Funktion variiert. Der ventrale Anteil des Wirbels wird als Wirbelkörper, Corpus vertebrae bezeichnet (NICKEL et al. 1975).

Die Dorsalfläche wird vom Wirbelbogen, dem Arcus vertebrae, mit dem ventralen Pediculus und der sich dorsal anschließenden Lamina arcus vertebrae gebildet. (NICKEL et al. 1975, KRAHMER et al. 1986, EVANS et al. 1995, BUDRAS et al. 2007).

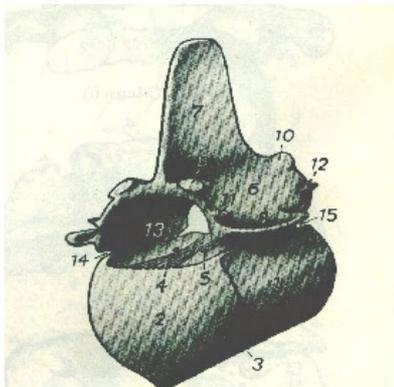


Abb. 1: Grundform aller Wirbelkörper, Nickel et al. 1975: 1 = Corpus vertebrae, 2 = Extremitas cranialis, 3 = Christa ventralis, 4 = Bandleiste, 5 = Gefäßkanäle, 6 = Arcus vertebrae, 7 = Processus spinosus, 8 = Processus transversus, 9 = Processus articularis cranialis, 10 = Processus articularis caudalis,

11= Processus mammilaris, 12 = Processus accessorius, 13 = Foramen vertebrale, 14 = Incisura vertebralis cranialis, 15 = Incisura vertebralis caudalis

Der Canalis vertebralis zusammengesetzt aus den einzelnen Foramina vertebralia zeigt einen divergierenden Durchmesser an den einzelnen Abschnitten der Wirbelsäule, welcher den verschiedenen Anschwellungen des Rückenmarks entspricht.

So besteht im Bereich der Halswirbelsäule der größte Durchmesser, während im caudalen Lendenwirbelsäulenbereich bis hin zur Schwanzwirbelsäule eine Verschmälerung vorhanden ist (NICKEL et al. 1975, EVANS et al. 1995). Im Bereich der Cervical- bzw. der Lumbalschwungelung findet sich ebenfalls eine Erweiterung.

Die craniale, konvexe Fläche des Corpus vertebrae wird als Extremitas cranialis, die caudale, konkave entsprechend als Extremitas caudalis benannt. An dieser Stelle sind die benachbarten Wirbelkörper durch die Bandscheiben, die Disci intervertebralis miteinander verbunden. Diese bilden die Pufferzone der relativ starr ausgebildeten Wirbelsäule. Sie bestehen aus dem zentral gelegenen Nucleus pulposus, welcher von einem Faserring dem Anulus fibrosus umschlossen wird. Der Nucleus pulposus besitzt eine gelatineähnliche Konsistenz und enthält Proteoglykane zur Wasserspeicherung. Der Anulus fibrosus baut sich aus konzentrisch angeordneten Lamellen von fibrinösem Knorpel und elastischen Fasern auf. So ist eine gute Stoßabfederung gegeben (NICKEL et al. 1975).

Die Dorsalfläche des Corpus wird von einer Bandleiste überzogen, beiderseits davon liegen Längsrinnen für die Wirbelblutleiter. Hier durchqueren Gefäßkanäle den Corpus und münden an der Christa ventralis.

Das Zwischenwirbelloch, Foramen intervertebrale wird jeweils von der Incisura vertebralis cranialis und caudalis gebildet, welche sich als Einkerbung am Ursprung der Arcus vertebrae darstellt (NICKEL et al. 1975, BUDRAS et al. 2007).

Die Wirbel zeigen außerdem verschiedene Wirbelfortsätze, Processus vertebrae genannt, die als Ansatzfläche für die Muskulatur dienen oder an der Bildung von Gelenken beteiligt sind.

Es sind jeweils 1 Dornenfortsatz, Processus spinosus, 2 Querfortsätze, Processus transversi, 4 Gelenkfortsätze, Processus articulares craniales und caudales und an Brust - und Lendenwirbelsäule außerdem zusätzlich 2 Zitzenfortsätze, Processus mamillares zu finden. Außerdem bestehen an den letzten Brust - und Lendenwirbeln je 2 Hilfsfortsätze, Processus accessorii (NICKEL et al. 1975, KRAHMER et al. 1986, EVANS et al. 1995, BUDRAS et al. 2007).

Die Form der einzelnen Wirbel variiert je nach Position innerhalb der Wirbelsäule.

Im Bereich der Halswirbelsäule unterscheiden sich die ersten beiden Halswirbel, der Atlas und der Axis stark von den restlichen Wirbeln. Beim Atlas bestehen die Hauptunterschiede im Fehlen des Proc. spinosus, den flügelartigen lateralen Ausziehungen (Ala atlantis), der Verkleinerung des Corpus vertebrae, jetzt Arcus ventralis genannt, und den veränderten Procc. articulares, die sich hier als Foveae darstellen. Der Atlas umschließt cranial mit den Foveae articulares craniales die Condylen des Os occipitale und bildet caudal mit den Foveae articulares caudales, die ventral in die Fovea dentis übergehen die Aufnahme­fläche für den Dens des Axis. Die Besonderheiten des 2-ten Halswirbels, des Axis bestehen zum einen in dem langgezogenen, kammförmigen Processus spinosus und zum anderen in der cranioventralen Ausziehung, dem sogenannten Dens, der gemeinsam mit der Fovea dentis des Atlas eine gelenkige Verbindung bildet. Die restlichen Halswirbelkörper werden nach caudal hin allmählich kürzer, am 6-ten Halswirbel existiert als Besonderheit ein plattenförmig verbreiteter Proc. transversus, während sich der 7-te und letzte Halswirbel in seiner Form den Brustwirbeln annähert und nur noch einen kurzen Proc. transversus besitzt (EVANS et al. 1995).

Die 13 Brustwirbel ähneln sich in ihrer Form. Die Corpus vertebrae sind kürzer als die der Hals- und Lendenwirbelsäule und besitzen Foveae costales zur Artikulation mit den Rippenköpfen. Ein herausragendes Merkmal der Brustwirbel besteht in den sehr langen Procc. spinosi, die nach caudal ausgerichtet sind, wobei ab dem 11-ten Wirbel, dem sogenannten antiklinalen Wirbel eine Umkehr nach cranial stattfindet (NICKEL et al. 1975, EVANS et al. 1995).

Die schon in der caudalen Brustwirbelsäule vorhandene Bewegungseinschränkung wird in der Lendenwirbelsäule durch die feste Verkantung miteinander noch verstärkt. Die 7 Lendenwirbel tragen als markantes Merkmal weit ausladende Procc. transversi, als Stabilisation zur Seite hin.

Als einzige Wirbel der gesamten Wirbelsäule sind die 3 Sakralwirbel fusioniert und bilden das Os sacrum.

Die 6-23 Schwanzwirbel verlieren nach caudal hin ihre typische Wirbelform, was mit einem Verlust der Fortsätze und einer Umwandlung des gesamten Wirbels einhergeht, bis nur noch zylinderförmige Knochen vorhanden sind (NICKEL et al. 1975, KRAHMER et al. 1986, EVANS et al. 1995).

2.1.2. Rückenmark –und Rückenmarkshäute

Rückenmark, Medulla spinalis

Das Rückenmark liegt umschlossen von den Rückenmarkshäuten, den Meningen und umspült von Liquor cerebrospinalis im Wirbelkanal und teilt sich in eine innere graue Substanz, Substantia grisea, welche den Schaltapparat des Rückenmarkes verkörpert und eine äußere weiße Substanz, Substantia alba, welche den Leitungsapparat darstellt. Im Inneren liegt der mit Liquor cerebrospinalis angefüllte Hohlraum, der Centralis canalis.

Länge und Gewicht des Rückenmarks variieren stark von Spezies zu Spezies und auch innerhalb der einzelnen Rassen, so beträgt die Länge beim Deutschen Schäferhund 78 cm, mit einem Gewicht von 33g, beim Dackel nur 48 cm, mit einem Gewicht von 14g, der Mensch besitzt eine Rückenmarkslänge von 42-45 cm und ein Gewicht von 30-38g (NICKEL et al. 1975).

Nach der Lage im Wirbelkanal, bzw. den Abgängen der jeweiligen Spinalnerven teilt man die Medulla spinalis in eine Pars cervicalis, eine Pars thoracica, eine Pars lumbalis, eine Pars sacralis und eine Pars caudalis. Am Übergang von Hals- zu Brustmark besteht eine Erweiterung, die Intumescentia cervicalis und im caudalen Lendenmarkbereich die Intumescentia lumbalis, welche jeweils das Ursprungsgebiet des Plexus brachialis und des Plexus lumbosacralis darstellt. Die Intumescentia lumbalis verjüngt sich zuerst zum Conus medullaris und läuft dann in den Endfaden, das Filum terminale aus. Der gesamte Bereich wird als Cauda equina bezeichnet, da die austretenden Rückenmarksnerven wie Schweifhaare eines Pferdes beiderseits des Conus medullaris und des Filum terminale nach caudal ziehen.

Im Verlauf der Entwicklung bleibt das Rückenmark mit seinem Wachstum hinter der Wirbelsäule zurück, wodurch es zu einem Ascensus medullae kommt, einer scheinbaren Cranialverlagerung des Rückenmarkes. Die Intervertebralnerven treten so nicht exakt an ihrer Ursprungsstelle aus, es findet eine Caudalverlagerung statt. Das Sakralrückenmark ist beim Hund im Bereich des 5-ten, bzw. 6-ten Lendenwirbels zu finden. Caudal dieser Stelle ist kein eigentliches Rückenmark mehr vorhanden (THIEL 1941, GOLLER et al. 1959, FLETCHER et al. 1966, NICKEL et al. 1975, EVANS et al. 1995, BUDRAS et al. 2007).

Das Rückenmark ist bilateral symmetrisch aufgebaut. Dies ist durch 2 Längsrillen charakterisiert, die ventrale tiefe Fissura mediana ventralis und den flachen Sulcus medianus dorsalis, von welchem ein Glioseptum, das Septum medianum dorsale in die Tiefe zieht. Zusätzlich besteht lateral des Sulcus medianus dorsalis ein Sulcus lateralis dorsalis. Durch

diese Rillen kann man die Substantia alba in Stränge einteilen, den Funiculus ventrolateralis und den Funiculus dorsalis.

Eine weitere Untergliederung des Rückenmarks kommt durch den Ein- und Austritt der afferenten und efferenten Bahnen in Form der Radix dorsalis und Radix ventralis zustande. Die v.a. sensorische Bahnen leitende Radix dorsalis verdickt sich nach außen hin zum Ganglion spinale und vereinigt sich dann mit der Radix ventralis zum Truncus nervus spinalis, welcher sich wieder in einen Ramus dorsalis und ventralis aufzweigt (NICKEL et al. 1975, EVANS et al. 1995, BUDRAS et al. 2007).

Im Querschnitt zeigt die graue Substanz eine Schmetterlingsform, die jeweils aus einem Dorsalhorn, dem Cornu dorsale, einem Ventralhorn, dem Cornu ventrale und der die beiden Teile verbindenden Substantia intermedia lateralis besteht. Die Substantia intermedia lateralis beider Seiten wird durch die Commissura grisea, auch Substantia intermedia medialis genannt, verbunden, welche somit den Canalis centralis umschließt. Der Kopf des Dorsalhorns, Caput cornus dorsalis endet mit der Apex cornus dorsalis. Diese wird von der Zona marginalis sive spongiosa und der darunterliegenden Substantia gelatinosa gebildet. Diese beiden Zonen üben unterschiedliche Funktionen aus. Erstere ist vor allem Zielgebiet für viscerale und cutane Afferenzen und ist außerdem Teil der Schmerzbahn. Letztere ist ebenfalls ein wichtiger Bestandteil der Schmerzbahn und dient als Schaltstation zwischen afferenten Fasern und Dorsalhornneuronen (NICKEL et al. 1975). Darüber hinaus gibt es einige Bahnen, Kerngebiete und Begriffe, die zum Verständnis wichtig sind. Der Dorsalstrang, Funiculus dorsalis leitet ascendierende sensible Bahnen, die für die differenzierte Oberflächen- und Tiefensensibilität zuständig sind. Die afferenten Fasern kommen aus Haut, Muskulatur, Sehnen und Bändern. Der Dorsalstrang wird im Bereich des vorderen Brust - bzw. Halsmarkes nochmals aufgeteilt. Zum einen benennt man den Fasciculus gracilis, der seine Informationen aus den Hintergliedmaßen und caudalen Rumpfabschnitten und zum anderen den Fasciculus cuneatus, der seine Informationen aus den Vordergliedmaßen und cranialen Rumpfabschnitten erhält. Diese Informationen werden dem Nucleus gracilis und Nucleus cuneatus im Bereich der Medulla oblongata zugeleitet und dort umgeschaltet. Eine weitere Schaltstelle befindet sich im Thalamus. Die Bahnen enden schließlich in der sensiblen Rinde des Lobus parietalis des Großhirns. Im Ventrolateralstrang befinden sich ascendierende Bahnen, die der weniger differenzierten Oberflächen- und Tiefensensibilität dienen und darüber hinaus descendierende motorische Bahnen. Es werden verschiedenen Tractus benannt, so z. B. der Tractus spinothalamicus oder der Tractus spinocerebellaris dorsalis und ventralis (NICKEL et al. 1975, ROMER et al. 1983, EVANS et

al. 1995). Die descendierenden motorischen Bahnen werden in das Untere Motorische Neuron (UMN) und das Obere Motorische Neuron (OMN) eingeteilt, wobei das OMN sozusagen das übergeordnete Regulationszentrum des UMN darstellt, seine Kerngebiete im Gehirn hat und einen hemmenden Einfluß auf das UMN ausübt. Das UMN stellt das untergeordnete Reflexzentrum auf Ebene des Rückenmarks dar (JAGGY et al. 2005).

Außerdem existiert eine Einteilung der descendierenden Bahnen in das pyramidale und extrapyramidale System. Das pyramidale System, der Tractus corticospinalis ist für die fein abgestimmten Bewegungen zuständig und hat seine Kerngebiete im motorischen Rindenfeld des Lobus frontalis. Das extrapyramidale System kontrolliert die gröberen Bewegungen und nimmt seinen Ursprung in subcorticalen Zentren. Im Mittelpunkt dieses Systems steht der Tractus rubrospinalis. Er übt die Kontrolle über Haltung und Lokomotorik aus. Darüber hinaus verlaufen im Rückenmark auch Fasern des vegetativen Nervensystems (NICKEL et al. 1975, ROMER et al. 1983, EVANS et al. 1995).

Rückenmarkshäute, Meninges

Die frühembryonal einheitliche mesenchymale Hülle des Zentralen Nervensystems, die *Meninx primitiva* differenziert sich im Lauf der Ontogenese in die beim erwachsenen Tier vorkommenden 3 Rückenmarkshäute. Zusammen mit dem Rückenmark und Liquor stellen sie ein geschlossenes System dar. Die Meninges bilden den Schlauch für die Aufnahme des Liquor cerebrospinalis, welcher gemeinsam mit dem epiduralen Fettpolster dafür sorgt, dass das empfindliche Rückenmark geschützt wird. Man unterscheidet zwischen weicher Hirnhaut, der *Leptomeninx* und harter Hirnhaut, der *Pachymeninx*. Die *Leptomeninx* besteht aus *Pia mater* und *Arachnoidea*, während die *Pachymeninx* nur aus einer Hülle, der *Dura mater* besteht (GÖSSLER et al. 1969, NICKEL et al. 1975). Vom Rückenmark ausgehend stellt sich der Aufbau folgendermaßen dar. Die *Pia mater* liegt als dünne, gefäßreiche Haut dem Rückenmark direkt auf und ist mit der Gliagrenzschicht des Rückenmarks der *Membrana limitans gliae superficialis* verbunden. Sie bildet eine Scheide für ein- und austretende Nerven und Blutgefäße. Darüber hinaus gibt sie gefäßführende Septen in die *Substantia alba* ab. Die *Pia mater* formt sich an den Seitenflächen zu einem derben Band um, welches sich jeweils zwischen 2 abgehenden Spinalnerven zackenförmig mit der *Dura mater* verbindet und als *Ligamentum denticulatum* bezeichnet wird. Ventral bildet die *Pia mater* das *Ligamentum medianum ventrale*, welches die *Arteria spinalis ventralis* beinhaltet. Als nächste Schicht kommt die der *Dura mater* eng anliegende *Arachnoidea*, welche mit der *Pia mater* nur über

ein feines Netzwerk von bindegewebigen Trabekeln verbunden ist. Außerdem gehören zur Arachnoidea noch mesothelartige Zellen, die sowohl die Trabekel umschließen, als auch die Grenzflächen zu Pia mater und Dura mater abdecken. Der so entstandene Raum, das Cavum leptomeningicum, auch Subarachnoidalraum genannt ist ebenso wie der Canalis centralis mit Liquor cerebrospinalis angefüllt. Den Abschluß bildet die Dura mater, als derbe, gefäßarme Schicht. Die Dura mater setzt sich ebenso wie die Pia mater und die Arachnoidea auf die ein- und austretenden Nerven fort und bildet Durascheiden. Vom Periost ist die harte Rückenmarkshaut durch das Spatium epidurale getrennt. Dieses ist mit fettreichem Bindegewebe und Venengeflechten angefüllt.

Am Ende des Conus medullaris findet eine Verjüngung und Vereinigung der Pachymeninx mit der Leptomeninx statt, die als Filum terminale durae matris bezeichnet wird und im Bereich der Schwanzwirbelsäule mit den Wirbelkörpern verschmilzt (HEILIGTAG 1938, NICKEL et al. 1975, EVANS et al. 1995, BUDRAS et al. 2007).

2.1.3. Blutgefäßversorgung

Arterien

Die Aa. spinales werden durch Rami spinales der regionalen Gefäße versorgt, welche über die Zwischenwirbellöcher in den Wirbelkanal einmünden. Als erstes gibt der Ramus spinalis einen Ramus canalis vertebralis ab, der sich nochmals in einen cranialen und caudalen Ast teilt. Diese einzelnen Äste bilden Anastomosen zwischen den Segmenten und Querverbindungen, so dass eine regelrechte Strickleiter, die in das Periost eingebettet ist, entsteht. Von diesem Gefäßnetz zweigen Aa. nutritiae zu den Wirbelkörpern und Bandscheiben ab. Darüber hinaus spalten sich von den Rami spinales Aa. nervomedullares ab, die zum Rückenmark führen. Es erfolgt eine weitere Aufteilung in die A. radicularis ventralis und eine A. radicularis dorsalis. Die A. radicularis ventralis zieht in Richtung der Fissura mediana ventralis und spaltet sich nochmals in einen Ramus cranialis und einen Ramus caudalis. Durch Anastomosierung entsteht schlussendlich die A. spinalis ventralis, welche sich über die gesamte ventrale Fläche des Rückenmarkes zieht. Cranial geht die A. spinalis ventralis in die A. basilaris über. Die Dorsalfläche des Rückenmarkes wird durch die paarig angelegten Aa. radicales dorsales versorgt, welche sich ebenfalls in einen Ramus cranialis und Ramus caudalis aufteilen. Die Anastomosierung führt zur Bildung von 2 Aa. spinales dorsolaterales, die über Rami dorsales mit der A. spinalis ventralis verknüpft sind.

Von diesem umgebenden Maschenwerk an Gefäßen zweigen feine Binnenarterien zur Rückenmarkssubstanz ab. Die A. spinalis ventralis gibt Aa. comitantes ab und von dort ziehen die Aa. sulci bzw. sulcocommissurales durch die Fissura mediana ventralis in die Substantia grisea. Die Substantia alba wird durch Rami marginales der Aa. spinales dorsolaterales gespeist. Durch diese feine Verzweigung wird eine gute arterielle Versorgung des Rückenmarkes gewährleistet (NICKEL et al. 1975, CAULKINS et al. 1987, EVANS et al. 1995).

Venen

Die Venen zeigen einen ähnlichen Verlauf, wie die bereits beschriebenen Arterien. Die intramedullären Venen fließen in die V. spinalis ventralis, bzw. die Vv. spinales dorsolaterales. Diese gehen in die Vv. radicales ventrales und dorsales über, die dann zu Rami spinales werden und anschließend in die Vv. intervertebrales oder in den Plexus vertebralis internus ventralis münden. Der Plexus vertebralis internus ventralis ist die Weiterleitung des epiduralen Blutleitersystems des Gehirns in Richtung Rückenmark. Der Plexus setzt sich aus 2 Venensträngen, die im Spatium epidurale liegen zusammen. Darüber hinaus existiert ein Plexus vertebralis externus dorsalis und ventralis, welcher über Anastomosen mit dem internen Plexus verbunden ist. Dem internen Plexus kommt hämodynamisch eine wichtige Bedeutung zu. Es existieren keine Venenklappen, dadurch ist ein Blutstrom in beide Richtungen möglich und somit ein Druckausgleich. Bei Inspiration findet eine Entleerung und bei Expiration oder durch die Bauchpresse eine Füllung statt (NICKEL et al. 1975, CAULKINS et al. 1987, EVANS et al. 1995).

2.1.4. Umgebende Muskulatur

Die im Bereich der Wirbelsäule liegende Stammesmuskulatur wird unterteilt in besondere Bewegungen der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule und lange Zungenbeinmuskeln an der Ventralfläche der Luftröhre und Atmungsmuskeln, incl. der zugehörigen Faszie. Die tiefe Halsfaszie, Fascia cervicalis profunda besteht aus 2 Blättern. Während das oberflächliche Blatt am seitlichen Atlasflügel und am Rande des M. longus capitis und den Mm. scaleni entspringt und in der Tiefe seitlich und ventral den Oesophagus und die Trachea umhüllt, entspringt das tiefe Blatt aus dem Epimysium der Mm. intertransversarii. Das tiefe Blatt umschließt den M. longus colli und den M. longus capitis und verschmilzt anschließend mit

dem oberflächlichen Blatt. Gemeinsam umhüllen sie den Truncus vagosympathicus, den N. laryngeus recurrens und die A. carotis communis. Die tiefe Rumpffaszie, Fascia trunci profunda gehört gemeinsam mit der Fascia trunci superficialis zu den äußeren Rumpffaszien. Die tiefe Faszie ist z.T. verstärkt, so auch im dorsalen Wirbelsäulenbereich, wo sie als Fascia throacolumbalis mit den Dornfortsätzen der Brust bis Kreuzwirbelsäule in Kontakt tritt und verschiedenen Muskeln als Ursprung dient. Die Fascia spinocostotransversalis verbindet im Brustwirbelsäulenbereich einen Teil der Dornfortsätze mit den Rippen und Querfortsätzen und dient ebenfalls als Muskelursprung (NICKEL et al. 1975).

Die besonderen Bewegungen der Hals - Brust und Lendenwirbelsäule sind der Wirbelsäule dorsal, lateral und ventral direkt angelagert. Die meisten dieser Muskeln liegen geschichtet zwischen den Quer- und Dornfortsätzen. Sie dienen der Biegung, Drehung, Streckung und Aufrichtung der Wirbelsäule. Funktionell lassen sich die besonderen Bewegungen der Hals – Brust und Lendenwirbelsäule in 2 Gruppen einteilen: 1. Aufrichter, Seitwärtsbieger und Dreher, diese werden nochmals in Lange Hals – und Rückenmuskeln und Kurze Hals – und Rückenmuskeln unterteilt und 2. Abwärtsbieger der Halswirbelsäule.

Die langen Hals - und Rückenmuskeln setzen sich zusammen aus der tiefen Schicht mit zugehörigem M. spinalis, M. semispinalis und den Mm. multifidi, der mittleren Schicht mit dem M. iliocostalis und dem M. longissimus und der oberflächlichen Schicht mit dem M. splenius. Die Mm. multifidi sind die tiefste Lage der umhüllenden Muskulatur. Sie besitzen viele Einzelzacken, die von den seitlichen Fortsätzen zu den Dornfortsätzen ziehen.

Der M. spinalis zieht sich zwischen den Dornfortsätzen und verbindet sich mit dem M. semispinalis, welcher auch Faserzüge von den Quer- und Zitzenfortsätzen hin zu den Dornfortsätzen aufweist. Der M. longissimus liegt medial vom M. iliocostalis den Quer - und Dornfortsätzen auf und ist der längste Muskel des Körpers. Der M. iliocostalis zieht vom Darmbein ausgehend über die Rippenwinkel zum letzten Halswirbel. Die oberflächlichste Schicht, der M. splenius liegt nur im Bereich der Halswirbelsäule als riemenförmiger Muskel dem Hals seitlich und dorsal auf. Die kurzen Hals – und Rückenmuskeln sind als tiefe Abspaltungen der Mm. longissimus, spinalis und multifidi aufzufassen. Hierzu gehören die Mm. intertransversarii, als Abspaltung des M. longissimus, die Mm. interspinales als Abkömmling des M. spinalis und die Mm. rotatores als Teil der Mm. multifidi.

Die Abwärtsbieger finden sich nur im Bereich der Halswirbelsäule und werden durch den M. longus colli und die Mm. scaleni repräsentiert. Sie liegen ventral der Wirbelsäule (NICKEL et al. 1975, AMANN et al. 1978, EVANS et al. 1995, BUDRAS et al. 2007).

2.2. Pathologische Grundlagen

2.2.1. Diskopathie (Bandscheibenvorfall)

Bandscheibenvorfälle stellen die häufigste neurologische Erkrankung beim Hund dar. Um die Pathophysiologie des Bandscheibenvorfalles zu verstehen, muss man die Klassifizierung, die Ursachen und das unterschiedliche Vorkommen bei verschiedenen Hunderassen kennen.

Man unterscheidet Hansen Typ 1, Bandscheibenprolaps, auch Extrusion oder Hernie genannt und Hansen Typ 2, auch Protrusion genannt. Hansen Typ 3 stellt eine Sonderform dar, bei der ein kleiner Teil der Bandscheibe das Rückenmark perforiert und sich anschließend dorsal des Rückenmarkes verteilt (JAGGY et al. 2005).

Extrusionen treten vor allem bei mittelalten sogenannten chondrodystrophen Rassen, wie z.B. Dackel, Cocker, Pudel auf. Bei diesen Rassen kommt es zu einer mangelhaften Ausreifung des Nucleus pulposus. Der gallertige Kern wird durch Hyalinknorpel ersetzt, der Anteil an Proteoglykanen sinkt und damit die Wasserbindungsfähigkeit, es kommt zu einer Austrocknung und Mineralisation. In Folge dessen verliert die Bandscheibe ihre schockabsorbierende Fähigkeit. Die Innenzone des Anulus fibrosus wird ebenfalls geschwächt. Es kommt zu einer Ruptur des Anulus, das poröse Nucleus pulposus-Material fällt in den Canalis spinalis vor und verursacht eine mechanische Kompression des Rückenmarks. Die Lokalisation liegt vor allem im thorakolumbalen Bereich und hier vor allem am thorakolumbalen Übergang. Beim Hansen Typ 2, der sogenannten Protrusion kommt es nur zu Einrissen, bzw. Dehnungen im Anulus fibrosus durch Vorwölbung des Nucleus pulposus. Die ganze Bandscheibe wölbt sich in den Canalis spinalis vor. Protrusionen kommen vor allem bei mittelalten bis alten, größeren Hunderassen vor. Die Lokalisation liegt vermehrt im Halswirbelsäulenbereich, bzw. im Bereich der Cauda equina. 15 % der Bandscheibenvorfälle liegen im cervikalen, 66-83 % im thorakolumbalen und 2-19 % im lumbosakralen Bereich. (HANSEN 1952, SUMMERS et al. 1995, DAHME et al. 1999, COATES 2000, JAGGY et al. 2005).

Beim Bandscheibenvorfall muss man die primären von den sekundären Schäden für das Rückenmark unterscheiden. Bei den primären Schäden kommt es aufgrund des Traumas, bzw. der Kompression zu einer lokalen Ischämie mit Ödembildung und darüber hinaus zu Einblutungen, Axonzerreißungen und -quetschungen, bis hin zu Nervenzelluntergang. Diese pathologischen Vorgänge führen zu einem akuten klinischen Erscheinungsbild, welches durch

alleinige Schmerzsymptomatik bis hin zu Paralyse gekennzeichnet sein kann (JEFFERY 1995, SUMMERS et al. 1995).

Die sekundären Schäden können schwerwiegend sein. Sie verursachen häufig auch nach erfolgreich operativ durchgeführtem Eingriff und Entfernung des vorgefallenen Bandscheibenmaterials einen schlechten neurologischen Status. Es kann zu einer aufsteigenden Myelopathie kommen. Durch das Absterben von Neuronen werden Transmitter freigesetzt, vor allem Glutamat (GHOSH et al. 1976). Diese docken an NMDA-Rezeptoren an und aktivieren damit einen Ca-Einstrom in die Zellen. Es kommt zu Lipidperoxidation, Radikalbildung und Aktivierung von Enzymkaskaden. Die entstandenen Mediatoren fördern die Metabolisierung von Membranlipiden zu Prostaglandinen, eine Invasion von Leukozyten, proteolytischen Enzymen und proinflammatorischen Transkriptionsfaktoren führt zu einer Entzündungsreaktion. Darüber hinaus wird durch die vorhandene Ischämie die Freisetzung von Thrombin gefördert, wodurch die Mikrozirkulation eingeschränkt wird. Es folgen Vasokonstriktion und ischämischer Zelltod. All diese in Gang gesetzten Prozesse bewirken letztendlich die Aktivierung von Caspasen, den Tod der Oligodendroglia und damit eine komplette Demyelinisierung. Die sekundären Schäden des Rückenmarkes entstehen durch die Bildung von Sauerstoffradikalen, durch Lipidperoxidation, Ödembildung, Verschlechterung der Mikrozirkulation, Entzündungsreaktionen und schlussendlich der Apoptose der Oligodendroglia (JEFFERY 1995, GOLD et al. 2001, HULSEBOSCH 2002, SCHWAB et al. 2004).

2.2.2. Weitere Pathologien im Bereich des Rückenmarkes

1) Synovialzyste

Eine beim Hund beschriebene Form von Zystenbildung im Bereich der Wirbelsäule ist die sogenannte Synovialzyste (LEVITSKI et al. 1999, DICKINSON et al. 2001, SALE et al. 2007). Ihre Ursache ist noch nicht geklärt. Vermutet wird eine sekundäre Reaktion auf degenerative Prozesse an den kleinen Wirbelgelenken oder traumatische Ereignisse. Mögliche diskutierte Pathomechanismen sind ein Austreten von Synovia aus dem Gelenk, Degeneration des kollagenen Gewebes, verstärkte Fibroblastensekretion oder eine unspezifische Proliferation von mesenchymalen Zellen (PENDLETON et al. 1983, FRANCK et al. 1987, ONOFRIO und MIH 1988). Eine weitere Hypothese sagt aus, dass es aufgrund einer verstärkten Beweglichkeit in den kleinen Facettengelenken, gemeinsam mit Defekten in der

Gelenkscapsel zu einem Vorfall des Stratum synoviale kommt, welches dann die Grundlage für eine Zyste bildet (SAMPSON und WARREN 1990, YUH et al. 1991).

2) Rückenmarkstumor

Man teilt Rückenmarkstumoren in primäre und metastatische Tumoren ein (LEVY 1997).

Primäre Tumoren im Bereich des Rückenmarkes gehen entweder von den neuroektodermalen (Gliom, Nervenwurzeltumor) oder mesenchymalen Strukturen (z.B. Meningiom) aus. Generell unterscheidet man die vorkommenden Tumoren nach ihrer Lokalisation in intramedullär (z.B. Astrozytome, Ependymome) und intradural - extramedullär (z.B. Meningiome, Nervenscheidentumoren). (Extradurale Tumoren siehe Wirbelkörper tumor). Die häufigste Stelle ist intradural – extramedullär, seltener kommen intramedulläre Tumoren vor. Meist sind ältere Tiere betroffen, aber es kommt auch zum Auftreten bei jüngeren Tieren (z.B. das Nephroblastom, auch „young dog spinal cord tumor“ genannt) (JAGGY et al. 2005). Die entstehenden neurologischen Ausfallserscheinungen bei tumorösen Erkrankungen sind von der Lokalisation abhängig und werden entweder durch Kompression oder durch invasives Wachstum und nachfolgende Zerstörung von nervalen Strukturen verursacht (LUTTGEN 1992, GAVIN et al. 1995). Die am schnellsten wachsenden Tumoren sind die intramedullären Neoplasien. Die langsamste Progression findet man bei den intradural-extramedullären Tumoren. Zu den metastatischen Tumoren zählt z.B. die maligne Histiozytose beim Hund (vor allem Berner Sennenhund), sie sind häufig epidural lokalisiert. Auch intramedulläre Metastasen von Lymphomen oder Lipomen sind beschrieben. (DAHME et al. 1999, JAGGY et al. 2005, FOSSUM et al. 2007).

3) Myelomalazie

Myelomalazie ist eine ischämische oder hämorrhagische Nekrose des Rückenmarkes, die nach akuten Traumata auftreten kann und steht für einen massiven Schaden der intramedullären Blutgefäßversorgung (SUMMERS et al. 1995, LU et al. 2002). Die genaue Pathogenese dieser Erkrankung ist nicht vollständig geklärt. Man vermutet als Ursache eine Kombination aus Trauma, Ischämie und der Freisetzung vasoaktiver Substanzen, freier Radikale und Enzyme (GEBARSKI et al. 1985). Erleidet das Rückenmark ein massives Trauma, kommt es zu einer Kompression der vaskulären Strukturen und damit zu einem hämorrhagischen, bzw. ischämischen Infarkt, daran beteiligt sind verschiedene Mediatoren,

die das Geschehen verstärken. Im Anschluß daran kann es zu fokalen oder diffusen Nekrosen des Rückenmarkparenchyms kommen. Die ursprünglichen anatomischen Strukturen weichen auf und sind schließlich nicht mehr nachvollziehbar. Bei fokalen Veränderungen besteht die Möglichkeit einer Regeneration, bei schweren diffusen ascendierenden oder descendierenden Myelomalazien findet keine Regeneration statt. Die Prognose für eine Wiederherstellung ist schlecht (GRIFFITH 1978, SUMMERS et al. 1995, DUVAL et al. 1996, NIEMAND et al. 2001, LU et al. 2002).

4) Rückenmarksblutung/Rückenmarksödem

Diese Veränderungen entstehen vor allem durch Traumata (JAGGY et al. 2005).

Geschwindigkeit und Schweregrad eines Rückenmarkstraumas, bzw. einer Kontusion sind die wichtigsten Faktoren für das Ausmaß der resultierenden Schäden. Bei plötzlichem Auftreten mit beträchtlicher Energie (z.B. Bandscheibenvorfall, traumabedingte Verlagerung von Knochenfragmenten in den Spinalkanal) entsteht durch Elektrolytverschiebungen der geschädigten Zellmembranen ein plötzlicher Leitungsblock. Es kommt zu Blutungen. Darüber hinaus wird die Ausschüttung von Mediatoren, wie z.B. Katecholaminen forciert, es kommt zu Gefäßspasmen, Ischämie und Hypoxie des Gewebes (COUGH 1993). Entstehende Ödeme sind eine weitere Folge. Durch das Trauma und die folgende Freisetzung von Mediatoren kommt es zu einer Flüssigkeitsansammlung in den Parenchymspalten. Sekundärschäden durch toxische Stoffwechselprodukte schließen sich an. In schweren Fällen kann dies bis zur Myelomalazie führen. Bei langsam auftretenden Veränderungen mit geringer Energie ist das Ausmaß der auftretenden Schäden wesentlich geringer (JOEST 1969, PSCHYREMBEL 2007, JANSSENS 1991, BROWN et al. 1992, NIEMAND et al. 2001).

2.3. Physikalische Grundlagen des Ultraschalls

Während der Ultraschall ursprünglich zu therapeutischen Zwecken (Wärmetherapie) genutzt wurde, steht heute der diagnostische Einsatz mit Hilfe des sogenannten Impuls-Echo-Verfahrens an erster Stelle. In der Human- und Veterinärmedizin stellt die Ultraschalluntersuchung eine etablierte bildgebende Methode dar (BRAUN et al. 1983).

Ultraschall ist eine Energiewelle, die sich in Flüssigkeiten und Gasen als longitudinale Schallwelle ausbreitet (HITTMAIR 1996).

Gemäß internationaler Vereinbarung existieren 3 Schallfrequenzbereiche: Infraschall (< 16 Hz), Hörschall (16 - 20 000 Hz) und Ultraschall (> 20 000 Hz) (BRAUN et al. 1983).

Zur Erzeugung von Schallwellen werden Quarzkristalle mit piezoelektrischen Eigenschaften genutzt. An den Kristall wird eine Spannung angelegt, die zur Verformung und Dickenänderung führt (*reziproker piezoelektrischer Effekt*). Es entstehen hochfrequente Schallwellen, die in die Umgebung gesandt werden. Beim Empfang wiederum wird der *piezoelektrische Effekt* genutzt. Die zurückkehrenden, an verschiedenen akustischen Grenzflächen im Körper reflektierten Schallwellen, bewirken eine mechanische Verformung des Kristalls und führen zu elektrischen Signalen, die gemessen und zu Bildern verarbeitet werden können (BARR 1990, FRITSCH und GERWING 1993, POULSEN NAUTRUP 1996).

Um die Entstehung der Bilder dieser zurückkehrenden Schallwellen zu verstehen, muss man einige grundlegende physikalische Gesetzmäßigkeiten kennen. Wird der Schallkopf in Kontakt mit der Körperoberfläche gebracht, breiten sich die Schallwellen im Körper aus, bis sie auf ein Hindernis treffen, die Energie wird zurückgeworfen, es entsteht ein Echo. In diesem Zusammenhang ist der Begriff akustische Impedanz wichtig. Dieser bezeichnet die akustischen Eigenschaften eines Mediums und ist das Produkt von Dichte und Schallgeschwindigkeit in diesem Medium. Er bezeichnet also den Widerstand den ein Medium den Ultraschallwellen entgegensetzt. Die verschiedenen Gewebe zeigen unterschiedliche akustische Impedanzen. Beim Auftreffen der Ultraschallwellen auf die verschiedenen Gewebe entstehen unterschiedliche Phänomene. So können die Schallwellen reflektiert, gebrochen, absorbiert oder gestreut werden. Bei großen Impedanzwechslern und senkrechtem Auftreffen kommt es zur Reflektion, bei kleinen Impedanzwechslern zur Absorption und bei schrägem Auftreffen zur Brechung. An rauen Oberflächen werden die Schallwellen gestreut (BRAUN et al. 1983, BARR 1990, GLADISCH 1992, POULSEN NAUTRUP 1996).

Für die Entstehung eines optimalen Bildes ist das Ultraschallfeld ebenfalls wichtig. Dieses hat die Form ähnlich einer Sanduhr. Schallkopfnah ist das Feld breit, entspricht den Ausmaßen des Schallkopfes und wird als Nahfeld bezeichnet. Daraufhin verengt es sich zur sogenannten Fokuszone und erweitert sich schließlich wieder zum Fernfeld. Nur in der Fokuszone ist eine akkurate Bildinterpretation möglich. Durch Anwendung von Vorlaufstrecken bzw. Filtern am Gerät können gewünschte sonst nicht richtig einsehbare Bereiche in die Fokuszone gelegt und so ebenfalls gut beurteilt werden (BRAUN et al.1983).

2.3.1. Artefakte

Artefakte sind künstliche Phänomene, die beim Durchlaufen der Ultraschallwellen durch biologisches Gewebe entstehen. Zum einen können sie technisch bzw. physikalischer Natur sein. Zum anderen können sie durch den Untersucher selbst, z.B. durch falsche Handhabung, verursacht werden (BRAUN et al. 1983, WEISS 1990, NYLAND MATTOON 2002).

2.3.1.1. Schallschatten (distale Schallauslöschung)

Bei Strukturen, die sehr große Impedanzunterschiede zum umgebenden Gewebe aufweisen, also sehr reflexreich sind, kommt es zur vollkommenen Reflektion bzw. Absorption der Schallwellen. Das heißt, die Strukturen distal dieser Stelle werden von den Schallwellen nicht durchdrungen, es kommt zu einer absoluten Schallauslöschung, dem distalen Schallschatten. Dieses Phänomen tritt zum Beispiel an Knochenoberflächen oder im Bereich von Luft, bzw. Gas auf (BRAUN et al. 1983, WEISS 1990).

2.3.1.2. Schallverstärkung

Wenn Schallwellen Flüssigkeit durchdringen, erfahren sie nur eine geringe oder keine Intensitätsabschwächung. Dies hat zur Folge, dass distal davon gelegene Strukturen reflexreicher erscheinen, als sie sind, vor allem im Vergleich zu gleichem Gewebe, welches sich nicht unterhalb der Flüssigkeit befindet. Dieses Artefakt wird zur Unterscheidung von Flüssigkeiten und soliden reflexarmen Geweben genutzt (BARR 1990, WEISS 1990, FRITSCH und GERWING 1993).

2.3.1.3. Reverberation (Wiederholungsechos)

Reverberationen sind Kunstprodukte, welche dadurch entstehen, dass Ultraschallwellen zwischen stark reflexreichen Grenzschichten mehrfach hin - und herreflektiert werden, bevor sie zum Transducer zurückkehren. So entstehen mehrere künstliche Abbildungen einer realen Struktur. Eine Sonderform stellt der Kometenschweifartefakt dar, welcher häufig durch Gas in Dünndarmschlingen oder durch Metall entsteht (BARR 1990, WEISS 1990, FRITSCH und GERWING 1993).

2.3.1.4. Rauschen

Diffus verteilte oder lokal auftretende, fein verteilte Reflexpünktchen auf dem Monitor, verursacht durch die Brown'sche Molekularbewegung, werden als Rauschen bezeichnet. Diffuses Rauschen entsteht durch eine zu hohe Gesamtverstärkung (Time Gain Compensation), lokales Rauschen wird durch eine falsch eingestellte Tiefenverstärkung erzeugt (FRITSCH und GERWING 1993).

2.3.1.5. Tangentialphänomen

Wenn Ultraschallwellen tangential auf echoarme bis echolose Strukturen treffen, können sie durch Beugung und Brechung an den Rändern so abgelenkt werden, dass keine Rückreflexion zum Transducer stattfindet. So entstehen schallschattenlose Bereiche in den Seitenzonen und können Wanddefekte vortäuschen (WEISS 1990, FRITSCH und GERWING 1993).

2.3.1.6. Bogenartefakt

Dieses Phänomen tritt vor allem in reflexarmen Bereichen auf, die dicht neben reflexreichen Gebieten liegen. Die bogenförmige Reflexlinie entsteht durch Schallwellen, die aus Seitenachsen reflektiert werden, aber genauso wie aus der Hauptachse stammende verarbeitet werden (WEISS 1990, FRITSCH und GERWING 1993).

2.4. Technische Grundlagen des Ultraschalls

2.4.1. Bildarten

Um nun die Schallwellen in die sichtbare Ebene zu transformieren, gibt es verschiedene Bildwiedergabeverfahren.

Das älteste Verfahren ist der *A-Mode (Amplituden-Mode)*.

Hierbei kommt nur ein einzelner Ultraschallstrahl zum Einsatz. Die zurückkehrenden Echos werden als Amplitudenpeaks auf einer horizontalen Linie aufgezeichnet. So lassen sich Echostärke und Lage der untersuchten Struktur bestimmen.

Im Gegensatz dazu werden beim *B-Mode (Brightness-Mode)* mehrere Ultraschallstrahlen verwendet und die Echos als Punkte mit unterschiedlicher Helligkeit abgebildet. So können ebenfalls wieder Lage und Stärke ermittelt werden. Das Spektrum der Punkte reicht von echolos (z.B. Wasser) bis reflexreich (Totalreflexion an Luft). Es entsteht ein zweidimensionales Bild.

Beim *M-Mode (Motion-Mode)* wird das Bild zusätzlich mit einer Zeitachse versehen. So lassen sich Bewegungsabläufe sehr gut wiedergeben. Dieses Verfahren wird hauptsächlich in der Herzsonographie eingesetzt (BRAUN et al. 1983, BARR 1990, NYLAND und MATTOON 2002).

2.4.2. Schallkopftypen

Beim *Linearschallkopf* sind mehrere Kristalle in einer Ebene nebeneinander geschaltet. Die Kristalle werden gruppenweise abwechselnd elektronisch aktiviert. Es entsteht ein rechteckiges Bild.

Das Ultraschallfeld ist bereits schallkopfnah breit und lässt sich deshalb sehr gut für die Untersuchung oberflächlichennaher Strukturen anwenden. Es ist eine getrennte Ansteuerung der einzelnen Elemente und damit eine elektronische Fokussierung möglich.

Der Nachteil besteht in der benötigten breiten Ankopplungsfläche (BARR 1990, GLADISCH 1992, NYLAND und MATTOON 2002).

Der *Sektorschallkopf* erzeugt das Bild durch einen oder wenige Kristalle. Das sektorförmige Bild entsteht dadurch, dass der Kristall um eine Achse gedreht und die Impulse in verschiedene Richtungen abgegeben und wieder aus diesen empfangen werden. Der Vorteil dieses Schallkopfes besteht in der kleinen Ankopplungsfläche, der Nachteil in dem

divergierenden Schallkegel und der Unschärfe an den Seiten. Er wird heutzutage hauptsächlich in der Kardiologie und Ophthalmologie eingesetzt (BRAUN et al 1983, GLADISCH 1992). Der *Konvexschallkopf* stellt einen Kompromiss zwischen den beiden ersten Schallköpfen dar. Mehrere Kristalle sind in einer konvexen Biegung angeordnet. Die Ankopplungsfläche ist nicht ganz so breit wie beim Linearschallkopf, der Bildausschnitt ist divergierend. So werden die Vorteile der genannten Schallkopftypen vereint und die Nachteile reduziert (BARR 1990, GLADISCH 1992, NYLAND und MATTOON 2002). Eingesetzt wird diese Art von Schallkopf vor allem beim abdominalen Ultraschall.

2.4.3. Verstärkung

Um die Verluste, die beim Durchlauf der Ultraschallwellen durch biologisches Gewebe entstehen auszugleichen, gibt es 2 Möglichkeiten.

Zum einen die *Tiefenverstärkung* (*TGC= time gain compensation*), so können Gewebe in verschiedenen Tiefen mit der gleichen Reflexdichte versehen werden, zum anderen die *Grundverstärkung*, bzw. *Gesamtverstärkung*. Diese stellt die Helligkeit des gesamten Bildes ein (GERWING und FRITSCH 1993).

2.4.4. Auflösung

Die Auflösung beschreibt den minimalen Abstand zweier Strukturen, den sie haben müssen, um noch getrennt dargestellt werden zu können. Man unterscheidet in der Sonographie die axiale, also in Wellenausbreitungsrichtung liegende, und die laterale, also horizontale Auflösung. Je höher die Frequenz, also je kleiner die Wellenlänge, desto besser das Auflösungsvermögen und desto geringer die Eindringtiefe. D.h. bei 5 MHz ist die Auflösung schlechter, als bei einer Frequenz von 7 MHz, die Eindringtiefe wiederum ist höher (BRAUN et al. 1983).

2.4.5. Bildinterpretation

Im Folgenden werden die wichtigsten Begriffe zur Beschreibung eines Ultraschallbildes aufgeführt,

Reflexreich, echoreich, echodicht,

hyperechogen, echogen:

helle, weiße Reflexpunkte

(z.B. Knochen, Gas)

mittleres Echomuster, z.B.

graue Reflexpunkte

reflexarm, echoarm, hypoechogen:

dunkelgraue Echos

(z.B. Weichteile)

reflexlos, echolos, echofrei, anechogen:

schwarze Echopunkte

(z.B. Flüssigkeit)

homogen:

gleichmäßige Echogenität

inhomogen:

ungleichmäßige Echogenität.

(BRAUN et al. 1983, BARR 1990, FRITSCH GERWING 1993, POULSEN NAUTRUP 1996, NYLAND und MATTON 2002).

3 Literaturübersicht der Sonographie im Bereich der Wirbelsäule

3.1. Humanmedizinische Literatur

Erste Versuche die Wirbelsäule und ihre anatomischen Strukturen mittels Ultraschall darzustellen werden in den 70´er und 80´er Jahren durchgeführt (FINLAY et al. 1981, HIBBERT et al. 1981, STOCKDALE et al. 1981 und OTTEWELL et al. 1981). Die Autoren führen Messversuche- und Werte zur Bestimmung der Größe des Wirbelkanals im Bereich der Lendenwirbelsäule durch. Die Untersuchungen finden hauptsächlich in vitro im B- wie auch im A-Mode-Verfahren statt. Die Ergebnisse sind Anlaß heftiger Diskussionen, da aufgrund unterschiedlicher Techniken, starker Knochenartefakte und noch nicht ausgereifter Technik unterschiedliche Ergebnisse publiziert werden. Der intraoperative Ultraschall des Rückenmarkes als Navigationshilfe für den Chirurgen während des operativen Eingriffs wird bereits Ende der 70´er, Anfang der 80´ Jahre erprobt (REID et al. 1978, DOHRMANN et al. 1982). Hierbei werden verschiedene Indikationen des intraoperativen Ultraschalls beschrieben (z.B. Bandscheibenoperationen, intraoperative Navigation bei der Tumorentfernung, Entfernung von Zysten, bis hin zur Prognoseeinschätzung aufgrund des Ausmaßes von Tumoren oder Myelomalazien). Ein wichtiger Bereich ist der Einsatz der Sonographie bei chirurgischen Interventionen im Fall von Diskopathien. Nach verschiedenen operativen Zugängen, wie Laminektomie, Ventral slot, Hemilaminektomie, Korpektomie und zum Teil sogar nach Fenestration wird der Ultraschall zur Lokalisation des vorgefallenen Bandscheibenmaterials und zur Kontrolle der Dekomprimierung des Rückenmarkes verwendet (CHADDUCK et al. 1985, MONTALVO et al. 1990, KAWAKAMI et al. 1994, IMAMURA et al. 1995, RAYNOR et al. 1997). Das vorgefallene Material wird von mittlerer Echogenität beschrieben. Dies und die Lokalisation in unmittelbarer Nähe zum Zwischenwirbelspalt ermögliche eine Differenzierung zu anderen Erkrankungen. Z.T. kann man innerhalb des Bandscheibenechos reflexreiche punktförmige Areale sehen, als Ausdruck einer vorhandenen Kalzifizierung. Auch eine Schallschattenbildung ist möglich, wenn eine Kalzifizierung in der Peripherie der Bandscheiben vorliegt (MONTALVO et al. 1990). Narbengewebe beispielsweise ist dagegen eher von gemischter Echogenität und nicht so klar zum umgebenden Gewebe abgrenzbar. Knochen weist ein deutlich reflexreicheres Signal auf. Epidural gelegenes Fett kann ebenfalls aufgrund der Lage und der reflexreicheren Struktur unterschieden werden. Probleme bei der Differenzierung sehen die Autoren bei eher dezentral und verteilt liegendem Material. Hier könne die Differenzierung schwer fallen. Blutkoagel,

bzw. Hämatome können eine Beurteilung der Strukturen erschweren, da sie eine ähnliche Signalintensität wie Bandscheibenmaterial aufweisen (MONTALVO et al. 1984). CHADDUCK et al. (1985) berichten in ihrer Studie unter anderem von 1 Patienten, der mittels intraoperativer Sonographie erfolgreich behandelt wird. MONTALVO et al. (1990) untersuchen 63 Patienten, die aufgrund eines Bandscheibenvorfalles operiert werden. Davon stimmt die sonographische Diagnose in 57 Fällen mit dem intraoperativen chirurgischen Befund überein. Dreimal gelingt die Diagnose nicht und in 3 Fällen ist die sonographische Diagnose nicht eindeutig. KAWAKAMI et al. (1994) identifizieren bei 2 Patienten das Bandscheibenmaterial. IMAMURA et al. (1995) sonographieren 3 Patienten mit Diskopathie. Nur in einem Fall kann das vorgefallene Bandscheibenmaterial klar identifiziert werden. Nach Entfernung des Materials ist eine gute Sicht auf das entlastete Rückenmark möglich. RAYNOR et al. (1997) berichten von 11 Patienten, von denen bei 10 eine erfolgreiche Dekompression unter Ultraschallkontrolle durchgeführt worden ist.

Eine weitere häufige Indikationen zum Einsatz des intraoperativen Ultraschalls ist die Navigation bei Tumorextirpationen (HUTCHINS et al. 1984, PASTO et al. 1984, QUENCER et al. 1984, CHADDUCK et al. 1985, QUENCER et al. 1987, KAWAKAMI et al. 1992, FRIEDMANN et al. 2003 und REGELSBERGER et al. 2005). Dabei wird das sonographische Aussehen verschiedenster Tumoren mit und ohne zystische Anteile als sehr variabel beschrieben. HUTCHINS et al. (1984) untersuchen 4 Patienten und unterscheiden in allen Fällen sonographisch zwischen Syringohydromyelie und soliden Tumoren. PASTO et al. (1984) unterscheiden bei 14 Patienten sonographisch zwischen Syringomyelie (5 Patienten), Trauma (6 Patienten) und Tumoren (3 Patienten). QUENCER et al. (1984) untersuchen in ihrer Arbeit 18 Patienten, darunter 13 mit tumorösen Veränderungen und 5 mit diversen anderen pathologischen Veränderungen mittels intraoperativem Ultraschall. Sie beschreiben die Sonographie als hervorragende Methode zur intraoperativen Navigation und als Erfolgskontrolle der durchgeführten Dekompression. Die Diagnose der einzelnen Veränderungen wird anschließend histopathologisch gestellt. 1987 stellen dieselben Autoren 13 Patienten vor, die aufgrund einer angeborenen Veränderung der Wirbelsäule operiert werden. Die Patienten weisen unterschiedliche tumoröse Veränderungen auf. Sie kommen wieder zu dem Schluss, dass mittels Sonographie keine Tumorklassifikation möglich sei. Einzelne Autoren versuchen einen Vergleich zwischen sonographischem Aussehen und den entsprechenden histopathologischen Befunden zu ziehen. KAWAKAMI et al. (1992) untersuchen insgesamt 20 Patienten und unterscheiden hauptsächlich zwischen Astrozytomen und Ependymomen. Die Astrozytome werden dabei in verschiedene Typen eingeteilt. Ihr

sonographisches Aussehen geht von multiplen abgerundeten reflexreichen intramedullären Arealen über singuläre reflexreiche abgerundete Massen, bis hin zu nicht vom physiologischen Rückenmark zu unterscheidenden Zonen, die als einziges Merkmal eine Vergrößerung des Rückenmarksdurchmessers zeigen. Die Astrozytome besitzen alternierend zystische Anteile, welche sich als anechogene Bereiche von unterschiedlicher Lokalisation darstellen. Die Ependymome sollen alle eine Syrinx aufweisen und ebenfalls eher reflexreich im Vergleich mit dem umgebenden Rückenmark sein. Tumormetastasen im Rückenmark werden als eher inhomogen und gut abgrenzbar beschrieben. REGELSBERGER et al. (2005) wiederum berichten, dass sonographisch keine exakte Unterscheidung zwischen Astrozytomen und Ependymomen möglich sei. Sie differenzieren allerdings zwischen intramedullären (38 Patienten) und extramedullären (43 Patienten) Tumoren. Die intramedullären Tumoren zeigen sich in der Mehrheit heterogen und schwer abgrenzbar (Ependymome 92%, Astrozytome 86%, Hämangioblastome 29%), wohingegen die extramedullären Massen homogen und scharf begrenzt zum Rückenmark seien (Meningiome 100%, Neurinome 87%, Filum terminale Ependymome 87%). Die restlichen genannten Autoren berichten übereinstimmend von in der Regel reflexreicher als das umgebende Rückenmarksparenchym erscheinenden Tumorbezirken. Weitere Hinweise seien auch z.B. eine Verkleinerung, bzw. ein Verschwinden des Subarachnoidalraumes, sowie eine Unterbrechung des Echosignals des Zentralkanals. Allerdings werden auch hypoechogene Tumoren beschrieben, homogen-inhomogen erscheinende, mit und ohne zystische Anteile. Auch die Abgrenzung zum physiologischen Rückenmark geht von scharf begrenzt bis zu keinerlei sichtbarer Abgrenzung. Zum Teil sei nur eine Erweiterung des Rückenmarksdurchmessers ohne Änderung der Echogenität vorhanden (PASTO et al. 1984, KAWAKAMI et al. 1992).

Ein weiteres Gebiet der intraoperativen Sonographie besteht in der Identifikation von Zysten, der anschließenden chirurgischen Navigation zur Platzierung eines Katheters und der abschließenden Kontrolle der entleerten Zyste (HUTCHINS et al. 1984, MONTALVO et al. 1984, PASTO et al. 1984, QUENCER et al. 1984, CHADDUCK et al. 1985; QUENCER et al. 1987, SKLAR et al. 1988). Zysten, ob es sich nun um Arachnoidalzysten, Syringomyelien, oder andere Flüssigkeitsansammlungen im Bereich des Rückenmarkes handelt, werden übereinstimmend als gut abgegrenzte anechogene Bezirke mit zum Teil reflexreichen Septen beschrieben. QUENCER et al. (1984) sprechen darüber hinaus eine Duraverdickung als weiteres Merkmal an. Zysten, welche posttraumatisch entstehen, können bei andauernden oder rezidivierenden Beschwerden mit Hilfe der Sonographie identifiziert werden. Eine

Rückenmarksveränderung, die ebenfalls posttraumatisch entstehen kann und von den Zysten differenziert werden muss, ist die Myelomalzie. Über das sonographische Aussehen existieren bisher nur einzelne variierende Beschreibungen (MONTALVO et al. 1984, GEBARSKI et al. 1985, FALCONE et al. 1994). Übereinstimmend lässt sich sagen, dass der Bereich der Myelomalzie in seiner Signalintensität vom Rest des Rückenmarkes abweicht und der Zentralkanal nicht mehr klar darzustellen ist. Weitere Merkmale seien eine Abnahme der reflexreichen Oberfläche und eine ansteigende Echogenität des Rückenmarksparenchyms. Im Gegensatz zu den Zysten sind in diesem Fall keine anechogenen Areale in der Sonographie zu erkennen (MONTALVO et al. 1984, GEBARSKI et al. 1985, FALCONE et al. 1994). BABYN et al. (1988) beschreiben 4 Fälle von Geburtstraumata des Rückenmarkes beim Säugling und unterscheiden zwischen Hämatomyelie und Myelomalazie. Der Bereich der Hämatomyelie wird als hyperechogen im Vergleich zum hypoechogenen Rückenmark beschrieben. Die Myelomalazie ist laut dieser Autoren durch eine Verschmälerung des Rückenmarksdurchmessers, eine irreguläre Oberfläche, eine erhöhte Echogenität des Rückenmarks selbst und einen Verlust des Zentralkanalechos gekennzeichnet.

Weitere Aspekte in der Rückenmarksdiagnostik sind der Einsatz in der Pädiatrie zur Erkennung von angeborenen Pathologien, sowie der postoperative Ultraschall zur Einschätzung der Prognose, bzw. dem frühzeitigen Erkennen von evtl. rezidivierenden Problemen (BRAUN et al. 1983, HORII et al. 1996, UNSINN et al. 2000). Da noch nicht vollständig ossifizierte Wirbelkörper eine gute Sicht auf die im Wirbelkanal liegenden Strukturen gewähren, entwickelte sich der pädiatrische Ultraschall immer weiter bis hin zu einem routinemäßig eingesetzten Standarduntersuchungsverfahren. In den zahlreichen publizierten Arbeiten werden sowohl die physiologischen Gegebenheiten des Rückenmarkes, als auch pathologische Befunde beschrieben (BRUNBERG et al. 1991; UNSINN et al. 2000, COLEY et al. 2001, DICK et al. 2002). Das Rückenmark selbst wird in den Studien als hypoechogen beschrieben. Die Dura mater zeichne sich als hyperechogene Linie ab. Der Liquor cerebrospinalis, welcher sich im Subarachnoidalraum und im Zentralkanal befindet und sich hypo- bis anechogen darstelle, bewirke durch den Impedanzsprung eine hyperechogene Grenzschicht. Um das Rückenmark selbst sei eine hyperechogene Linie zu sehen, der Zentralkanal stelle sich als reflexreiche Einfach- oder Doppellinie dar (QUENCER et al. 1984, KNAKE et al. 1985). QUENCER et al. (1984) untersuchen insgesamt 130 Patienten mit Erkrankungen im Bereich des Rückenmarkes und beschreiben hierbei auch das Aussehen des physiologischen Rückenmarkes. Andere Autoren beschreiben das sonographische Aussehen von Myelocelen, Myelomeningocelen, Zysten, Spinalen Tumoren,

Diastematomyelien, Hydromyelien, Syringomyelien, Gefäßmißbildungen und spinalen Dysraphien (BRUNBERG et al. 1991, UNSINN et al. 2000, COLEY et al. 2001, DICK et al. 2002). Übereinstimmend wird in der Literatur von der Sonographie als idealer Möglichkeit der exakten Diagnostik von pädiatrischen Erkrankungen im Bereich der Wirbelsäule gesprochen und wird deshalb routinemäßig eingesetzt. Die sonographischen Anzeichen einer Myelozele beispielsweise werden als hypoplastisch, d.h. verschmälert aussehendem Rückenmark mit dilatiertem Subarachnoidalraum und dem sich in mittlerer Echogenität darstellenden verlagerten nervalen Gewebe beschrieben. Eine Arachnoidalzyste stelle sich als anechogener Hohlraum dar, ausgehend vom Subarachnoidalraum, welcher das Rückenmark komprimiere. Ähnliches Aussehen haben auch Syringomyelien, welche allerdings eine Kavernenbildung im Rückenmarksparenchym darstellen.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit in der Humanmedizin besteht in der postoperativen Kontrolle bei andauerenden oder rezidivierenden klinischen Beschwerden, die vor allem nach Tumorextirpationen entstehen (BRAUN et al. 1983, HORII et al. 1986). Die unterschiedlichen Tumorarten lassen sich in diesen Studien sonographisch gut vom Rest des Rückenmarkes unterscheiden. Die Neoplasien weisen eine unterschiedliche Echogenität im Gegensatz zum umgebenden Gewebe auf. Sie besitzen entweder eine solide Struktur oder bestehen teilweise aus zystischen Anteilen. Die Tumoren lassen sich i.d.R. vom Echomuster des Rückenmarkes gut abgrenzen. Z.T. sei eine Erweiterung des Rückenmarksdurchmessers zu sehen. Als weitere Hinweise beschreiben BRAUN et al. (1983) und HORII et al. (1986) einen nicht mehr sichtbaren Subarachnoidalraum, bzw. Zentralkanal. Nicht in allen Fällen ist in den Studien eine Sicht auf das Rückenmark möglich. Wenn allerdings das Rückenmark sichtbar ist, seien Tumorrezidive mittels Sonographie immer zu identifizieren. HORII et al. (1986) untersuchen 83 Patienten transkutan sonographisch. 54 davon sind 21 Jahre alt oder jünger (Gruppe 1) und 29 davon über 21 Jahre alt (Gruppe 2). In Gruppe 1 kann das Rückenmark laut Autoren in 70 % der Fälle erkannt werden und davon sind in 87 % Tumoren zu sehen, in den restlichen Fällen ist das Rückenmark entweder nicht zu identifizieren oder es ist unauffällig. In Gruppe 2 ist das Rückenmark in 52 % der Fälle zu sehen und davon zeigen sich in 73 % tumoröse Veränderungen. Als ursächlich für die fehlende Sicht auf das Rückenmark beschreiben die Autoren Narbenbildungen, die Plazierung von Knochensplintern im OP-Bereich oder auch zu kleine operative Zugänge.

3.2. Veterinärmedizinische Literatur

In der veterinärmedizinischen Literatur findet man bisher nur vereinzelt Studien über die Sonographie der Wirbelsäule beim Kleintier. Das sonographische Aussehen des gesunden Rückenmarkes und der anhängenden Strukturen wird mittels intraoperativem Ultraschall, nach verschiedenen operativen Zugängen, wie Hemilaminektomie, Laminektomie oder Ventral slot, sowie durch postoperativen Ultraschall beschrieben (NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1993, HUDSON et al. 1995, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, RAULT et al. 2004). Das sonographische Aussehen des Rückenmarkes von Hunden sei dabei mit dem des Menschen sonographisch vergleichbar (FINN-BODNER et al. 1993, NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1995, HUDSON et al. 1995). Die Dura mater, ebenso wie die Pia mater und die Auskleidung des Zentralkanals stellen sich als hyperechogene, gut vom hypoechogenen Rückenmark abgegrenzte Linien dar. Die Zerebrospinalflüssigkeit ist im Ultraschall hypo bis anechogen. Hieraus ergibt sich im Idealfall eine gut sichtbare Einteilung in hyperechogene Dura mater, hypoechogenen Subarachnoidalraum, angefüllt mit Liquor cerebrospinalis, eine hyperechogene Pia mater und das hypoechogene Rückenmark selbst, mit enthaltenem hypoechogenem Zentralkanal, welcher von einer hyperechogenen Doppellinie begrenzt ist (NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1993, CARTEE et al. 1995, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, HUDSON et al. 1995, NANAI et al. 2007). In den einzelnen Studien wird eine unterschiedliche Anzahl von Hunden untersucht, diese geht von nur 7 Hunden bei NAKAYAMA et al. (1993) bis zu 34 bei HUDSON et al. (1995). Einige der Autoren berichten, dass der Zentralkanal nur als unklare reflexreiche Struktur in der Mitte des Rückenmarkes oder gar nicht zu sehen ist. Auch der Subarachnoidalraum ist nach Beschreibung von FINN-BODNER et al. (1995) nicht immer so klar vom Rückenmark absetzbar, vor allem ventral falle die Abgrenzung zum Teil schwer. Sie geben als mögliche Gründe die individuell unterschiedliche Menge an Zerebrospinalflüssigkeit, die jeweilige Position des Patienten, den Hydratationsstatus und eine eventuelle externe Kompression an. In der Studie von FINN-BODNER et al. (1995) wird darüber hinaus das Parenchym des Rückenmarkes noch wesentlich differenzierter beschrieben. Hier werden 31 gesunde Hunde in 4 Hauptgruppen eingeteilt, je nach Aussehen des Rückenmarkes vor einem induzierten Trauma. Bei den Tieren wird eine Hemilaminektomie durchgeführt, anschließend ein artifizielles Rückenmarkstrauma gesetzt, das Rückenmark erneut untersucht und das neurologische „outcome“ der Tiere beobachtet. In der ersten Gruppe weist das Rückenmark

eine gleichmäßige hypoechogene Struktur auf während in der zweiten Gruppe subtile reflexreichere Bereiche im Rückenmark zu sehen sind. In Gruppe 3 zeigt das Rückenmark multiple, definierte Areale mit reflexreichen Foki. Die letzte Gruppe weist multiple scharf begrenzte lineare Echos auf. Die Autoren berichten von einem signifikanten Zusammenhang zwischen sonographischem Aussehen des Rückenmarkes vor dem induzierten Trauma und Entwicklung einer Malazie, die sie durch histologische Untersuchungen bestätigen können. Sie postulieren, dass ein insgesamt reflexreicheres Rückenmark anfälliger für die Entwicklung einer Malazie sein könnte als ein homogen reflexarmes. Die echogeneren Bereiche sind nach Ihrer Meinung eventuell ein Hinweis auf die Vaskularisierung und könnten ggf. als prognostischer Faktor dienen, wobei ein heterogen, reflexreicheres Rückenmark eine höhere Prävalenz für eine anschließend auftretende Myelomalazie zeige. Im Gegensatz dazu beschreiben RAULT et al. (2004) bei der Mehrheit ihrer Patienten, (23 von 24 Patienten) eine homogen hypoechogene Struktur. Nur in einem Fall seien hyperechogene Foki zu sehen gewesen. Die gemessenen Größen des Rückenmarkes reichen von 4,9 bis 7,2 mm (FINN-BODNER et al. 1995). Strukturen, die im Gegensatz zur Humanmedizin nicht identifiziert werden können, sind das Ligamentum denticulatum, die Arachnoidea, der Plexus venosus, das Ligamentum longitudinale dorsale und das Periost (FINN-BODNER et al. 1995).

Die Sonographie wird mit unterschiedlichen Schallkopftypen, von Linear- über Convex- bis zu Sektorschallköpfen und mit Frequenzen, die sich im Bereich von 5 MHz – 12 MHz bewegen, durchgeführt, wobei keine eindeutige Präferenz für eine bestimmte Indikation ersichtlich wird (NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1993, HUDSON et al. 1995, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, GALLOWAY et al. 1999, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, TANAKA et al. 2006, NANAI et al. 2007). Die Durchführung der intraoperativen Sonographie erfolgt jeweils nach Überzug des Schallkopfes mit einem sterilen Cover, welches mit Ultraschallgel befüllt wird und nachdem der Operationsbereich mit steriler physiologischer Lösung aufgefüllt wurde. Die physiologische Lösung erfüllt den Zweck einer Vorlaufstrecke, so dass keine Berührung des Schallkopfes mit den zu untersuchenden Strukturen erfolgt (NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, HUDSON et al. 1995, GALLOWAY et al. 1999, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, TANAKA et al. 2006, NANAI et al. 2007). HUDSON et al. (1995) nennen einen Winkel von 33-45 ° als günstigsten Winkel für die intraoperative Sonographie nach Hemilminektomie, um die Blutgefäßversorgung zu überprüfen (maximale Dopplerintensität). FINN-BODNER et al. (1995) erwähnen ebenfalls einen standardisierten Winkel in ihren Untersuchungen, machen

aber keine weiteren Angaben darüber. Die postoperative Sonographie erfolgt perkutan an unterschiedlichen Tagen. Beschrieben ist die Durchführung des Ultraschall mit verschiedenen Kontrollen innerhalb der ersten 14 Tage postoperativ, wobei sich das Rückenmark am besten ab dem 6-ten Tag postoperativ darstellen lassen soll (NAKAYAMA et al. 1993). Andere Autoren kontrollieren die OP- Stelle 48 Stunden und 1 Woche postoperativ (FINN-BODNER et al. 1995) bzw. am 1-ten und 3-ten Tag postoperativ (RAULT et al. 2004). Das beschriebene Aussehen entspräche dem des intraoperativen Ultraschalls, wobei durch die darüber liegenden Strukturen z.T. eine weniger gute Sicht möglich sei. Die vorhandene veterinärmedizinische Literatur gibt als bestimmenden Faktor für den zu verwendenden Ansatzwinkel der Ultraschallsonde einzig die Notwendigkeit das zu schallende Gewebe orthograd zu treffen an. Die Beschreibung von weiteren pathologischen Veränderungen reicht von traumatischen Strukturveränderungen wie z.B. Myelomalazien, Zysten, Ödemen, Hämatomen, über Tumoren bis hin zu Bandscheibenvorfällen. Am häufigsten werden Bandscheibenvorfälle sonographisch beschrieben (NAKAYAMA et al. 1993, GALLAGHER et al. 1995, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, NANAI et al. 2007). Bandscheibenmaterial stellt sich demnach hyperechogen dar. Eine in vitro – Studie von NAISH et al. 2003 beschäftigt sich näher mit dem Aussehen der Bandscheibe in situ. Die Autoren beschreiben die physiologische Bandscheibe und das Aussehen pathologischer, degenerativer Veränderungen noch bevor es zu einem Bandscheibenvorfall gekommen ist. Der Anulus fibrosus stellt sich laut Verfasser in hyperechogenen parallelen Linien dar, während der Nucleus pulposus hypoechogen sei. Diese Beschreibung des Diskus ist auch in der Studie von RAULT et al. 2004 zu finden. Bei auftretenden degenerativen Veränderungen sehen die Autoren vermehrt hyperechogene Bezirke in der Bandscheibe. RAULT et al. (2004) nennen als weiteres Merkmal einen möglichen distalen Schallschatten ventral des Bandscheibenmaterials. Insgesamt werden 6 Tumoren im Bereich des Rückenmarkes beschrieben (GALLAGHER et al. 1995, TANAKA et al. 2006, NANAI et al. 2007). Bei einem Hund findet sich ein Meningiom, bei dem anderen ein gemischt spindelzelliger und epitheloidzelliger Tumor, der nicht genauer differenziert werden kann. Das sonographische Aussehen wird in beiden Fällen als hyperechogen, bei dem gemischtzelligen Tumor mit einem zusätzlichen hypoechogener Anteil beschrieben. Ein Nephroblastom zeigt sich ebenfalls hyperechogen und gut vom gesunden Rückenmark abgrenzbar. Der Tumor weist eine Lobulierung auf, der Zentralkanal des Rückenmarkes ist nur noch unklar zu erkennen und wird von der Masse verdrängt. NANAI et al. (2007) beschreiben 3 verschiedene Tumoren in ihrer Studie (1 Astrozytom, 1 anaplastisches Glioblastom und 1 Myelom). Das Aussehen dieser Tumoren variiert von einer gut

umschriebenen hyperechogenen Masse bis zu einer sehr irregulären hypoechogenen Zubildung mit zystischen Arealen. Von der Lokalisation her lassen sich die Tumoren in intramedullär, intradural-extramedullär und extradural unterscheiden. Ödeme beschreiben GALLAGHER et al. (1995) anhand von 2 Fällen als Erweiterung des Rückenmarkes ohne Veränderung der Echogenität. GALLOWAY et al. (1999) untersuchen bei 3 Hunden Arachnoidalzysten. Gemeinsamkeiten im Aussehen sind eine verdickte, irreguläre Dura mater, ein nicht zu identifizierender ventraler Subarachnoidalraum, irreguläre hyperechogene lineare Strukturen innerhalb der Zysten, welche als Septen angesprochen werden und ein irregulärer Anstieg der Echogenität im Bereich des komprimierten Rückenmarkes. In 2 Fällen stellt sich der Zysteninhalt von gleicher Echogenität wie das umgebende gesunde Rückenmark dar. 1 Hund weist einen ggr. hypoechogeneren Inhalt auf. Bei 2 Tieren ist eine deutliche echogene Zystenwand als Abgrenzung zum gesunden Rückenmark zu erkennen. Der Zentralkanal ist nur einmal zu erkennen. Das sonographische Aussehen eines Hämatoms findet sich bei RAULT et al. (2004), welches sich hyperechogen und im Vergleich zu Bandscheibenmaterial ohne distalen Schallschatten darstellt. Die Beschreibung einer Myelomalazie gibt es nur in einem Fall bei TANAKA et al. (2006). Der myelomalazische Bereich stellt sich im Vergleich zum physiologischen Rückenmark hyperechogen mit unklarer Abgrenzung und Verschluss des Zentralkanals dar.

Die sonographisch untersuchten Hunderassen weisen ein sehr weites Spektrum auf. Sie werden zum Teil nicht genauer oder nur als Mischlinge beschrieben (FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, HUDSON et al. 1995, RAULT et al. 2004). In den Studien von NAKAYAMA et al. (1993), GALLOWAY et al. (1999), NANAI et al. (2006), TANAKA et al. (2006) und NANAI et al. (2007) geht das Spektrum von kleineren Rassen wie Malteser, Zwergdackel und Shi Tzu über mittelgroße wie Staffordshire Bullterrier, zu großen Rassen wie Neufundländer, Dobermann Pinscher und Berner Sennenhund und Bernhardiner. RAULT et al. (2004) nennen eine Gewichtsgrenze von 25 kg Körpermasse als restriktiven Faktor, da bei größeren, schwereren Hunden das Rückenmark zu tief liegt, um eine ausreichende sonographische Untersuchung zu ermöglichen. Die Autoren merken darüber hinaus an, dass nicht alle Operationsmethoden einen ausreichenden Zugang für die sonographische Untersuchung gewährleisten. Sie schließen die Foraminotomie, Fenestration, Minihemilaminektomie und die Korpektomie aus, da kein ausreichender Platz für eine anschließende Sonographie bestehe. Die Autoren unterstreichen diese Aussage damit, dass in ihrer Studie nur das Rückenmark der Tiere überhaupt einsehbar und zu untersuchen gewesen sei, die diesen Kriterien entsprächen (23 Hunde und 1 Katze bei insgesamt 98 untersuchten

Tieren). Als weitere störende Faktoren, die die Sonographie beeinflussen, benennen FINN-BODNER et al. (1995) Blutungen und sich bildendes Narbengewebe. Eine besondere Form des Narbengewebes, die sogenannte Laminektomiemembran, tritt vor allem im thorakolumbalen Übergangsbereich und im Bereich der Lendenwirbelsäule nach dekompressiver Chirurgie auf (ÖZAK et al. 2002). GALLOWAY et al. (1995) vergleichen die Sonographie mit anderen Bildgebenden Verfahren. Hier wird zur Untersuchung von 7 Hunden mit Arachnoidalzysten Röntgen, Myelographie, MRT, CT und Ultraschall im Vergleich durchgeführt. Röntgenaufnahmen alleine sind nicht diagnostisch, durch die Myelographie ist jedoch in allen Fällen eine korrekte Diagnose möglich. Dies gilt auch für die CT. Darüber hinaus kann die stärker betroffene Seite im Gegensatz zur Myelographie klar abgegrenzt werden. Die MRT kann zusätzliche Informationen über die Art und Form der Kompression geben (z.B. die Diagnose einer Syringomyelie). Die Sonographie wird bei 3 Patienten durchgeführt und ergibt ebenfalls eine korrekte Diagnose.

4 Material und Methoden

4.1. Gerätebeschreibung

Die sonographischen Untersuchungen für diese Arbeit werden mit dem Gerät Powervision 8000, SSA-390A der Firma Toshiba, dem Gerät Ultramark 9 HDI, der Firma ATL sowie dem Gerät Logiq 9 der Firma General Electric (GE) durchgeführt. Alle 3 Maschinen arbeiten mit dem Real Time Verfahren. Es können verschiedene Linear-, Konvex- und Sektorschallköpfe angeschlossen werden.

4.1.1. Schallköpfe

Für die durchgeführten Untersuchungen werden folgende Ultraschallköpfe verwendet:

a) Ultramark 9 HDI, X9711, ATL

Linearschallkopf (L 10-5): 5,0-10,0 MHz, Linear Array

Konvexschallkopf (C 9-5): 5,0-9,0 MHz, Mikrokonvex Intravaginal Array

b) Powervision 8000, SSA-390A, Toshiba

Linearschallkopf (L 80): 6,0-12,0 MHz, Linear Array PLN-805AT, elektronische Abtastung,

Konvexschallkopf (C 37): 3,0-6,0 MHz, Curved Array PVN-375AT, elektronische Abtastung,

Linearschallkopf (LX 2): 8,0-15,0 MHz, Linear Array

c) Logiq 9, GE

Konvexschallkopf (M 7C): 6,0-8,0 MHz, Curved Array

Linearschallkopf (M 12L): 9,0-14,0 MHz, Linear Array

4.1.2. Bildeinstellung

Die sonographischen Untersuchungen werden mit unterschiedlichen Programmen durchgeführt. Die Untersuchungen am Ultramark 9 HDI, X9711 und am Powervision 8000, SSA-390A erfolgen jeweils im Abdomen-Programm. Die Untersuchungen am Logiq 9 werden entweder mit dem Abdomen oder dem Small Parts Programm durchgeführt.

4.1.2.1. Gesamtverstärkung

Bei den Geräten lässt sich über die Grundverstärkung, bzw. Gesamtverstärkung die Helligkeit des Gesamtbildes einstellen.

4.1.2.2. Tiefenverstärkung

Mit der Tiefenverstärkung (TGC = time gain compensation) können bei den Geräten Gewebe in verschiedener Tiefe mit der gleichen Reflexdichte versehen werden.

4.1.2.3. Dynamikbereich

Der Dynamikbereich legt die Echointensität des Ultraschallbildes fest und damit auch den Schwarz-Weißkontrast. Je kleiner der Bereich gewählt wird, desto größer der Kontrast. Je größer der Dynamikbereich, desto größer die Menge der abgebildeten Echos, die im oberen und unteren Grenzbereich liegen und damit desto geringer der Kontrast.

4.1.3. Bildwiedergabe

Die sonographischen Untersuchungen werden im zweidimensionalen B-Mode-Verfahren durchgeführt.

4.1.3.1. Fokuszonen

Die Fokuszone ist der Bildbereich mit der besten Auflösung. Bei den verwendeten Geräten können entweder einzelne Fokuszonen verwendet und jeweils in den interessierenden Bereich verschoben oder mehrere Fokuszonen eingestellt werden. Der Fokusbereich wird immer auf das zu untersuchende Objekt eingestellt.

4.1.3.2. Beschriftung

Die Patientendaten (Name, Rasse, Alter, Geschlecht, laufende Ultraschallnummer) werden bei den verschiedenen Geräten in unterschiedlicher Form auf den Bildrändern angegeben. Zusätzlich werden noch Datum, Untersuchungszeitpunkt und andere

Untersuchungsparameter, wie Frequenz, Dynamikbereich angegeben. Die Daten werden entweder, wie beim Powervision 8000 und beim Ultramark 9 HDI über die Tastatur und den Trackball eingegeben, oder wie beim Logiq 9 über ein gesondertes Programm (Sonowin 97).

4.1.3.3. Distanzmessung

Die Vermessung von Distanzen erfolgt bei allen Geräten mit Hilfe von Cursor - Paaren, die durch den Trackball und die Set-Taste eingestellt werden.

4.1.3.4. Monitor

Die Bildwiedergabe erfolgt beim Toshiba durch einen 15-Zoll-Farb-Monitor, beim Logiq 9 mit einem 17-Zoll-Farb-Monitor, beim ATL mittels eines Schwarzweiß-9-Zoll-Monitors.

4.1.4. Dokumentation

Die Dokumentation der Daten des Geräts Powervision 8000 erfolgt digital über die in das Gerät integrierte Workstation (Powerview Model UIDM-400A). Diese arbeitet über eine direkte Vernetzung mit dem Ultraschallbild mit dem Betriebssystem Windows NT 4.0. Die sonographischen Bilder werden zuerst auf der Festplatte des Computers im DICOM - Format abgespeichert, mit einer Auflösung von 640 mal 480 Bildpunkten. Anschließend werden sie über eine DICOM - Schnittstelle in die Client-Server-Datenbank transferiert. Von dort ist über die Software Sonowin ein Zugriff auf die Daten möglich.

Bei dem Gerät Logiq 9 erfolgt die Dokumentation auf demselben Wege, ebenfalls über eine DICOM - Schnittstelle und anschließendem Zugriff über das Programm Sonowin.

Die Datenspeicherung beim Ultramark 9 HDI erfolgt über eine direkte Frame – grabbing - Schnittstelle mit Weiterleitung auf einen externen Laptop und dortiger Speicherung der Daten mittels der Software WinTV2000.

4.2. Patientenauswahl

Alle Patienten stammen aus dem Patientengut des Klinikums Veterinärmedizin, Klinik für Kleintiere – Chirurgie der Justus-Liebig-Universität Gießen. Es werden durch den Autor insgesamt 104 Patienten aus den Jahren 2004 – 2007 untersucht.

Die sonographischen Untersuchungen teilen sich in Voruntersuchungen und eigentliche Untersuchungen auf. In den Voruntersuchungen werden insgesamt 4 Tiere postmortal sonographiert, um das physiologische Aussehen, mit den hier verwendeten Geräten und Schallköpfen, des Rückenmarkes darzustellen. Die eigentlichen Untersuchungen werden je nach Befund im Anschluss an verschiedene operative Zugänge zum Rückenmark durchgeführt. Die Operationsmethoden reichen von Hemilaminektomie, Hemilaminektomie mit lateraler Korpektomie über Laminektomie bis zum Ventral slot. Bei den eigentlichen Untersuchungen wird das hauptsächliche Augenmerk der Untersuchungen auf Diskopathiepatienten gelegt. Dazu werden insgesamt 86 Hunde untersucht. Dabei wird die Hälfte der Tiere (43) intra – und postoperativ sonographisch untersucht, die andere Hälfte (43) ausschließlich postoperativ. Die intraoperativen Untersuchungen finden an 2 Zeitpunkten statt. Die postoperativen Untersuchungen finden an 3 Zeitpunkten statt. Eine Beurteilung des Neurostatus wird jeweils bei stationärer Aufnahme und zu den einzelnen postoperativen Untersuchungszeitpunkten durchgeführt. Die klinische Symptomatik reicht von klinisch unauffällig bis hin zu Plegien. Bei einer Gruppe von 20 Tieren wird eine postoperative Computertomographie (CT) als Vergleich zu den intraoperativen Ultraschallbefunden durchgeführt.

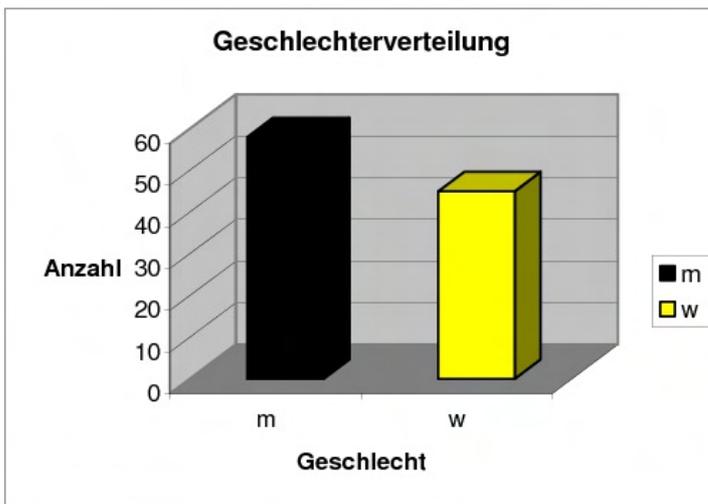
Darüber hinaus werden als zusätzliche Gruppe Tiere mit weiteren, nicht die Bandscheiben betreffenden, pathologischen Rückenmarksveränderungen untersucht. Zu dieser Gruppe gehören 2 Tiere mit zystischen Veränderungen, 5 Hunde mit Rückenmarkstumoren und 7 Tiere mit traumatischen Veränderungen des Rückenmarkes, d.h. Myelomalazie, Blutungen, Ödeme. Die Tiere werden jeweils einmalig intraoperativ sonographiert.

Die Lokalisation der pathologischen Veränderungen des Rückenmarkes reicht vom Halsmark bis zum Sakralmark. Es erfolgt jeweils eine präsonographische Diagnosestellung, entweder durch Röntgenuntersuchungen + Myelographie, durch eine Computertomographie (CT) oder eine Magnetresonanztomographie (MRT) und ein Vergleich mit den sonographischen Befunden.

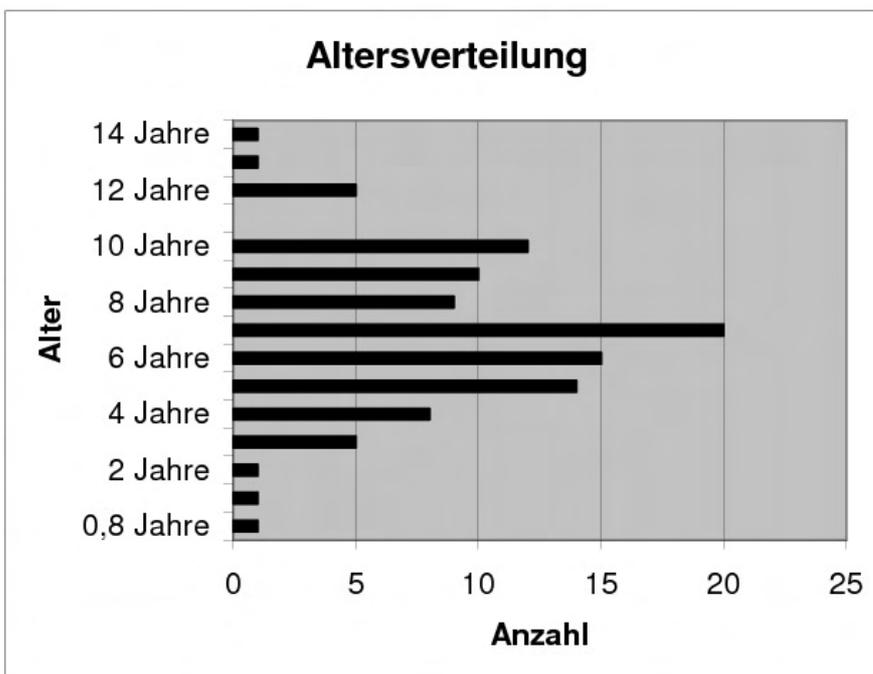
Die in die Untersuchungen einbezogenen Rassen weisen ein weites Spektrum auf (siehe Tabelle 1). Die Geschlechterverteilung der untersuchten Hunde wird aus Graphik 1 ersichtlich. Das Alter der Tiere variiert von 8 Monaten bis 14 Jahren, mit einem Durchschnitt von 7 Jahren (Graphik 2).

Rasse	Anzahl	Pathologie/Gruppe
Australian Shepard	1	Diskopathie
Beagle	1	Diskopathie
Border Collie	1	Voruntersuchungen
Bracke	3	Diskopathie/Voruntersuchungen
Bracken –Mix	1	Diskopathie
Berner Sennenhund	1	Diskopathie
Chihuahua –Mix	1	Diskopathie
Cocker Spaniel	2	Diskopathie
Dackel –Mix	4	Diskopathie
Dobermann	1	Diskopathie
Dogo Argentino	2	Diskopathie
Französische Bulldogge	1	Diskopathie
Havanaser	1	Diskopathie
Hovawart	1	Diskopathie
Irish Setter	2	Diskopathie/Trauma
Jack Russel Terrier	1	Tumor Rückenmark
Kurzhaardackel	6	Diskopathie
Labrador Retriever	3	Diskopathie/Myelomalazie/Tumor Rückenmark
Langhaardackel	6	Diskopathie
Neufundländer	1	Diskopathie
Pekingnese	2	Diskopathie
Retriever – Mix	3	Trauma/Tumor Rückenmark
Rauhaardackel	21	Diskopathie/Myelomalazie
Rottweiler	2	Diskopathie/Voruntersuchungen
Schäferhund	8	Diskopathie/Tumor Rückenmark/ Voruntersuchungen/Zysten
Schnauzer – Mix	4	Diskopathie/Tumor Rückenmark
Shi Tzu	4	Diskopathie/Trauma
Skye Terrier	1	Diskopathie
Staffordshire Terrier	1	Diskopathie
Terrier – Mix	10	Diskopathie/Trauma
Vizla	1	Diskopathie
West-Highland Terrier	1	Diskopathie
Windhund	1	Diskopathie
Yorkshire –Terrier	1	Diskopathie
Zwergdackel	3	Diskopathie
Zwergschnauzer	1	Diskopathie

Tabelle 1: Rasseverteilung der untersuchten Tiere und ihre Pathologien (n=104)



Graphik 1: Geschlechterverteilung der an der Wirbelsäule sonographierten Tiere(n=104)



Graphik 2: Altersverteilung der an der Wirbelsäule sonographierten Tiere (n=104)

4.3. Voruntersuchungen

Das Rückenmark von 4 frisch toten Wirbelsäulen – und Rückenmarksgesunden Hunden wird in ganzer Länge vom Beginn der Halbwirbelsäule bis Ende der Lendenwirbelsäule durch Entfernung des Wirbeldaches freigelegt und anschließend sonographiert. Das Absetzen des Wirbeldaches erfolgt nach Absetzen des Rumpfes, der Gliedmaßen und des Kopfes mittels Knochensäge, ohne dabei das Rückenmark oder die Hüllen zu beschädigen. Die Untersuchung erfolgt im Wasserbad, welches mit physiologischer Kochsalzlösung gefüllt ist. Die Untersuchungen werden im Längs – und Querschnitt durchgeführt, jeweils in einem Anschallwinkel von 0° zur Medianen. Die sichtbaren Strukturen des Rückenmarkes und seiner Hüllen werden dokumentiert und beschrieben.

4.4. Eigentliche Untersuchungen

4.4.1. Vorbereitung und Untersuchung der intraoperativ untersuchten Diskopathiepatienten

4.4.1.1. Anästhesie

Die Tiere erhalten eine Allgemeinnarkose. Nach der Legung eines venösen Zugangs wird als Prämedikation, bzw. Einleitung eine Kombination aus Diazepam (5mg/10kgKM) – Polamivet (5-7,5mg/10kgKM) und Ketamin (20mg/10kgKM) – Xylazin (2 mg/10kgKM) verabreicht. Anschließend werden die Tiere intubiert. Zur Erhaltung der Narkose während der Operation erfolgt eine Inhalationsnarkose mittels eines Sauerstoff – Isoflurangemisches. Die intravenöse Infusion während der Operation erfolgt mit physiologischer Kochsalzlösung im doppelten Erhaltungssatz, d.h. 4 ml/kg/h.

4.4.1.2. Lagerung

Die Patienten werden je nach Lokalisation der Veränderung und anstehender Operations - Methode in Brust - Bauchlage bei Hemi – bzw. Laminektomien und lateralen Korpektomien oder in Rückenlage bei Durchführung eines Ventral slots gelagert.

4.4.1.3. Scheren

Der Operationsbereich wird großzügig geschoren, mit Alkohol entfettet und anschließend mit jodhaltigem Desinfektionsmittel drei Mal für insgesamt 5 Minuten desinfiziert.

4.4.1.4. Ankopplung

Zur Durchführung des intraoperativen Ultraschalls wird nach erfolgtem Zugang zum Rückenmark der Operationsbereich mit steriler Kochsalzlösung aufgefüllt. Anschließend wird der Ultraschallkopf in ein steriles Cover (Ultracover der Marke Allegiance, 40*300 mm und der Marke Microtek, 60*300 mm) gehüllt, welches Ultraschallkontaktgel enthält. Der Ultraschallkopf, bzw. das Cover hat während keiner Zeit Kontakt zum zu untersuchenden Rückenmark. Die sterile Flüssigkeit und das Ultraschallkontaktgel erfüllen den Zweck einer Vorlaufstrecke und ermöglichen so eine artefaktfreie Abbildung der Strukturen.

4.4.1.5. Untersuchungsgang

Zum Zeitpunkt der stationären Aufnahme der Tiere in der Klinik wird der Neurostatus erhoben. Der operative Zugang erfolgt je nach Lokalisation entweder durch eine Hemilaminektomie, eine Laminektomie, einen Ventral slot oder eine Hemilaminektomie in Kombination mit einer lateralen Korpektomie. Nach operativem Zugang zum erkrankten Rückenmarksabschnitt erfolgt die Sonographie im Längsschnitt und wenn möglich im Querschnitt. Der Bandscheibenvorfall und das Rückenmark müssen orthograd angeschallt werden. Dies bedeutet bei den verschiedenen Operationsmethoden verschiedene Anschallwinkel. Bei der Hemilaminektomie ist dies im Durchschnitt ein Winkel von 30 – 45° zur Medianen (siehe Zeichnung 1), bei der Hemilaminektomie in Kombination mit einer lateralen Korpektomie erweitert sich der Winkel auf bis zu 90° (siehe Zeichnung 2). Der Anschallwinkel bei der Laminektomie und beim Ventral slot erfolgt bei 0° zur Medianen (siehe Zeichnung 3 und 4). Der Ultraschall erfolgt vor und nach Entfernung des Bandscheibenvorfalles. Sonographisch beurteilt wird die Sicht auf das Rückenmark, das Aussehen sowie die Sicht auf den Bandscheibenvorfall. Darüber hinaus erfolgt eine genauere Beschreibung des Bandscheibenvorfalles. Höhe und Länge des Vorfalles werden im Millimeter ausgemessen (siehe Zeichnung 5), die genaue Lokalisation und Auftreten eines distalen

Schallschattens, die Lokalisation der Operation und der Grad der intraoperativen Blutung werden dokumentiert.

4.4.2. Vorbereitung und Untersuchung der postoperativ untersuchten Diskopathiepatienten

4.4.2.1. Lagerung

Die Untersuchung der Patienten erfolgt am wachen Tier in sitzender Position, mit dem Rücken zum Untersucher, bzw. für die Untersuchung nach Ventral slot in Seiten – bzw. Rückenlage.

4.4.2.2. Scheren

Der zu untersuchende Bereich der Wirbelsäule wird großflächig geschoren, da sonst durch die sich ansammelnde Luft in den Haaren keine adequate Ankopplung gewährleistet wäre.

4.4.2.3. Ankopplung

Um Artefakte, die durch die Luft entstehen, die sich zwischen Haut und Ultraschallkopf befindet, zu vermeiden, muss der Schallkopf einen möglichst großflächigen Kontakt zur Haut aufweisen. Darüber hinaus wird als Ankopplungsmedium ein Ultraschallkontaktgel (Sonogel) verwendet. Zum Teil ist es notwendig das Kontaktgel ein paar Minuten einziehen zu lassen, um ein besseres Bild zu erzielen.

4.4.2.4. Untersuchungsgang

Die sonographischen Untersuchungen finden zu 3 verschiedenen Zeitpunkten statt. Der Neurostatus der Tiere wird jeweils dokumentiert. Die Untersuchungen werden perkutan durchgeführt und finden im Längsschnitt und wenn möglich im Querschnitt statt. Der Schallkopf wird je nach vorangegangener Operationsmethode in verschiedenen Winkeln angesetzt, die denen des intraoperativen Ultraschalls entsprechen. (siehe Zeichnung 1 – 4) Sonographisch beurteilt wird jeweils die Sicht auf das Rückenmark und die Sicht auf pathologische reflexreiche Veränderungen. Darüber hinaus erfolgt, wenn vorhanden, eine

genauere Beschreibung der pathologischen Veränderung. Höhe und Länge werden im Millimeter ausgemessen (siehe Zeichnung 5), die genaue Lokalisation und Auftreten eines distalen Schallschattens werden dokumentiert. Festgehalten werden ebenfalls die Lokalisation der Operation und der jeweils verwendete Schallkopftyp und die Frequenz.

4.4.3. Vorbereitung und Untersuchung der Patienten mit weiteren Pathologien im Bereich des Rückenmarke

4.4.3.1. Anästhesie

Die Tiere erhalten eine Allgemeinnarkose. Nach Legen eines venösen Zugangs wird als Prämedikation, bzw. Einleitung eine Kombination aus Diazepam (5mg/10kgKM) – Polamivet (5-7,5mg/10kgKM) und Ketamin (20mg/10kgKM) – Xylazin (2 mg/10kgKM) verabreicht. Anschließend werden die Tiere intubiert. Zur Erhaltung der Narkose während der Operation erfolgt eine Inhalationsnarkose mittels eines Sauerstoff – Isoflurangemisches. Die intravenöse Infusion während der Operation erfolgt mit physiologischer Kochsalzlösung im doppelten Erhaltungssatz, d.h. 4 ml/kg/h.

4.4.3.2. Lagerung

Die Patienten werden je nach Lokalisation der Veränderung und anstehender Operationsmethode in Brust - Bauchlage bei Hemi – bzw. Laminektomien oder in Rückenlage bei Durchführung eines Ventral slots gelagert.

4.4.3.3. Scheren

Der zu operierende Bereich wird großzügig geschoren, mit Alkohol entfettet und anschließend mit jodhaltigem Desinfektionsmittel drei Mal für insgesamt 5 Minuten desinfiziert.

4.4.3.4. Ankopplung

Zur Durchführung des intraoperativen Ultraschalls wird nach erfolgtem Zugang zum Rückenmark das Wundgebiet mit steriler Kochsalzlösung aufgefüllt. Anschließend wird der

Ultraschallkopf in ein steriles Cover (Ultracover der Marke Allegiance, 40*300 mm und der Marke Microtek, 60*300 mm) gehüllt, welches Ultraschallkontaktgel enthält. Der Ultraschallkopf, bzw. das Cover hat während keiner Zeit Kontakt zum Rückenmark. Die sterile Flüssigkeit und das Ultraschallkontaktgel erfüllen den Zweck einer Vorlaufstrecke und ermöglichen so eine artefaktfreie Abbildung der Strukturen.

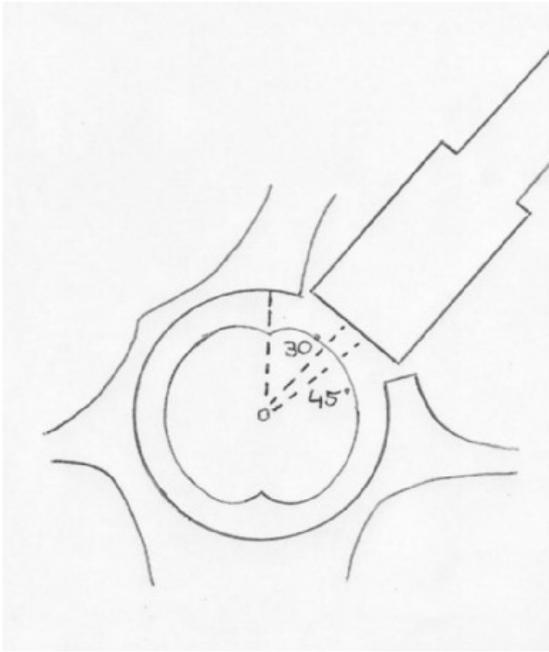
4.4.3.5. Untersuchungsgang

In dieser Gruppe werden Tiere mit pathologischen Veränderungen des Rückenmarkes, wie Zysten, Rückenmarkstumoren, Rückenmarkstraumata (Myelomalazie, Blutungen, Ödeme) sonographisch untersucht.

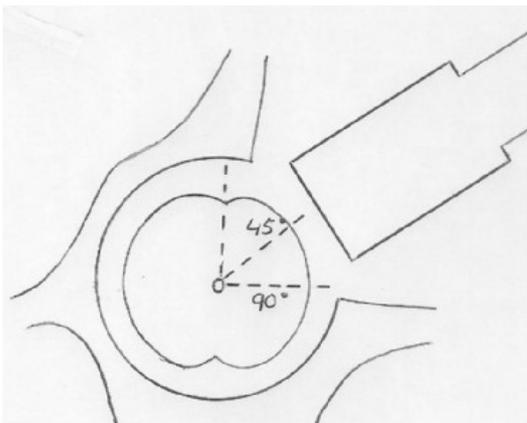
Nach operativem Zugang zum erkrankten Rückenmarksabschnitt erfolgt die Sonographie im Längsschnitt und wenn möglich im Querschnitt. Die pathologische Veränderung und das Rückenmark wird orthograd angeschall. Dadurch entstehen unterschiedliche Anschallwinkel. Die sonographisch sichtbaren pathologischen Veränderungen werden mit den physiologischen Bereichen cranial und caudal der Pathologie verglichen. Echogenitätsunterschiede werden dokumentiert und beschrieben. Die Größe der Veränderung wird in Millimeter ausgemessen (Höhe und Länge). Je nach Art der pathologischen Veränderung und weiterem Vorgehen werden wenn möglich Zytolgien oder Biospien entnommen. Die Lokalisation der pathologischen Veränderung, Operationsmethode, verwendeter Schallkopf und Frequenz und präsonographische Diagnostik werden dokumentiert.

4.5. Statistische Auswertung

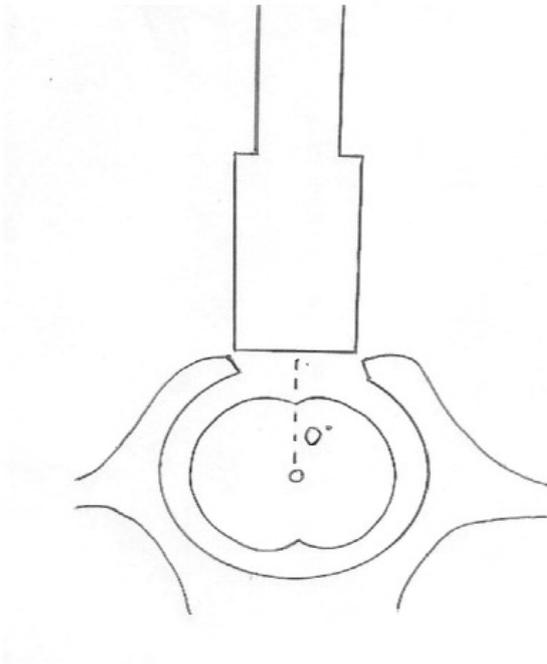
Die statistische Auswertung wird von der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus – Liebig – Universität betreut und unter Verwendung der Statistikprogramme BMDP (DIXON 1993), TESTIMATE6 (RAHLFS 2002), BiAS8.2. (ACKERMANN 2003) und StatXact - Turbo (MEHTA und PATEL 1992) durchgeführt. Die Diagramme zur Datenbeschreibung werden mit dem Programm Microsoft Excel erstellt. Bei der Bewertung der statistischen Signifikanzen wird das Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ zugrunde gelegt, d.h. Ergebnisse mit $p \leq 0,05$ werden als statistisch signifikant angesehen. Zusätzlich wird, wenn möglich, der exakte p – Wert angegeben.



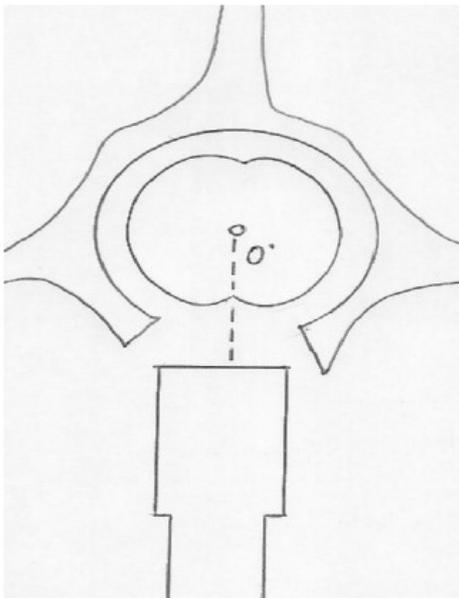
Zeichnung 1: Anschallwinkel bei Hemilaminektomie (Diskopathiepatienten)



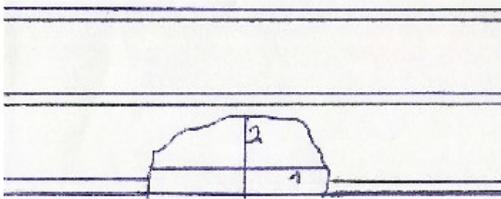
Zeichnung 2: Anschallwinkel bei Hemilaminektomie in Kombination mit einer lateralen Korpektomie (Diskopathiepatienten)



Zeichnung.3: Anschallwinkel bei Laminektomie (Diskopathiepatienten)



Zeichnung 4: Anschallwinkel bei Ventral slot (Diskopathiepatienten)



Zeichnung 5: Schema Aussehen und Ausmessung der Bandscheibenvorfälle

1 = Länge (längste Stelle), 2 = Höhe (höchste St

5 Ergebnisse

5.1. Ergebnisse der Voruntersuchungen

Bei insgesamt 4 neurologisch gesunden Hunden, die aus anderen Gründen euthanasiert wurden, wird eine sonographische Untersuchung des Rückenmarkes durchgeführt. Verwendet wird das Gerät von Toshiba und der Linearschallkopf LX2 mit den Frequenzen 8, 12 und 15 MHz. Bei den Patienten handelt es sich um ein 10 Jahre alte, weibliche Bracke, einen 6 Jahre alten, männlichen DSH, eine 10 Jahre alte, weibliche Rottweilerhündin und einen 1 Jahre alten, weiblichen Border Collie. In den Untersuchungen zeigt sich die Dura mater als hyperechogene, dünne Linie. Im Anschluß daran sieht man den Subarachnoidalraum als hypoechogenes Areal. Die darauf folgende Pia mater ist als hyperechogene, feine Linie zu sehen. Das Rückenmarksparenchym selbst stellt sich ebenfalls hypoechogen dar. Der Zentralkanal liegt zentral als hypoechogener Schlauch, mit hyperechogenen Begrenzungen (siehe Abb. 2, 3 und Zeichnung 6).

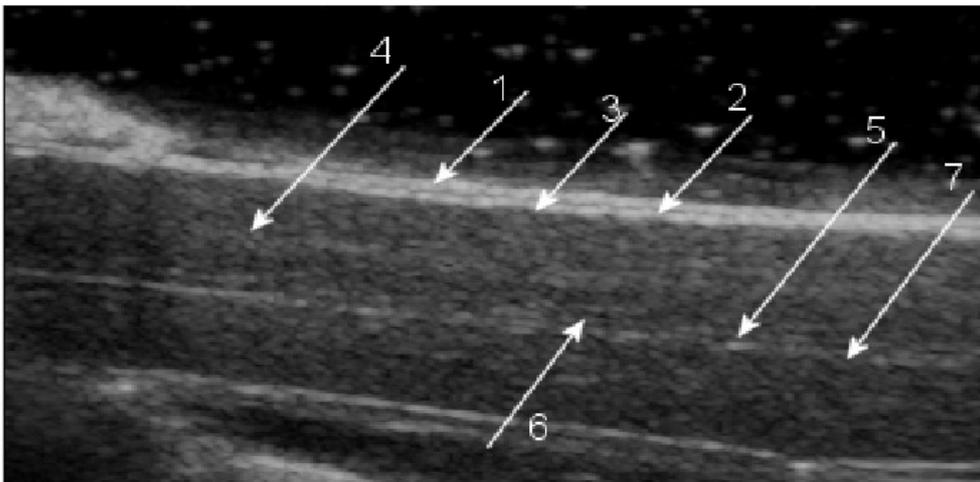
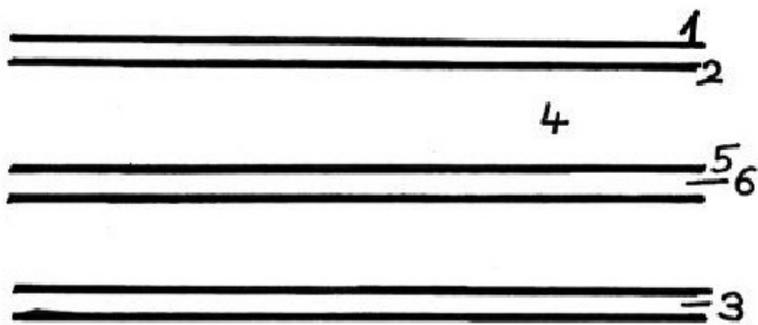


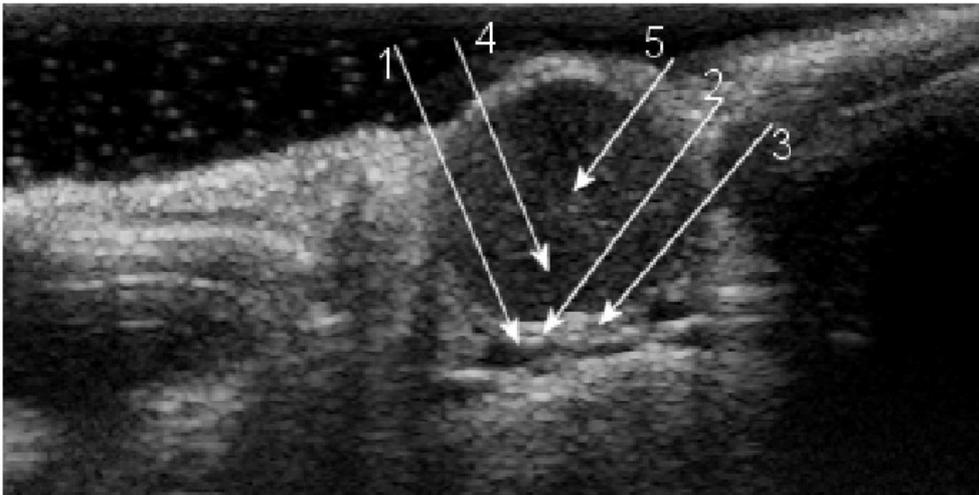
Abb. 2: Rückenmark, Längsschnitt im Bereich der Halswirbelsäule; Deutscher Schäferhund, männlich, 6 Jahre

1 = Dura mater, 2 = Subarachnoidalraum, 3 = Pia mater, 4 = Rückenmarksparenchym, 5 = Begrenzung Zentralkanal, 6 = Zentralkanal, 7 = Begrenzung Zentralkanal



Zeichnung 6: Einzelne Schichten des Rückenmarks

1 = Dura mater, 2 = Pia mater, 3 = Subarachnoidalraum, 4 = Rückenmarksparenchym,
5 = Begrenzung Zentralkanal, 6 = Zentralkanal



**Abb. 3: Rückenmark, Querschnitt im Bereich der Halswirbelsäule; Rottweiler, weiblich,
10 Jahre**

1 = Dura mater, 2 = Pia mater, 3 = Subarachnoidalraum, 4 = Rückenmarksparenchym,
5 = Begrenzung Zentralkanal, 6 = Zentralkanal

5.2. Ergebnisse der Diskopathiepatienten

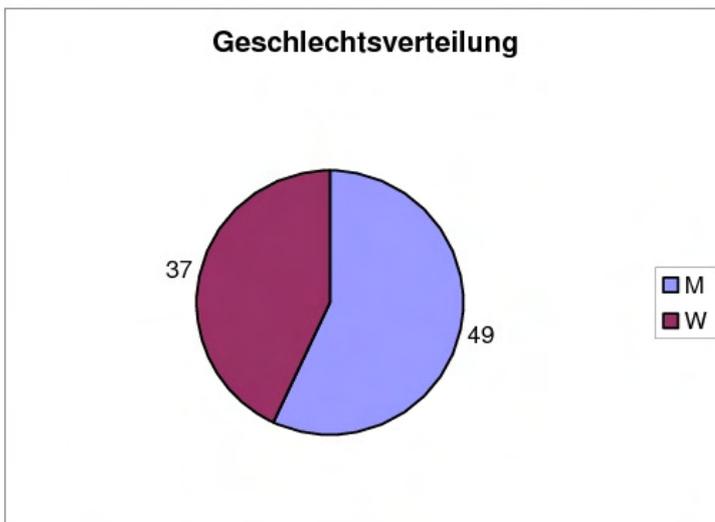
5.2.1. Allgemeines

Insgesamt werden 86 Tiere mit Bandscheibenvorfällen sonographisch untersucht. Die Rassen, das Alter und Geschlecht der untersuchten Tiere weisen ein breites Spektrum auf. Die Lokalisation der Vorfälle reicht von der Halswirbel - bis zur Sakralwirbelsäule. Der Typ des Bandscheibenvorfalles ist entweder eine Extrusion, eine Protrusion oder selten eine Mischung der beiden Typen. Die angewandten Operationstechniken sind Ventral Slot, Hemilaminektomie, Hemilaminektomie kombiniert mit einer Korpektomie und Laminektomie. Der Neurostatus reicht von Keine neurologischen Ausfälle, nur Schmerzen, bis hin zu Plegien (siehe Tabelle 7). Ein Teil der Patienten (43 Tiere) wird ausschließlich postoperativ untersucht, die restlichen 43 Tiere gehören zur Gruppe der intra – und postoperativ sonographierten Patienten (Beispiele siehe Abb. 4 – 14). Es wird an 5 unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht (siehe Anhang 1 und 2). Die Anzahl der kleinen Hunderassen (< 10 kg) überwiegt mit 50 Tieren. Die Rasseverteilung ist in Tabelle 2 aufgeführt. Beim Geschlecht sind mit 49 etwas mehr männliche als weibliche Tiere vertreten (siehe Graphik 3). Die Tiere sind im Durchschnitt 7 Jahre alt, mit einem Maximum von 14 Jahren, einem Minimum von 2 Jahren. Die Altersverteilung ist der Graphik 4 zu entnehmen.

Rasse	Anzahl
Kleine Hunde < 10 kg	50
Mittelgroße Hunde 10 – 25 kg	20
Große Hunde > 25 kg	16

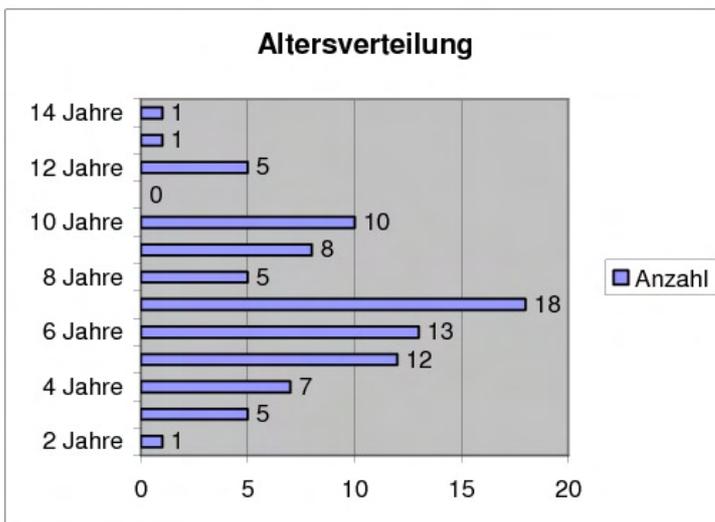
Tabelle 2: Rasseverteilung der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

(n = 86)



Graphik 3: Geschlechtsverteilung der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten (n = 86)

M= männlich, W= weiblich



Graphik 4: Altersverteilung der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten (n = 86)

Die Verteilung der Operationsstelle auf die Lokalisationen Halswirbelsäule, Brustwirbelsäule und Lendenwirbelsäule wird in Tabelle 4 dargestellt.

Lokalisation OP
C= Halswirbelsäule
Th= Brustwirbelsäule
L= Lendenwirbelsäule
S= Sakralwirbelsäule
Ziffer= Wirbelkörper

Tabelle 3: Datenschlüssel Lokalisation Operation der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

C 1-7	Th 1-13	L 1-7
12 Tiere	43 Tiere	31 Tiere

Tabelle 4: Verteilung Lokalisation Operation der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten (n = 86)

Die Anzahl der von den 86 Patienten zu den einzelnen Zeitpunkten zur Untersuchung zur Verfügung stehenden Tiere wird in Tabelle 6 aufgelistet. Intraoperativ (Zeitpunkt 1 und 2) können 43 Patienten geschallt werden. Bei den postoperativ (Zeitpunkte 3 – 5) nicht zur Verfügung stehenden Patienten ist entweder aufgrund einer nicht erfolgten Wiedervorstellung durch die Besitzer oder aufgrund schlechter Sicht während der Ultraschalluntersuchung keine Beurteilung möglich.

Z	Kriterien
1	Bei stationärer Aufnahme/bzw. intraoperativ, vor Entfernung des Bandscheibenmaterials
2	Intraoperativ, nach Entfernung des Bandscheibenmaterials
3	Innerhalb der ersten 2 Wochen postoperativ
4	2 – 6 Wochen nach Entlassung/bzw. postoperativ
5	6 – 20 Wochen nach Entlassung/bzw. postoperativ

Tabelle 5: Datenschlüssel Untersuchungszeitpunkte (Z) der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Z	Anzahl der zur Untersuchung zur Verfügung stehenden Tiere
1	43
2	43
3	75
4	45
5	22

Tabelle 6: Anzahl der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten an den Untersuchungszeitpunkten (Z) 1 – 5

Intraoperativ wird nur der Linearschallkopf L10-5 mit 5 – 10 MHz von ATL verwendet. Die Einstellung der Frequenzen erfolgt automatisch, je nach Fokussierung, eine manuelle Einstellung ist nicht möglich. Postoperativ werden die Linear – und Konvexschallköpfe des Gerätes von Toshiba und Logiq verwendet. Durchschnittlich die beste Sicht und damit auch den häufigsten Einsatz, gewährt der Linearschallkopf (90,8%) mit einer Frequenz von 9 MHz (77%). Eine genaue Zuordnung der verwendeten Schallköpfe und Frequenzen zu den einzelnen Patienten ist in Anhang 5 aufgeführt.

Vergleich Vorfallstyp/Neurostatus präoperativ

Von den 86 Patienten haben 59 Tiere eine Extrusion und 22 Tiere eine Protrusion, die restlichen 5 Tiere weisen eine Mischform auf. Die Patienten zeigen ein weites Spektrum an unterschiedlichen neurologischen Ausfällen, von Grad 1 - 7 (siehe Tabelle 7, Anhang 3) Die Frage, die sich stellt ist, ob ein Unterschied hinsichtlich des Neurostatus (zum Zeitpunkt 1) zwischen den verschiedenen Vorfallstypen besteht. Bei der Untersuchung dieser Fragestellung werden die 5 Mischformen wegen der geringen Anzahl ausgeklammert und nur die Tiere mit Extrusionen und Protrusionen einbezogen.

Da es sich um ordinale Daten mit hoher Rangbindung handelt wird der Wilcoxon – Mann – Whitney - Test zur statistischen Auswertung verwendet.

Die Auswertung ergibt: exact p= 0,094
--

Damit lässt sich mit den vorliegenden Daten kein statistisch signifikanter Unterschied belegen. Daraus ergibt sich, dass der erhobene Neurostatus unabhängig vom jeweiligen Vorfallstyp (Extrusion oder Protrusion) ist.

Neurostatus	Kriterien
1	Plegie (keine Spontanbewegungen mehr, kein Tiefenschmerz)
2	Plegie (keine Spontanbewegungen mehr)
3	Hgr. Parese (nicht geh – stehfähig)
4	Mgr. Parese (geh – stehfähig)
5	Ggr. Parese (geh – stehfähig)
6	Nur Schmerzen keine neurologischen Ausfälle
7	Neurologisch obB.

Tabelle 7: Datenschlüssel Grad der neurologischen Ausfälle der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

5.2.2. Untersuchung des Rückenmarkes

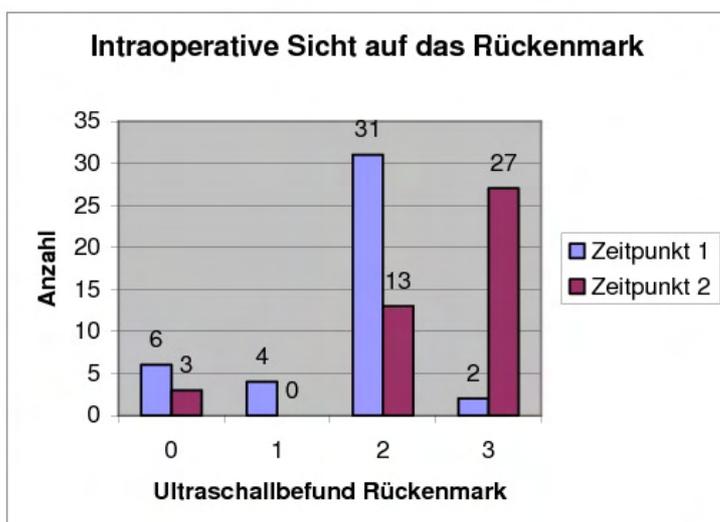
Die Echogenität des Rückenmarks entspricht den Beschreibungen der Voruntersuchungen. Allerdings sind nicht alle Schichten bei jedem Tier, zu jedem Zeitpunkt zu sehen (siehe Graphik 5 und 6).

5.2.2.1. Intraoperative Untersuchungen

Die Sicht auf das Rückenmark, bzw. auf die einzelnen Rückenmarksschichten wird in verschiedene Grade eingeteilt, Grad 0 - 3 (siehe Tabelle 8). Der Grad der Sichtbarkeit intraoperativ wird in Graphik 5 verdeutlicht. Eine genaue Auflistung, der bei den einzelnen Patienten erhobenen Befunde ist in Anhang 3 ersichtlich.

Ultraschallbefund Rückenmark	Kriterien
0	Schlechte Sicht, nicht beurteilbar
1	Mgr. gute Sicht (angedeutet erkennbar)
2	Gute Sicht (gut erkennbar, nicht alle einzelnen Schichten identifizierbar)
3	Sehr gute Sicht (alle Schichten identifizierbar)

Tabelle 8: Datenschlüssel Ultraschallbefund Rückenmark der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten



Graphik 5: Intraoperative Sicht auf das Rückenmark der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Zum Zeitpunkt 1 zeigen 4,7% der Tiere eine sehr gute Sicht auf das Rückenmark, 72% der Tiere eine gute, 9,3% eine mgr. gute und 14% eine schlechte Sicht. Zum Zeitpunkt 2 zeigen 62,8% eine sehr gute, 30,2% eine gute, 0% eine mgr. gute und 7% eine schlechte Sicht auf das Rückenmark.

Vergleich intraoperative Blutung/Sicht auf das Rückenmark

Zum Zeitpunkt 1 und 2 erfolgt jeweils zusätzlich zur Beurteilung des Rückenmarkes eine Beurteilung des Grads der Blutung, diese geht von hgr. Blutung – keine Blutung (siehe Anhang 6 und Tabelle 10). Mit diesen Untersuchungen soll die Frage beantwortet werden, ob ein Zusammenhang zwischen Grad der Blutung und Sicht auf das Rückenmark besteht.

Da es sich um ordinale Daten handelt wird der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman verwendet.

	p	r _s
Z1	< 0,0001	= +0,69
Z2	= 0,0798	= +0,27

Tabelle 9: Auswertung Vergleich intraoperative Blutung/Sicht auf das Rückenmark

Z= Zeitpunkt, p= Signifikanzniveau, r_s= Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

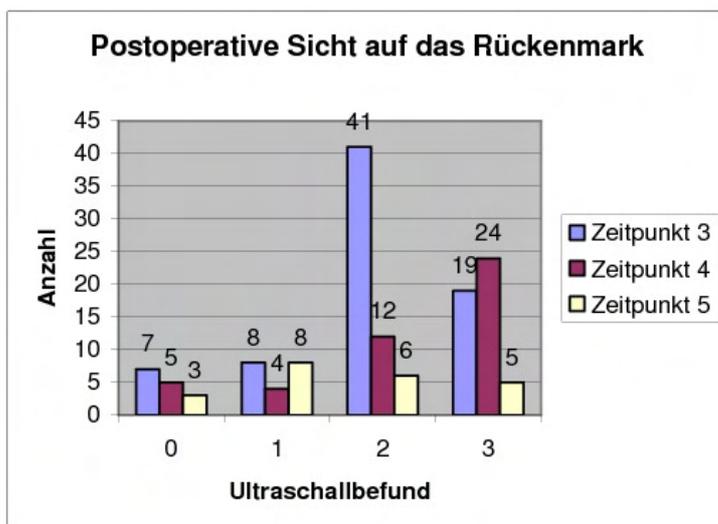
Damit lässt sich zum Zeitpunkt 1 mit den vorliegenden Daten ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen Blutung und Sicht auf das Rückenmarkes belegen. Je stärker die Blutung, desto schlechter die Sicht auf das Rückenmark. Zum Zeitpunkt 2 lässt sich kein signifikanter Zusammenhang belegen, die Tendenz (je stärker die Blutung, desto schlechter die Sicht) ist jedoch deutlich erkennbar die Gleiche, wie zum Zeitpunkt 1.

Blutung intraoperativ	Kriterien
1	Hgr. Blutung
2	Mgr. Blutung
3	Ggr. Blutung
4	Keine Blutung

Tabelle 10: Datenschlüssel intraoperative Blutung der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

5.2.2.2. Postoperative Untersuchungen

Der Grad der Sichtbarkeit der einzelnen Schichten postoperativ wird in Graphik 6 dargestellt. Eine genaue Auflistung, der bei den einzelnen Patienten erhobenen Befunde ist in Anhang 3 ersichtlich.



Graphik 6: Postoperative Sicht auf das Rückenmark der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Zum Zeitpunkt 3 zeigen 25,3% der Tiere eine sehr gute, 54,7% eine gute, 10,7% eine mgr. gute und 9,3% eine schlechte Sicht auf das Rückenmark. Zum Zeitpunkt 4 zeigen 53,3% der Tiere eine sehr gute, 26,7% eine gute, 8,9% eine mgr. gute und 11,1% eine schlechte Sicht. Zum Zeitpunkt 5 zeigen 22,7% eine sehr gute, 27,3% eine gute, 36,4% eine mgr. gute und 13,6% eine schlechte Sicht.

Vergleich Untersuchungszeitpunkt/Sicht auf das Rückenmark postoperativ

Aufgrund der unterschiedlichen postoperativen Sicht auf das Rückenmark ergibt sich die Frage, ob ein Unterschied zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten hinsichtlich der Beurteilbarkeit, bzw. Sicht des Rückenmarkes besteht.

Hierbei wird als erstes der Kruskal – Wallis - Test verwendet, da es sich um ordinale Daten handelt und alle Tiere, auch die unvollständig beobachteten mit hineingenommen werden sollen.

Die Auswertung ergibt: **asymptotic p= 0,0126**

Damit lässt sich mit den vorliegenden Daten ein signifikanter Unterschied belegen.

Im Anschluß an diesen Test wird der McNemar – Symmetrie - Test eingesetzt, um die Tendenz des Unterschiedes zu überprüfen. Hierbei werden jeweils 2 Zeitpunkte miteinander verglichen, Zeitpunkt 3 mit Zeitpunkt 4, Zeitpunkt 3 mit Zeitpunkt 5 und Zeitpunkt 4 mit Zeitpunkt 5.

	p	Anzahl Tiere mit besserer Sicht auf das Rückenmark
Z3 – Z4	= 0,81	8/10
Z3 – Z5	= 0,077	12/4
Z4 – Z5	= 0,0002	13/0

**Tabelle 11: Auswertung Vergleich einzelne postoperative Untersuchungszeitpunkte/ Sicht auf das Rückenmark der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten
Z= Zeitpunkt, p= Signifikanzniveau**

Damit lässt sich beim Vergleich Z3/Z4 kein signifikanter Unterschied belegen. Beim Vergleich Z4/Z5 wird ein hochsignifikanter Unterschied sichtbar, zum Zeitpunkt 4 ist eine deutlich bessere Sicht auf das Rückenmark möglich als zum Zeitpunkt 5. Beim Vergleich

Z3/Z5 lässt sich zwar kein signifikanter Unterschied belegen, aber die Tendenz, dass Zeitpunkt 3 eine bessere Sicht ermöglicht als Zeitpunkt 5 ist deutlich zu erkennen.

Somit lässt sich sagen, dass der Zeitpunkt 5 die schlechteste Sicht auf das Rückenmark ergibt und die Zeitpunkte 3 und 4 miteinander vergleichbar sind.

Vergleich Neurostatus/Grad Sichtbarkeit Rückenmarksstrukturen postoperativ

Eine weitere Frage, die sich aufgrund der unterschiedlichen neurologischen Ausfälle (siehe Anhang 3) und der unterschiedlich guten Sicht auf das Rückenmark postoperativ ergibt, ist die Frage ob ein Zusammenhang zwischen Sicht auf das Rückenmark, d.h. Grad der Sichtbarkeit der einzelnen Rückenmarksstrukturen und Neurostatus besteht.

Hierbei wird der Korrelationskoeffizient nach Spearman angewendet, da es sich wieder um ordinale Daten handelt.

	p	r_s
Z3	= 0,59	= +0,06
Z4	= 0,38	= -0,13
Z5	= 0,88	= +0,03

Tabelle 12: Auswertung Vergleich Neurostatus/Grad Sichtbarkeit

Rückenmarksstrukturen postoperativ der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Z= Zeitpunkt, p= Signifikanzniveau, r_s= Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Somit lässt sich mit den vorhandenen Daten kein statistisch signifikanter Zusammenhang belegen.

Vergleich Gruppen Hunderassen/Grad Sichtbarkeit Rückenmarksstrukturen postoperativ

Die untersuchten Tiere weisen ein weites Spektrum an Rassen und damit auch an Körpergewichten (siehe Tabelle 1) auf. Es stellt sich die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen postoperativer Sicht auf das Rückenmark (Grad der Sichtbarkeit) und Größe, bzw. Gewicht der Hunderassen besteht. Hierfür werden die verschiedenen Rassen in 3 Gruppen eingeteilt (siehe Tabelle 2).

Zur Untersuchung dieser Fragestellung wird die Korrelationsprüfung nach Spearman angewendet, da es sich ebenfalls wieder um ordinale Daten handelt.

	p	r _s
Z3	= 0,0037	= -0,33
Z4	= 0,67	= -0,07
Z5	= 0,11	= -0,35

Tabelle 13: Auswertung Vergleich Gruppen Hunderassen/Grad Sichtbarkeit Rückenmarksstrukturen postoperativ der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Z= Zeitpunkt, p= Signifikanzniveau, r_s= Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Somit lässt sich zum Zeitpunkt 3 ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen den Hunderassen und der Sicht auf das Rückenmark belegen. Je größer die Rasse, desto schlechter die Sicht. Zum Zeitpunkt 4 ergibt sich keine Signifikanz, das Ergebnis ist indifferent und zum Zeitpunkt 5 ergibt sich ebenfalls keine Signifikanz, aber die Tendenz geht mit r_s= -0,35 in dieselbe Richtung wie zum Zeitpunkt 3. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse kann die kleiner werdende Anzahl an untersuchten Tieren an den Zeitpunkten 4 und 5 sein.

5.2.3. Untersuchung der pathologischen Veränderungen (Bandscheibenvorfall, bzw. reflexreiche Veränderung)

Bei allen untersuchten Patienten, bei denen das Rückenmark mindestens mgr. gut beurteilbar ist, ist auch in allen Fällen die Beurteilung - **Keine pathologischen Veränderungen zu sehen** oder **Reflexreiches Material mittlerer Echogenität zu sehen** – möglich. Das reflexreiche Material stellt sich in allen Fällen inhomogen dar.

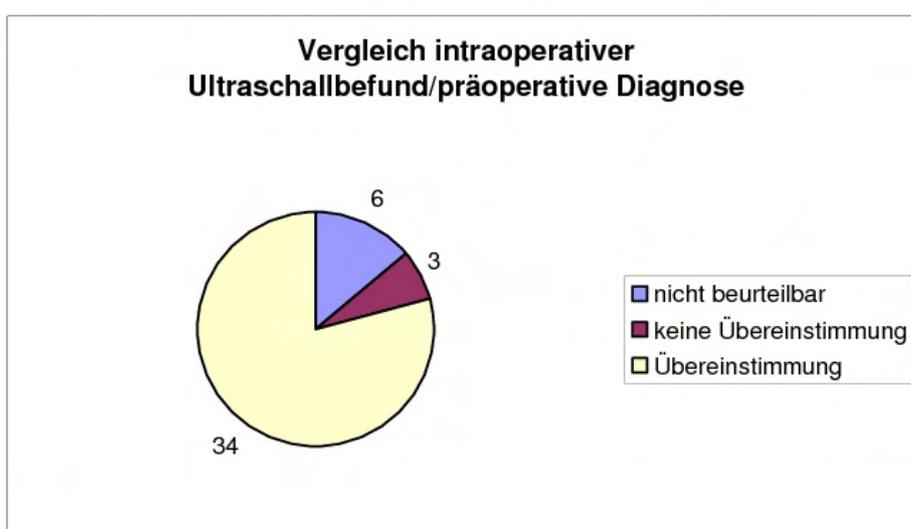
Im Falle der intraoperativen Untersuchungen kann aufgrund der präoperativen Diagnostik (MRT, CT oder Myelo - Röntgen) und des Operationssitus definitiv von einem Bandscheibenvorfall gesprochen werden. Im Falle der postoperativen Untersuchungen wird im Folgenden von reflexreichen Veränderungen gesprochen, da die Untersuchungen nur mittels Ultraschall durchgeführt werden und keine Bestätigung der Diagnose Bandscheibenmaterial durch andere Bildgebende Verfahren oder eine erneute Operation möglich war. Aufgrund der unveränderten Lokalisation und des unveränderten Merkmals

distaler Schallschatten vorhanden oder nicht vorhanden im Verlauf der Untersuchungen bei den

intra – und postoperativ untersuchten Tieren liegt jedoch der Verdacht nahe, dass es sich postoperativ um Restbandscheibenmaterial handelt (siehe Anhang 4).

5.2.3.1. Intraoperative Untersuchungen

Die Übereinstimmung, bzw. Nicht - Übereinstimmung der intraoperativen Ultraschallbefunde zum Zeitpunkt 1 mit der präoperativen Diagnose Bandscheibenvorfall wird in Graphik 7 dargestellt.



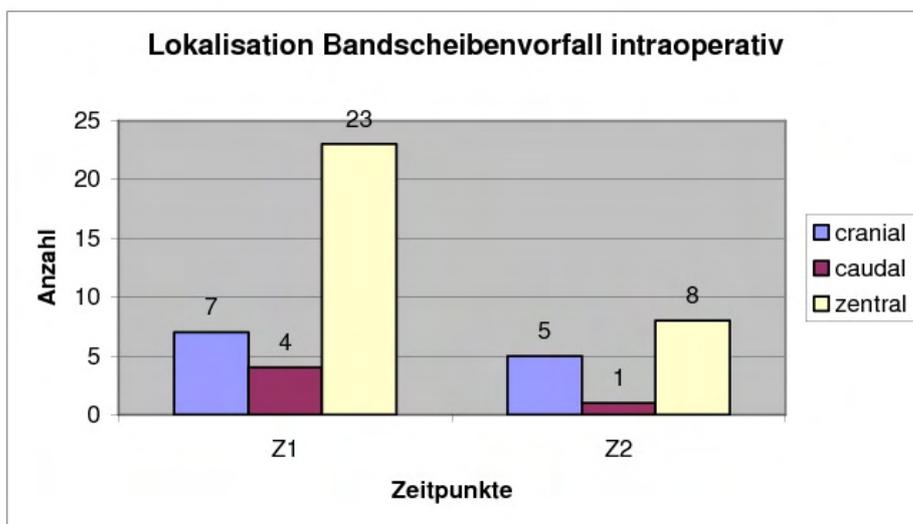
Graphik 7 : Vergleich intraoperativer Ultraschallbefund/präoperative Diagnose (n= 43 Tiere) der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

34 der Hunde (79%) zeigen eine Übereinstimmung des intraoperativen Ultraschallbefundes mit der präsonographischen Diagnose eines Bandscheibenvorfalles. 6 mal (14%) ist keine Beurteilung (schlechte Sicht) bei der Sonographie möglich und in 3 Fällen ist keine Übereinstimmung vorhanden, d.h. in der intraoperativen Ultraschalluntersuchung wird kein Bandscheibenvorfall gesehen. Eine genaue Auflistung der Befunde zugeordnet zu den einzelnen Patienten findet sich in Anhang 3.

Bei den 34 zur Beurteilung des Bandscheibenvorfalles zur Verfügung stehenden Patienten findet zum Zeitpunkt 1 eine Beschreibung nach den Kriterien Lokalisation des Vorfalls, Höhe und Länge (in mm) und Auftreten eines distalen Schallschattens statt, um herauszufinden, ob

es eindeutige Kriterien für die sonographische Identifikation von Bandscheibenvorfällen gibt. In 3 Fällen ist zum Zeitpunkt 2 aufgrund schlechter Sicht keine Beurteilung mehr möglich und in 17 Fällen ist das Bandscheibenmaterial komplett entfernt, so dass noch 14 Tiere mit Restbandscheibenmaterial zum Zeitpunkt 2 zur Untersuchung zur Verfügung stehen. Auch diese werden nach den genannten Kriterien untersucht. Eine Auflistung dieser Kriterien zugeordnet zu den einzelnen Patienten findet sich in Anhang 4.

Eine Zusammenfassung der erhobenen Befunde geben die nachfolgenden Graphiken.



Graphik 8: Lokalisation der Bandscheibenvorfälle intraoperativ bei den sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Zum Zeitpunkt 1 zeigen 67,6% der Bandscheibenvorfälle eine zentral, im Bereich des Zwischenwirbelspaltes liegende Lokalisation, 20,6% eine cranial liegende und 11,8% eine caudale Lokalisation.

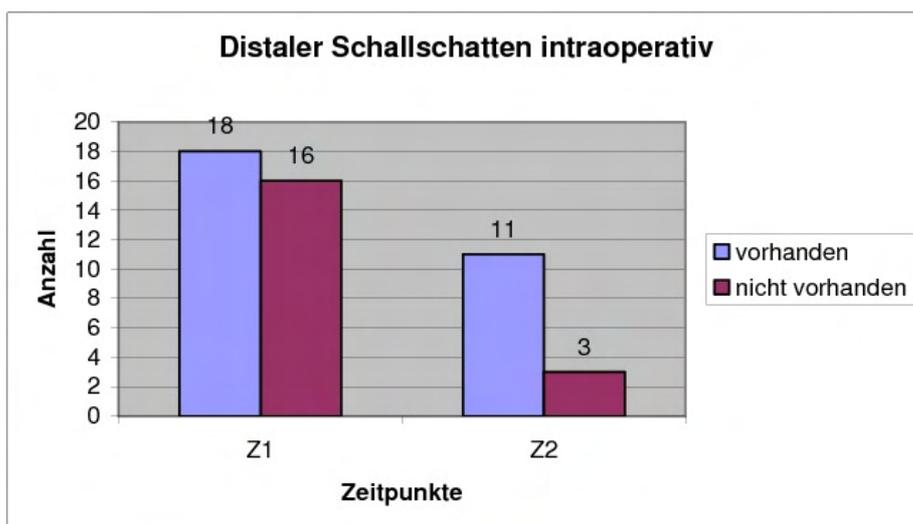
Zum Zeitpunkt 2 ist noch 57,1% des Restbandscheibenmaterials zentral gelegen, 35,7% cranial und 7,1% caudal gelegen.

Somit ergibt sich zwar eine Tendenz zur zentralen Lokalisation, jedoch weisen 32,4%, bzw. 42,8% der Bandscheibenvorfälle eine andere Lokalisation auf. Das bedeutet, dass die Lokalisation kein eindeutiges Kriterium darstellt.

Die **durchschnittliche Höhe** der Bandscheibenvorfälle zum **Zeitpunkt 1** beträgt: **4,85 mm**, die **durchschnittliche Länge**: **7,26 mm**, mit einem Minimum von 3 mm Höhe und 3 mm

Länge und einem Maximum von 10 mm Höhe und 13 mm Länge, wobei die beiden letztgenannten einen einmaligen Ausreißer darstellen (siehe Anhang 4).

Die **durchschnittliche Höhe** des Restbandscheibenmaterials zum **Zeitpunkt 2** beträgt: **2,93 mm** die **durchschnittliche Länge: 5,86 mm**, mit einem Minimum von 2 mm Höhe und 2 mm Länge und einem Maximum von 4 mm Höhe und 10 mm Länge (siehe Anhang 4).



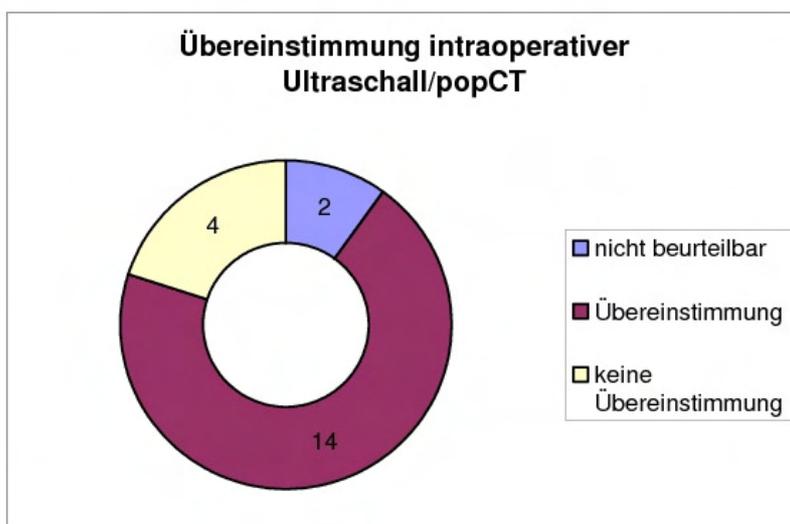
Graphik 9: Auftreten distaler Schallschatten intraoperativ bei den sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Zum Zeitpunkt 1 weisen 53% der Bandscheibenvorfälle einen distalen Schallschatten auf und 47% keinen.

Zum Zeitpunkt 2 weist 79% des Restbandscheibenmaterials noch einen distalen Schallschatten auf und 21% keinen.

Somit ergibt sich eine Tendenz zum Vorhandensein eines distalen Schallschattens, ein eindeutiges Kriterium zur Identifikation von Bandscheibenvorfällen stellt er jedoch nicht dar.

In Graphik 10 ist ein Vergleich der postoperativen CT – Befunde von 20 Patienten mit den intraoperativ gestellten Ultraschallbefunden zum Zeitpunkt 2 (nach Entfernung des Bandscheibenvorfalles) zu sehen.



Graphik 10: Übereinstimmung intraoperativer Ultraschallbefund zum Zeitpunkt 2/postoperative Computertomographie (n=20 Tiere) bei den sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Bei 14 der 20 untersuchten Tiere zeigt sich eine Übereinstimmung des intraoperativen Ultraschallbefundes und der postoperativen Computertomographie. Bei 2 Tieren (10%) ist bei der sonographischen Untersuchung keine Beurteilung möglich, aufgrund schlechter Sicht und bei 4 Tieren (20%) ergibt sich keine Übereinstimmung der Befunde. Von diesen 4 Tieren ist in 3 Fällen im intraoperativen Ultraschall kein reflexreiches Material mehr zu sehen während im popCT noch Material erkennbar ist. In 1 Fall ist intraoperativ noch reflexreiches Material sonographisch zu sehen, während der postoperativen Computertomographie negativ ist. Zusammengefasst ergibt sich in 70% der Fälle eine Übereinstimmung der sonographischen und computertomographischen Befunde.

Die genauen Zuordnungen der Befunde zu den einzelnen Patienten sind in Anhang 7 aufgeführt.

Vergleich Schnittfläche Bandscheibenvorfall/Neurostatus intraoperativ

Die untersuchten Bandscheibenvorfälle weisen zum Zeitpunkt 1 sehr unterschiedliche Größen auf. Um der Frage auf den Grund zu gehen, ob ein Zusammenhang zwischen Größe des Vorfalls und dem Neurostatus der Tiere besteht wird die Korrelationsprüfung nach Spearman angewendet. Es handelt sich bei einer der Variablen um ordinale Daten. Da

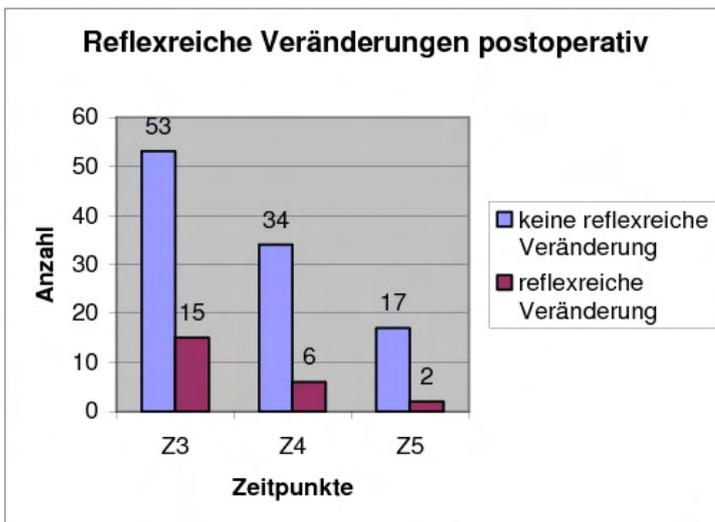
zweidimensionaler Ultraschall angewendet wurde, wird um einen stellvertretenden Wert für die Größe zu erlangen als erstes aus den gemessenen Werten Höhe und Länge (siehe Zeichnung 5) mittels der Formel: Höhe x Länge x $\pi/4$ näherungsweise die Schnittfläche errechnet. Im Anschluss daran findet der Vergleich Schnittfläche/Neurostatus statt.

Die Auswertung ergibt: p= 0,012; r_s= +0,43
--

Somit lässt sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang belegen. Je kleiner die Schnittfläche, desto schlechter der Neurostatus.

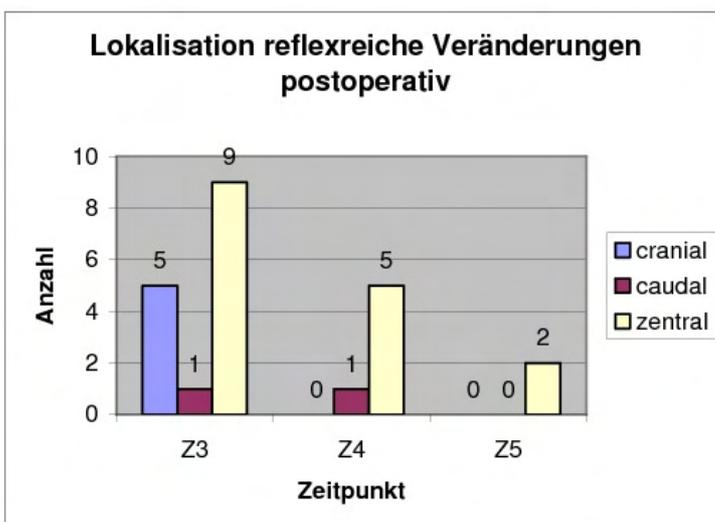
5.2.3.2. Postoperative Untersuchungen

Zum Zeitpunkt 3 stehen 75 Patienten zur sonographischen Untersuchung des Operationsgebietes zur Verfügung. Bei 7 Patienten ist aufgrund schlechter sonographischer Sicht keine Beurteilung möglich, 11 Tiere wurden nicht wieder vorgestellt. Zum Zeitpunkt 4 werden noch 45 Patienten wieder vorgestellt, 5 Patienten sind aufgrund schlechter Sicht nicht beurteilbar, 41 Patienten kamen nicht zum vorgesehenen Nachuntersuchungstermin. Zum Zeitpunkt 5 stehen noch 22 Patienten zur Verfügung, bei 3 Tieren besteht eine schlechte Sicht. Anhang 3 gibt eine genaue Zuordnung der Befunde zu den einzelnen Patienten. Graphik 11 zeigt eine Übersicht über die Beurteilung.



Graphik 11: Reflexreiche Veränderungen postoperativ zu den verschiedenen Zeitpunkten der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Bei den 15 Tieren mit reflexreichen Veränderungen zum Zeitpunkt 3, den 6 Tieren zum Zeitpunkt 4 und den 2 Tieren zum Zeitpunkt 5 findet ebenfalls eine Beschreibung nach den Kriterien Lokalisation, Höhe und Länge in mm und Auftreten eines distalen Schallschattens statt. Die Zuordnung dieser Kriterien zu den einzelnen Patienten ist in Anhang 4 ersichtlich. Eine Zusammenfassung der erhobenen Befunde zeigen die folgenden Graphiken (12 – 13).



Graphik 12: Lokalisation reflexreiche Veränderungen postoperativ zu den verschiedenen Zeitpunkten der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Zum Zeitpunkt 3 zeigen 60% der reflexreichen Veränderungen eine zentral, im Bereich des Zwischenwirbelspaltes, gelegene Lokalisation, 33,3% eine craniale und 6,6% eine caudale Lokalisation.

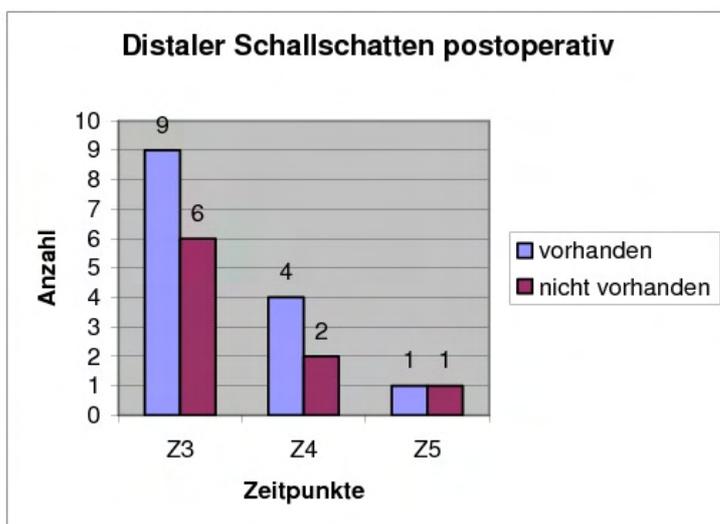
Zum Zeitpunkt 4 sind die Veränderungen in 83,3% zentral und in 16,6% caudal gelegen.

Zum Zeitpunkt 5 zeigen beide noch vorhandene reflexreiche Veränderungen eine zentrale Lokalisation.

Es zeigt sich eine Tendenz zur zentralen Lokalisation. Man kann die Lokalisation jedoch nicht als eindeutiges Kriterium werten.

Die **Höhe** des reflexreichen Materials beträgt zum **Zeitpunkt 3 durchschnittlich: 3,93 mm**, die **Länge: 8,2 mm**, mit einem Minimum von 2 mm Höhe und 4 mm Länge und einem Maximum von 6 mm Höhe und 20 mm Länge (wobei die 20 mm einen einmaligen Befund darstellen). Zum **Zeitpunkt 4** beträgt die **durchschnittliche Höhe: 3,5 mm**, die **Länge: 8 mm**, mit einem Minimum von 3 mm Höhe und 4 mm Länge und einem Maximum von 4 mm Höhe und 20 mm Länge. Und zum **Zeitpunkt 5** beträgt die **Höhe** bei beiden Tieren **3 mm** und die **Länge: 7 mm und 12,5 mm**.

Somit bleibt die Schnittfläche (Höhe, Länge) über den Verlauf der Untersuchungen (von Z1 bis zu Z5) entweder gleich groß oder wird kleiner (siehe Anhang 4).



Graphik 13: Auftreten distaler Schallschatten postoperativ zu den verschiedenen Zeitpunkten bei den sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Zum Zeitpunkt 3 zeigen 60% (9) der reflexreichen Veränderungen einen distalen Schallschatten, 40% (6) zeigen keinen.

Zum Zeitpunkt 4 zeigen 66,6% (4) einen distalen Schallschatten und 33,3% (2) keinen.

Zum Zeitpunkt 5 ist einmal ein distaler Schallschatten vorhanden und einmal keiner.

Die Tendenz zum Vorhandensein eines distalen Schallschattens ist eindeutig vorhanden, jedoch stellt das Merkmal kein eindeutiges Kriterium dar.

Vergleich reflexreiche Veränderungen/Neurostatus postoperativ

Die unterschiedlichen postoperativen neurologischen Ausfälle und das teilweise Auftreten von reflexreichen Veränderungen (Restbandscheibenmaterial) führen zu der Frage, ob ein Unterschied hinsichtlich des Neurostatus zwischen den beiden Gruppen mit und ohne reflexreiche Veränderungen besteht.

Hierbei wird der Wilcoxon – Mann – Whitney - Test verwendet, da es sich um ordinale Daten mit hoher Rangbindung handelt.

	exact p
Z3	= 0,24
Z4	= 0,41
Z5	= 0,74

Tabelle 14: Auswertung Vergleich reflexreiche Veränderung/Neurostatus postoperativ der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten

Z= Zeitpunkt, exact p= exaktes Signifikanzniveau

Zu keinem der Zeitpunkte lässt sich ein statistisch signifikanter Unterschied belegen. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass zum Zeitpunkt 4 nur noch 6 von 45 Tieren und zum Zeitpunkt 5 nur noch 2 von 22 Tieren eine reflexreiche Veränderung aufweisen. Demnach lässt sich nur Zeitpunkt 3 statistisch ausreichend sicher auswerten.

Vergleich Schnittfläche reflexreiche Veränderung/Neurostatus postoperativ

Die postoperativ untersuchten reflexreichen Veränderungen weisen unterschiedliche Größen auf. Um der Frage auf den Grund zu gehen, ob ein Zusammenhang zwischen Größe der Veränderung und Neurostatus der Tiere besteht wird die Korrelationsprüfung nach Spearman angewendet. Es handelt sich bei einer der Variablen um ordinale Daten. Da

zweidimensionaler Ultraschall angewendet wurde, wird um einen stellvertretenden Wert für die Größe zu erlangen als erstes aus den gemessenen Werten Höhe und Länge (siehe Zeichnung 5) mittels der Formel: Höhe x Länge x $\pi/4$ näherungsweise die Schnittfläche errechnet. Im Anschluß daran findet der Vergleich Schnittfläche/Neurostatus statt.

	p	r_s
Z3	= 0,5	= -0,19
Z4	= 0,12	= -0,7
Z5	= 1,0	= -1,0

Tabelle 15: Auswertung Vergleich Schnittfläche reflexreiche Veränderung/Neurostatus postoperativ der sonographisch untersuchten Diskopathiepatienten
Z= Zeitpunkt, p= Signifikanzniveau, r_s= Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

Es lässt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang belegen. Allerdings muss hier beachtet werden dass eigentlich nur Zeitpunkt 3 sicher auswertbar ist, aufgrund der geringen Anzahl von reflexreichen Veränderungen zu den Zeitpunkten 4 und 5. Die insgesamt geringere Anzahl ist auch ein möglicher Erklärungsgrund für den Unterschied zu den intraoperativ gefundenen Ergebnissen.

Im Folgenden abgebildet, sonographische Beispiele der im vorangegangenen Text aufgeführten erhobenen Ergebnisse (Abbildung 4 – 14).



Abb. 4: Patient Nr. 1: US – Längsschnitt über Halswirbelkörper 6/7, Ventral Slot, intraoperativ, Zeitpunkt 2; Labrador Retriever, männlich, 9 Jahre.

Pfeile: 1= ventrale Begrenzung Rückenmark, 2= dorsale Begrenzung Rückenmark, sehr gut sichtbar, ohne pathologische Veränderungen

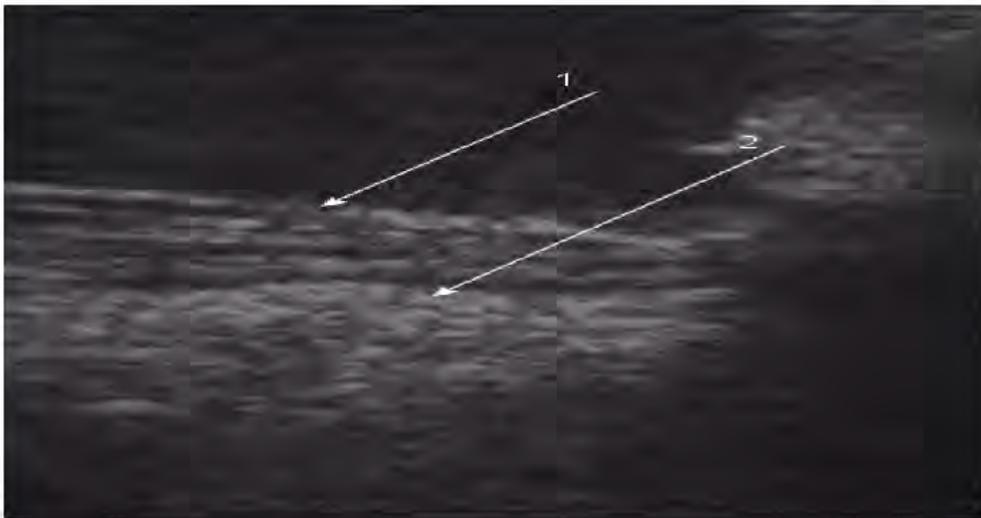


Abb. 5: Patient Nr. 17: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 7/Sakralwirbelkörper 1, Laminektomie, intraoperativ, Zeitpunkt 2; Weißer Schäferhund, weiblich, 10 Jahre. Pfeile: 1= dorsale Begrenzung Caudafasern, 2= ventrale Begrenzung Caudafasern, Rückenmark sehr gut sichtbar, ohne pathologische Veränderungen



Abb. 6: Patient Nr. 5: US – Längsschnitt über Brustwirbelkörper 12, Hemilaminektomie, Bandscheibenvorfall, intraoperativ, Zeitpunkt 1; Rauhhaardackel, weiblich, 5 Jahre Pfeil= reflexreiches, inhomogenes, vorgefallenes Bandscheibenmaterial mittlerer Echogenität, cranial liegend, distaler Schallschatten, Rückenmark sehr gut sichtbar, im Bereich Vorfall hgr. verdrängt, noch teilweise erkennbar

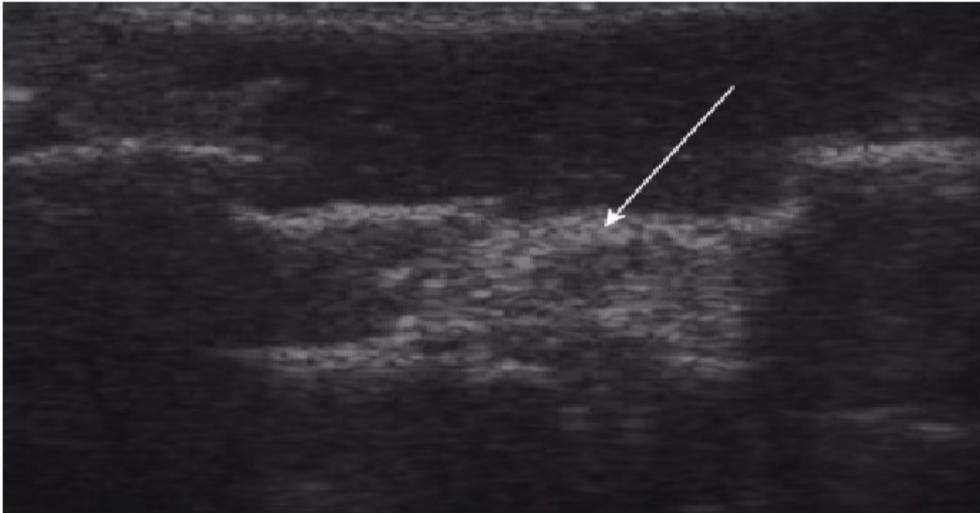


Abb. 7: Patient Nr. 27, US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 1/2, Hemilaminektomie, Bandscheibenvorfall, intraoperativ, Zeitpunkt 1; Bracke, männlich, 6 Jahre. Pfeil= reflexreiches, inhomogenes, vorgefallenes Bandscheibenmaterial mittlerer Echogenität, zentral liegend, ohne distalen Schallschatten, Rückenmark gut sichtbar, aber im Bereich des Vorfalls hgr. verdrängt und nicht mehr erkennbar

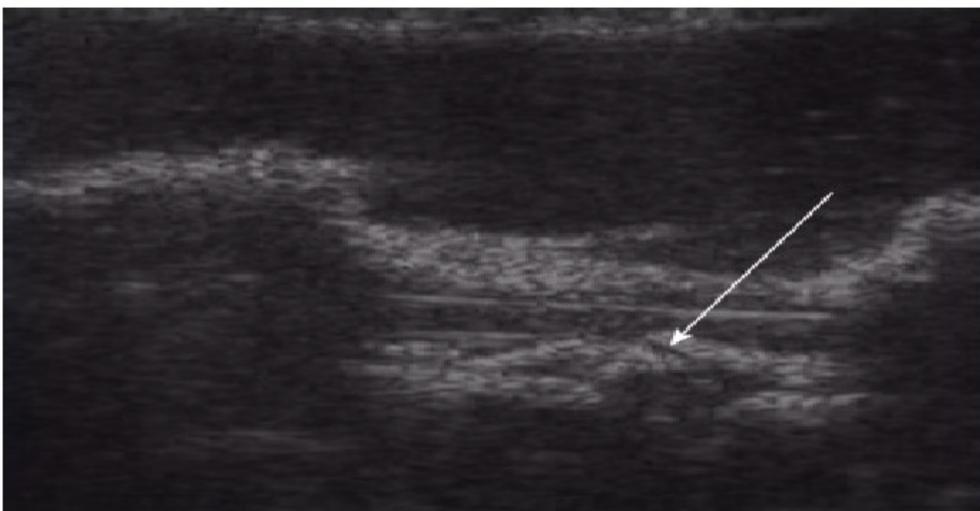


Abb. 8: Patient Nr. 27: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 1/2, Hemilaminektomie, nach Entfernung Bandscheibenvorfall intraoperativ, Zeitpunkt 2; Bracke, männliche, 6 Jahre. Pfeil= Überreste des reflexreichen, inhomogenen Bandscheibenmaterials, mittlerer Echogenität, zentral liegend, ohne distalen Schallschatten Rückenmark sehr gut sichtbar, im Bereich des Restbandscheibenmaterials teilweise Verdrängung des Subarachnoidalraumes



Abb. 9: Patient Nr. 35: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 3/4, Hemilaminektomie, Bandscheibenvorfall, intraoperativ, Zeitpunkt 1; Franz. Bulldogge, weiblich, 5 Jahre. Pfeil= reflexreiches, inhomogenes, vorgefallenes Bandscheibenmaterial mittlerer Echogenität, cranial liegend mit distalem Schallschatten Rückenmark gut sichtbar, im Bereich des Vorfalls verdrängt und nur noch teilweise erkennbar

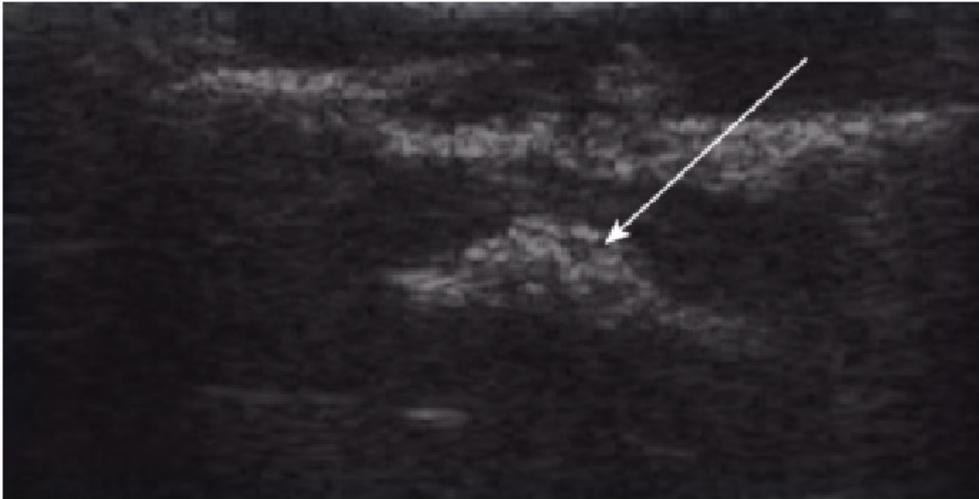


Abb. 10: Patient Nr. 21: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 4/5, Hemilaminektomie, Bandscheibenvorfall, intraoperativ, Zeitpunkt 1; Rauhaardackel, weiblich, 7 Jahre. Pfeil= reflexreiches, inhomogenes, vorgefallenes Bandscheibenmaterial mittlerer Echogenität, zentral liegend mit distalem Schallschatten Rückenmark gut sichtbar, im Bereich des Vorfalls verdrängt und nur noch teilweise erkennbar

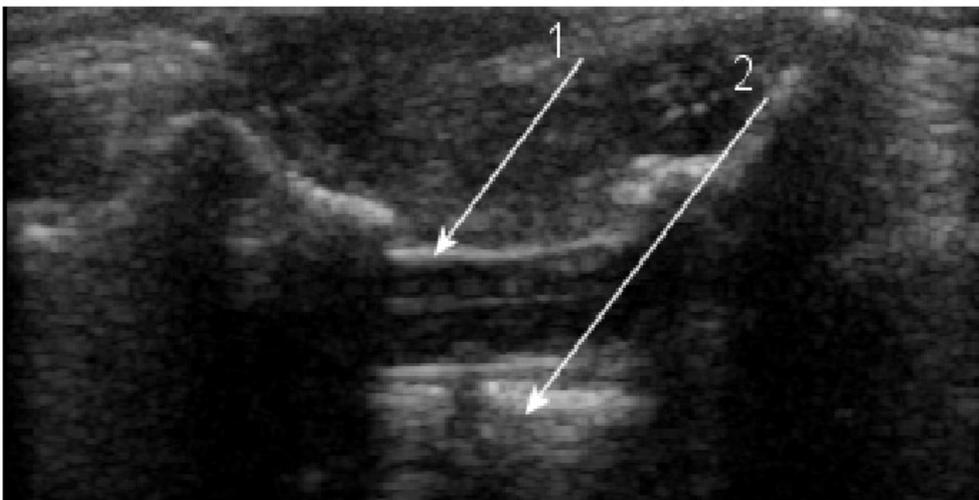


Abb. 11: Patient Nr. 48: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 1/2, Hemilaminektomie, pop, Zeitpunkt 4; West – Highland - Terrier, männlich, 12 Jahre. Pfeile: 1= dorsale Begrenzung Rückenmark, 2= ventrale Begrenzung Rückenmark, sehr gut sichtbar, ohne pathologische Veränderungen

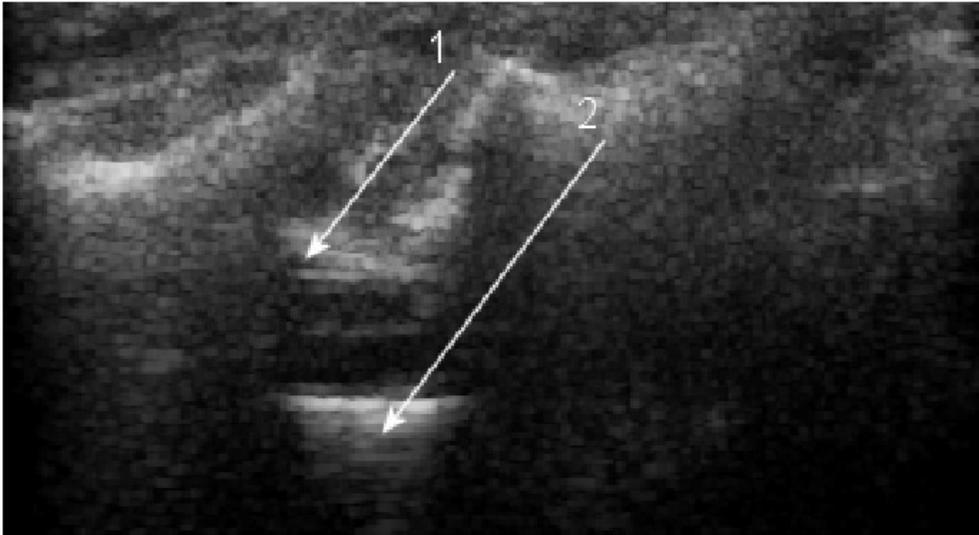


Abb. 12: Patient Nr. 75: US – Längsschnitt über Halswirbelkörper 3/4, pop, Ventral Slot, Zeitpunkt 3; Terrier – Mix, männlich, 6 Jahre. Pfeile: 1= ventrale Begrenzung Rückenmark, 2= dorsale Begrenzung Rückenmark, sehr gut sichtbar, ohne pathologische Veränderungen

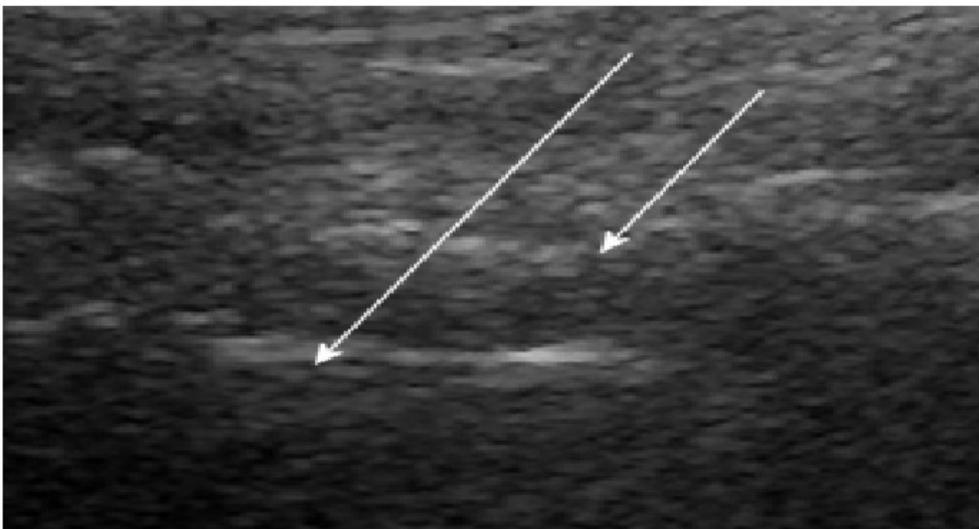


Abb. 13: Patient Nr. 5: US – Längsschnitt über Brustwirbelkörper 12, Hemilaminektomie, pop, Zeitpunkt 5; Rauhaardackel, weiblich 5 Jahre. Pfeile = Begrenzungen Rückenmark, Rückenmark mgr. gut sichtbar, ohne pathologische Veränderungen

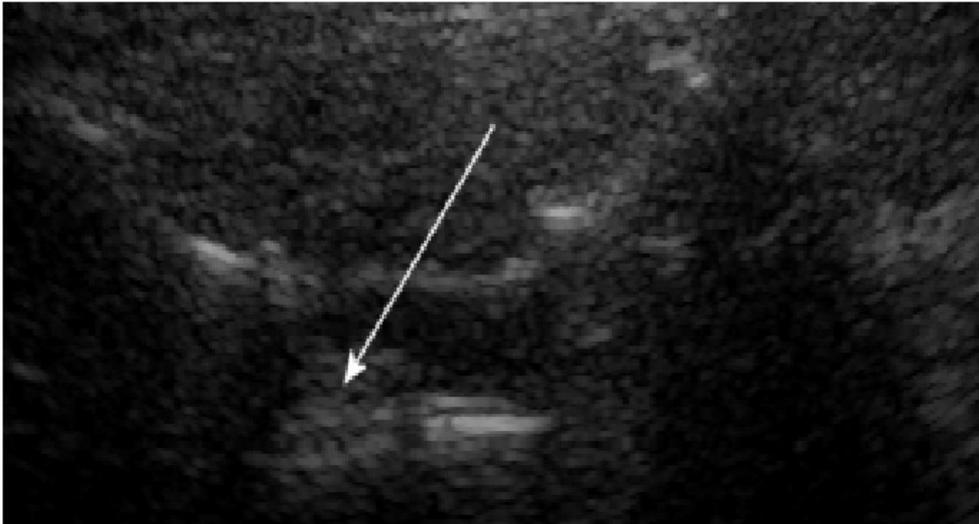


Abb. 14: Patient Nr. 24: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 1/2, Hemilaminektomie, pop, Zeitpunkt 3; Schnauzer – Mix, männlich 7 Jahre. Pfeil= Reflexreiches, inhomogenes Material mittlerer Echogenität, cranial liegend mit distalem Schallschatten, Rückenmark gut sichtbar, im Bereich der reflexreichen Veränderung verdrängt und nur noch teilweise erkennbar

5.3. Ergebnisse der Patienten mit weiteren Pathologien im Bereich des Rückenmarkes

Aufgrund der geringen Anzahl dieser Patienten, werden sie im Einzelnen aufgeführt und beschrieben, ohne eine statistische Auswertung vorzunehmen.

5.3.1. Zyste

2 Hunde mit zystischen Veränderungen im Bereich der Facettengelenke werden intraoperativ sonographisch untersucht.

1) DSH, männlich, 4 Jahre, Synovialzyste bei L7/S1

Die Diagnosestellung erfolgt durch eine Magnetresonanztomographie.

Die sonographischen Untersuchungen werden mit dem Gerät von ATL und dem Konvexschallkopf C9 – 5 durchgeführt.

Nach durchgeführter Laminektomie bei L7/S1 zeigt sich im Ultraschall eine zystenartige rundliche Struktur von 6*6 mm Durchmesser im Bereich des rechten Facettengelenkes. Sie

weist eine dünne inhomogene, reflexreiche Wandung von 1 mm Durchmesser auf, der Inhalt ist homogen reflexlos (siehe Abb. 15). Die Zyste wird punktiert und zytologisch untersucht. Die Untersuchung bestätigt den Verdacht auf Synovia und somit die Diagnose einer Synovialzyste.

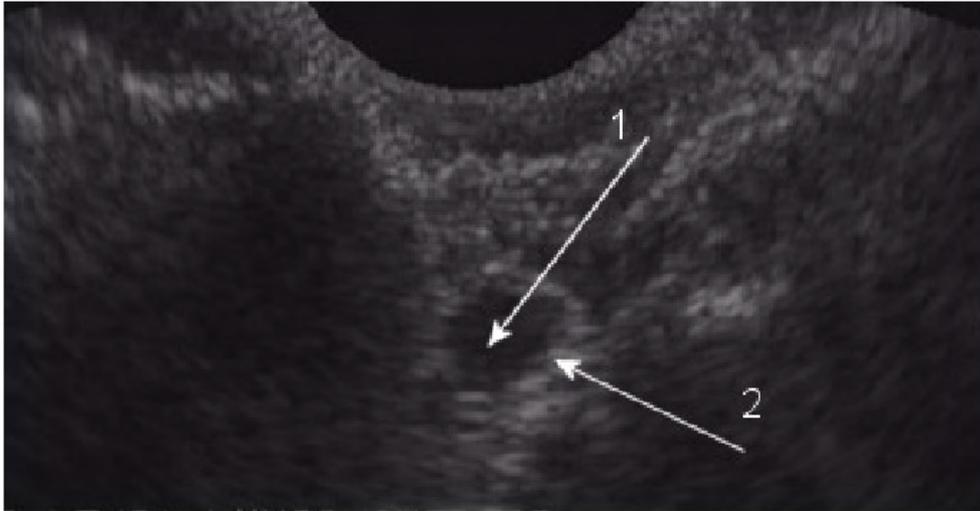


Abb. 15: Synovialzyste bei Lendenwirbelkörper 7/Sakralwirbelkörper 1, Dorsalansicht; Deutscher Schäferhund, männlich, 4 Jahre

1= Zysteninhalt (homogen reflexlos), 2= Zystenhülle (inhomogen reflexreich)

2) DSH, männlich, 8 Jahre, Synovialzyste bei Th 13/L1

Die Diagnose wird mit Hilfe einer Magnetresonanztomographie gestellt.

Die Ultraschalluntersuchung wird mit dem Gerät von ATL und dem Konvexschallkopf C9 – 5 durchgeführt.

Man erkennt nach Durchführung einer Laminektomie eine zystenartige rundliche Struktur von 5*5 mm Durchmesser, rechtsseitig im Bereich des Facettengelenks gelegen. Sie weist einen homogen reflexlosen Inhalt und eine dicken inhomogen, reflexreichen Mantel von 2 mm Durchmesser auf (siehe Abb. 16). Die anschließende histopathologische Untersuchung bestätigt den Verdacht einer Synovialzyste der kleinen Facettengelenke.

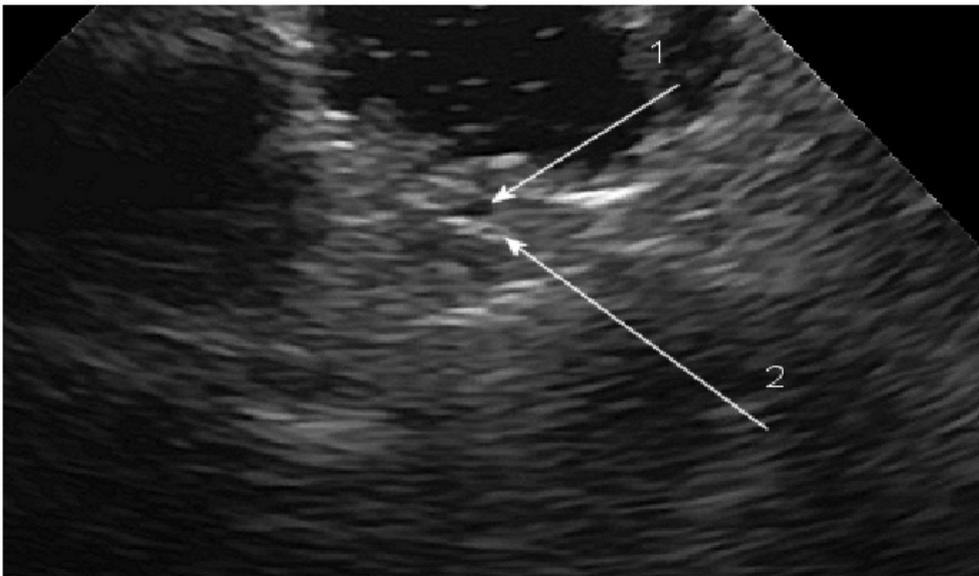


Abb. 16: Synovialzyste bei Brustwirbelkörper 13/Lendenwirbelkörper 1, Lateralansicht; Deutscher Schäferhund, männlich, 8 Jahre

1= Zysteninhalt (homogen reflexlos), 2= Zystenhülle (inhomogen reflexreich)

5.3.2. Rückenmarkstumor

5 Hunde mit Tumoren im Bereich des Rückenmarkes können intraoperativ sonographisch untersucht werden. Alle Untersuchungen werden mit dem Gerät von ATL und dem Linearschallkopf L10 – 5 durchgeführt.

1) Labrador Retriever, weiblich, 7 Jahre, Spinaler Tumor bei Th6

Die präoperative Diagnostik erfolgt mittels einer Magnetresonanztomographie.

Nach Durchführung einer Laminektomie sind sonographisch keine klaren Abgrenzungen der einzelnen Rückenmarksstrukturen zu erkennen. Der Zentralkanal ist angedeutet zu sehen. Im cranialen Rückenmarksbereich ist ein reflexreicher erscheinendes Areal von 1,5 cm Länge und 0,5 cm Höhe zu sehen (siehe Abb. 17). Auf Besitzerwunsch wird das Tier euthanasiert. Die anschließende histopathologische Untersuchung ergibt ein Sarkom.

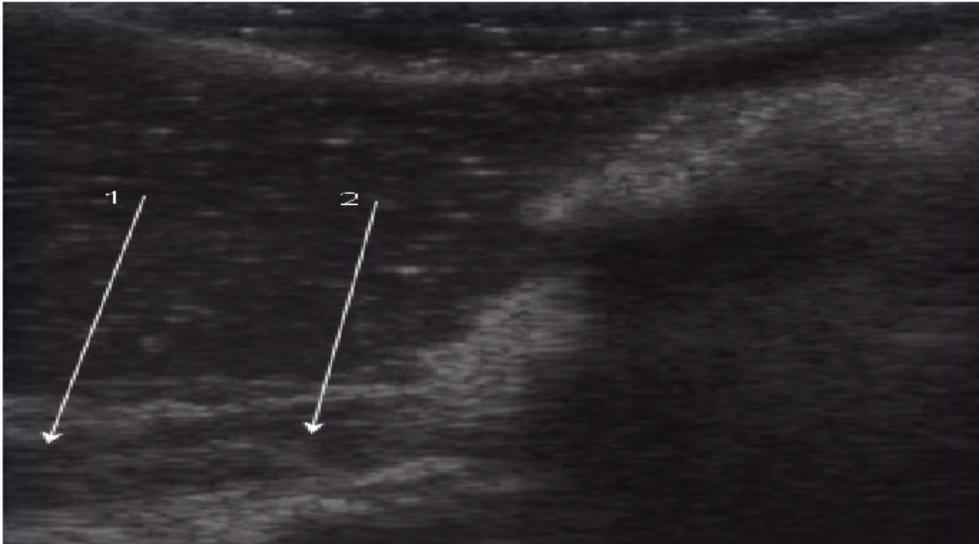


Abb. 17: US – Längsschnitt über Brustwirbelkörper 6, Laminektomie, Rückenmarkstumor, Labrador Retriever, weiblich, 7 Jahre

1= Tumorareal (reflexreich), 2= physiologisches Rückenmark (nicht alle Schichten identifizierbar)

2) Jack - Russel - Terrier, weiblich, 9 Jahre, Spinaler Tumor bei Th4/5

Die präoperative Diagnostik erfolgt mit einer Magnetresonanztomographie.

Nach operativem Zugang mittels Laminektomie ist eine, ellipsenartige Struktur von 1,7 cm Länge und 0,9 cm Höhe zu erkennen, die von gleicher Echogenität wie das umgebende Rückenmarksparenchym erscheint. Es ist eine feine reflexreiche bogenförmige Trennlinie zum eigentlichen Rückenmark zu erkennen. Die Struktur nimmt fast den kompletten Durchmesser des Rückenmarksabschnittes ein. Der Zentralkanal und der Subarachnoidalraum sind nicht mehr zu erkennen (siehe Abb. 18). Bei der anschließenden histopathologischen Untersuchung der Biopsieprobe wird die Diagnose eines Fibrosarkoms gestellt.

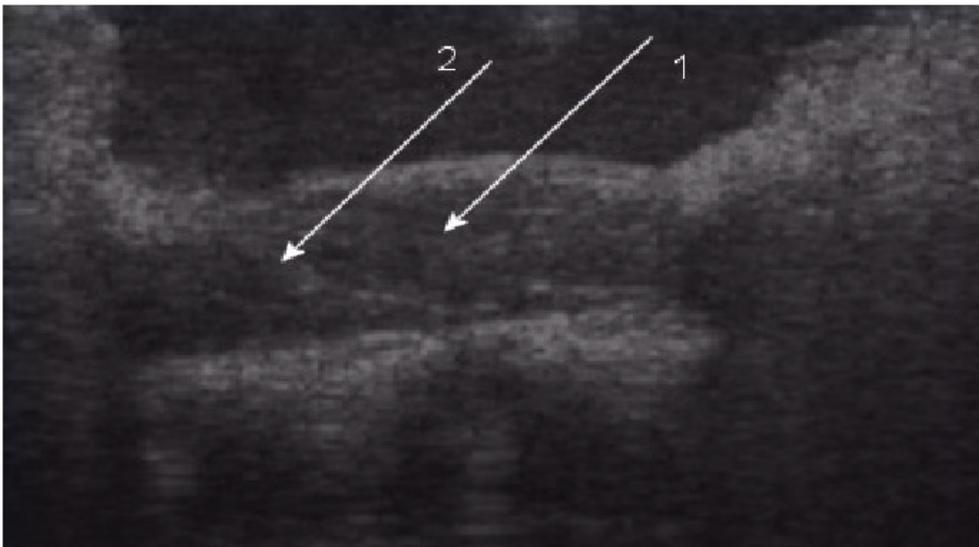


Abb. 18: US – Längsschnitt über Brustwirbelkörper 4/5, Laminektomie; Rückenmarkstumor, Jack Russel Terrier, weiblich, 9 Jahre

1= Tumorareal (reflexarm, ähnliche Echogenität wie das physiologische Rückenmark, mit reflexreicher Trennlinie), 2= physiologisches Rückenmark (nicht alle Schichten identifizierbar)

3) DSH, männlich, 8 Jahre, Spinaler Tumor bei L4

Die präoperative Diagnostik erfolgt durch Röntgen und Myelographie.

Nach durchgeführter Hemilaminektomie zeigt sich im intraoperativen Ultraschall eine abrupte Unterbrechung der Signale von Zentralkanal und Subarachnoidalräumen. Das veränderte Areal von 1* 1 cm Durchmesser zeigt sich isoechogen im Vergleich zum physiologischen caudalen Abschnitt des Rückenmarkes (siehe Abb. 19). In der Zytologie ergeben sich Hinweise auf nicht genauer differenzierbare maligne Zellen. Auf Besitzerwunsch wird der Hund euthanasiert. Die histopathologische Untersuchung ergibt keinen Hinweis auf Malignität. Es zeigen sich dystrophische Veränderungen der Dura mater.

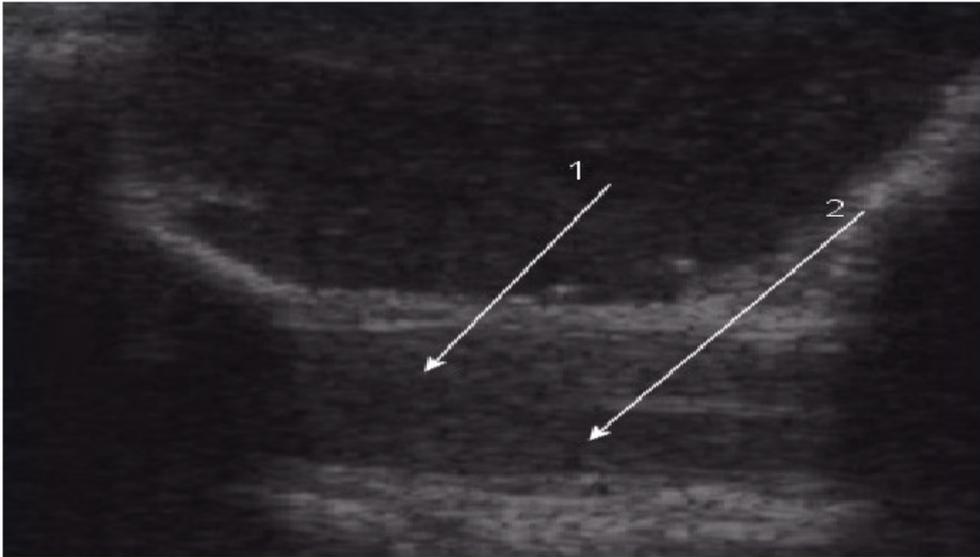


Abb.: 19: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 4, Hemilaminektomie, Rückenmarkstumor; Deutscher Schäferhund, männlich, 8 Jahre

1= Tumorareal (isoechogen im Vergleich zum physiologischen Rückenmark, aber Unterbrechung Signal Zentralkanal und Subarachnoidalraum), 2= physiologisches Rückenmark

4) Schnauzer-Mischling, männlich, 9 Jahre, Spinaler Tumor bei C2/3

Die präoperative Diagnostik erfolgt mittels Myelo – Computertomographie.

Nach Ventral Slot erkennt man in der sonographischen Untersuchung eine inhomogene eher reflexarme kuppelförmige Struktur von 1,5 cm Länge und 1,2 cm Höhe, die von reflexreichen Streifen durchzogen wird und zum völligen Verlust des physiologischen Rückenmarkssignals führt. Cranial und caudal der Veränderung ist physiologisches Rückenmark zu erkennen (siehe Abb. 20). Auf Besitzerwunsch wird das Tier euthanasiert. Die anschließende histopathologische Untersuchung ergibt die Diagnose eines Chondrosarkoms.

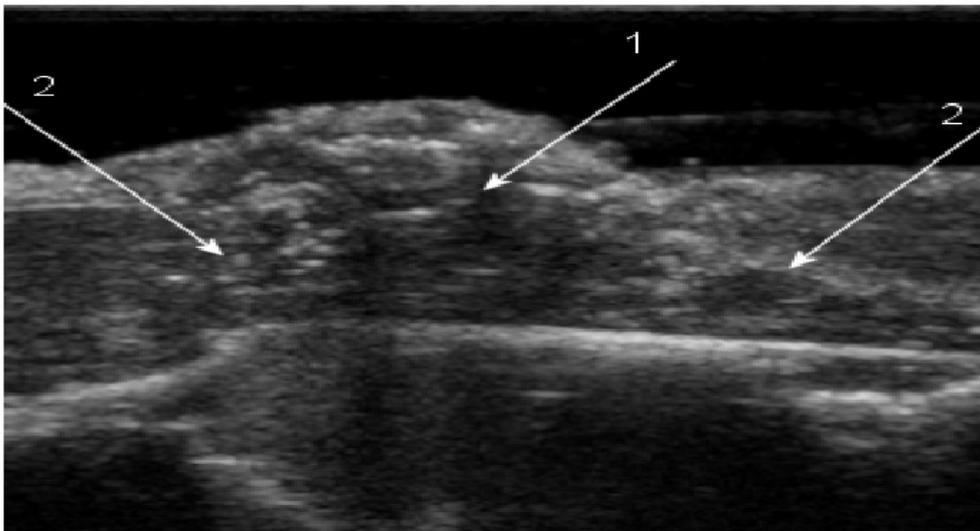


Abb. 20: US – Längsschnitt über Halswirbelkörper 2/3, Ventral Slot, Rückenmarkstumor; Schnauzer – Mix, männlich, 9 Jahre

1= Tumorareal (inhomogen, reflexarme Struktur mit reflexreichen Streifen), 2= Grenze zum physiologischen Rückenmark (nicht alle Schichten erkennbar)

5) Retriever – Mischling, männlich, 6 Jahre, Spinaler Tumor bei Th10/11

Die präoperative Diagnose wird mittels Computertomographie gestellt.

Der Zugang erfolgt mittels Hemilaminektomie. Das komplette Sichtfeld wird von einer wolkgig - inhomogenen reflexarmen Struktur mit reflexreicher Umrandung ausgefüllt. Die Struktur zeigt einen Durchmesser von 2,5*1,2 cm. Es ist kein physiologisches Rückenmark mehr zu erkennen. Nach Entfernung der extramedullär liegenden, sich leicht von der Oberfläche des Rückenmarkes lösbaren Zubildung ist wieder ein physiologisch aussehendes Rückenmark mit allen Anteilen (hypoechogenes Rückenmarksparenchym, hyperechogener Zentralkanal und Meningen) zu erkennen (siehe Abb. 21 und 22). Die anschließende histopathologische Untersuchung ergibt ein nicht genauer differenzierbares Sarkom.

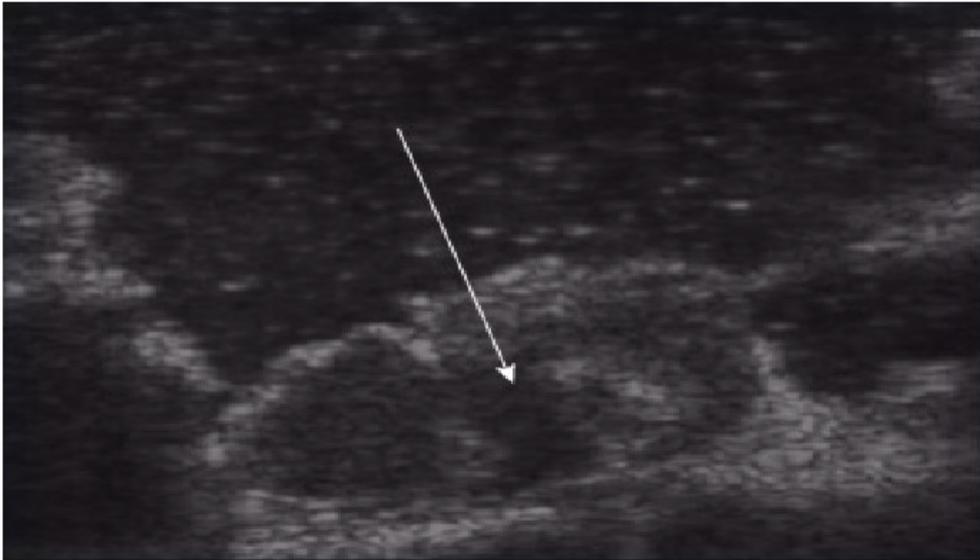


Abb. 21: US – Längsschnitt über Brustwirbelkörper 10/11, Hemilaminektomie, Rückenmarkstumor; Retriever – Mix, männlich, 6 Jahre

Pfeil= Tumorareal (wolkig inhomogene reflexarme Struktur mit reflexreicher Umrandung)

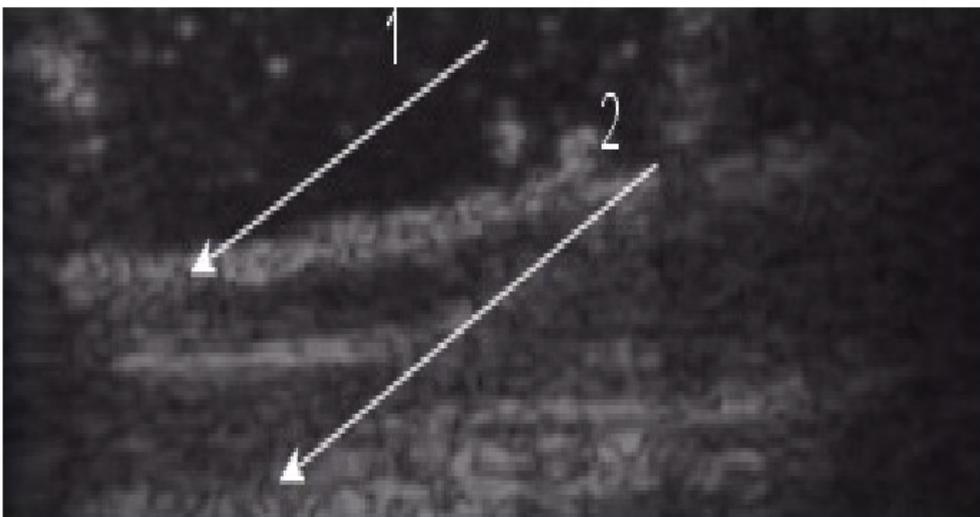


Abb. 22: US Längsschnitt über Brustwirbelkörper 10/11, Hemilaminektomie, nach Entfernung Tumor; Retriever – Mix, männlich, 6 Jahre

Rückenmark= ohne pathologische Veränderungen im Bereich des entfernten Tumors

1= dorsale Begrenzung Rückenmark, 2= ventrale Begrenzung Rückenmark

5.3.3. Rückenmarkstrauma (Myelomalazie, Blutung)

Sieben Hunde mit traumatisch bedingten Veränderungen werden intraoperativ sonographisch untersucht. Die Ultraschalluntersuchungen werden mit dem Gerät von ATL und dem Linearschallkopf L 10 -5 durchgeführt.

1) Rauhaardackel, weiblich, 5 Jahre, Myelomalazie bei Th12/13

Die Diagnosestellung erfolgt mittels Magnetresonanztomographie.

Bei diesem Patienten zeigt sich postoperativ, nach Operation eines Bandscheibenvorfalls mittels Hemilaminektomie eine hgr. Verschlechterung der klinischen Symptomatik. Eine erneute intraoperative sonographische Untersuchung zeigt im Querschnitt ein intramedulläres keilförmiges inhomogen reflexreiches Areal mittlerer Echogenität von 5*2mm Durchmesser, welches zu einem Verlust des Signals des Zentralkanals führt. Die intraoperativ durchgeführte Durotomie ist ebenfalls als reflexreiche Ausbuchtung zu erkennen (siehe Abb. 23 und 24). Der Hund wird euthanasiert. In der anschließenden histopathologischen Untersuchung ergibt sich eine ascendierende Myelomalazie des Rückenmarks.

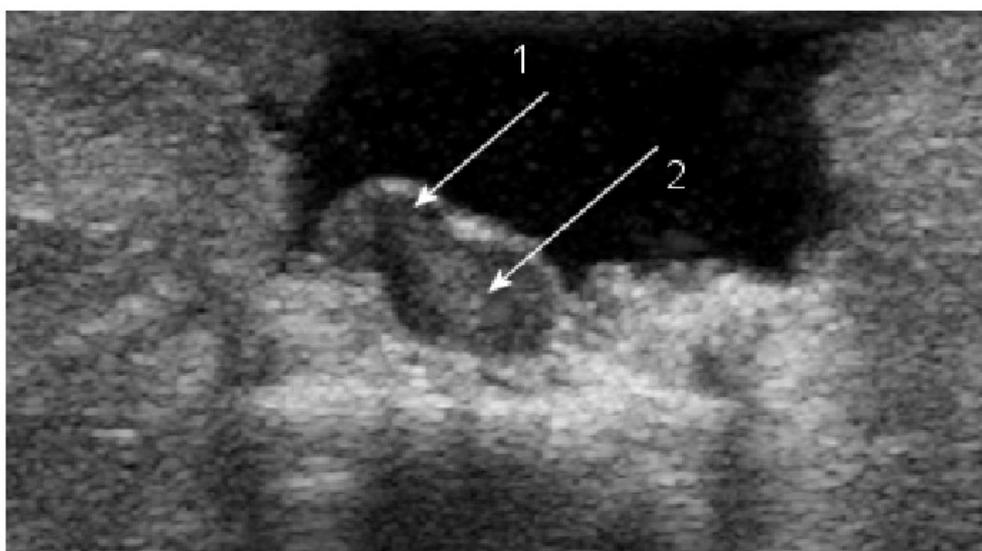


Abb. 23: US - Querschnitt über Brustwirbelkörper 12/13, Hemilaminektomie, Myelomalazie und Durotomie; Rauhardackel, weiblich, 5 Jahre

1= Durotomiestelle (reflexreiche Ausbuchtung), 2= Myelomalazie (inhomogen reflexreiches, intramedulläres Areal mittlerer Echogenität im ansonsten hypoechogenen Rückenmark)

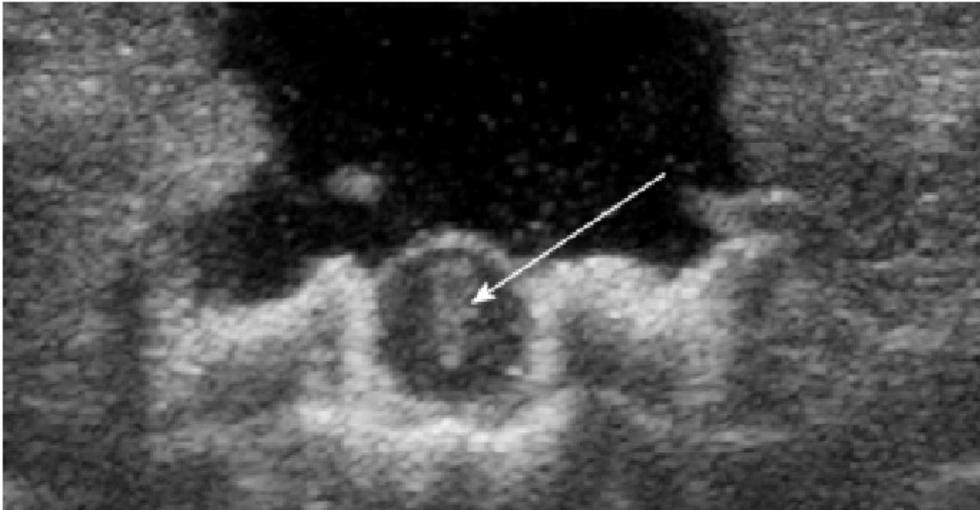


Abb. 24: US – Querschnitt über Brustwirbelkörper 10/11, Hemilaminektomie, Myelomalazie; Rauhaardackel, weiblich, 5 Jahre

Pfeil= Myelomalazie (inhomogen reflexreiches, keilförmiges intramedulläres Areal mittlerer Echogenität im ansonsten hypoechogenen Rückenmark)

2) Labrador Retriever, männlich, 8 Jahre, Myelomalazie bei L1/2

Bei diesem Tier wird durch eine Magnetresonanztomographie die Verdachtsdiagnose eines Bandscheibenvorfalles Typ 3 gestellt. Nach durchgeführter Laminektomie ist kein Bandscheibenmaterial zu erkennen. Sonographisch sind großflächige Veränderungen im Rückenmark zu erkennen. Man sieht den vollkommenen Verlust der Abgrenzbarkeit der einzelnen Rückenmarksanteile. Man kann Rückenmarksparenchym, Zentralkanal und Subarachnoidalraum nicht mehr voneinander unterscheiden. Im cranialen Bereich sind intramedullär gelegene, diffuse, inhomogen reflexreiche Areale mittlerer Echogenität zu sehen, die fast den gesamten Querschnitt des betroffenen Rückenmarksabschnittes einnehmen, die Rückenmarksoberfläche erscheint irregulär (siehe Abb. 25). In der anschließenden histopathologischen Untersuchung bestätigt sich der Verdacht einer ascendierenden Myelomalazie des Rückenmarkes.

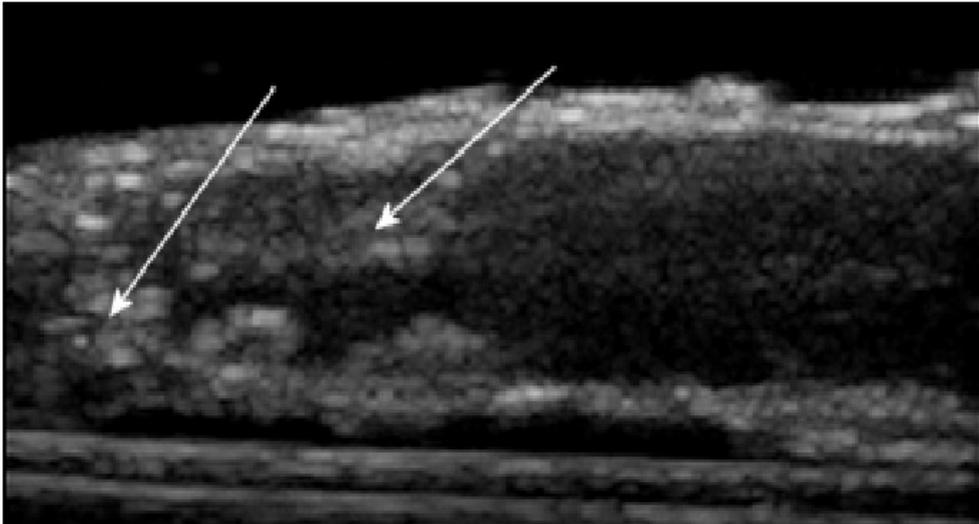


Abb. 25: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 1/2, Laminektomie, Myelomalazie; Labrador –Retriever, männlich, 8 Jahre
Pfeile= Myelomalazieareale (diffuse, inhomogen reflexreiche intramedulläre Areale mittlerer Echogenität), restliches Rückenmark: einzelne Anteile nicht mehr zu differenzieren

3) Shi Tzu, männlich, 2 Jahre, Blutung intramedullär bei L2/3

Die präoperative Diagnosestellung erfolgt mittels Magnetresonanztomographie.

Nach durchgeführter Hemilaminektomie lässt sich nach Entfernung eines Bandscheibenvorfalles eine noch bestehende reflexreiche Struktur mittlerer Echogenität von rundlicher Form und einem Durchmesser von 2*2mm, die intramedullär liegt, nachweisen. Das restliche einsehbare Rückenmark stellt sich physiologisch dar. Das Parenchym ist hypoechogen, Zentralkanal und Meningen hyperechogen (siehe Abb. 26). Auf Besitzerwunsch wird das Tier intraoperativ euthanasiert. Die anschließend erfolgte histopathologische Untersuchung ergibt eine intramedulläre Blutung.



Abb. 26: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 2/3, Hemilaminektomie, intramedulläre Blutung; Shi Tzu, männlich, 2 Jahre
Pfeil= Blutung (reflexreiche, rundliche Struktur mittlerer Echogenität, cranial liegend)

4) Retriever – Mischling, weiblich, 8 Jahre, intramedulläre Blutung bei L3/4

Die präoperative Diagnosestellung erfolgt mittels Röntgen und Myelographie.

Intraoperativ findet sich nach durchgeführter Hemilaminektomie und Entfernung von vorgefallenem Bandscheibenmaterial eine noch bestehende, ventral liegende reflexreiche Struktur mittlerer Echogenität von 1*0,5 cm Durchmesser. Die restlichen sichtbaren Anteile des Rückenmarkes stellen sich sonographisch unauffällig dar (siehe Abb. 27). Der Hund wird auf Besitzerwunsch eingeschläfert. Die histopathologische Untersuchung ergibt eine intramedulläre Blutung.

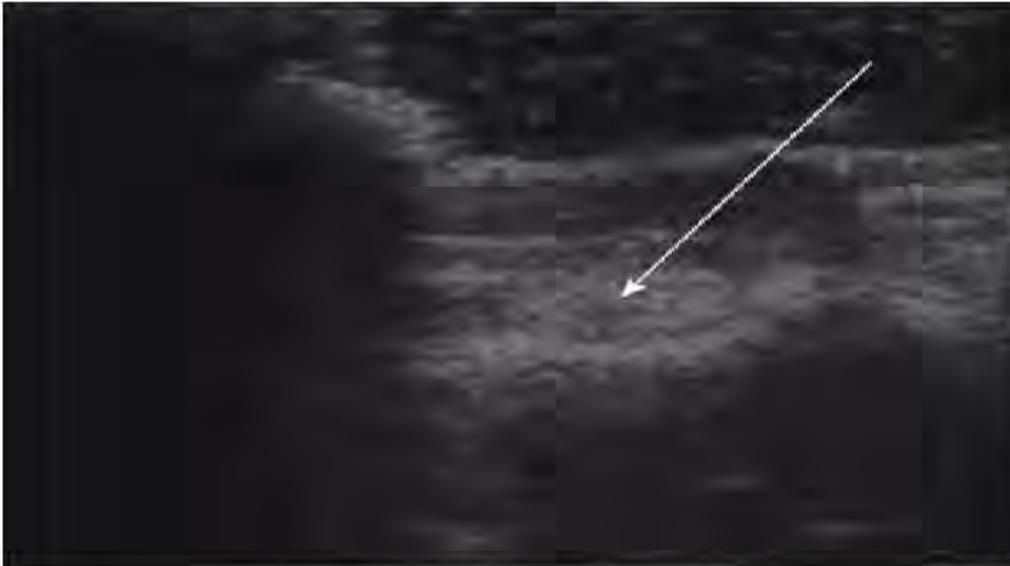


Abb. 27: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 3/4, Hemilaminektomie, intramedulläre Blutung; Retriever – Mix, weiblich, 8 Jahre
Pfeil= Blutung (inhomogen, reflexreich, mittlere Echogenität, ventral liegend)

5) Irish Setter, weiblich, 8 Monate, V.a. Blutung bei Th12/13 nach traumatischer Wirbelluxation

Die präoperative Diagnosestellung erfolgt mittels Röntgen und Computertomographie.

Der intraoperative Ultraschall nach erfolgter Hemilaminektomie und vor Fixation der Wirbelluxation mittels Fixateur extern zeigt ventral eine intramedulläre reflexreiche inhomogene Struktur mittlerer Echogenität von 1*0,5 cm Durchmesser. Das übrige einsehbare Rückenmark stellt sich reflexarm dar, die einzelnen Schichten sind nicht zu unterscheiden (siehe Abb. 28). Es lässt sich nur eine Verdachtsdiagnose stellen, da keine Probennahme und anschließende histopathologische Verifizierung möglich ist. Das Tier erholt sich gut und ist nach einigen Monaten klinisch obB. Aufgrund dessen ist eine Blutung die wahrscheinlichere Verdachtsdiagnose und eine Myelomalazie auszuschließen.

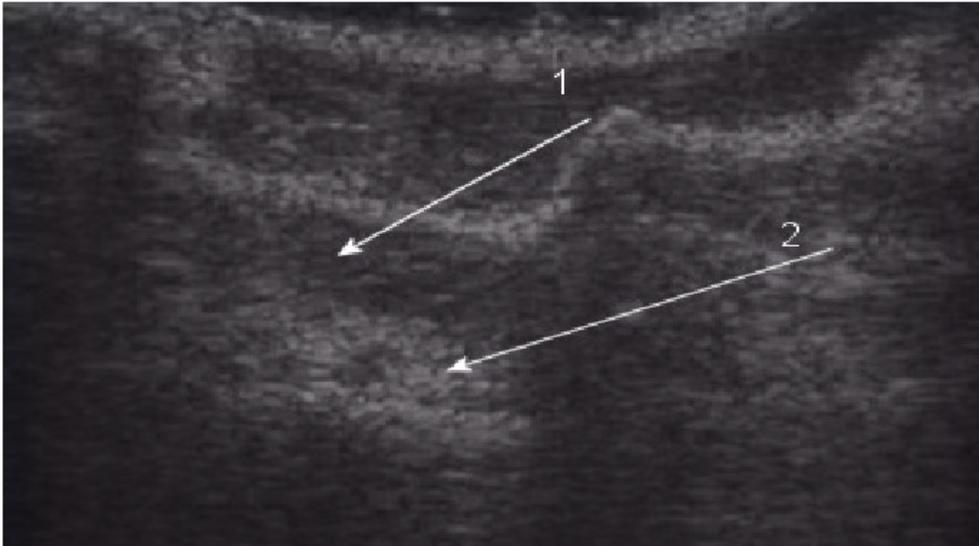


Abb. 28: US – Längsschnitt über Brustwirbelkörper 12/13, Hemilaminektomie Blutung; Irish Setter, weiblich, 8 Monate

1= Rückenmark (einzelne Schichten nicht erkennbar), 2= Blutung (inhomogen, reflexreich, mittlere Echogenität)

6) Terrier – Mischling, männlich, 5 Jahre, V.a. Blutung bei L1/2 nach traumatischer Luxation

Die präoperative Diagnosestellung erfolgt mittels Röntgen und Myelographie

Das Rückenmark zeigt im intraoperativen Ultraschall nach erfolgtem Zugang mittels Hemilaminektomie eine intramedulläre reflexreiche, bogenförmige Struktur mittlerer Echogenität von 0,7 cm Länge im cranialen Spinalbereich. Die Untersuchung wird vor Fixation der Luxation der Wirbelsäule mittels Fixateur extern durchgeführt (siehe Abb. 29). Eine histopathologische Untersuchung ist nicht möglich. Das Tier zeigt im Verlauf einiger Monate eine deutliche Besserung seines Neurostatus. Deshalb besteht der Verdacht einer Blutung. Eine Myelomalazie ist unwahrscheinlich.



Abb.: 29: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 1/2, Hemilaminektomie, Blutung; Terrier – Mix, männlich, 5 Jahre

Pfeil= Blutung/Myelomalazie (reflexreich, bogenförmig, mittlere Echogenität, cranial liegend)

7) Retriever – Mischling, männlich, 7 Jahre, Blutung/Myelomalazie bei L2/3

Die präoperative Diagnosestellung erfolgt durch eine Computertomographie.

Nach ursprünglicher Verdachtsdiagnose eines Bandscheibenvorfalles und durchgeführter Hemilaminektomie zeigt sich intraoperativ kein Bandscheibenmaterial. Das Rückenmark ist rötlich-bläulich verfärbt. Im Ultraschall zeigt sich im cranialen Rückenmarksabschnitt ein intramedulläres ggr. reflexreicheres Areal von 0,3*0,6 cm Durchmesser, welches zu einem kompletten Verlust des Signals des Zentralkanals führt (siehe Abb. 30). Die möglichen Verdachtsdiagnosen sind eine Blutung oder eine Myelomalazie.

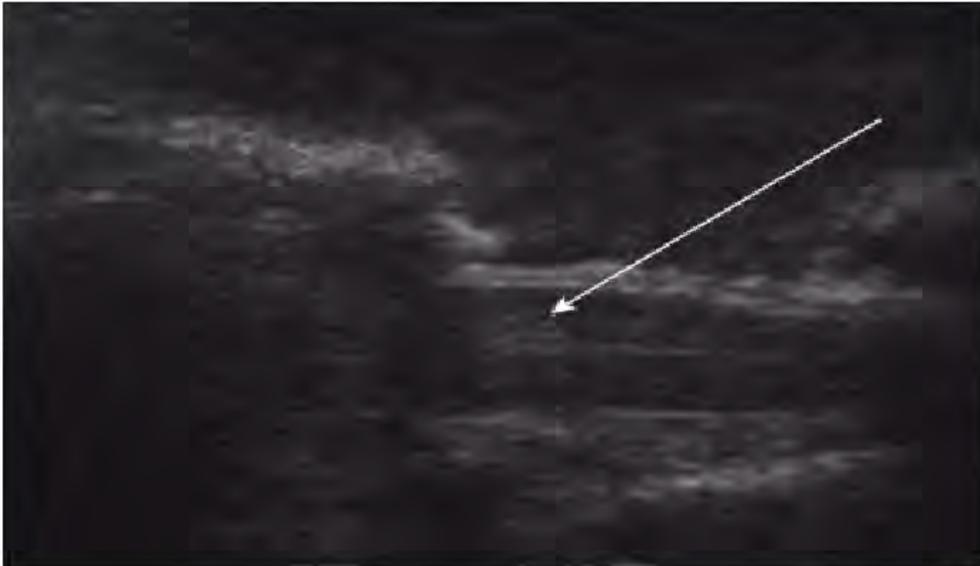


Abb. 30: US – Längsschnitt über Lendenwirbelkörper 2/3, Hemilaminektomie, Blutung/Myelomalazie; Retriever – Mix, männlich, 7 Jahre
Pfeil= Blutung/Myelomalazie (cranial liegendes, ggr. reflexreicher im Vergleich zum restlichen Rückenmark erscheinendes Areal, Unterbrechung Zentralkanalsignal)

6 Diskussion

1) Allgemeines

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist zum einen, eine sonographische Beschreibung der physiologischen Gegebenheiten des Rückenmarkes, mit den vorhandenen hochauflösenden Ultraschallgeräten und den vorhandenen Schallköpfen, zu geben, zum anderen pathologische Veränderungen zu beschreiben und wenn möglich zu verifizieren. Anschließend wird ein Vergleich mit der vorhandenen Human – und Veterinärmedizinischen Literatur gezogen. Der Schwerpunkt im Bereich der pathologischen Veränderungen liegt beim Hund bei den Bandscheibenvorfällen, da diese die häufigste Erkrankung im Bereich der Wirbelsäule darstellen (JAGGY et al. 2005).

Darüber hinaus werden die intra – und postoperativen Einsatzmöglichkeiten und Grenzen der Sonographie eruiert, um die Frage zu beantworten, ob sie bei Erkrankungen im Rückenmarksbereich eine sinnvolle Ergänzung zu den bereits etablierten bildgebenden Verfahren, wie Myelo - Röntgen, Computertomographie und Magnetresonanztomographie ist. In der Humanmedizin findet der Ultraschall als begleitendes bildgebendes Verfahren im Bereich der Orthopädie, Neurochirurgie und Pädiatrie bereits seit Jahrzehnten Verwendung und wird inzwischen routinemäßig eingesetzt (DRAGONAT et al. 1980, FINLAY et al. 1981, HIBBERT et al. 1981, SOHN et al. 1987, RICHTER et al. 1992, UNSINN et al. 2000, COLEY et al. 2001, LAM et al. 2004). In der Veterinärmedizin existieren im Bereich der Neurochirurgie bisher nur wenige Studien. Die Sonographie wird mit unterschiedlichen Schallkopftypen, von Linear- über Konvex- bis zu Sektorschallköpfen und mit Frequenzen, die sich im Bereich von 5 MHz – 12 MHz bewegen, durchgeführt (NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1993, HUDSON et al. 1995, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, GALLOWAY et al. 1999, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, TANAKA et al. 2006, NANAI et al. 2007). Bei den postoperativ untersuchten Diskopathiepatienten zeigt sich in der vorliegenden Arbeit der Linearschallkopf (in 90,8% der Untersuchungen) mit einer Frequenz von 9 MHz (in 77% der Untersuchungen) als am besten geeignet, zur Darstellung der entsprechenden Strukturen. Intraoperativ zeigt sich ebenfalls der Linearschallkopf mit einer Frequenz von 5 – 10 MHz als gut geeignet. Aufgrund der nicht manuell wählbaren Frequenzen ist hier keine Untersuchung der bestgeeigneten Frequenz möglich.

2) Sonographische Untersuchung von Rückenmark und Bandscheibenvorfällen

Das sonographische Bild des gesunden Rückenmarks und seiner Komponenten wird in der Literatur als übereinstimmend für Human – und Veterinärmedizin beschrieben (FINN-BODNER et al. 1993, NAKAYAMA et al. 1993, CARTEE et al. 1995, FINN-BODNER et al. 1995, GALLAGHER et al. 1995, HUDSON et al. 1995, NANAI et al. 2007).

Die Beschreibungen stimmen mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein.

Dura mater, Pia mater und die Begrenzungen des Zentralkanals stellen sich hyperechogen dar. Subarachnoidalraum, Zentralkanal und das Rückenmarksparenchym zeigen sich mit hypoechogenem Echomuster. Dieser grundsätzliche Aufbau des Rückenmarkes ist in den Voruntersuchungen der vorliegenden Arbeit (n= 4 Tiere) zu sehen. Er findet sich auch in den intra – und postoperativen Untersuchungen. Allerdings sind hier je nach vorhandener pathologischer Veränderung, Untersuchungszeitpunkt und weiteren beeinflussenden äußeren Faktoren nicht immer alle Schichten des Rückenmarkes zu identifizieren. Auch in der vorhandenen Literatur sind einzelne Strukturen des Rückenmarkes nicht immer zu erkennen, der Zentralkanal ist zum Teil nur als unklare reflexreiche Struktur in der Mitte des Rückenmarkes oder gar nicht zu sehen. Der Subarachnoidalraum ist nach Beschreibung von FINN-BODNER et al. (1995) nicht immer klar vom Rückenmark abgrenzbar. Vor allem ventral fällt die Abgrenzung zum Teil schwer. Mögliche Gründe könnten, wie in der Literatur angesprochen, die individuell unterschiedliche Menge an Zerebrospinalflüssigkeit, die jeweilige Position des Patienten, der Hydratationsstatus, eine eventuelle externe Kompression oder auch pathologische Veränderungen des Rückenmarksparenchyms, wie z.B. Entzündungen, traumatische oder degenerative Veränderungen, sein. Eine genauere Untersuchung des Echomusters des Rückenmarksparenchyms auf Inhomogenität und deren Ursache, wie sie in der Studie von FINN-BODNER et al. 1995 mittels Tierversuch und Einsatz des Dopplers durchgeführt wird, wird in der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt.

Insgesamt werden in der vorliegenden Studie 86 Hunde mit Bandscheibenvorfällen untersucht. Davon werden 43 Tiere ausschließlich postoperativ an 3 verschiedenen Zeitpunkten untersucht. 43 Hunde zählen zur Gruppe der intra – und postoperativ untersuchten Tiere. Für diese Gruppe gibt es 5 verschiedene Untersuchungszeiträume. Bei der Beurteilung der gewonnenen statistischen Ergebnisse, muss zum einen die geringer werdende Anzahl der zu Untersuchung zur Verfügung stehenden Tiere und zum anderen die ebenfalls kleiner werdende Anzahl von Tieren mit noch vorhandenem reflexreichen Material

(Bandscheibenvorfall), über die Untersuchungszeiträume hinweg, in die Überlegungen miteinbezogen werden. Die geplanten Untersuchungsintervalle können aufgrund mangelnder Besitzer - Compliance (keine Wiedervorstellung zum vereinbarten Zeitpunkt) in vielen Fällen nicht eingehalten werden. Die Untersuchungen werden im Anschluß an unterschiedliche operative Zugänge (Hemilaminektomie, Hemilaminektomie mit lateraler Korpektomie, Laminektomie und Ventral slot) durchgeführt. Ein bestimmter Ansatz – Winkel der Ultraschallsonde nach Hemilaminektomie wird in der Literatur nur zur Überprüfung der Blutgefäßversorgung angesprochen (HUDSON et al. 1995). Die Autoren nennen einen Winkel von 33 - 45°. In der vorliegenden Arbeit entstehen durch die unterschiedlichen operativen Zugänge verschiedenen Anschallwinkel. Nach durchgeführter Hemilaminektomie entsteht im Durchschnitt ein Winkel von 30 - 45°, bei zusätzlicher lateraler Korpektomie erweitert sich der Winkel auf bis zu 90°. Wenn als Operationsmethode eine Laminektomie oder ein Ventral slot angewendet wird, wird ein Anschallwinkel von 0° benötigt.

In der durchgeführten Studie werden Tiere mit unterschiedlichen Typen von Vorfällen sonographisch untersucht (Extrusionen, Hansen Typ 1, und Protrusionen, Hansen Typ 2). Bandscheibenextrusionen stellen akute Prozesse dar, wohingegen bei Protrusionen eine langsame, chronische Vorwölbung der Bandscheibe stattfindet (JAGGY et al. 2005). Aufgrund dessen stellt sich die Frage ob ein Unterschied hinsichtlich des Neurostatus zum Aufnahmezeitpunkt zwischen den unterschiedlichen Vorfallstypen besteht. Ein Unterschied zum Zeitpunkt 1 kann in den vorliegenden Untersuchungen nicht gefunden werden. Bei der statistischen Auswertung mittels Wilcoxon – Mann – Whitney – Test ergibt sich ein **exact p von 0,094**. Somit hat dieser Parameter nach den vorliegenden Untersuchungen keinen statistisch signifikanten Einfluß auf den Neurostatus der Tiere. Andere mögliche Einflussfaktoren werden im Anschluß in dieser Arbeit diskutiert.

Bandscheibenvorfälle zeigen sich sonographisch als reflexreiche Areale **mittlerer Echogenität** (CHADDUCK et al. 1985, MONTALVO et al. 1990, NAKAYAMA et al. 1993, KAWAKAMI et al. 1994, GALLAGHER et al. 1995, IMAMURA et al. 1995, RAYNOR et al. 1997, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, NANAI et al. 2007).

Diese Aussage kann mit der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Alle untersuchten Bandscheibenvorfälle zeigen dieses Echomuster. Zusätzlich kann gesagt werden, dass sich die Vorfälle inhomogen darstellen, in keinem Fall ist ein komplett homogenes Echomuster zu finden. Eine wichtige Frage ist dabei, ob die postoperativ gefundenen reflexreichen Veränderungen als Restbandscheibenmaterial angesprochen werden können oder ob es sich

evtl. um andere pathologische Veränderungen, wie z.B. Blutungen, Ödeme, entzündliche oder degenerative Veränderungen des Rückenmarkes handelt. Aufgrund der bei der Gruppe der intra – und postoperativ untersuchten Tiere im Verlauf der Untersuchungen unverändert vorkommenden Merkmale **Lokalisation** und **distaler Schallschatten vorhanden oder nicht vorhanden** wird von der Annahme ausgegangen, dass es sich um Restbandscheibenmaterial handelt. Die Schnittfläche der reflexreichen Veränderungen bleibt gleich groß oder verkleinert sich im Verlauf der Zeit, was ebenfalls dafür sprechen könnte, dass es sich um noch vorhandenes Bandscheibenmaterial handelt, welches nach und nach resorbiert wird, bzw. vernarbt.

Bei auftretenden degenerativen Veränderungen sind vermehrt hyperechogene Bezirke als Hinweis auf eine stattgefundene Kalzifizierung in der Bandscheibe zu sehen (MONTALVO et al. 1990, NAISH et al. 2003).

Daraus resultiert das Merkmal distaler Schallschatten (MONTALVO et al. 1990, RAULT et al. 2004). MONTALVO et al. 1990 geben keine konkreten Zahlen für das Vorkommen dieses Artefaktes an, bei RAULT et al. 2004 kommt es in allen 19 Fällen der Tiere mit Bandscheibenvorfall vor. In der vorliegenden Studie tritt dieses Phänomen bei den intraoperativ untersuchten Patienten zum Zeitpunkt 1 in 53% und zum Zeitpunkt 2 in 79% der untersuchten Vorfälle auf. Bei den postoperativen Untersuchungen zeigen zum Zeitpunkt 3 60%, zum Zeitpunkt 4 66,6% und zum Zeitpunkt 5 50% einen distalen Schallschatten auf. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass zum Zeitpunkt 4 nur noch 6 und zum Zeitpunkt 5 nur noch 2 Tiere mit reflexreichen Veränderungen untersucht werden können. Zu allen Zeitpunkten ist eine deutliche Tendenz hin zum Vorhandensein eines distalen Schallschattens zu erkennen. Allerdings kann man dieses Merkmal nach den vorliegenden Ergebnissen nicht als absolut sicheres und eindeutiges Kriterium zur Identifikation eines Bandscheibenvorfalles verwenden.

Als weiteren Faktor für eine genauere Differenzierung zu anderen pathologischen Veränderungen wird in der Literatur die zentral, im Bereich des Zwischenwirbelspaltes gelegene Lokalisation genannt (MONTALVO et al. 1990). Die Autoren nennen aber für diese Hypothese keine konkreten Zahlen.

In der vorliegenden Studie zeigen intraoperativ, zum Zeitpunkt 1 67,6% der Bandscheibenvorfälle eine zentrale Lokalisation, zum Zeitpunkt 2 57,1%. Die restlichen Vorfälle liegen cranial, bzw. caudal des Zwischenwirbelspaltes. Postoperativ liegen zum Zeitpunkt 3 60%, zum Zeitpunkt 4 83,3% und zum Zeitpunkt 5 100% der Vorfälle zentral. Auch hierbei muss in die Schlussfolgerungen die Tatsache miteinbezogen werden, dass zum

Zeitpunkt 4 nur noch 6 und zum Zeitpunkt 5 nur noch 2 Patienten reflexreiche Veränderungen aufweisen. Insgesamt lässt sich auch hier eine deutliche Tendenz zur zentralen Lokalisation finden. Jedoch kann dieses Kriterium nicht als eindeutiges und sicheres Merkmal zur sonographischen Diagnostik von Bandscheibenvorfällen genutzt werden.

Der intraoperative Einsatz des Ultraschalls dient in der Humanmedizin bereits seit Jahrzehnten als Navigationshilfe und ermöglicht im Falle von Bandscheibenvorfällen das genaue Auffinden der Lokalisation und die Kontrolle der durchgeführten Dekomprimierung (REID et al. 1978, DOHRMANN et al. 1982, CHADDUCK et al. 1985, MONTALVO et al. 1990, KAWAKAMI et al. 1994, IMAMURA et al. 1995, RAYNOR et al. 1997). In der Veterinärmedizin finden sich in den letzten Jahren vereinzelt Beschreibungen des Einsatzes der Sonographie im Zuge der operativen Versorgung von Bandscheibenvorfällen (NAKAYAMA et al. 1993, GALLAGHER et al. 1995, RAULT et al. 2004, NANAI et al. 2006, NANAI et al. 2007).

Der intraoperative Einsatz der Sonographie im Bereich des Rückenmarkes zeigt sich in der vorliegenden Arbeit als gut geeignet zur Navigation, Erkennung und Einschätzung des Ausmaßes von Bandscheibenvorfällen und auch zur Identifizierung von noch vorhandenem Restbandscheibenmaterial nach operativer Versorgung. In 79% (bei 34 Tieren) der Fälle kann die präoperativ durch andere bildgebende Verfahren gestellte Diagnose Bandscheibenvorfall mittels intraoperativer Sonographie zum Zeitpunkt 1 bestätigt werden. In 14% (bei 6 Tieren) der Untersuchungen ist keine sonographische Diagnose möglich, aufgrund von schlechter intraoperativer Sicht, verursacht durch verschiedene Faktoren. Und nur bei 3 Tieren (7%) stimmt die Diagnose nicht überein. Die bei 20 Tieren durchgeführte Kontrolle der intraoperativen Ultraschallbefunde zum Zeitpunkt 2, mittels postoperativer Computertomographie zeigt ebenfalls eine 70% - ige Übereinstimmung. 10% sind aufgrund schlechter Sicht sonographisch nicht beurteilbar und 20% zeigen keine Übereinstimmung. Die Ursachen der nicht übereinstimmenden Sonographiebefunde können auf Seiten des Ultraschalls oder auf Seiten der weiteren Bildgebenden Verfahren (Röntgen, CT, MRT) liegen. Seitens des Ultraschalls ist eine mögliche Erklärung für abweichende Befunde das kleine Sichtfenster und ein dadurch nicht möglicher korrekter Anschallwinkel für eine orthograde Sicht. Auch die durch die Operation verursachten Begleiterscheinungen wie Blutungen, Gewebefetzen, Knochenspäne können ein falsches Ergebnis verursachen.

Um einen möglichen klinischen Bezug herzustellen, wird die Frage überprüft, ob sich in der vorliegenden Arbeit ein Zusammenhang zwischen Größe, bzw. Schnittfläche des Bandscheibenvorfalles und erhobenem Neurostatus findet.

Intraoperativ ist ein signifikanter Zusammenhang zu erkennen, mit **p= 0,012 und $r_s= +0,43$** zum Zeitpunkt 1. Je kleiner die Schnittfläche der untersuchten Bandscheibenvorfälle, desto schlechter ist der erhobene Neurostatus der Tiere. Eine mögliche Erklärung für dieses Ergebnis wäre die Annahme, dass kleinere Bandscheibenvorfälle mit größerer Geschwindigkeit aus dem Zwischenwirbelspalt hervortreten und somit einen größeren Erstschaden am Rückenmarksparenchym anrichten, als dies bei größeren Vorfällen der Fall ist. Ein vergleichbares Phänomen tritt bei den sogenannten explosiven Bandscheibenvorfällen auf (MEIJ 2005, STEIN et al. 2007, TIPOLD et al. 2007)

Die Ergebnisse der Überprüfung dieser Fragestellung bei den postoperativen Untersuchungen werden im Folgenden noch aufgeführt.

Schwierigkeiten, bzw. Grenzen des intraoperativen Ultraschalls ergeben sich intraoperativ vor allem durch Blutungen während der Operation (FINN-BODNER et al. 1995).

Auch in der vorliegenden Untersuchung lässt sich dieser Zusammenhang belegen. Zum Zeitpunkt 1 besteht mit **p< 0,0001 und $r_s= +0,69$** ein hochsignifikanter Zusammenhang. Je stärker die Blutung, desto schlechter die Sicht. Zum Zeitpunkt 2 besteht mit **p= 0,0798 und $r_s= +0,27$** zwar keine Signifikanz, aber eine deutliche Tendenz in dieselbe Richtung. Zusammengefasst können die in der Literatur vermuteten Aussagen bestätigt werden.

Andere mögliche Erklärungen für Schwierigkeiten bei der sonographischen Sicht können z.B. Knochenvorsprünge, zu kleine Sichtfenster, zu große Ultraschallsonden (passender Winkel kann nicht erreicht werden), Knochenspäne durch das Fräsen, sich bildende Ödeme, oder auch Myelomalazien sein.

Beim postoperativen Einsatz der Sonographie zur Kontrolle der operierten Bandscheibenpatienten ergeben sich in der vorliegenden Arbeit, wie auch in der vorhandenen Literatur zusätzliche und andere Schwierigkeiten als beim intraoperativen Einsatz (HORII et al. 1986, NAKAYAMA et al. 1993, FINN-BODNER et al. 1995, ÖZAK et al. 2002, RAULT et al. 2004).

Zum einen zeigt sich wie in der Literatur bei NAKAYAMA et al. (1993) beschrieben, eine Abhängigkeit der Sichtbarkeit der Rückenmarksstrukturen vom Untersuchungszeitpunkt. NAKAYAMA et al. (1993) untersuchen innerhalb der ersten 14 Tage postop und nennen als ideal die Zeit ab dem 6. Tag postop.

In der vorliegenden Studie wird untersucht, ob ein Unterschied zwischen den gewählten Untersuchungszeitpunkten (Zeitpunkt 3, 4 und 5) hinsichtlich der Beurteilbarkeit, bzw. Sicht auf das Rückenmark besteht. Man erhält **asymptotic p= 0,0126** und somit einen signifikanten Unterschied. Eine genauere Untersuchung der Tendenz ergibt beim Vergleich **Z3/4 p= 0,81**,

beim Vergleich **Z3/5 p= 0,077** und beim Vergleich **Z4/5 p= 0,0002**. Beim Vergleich Z3/Z4 lässt sich kein signifikanter Unterschied belegen. Zwischen Z4/Z5 lässt sich ein hochsignifikanter Unterschied belegen, zum Zeitpunkt 4 ist eine deutlich bessere Sicht auf das Rückenmark möglich als zum Zeitpunkt 5. Zwischen Z3/Z5 wird kein signifikanter Unterschied gefunden, aber die Tendenz, dass Zeitpunkt 3 eine bessere Sicht ermöglicht als Zeitpunkt 5 ist deutlich zu erkennen.

Zusammengefasst ist zum Zeitpunkt 5 die schlechteste Sicht vorhanden und die Zeitpunkte 3 und 4 sind miteinander vergleichbar.

Zum anderen werden der sonographischen Untersuchung auch, wie bei RAULT et al. (2004) beschrieben durch die Rassenzugehörigkeit (Größe/bzw. Gewicht der Tiere) Grenzen gesetzt. RAULT et al. (2004) nennen als Gewichtsobergrenze 25 kg, darüber hinaus liegt laut Autoren das Rückenmark zu tief und ist einer Ultraschalluntersuchung pop entzogen.

In der durchgeführten Arbeit wird auf einen Zusammenhang zwischen Hunderasse (Größe und Gewicht) und der Sichtbarkeit des Rückenmarkes untersucht. Man erhält zum **Zeitpunkt 3 p= 0,0037 und $r_s = -0,33$** , zum **Zeitpunkt 4 p=0,67 und $r_s = -0,07$** und zum **Zeitpunkt 5 p= 0,11 und $r_s = -0,35$** .

Somit lässt sich zum Zeitpunkt 3 ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen den Hunderassen und der Sicht auf das Rückenmark belegen. Je größer die Rasse, desto schlechter die Sicht. Zum Zeitpunkt 4 ergibt sich keine Signifikanz, das Ergebnis ist indifferent und zum Zeitpunkt 5 ergibt sich ebenfalls keine Signifikanz, aber die Tendenz geht mit $r_s = -0,35$ in dieselbe Richtung wie zum Zeitpunkt 3. Eine mögliche Erklärung für die unterschiedlichen Ergebnisse ist die kleiner werdende Anzahl an untersuchten Tieren an den Zeitpunkten 4 und 5 im Vergleich zum Zeitpunkt 3. Dies hat bei der statistischen Auswertung Einfluss auf die Berechnung der Signifikanz.

Weitere mögliche Ursachen für die unterschiedliche Sichtbarkeit auf das Operationsgebiet könnten entstandene Entzündungserscheinungen durch die Operation, Vernarbungen, wie bei HORII et al. (1986), FINN-BODNER et al. (1995), ÖZAK et al. (2002) beschrieben, Knochenneubildungen im Lauf der Zeit, eine individuell unterschiedliche Zusammensetzung/Aufbau von Haut, Fett, Bindegewebe und Muskulatur der einzelnen Tiere sein.

Um einen möglichen klinischen Bezug zu erhalten, wird in der vorliegenden Arbeit die Überlegung angestellt, ob hinsichtlich des Neurostatus postoperativ Zusammenhänge, bzw. Unterschiede in Bezug auf den Grad der Sichtbarkeit der Rückenmarksstrukturen oder das Vorhandensein, bzw. nicht Vorhandensein von Restbandscheibenmaterial bestehen.

Es lässt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Neurostatus und Grad der Sichtbarkeit der Rückenmarksstrukturen belegen. **Zum Zeitpunkt 3 ergibt sich $p= 0,59$ und $r_s= +0,06$, zum Zeitpunkt 4 $p= 0,38$ und $r_s= -0,13$ und zum Zeitpunkt 5 $p= 0,88$ und $r_s= +0,03$.** Zwischen Neurostatus und Vorhandensein, bzw. nicht Vorhandensein von Restbandscheibenmaterial ergibt sich kein statistisch signifikanter Unterschied. **Zum Zeitpunkt 3 ist exact $p= 0,24$, zum Zeitpunkt 4 exact $p= 0,41$ und zum Zeitpunkt 5 exact $p= 0,74$.**

Eine weitere Überlegung ist, wie schon intraoperativ erfolgt, die Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Größe (Schnittfläche) des Restbandscheibenmaterials und Neurostatus. Hierbei kann im Gegensatz zu den intraoperativen Ergebnissen kein statistisch signifikanter Zusammenhang gefunden werden. **Zum Zeitpunkt 3 ist $p= 0,5$ und $r_s= -0,19$, zum Zeitpunkt 4 $p= 0,12$ und $r_s= -0,7$ und zum Zeitpunkt 5 $p= 1,0$ und $r_s= -1,0$.** Das unterschiedliche intraoperative und postoperative Ergebnis lässt sich möglicherweise durch die postoperativ nur noch sehr geringe Anzahl von zur Verfügung stehenden Tieren mit Restbandscheibenmaterial erklären. Intraoperativ stehen 34 Patienten zur Verfügung, postoperativ nur noch 15, bzw. 6 und 2 Tiere. Dies kann einen Einfluss auf die statistische Auswertung haben. Eine andere Erklärung wäre, dass postoperativ noch wesentliche, weitere Einflussfaktoren auf den Neurostatus der Tiere bestehen, wie z.B. zusätzliche entzündliche oder degenerative Veränderungen des Rückenmarks und in unterschiedlichem Ausmaß eingesetzte Physiotherapie zur Unterstützung der Selbstheilungskräfte. Zur sicheren Klärung dieser Fragestellung wäre eine Studie in größerem Umfang, mit einem größeren Patientengut erforderlich.

3) Sonographische Untersuchung weiterer Pathologien im Bereich des Rückenmarkes

Synovialzysten

Über das Auftreten von Synovialzysten und deren Ursachen beim Hund existieren eine Vielzahl von Beschreibungen und Theorien in der Literatur (LEVITSKI et al. 1999, DICKINSON et al. 2001, SALE et al. 2007). Allerdings findet man keine Beschreibungen des sonographischen Aussehens dieser Art von Zysten, die im Gelenkbereich auftreten. Es finden sich nur Beschreibungen anderer Zystenarten im Bereich des Rückenmarkes, wie Arachnoidalzysten und Syringomyelien (HUTCHINS et al. 1984, MONTALVO et al. 1984, PASTO et al. 1984, QUENCER et al. 1984, CHADDUCK et al. 1985; QUENCER et al. 1987, SKLAR et al. 1988, GALLOWAY et al. 1999).

In der vorliegenden Arbeit werden 2 Fälle von Synovialzysten im Bereich der Wirbelsäule sonographisch untersucht. Die beiden Zysten weisen ein übereinstimmendes Echomuster auf. Der Zysteninhalt stellt sich aufgrund der Flüssigkeitsfüllung anechogen dar, der Zystenmantel hyperechogen, wobei die Dicke des Mantels bei den beiden Tieren unterschiedlich stark ist. Die Fallzahl von 2 Tieren lässt keine statistische Auswertung zu. Um sicher zu gehen, dass das sonographische Aussehen von Synovialzysten immer den gefundenen Ergebnissen entspricht, müssten weitere Studien mit einer größeren Fallzahl durchgeführt werden. Die vorhandenen Ergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass die intraoperative Identifikation und Kontrolle der Entfernung sonographisch möglich ist.

Rückenmarkstumoren

In der Humanmedizinischen Literatur wird die Sonographie als hervorragende Möglichkeit zur intraoperativen Navigation und Erfolgskontrolle der durchgeführten Dekompression durch Entfernung der Neoplasie bei Tumoroperationen beschrieben (QUENCER et al 1984). Das sonographische Aussehen der verschiedenen Tumorarten wird allerdings als sehr variabel beschrieben. KAWAKAMI et al. (1992) versuchen eine Unterscheidung zwischen den beiden Tumorarten Astrozytom und Ependymom zu treffen. REGELSBERGER et al. (2005) widersprechen dieser Studie und versuchen eine sonographische Unterscheidung zwischen intra – und extramedullären Tumoren zu finden. Sie nennen als wesentlichen Unterschied, dass sich intramedulläre Tumoren sonographisch eher heterogen und schwer abgrenzbar zum restlichen Rückenmarksparenchym zeigen, im Gegensatz zu extramedullären Tumoren. Die

Mehrzahl der Autoren jedoch ist davon überzeugt, dass eine endgültige Tumorklassifikation nur mittels Histopathologie möglich ist (HUTCHINS et al. 1984, PASTO et al. 1984, QUENCER et al. 1984, QUENCER et al. 1987, REGELSBERGER et al. 2005). Eine sonographische Unterscheidung zwischen Tumoren und anderen pathologischen Veränderungen gelingt im Falle von Syringomyelien, Syringohydromyelien und traumatischen Veränderungen (HUTCHINS et al. 1984, PASTO et al. 1984). Im Falle der zystischen Veränderungen gelingt die Unterscheidung aufgrund der sich anechogen darstellenden Flüssigkeitsbezirke.

In der Veterinärmedizinischen Literatur finden sich nur 6 Fälle von sonographischen Beschreibungen tumoröser Veränderungen (GALLAGHER et al. 1995, TANAKA et al. 2006, NANAI et al. 2007). Es finden sich unterschiedlichste Tumorarten, die sonographischen Untersuchungen lassen keine Klassifikation der Tumoren oder eine Unterscheidung zu anderen pathologischen Veränderungen zu. Die endgültige Diagnose wird in allen Fällen histopathologisch gestellt. Der intraoperative Ultraschall dient nur der Navigation und der Einschätzung des Ausmaßes der Veränderungen.

In der vorliegenden Arbeit kann die Einschätzung der intraoperativen Sonographie als guter Möglichkeit zur Navigation und Beurteilung der Größe der tumorösen Areale bestätigt werden. In allen 5 Fällen lassen sich die Tumorareale sonographisch identifizieren, beschreiben und ausmessen. Eine Tumorklassifikation allein aufgrund sonographischer Merkmale ist nicht möglich, auch eine gröbere Einteilung in intra – und extramedulläre Tumoren ist schwierig. Sie ist nur einmal im Fall des 6 - jährigen Retriever – Mischlings mit Sarkom möglich. Hier ist nach Entfernung des Tumors wieder ein physiologisches Rückenmark sichtbar, was darauf schließen lässt, dass sich der Tumor extramedullär befand. Die geringe Anzahl an untersuchten Patienten und die Vielfalt der gefundenen Tumorarten machen eine statistische Auswertung nicht möglich. Eine klare Abgrenzung zu anderen pathologischen Veränderungen erscheint ebenfalls schwierig. Allerdings deuten die durchgeführten Untersuchungen darauf hin, dass iso – hypoechogene Veränderungen eher auf ein tumoröses Geschehen hindeuten, wohingegen hyperechogene Areale unabhängig der Lokalisation verschiedenste Ursachen haben können (Bandscheibenmaterial, Blutungen, Myelomalazie).

Rückenmarkstrauma

Weitere im Bereich des Rückenmarkes auftretende Pathologien sind traumatisch bedingte Blutungen und ödematöse Veränderungen bis hin zu Myelomalazien. Sonographische Beschreibungen dieser Veränderungen finden sich sowohl in der Human – als auch vereinzelt in der Veterinärmedizinischen Literatur (MONTALVO et al. 1984, GEBARSKI et al. 1985, BABYN et al. 1988, FALCONE et al. 1994, GALLAGHER et al. 1995, RAULT et al. 2004, TANAKA et al. 2006). Blutungen stellen sich reflexreich dar (MONTALVO et al. 1984, BABYN et al. 1988, RAULT et al. 2004). Dieser Befund kann mit den vorliegenden Untersuchungen bestätigt werden. Die 2 Hunde mit histopathologisch nachgewiesener intramedullärer Blutung zeigen dieses Echomuster. Bei den 3 Tieren, bei denen keine histopathologische Untersuchung möglich war, aber intraoperativ auch kein Bandscheibenmaterial oder andere pathologische Veränderungen gefunden wurden, ist dasselbe Echomuster zu finden. Aufgrund des weiteren klinischen Verlaufes ist bei 2 Tieren eine Myelomalazie unwahrscheinlich, und eine intramedulläre Blutung kann an die erste Stelle der Differentialdiagnosen gestellt werden. Die Myelomalazie wird in der Literatur sonographisch variabel beschrieben. Der Bereich der Myelomalazie weicht in seiner Signalintensität vom Rest des Rückenmarkes ab und der Zentralkanal ist nicht mehr klar darzustellen. Weitere Merkmale sind eine Abnahme der reflexreichen Oberfläche und eine ansteigende Echogenität des Rückenmarksparenchyms. Außerdem werden eine Verschmälerung des Rückenmarksdurchmessers und eine irreguläre Oberfläche als Merkmale genannt (MONTALVO et al. 1984, GEBARSKI et al. 1985, BABYN et al. 1988, FALCONE et al. 1994, TANAKA et al. 2006). In der vorliegenden Arbeit bestätigen sich diese Aussagen größtenteils. Das reflexreiche Echomuster im Bereich der betroffenen Areale und der Verlust des Signals des Zentralkanals sind in beiden Fällen anzutreffen. Bei einem Tier ist zusätzlich ein vollkommener Verlust der Abgrenzbarkeit der einzelnen Rückenmarksanteile und eine irreguläre Oberfläche zu finden. Aufgrund der bisher geringen Anzahl an sonographischen Beschreibungen dieser Pathologie sind weitere Studien notwendig, um die bisherigen Untersuchungen bestätigen, bzw. spezifizieren zu können.

4) Sonographische Unterscheidung von Bandscheibenvorfälle und anderen pathologische Veränderungen

In der Literatur treten Probleme bei der Differenzierung zwischen Bandscheibenmaterial und anderen pathologischen Rückenmarksveränderungen vor allem bei eher dezentral und verteilt liegendem Bandscheibenmaterial auf (MONTALVO et al. 1984).

In der vorliegenden Arbeit können keine eindeutigen, für alle zutreffenden sonographischen Merkmale von Bandscheibenvorfällen (distaler Schallschatten, Lokalisation, Größe), sondern wie bereits beschrieben nur Tendenzen festgestellt werden. Aufgrund des teilweise ähnlichen bis gleichen Echomusters ist somit eine sichere sonographische Unterscheidung zwischen Bandscheibenvorfällen und anderen pathologischen Veränderungen (Zysten, Tumoren, Traumata) nicht möglich. Am ehesten lassen sich noch zystische Veränderungen und Rückenmarkstumoren von reflexarmer Echogenität von Bandscheibenvorfällen unterscheiden. Bei reflexreichen tumorösen Veränderungen, Ödemen, Blutungen und auftretender Myelomalazie ist allein durch die Sonographie keine sichere Unterscheidung möglich. Hierzu benötigt man eine histopathologische Untersuchung.

7 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mittels Sonographie die einzelnen Bestandteile des Rückenmarkes (Dura mater, Subarachnoidalraum, Pia mater, Zentralkanal, Rückenmarksparenchym) dargestellt werden können. Dies ist in den Voruntersuchungen ($n= 4$) zu sehen. In den folgenden eigentlichen Untersuchungen ($n= 100$) sind nicht in jedem Fall alle Bestandteile sichtbar, was auf die vorhandenen pathologischen Veränderungen, den Untersuchungszeitpunkt und weitere beeinflussende äußere Faktoren (wie z.B. Hydratationsstatus) zurückzuführen ist.

Der **intraoperative Ultraschall** bietet unter Verwendung eines **Linearschallkopfes** mit einer Frequenz zwischen **5 – 10 MHz** eine gute Möglichkeit zur Darstellung der einzelnen Rückenmarksstrukturen. Bei pathologischen Veränderungen des Rückenmarkes und bereits bestehender Diagnose stellt die intraoperative Sonographie eine gute Möglichkeit zur Navigation, zur Einschätzung des Ausmaßes der Veränderungen und auch zur Kontrolle nach erfolgter Entfernung der Veränderung dar.

Die Hauptgruppe der untersuchten pathologischen Veränderungen stellt die Tiere mit Bandscheibenvorfällen dar ($n= 86$). Das sonographische Aussehen: **inhomogene, reflexreiche Areale mittlerer Echogenität** finden sich bei allen untersuchten Patienten ($n= 86$). Des Weiteren zeigt sich eine Tendenz zum Vorhandensein des Merkmals **Distaler Schallschatten und einer zentralen Lokalisation der Bandscheibenvorfälle**. Diese beiden Merkmale stellen jedoch kein sicheres Kriterium zur sonographischen Identifikation dar, denn es ist eine Variation des Auftretens vorhanden (**50 % - 79 % bzw. 87,1 % - 100 %**). Die **intraoperative sonographische Identifikation der Bandscheibenvorfälle** gelingt in **79 %** der Fälle und die in einer **Kontrollgruppe ($n= 20$)** im Vergleich mit einer postoperativ durchgeführten Computertomographie **überprüfte Dekompression** zeigt eine **70 %ige Übereinstimmung** mit den sonographischen Befunden. Die Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen Größe der Bandscheibenvorfälle und Neurostatus der Tiere ergibt intraoperativ einen signifikanten Zusammenhang mit **$p= 0,012$ und $r_s= +0,43$** , d.h. **je kleiner die Bandscheibenvorfälle, desto schlechter der Neurostatus**.

Beachtet werden muss, dass **Blutungen**, die intraoperativ auftreten, einen **signifikant schlechten Einfluss** auf die Beurteilbarkeit des Rückenmarkes und evtl. pathologischer Veränderungen haben (**$p< 0,0001$ und $r_s= +0,69$**).

Im Vergleich mit den anderen untersuchten Pathologien (**n= 14**) (Zysten, Rückenmarkstumoren, Blutungen, Myelomalazie) ähneln sich die Echomuster teilweise stark. Zystische Veränderungen und Rückenmarkstumoren von reflexarmer Echogenität lassen sich am deutlichsten von Bandscheibenvorfällen differenzieren. Reflexreiche Rückenmarkstumoren und traumatische Veränderungen (Blutungen, Myelomalazie) lassen sich sonographisch z.T. schwieriger bis gar nicht unterscheiden.

Die zystischen, tumorösen und traumatischen Veränderungen sind in allen Fällen (**n= 14**) sonographisch gut darstellbar.

Postoperativ bieten sich die besten Untersuchungsmöglichkeiten mit einem **Linearschallkopf** und einer **Frequenz von 9 MHz**. Es zeigt sich jedoch, dass die postoperative Sonographie bei Bandscheibenpatienten nach den vorliegenden Ergebnissen keine wesentlichen Vorteile oder ergänzenden Informationen im Vergleich mit den bereits etablierten bildgebenden Verfahren bietet. Es sind **signifikante Unterschiede, bzw. Zusammenhänge** in der sonographischen Beurteilbarkeit des Operationsgebietes abhängig vom jeweiligen **Untersuchungszeitpunkt (asymptotic $p= 0,0126$)** und der **Rasse, bzw. Größe der Tiere ($p= 0,0037$ und $r_s= -0,33$)** zu finden. Die Überprüfung eines möglichen Zusammenhangs zwischen postoperativem **Neurostatus und Beurteilung/Aussehen des Rückenmarkes bzw. Vorhandensein von Restbandscheibenmaterial** zu den verschiedenen Untersuchungszeitpunkten ergibt keine Signifikanz (**Zeitpunkt 3: $p= 0,59$ und $r_s= +0,06$, Zeitpunkt 4: $p= 0,38$ und $r_s= -0,13$, Zeitpunkt 5: $p= 0,88$ und $r_s= +0,03$ / Zeitpunkt 3: exact $p= 0,24$, Zeitpunkt 4: exact $p= 0,41$, Zeitpunkt 5: exact $p= 0,74$).** Somit ist ein tatsächlicher klinischer Bezug nur schwer herzustellen und mögliche Ergebnisse können verfälscht werden.

Weitere mögliche Ursachen für eine erschwerte postoperative Sicht auf das Operationsgebiet können z.B. Entzündungserscheinungen durch die Operation, Vernarbungen, Knochenneubildungen im Lauf der Zeit und auch eine individuell unterschiedliche Zusammensetzung/bzw. Aufbau von Haut, Fett, Bindegewebe und Muskulatur der einzelnen Tiere sein.

So lässt sich sagen, dass nach dem momentanen Stand der Untersuchungen nur die intraoperative Sonographie im Bereich des Rückenmarkes Erfolg versprechend und durch zukünftige Studien ausbaufähig erscheint.

8 Summary

In summary it can be stated that sonography can show the particular spinal components (dura mater, subarachnoidal space, pia mater, central canal, spinal cord). That can be deduced from the preliminary examinations (**n= 4**). Not in every case you can differentiate all of the particular spinal components in the following examinations (**n= 100**). This can be traced back to the pathologic changes, different examination times and other external influences (like the status of hydration).

The Intraoperative spinal sonography using a **linear probe** with a frequency from **5 – 10 MHz** offers an alternative to show the particular spinal structures.

In case of pathological spinal changes and if the diagnosis is already confirmed, intraoperative spinal sonography provides a good possibility to navigate, to estimate the extent of changes and to control decompression.

The main group of examined pathological changes are animals with disk prolaps (**n= 86**). You can find the sonographic appearance of disc prolaps - **inhomogenous areas with middle echogenic signal** – in all cases (**n= 86**). Furthermore you can see an advance towards the characteristics of the **acoustic shadowing and the central localisation of disk prolaps**. Both of these two characteristics are not reliable marks for sonographic identification, because of the variation of appearance (**50 % - 79 % bzw. 87.1 % - 100 %**). **The Intraoperative sonographic identification of disc prolaps** is possible in **79 %** of the cases. The **control group (n= 20)** shows a **70 %** correspondence with the assessment of the **decompression** in comparison to postoperative implement CT.

In addition to that there is a significant correlation between the intraoperative measured size of a disk prolaps and the neurologic status (**p= 0.012 und $r_s= +0.43$**). **The smaller the size of the disk prolaps the worse the neurologic status.**

You have to pay attention to **intraoperative bleeding**, because it has got a **significant bad influence** on the assessment of spine and pathologic changes (**p< 0.0001 und $r_s= +0.69$**).

The sonographic echoes of the other examined pathologies (**n= 14**) (cysts, tumor, bleeding, myelomalacy) are sometimes very similar. Cystic changes and spinal tumors with an anechogenic ultrasound response are more clearly differentiated from disk prolaps than echogenic spinal tumors and spinal traumas (bleeding, myelomalacy).

You can portray the cystic, tumorous and traumatic changes with ultrasound in all cases (**n= 14**).

A **linear probe** with **9 MHz** offers the best means for a **postoperative** examination. The postoperative sonography has no fundamental advantages or completing information in comparison to the established diagnostic imaging. There are **significant differences** respectively **correlations** concerning the sonographic assessment in the area of the procedure depending on the particular **time of examination** (asymptotic $p= 0.0126$) and the **race** respectively **size of the animals** ($p= 0.0037$ und $r_s= -0.33$).

A connection between the **neurologic status and the sonographic portrayal of the spinal cord/pathologic** changes also couldn't be found (**time 3: $p= 0.59$ und $r_s= +0.06$, time 4: $p= 0.38$ und $r_s= -0.13$, time 5: $p= 0.88$ und $r_s= +0.03$ / time 3: exact $p= 0.24$, time 4: exact $p= 0.41$, time 5: exact $p= 0.74$).**

Other potential causes for the poor sight on the area of the procedure could be an inflammation due to the operation, scares, newly built bone material and an individually different constitution / formation of the skin, fat, connective tissue and musculature of the particular animal.

Summing up one can state that the current findings do promise success only within the intraoperative spinal sonography by means of further studies.

9 Literaturverzeichnis

Ackermann, H. (2003):

BIAS für Windows, Biometrische Analyse von Stichproben.
Version 8.2.,
Epsilon – Verlag, Hochheim – Darmstadt.

Ammann, K., Seiferle, E., Pelsoni, G. (1978):

Atlas zur chirurgisch – topographischen Anatomie des Hundes, 1. Auflage,
Paul – Parey Verlag, Berlin, London.

Amour, T., Rubin, JM., Dohrmann, GJ. (1984):

The central canal of the spinal cord: ultrasonic identification.
Radiology; 152(3), 767-769.

Babyn, PS., Chuang SH., Daneman, A., Davidson GS. (1988):

Sonographic evaluation of spinal cord birth trauma with pathologic
correlation. American Journal of Roentgenology; 15(4), 763-766.

Barr, F. (1990):

Diagnostic Ultrasound in the dog and cat.
1. Auflage,
Blackwell Scientific Publications, London, Oxford.

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

Ultraschalldiagnostik - Lehrbuch und Atlas.
1. Ergänzungslieferung,
ecopmed Verlag, Landsberg, München, Zürich.

Braun, MD., Raghavendra, BN., Kricheff, II. (1983):

Spinal cord imaging using real-time high-resolution
Ultrasound. Radiology; 147(2), 459-465.

Brown, SA., Hall, ED.(1992):

Role of oxygen-derived free radicals in the pathogenesis of shock and trauma, with focus on central nervous system injuries. *Journal of the American Veterinary Medical Association*; 200, 1849.

Brunberg JA., DiPietro, MA., Venes JL., Dauser, RC., Muraszko, KM., Berkey, GS., D'Amato, CJ., Rubin, JM. (1991):

Intramedullary lesions of the pediatric spinal cord: correlation of findings from MR imaging, intraoperative sonography, surgery and histologic study. *Radiology*; 181(2), 573-579.

Budras, KD., Fricke, W., Richter, R. (2007):

Atlas der Anatomie des Hundes, Lehrbuch für Tierärzte und Studierende.
8. Auflage,
Schlütersche – Verlag, Hannover.

Caulkins, SE., Purinton, PT., Oliver, JE. (1987):

Blood supply to the spinal cord in the dog and cat. *Anatomica, Histologica, Embryologica*; 16, 75.

Chadduck, WM., Flanigan, S. (1985):

Intraoperative ultrasound for spinal lesions. *Neurosurgery*; 16(4), 477-483.

Coates, JR. (2000):

Intervertebral disk disease. *The Veterinary Clinics of North America*; 30, 37-110.

Coley, B., Murakami, JW., Koch, BL., Shiels II, WE., Bates, G., Hogan, M. (2001):

Diagnostic and interventional ultrasound of the pediatric spine.
Pediatric Radiology; 31, 775-785.

Cough, IAR. (1993):

Secondary injury mechanisms in acute spinal cord trauma. *Journal of Small Animal Practice*; 34,117-122.

Dahme, E., Weiss, E. (1999):

Grundriß der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere.
5. Auflage,
Enke Verlag Stuttgart.

Dick, EA., de Bruyn, R. (2002):

Ultrasound of the spinal cord in children : its role. European Radiology, Springer-online, 2002.

Dickinson, PJ., Sturges, BK., Berry, WL., Vernau, KM., Koblik, PD., LeCouteur, RA. (2001):

Extradural spinal synovial cyts in nine dogs. Journal of Small Animal Practice; 42, 502-509.

Dixon, WJ. (1993):

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

Dohrmann, GJ., Rubin, JM. (1982):

Intraoperative ultrasound imaging of the spinal cord: Syringomyelia, cysts and tumors. A preliminary report. Surgical Neurology; 18, 395-399.

Dohrmann, GJ., Rubin, JM. (2001):

History of intraoperative ultrasound in neurosurgery. Neurosurgery Clinics of North America; 12(1), 155-166.

Dragonat, P., Claussen, C. (1980):

Sonographische Meniskusdarstellungen. Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin; 133(2), 185-187.

Duval, J., Dewey, C., Roberts, R., Aron, D. (1996):

Spinal cord swelling as a myelographic indicator of prognosis: a retrospective study in dogs with intervertebral disc disease and loss of deep pain perception. *Veterinary Surgery*; 25, 6-12.

Evans, HE. (1995):

Millers Anatomy Of The Dog.
Third edition,
W.B. Saunders Verlag, an imprint of Elsevier, Philadelphia, Pennsylvania.

Falcone, S., Quencer, RM., Green BA., Patchen, SJ., Donovan Post, MJ. (1994):

Progressive posttraumatic myelomalacic myelopathy: imaging and clinical features. *American Journal of Neuroradiology*; 15(4), 747-754.

Finlay, D., Stockdale, HR., Lewin, E. (1981):

An appraisal of the use of diagnostic ultrasound to quantify the lumbar spinal canal. *British Journal of Radiology.*; 54(646), 870-874.

Finn-Bodner, ST., Hathcock, JT. (1993):

Image-guided percutaneous needle biopsy: ultrasound, computed tomography, and magnetic resonance imaging; *Seminars in Veterinary Medicine and Surgery (Small Animal)*; 8(4), 258-278.

Finn-Bodner, ST., Hudson, JA., Coates, JR., Sorjonen, DC., Simpson, ST., Cox, NR., Wright, JC., Garrett, PD., Steiss, JE., Vaughn, DM., Miller, SC., Brown, SA. (1995):

Ultrasonographic anatomy of the normal canine spinal cord and correlation with histopathology after induced spinal cord trauma. *Veterinary Radiology and Ultrasound*; 36(1), 39-48.

Fletcher, TF., Kitchell, RC. (1966):

Anatomical studies on teh spinal cord segments of the dog. *American journal of Veterinary Research*; 27, 1759-1767.

Fossum, TW. (2007):

Chirurgie der Kleintiere.
Deutsche Erstauflage,
Urban und Fischer Verlag, München.

Franck, JL., King, RB., Petro, GR., Kanzer, MD. (1987):

A posttraumatic lumbar spinal synovial cyst. *Journal of Neurosurgery*;
66, 293-296.

Friedman, JA., Wetjen, NM., Atkinson, JL. (2003):

Utility of intraoperative ultrasound for tumors of the cauda equina. *Spine*; 28(3),
288-290.

Fritsch, R., Gerwing, M. (1993):

Sonographie bei Hund und Katze.
1. Auflage
Enke – Verlag, Stuttgart.

Gallagher, J., Penninck, D., Boudrieau, RJ., Schelling, SH., Berg, J. (1995):

Ultrasonography of the brain and vertebral canal in dogs and cats:
15 cases. *Journal of the American Veterinary Medical Association*; 207(10), 1320-
1324.

Galloway, AM., Curtis NC., Sommerlad SF., Watt, PR. (1999):

Correlative imaging findings in seven dogs and one cat with spinal arachnoid
cysts. *Veterinary Radiology and Ultrasound*; 40(4), 445-452.

Gavin, PR., Fike, JR., Hoopes, PJ. (1995):

Central nervous system tumors. *Seminars in Veterinary Medicine and Surgery*;
10, 180-189.

Gebarski, SS., Maynard, FW., Gabrielsen, TO., Knake, JE., Latack, JT., Hoff, JT. (1985):

Posttraumatic progressive myelopathy. Clinical and radiologic correlation employing MR imaging, delayed CT metrizamide myelography, and intraoperative sonography. *Radiology*; 157(2), 379-385.

Ghosh, P., Taylor, TK., Braund, KG., Larsen, LH. (1976):

A comparative chemical and histochemical study of the chondrodystrophoid and nonchondrodystrophoid canine intervertebral disc. *Veterinary Pathology*; 13, 414-427.

Gladisch, R., (1992):

Praxis der abdominalen Ultraschall Diagnostik. Lehrbuch und Atlas. 2. Auflage, Schattauer Verlag, Stuttgart – New York.

Gössler, R. (1969):

Die Topographie der Rückenmarkshäute im Lenden-Kreuzbein-Bereich des Hundes und ihre Beziehung zu Zwischenfällen bei der Extraduralanästhesie (Epiduralanästhesie). Gießen: Universität, Veterinärmedizinische Fakultät, Dissertation.

Gold, R., Stadelmann, C., Brück, W., Lassmann, H. (2001):

Apoptotischer Zelltod bei neuroinflammatorischen und neurodegenerativen Erkrankungen. *Aktuelle Neurologie*; 28, 17-25.

Goller, H. (1959):

Vergleichende Rückenmarkstopographie unserer Haustiere. *Tierärztliche Umschau*; 14, 107-110.

Griffith, IR., (1978):

Spinal cord injuries: a pathological study of naturally occurring lesions in the dog and cat. *Journal of Comparative Pathology*; 88, 303-315.

Hansen, HJ. (1952):

A pathologic anatomic study on disk degeneration in dogs. Acta Orthopedica Scandinavia; 11.

Heiligtag, W. (1938):

Über die Hüllen des Rückenmarkes und deren Zwischenräume beim Hunde.
Hannover: Tierärztliche Hochschule, Dissertation.

Hibbert, CS., Delaygue, C., McGlen, B., Porter, RW. (1981):

Measurements of the lumbar spinal canal by diagnostic ultrasound.
British Journal of Radiology; 54(646), 905-907.

Hittmair, K., (1997):

Ultraschall in der Kleintierpraxis.
1- Auflage,
Enke Verlag, Stuttgart.

Horii, SC., Raghavendra, BN., (1986):

Transcutaneous sonography of the postoperative spine. Neuroradiology; 28(5-6),
599-607.

**Hudson, JA., Finn-Bodner, ST., Coates JR., Sorjonen, DC., Simpson, ST., Wright, JC.,
Steiss, JE., Cox, NR., Vaughn, DM., Miller, SC., Brown, SA., Garrett, PD. (1995):**

Color doppler imaging and doppler spectral analysis in the spinal cord of normal
dogs. Veterinary Radiology and Ultrasound; 36(6), 542-547.

Hulsebosch, CE., (2002):

Recent advances in pathophysiology and treatment of spinal cord injury. Advances
in Physiology Education; 26, 238-255.

Hutchins, WW., Vogelzang, RL., Neiman, HL., Fuld, IL., Kowal, LE. (1984):

Differentiation of tumor from syringohydromyelia: intraoperative
neurosonography of the spinal cord. Radiology; 151(1), 171-174.

Imamura, H., Iwasaki, Y., Hida, K., Cho, KH., Abe, H. (1995):

Intraoperative spinal sonography in the cervical anterior approach. *Neurologia Medico - Chirurgica*; 35, 144-147.

Jaggy, A. (2005):

Atlas und Lehrbuch der Kleintierneurologie.
1. Auflage,
Schlütersche Verlag Hannover.

Janssens, LAA. (1991):

Mechanical and Pathophysiological aspects of acute spinal cord trauma. *Journal of Small Animal Practice*; 32, 572-578.

Jeffery, ND. (1995):

Handbook of Small Animal Spinal Surgery.
1. Auflage,
W.B. Saunders, London.

Joest, E. (1968/1969):

Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere.
3. Auflage, Band 1, 3. Auflage, Band 3,
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg.

Kawakami, N., Mimatsu, K., Kato, F. (1992):

Intraoperative sonography of intramedullary spinal cord tumors. *Neuroradiology*; 34, 436-439.

Kawakami, N., Mimatsu, K., Kato, F., Sato, K., Matsuyama, Y. (1994):

Intraoperative ultrasonographic evaluation of the spinal-cord in cervical Myelopathy. *Spine*; 19(1), 34-41.

Knake, JE., Bowerman, RA., Silver, TM., McCracken, S. (1985):

Neurosurgical applications of intraoperative ultrasound. *Radiologic Clinics of North America*; 23(1), 73-90.

Krahmer, R., Schröder, C. (1986):

Atlas der Anatomie der Haustiere.
2. Auflage,
S. Hirzel Verlag, Leipzig.

Lam, W., Ai, V., Wong, V., Lui, W., Chan, F., Leong, L. (2004):

Ultrasound measurement of lumbosacral spine in children.
Pediatric Neurology; 30(2), 115-121.

Levitski, RE., Chauvet, AE., Lipsitz, D. (1999):

Cervical myelopathy associated with extradural synovial cysts in 4 dogs.
Journal of Veterinary Internal Medicine; 13, 181-186.

Levy, MS. (1997):

Spinal tumors in 37 dogs: clinical outcome and longterm survival (1987-1994).
Journal of the American Animal Hospital Association; 33, 307-314.

Lieve, MJH., (1999):

Ultrasound-guided tissue-core biopsy of liver, spleen and kidney in
Normal dogs. Ultrasound; 40(3), 294-299.

Lu, D., Lamb, CR., Targett, MP. (2002):

Results Of Myelography In Seven Dogs with Myelomalacia. Veterinary Radiology
and Ultrasound; 43(4), 326-330.

Luttgen, PJ. (1992):

Neoplasms of the spine. The Veterinary Clinics of North America; 22, 973-984.

MacMillan, M., Stauffer, ES. (1991):

The effect of omental pedicle graft transfer on spinal microcirculation and
laminectomy membrane formation. Spine; 16(2), 176-80.

Mehta, C., Patel, N. (1992):

StatXact-Turbo, Statistical Software for Exact Nonparametric Inference,
User Manual. First Edition,
CYTEL Software Corporation, Cambridge, MA 02139, U.S.A.

Meij, B. (2005):

Cervical and thoracolumbar disc disease: diagnosis and treatment.
Proceedings of the world small animal veterinary association, Mexico City, 2005.

Montalvo, BM., Quencer, RM., Grenn, BA., Eismont, FJ., Brown, MJ., Brost, P. (1984):

Intraoperative sonography in spinal trauma. *Radiology*; 153(1), 125-134.

Montalvo, BM., Quencer, RM., Brown, MD., Sklar, E., Post, MJD., Eismont, F., Green, BA. (1990):

Lumbar disk herniation and canal stenosis: value of intraoperative
sonography in diagnosis and surgical management. *American Journal of
Neuroradiology*; 11, 31-40.

Naish, C., Mitchell, R., Innes, J., Halliwell, M., McNally, D. (2003):

Ultrasound imaging of the intervertebral disc. *Spine*; 28(2), 107-113.

Nakayama, M. (1993):

Intraoperative spinal ultrasonography in dogs: normal findings
and case-history reports. *Veterinary Radiology and Ultrasound*; 34(4),
264-268.

Nanai, B., Lyman, R., Bichsel, PS. (2006):

Intraoperative use of ultrasonography during continuous dorsal laminectomy in
two dogs with caudal cervical vertebral instability and malformation (“wobbler
syndrome”). *Veterinary Surgery*; 35(5), 465-469.

Nanai, B., Lyman, R, Bichsel PS. (2007):

Use of intraoperative ultrasonography in canine spinal cord lesions. *Veterinary Radiology and Ultrasound*; 48(3), 254-261.

Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E. (1975):

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.
Band 1, 6. Auflage, Band 3, Band 4, 3. Auflage,
Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

Niemand, HG., Suter, PF. (2001):

Praktikum der Hundeklinik.
9. Auflage,
Parey – Verlag, Berlin.

Nyland, TG., Mattoon, JS., (2002):

Small Animal Diagnostic Ultrasound.
2. Auflage,
W.B. Saunders Company Philadelphia, London, New York, St. Louis, Toronto.

Özak, A., Besalti, Ö., Toplu, N., Caglar, YS., Akin, F. (2002):

The Reduction of the laminectomy membrane in dogs by the synovial fluid-soaked absorbable gelatin sponge. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*; 26, 285-291. .

Onofrio, BM., Mih, AD. (1988):

Synovial cysts of the spine. *Neurosurgery*; 22, 642-647.

Ottewell, D., Howells, P. (1981):

The use of diagnostic ultrasound to measure the lumbar spinal canal.
British Journal of Radiology; 54(641), 430.

Pasto, ME., Rifkin, MD., Rubenstein, JB., Northrup, BE., Cotler, JM., Goldberg, BB. (1984):

Real-time ultrasonography of the spinal cord: intraoperative and Postoperative imaging. *Neuroradiology*; 26(3), 183-187.

Pendleton, B., Carl, B., Pollay, M. (1983):

Spinal extradural benign synovial or ganglion cyst: case report and review of the literature. *Neurosurgery*; 13, 322-326.

Poulsen Nautrup, C., Tobias, R. (1996) :

Atlas und Lehrbuch der Ultraschalldiagnostik bei Hund und Katze.
1. Auflage,
Schlütersche Verlag, Hannover.

Pschyrembel, W. (2007):

Pschyrembel Klinisches Wörterbuch.
261. Auflage,
De Gruyter Verlag, Berlin, New York.

Quenzer, RM., Morse, BMM, Green, BA., Eismont, FJ., Brost, P. (1984):

Intraoperative spinal sonography: adjunct to metrizamide CT in the assessment and surgical decompression of posttraumatic spinal cord cysts. *American Journal of Roentgenology*; 142(3), 593-601.

Quencer, RM., Montalvo, BM. (1984):

Normal intraoperative spinal sonography. *American Journal of Roentgenology*; 143(6), 1301-1305.

Quencer, RM., Montalvo, BM., Green, BA., Eismont, FJ. (1984):

Intraoperative spinal sonography of soft-tissue masses of the spinal cord spinal canal. *American Journal of Roentgenology*; 143(6), 1307-1315.

Quencer, RM., Montalvo, BM., Naidich, TP., Donovan Post, MJ., Green, BA., Page, LK. (1987):

Intraoperative sonography in spinal dysraphism an syringohydromyelia. *American Journal of Roentgenology*; 148, 1005-1013.

Rahlfs, VW. (2002):

TESTIMATE6 User`s Manual. idv – Data Analysis and Study Planning,
First Edition
Gauting, Munich, Germany.

Rault, DN., Ruel, Y., Besso, J., Begon, D., Thibaud, JL., Moissonnier, P. (2004):

Ultrasonographic assessment of spinal cord surgical decompression in
dogs and cats. Proceedings of the EAVDI-Congress, 2004.

**Rault, DN., Besso, JG., Ruel, Y., Hernandez, J., Klein, Y., Boulouis, HJ., Begon, D.
(2004):**

Ultrasonography of discospondylitis: Seven dogs, Three cats. Proceedings of the
EAVDI-Congress, 2004.

Raynor, RB. (1997):

Intraoperative Ultrasound for Immediate Evaluation of Anterior Cervical
Decompression and Discectomy. Spine; 22(4), 389-395.

Regelsberger, J., Fritzsche, E., Langer, N., Westphal, M. (2005):

Intraoperative sonography of intra- and extramedullary tumors. Ultrasound in
Medicine and Biology; 31(5), 593-598.

Reid, MH. (1978):

Ultrasonic visualization of a cervical cord cystic astrocytoma. American Journal of
Roentgenology; 131, 907-908.

Richter, J., Grifka, J., Hedtmann, A. (1992):

Meniskussonographie: Entscheidungshilfe für die Praxis. Orthopädische
Praxis; 28, 479-483.

Romer, AS., Parsons,, TS. (1983):

Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere.
5. Auflage,
Parey Verlag, Hamburg.

Sale, CSH., Smith, KC. (2007):

Extradural spinal juxtafacet (synovial) cysts in three dogs. *Journal of Small Animal Practice*; 48, 116-119.

Sampson, MA., Warren, SJ. (1990):

Acute extradural compression due to an intraspinal synovial cyst: CT and myelogram appearances. *Clinical Radiology*; 41, 433-444.

Schwab, JM., Brechtel, K., Mueller, CA., Kaps, HP., Meyermann, R., Schluesener, HJ. (2004):

Akute Rückenmarksverletzung: Experimentelle Strategien als Basis zukünftiger Behandlungen. *Deutsches Ärzteblatt*; 101(20), 1422-1434.

Sklar, E., Quencer, RM., Green, BA., Montalvo, BM., Donovan Post, MJ. (1989):

Acquired spinal subarachnoid cysts: evaluation with MR, CT myelography, and intraoperative sonography. *American Journal of Neuroradiology*; 10(5), 1097-1104.

Sohn, C., Gerngross, G., Griesbeck, F. (1987):

Wertigkeit, Technik und Klinische Anwendung der Meniskussonographie. *Der Unfallchirurg*; 90, 173-179.

Stein, VM., Wagner, F., Bull, C., Gerdwilker, A., Seehusen, F., Baumgärtner, W., Tipold, A. (2007):

Magnetresonanztomographische Befunde bei Hunden mit Verdacht auf fibrocartilaginären Rückenmarksinfarkt. *Tierärztliche Praxis*; 35, (K), 163-174.

Stockdale, HR., Finlay, D. (1980):

Use of diagnostic ultrasound to measure the lumbar spinal canal. *British Journal of Radiology*; 53(635), 1101-1102.

Summers, BA., Cummings JF., de Lahunta A. (1995):

Veterinary Neuropathology.

1. Auflage,

Mosby-Year Book, Inc., St. Louis, Missouri.

Tanaka, H., Nakayama, M., Takase, K. (2006):

Intraoperative spinal ultrasonography in two dogs with spinal disease. *Veterinary Radiology and Ultrasound*; 47(1), 99-102.

Thiel, G. (1941):

Die Topographie der Rückenmarkssegmente des Hundes.

Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.

Tipold, A., Wagner, F., Bull, C., Stein, V. (2007):

Der akut gelähmte Hund – Diagnostik und Vorgehen bei explosiven

Bandscheibenvorfällen und Rückenmarksentfarkten.

Proceedings 53. Jahreskongress Deutsche Gesellschaft für
Kleintiermedizin, Berlin, 2007.

Trevor, PB., Martin, RA., Saunders, GK., Trotter, EJ. (1991):

Healing characteristics of free and pedicle fat grafts after dorsal laminectomy and durotomy in dogs. *Veterinary Surgery*; 5, 282-90.

Unsgaard, G., Rygh, OM., Selbekk, T., Müller, TB., Kolstad, F., Lindseth, F., Nagelhus Hernes, TA. (2006):

Intraoperative 3D ultrasound in neurosurgery. *Acta Neurochirurgica*; 148, 235-253.

Unsinn, KM., Geley, T., Freund, MC., Gassner, I. (2000):

US of the spinal cord in newborns: spectrum of normal findings, variants, congenital anomalies and acquired diseases. *Radiographics*; 20, 923-938.

Weiss, H., Weiss A. (1990):

Ultraschall-Atlas 2 Internistische Ultraschalldiagnostik.

2. Auflage,

edition medizin VCH, Weinheim.

Yuh, WT., Drew, JM., Weinstein, JN. (1991):

Intraspinal synovial cysts. Magnetic resonance evaluation. Spine; 16, 740-745.

10 Anhang

Patient	Rasse	Alter (in Jahren)	Geschlecht	Lokalisation	Typ Vorfall	OP-Methode
1	Labrador Retriever	9	M	C6/7	P	V
2	Dobermann	7	M	Th13/L1	E	H/K
3	LHD	13	M	Th11/12	E	H
4	Terrier-Mix	3	W	L2/3	E	H
5	RHD	5	W	Th12-L1	P	H
6	RHD	12	W	L3/4	E	H
7	RHD	7	M	Th11/12	E	H
8	LHD	10	M	Th12/13	E	H
9	Bracken-Mix	10	M	Th10/11	E	H
10	Beagle	9	W	Th13/L1	E	H
11	RHD	7	W	L2/3	E	H
12	Schnauzer-Mix	6	M	C6/7	P	V
13	DSH	5	M	Th13/L1	E	H/K
14	RHD	6	W	Th13/L1	E	H
15	LHD	6	M	Th12/13	E	H
16	Pekingnese	7	W	Th11/12	E	H
17	Weißer Schäferh.	10	W	L7/S1	P	L
18	Terrier-Mix	6	W	Th11/12	E	H
19	Shi Tzu	2	M	L2/3	E	H
20	Zwergdackel	7	M	C3/4	P	V
21	RHD	7	W	L4/5	E	H
22	Terrier-Mix	7	M	L7/S1	E	L
23	Skye Terrier	9	W	L4/5	P	H
24	Schnauzer-Mix	7	M	L1/2	E	H
25	Chihuahua-Mix	5	W	L1/2	E	H
26	RHD	7	M	Th12/13	E	H
27	Bracke	6	M	L1/2	E	H
28	KHD	12	W	Th13-L2	P/E	H
29	Shi Tzu	4	W	Th11/12	P	H
30	Azawakh	8	W	C6/7	P	V
31	Havanese	6	M	C2/3	P	V
32	DSH	8	M	L7/S1	P	L
33	Terrier-Mix	9	W	Th12/13	P	H
34	Dogo Argentino	7	M	L4/5	E	H
35	Franz. Bulldogge	5	W	L3/4	E	H
36	RHD-Mix	7	W	L2/3	E	H
37	RHD	6	M	Th12/13	E	H
38	Cocker Spaniel	6	M	Th12/13	E	H
39	Rottweiler	8	W	C6/7	P	V
40	DSH	9	M	L1/2	P	H/K
41	Terrier-Mix	10	M	C2/3	P	V
42	Australian Shep.	5	W	Th13/L1	E	H
43	RHD	10	M	C5/6	P	V

Anhang 1: Auflistung Rasse, Alter, Geschlecht, Lokalisation OP, Typ Vorfall, OP-Methode zu den einzelnen Patienten mit Bandscheibenvorfall

Patient	Rasse	Alter (in Jahren)	Geschlecht	Lokalisation	Typ Vorfall	OP_Methode
44	LHD	7	M	L2/3	E	H
45	Zwergschnauzer	9	W	Th13/L1	P/E	H
46	RHD	8	M	L2/3	E	H
47	RHD	4	M	L3/4	E	H
48	WHT	12	M	L1/2	P	H
49	RHD	7	M	Th11-13	E/P	H
50	Shi Tzu	3	M	Th11/12	E	H
51	RHD	10	M	C5/6	P	V
52	Zwergdackel	4	W	Th12/13	E	H
53	Terrier-Mix	3	W	L4/5	E	H
54	Irish Setter	10	W	L3/4	E	H
55	Hovawart	8	W	L7/S1	P	L
56	RHD	6	M	Th12/13	E/P	H
57	Zwergdackel	5	M	Th12/13	E	H
58	RHD-Mix	7	W	L4/5	E	H
59	KHD	7	M	L3/4	E	H
60	LHD	3	M	Th12/13	E	H
61	KHD	6	M	Th12/13	E	H
62	RHD	6	W	Th12/13	E	H
63	KHD	5	M	Th11/12	E	H
64	RHD	5	M	Th10/11	E	H
65	Neufundländer	5	M	C6/7	P	V
66	RHD	14	M	L2/3	E	H
67	Yorkshire T.	4	M	Th12/13	E	H
68	RHD	5	W	Th13/L1	P	H
69	KHD	5	W	Th11/12	E	H
70	RHD	10	W	Th13/L1	E	H
71	KHD-Mix	12	W	L2/3	E	H
72	LHD	4	M	Th12/13	E	H
73	Cocker Spaniel	10	W	Th13/L1	E	H
74	Terrier-Mix	7	M	Th11-13	E	H
75	Terrier-Mix	6	M	C3/4	E	V
76	BSH	9	M	Th9/10	E	H
77	Pekingnese	5	M	Th12-L2	E	H
78	Schnauzer-Mix	12	M	L1-3	P/E	H/K
79	Bracke	4	W	Th13/L1	E	H
80	KHD	4	M	Th11/12	E	H
81	Dogo Argentino	6	W	L2/3	E	H
82	Vizla	9	M	C7/Th1	P	V
83	RHD	6	M	L1/2	E	H
84	Terrier-Mix	7	M	L4/5	E	H
85	Staffordshire T.	10	M	Th12/13	P	H
86	RHD	3	M	Th13/L1	E	H

Fortsetzung Anhang 1: Auflistung Rasse, Alter, Geschlecht, Lokalisation OP, Typ Vorfall, OP-Methode zu den einzelnen Patienten mit Bandscheibenvorfall (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
1	X	X			
2	X	X	X		
3	X	X	X	X	
4	X	X		X	X
5	X	X	X	X	X
6	X	X	X	X	X
7	X	X	X	X	
8	X	X	X	X	
9	X	X	X	X	
10	X	X			
11	X	X	X		
12	X	X			
13	X	X			
14	X	X	X	X	
15	X	X	X	X	
16	X	X	X	X	
17	X	X	X		
18	X	X	X	X	
19	X	X			
20	X	X	X	X	
21	X	X	X		
22	X	X	X	X	X
23	X	X	X		
24	X	X	X		
25	X	X	X	X	X
26	X	X	X	X	X
27	X	X	X	X	
28	X	X	X	X	
29	X	X	X	X	
30	X	X	X		
31	X	X		X	
32	X	X	X	X	
33	X	X		X	
34	X	X	X		
35	X	X	X		
36	X	X	X		
37	X	X	X		
38	X	X	X	X	X
39	X	X			
40	X	X	X	X	X
41	X	X	X	X	
42	X	X	X	X	
43	X	X	X		

Anhang 2: Auflistung Durchgeführte Ultraschalluntersuchungen zu den einzelnen Zeitpunkten (Z) bei den Patienten mit Bandscheibenvorfall (X= Untersuchung durchgeführt)

Patient	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
44			X	X	
45			X	X	
46			X	X	X
47			X	X	X
48			X	X	
49			X		X
50			X		
51			X		X
52			X	X	X
53			X		
54			X		X
55			X		X
56			X		
57			X	X	X
58			X	X	
59			X		X
60			X		
61			X	X	X
62			X	X	
63				X	X
64			X	X	
65			X		
66			X		
67			X		X
68			X		
69			X		
70			X		
71			X	X	
72			X	X	
73			X		
74			X		
75			X	X	
76			X		
77			X		
78			X	X	
79			X	X	
80			X		
81			X		
82			X		
83			X	X	X
84			X		
85			X	X	X
86				X	

Fortsetzung Anhang 2: Auflistung Durchgeführte Ultraschalluntersuchungen zu den einzelnen Zeitpunkten (Z) bei den Patienten mit Bandscheibenvorfall (X= Untersuchung durchgeführt)

Patient	Neurostatus					US RM					US reflexreiche Veränderung				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
1	4	4				2	3				2	1			
2	4	4	4			0	0	2			0	0	1		
3	4	4	3	7		2	3	2	0		2	1	1	0	
4	1	1		7	7	1	3		3	3	1	1		1	1
5	4	4	5	5	7	3	3	2	3	1	2	2	1	1	1
6	5	5	7	7	7	2	2	2	2	0	2	2	1	1	0
7	4	4	5	7		2	2	3	3		2	1	1	1	
8	2	2	3	4		2	3	2	2		2	2	1	1	
9	4	4	3	4		0	3	2	0		0	1	1	0	
10	4	4				2	3				2	2			
11	4	4	5			2	2	3			2	1	1		
12	4	4				2	2				2	1			
13	3	3				2	2				2	2			
14	4	4	5	5		2	3	2	3		2	1	1	1	
15	4	4	5	5		2	3	2	3		2	2	2	2	
16	2	2	3	4		1	3	2	2		2	1	1	1	
17	5	5	4			0	3	1			0	1	1		
18	1	1	2	3		2	3	0	0		2	1	0	0	
19	1	1				2	3				2	2			
20	3	3	4	7		2	3	3	3		2	1	1	1	
21	3	3	4			2	2	2			2	2	2		
22	4	4	5	5	5	2	3	2	3	1	2	1	1	1	1
23	4	4	3			2	2	3			2	1	1		
24	1	1	2			2	3	2			2	2	2		
25	4	4	4	7	7	2	2	3	3	1	2	1	1	1	1
26	1	1	2	7	7	2	3	3	3	2	2	1	1	1	1
27	4	4	4	7		2	3	2	3		2	2	2	2	
28	6	6	7	7		2	2	0	0		2	2	0	0	
29	4	4	5	5		2	3	2	1		2	2	1	1	
30	1	1	1			0	0	0			0	0	0		
31	4	4		7		2	3		2		2	1		1	
32	4	4	5	5		2	3	2	1		2	2	1	1	
33	3	3		5		3	3		3		2	1		1	
34	4	4	5			1	2	0			1	1	0		
35	3	3	4			2	2	2			2	2	2		
36	3	3	4			1	2	2			1	1	1		
37	4	4	4			2	3	2			2	1	1		
38	4	4	3	4	4	2	2	3	3	1	2	1	1	1	1
39	5	5				2	3				2	1			
40	3	3	3	4	4	2	3	3	3	0	2	1	1	1	0
41	5	5	4	7		0	0	1	1		0	0	1	1	
42	4	4	5	5		0	3	3	3		0	1	1	1	
43	2	2	3			2	3	2			2	1	1		

Anhang 3: Auflistung des Neurostatus (1= Plegie, keine Spontanbewegungen mehr, kein Tiefenschmerz, 2= Plegie, keine Spontanbewegungen mehr, 3= hgr. Parese,

**nicht geh –stehfähig, 4 = mgr. Parese, geh – und stehfähig, 5= ggr. Parese, geh – und stehfähig, 6= keine neurologischen Ausfälle, nur Schmerzen, 7= neurologisch obB.), der Ultraschallbefunde des Rückenmarkes (0= schlechte Sicht, nicht beurteilbar, 1= mgr. gute Sicht (angedeutet erkennbar), 2= gute Sicht (gut erkennbar, nicht alle einzelnen Schichten identifizierbar), 3= sehr gute Sicht (alle Schichten identifizierbar) und der Bandscheibenvorfälle, bzw. reflexreichen Veränderungen (0= schlechte Sicht, nicht beurteilbar, 1= keine pathologischen Veränderungen zu sehen, 2= reflexreiches Material mittlerer Echogenität zu sehen) zu den einzelnen Zeitpunkten bei den Patienten mit Bandscheibenvorfällen
(Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)**

Patient	Neurostatus					US RM					US reflexreiche Veränderung				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
44	2	2	4	5				2	2				2	2	
45	2	2	4	5				2	2				1	1	
46	1	1	4	5	7			3	2	1			1	1	1
47	1	1	3	5	7			3	3	2			2	2	2
48	2	2	3	3				3	3				1	1	
49	1	1	3		5			2		3			1		1
50	2	2	3					2					1		
51	1	1	3		7			2		2			1		1
52	4	4	2	4	4			2	3	2			2	1	1
53	1	1	1					2					2		
54	4	4	1		7			2		1			1		1
55	3	3	4		3			1		2			1		1
56	3	3	4					1					1		
57	3	3	5	7	7			3	3	2			1	1	1
58	3	3	7	7				2	2				1	1	
59	5	5	4		7			2		1			1		1
60	1	1	3					2					1		
61	4	4	3	4	5			2	3	1			2	2	1
62	1	1	3	7				2	0				2	0	
63	3	3		5	7				3	2				1	1
64	3	3	5	7				3	2				1	1	
65	5	5	5					0					0		
66	4	4	2					2					1		
67	3	3	3		5			2		3			1		1
68	5	5	3					1					1		
69	1	1	4					2					1		
70	3	3	3					2					2		
71	5	5	4	5				3	3				1	1	
72	3	3	3	4				2	3				1	1	
73	2	2	3					1					1		
74	2	2	4					1					1		
75	6	6	7					3	1				1	1	
76	4	4	4					1					1		
77	1	1	2					3					1		
78	2	2	2	3				2	2				1	1	
79	4	4	5	5				3	3				2	1	
80	3	3	3					2					1		
81	4	4	5					2					1		
82	3	3	4					0					0		
83	2	2	3	3	4			2	3	3			2	2	2
84	4	4	4					3					2		
85	5	5	3	4	4			0	2	0			0	1	0
86	5	5		7					2					1	

Fortsetzung Anhang 3: Auflistung des Neurostatus (1= Plegie, keine Spontanbewegungen mehr, kein Tiefenschmerz, 2= Plegie, keine Spontanbewegungen mehr, 3= hgr. Parese, nicht geh –stehfähig, 4 = mgr. Parese, geh – und stehfähig,

5= ggr. Parese, geh – und stehfähig, 6= keine neurologischen Ausfälle, nur Schmerzen, 7= neurologisch obB.), der Ultraschallbefunde des Rückenmarkes (0= schlechte Sicht, nicht beurteilbar, 1= mgr. gute Sicht (angedeutet erkennbar), 2= gute Sicht (gut erkennbar, nicht alle einzelnen Schichten identifizierbar), 3= sehr gute Sicht (alle Schichten identifizierbar) und der Bandscheibenvorfälle, bzw. reflexreichen Veränderungen (0= schlechte Sicht, nicht beurteilbar, 1= keine pathologischen Veränderungen zu sehen, 2= reflexreiches Material mittlerer Echogenität zu sehen) zu den einzelnen Zeitpunkten bei den Patienten mit Bandscheibenvorfällen (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Höhe/Länge in mm					Lokalisation					Schallschatten				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
1	5/9					3					2				
3	5/5					3					2				
5	4/9	3/9				1	1				1	1			
6	6/8	4/5				3	3				2	2			
7	5/6					2					1				
8	3/3	2/2				3	3				1	1			
10	4/6	2/3				3	3				1	2			
11	5/10					3					2				
12	5/9					3					2				
13	6/10	4/10				3	3				1	1			
14	4/10					3					2				
15	4/10	3/6	3/5	3/5		3	3	3	3		1	1	1	1	
16	5/6					3					2				
18	3/6					2					2				
19	4/4	2/2				1	1				2	2			
20	5/7					3					2				
21	4/8	2/8	2/6			3	3	3			1	1	1		
22	5/5					2					2				
23	5/6					1					1				
24	5/7	3/5	3/5			1	1	1			1	1	1		
25	4/4					3					2				
26	5/5					3					1				
27	8/13	3/10	3/6	3/6		3	3	3	3		1	1	1	1	
28	7/6	4/6				1	1				1	1			
29	5/8	3/5				2	2				1	1			
31	4/7					3					2				
32	4/6	2/5				3	3				1	1			
33	3/6					1					1				
35	7/7	4/6	4/6			1	1	1			1	1	1		
37	4/9					3					1				
38	4/7					3					2				
39	10/10					3					2				
40	5/5					3					1				
43	3/10					3					2				

Anhang 4: Auflistung Höhe, Länge in mm, Lokalisation (1= cranial des Zwischenwirbelspaltes, 2= caudal, 3= zentral) und Auftreten distaler Schallschatten (1= vorhanden, 2= nicht vorhanden) Bandscheibenvorfall, bzw. reflexreiche Veränderungen (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Höhe/Länge in mm					Lokalisation					Schallschatten				
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
44			4/4	4/4				2	2				1	1	
47			4/7	3/7	3/7			3	3	3			2	2	2
52			3/4					3					2		
53			4/11					1					2		
61			5/10	4/6				3	3				2	2	
62			5/12					3					1		
70			5/12					1					2		
79			4/5					1					2		
83			4/20	4/20	3/18			3	3	3			1	1	1
84			6/10					3					1		

Fortsetzung Anhang 4: Auflistung Höhe, Länge in mm, Lokalisation (1= cranial des Zwischenwirbelspaltes, 2= caudal, 3= zentral) und Auftreten distaler Schallschatten (1= vorhanden, 2= nicht vorhanden) Bandscheibenvorfall, bzw. reflexreiche Veränderungen (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Schallkopf			Frequenz in MHz		
	Z3	Z4	Z5	Z3	Z4	Z5
2	1			9		
3	1	1		9	9	
4		1	1		9	12
5	1	1	2	9	9	6
6	1	1	1	9	9	6
7	1	1		9	9	
8	1	1		9	9	
9	1	1		9	12	
11	1			12		
14	1	1		9	9	
15	1	1		9	9	
16	1	1		9	9	
17	1			9		
18	1	1		9	9	
20	2	1		6	9	
21	1			9		
22	2	1	1	6	9	6
23	1			12		
24	2			6		
25	2	1	1	6	9	9
26	1	1	1	6	12	9
27	1	2		6	6	
28	2	2		6	6	
29	1	1		9	9	
30	1			9		
31		1			9	
32	2	2		6	6	
33		1			12	
34	1			9		
35	1			9		
36	1			9		
37	1			9		
38	1	1	1	9	9	9
40	1	1	1	9	9	9
41	1	1		6	9	
42	1	1		9	9	
43	1			9		

Anhang 5: Auflistung Schallkopf (1= Linearschallkopf, 2= Konvexschallkopf) Frequenz (in MHz) pop bei den Patienten mit Bandscheibenvorfall (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Schallkopf			Frequenz		
	Z3	Z4	Z5	Z3	Z4	Z5
44	1	1		9	9	
45	1	1		9	9	
46	1	1	1	9	9	9
47	1	1	1	9	9	9
48	1	1		9	9	
49	1		1	9		9
50	1			9		
51	1		1	10		9
52	1	1	1	9	9	9
53	1			9		
54	2		1	8		9
55	1		2	6		6
56	1			9		
57	1	1	1	10	9	9
58	1	1		9	9	
59	1		1	9		9
60	1			9		
61	1	1	1	9	9	9
62	1	1		9	9	
63		1	1		9	9
64	1	1		9	9	
65	2			7		
66	1			9		
67	1		1	9		9
68	1			9		
69	1			9		
70	1			9		
71	1	1		12	9	
72	1	1		12	9	
73	1			9		
74	1			9		
75	1	1		9	9	
76	1			9		
77	1			9		
78	1	1		9	9	
79	1	1		9	9	
80	1			9		
81	1			9		
82	1			6		
83	1	1	2	9	9	7
84	2			6		
85	1	1	1	9	9	9
86		1			9	

Fortsetzung Anhang 5: Auflistung Schallkopf (1= Linearschallkopf, 2= Konvexschallkopf) Frequenz (in MHz) pop bei den Patienten mit Bandscheibenvorfall (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Blutung intraoperativ	
	Z1	Z2
1	3	3
2	1	1
3	4	4
4	2	3
5	4	4
6	3	3
7	3	3
8	4	4
9	2	3
10	4	4
11	3	3
12	3	3
13	3	3
14	4	4
15	3	3
16	3	3
17	2	3
18	4	4
19	2	3
20	3	3
21	4	4
22	4	4
23	4	4
24	3	3
25	4	4
26	4	4
27	3	3
28	4	4
29	4	4
30	1	1
31	3	3
32	4	4
33	3	3
34	1	3
35	4	4
36	2	3
37	4	4
38	4	4
39	4	4
40	4	4
41	1	1
42	1	3
43	3	3

Anhang 6: Auflistung Grad der intraoperativen Blutung (1= hgr. Blutung, 2= mgr. Blutung, 3= ggr. Blutung, 4= keine Blutung) bei den Patienten mit Bandscheibenvorfall (Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

Patient	Übereinstimmung intraoperativer Ultraschall/pop CT
21	Ja
22	Ja
23	Nein (CT: +/US:-)
24	Ja
25	Ja
26	Ja
27	Ja
28	Ja
29	Ja
30	Schlechte Sicht, keine Beurteilung möglich
31	Ja
32	Nein (CT: -/US+)
36	Ja
37	Nein (CT+/US:-)
38	Ja
39	Ja
40	Nein (CT:+/US:-)
41	Schlechte Sicht, keine Beurteilung möglich
42	Ja
43	Ja

Anhang 7: Auflistung der Übereinstimmung des intraoperativen Ultraschallbefundes mit dem postoperativen CT – Befund

(+= Bandscheibenmaterial zu sehen/=- kein Bandscheibenmaterial zu sehen)

(Abkürzungen siehe Abkürzungsverzeichnis)

11. Danksagung

Herrn Prof. Dr. M. Kramer danke ich sehr für die Überlassung des Themas, die Einführung in die Ultraschalldiagnostik beim Kleintier und die Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Herrn Dr. K. Failing und seinem Team danke ich herzlich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Meinen Kollegen und Freunden in der Klinik für Kleintiere – Chirurgie danke ich für die wunderbare gemeinsame Zeit, Zusammenarbeit und Unterstützung, ganz besonders dem „Kompetenzzentrum NOW“.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie und meinen Freunden, die mich auch in schwierigen Zeiten immer unterstützt haben. Ohne Euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.



édition scientifique
VVB LAUFERSWEILER VERLAG

VVB LAUFERSWEILER VERLAG
STAUFENBERGRING 15
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890
redaktion@doktorverlag.de
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-5517-2

