

**Myelographie, Computertomographie
und Magnetresonanztomographie
bei Wirbelsäulenerkrankungen
des Hundes im Vergleich
Eine retrospektive Analyse von 50 Patienten**

Maximiljan W. Krauß

Aus der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
Lehrstuhl für Allgemeine und Spezielle Chirurgie einschließlich Augenkrankheiten
Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Ulrike Matis

Arbeit angefertigt unter Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Dr. habil. Ulrike Matis

**Myelographie, Computertomographie
und Magnetresonanztomographie
bei Wirbelsäulenerkrankungen
des Hundes im Vergleich
Eine retrospektive Analyse von 50 Patienten**

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

von Maximiljan W. Krauß
aus Düsseldorf

München, 2009

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. Braun
Berichterstatter:	Univ.-Prof. Dr. Matis
Korreferent:	Priv.-Doz. Dr. Maierl

Tag der Promotion: 6. Februar 2009

Meiner Familie

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1. Bildgebende Diagnostik	3
2.1.1. Röntgen.....	4
2.1.1.1. Nativaufnahmen.....	4
2.1.1.2. Myelographie.....	6
2.1.2. Computertomographie	9
2.1.2.1. Nativaufnahmen.....	9
2.1.2.2. Myelo-Computertomographie	10
2.1.3. Magnetresonanztomographie.....	12
2.1.3.1. Sequenzen.....	14
2.1.3.1.1. T1-Wichtung.....	15
2.1.3.1.2. T2-Wichtung.....	15
2.2. Anatomische Grundlagen	16
2.2.1. Halswirbelsäule	16
2.2.2. Brustwirbelsäule	17
2.2.3. Lendenwirbelsäule.....	18
2.2.4. Kreuzbein.....	19
2.2.5. Zwischenwirbelscheiben und der Bandapparat	19
2.2.6. Rückenmark und begleitende Strukturen	21
2.3. Ausgewählte Wirbelsäulenerkrankungen	23
2.3.1. Traumatische Erkrankungen.....	23
2.3.1.1. Läsionen des Plexus brachialis	23
2.3.1.2. Wirbelsäulenfrakturen und/ oder –luxationen	24
2.3.2. Neoplastische Erkrankungen	26
2.3.3. Degenerative Erkrankungen	28
2.3.3.1. Bandscheibenvorfall	28
2.3.3.2. Wobbler-Syndrom	30
2.3.3.3. Cauda-equina-Syndrom	31
2.3.3.4. Degenerative Myelopathie.....	33
2.3.4. Diskospondylitis	34
3. Eigene Untersuchung	35
3.1. Material und Methodik	35
3.1.1. Patienten	35
3.1.2. Studiendesign.....	38
3.1.1. Bildgebende Diagnostik	38
3.1.1.1. Röntgen.....	38
3.1.1.1.1. Nativaufnahmen.....	38
3.1.1.1.2. Myelographie.....	39
3.1.1.2. Computertomographie	40
3.1.1.2.1. Nativaufnahmen.....	40
3.1.1.2.2. Myelographie.....	41
3.1.1.3. Magnetresonanztomographie.....	42
3.1.2. Bewertung der Untersuchungsverfahren	44
3.2. Statistische Auswertung	53

4. Ergebnisse.....	54
4.1. Veränderungen beim Cauda-equina-Syndrom	54
4.2. Veränderungen beim Bandscheibenvorfall	57
4.3. Veränderungen bei den sonstigen Diagnosen.....	59
4.4. Verengung des Zwischenwirbelspaltes	61
4.4.1. Röntgenologische Verengung des Zwischenwirbelspaltes.....	61
4.4.2. Computertomographische Verengung des Zwischenwirbelspaltes.....	61
4.4.3. Magnetresonanztomographische Verengung des Zwischenwirbelspaltes	61
4.5. Wirbelkörperveränderungen	63
4.5.1. Röntgenologische Wirbelkörperveränderungen	63
4.5.2. Computertomographische Wirbelkörperveränderungen	63
4.5.3. Magnetresonanztomographische Wirbelkörperveränderungen	64
4.6. Höhe der Bandscheibe	65
4.6.1. Höhe der Bandscheibe im Röntgen/ in der Myelographie	65
4.6.2. Höhe der Bandscheibe in der Computertomographie.....	65
4.6.3. Höhe der Bandscheibe in der Magnetresonanztomographie	67
4.7. Einengung des Spinalkanals	68
4.7.1. Einengung des Spinalkanals im Röntgen/ in der Myelographie.....	68
4.7.2. Einengung des Spinalkanals in der Myelo-Computertomographie.....	68
4.7.3. Einengung des Spinalkanals in der Magnetresonanztomographie	69
4.8. Struktur der Bandscheibe.....	70
4.8.1. Struktur der Bandscheibe in der Computertomographie	70
4.8.2. Struktur der Bandscheibe in der Magnetresonanztomographie.....	71
4.9. Unterscheidung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus	72
4.10. Dichte und Signalintensität der Bandscheibe	73
4.10.1. Dichte der Bandscheibe in der Computertomographie.....	73
4.10.2. Signalintensität der Bandscheibe in der Magnetresonanztomographie	74
4.11. Bandscheibenlage	75
4.12. Vermessung der Zwischenwirbelspalten	76
4.12.1. Röntgenologische Vermessung	76
4.12.2. Computertomographische Vermessung.....	76
4.12.3. Magnetresonanztomographische Vermessung	77
4.13. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	80
4.14. Ausgewählte Fälle	84
5. Diskussion.....	115
6. Zusammenfassung	126
7. Summary	128

8. Literaturverzeichnis	130
9. Anhang.....	141
9.1. Abkürzungen	141
9.2. Statistische Tabellen	142
9.3. Abbildungsverzeichnis	150
9.4. Tabellenverzeichnis	153
Lebenslauf	155
Danksagung	156

1. Einleitung

Die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT) haben sich in den letzten Jahren auch in der Tiermedizin etabliert. Dadurch sind die diagnostischen Möglichkeiten gerade im Bereich der Kleintiermedizin nahezu äquivalent zu denen der Humanmedizin.

Vor allem in der Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen sind diese Schnittbildverfahren nicht mehr wegzudenken. Während die CT feinste knöcherne Veränderungen aufdeckt, die röntgenologisch nicht erkennbar sind, bietet die MRT eine bessere Darstellung von Weichteilveränderungen. An ihre Grenzen stößt die MRT allerdings, wenn kleinste knöcherne Strukturen dargestellt werden sollen, was bei kleinen Haustieren und Heimtieren häufig gewünscht wird.

Ein weiterer Nachteil gegenüber der Humanmedizin besteht darin, dass für die Schnittbilduntersuchungen beim Tier eine Narkose unumgänglich ist, wenngleich das Narkoserisiko durch eine gewissenhafte Überwachung und den Einsatz von Geräten wie EKG, Pulsoximeter und Capnograph minimiert werden kann. Computertomographen und Magnetresonanztomographen der neueren Generation benötigen außerdem kürzere Untersuchungszeiten, womit sich die Narkosezeit deutlich verkürzen und so auch die Sicherheit weiter erhöhen lässt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt gibt es nur wenige tiermedizinische Studien, die CT- und MRT-Untersuchungen mit der konventionellen Röntgenuntersuchung und der Myelographie vergleichen. Deshalb sollten in dieser Arbeit die Aufnahmen von 50 Hunden, die an der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München in den Jahren 2000 – 2005 mit allen genannten Modalitäten, wegen einer Wirbelsäulenerkrankung untersucht worden waren, analysiert und vergleichend beurteilt werden.

Insbesondere sollte in dieser Arbeit herausgearbeitet werden, welches der bildgebenden Verfahren das größte diagnostische Spektrum aufweist. Anhand von speziellen Vermessungs- und Auswertungsverfahren wurde versucht die Vorteile der jeweiligen Modalitäten hervorzuheben. Aus diesem Grund wurden bei allen diagnostischen Möglichkeiten die Verengung des Zwischenwirbelspaltes, die Höhe der Bandscheibe und die Einengung des Spinalkanals ermittelt, um sie dann später miteinander vergleichen zu können. Des Weiteren wurden beim Röntgen und der CT-Untersuchung die Wirbelkörperveränderungen nach zuvor festgelegten Kriterien beurteilt. Da die MRT auf anderen physikalischen Grundlagen beruht, wurden bei ihr andere Kriterien zur Beurteilung der Wirbelkörperveränderungen herangezogen. Die Dichte und die Signalgebung der Bandscheibe wurde mittels CT und MRT bestimmt.

Eine Evaluierung der Bandscheibenstruktur und eine Unterscheidung zwischen dem Nucleus und dem Anulus der Bandscheibe wurde lediglich bei der MRT durchgeführt.

Ziel dieser Arbeit war es, die Aussagekraft der jeweiligen bildgebenden Verfahren miteinander vergleichend darzustellen. Auf diesen Parametern basierend sollte unter anderem herausgefunden werden, inwieweit die Verengung des Zwischenwirbelspaltes in Abhängigkeit zu den beschriebenen Wirbelsäulenerkrankungen steht. Diese Parameter wurden später miteinander verglichen.

Anhand von ausgewählten Fällen wurde versucht, die Vorteile der jeweiligen Modalität klarer herauszuarbeiten.

2. Literaturübersicht

2.1. Bildgebende Diagnostik

Die der vorliegenden Studie zugrundeliegende Technik umfasst einerseits das konventionelle Röntgen und die damit verbundene Myelographie und andererseits die Computer- und Magnetresonanztomographie. Beim Röntgen und der Computertomographie handelt es sich um Verfahren, die sich der Absorption von Röntgenstrahlen im Körper oder während des Durchtrittes durch den Körper bedienen. Die Magnetresonanztomographie basiert dagegen auf sehr starken Magnetfeldern, mit denen bestimmte Atomkerne im Körper angeregt werden. Sowohl die Computer- als auch die Magnetresonanztomographie bedürfen zur Erstellung ihrer Bilder aufwendiger Soft- und Hardware, die daraus zweidimensionale Bilder in sagittalen, transversalen, dorsalen und obliquen Schnittebenen entstehen lassen. Dabei besteht ein fundamentaler Unterschied zwischen den Pixel der Computer- und Magnetresonanztomographie.

In den folgenden Abschnitten werden die verschiedenen Methoden unter klinisch relevanten Gesichtspunkten näher erläutert, ohne dass auf die physikalischen Grundlagen detailliert eingegangen wird.

2.1.1. Röntgen

2.1.1.1. Nativaufnahmen

Die Anfertigung von Röntgennativaufnahmen ist in der Regel der erste Schritt in der bildgebenden Diagnostik, wenn Wirbelsäulenveränderungen bei der klinisch-neurologischen Untersuchung diagnostiziert worden sind (SANDE 1992; KIRBY 1995; BRAWNER und HATHCOCK 2003; SCHWARZ 2006). Anhand des Röntgenbildes lassen sich Wirbelfrakturen und/ oder -luxationen, kongenitale und degenerative Veränderungen der Wirbelsäule sowie Tumoren, Infektionen und Bandscheibenvorfälle diagnostizieren (DENNIS 1987; LUTTGEN 1992; BRAWNER und HATHCOCK 2003; KNIPE 2006). Veränderungen des Rückenmarks, der Nervenwurzeln und der Meningen, beispielsweise hervorgerufen durch Blutungen oder Neoplasien, sind dagegen auf konventionellen Röntgenaufnahmen nicht erkennbar (BRAWNER und HATHCOCK 2003).

Für die Erstellung eines aussagekräftigen Röntgenbildes ist neben einer einwandfreien Aufnahmetechnik auch die exakte Lagerung des Patienten Grundvoraussetzung. Um dies zu gewährleisten, wird von verschiedenen Autoren eine tiefe Sedation oder eine Allgemeinanästhesie empfohlen (DENNIS 1987; LUTTGEN et al. 1988; SCHWARZ 1991; LUTTGEN 1992; SANDE 1992; WHEELER 1992; KNIPE 2006; SCHWARZ 2006). Falls jedoch der Verdacht einer Fraktur besteht, sollte nach BRAWNER und HATHCOCK (2003) sowie SCHWARZ (2006) auf eine Narkose zugunsten der stabilisierenden Funktion der Wirbelsäulenmuskulatur verzichtet werden.

Bei kreislaufinstabilen Patienten wird ebenfalls empfohlen, auf eine Narkose zu verzichten. Um eine parallele Lagerung zwischen der Wirbelsäule und der Röntgenplatte zu gewährleisten, bedient man sich Lagerungshilfen, z.B. Sandsäcken, Schaumstoffkeilen oder Liegevorrichtungen (DENNIS 1987; BRAWNER und HATHCOCK 2003; SCHWARZ 2006). SANDE (1992) legt für eine Untersuchung der gesamten Wirbelsäule die Anfertigung von mindestens vier Röntgenbildern im latero-lateralen Strahlengang nahe. Diese umfassen Bilder der Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäule sowie des thorakolumbalen Übergangs. Ebenso empfiehlt SANDE (1992) die Anfertigung von mindestens drei Röntgenbildern im ventro-dorsalen Strahlengang, die die Hals-, Thorakolumbal- und Lendenwirbelsäule beinhalten. LUTTGEN et al. (1988) raten sogar schon bei kleinwüchsigen Rassen zu einer

Anfertigung von zwei Röntgenbildern der jeweiligen Ebenen der Halswirbelsäulenabschnitte. Dies basiert auf der Tatsache, dass der kraniale und kaudale Halsbereich unterschiedlich bemuskelt ist und folglich eine andere Einstellung des Gerätes vorgenommen werden muss. DENNIS (1987) empfiehlt hingegen in erster Linie die Anfertigung von fünf Röntgenbildern im latero-lateralen Strahlengang. Es sollen Aufnahmen von kranialer und kaudaler Halswirbelsäule, Thorakal-, Thorakolumbal- und Lumbalwirbelsäule angefertigt werden. Erst in zweiter Linie soll die Anfertigung der Bilder im ventro-dorsalen Strahlengang erfolgen. Falls röntgenologische Befunde des Patienten nicht mit dem der klinischen oder neurologischen Untersuchung übereinstimmen, sollten weitere Röntgenbilder angefertigt werden. Diese speziellen Bilder beinhalten Schrägaufnahmen und Stressaufnahmen (BRAWNER und HATHCOCK 2003). Beispielsweise werden zur genaueren Abklärung des Wobbler-Syndroms Funktionssaufnahmen in Extension, Kompression, Hyperextensions- (dorsale Kompression) und Hyperflexionsstellung (ventrale Kompression) beschrieben (JAGGY und LANG 1986; DENNIS 1987). Zur Abklärung des Cauda-equina-Syndroms werden neben den normalen Aufnahmen im latero-lateralen und ventro-dorsalen Strahlengang Bilder in Flexions- und Extensionsstellung empfohlen. Sinn dieser Aufnahmen ist die Darstellung des dynamischen Charakters der vorliegenden Krankheit (DENNIS 1987; SCHWARZ 1991; SCHMID und LANG 1993). Falls ein Patient vorberichtlich ein Trauma erlitten hat, sollten zu Beginn nur Übersichtsröntgenbilder im latero-lateralen Strahlengang erstellt werden. Ein weiteres Manipulieren am traumatisierten Patienten birgt die Gefahr einer iatrogen bedingten Verschlechterung (LUTTGEN et al. 1988; KIRBY 1995; KNIPE 2006).

2.1.1.2. Myelographie

Die Myelographie ist eine röntgenologische Untersuchungstechnik, bei der ein Röntgenkontrastmittel in den Subarachnoidalraum injiziert wird. Dies erlaubt Rückschlüsse auf die Form, Weite und Lage des Rückenmarks (HARTUNG 1983; ROBERTS und SELCER 1993). Ein ideales Kontrastmittel sollte dabei die Eigenschaften der Strahlenundurchlässigkeit, der Wasserlöslichkeit und der Mischbarkeit mit dem Liquor cerebrospinalis erfüllen. Ebenso sollte das Kontrastmittel den physiologischen, aber nicht all zu schnellen Abbau aus dem Liquor garantieren.

Das Kontrastmittel darf keine neurotoxischen Eigenschaften besitzen (WIDMER 1989; BRAWNER und HATHCOCK 2003). Die Kontrastmittel Iopamidol (Jopamiro®, Gerot bzw. Solustrast 250®, Firma Byk-Gulden) und Iohexol (Omnipaque®, Schering bzw. Accupaque®, Nycomed) erfüllen die oben beschriebenen Kriterien derzeit am besten und werden routinemäßig in der Tiermedizin eingesetzt (LUTTGEN et al. 1988; WIDMER 1989; LEWIS und HOSGOOD 1992; LUTTGEN 1992; ROBERTS und SELCER 1993; BRAWNER und HATHCOCK 2003; WAIBL et al. 2003). Da es sich bei der Myelographie um einen technisch einfachen, aber doch invasiven Eingriff handelt, muss sie unter Allgemeinnarkose durchgeführt werden (LUTTGEN et al. 1988; SCHWARZ 1991; LUTTGEN 1992; SANDE 1992; WHEELER 1992; ROBERTS und SELCER 1993). Als Injektionsstellen des Kontrastmittels werden ein kranialer und ein kaudaler Injektionspunkt beschrieben. Bei der kranialen, subokzipitalen Punktion wird bei stark gebeugtem Kopf zwischen Okziput und Atlas injiziert.

Die kaudale, lumbale Punktionsstelle befindet sich im Zwischenwirbelbereich der Lendenwirbel 4 – 6. Bei dieser Punktion werden die Hinterextremitäten nach kranial positioniert und die Lendenwirbelsäule gebeugt. Im Gegensatz zur kranialen Injektionsstelle kann das Kontrastmittel auch mit Druck appliziert werden (HARTUNG 1983; LUTTGEN et al. 1988; LEWIS und HOSGOOD 1992; SANDE 1992; ROBERTS und SELCER 1993; WAIBL et al. 2003; KNIPE 2006). In Übereinstimmung mit der Humanmedizin wird von einigen Autoren die lumbale Punktionsstelle zur Minimierung der Nebenwirkungen empfohlen (BARONE et al. 2002; KAUFFMANN et al. 2006). Grundvoraussetzung für beide Techniken ist eine korrekte Platzierung der Kanüle, deren Sitz unter Durchleuchtung kontrolliert werden sollte (TASSANI-PRELL 1993). Die Applikation geschieht an beiden Punktionsstellen in Seiten- oder Brustlage des Patienten.

Nach der Injektion von 0,33 – 0,45ml/ kg/ KG körperlarmen Kontrastmittels sollte der Kontrastmittelfluss mit Hilfe der Durchleuchtung oder durch Anfertigen von Röntgenbildern im latero-lateralen und ventro-dorsalen Strahlengang kontrolliert werden (HARTUNG 1983; ROBERTS und SELCER 1993; BOS et al. 2007). Abhängig von der Geschwindigkeit des Kontrastmittelflusses werden weitere Aufnahmen in 5 – 10 minütigen Abständen angefertigt (HARTUNG 1983; TASSANI-PRELL 1993; BRAWNER und HATHCOCK 2003). Falls eine Punktion in einem der beiden Bereiche zu einem unbefriedigenden Ergebnis führt, kann an der jeweils anderen Stelle ein weiteres Mal punktiert und Kontrastmittel nachinjiziert werden (SANDE 1992). Basierend auf anatomischen Strukturen lassen sich die durch die Myelographie diagnostizierten Veränderungen in extradurale, intradurale-extramedulläre und intramedulläre Läsionen einteilen. Die extraduralen Läsionen sind laut PRATA (1977) und SANDE (1992) mit mehr als 50% die häufigsten Befunde. Die Verlagerung der Kontrastmittelsäule von der dorsalen Wirbelkörperfläche in Richtung des Rückenmarks, hervorgerufen durch Bandscheibenvorfälle, Hypertrophie der Bänder, Frakturen oder Luxationen, ist ein typisches Beispiel. Zur genauen Diagnosestellung werden Aufnahmen in mehreren Ebenen (latero-lateral, ventro-dorsal und Schrägprojektionen) empfohlen. Dabei wird deutlich, dass die Verlagerung der Kontrastmittelsäule meistens nur zu einer Seite des Wirbelkanals besteht (LUTTGEN 1992; SANDE 1992; GIBBONS et al. 2006; KNIPE 2006; BOS et al. 2007). BOS et al. (2007) beschreiben die ventro-dorsale Aufnahme als beste Aufnahme zur Lokalisierung eines lateralisierten Bandscheibenvorfalles. Mit einer Häufigkeit von 35% stellen die intraduralen-extramedullären Läsionen eine weitere bedeutende Gruppe dar (PRATA 1977). Diese Veränderungen sind eng mit dem Rückenmark verbunden und befinden sich im subarachnoidalen Raum. Hervorgerufen durch Blutungen oder Tumore zeigen sie einen Füllungsdefekt des Subarachnoidalraums, der sich in verschiedenen Ebenen unterschiedlich darstellt (SANDE 1992). Folge einer intramedullären Läsion, verursacht durch einen im Rückenmark lokalisierten Tumor, ist eine spindelförmige Erweiterung des Rückenmarks und Ausdünnung der Kontrastmittelsäule in allen Ebenen (SANDE 1992; TASSANI-PRELL 1993).

Trotz der im Verhältnis zu anderen bildgebenden Verfahren technisch leichten Durchführung der Myelographie, können Komplikationen auftreten (ROBERTS und SELCER 1993). Als Folgen einer Myelographie werden epileptiforme Anfälle, Erbrechen und Beeinträchtigung des neurologischen Status beschrieben. Als Ursache werden Traumata diskutiert, die durch eine inkorrekte Platzierung der Injektionskanüle hervorgerufen werden (HARTUNG 1983; WIDMER 1989; BUTTERWORTH und GIBBS 1992; LEWIS und HOSGOOD 1992; BARONE et al. 2002; BRAWNER und HATHCOCK 2003; KNIPE 2006). HARTUNG (1983) und LUTTGEN (1988) berichten auch über das Auftreten kardio-respiratorischer Zwischenfälle, die zum Tode führten. Ob diese jedoch Folge der Kontrastmittelinjektion waren, konnte nicht eindeutig geklärt werden. Verallgemeinert kann jedoch gesagt werden, dass mit den derzeit gebräuchlichen Kontrastmitteln die oben beschriebenen Nebenwirkungen selten beobachtet werden.

extradural	intradural/ extramedullär	intramedullär
primäre Knochentumore	Nerventumore	Rückenmarkstumore
spinale Anomalien	Nervenscheidentumore	
Hämorrhagien/ Hämatome	Hämorrhagien/ Hämatome	Hämorrhagien
Wirbelfrakturen/ -luxationen		Rückenmarksödeme
Bandscheibenvorwölbungen		
Hypertrophie des Bandapparates		

Tabelle 1: Lokalisation der Erkrankungen nach ROBERTS und SELCER (1993).

2.1.2. Computertomographie

2.1.2.1. Nativaufnahmen

Die Computertomographie ist ein Röntgenschnittverfahren, das durch die Intensitätsminderung während des Durchtritts der Röntgenstrahlen durch den Körper die Strukturen in verschiedenen Graustufen (Hounsfield-Einheiten) mithilfe eines Computers wiedergibt (TIDWELL und JONES 1999; KATHMANN et al. 2001). Die CT ermöglicht dabei im Gegensatz zum Röntgenverfahren eine überlagerungsfreie Darstellung der Knochen- und Weichteilstrukturen in Form von Querschnittsbildern. Zusätzlich ist eine 3D-Darstellung verdächtiger Strukturen möglich (SANDE 1992; HATHCOCK und STICKLE 1993; STICKLE und HATHCOCK 1993; KIRBY 1995; FORTERRE et al. 1998; ADAMS 1999; TIDWELL und JONES 1999; BRAWNER und HATHCOCK 2003; NYKAMP et al. 2003; MATIS 2007; OHLERTH und SCHARF 2007; TIDWELL 2007). Teilweise können Weichteilkompressionen, z.B. im Bereich der Cauda equina, auch ohne Kontrastmittel dargestellt werden, wodurch die CT im Vergleich zur Myelographie eine nicht-invasive Möglichkeit der Diagnostik bietet (LUTTGEN 1992; JONES und INZANA 2000). Besonders gut können durch die CT knöcherne oder mineralisierende Veränderungen beurteilt werden, wie sie bei länger andauernden Bandscheibenvorfällen auftreten können (BRAWNER und HATHCOCK 2003; KNIPE 2006). Die Anfertigung computertomographischer Bilder der Wirbelsäule ist, wie bereits bei den konventionellen Röntgenbildern beschrieben, angezeigt, wenn der Verdacht auf Wirbel- oder Rückenmarksveränderungen besteht. Im Gegensatz zur Erstellung der Röntgenbilder wird bei der Computertomographie nicht die gesamte Wirbelsäule, sondern nur der in Betracht kommende Bereich genauer untersucht (STICKLE und HATHCOCK 1993; KNIPE 2006). Eine Grundvoraussetzung der erfolgreichen CT ist ein während des gesamten Untersuchungszeitraumes unbeweglicher Patient, weshalb eine Anästhesie, wie sie von manchen Autoren auch zur Erstellung konventioneller Röntgenbilder postuliert wird, in der Tiermedizin unumgänglich ist. Um die Wirbelsäule ohne große Torsionen und Verzerrungen abbilden zu können, müssen die Schnittbilder möglichst rechtwinklig zum Rückenmark oder parallel zu den Zwischenwirbelspalten angefertigt werden. Dies kann durch Kippen der Gantry und des Schichtneigungswinkels ermöglicht werden (ADAMS 1999). ADAMS (1999) empfiehlt für die exakte

Beurteilung der CT-Bilder immer ein Knochen- und Weichteilfenster zu erstellen. Generell kann gesagt werden, dass sich das Fensterzentrum der Hounsfield-Einheit des zu untersuchenden Gewebes anpassen soll (TIDWELL und JONES 1999; TIDWELL 2007). Die Indikationen einer computertomographischen Untersuchung umfassen im Wesentlichen die des konventionellen Röntgens. Darüber hinaus wird die CT bei Verdacht degenerativer, infektiöser, neoplastischer und vaskulärer Veränderungen empfohlen (SCHWARZ 1991; LUTTGEN 1992; ADAMS 1999; OLBY et al. 2000; OHLERTH und SCHARF 2007). Für die Diagnostik des Cauda-equina-Kompressionssyndroms werden in der Literatur beispielsweise gute Ergebnisse beschrieben, da hierdurch die Beurteilung der Foramina intervertebralia und der Spinalnerven ermöglicht wird (LANG und JAGGY 1989; SANDE 1992; JONES und INZANA 2000). Seit der Entwicklung modernerer Computertomographen stellt die CT eine wesentliche Grundlage der neurologischen, onkologischen und orthopädischen Diagnostik dar (OHLERTH und SCHARF 2007). MATIS (2007) empfiehlt bei Wirbelfrakturen eine 3D-Rekonstruktion der betroffenen Region, da hierdurch eine bessere Platzierung der Osteosyntheseschrauben erzielt werden kann. In einer Studie von GOMEZ et al. (2004) wurde die CT zur Darstellung des zervikalen Venenplexus eingesetzt.

2.1.2.2. Myelo-Computertomographie

Bei der CT-Myelographie handelt es sich um ein diagnostisches Verfahren, bei dem ein Röntgenkontrastmittel in den Subarachnoidalraum injiziert wird und mit Hilfe des Computertomographen Bilder erstellt werden. Die Punktionsstellen wurden bereits im Kapitel der Myelographie beschrieben. Physiologischerweise stellt das Kontrastmittel einen feinen Ring um das Rückenmark dar (FORTERRE et al. 1998). Ein großer Vorteil gegenüber der konventionellen Myelographie ist die Möglichkeit einer überlagerungsfreien Darstellung der Knochen- und Weichteilstrukturen in Form von Querschnittsbildern, wie sie bereits bei der Computertomographie beschrieben wurde (LUTTGEN 1992; SANDE 1992; FORTERRE et al. 1998; ADAMS 1999; BRAUNER und HATHCOCK 2003). In der Literatur wird ebenfalls eine höhere Sensitivität gegenüber morphologischen Veränderungen und damit einhergehenden Veränderungen des Rückenmarks beschrieben, hervorgerufen durch eine Atrophie des Rückenmarks,

Rückenmarksstenosen sowie Malformationen der Wirbelkörper (JONES et al. 2005). Der konventionellen CT ist die CT-Myelographie dahingehend überlegen, dass sie fehlende Kontraste durch die Applikation des Kontrastmittels ersetzt. So können länger anhaltende Kompressionen, die mit dem Verlust des epiduralen Fettgewebes als Kontrastgeber einhergehen, bei nicht mineralisierten Bandscheibenvorfällen besser dargestellt werden (HARA et al. 1994). Die Humanmedizin bedient sich heutzutage routinemäßig der CT-Myelographie zur Diagnose einer Plexus-Läsion. In der Studie von FORTERRE et al. (1998) wurde bewiesen, dass in der Tiermedizin durch die CT-Myelographie ebenfalls eine genauere Darstellung der Läsion möglich ist. Die weiteren diagnostischen Einsatzmöglichkeiten umfassen im Wesentlichen diejenigen der konventionellen Computertomographie mit dem Unterschied der besseren Kontrastierung (SANDE 1992; BRAWNER und HATHCOCK 2003). So zeigt die konventionelle CT-Aufnahme beispielsweise den Verlust des Epiduralfettes. Die exakte extradurale Lokalisation einer Läsion kann allerdings erst mit Hilfe einer CT-Myelographie geklärt werden (NYKAMP et al. 2003).

2.1.3. Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie stellt eine nicht-invasive, schnittbildgebende Untersuchungstechnik dar, die der Hilfe eines Computers zur Errechnung der Schnittbilder bedarf, wie bereits bei der CT beschrieben. Im Gegensatz zur CT nutzt die MRT magnetische Felder sowie hochfrequente elektromagnetische Wellen und keine Röntgenstrahlen. Die MRT misst dabei die Verteilung der Wasserstoffatome im Körper und errechnet darauf basierend die Bilder (TIDWELL und JONES 1999; GEML 2006; KAUFFMANN et al. 2006; TIDWELL 2007). Ein großes Problem der MRT stellen Artefakte dar. Als bedeutendstes Artefakt muss an dieser Stelle das Bewegungsartefakt genannt werden. Aus diesem Grund ist diese Untersuchung, wie bereits bei der Myelographie und der CT erwähnt, nur unter einer Allgemeinanästhesie durchführbar (SANDE 1992; SHORES 1993; KNIPE 2006; SCHWARZ 2006). Ein zweites Problem stellen Atemartefakte dar. Um diese schon durch die normale Atmung hervorgerufenen Störungen zu minimieren, werden die Patienten bei der Wirbelsäulendiagnostik meistens auf dem Rücken liegend gelagert, da in dieser Position die Bewegung der zu untersuchenden Region (Wirbelsäule) geringer ist. Da die MRT zur Erstellung der Bilder eines homogenen Magnetfeldes bedarf, spielen ferromagnetische Metalle wie Eisen und Nickel, aber auch Transponder eine bedeutende Rolle beim Auftreten von Artefakten. Sie verursachen eine ausgeprägte Inhomogenität des lokalen Magnetfeldes, was zu einem Signalausfall und einer Verzerrung der zu untersuchenden anatomischen Strukturen führt. Neben diesem Signalausfall und der Verzerrung können sie auch Weichteilverbrennungen hervorrufen. Externe Hochfrequenzsignale können zu erheblichen Artefakten führen, wenn sie in demselben Frequenzbereich liegen. Um diese Artefakte zu minimieren, wird die MRT von nach außen abgeschirmten Kupferkäfigen, den Faraday-Käfigen, umgeben (KAUFFMANN et al. 2006).

An dieser Stelle sollen weitere mögliche Artefakte stichpunktartig genannt werden: Strömungs- und Pulsationsartefakte, Chemical Shift, Einfaltung (wrap around) und magnetische Suszeptibilitätsartefakte (LEPPIN 2007).

Die MRT wird heutzutage in der Humanmedizin als Standard zur Wirbelsäulendiagnostik eingesetzt. Der Indikationsbereich einer magnetresonanztomographischen Untersuchung in der Tiermedizin umfasst im Wesentlichen den des bereits erläuterten konventionellen Röntgens und der Computertomographie (ADAMS 1999; BRAWNER und HATHCOCK 2003; ADAMS 2007; MEOLA et al. 2007). Neben der CT ermöglicht auch die MRT eine überlagerungsfreie Darstellung der Knochen- und Weichteilstrukturen in Form von Querschnittsbildern oder gar eine multiplanare Rekonstruktion (MPR) verdächtiger Strukturen zu einem späteren Zeitpunkt (SANDE 1992; KIRBY 1995; ADAMS 1999; BRAWNER und HATHCOCK 2003). Ein bedeutender Vorteil der MRT des Rückenmarks besteht im Gegensatz zur Myelographie und der Computertomographie in der Fähigkeit den Charakter und das Ausmaß intraparenchymaler Veränderungen besser beurteilen zu können (SHORES 1993; SANDERS et al. 2002). Weiterhin ist eine bessere Darstellung des lumbosakralen Kanals, der Nervenwurzeln und der Foramina intervertebralia in der Literatur beschrieben (LUTTGEN 1992; SANDE 1992; KRAFT et al. 1998; BRAWNER und HATHCOCK 2003). Außerdem wird eine frühere Erkennbarkeit bei lytischen Veränderungen hervorgehoben (KRAFT et al. 1998).

2.1.3.1. Sequenzen

Unter einer Sequenz versteht man die Verknüpfung aus Hochfrequenz- und Radioimpulsen, die mehrfach pro Sekunde durch ein- und ausschalten des Gerätes in einer vorgegebenen Reihenfolge erzeugt werden. Diese erzeugten Signale variieren je nach Dichte und Zusammensetzung des Gewebes. Die Signale können außerhalb des Körpers gemessen werden. Im Folgenden sollen nur die im Rahmen dieser Untersuchung genutzten Sequenzen, T1-TSE- und T2-TSE-Wichtung, näher erläutert werden. Darüber hinaus gibt es noch viele weitere Sequenzen, (STIR, FLAIR, FSE) auf die hier unter Verweis auf die Literatur nicht näher eingegangen wird (ASSHEUER und SAGER 1997; TIDWELL und JONES 1999; FOLTIN 2002; BRÜHSCHWEIN 2005; FLATZ 2006; LEPPIN 2007; TIDWELL 2007). Die Signalintensitäten einiger Strukturen befinden sich in Tabelle 2.

Signalverhalten	T1-gewichtetes Bild	T2-gewichtetes Bild
signalreich, weiß, hyperintens	Fett	Liquor, Ödem, Flüssigkeit
mittlere Intensität	Lymphknoten, Muskulatur, Knochenmark, Knorpel	Fett, Knochenmark
signalarm, schwarz, hypointens	Liquor, Zysten, Flüssigkeit, Verkalkung, Kortikalis	Kortikalis, Verkalkung, Muskulatur

Tabelle 2: Signalintensität einiger Strukturen.

2.1.3.1.1. T1-Wichtung

In der T1-Wichtung (Spin-Gitter-Relaxation) wird durch die unterschiedlich schnelle Rückkehr des Spins in die Ausgangslage (Longitudinalmagnetisierung) der Bildkontrast in Graustufen dargestellt. Die Bilder entstehen dadurch, dass durch eine kurze Repetitionszeit ($TR = \text{time to repeat}$), sprich die Zeit, die vergeht bis der nächste 90° -Puls einstrahlt, die Anregungen der Wasserstoffatome so rasch aufeinander folgen, dass die langsamer relaxierenden Spins noch nicht wieder in die Ursprungslage zurückgekehrt sind, weshalb sie nicht zur Signalgebung beitragen. Deshalb stellen sich diese signalarmen, wasserhaltigen Gewebe hypointens dar. Demgegenüber zeigen schnell relaxierende Spins eine hohe Signaldarstellung, was das fettreiche Gewebe weiß (hyperintens) darstellt. Zur Erstellung einer möglichst reinen T1-Wichtung bedarf es einer kurzen Repetitions- und Echozeit, ($TE = \text{time of echo}$) (GEML 2006). Ein Charakteristikum der T1-Wichtung ist die gute Auflösung, aber eine schlechte Erkennbarkeit von Entzündungsprozessen. Damit ist die T1-Wichtung kaum für die Suche nach pathologischen Veränderungen geeignet. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sie die Anatomie gut, die pathologischen Veränderungen hingegen schlecht zeigt (ASSHEUER und SAGER 1997; LEPPIN 2007).

2.1.3.1.2. T2-Wichtung

Die T2-Wichtung (Quer- oder Spin-Spin-Relaxation) steht für die zeitliche Reduktion des Summenmagnetisierungsvektors in der XY-Ebene. Wasser- und fettreiches Gewebe mit langer T2-Zeit stellt sich auch bei einer langen Echozeit (TE) intensiv weiß (hyperintens/ signalreich) dar. Das Signal der Gewebe kurzer T2-Zeiten zerfällt hingegen sehr rasch und erscheint schwarz (hypointens/ signallos). Für eine reine T2-Wichtung ist deshalb eine lange TE sowie TR zu wählen (GEML 2006). Weiterhin ist zu erwähnen, dass die T2-Wichtung im Verhältnis zur T1-Wichtung eine schlechte Auflösung besitzt (LEPPIN 2007). Die Suche nach entzündlichem Gewebe ist dagegen erleichtert, da sich Flüssigkeiten weiß (hyperintens) darstellen. Daraus folgt, dass die T2-Wichtung eine gute Darstellung der pathologischen Veränderungen, aber eine schlechte Darstellung der Anatomie gewährleistet (ASSHEUER und SAGER 1997; LEPPIN 2007).

2.2. Anatomische Grundlagen

2.2.1. Halswirbelsäule

Die Halswirbelsäule setzt sich aus 7 Wirbeln zusammen, von denen sich Atlas und Axis aufgrund der speziellen Funktion als Kopfträger und Umdreher in ihrer Form von den anderen unterscheiden.

Der Atlas besitzt keinen eigenständigen Körper, so dass allein ein knöcherner Ring entwickelt ist, der sich aus einem flachen Arcus dorsalis und einem Arcus ventralis zusammensetzt. Das Tuberculum dorsale stellt sich im Verhältnis zum Tuberculum ventrale undeutlich dar. Die Alae atlantis, an deren ventralen Seiten eine leichte Fossa atlantis zu erkennen ist, weisen eine horizontale Stellung in lateraler Richtung auf. An der Basis des Atlasflügels ist eine Inzisur ausgebildet, welche medial durch eine Rinne begrenzt wird, die bis zum Foramen vertebrale laterale reicht. Im kaudalen Bereich des Atlasflügels wird dieser durch das Foramen transversarium durchbohrt. Die Foveae articulares cran. sind tief, die Foveae articulares caud. mäßig ausgehöhlt (NICKEL et al. 1984). Die Fovea dentis stellt sich sehr flach dar.

Der Axis, der die Drehbewegung des Kopfes bewirkt, ist zugleich der längste Halswirbel. Nach kranial trägt er den langen, zapfenförmigen Dens. Die Crista ventralis ist nur im kranialen und kaudalen Bereich deutlich abgesetzt. Der kammförmige Proc. spinosus überragt den Corpus des Axis in kranialer und kaudaler Richtung. Dabei werden nach kranial das Spatium interarcuale atlantoaxiale und nach kaudal der 3. Halswirbel überdeckt. An der Basis des Proc. spinosus befinden sich die Incc. vertebralis cran. und caud. Die Procc. articulares caud. sind an der Unterseite des Proc. spinosus zu finden, während die gewölbten Procc. articulares cran. durch die Kranialfläche des Wirbelkörpers gebildet werden. Der stark nach kaudolateral gerichtete Proc. transversus wird an seinem Ursprung durch das Foramen transversarium durchbohrt.

Ab dem 3. Halswirbel nimmt die Wirbellänge nach kaudal ab. Die Ventralfläche bis zum 5. Halswirbel besitzt eine kräftige Crista ventralis, die ab dem 6. Halswirbel fehlt. Die Extremitas cran. ist flach gewölbt und ihre Extremitas caud. entsprechend seicht (NICKEL et al. 1984). Die Procc. spinosi werden nach kaudal länger. Aus den Procc. transversari bilden sich am 3. – 5. Halswirbel nach kranial das Tuberculum ventrale und nach kaudal das Tuberculum dorsale. Die Basis der Querfortsätze ist mit Ausnahme des 7. Halswirbels durch ein Foramen transversarium durchbohrt. Dem 7. Halswirbel ist eine

Fovea costalis caud. eigen. Die Foramina intervertebralia werden durch die Incc. vertebrales crann. und caudd. gebildet, die von den Procc. articulares crann. lateral weitgehend überdeckt werden. Charakteristisch für die Procc. articulares caudd. ist ihre beulenförmige Erhebung, die zugleich den Ursprung der gefiederten Rückenmuskeln darstellt (NICKEL et al. 1984; KÖNIG und LIEBICH 2001).

2.2.2. Brustwirbelsäule

Die Brustwirbelsäule des Hundes besteht aus 13 Wirbeln und ist durch eine eingeschränkte Beweglichkeit gekennzeichnet. Ein Charakteristikum der Brustwirbel sind kurze Wirbelkörper, kurze Procc. articulares, langgezogene Procc. spinosi und dicht aneinanderliegende Arci vertebrae. Die Extremitas cran. und caud. ist jeweils nur flach ausgebildet. Bis auf den letzten Brustwirbel, dem die Fovea costalis caud. fehlt, besitzen alle Wirbel eine Foveae costales crann. und caudd., die kaudal flacher werden. Durch die kurzen Procc. transversi wird eine weitere Artikulationsfläche für die Rippenhöcker geschaffen, die wiederum im kaudalen Abschnitt der Brustwirbelsäule flacher werden. Die Procc. spinosi haben an den ersten 6 – 7 Brustwirbeln etwa die gleiche Länge und werden anschließend kürzer (NICKEL et al. 1984). Je nach Tier wird der 10. oder 11. Wirbel als antiklinaler oder diaphragmatischer Brustwirbel bezeichnet, da ihm ein senkrechter Proc. spinosus eigen ist. Alle folgenden Procc. spinosi zeigen eine kranial gerichtete Stellung. Allen Brustwirbeln sind Hilfsfortsätze gemein, die Procc. accessorii. Die Foramina intervertebralia, durch welche die Segmentalnerven und Blutgefäße hindurchtreten, werden durch flache Incc. vertebrales crann. und eine tiefere Incc. vertebrales caudd. gebildet (NICKEL et al. 1984; KÖNIG und LIEBICH 2001).

2.2.3. Lendenwirbelsäule

Die Lendenwirbelsäule besteht aus 7 Wirbeln, die sich durch ihre einheitliche Form, ihre große Beweglichkeit und die Zunahme ihrer Länge nach kaudal hin deutlich von der Brustwirbelsäule unterscheiden. Ähnlich den Brustwirbeln weisen auch sie flache Extremitates crann. und caudd. auf. Die flachen Wirbelbögen bilden einen deutlich erweiterten Canalis vertebralis, der den Raum für die Lendenschwellung des Rückenmarks bietet.

Die Querfortsätze, Procc. transversi sind lang, weitausladend in kranio-ventraler Richtung geneigt. Die Procc. articulares besitzen flache, sagittal stehende Gelenkflächen, die im kaudalen Teil zusammen mit den Procc. mammilares die Procc. mamilloarticulares bilden. Ein weiteres Charakteristikum der Lendenwirbelsäule sind die Procc. accessorii, die kreuzbeinwärts an Größe abnehmen, während die Procc. spinosi an Größe zunehmen. Die Procc. spinosi der ersten Lendenwirbel sind kranial geneigt, während die beiden letzten oder nur der letzte Processus senkrecht stehen (NICKEL et al. 1984). Die engen Foramina intervertebralia werden durch die konkav angeordneten Incc. vertebrales crann. und caudd. gebildet, durch die wiederum Segmentalnerven und Blutgefäße austreten. Die Spatia interarcualia sind bis auf das zwischen dem letzten Lendenwirbel und dem Kreuzbein anzutreffende Spatium interarcuale lumbosacrals sehr eng (NICKEL et al. 1984; KÖNIG und LIEBICH 2001).

2.2.4. Kreuzbein

Bei dem aus 3 Wirbeln bestehenden Kreuzbein handelt es sich um eine Verwachsung dieser Wirbel, die bereits im Alter von 1½ Jahren abgeschlossen ist. Die Verwachsung beinhaltet auch eine Verschmelzung der Procc. spinosi, die mit ihren freien und verdickten Enden als kleine Buckel hervorragen (NICKEL et al. 1984). Die Procc. transversi des 1. und 2. Kreuzwirbels sind zu einer einheitlichen Ala sacralis verschmolzen, dessen dorsale Fläche überknorpelt ist und ein straffes Gelenk mit den Darmbeinflügeln bildet.

Im kranialen Bereich überragen die Procc. articulares crann. die flache und breite Artikulationsfläche deutlich. Am Ventralrand springt die vordere Endfläche vor und formt das Promotorium (KÖNIG und LIEBICH 2001). An der schmalen und ebenen kaudalen Artikulationsfläche findet man die den Fleischfressern eigenen Procc. articulares caudd., die nur wenig nach kaudal hinausragen. Der dorsal begrenzte Spinalkanal des Kreuzbeins stellt sich als sehr enger Kanal mit flachen Bögen dar. In diesem Bereich treten die Nervenbündel durch nahezu gleiche Foramina sacralia dorsalia und pelvina in beide Richtungen aus.

2.2.5. Zwischenwirbelscheiben und der Bandapparat

Mit Ausnahme des Atlas und Axis, denen die Zwischenwirbelscheiben (Disci intervertebrales) fehlen, füllen die Bandscheiben den Raum zwischen den Extremitates crann. und caudd. der kaudal folgenden Wirbelkörper bis zum Kreuzbein aus. Sie dienen der Beweglichkeit der Wirbelsäule und absorbieren Stoßkräfte der einzelnen Wirbel gegeneinander. Im Halsbereich, in dem der ventrale Teil der Bandscheibe breiter ist als der dorsale, hat die Bandscheibe auch kraniokaudal ihre breiteste Ausdehnung (KÖNIG und LIEBICH 2001). Ab dem 1. – 10. Brustwirbel nimmt sie dann an Breite ab, um kaudal bis zum Kreuzbein wieder an Breite zuzunehmen (KÜNZEL 1960; KÖNIG und LIEBICH 2001). Jede Bandscheibe besteht aus einem im Zentrum liegenden Gallertkern, dem Nucleus pulposus und einem diesen umgebenden Faserring, dem Anulus fibrosus. Dieser Faserring ist aus bindegewebigen Fasern zusammengesetzt, die lamellenartig zwischen den Endplatten der Wirbel verlaufen. In Richtung Nucleus pulposus kommt es

zu Einbußen der typischen Struktur und zum Auftreten des faserknorpeligen Anteils (NICKEL et al. 1984; KÖNIG und LIEBICH 2001). Die Lamellen sind im ventralen Anteil des Anulus dicker und zahlreicher als an den Seiten und im dorsalen Anteil (KÜNZEL 1960). Wie bereits oben erwähnt, bildet der Nucleus pulposus das Innere der Bandscheibe und liegt im Zentrum der Bewegungsachse der Wirbelsäule. Je nach Belastung wirkt er wie ein Wasserkissen. Er verteilt den Druck gleichmäßig in alle Richtungen und spannt somit den Faserring und die dorsal und ventral aufliegenden langen Bänder (NICKEL et al. 1984; KÖNIG und LIEBICH 2001). Bei den Bandscheiben handelt es sich um bradytrophes Gewebe, das bedeutet, dass sie nur im juvenilen Zustand komplett über Blutgefäße versorgt werden. Später wird lediglich der Anulus fibrosus über die Gefäße der Wirbelkörper versorgt und gewährleistet die restliche Ernährung via Diffusion (KÜNZEL 1960; KÖNIG und LIEBICH 2001).

Der Bandapparat an der Wirbelsäule des Hundes setzt sich aus kurzen und langen Bändern zusammen. Die kurzen Bänder verbinden dabei jeden benachbarten Wirbelkörper miteinander. So werden die Wirbelbögen über das Ligamentum flavum, die jeweiligen Procc. spinosi über das Ligamentum interspinale und die Procc. transversi über das Ligamentum intertransversarium verbunden. Zusätzlich ist im Bereich zwischen dem 1. und 10. Wirbel der Brustwirbelsäule ein Ligamentum capitis costae intraarticulare, das sich über dem Anulus fibrosus und unter dem zu den langen Bändern gehörenden Ligamentum longitudinale dorsale befindet. Das letztgenannte Band findet dabei seinen Ursprung am Boden des 2. Halswirbels und verläuft bis zum 1. Schwanzwirbel. Parallel zu diesem Band zieht ab dem 8. Brustwirbel das Ligamentum longitudinale ventrale an der Ventralseite der Wirbelkörper bis zum Kreuzbein. Das oberste dorsale lange Band wird durch den Funiculus nuchae gebildet, der vom Kamm des Axis bis zum 1. Brustwirbel verläuft. Ab dem 1. Brustwirbel geht der Funiculus nuchae in das Ligamentum supraspinale über, das seinen Ansatz entlang der Procc. spinosi am Ende des Kreuzbeins findet (NICKEL et al. 1984; KÖNIG und LIEBICH 2001).

2.2.6. Rückenmark und begleitende Strukturen

Das Rückenmark ist ein nahezu zylindrischer Strang von weißlicher Farbe. Es verläuft vom 1. Halswirbel bis zum Kreuzbein im Spinalkanal der Wirbelkörper (KÖNIG und LIEBICH 2002). Im Bereich der Halswirbelsäule ist der Spinalkanal weiter als in den übrigen Abschnitten der Wirbelsäule, wobei das Rückenmark auch im kaudalen Teil den Wirbelkanal nicht völlig ausfüllt, sich aber seinen Krümmungen anpasst (NICKEL et al. 1984; NICKEL et al. 1992). Aufgrund der Lage im Wirbelkörper und der segmental entspringenden Rückenmarksnerven, lässt sich das Rückenmark anatomisch in das Halsmark, Pars cervicalis, das Brustmark, Pars thoracica, das Lendenmark, Pars lumbalis, das Kreuzmark, Pars sacralis und das Schwanzmark, Pars caudalis einteilen. Über das gesamte Rückenmark sind zwei physiologische Schwellungen, Intumescientiae, des Rückenmarks zu erkennen, die das Ursprungsgebiet für den Plexus brachialis und den Plexus lumbalis darstellen. Die Halsschwellung, Intumescientia cervicalis, erstreckt sich vom 5. Halswirbel bis zum 2. Brustwirbel, wohingegen sich die Lendenschwellung, Intumescientia lumbalis, im Bereich des 3. – 5. Lendenwirbel befindet (NICKEL et al. 1992; GAROSI 2004). Neben dem Plexus brachialis und lumbalis treten aus jedem Rückenmarkssegment weitere Spinalnerven mit jeweils einer dorsalen und ventralen Wurzel aus. Die Lage und Anzahl der Rückenmarkssegmente stimmt aufgrund des unterschiedlichen Wachstums der Wirbelsäule und des Rückenmarks nicht mit den entsprechenden Wirbeln überein (WHEELER 1992; GAROSI 2004). Der Hund besitzt laut NICKEL et. al. (1992) 8 zervikale, 13 thorakale, 7 lumbale, 3 sakrale und 5 – 6 kaudale Nerven. Ab dem 6. Lendenwirbel vollzieht sich jedoch durch das unterschiedliche Wachstum eine kaudale Abbiegung der Nervenwurzel unter Bildung des Conus medullaris und des Filum terminale. Da diese Struktur den Langhaaren der Schweifrübe eines Pferdes ähnelt, wird sie als Cauda equina bezeichnet (NICKEL et al. 1992). Im Querschnitt des Rückenmarks ist im Inneren eine schmetterlingsförmige graue Substanz, Substantia grisea, zu erkennen, die durch das schlanke Dorsalhorn, Cornu dorsale und das ausgeprägte Ventralhorn, Cornu ventrale, ihre charakteristische Form erhält (KÖNIG und LIEBICH 2002). Im Zentrum der grauen Substanz liegt der Zentralkanal, Canalis centralis, der die Verlängerung der Binnenräume des Gehirns, die Ventrikel, darstellt. Umhüllt wird die graue Substanz mantelartig von der weißen Substanz, Substantia alba, die dem Rückenmark seine äußere Form verleiht (LIEBICH 1999). Das Rückenmark stellt einen Teil des zentralen Nervensystems dar und wird von

den drei Hüllen, den Meningen, umschlossen. Diese drei Hüllen setzen sich aus der zarten Rückenmarkshaut, Pia mater, der Spinnenwebenhaut, Arachnoidea und der harten Rückenmarkshaut, Dura mater, zusammen. Die Pia mater liegt dem Rückenmark direkt auf und folgt sämtlichen Einziehungen. Die Arachnoidea und die Pia mater begrenzen zusammen den Arachnoidalraum, Cisterna subarachnoidea, in dem der Liquor cerebrospinalis fließt. Verallgemeinert werden sie zusammen als Leptomeninx bezeichnet. Die Dura mater bildet in Form eines weitleumigen Schlauches, der durch lockeres, fettreiches Bindegewebe vom knöchernen Wirbelkanal getrennt ist, die äußerste und letzte Hülle. Da dieser Spaltraum von einem Venengeflecht durchzogen wird, ist er klinisch für die Epiduralanästhesie und die Stoffaufnahme von großer Bedeutung (LIEBICH 1999). Besondere Schutzfunktionen kommen allerdings dem Liquor cerebrospinalis und den epiduralen Fettpolstern zu gute, die das empfindliche Rückenmark, z.B. bei Bewegungen gegen Druckeinwirkung schützen (NICKEL et al. 1992; WHEELER 1992).

2.3. Ausgewählte Wirbelsäulenerkrankungen

2.3.1. Traumatische Erkrankungen

2.3.1.1. Läsionen des Plexus brachialis

Nervenabriss sind in der Regel traumatisch durch externe Gewalteinwirkung bedingt, z.B. bei Autounfällen oder bei Stürzen. Bei extremer Abduktion der Schulter kann es zu einem partiellen oder kompletten Abriss der Nervenwurzeln des Plexus brachialis aus dem Rückenmark kommen (STEINBERG 1988; FORTERRE et al. 1998; SHELL 2007). Überdehnungen des Plexus oder Hämatome in dieser Region rufen temporär eine ähnliche Symptomatik hervor. Dementsprechend kann die Diagnose „Verletzung des Plexus brachialis“ leicht gestellt werden (GRIFFITHS et al. 1974; STEINBERG 1988; FORTERRE et al. 1998).

Der partielle Plexusabriss unterteilt sich in einen kranialen und einen kaudalen Abriss. Ein Charakteristikum des kranialen Abrisses ist eine schwache Ellenbogenflexion und eine Analgesie im medialen Bereich der Vorderextremität. Demgegenüber sprechen ein tief hängender Ellenbogen, die „Kusshandstellung“ des Karpus, eine bei Belastung kollabierende Gliedmaße, eine Analgesie der gesamten Extremität distomedial des Ellenbogens und ein ipsilateraler Ausfall des Pannikulusreflexes für einen kaudalen Plexusabriss. In knapp 50% Prozent der Fälle ist ein Horner-Syndrom zu beobachten, da die sympathischen Fasern, die ebenso die Augenmuskulatur innervieren, aus dem kaudalen Plexusabschnitt austreten. Unter dem Begriff eines kompletten Plexusabrisses versteht man das vollständige Ausreißen aller Nervenfasern des Plexus aus dem Rückenmark. Hier vereinigen sich die Symptome des kranialen und kaudalen Abrisses (KORNBERG 2006; SCHWARZ 2006). Neben dem Faserausriss direkt aus dem Rückenmark wird in der Literatur auch ein Zerreißen der Fasern in Höhe der Foramina intervertebralia beschrieben (GRIFFITHS 1974; FORTERRE et al. 1998).

2.3.1.2. Wirbelsäulenfrakturen und/ oder –luxationen

Einleitend lassen sich die Wirbelsäulentraumata nach internen oder externen Genesen einteilen. Zu den internen zählen Bandscheibenvorfälle, pathologische Frakturen, kongenitale Wirbelanomalien und Instabilitäten (SHORES 1992). Externe Traumata sind meist die Folge äußerer Gewalteinwirkungen, sie werden beispielsweise durch Autounfälle, Fensterstürze, Bissverletzungen oder durch Geschosse verursacht. Sie entstehen, wenn die Wirbelsäule übermäßigen Flexionen, Extensionen, Rotationen oder Kompressionen ausgesetzt ist (SHORES 1992; KIRBY 1995; KOCH und MONTAVON 1998; BAGLEY 2000; MUNANA 2002). SHORES (1992) teilt die Frakturen nach den sie verursachenden Kräften ein. Wirbelkörperverschiebungen verursachen eine Hyperflexion und gehen mit Bandscheibenvorfällen einher, die das Rückenmark verletzen. Dies führt in den meisten Fällen zu schweren neurologischen Ausfällen. Instabilitäten werden durch eine Kombination von Hyperflexion und Rotationskräften verursacht (KIRBY 1995). Das Kollabieren der Artikulationsflächen und ein nach ventral gerichteter Bandscheibenvorfall sind die Folge einer Hyperextension. Kompressionsfrakturen entstehen laut SHORES (1992) durch die Vereinigung axialer Kräfte in Verbindung mit einer Flexion der Wirbelsäule. Hierdurch wird die Wirbelsäule komprimiert, was ein Ausweichen der Bandscheiben und möglicher Knochensplinter in viele Richtungen mit sich bringt. Daraus ergibt sich folglich eine große Verletzungsgefahr in Form einer Rückenmarkskompression (THIESS 1983; SOMMER 1998). Die Kombination von Flexion und rotierenden Kräften resultiert in einer Verschiebung der Wirbelkörper gegeneinander und wird als Subluxation, Luxation oder Frakturluxation bezeichnet (SHORES 1992). Die Bereiche zwischen beweglichen und unbeweglichen Abschnitten der Wirbelsäule (atlantookzipitaler, atlantoaxialer, zervikothorakaler, lumbosakraler und sakrokokzygealer Abschnitt) sind für Luxationen und Frakturen besonders gefährdet. Die kaudale Halswirbelsäule stellt dabei eine Ausnahme dar (THIESS 1983; SHORES 1992; SOMMER 1998; KATHMANN et al. 2001). Der Grund dafür ist die stark ausgebildete Muskulatur dieser Region (SOMMER 1998). SOMMER (1998) beobachtete ein gehäuftes Auftreten der Wirbelfrakturen im kaudalen Teil der Brustwirbelsäule. Ein weiterer Grund für Frakturen der Wirbelsäule sind Bagateltraumata, zum Beispiel Sprünge durch mangelnde Boxenruhe nach einer dorsalen Laminektomie (MOENS und RUNYON 2002). Besonders in der ersten Zeit post operationem müssen die Tiere möglichst unter Käfigruhe gehalten werden, da

operationsbedingt eine temporäre Instabilität der Wirbelsäule besteht (KATHMANN et al. 2001).

Alle Wirbelfrakturen zeigen mehr oder weniger stark ausgeprägte neurologische Ausfälle, die meist unmittelbar nach der Läsion entstehen. Der Grad der Ausfallerscheinungen hängt von der Lokalisation und dem Grad der Schädigung des Rückenmarks ab (MATIS 2007). Eine schlechte Prognose weist laut DE LAHUNTA (1983) das „Schiff-Sherington-Syndrom“ auf. Dabei handelt es sich um eine Schädigung mit Durchtrennung der aufsteigenden inhibitorischen Fasern der grauen Substanz des Rückenmarks, kaudal des 2. Brustwirbels, mit Extensorenspasmus der Vorderextremität und reduzierten Reflexen der Hinterextremität (BAGLEY 2000).

2.3.2. Neoplastische Erkrankungen

Tumoren treten im Vergleich zu den anderen Erkrankungen der Wirbelsäule selten auf. Die klinischen Symptome gehen mit einer Muskelatrophie und Rückenschmerzen einher. Alle anderen klassischen Erscheinungsbilder der Wirbelsäulenerkrankungen werden in Folge von Tumoren ebenfalls diagnostiziert (HARTUNG 1983; VASILOPULOS et al. 2002; ZANDER et al. 2002; MEIJ 2005; MORGAN et al. 2007). BUSH (2006) bezeichnet das Vorhandensein eines Horner-Syndroms mit deutlicher Asymmetrie der Halsmuskulatur als klassisches Anzeichen einer pathologischen Veränderung im Bereich der zervikalen Rückenmarksschwellung.

Mit den bildgebenden Verfahren Myelographie, CT und MRT, lassen sich die Tumoren in extradurale, intradurale-extramedulläre und intramedulläre Tumoren einteilen (LUTTGEN 1992; TIPOLD 2000; MEIJ 2005). Die extraduralen Tumorerkrankungen sind in nahezu 50% der Fälle die häufigsten Tumorformen und beinhalten primäre Knochentumore, z.B. Osteosarkome, Fibrosarkome, Chondrosarkome, Myelome und Metastasen, beispielsweise von Karzinomen, Sarkomen oder Melanomen (PRATA 1977; VASILOPULOS et al. 2002; MEIJ 2005). Laut TIPOLD (2000) sind auch Hämangiosarkome und Lymphome typische extradurale Tumorarten. Gekennzeichnet sind sie durch eine hochgradige Schmerzhaftigkeit (TIPOLD 2000). Bei den intraduralen-extramedullären Tumoren werden häufig Nervenscheidentumore, z.B. Nervenfibrome, Neurofibrosarkome oder Schwannome diagnostiziert, aber auch Meningeome, die zusammen mit den Nervenscheidentumoren die häufigsten Primärtumore des zentralen Nervensystems bilden (GAVIN et al. 1995; MEIJ 2005). Die letzte Gruppe umfasst die intramedullären Tumoren. Zu ihnen zählen Gliome, Astrozytome, Ependymome oder metastasierende Tumoren wie Lymphosarkome (MEIJ 2005). Sie sind aber laut PRATA (1977) mit einer Angabe von 15 – 24% recht selten. NEER und KREEGER (1987) beschreiben die Gliazellen als Ursprung tumoröser Veränderungen und sehen ein gehäuftes Auftreten in der Halswirbelsäule. Allen Tumorarten sind eine Destruktion oder Kompression der jeweils betroffenen Struktur des Rückenmarks gemeinsam, die zu mehr oder weniger starken neurologischen Ausfällen führen können (LUTTGEN 1992; ZANDER et al. 2002). Laut TIPOLD (2000) können sie akut oder langsam auftreten und zeigen meist einen progressiven Verlauf. In einem Fallbericht von MORGAN et al. (2007) wurde von einer vollständigen Genesung des Patienten nach Entfernung eines das Rückenmark einengenden Lipoms berichtet.

Die klinische Untersuchung stellt jedoch gerade bei den extramedullären Tumorerkrankungen eine Hürde dar, da die Schmerzen häufig intermittierend auftreten und in andere Regionen wie Thorax, Abdomen oder die Extremitäten ausstrahlen (PRATA 1977). Demgegenüber treten die Symptome bei intramedullären Tumorerkrankungen plötzlich auf und es kommt zur raschen Verschlechterung (NEER und KREEGER 1987).

2.3.3. Degenerative Erkrankungen

2.3.3.1. Bandscheibenvorfall

Gültig bis heute ist die Grundlagenarbeit von HANSEN (1952), in der zwischen einer chondroiden, Hansen Typ I und der fibroiden, Hansen Typ II, Metamorphose unterschieden wird. Das Charakteristikum der chondroiden Metamorphose ist der Umbau des Nucleus pulposus in ein zunächst knorpeliges Gewebe, gefolgt von einer Nekrose mit späterer dystrophischer Verkalkung. Infolge der degenerativen Veränderungen kann der Anulus fibrosus zerreißen, so dass ein Teil des Bandscheibenmaterials in den Rückenmarkskanal gelangt. Prädisponiert für den Hansen Typ I sind chondrodystrophe Hunderassen, wie Dackel, Pekinesen, Spaniel oder Pudel. Die Veränderungen beginnen bereits ab dem 1. Lebensjahr (HANSEN 1952; SIMPSON 1992; KATHMANN et al. 2001). Die meisten Patienten werden im Alter von 4 – 5 Jahren klinisch auffällig, wobei die generelle Altersverteilung nach TOOMBS und WATERS (2003) zwischen 2 – 7 Jahren und nach GREVEL und SCHWARTAU (1997) zwischen 4 – 8 Jahren liegt. Bei der fibroiden Metamorphose ist eine zunehmende Kollagenisierung des Nucleus pulposus ohne dessen Verkalkung typisch. Diese Form tritt bei nicht chondrodystrophen Rassen ab einem Alter von 7 Jahren auf (HANSEN 1952; SIMPSON 1992). Hierbei entsteht durch die Vorwölbung bzw. Protrusion des Anulus fibrosus eine Kompression des Rückenmarks, was neurologische Ausfälle mit sich bringt. Bei längerem Andauern der Kompression entstehen Sekundärreaktionen in Form von Entzündungen mit ausgeprägter Hyperämie und Ödemen. Diese rufen eine Verschlechterung der klinischen Symptome hervor (DÄMMRICH 1981). In der Arbeit von GREVEL und COP (1992) wird das vorgefallene Material grundsätzlich in drei Formen unterteilt: Bei der ersten Form handelt es sich um ein nekrotisch verkalktes Gewebe, das röntgenologisch sichtbar ist. Die zweite Form stellt ein knorpeliges Material und die dritte ein faseriges Gewebe dar. Die beiden zuletzt genannten Formen sind röntgenologisch nicht sichtbar, was die Diagnostik mit konventionellem Röntgen erschwert. BESALTI et al. (2006) teilen in ihrer Magnetresonanztomographie-Studie die Bandscheibenerkrankungen in vier Gruppen ein: Die erste Gruppe beschränkt sich auf eine Degeneration der Bandscheibe, die zweite Gruppe repräsentiert eine wulstige Vorwölbung, die dritte Gruppe einen Prolaps und die letzte Gruppe eine Extrusion der Bandscheibe.

Bezüglich der Lokalisation der Bandscheibenvorfälle kann verallgemeinert gesagt werden, dass in der Literatur nahezu übereinstimmend ein gehäuftes Auftreten im zervikalen und thorakolumbalen Bereich, ab dem 11. Brustwirbel bis zum 2. Lendenwirbel, gesehen wird (GREVEL und COP 1992; TASSANI-PRELL 1993; KATHMANN et al. 2001; SCHWARZ 2006). Ein geringeres Auftreten der Bandscheibenvorfälle im thorakalen Bereich wird durch die das Ligamentum longitudinale dorsale unterstützende Funktion des Ligamentum capitis costae intraarticulare zwischen dem 1. und 10. Brustwirbel erklärt (GREVEL und COP 1992; SCHWARZ 2006). In einer weiteren Arbeit von GREVEL und COP (1992) werden besonders im kranialen Brustbereich Bandscheibenvorfälle beschrieben.

Die klinischen Ausfälle sind sehr vielfältig und stark abhängig von der Lokalisation des Geschehens, weshalb sie von leichten Schmerzäußerungen, Lahmheiten, Bewegungseinschränkungen bis hin zu Paralysen reichen. So zeigen zervikale Bandscheibenvorfälle aufgrund des weiteren Spinalkanals in der Halswirbelsäule erst später neurologische Defizite (SCHWARZ 2006; SIMPSON 1992). Starke Nackenschmerzen sind dabei das häufigste klinische Erscheinungsbild. Steifer Gang, Tiefhalten des Kopfes, einhergehend mit Verspannungen im Nacken und Schulterbereich sind typische Anzeichen. Paresen oder Paralysen sind selten und manifestieren sich einseitig und auch an einer Hinterextremität (TOOMBS und WATERS 2003; BUSH 2006). Thorakolumbale Bandscheibenvorfälle zeigen im Verhältnis zu zervikalen Vorfällen früher eine klinische Symptomatik. Dies geht je nach Schweregrad mit einem schmerzhaft aufgekrümmten Rücken, Palpationsschmerzen im Rückenbereich, Propriozeptionsdefiziten, Ataxien oder Paresen der Hinterhand einher. Bei einer massiven Schädigung der grauen Substanz kommt es zur schlaffen Lähmung der Beckengliedmaße, was ein Hinterherziehen der Beine zur Folge hat. Dieses Phänomen wird als Fischrobbenstellung bezeichnet (KATHMANN et al. 2001; SCHWARZ 2006). Bei plötzlich auftretenden Bandscheibenvorfällen, hervorgerufen durch ausreichende Krafteinwirkung von außen, werden in der Regel schwerere neurologische Defizite diagnostiziert, da das Material explosionsartig in das Rückenmark vordringt (SIMPSON 1992; MEOLA et al. 2007). Chondrodystrophe Rassen scheinen für Bandscheibenvorfälle im Zervikal- und Thorakolumbalbereich prädisponiert zu sein, wohl als Folge der frühzeitigen Degeneration (GREVEL und COP 1992; GREVEL und SCHWARTAU 1997; JURINA und GREVEL 2002). Bei der Geschlechtsverteilung der Bandscheibenvorfälle überwiegen (TASSANI-PRELL 1993; JURINA 1996; GREVEL und SCHWARTAU

1997; JURINA und GREVEL 2002; BESALTI et al. 2006) männliche Tiere, wohingegen TOOMBS und WATERS (2003) keinerlei Unterschiede in der Geschlechtsverteilung sahen.

2.3.3.2. Wobbler-Syndrom

Beim Wobbler-Syndrom handelt es sich meist um eine Veränderung im Bereich der kaudalen Halswirbelkörper und Bandscheiben, verbunden mit einer Rückenmarkskompression (SEIM III 2002; SCHWARZ 2006). Neben dem Begriff des Wobbler-Syndroms sind eine Vielzahl von Synonymen gebräuchlich: Zervikale Spondylolisthesis, vertebrale Subluxation, zervikale vertebrale Instabilität, zervikale Spondylopathie, kaudale zervikale Spondylomyelopathie oder zervikale vertebrale Malformation/ Malartikulation (JAGGY und LANG 1986; LAUTERSACK 2002; PENDERIS und DENNIS 2004; DA COSTA et al. 2006; VERNAU 2006; DICKINSON 2007). Der genaue pathophysiologische Mechanismus ist bis heute nicht vollständig geklärt. Das vermehrte Auftreten bei bestimmten Rassen lässt jedoch eine genetische Prädisposition vermuten (JAGGY und LANG 1986). Beitragende Faktoren sind Wirbelmissbildungen mit einer Wirbelkanalstenose sowie eine Hypertrophie des Ligamentum flavum und des Ligamentum longitudinale dorsale. Hypertrophien des dorsalen Teils des Anulus fibrosus und der Gelenkkapsel sind ebenfalls begünstigende Faktoren. Ebenso gesehen werden Instabilitäten der Wirbel und eine Typ II-Bandscheibendegeneration.

Das Wobbler-Syndrom tritt in der Regel bei jungen Hunden großwüchsiger Rassen, wie der Deutschen Dogge, dem Mastiff oder beim mittelalten bis alten Dobermann auf, ebenso bei vielen anderen großwüchsigen Hunden (JAGGY und LANG 1986; DA COSTA et al. 2006). Laut VERNAU (2006) sind männliche Tiere häufiger betroffen als weibliche.

Ein gehäuftes Auftreten wird im Bereich der Wirbelsäule von C5 – 6 und C6 – 7 beobachtet. Junge Deutsche Doggen und Mastiffs haben meistens dorsale und/ oder laterale Rückenmarkskompressionen, die durch eine Deformation des Wirbelbogens oder -körpers mit Malartikulation hervorgerufen werden, wohingegen Dobermänner starke ventrale Rückenmarkskompressionen zentral über dem Anulus fibrosus der betroffenen Bandscheibe aufweisen (SCHWARZ 2006; DICKINSON 2007). Laut LAUTERSACK

(2002) zeigen Dobermänner auch Unterschiede in der Anatomie der Wirbelkörper im Gegensatz zu anderen Rassen.

Die klinischen Anzeichen verlaufen progressiv über Monate oder gar Jahre. Sie machen sich in Form spinaler Ataxien besonders im Bereich der Hinterextremität mit propriozeptiven Defiziten, Trägheit, Schwierigkeiten beim Aufstehen und zervikalen Schmerzen bemerkbar, besonders bei der Manipulation. Mit Fortschreiten der Krankheit werden die Symptome auch an den Vorderextremitäten deutlicher (JAGGY und LANG 1986; LAUTERSACK 2002; SCHWARZ 2006; VERNAU 2006; DICKINSON 2007).

2.3.3.3. Cauda-equina-Syndrom

Beim Cauda-equina-Kompressionssyndrom handelt es sich um eine Kompression der die Cauda equina bildenden Nervenwurzeln (SCHWARZ 2006). Als weitere Begriffe für diese Krankheit werden vor allem in der angloamerikanischen Literatur die Malformation und Malartikulation des Lumbosakralgelenkes, die lumbosakrale Stenose und die Spondylosis deformans des Lumbosakralgelenkes genannt (JAGGY et al. 1987; SEIM III 2002; SJÖSTRÖM 2003). Neben der Halswirbelsäule gehört der lumbosakrale Abschnitt zu dem beweglichsten Bereich der Wirbelsäule des Hundes. Aus diesem Grund können wiederholter Stress oder exzessive Bewegungen dieser Region zu einer degenerativen Veränderung führen, die nicht selten mit einer Kompression der Nervenfasern einhergeht (WHEELER 1992; RENTMEISTER 1995). Instabilitäten des lumbosakralen Bereiches mit sekundärer Verdickung des Bandapparates führen zu einer Einengung der Cauda equina (SCHWARZ 2006). Weitere in der Literatur beschriebene Ursachen, die zu einer Kompression führen können, sind kongenitale Anomalien, Osteochondrosis dissecans der Sakrumwirbelplatte (LANG et al. 1992), Bandscheibenvorfälle oder -vorwölbungen, Spondylosen, Neoplasien sowie Frakturen in Folge eines Traumatias (JAGGY et al. 1987; LANG und JAGGY 1989; SCHWARZ 1991; LANG et al. 1992; SCHMID und LANG 1993; RENTMEISTER 1995). Durch die Kompression der neuralen Strukturen kommt es zu einem charakteristischen klinischen Erscheinungsbild, das sich sehr langsam über Wochen oder Monate entwickeln kann. Die Leitsymptome sind Schmerzen im lumbosakralen Übergang beim Aufstehen, unwilliges Treppensteigen und Schmerzäußerungen bei der Dorsoflexion der Rute. Weiterhin kann das Cauda-equina-Syndrom mit Paresen oder Paralysen einer oder beider Hinterextremitäten einhergehen.

In weiter fortgeschrittenen Stadien zeigen die betroffenen Tiere teilweise Kot- und Harninkontinenz und Automutilation der Rute, des Perineums und Präputialbereichs, selten auch der Hinterextremität (JAGGY et al. 1987; SCHWARZ 1991; SCHWARZ 2006). Vorwiegend sind Hunde großwüchsiger Rassen betroffen, besonders der Deutsche Schäferhund (JAGGY et al. 1987; LANG und JAGGY 1989; SCHWARZ 1991; LANG et al. 1992; SCHWARZ 2006). Eine Altersprädisposition wird bei Hunden mittleren Alters gesehen. In den Arbeiten von JAGGY et al. (1987) und RENTMEISTER (1995) wird das mittlere Alter mit 6,3 Jahren angegeben. Nahezu übereinstimmend wird ein gehäuftes Auftreten der Erkrankung bei männlichen Tieren genannt (LANG und JAGGY 1989; LANG et al. 1992; SCHMID und LANG 1993; RENTMEISTER 1995; SEIM III 2002; SJÖSTRÖM 2003).

2.3.3.4. Degenerative Myelopathie

Die degenerative Myelopathie ist eine neurologische Störung unbekannter Ätiologie, die eine im thorakolumbalen Bereich des Rückenmarks beginnende progressive Demyelinisierung, axonale Degeneration und Astrozytose der weißen Substanz im Rückenmark verursacht (KATHMANN et al. 2001; SEIM III 2002; KORNBERG 2006). Sie tritt in der Regel bei Hunden ab einem Alter von 6 Jahren auf und geht mit einer langsam progressiven Ataxie und Parese der Hinterextremitäten einher. Männliche Tiere sind häufiger betroffen als weibliche. Der Deutsche Schäferhund und Kreuzungen mit dieser Rasse weisen auf eine Prädisposition dieser Erkrankung hin, die jedoch auch bei anderen mittelgroßen bis großen Hunden beschrieben worden ist (CLEMMONS 1992; KORNBERG 2006).

Die neurologische Untersuchung weist auf eine Myelopathie im Bereich von T3 – L3 hin, die asymmetrisch sein kann. Der Patellarsehnenreflex ist erniedrigt oder kann sogar fehlen. Die leichte wie auch offensichtlich auslösbare Druckempfindlichkeit ist kein beweisendes Indiz für eine degenerative Myelopathie. Der Urin- und Kotabsatz betroffener Tiere kann bis zu einem weiten Fortschreiten der Krankheit unverändert sein. Die Vermutung einer degenerativen Myelopathie basiert auf einer Ausschlussdiagnose, bei der auf das Alter und die Rasse geachtet werden sollte (VANDEVELDE et al. 1980; DEWEY und COATES 2003; KORNBERG 2006; VERNAU 2006). Die bildgebenden Verfahren weisen auf keinerlei Veränderungen hin. Bei der Liquoruntersuchung kann eine geringe bis mittelgradige Erhöhung des Proteingehaltes gefunden werden (VANDEVELDE et al. 1980; VERNAU 2006; DICKINSON 2007). Die Prognose der degenerativen Myelopathie wird in der Literatur als schlecht eingestuft (CLEMMONS 1992; KORNBERG 2006).

2.3.4. Diskospondylitis

Bei der Diskospondylitis handelt es sich um eine chronisch verlaufende Entzündung der Bandscheiben, der Wirbelendplatten und der angrenzenden Wirbelkörper, meist hervorgerufen durch koagulase-positive Staphylokokken (DEWEY und COATES 2003; SCHWARZ 2006). Ebenso werden Streptokokken, Brucellen und Pilze, z.B. Aspergillus, für die Entstehung der Diskospondylitis verantwortlich gemacht. Meist handelt es sich um hämatogene Infektionen. Wandernde infizierte Fremdkörper oder iatrogene Infektionen als Folge einer Bandscheibenoperation stellen weitere Ursachen dar (GONZALO-ORDEN et al. 2000; DEWEY und COATES 2003; SCHWARZ 2006; DICKINSON 2007), ebenso eine vorausgehende Infektion des Harnapparates, der Herzklappen und der Haut sowie eine Immunsuppression oder die Gabe von Immunsuppressiva (THOMAS 2000; SCHWARZ 2006). DICKINSON (2007) berichtete sogar von einer vorhergegangenen Zahnextraktion als Ursache einer Diskospondylitis. Diese Erkrankung wird gehäuft bei jungen bis mittelalten männlichen Tieren großer Rassen diagnostiziert, Hunde kleiner Rassen erkranken sehr selten. Die kaudale Halswirbelsäule, der mittlere Brustwirbelsäulenbereich, der thorakolumbale und der lumbosakrale Übergang sind laut SCHWARZ (2006) prädisponierte Stellen. Nach THOMAS (2000) sowie DEWEY und COATES (2003) ist die Region zwischen L7 und S1 die am häufigsten betroffene Lokalisation. Die klassischen Symptome der Diskospondylitis reichen von leichten bis hin zu extremen Schmerzen, bei denen die Tiere eine deutliche Bewegungsunlust zeigen. Es werden in 30% der Fälle Fieber und Gewichtsverluste diagnostiziert, wohingegen Lahmheiten und abdominale Schmerzen seltener beobachtet werden (THOMAS 2000). Je nach Schweregrad können sich neurologische Defizite in Form von Ataxien bis hin zu Paralysen äußern (THOMAS 2000; DEWEY und COATES 2003). Die Prognose einer Diskospondylitis ist abhängig von den motorischen Ausfällen und dem Ansprechen auf eine Antibiotikatherapie. Bei einer raschen Besserung nach Therapiebeginn und geringen motorischen Defiziten ist allgemein eine günstige Prognose zu stellen (THOMAS 2000; DEWEY und COATES 2003; SCHWARZ 2006; DICKINSON 2007).

3. Eigene Untersuchung

3.1. Material und Methodik

3.1.1. Patienten

Grundlage der vorliegenden Studie waren die Krankengeschichten und Bilddokumente von 50 Hunden mit einer vermuteten Wirbelsäulenerkrankung, bei denen sowohl Röntgennativaufnahmen als auch myelographische, computertomographische und magnetresonanztomographische Bilder angefertigt worden waren.

Die klinisch-neurologische Befundung wurde von acht verschiedenen Tierärzten der Klinik und die bildgebende Befundung von sechs Tierärzten durchgeführt. Die hierbei erhobenen Diagnosen umfassen das Cauda-equina-Syndrom (n = 18), Bandscheibenvorfälle (n = 16), Tumorerkrankungen (n = 4), Plexus-brachialis-Läsionen (n = 2), Rückenmarksblutungen (n = 2), das Wobbler-Syndrom (n = 2), eine Wirbelfortsatzfraktur (n = 1), eine Diskospondylitis (n = 1) und eine degenerative Myelopathie (n = 1).

Bei weiteren drei Patienten konnte der Verdacht einer Rückenmarks- oder Wirbelsäulenerkrankung bei der bildgebenden Diagnostik nicht bestätigt werden, da kein Befund zu erheben war.

Diagnose	Anzahl (n)	Anzahl (%)
Cauda-equina-Syndrom	18	36
Bandscheibenvorfall	16	32
Tumor	4	8
Plexus-brachialis-Läsion	2	4
Rückenmarksblutung	2	4
Wobbler-Syndrom	2	4
Wirbelfortsatzfraktur	1	2
Diskospondylitis	1	2
degenerative Myelopathie	1	2
sonstiges/ kein Befund	3	6
Summe	50	100

Tabelle 3: Diagnosen des Gesamtpatientengutes.

Rasse	Alter	Gesch.	Diagnose	bildgebendes Verfahren					klin./ neurolog. Befund
				Röntgen	Myelographie	CT	Myelo-CT	MRT	
DSH	10	wk	Cauda-equina-Syndrom	1	2		3	4	schmerzhaft
Bayerischer Gebirgsschweisshund	6	m	Cauda-equina-Syndrom	1	2		3	4	schmerzhaft
DSH	7	w	Cauda-equina-Syndrom	1	2		3	4	Parese
Rottweiler	8	m	Cauda-equina-Syndrom	1	4	2	3	5	schmerzhaft
Chow Chow	3	wk	Cauda-equina-Syndrom	1	3	4	4	2	schmerzhaft
Rottweiler	11	mk	Cauda-equina-Syndrom	1	2		3	4	Parese
DSH	8	w	Cauda-equina-Syndrom	1	2		3	4	Parese
Mischling	5	m	Cauda-equina-Syndrom	1	2		3	4	Parese
DSH	2	m	Cauda-equina-Syndrom	1*	2		3	4	Parese
Mischling	11	m	Cauda-equina-Syndrom	1*	4	2	3	5	schmerzhaft
DSH	8	m	Cauda-equina-Syndrom	1*	2		3	4	Parese
Mischling	1	wk	Cauda-equina-Syndrom	1*	2		3	4	schmerzhaft
Mischling	9	m	Cauda-equina-Syndrom	1*	3	2		4	Parese
Golden Retriever	9	mk	Cauda-equina-Syndrom	1*	2		3	4	schmerzhaft
Mischling		m	Cauda-equina-Syndrom	1*	3	2		4	Parese
DSH	8	wk	Cauda-equina-Syndrom	1*	2		3	4	Parese
Französische Bulldogge	10	wk	Cauda-equina-Syndrom	1*	2		3	4	Parese
Mischling	11	m	Cauda-equina-Syndrom	1*	3	2		4**	Parese
DSH	9	m	Bandscheibenvorfall	1	2		3	4	
DSH	8	w	Bandscheibenvorfall	1	2		3	4	Parese
Labrador	8	w	Bandscheibenvorfall	1	2		3	4	Parese
Berner Sennenhund			Bandscheibenvorfall	1	4	2	3	5	Parese
Golden Retriever	4	mk	Bandscheibenvorfall	1	2		3	4	schmerzhaft

RHD	12	m	Bandscheibenvorfall	1*	4	2	3	5	Parese
Rottweiler	7	wk	Bandscheibenvorfall	1*	4	2	3	5	Parese
DSH	11	m	Bandscheibenvorfall	1*	4	2	3	5	Parese
Irischer Wolfshund	7	m	Bandscheibenvorfall	1*	2		3	4	schmerzhaft
Französische Bulldogge	11	m	Bandscheibenvorfall	1*	2		3	4	Parese
Kleiner Münsterländer	9	m	Bandscheibenvorfall	1*	4	2	3	5	
Berner Sennenhund	10	m	Bandscheibenvorfall	1*	2		3	4	Parese
DSH	13	w	Bandscheibenvorfall	1*	2		3	4**	Parese
Dachshund	11	m	Bandscheibenvorfall	1*	4	2	3	5**	Tetraparese
Dobermann	9	m	Bandscheibenvorfall	1*	4	2	3	5**	Tetraparese
RHD	6	wk	Bandscheibenvorfall	1*	2		3	4**	
Mischling	7	m	Tumor T12	1	2		3	4	
Deutsch-Drahthaar	2	w	Tumor T7 – 8	1	2		3	4	Tetraparese
Foxterrier	1	m	Tumor L5 – 7	1*	2		3	4	schmerzhaft
RHD	4	m	Tumor L3	1*	2		3	4	Parese
Mischling	3	w	Plexus-brachialis-Läsion C6 – 8	1	2		3	4	
Mischling	3	mk	Plexus-brachialis-Läsion T3 – 4	1*	2		3	4**	Parese
Yorkshire Terrier	7	m	Rückenmarksblutung T12 – 13	1*	2		3	4**	Parese
Mischling	11	m	Rückenmarksblutung C4 – 5	1*	2		3	4**	Tetraparese
Berner Sennenhund	8	m	Wobbler-Syndrom	1	2		3	4	Parese
Deutsche Dogge	1	m	Wobbler-Syndrom	1*	4	2	3	5	
DSH	9	m	Gelenkfortsatzfraktur L7 – S1	1*	3	2		4**	Parese
Mischling	4	w	Diskospondylitis	1	2		3	4	schmerzhaft
Mischling	10	mk	degenerative Myelopathie	1*	2		3	4	Parese

Dalmatiner	6	m	kein Befund C5 – T1	1*	2		3	4	
Rottweiler	6	wk	kein Befund C7 – T3	1*	2		3	4	Parese
Irish Setter	11	m	kein Befund T11 – L1	1*	2		3	4**	Parese

Tabelle 4: Übersichtstabelle der Patienten mit Rasse, Alter, Geschlecht, Diagnose, Reihenfolge der bildgebenden Verfahren und klinischem bzw. neurologischem Befund.

* digitales Röntgen

** Magnetom Symphony 1,5 Telsa

3.1.2. Studiendesign

Die Analyse der Krankheiten und Bilddokumente erfolgte retrospektiv.

3.1.1. Bildgebende Diagnostik

3.1.1.1. Röntgen

3.1.1.1.1. Nativaufnahmen

Als einleitendes bildgebendes Verfahren wurden bei allen Patienten Röntgenaufnahmen in tiefer Sedation oder Narkose angefertigt. Die Narkose wurde durch eine Kombination aus Diazepam (1mg/ kg/ KG) und Propofol (5mg/ kg/ KG) i.v. erreicht.

Als Röntgengerät stand das Gerät vom Typ Siregraph D2 der Firma Siemens (Erlangen) zur Verfügung. Die Röntgenstärke dieses Gerätes beträgt 1000 mA bei 70 kV mit einer Leistung von 70 kW. Der Hochspannungserzeuger Polymat 70 besitzt eine maximale Röhrenspannung von 150 kV bei einem maximalen Milliamperesekundenprodukt von 800. Zur Anfertigung der Aufnahmen bediente man sich einer digitalen Speicherfolienradiographie. Es wurden dabei Röntgenkassetten der Firma AGFA vom Typ ADCC HR mit wieder verwendbarer Speicherfolie [vom Typ ADCC MD plate MD40 (Code 15)] benutzt. Die gewonnenen Bilddaten wurden mit einem AGFA Drystar 300 bzw. 4500 ausgedruckt.

Bei allen Patienten wurden Bilder im latero-lateralen und ventro-dorsalen Strahlengang angefertigt. In einigen Fällen (n = 13) wurden des Weiteren Schrägaufnahmen im 45° Winkel, Stressaufnahmen (n = 35) mit einer Hyperflexion oder einer Hyperextension im latero-lateralen und konventionell im ventro-dorsalen Strahlengang angefertigt. Dabei wurde das Röntgengerät je nach Größe des Patienten eingestellt, der Film-Fokus-Abstand blieb aber unverändert bei 115 cm. Um die Streustrahlung zu vermindern wurde immer ein Streustrahlenraster verwendet.

3.1.1.1.2. Myelographie

Die Kontrastmittelapplikation für die Myelographie wurde in der Regel direkt im Anschluss an die Anfertigung des nativen Röntgenbildes ($n = 36$) bzw. in 14 Fällen im Anschluss an eine Computertomographie durchgeführt. Zur Injektion wurde routinemäßig die kraniale Punktionsstelle gewählt. Der Größe des Patienten entsprechend wurde in der Regel eine Spinalkanüle der Stärke G19 (Spinocan®, Firma Braun) eingesetzt. Der austretende Liquor wurde für eine zytologische Untersuchung aufgefangen, bevor dem Patienten das Kontrastmittel Iopamidol (Solutrast 250®, Firma Byk-Gulden) in einer Dosierung von $0,3\text{ml/ kg/ KG}$ langsam appliziert wurde. Um eine optimale Verteilung des Kontrastmittels zu gewährleisten, wurden die Patienten für einige Minuten in Schräglage mit erhöht gelagertem Kopf positioniert. Danach wurden Röntgenbilder in dem gleichen Strahlengang angefertigt, wie bereits bei den Nativaufnahmen beschrieben. Im Fall eines weitestgehenden oder völligen Stopps des Kontrastmittels ($n = 8$), wurden zusätzlich $0,3\text{ml/ kg/ KG}$ Kontrastmittel lumbal appliziert. Direkt im Anschluss wurden Bilder des betroffenen Bereiches angefertigt.

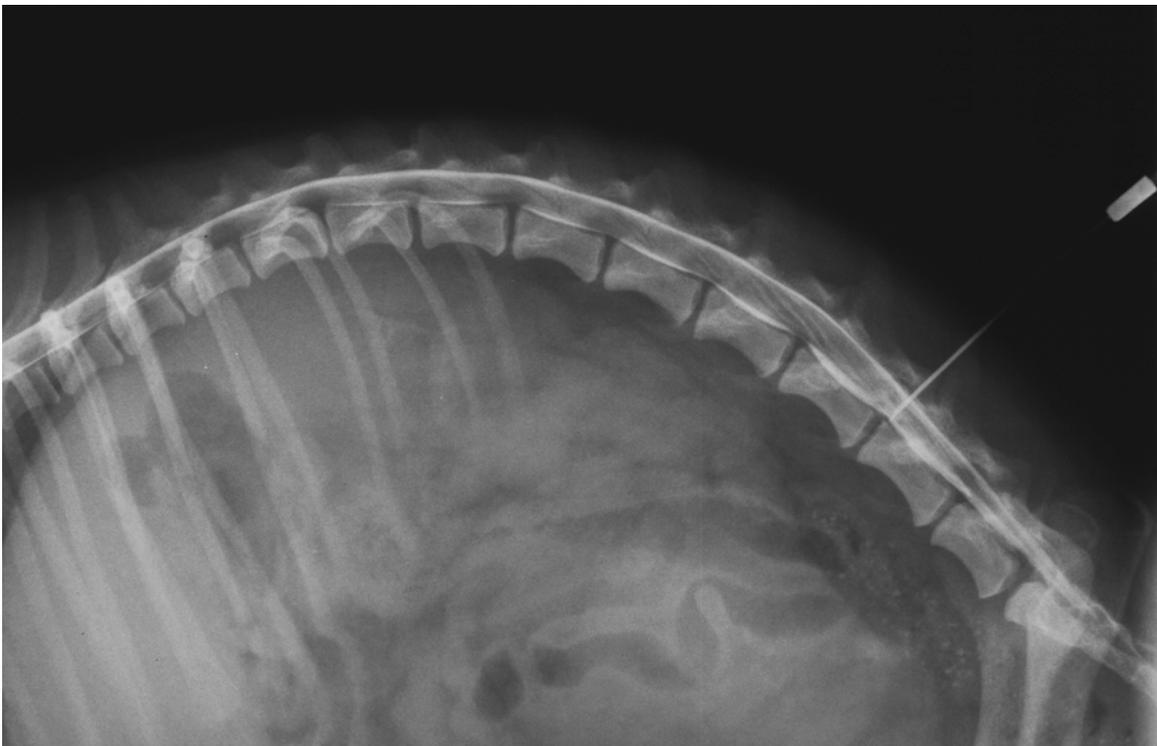


Abbildung 1: Röntgenuntersuchung – Lumbale Punktion mit anschließender Kontrastmittelinjektion.

3.1.1.2. Computertomographie

3.1.1.2.1. Nativaufnahmen

Im Anschluss an die Röntgenuntersuchung wurde der verdächtige Bereich genauer mit dem Computertomographen untersucht. Hierfür wurde ein einzeliger Spiral-CT der 3. Generation der Firma Siemens vom Typ Somatom AR. SP. (Erlangen) verwendet.

Röhrensparnungen	110 kV, 130 kV
Röhrenstrombereich	63 mA, 83mA, 103 mA
Anzahl der Projektionen/ Sekunde	500
Anzahl der Messpunkte/ Projektion	1024
Schichtdicken	1,2,3,5,10 mm
Neigungsbereich Schicht/ Vertikale	22°
Messfeld	45 cm
Gantryöffnung	60 cm
Gantryneigung	22°
Strahlenfächer	54,4°
Fokus-Detektor-Abstand	890 mm
Fokus-Drehzentrum-Abstand	510 mm

Tabelle 5: Gerätedaten SOMATOM AR. SP.

Die CT-Untersuchung wurde bei allen Patienten unter Vollnarkose durchgeführt. Zur Narkoseeinleitung wurden Diazepam (1mg/ kg/ KG) und Propofol (5mg/ kg/ KG) i.v. verwendet. Die Aufrechterhaltung der Narkose erfolgte per Inhalationsnarkose mit einem Gasgemisch aus N₂O, O₂ und Isofluran.

Unabhängig des zu untersuchenden Bereiches wurden die Patienten in Rückenlage positioniert. Eine möglichst gerade Positionierung der Patienten wurde dabei mit Hilfe von Schaumstoffkissen, Schaumstoffkeilen und Klebebändern angestrebt. Zur Orientierung wurde eine Übersichtsaufnahme mit Topogramm für den zu untersuchenden Bereich angefertigt, so dass eine fehlerhafte Lagerung gegebenenfalls korrigiert werden konnte. Danach wurde der fragliche Wirbelsäulenabschnitt parallel zu den Bandscheiben in transversaler Schnittführung gescannt. Diese parallele Projektion war durch Kippen der Gantry möglich. Des Weiteren wurden sagittale und dorsale Bilder des zu untersuchenden Bereiches rekonstruiert. Die Schichtdicken der bei 130 kV und 63 mA

angefertigten Bilder betragen 1 – 2 mm. In einigen Fällen (n = 3) wurde nach der Untersuchung eine 3D-Rekonstruktion der Wirbelkörper erstellt.

Zur Darstellung der Weichteilstrukturen wurde in der Regel mit einem Fenster der Weite 250 Hounsfield Einheiten (HU) und einem Zentrum von 50 HU gearbeitet. Um knöcherne Strukturen optimal darzustellen, wurden die Werte im Knochenfenster (W1600HU/ C – 400HU) dargestellt.

3.1.1.2.2. Myelographie

In 36 Fällen wurde die CT unmittelbar nach der Myelographie durchgeführt. In 10 Fällen wurde dagegen zunächst eine CT angefertigt, der eine Kontrastmittelapplikation und eine nochmalige CT-Untersuchung folgten.

Bei vier Hunden wurde aufgrund des eindeutigen computertomographischen Nativ-Befundes auf eine Myelo-CT verzichtet.



Abbildung 2: Spiral-CT, Typ Somatom AR. SP.

3.1.1.3. Magnetresonanztomographie

Die Magnetresonanztomographie wurde als drittes diagnostisches bildgebendes Verfahren in dieser Arbeit verwendet. Dabei wurde in den Jahren 2000 bis Dezember 2004 das Magnetom Open viva und ab Dezember 2004 das Magnetom Symphony verwendet. Beide Geräte wurden von der Firma Siemens (Erlangen) entwickelt. Bei dem Magnetom Open viva handelt es sich um ein offenes Niederfeldgerät, dessen vertikal orientiertes Magnetfeld mit einer Feldstärke von 0,2 Tesla von einem Resistivmagneten erzeugt wird. Das Magnetom Symphony ist hingegen ein geschlossenes Hochfeldgerät mit einer Feldstärke von 1,5 Tesla. Beide Geräte haben integrierte Sendespulen und eine direkt am Patienten zu platzierende Empfängerspule.

Gerät	Magnetom Open viva	Magnetom Symphony
Betriebsfeldstärke	0,2 T	1,5 T
Gradientenstärke	15 mT/ m	34mT/ m
System	offenes MRT	geschlossenes MRT

Tabelle 6: Gerätedaten der Kernspintomographen.

Äquivalent zur CT wurden alle Patienten nur in Vollnarkose einer MRT-Untersuchung unterzogen, auch hier kamen Diazepam (1mg/ kg/ KG) und Propofol (5mg/ kg/ KG) i.v. für die einleitende Narkose und Isofluran für die Narkoseerhaltung zum Einsatz.

Die Lagerung entsprach der der CT, so dass eine dorsale Lagerung bei der Diagnostik der gesamten Wirbelsäule gewählt wurde. Bei der MRT war eine exakte gerade Lagerung der Patienten ebenfalls Grundvoraussetzung für die Erstellung aussagekräftiger Bilder. Um dies zu erreichen, bediente man sich Sandsäcken, Schaumstoffkissen und Klebebändern. Ein besonderes Augenmerk musste bei der MRT auf den Inhalationstubus gelegt werden. Es durften keine Spiral-Tuben (Woodbridge) verwendet werden, da sie zur Entstehung von Artefakten beitragen und gerade bei dem Hochfeldgerät eine Verletzungsgefahr für die Patienten durch das starke Magnetfeld besteht.

Zur Orientierung wurde eine Topogramm des zu untersuchenden Bereiches in 3 Ebenen angefertigt. Wenn die Lagerung des Patienten auf den Übersichtsbildern geeignet erschien, wurde der zu untersuchende Bereich gescannt. T1- und T2-gewichtete

Transversal-, Sagittal- und Dorsalschnittbilder wurden aus den gescannten Daten angefertigt. Die Schichtdicke betrug 1 – 3 mm.



Abbildung 3: Magnetom Open Viva, 0,2 Tesla, Siemens (Erlangen).

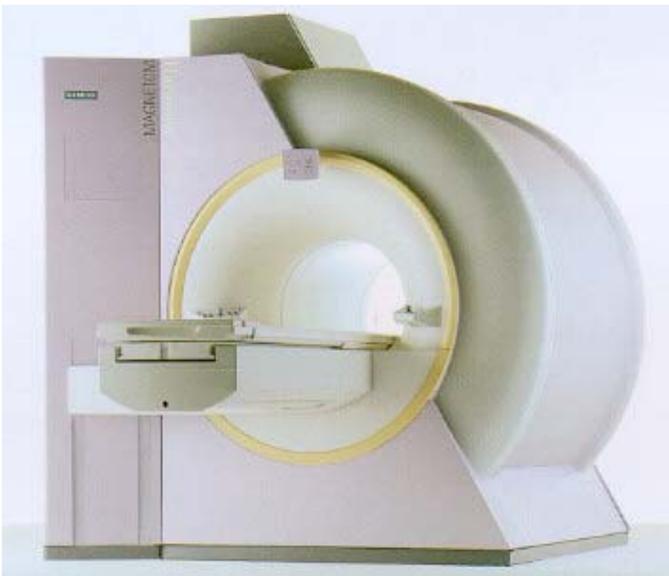


Abbildung 4: Magnetom Symphony, 1,5 Tesla, Siemens (Erlangen).

3.1.2. Bewertung der Untersuchungsverfahren

Die Auswertung der Röntgen- und Myelographiebilder erfolgte in Anlehnung an die humanmedizinischen Arbeiten von LARSSON et al. (1989) und CHRISTE et al. (2005). Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Verengung des Zwischenwirbelspaltes, Wirbelkörperveränderungen, die Höhe der Bandscheibe und die Einengung des Spinalkanals gelegt, wobei die Bewertung der Einengung des Spinalkanals ausschließlich anhand der Myelographieaufnahmen vorgenommen wurde. Die Veränderungen wurden in vier Schweregrade unterteilt.

Grad	Verengung des ZWS	Höhe der Bandscheibe	Einengung des Spinalkanals	Wirbelkörperveränderung
0	keine	normal	normal	keine
I	geringgradige bis maximal 25%ige Reduzierung des ZWS	geringgradig erhöht, bis maximal 15%	geringgradige Verengung, bis maximal 15%	minimaler ventraler Osteophyt, bis 10% des Wirbelkörpers betroffen
II	mittelgradig, 25 – 50%ige Verengung des ZWS	mittelgradig erhöht, 16 – 34%	mittelgradige Verengung, 16 – 34%	ventraler Osteophyt, bis 25% des Wirbelkörpers betroffen; bis 33%ige Sklerose der Wirbelendplatte
III	hochgradig, 50 – 75%ige Verengung des ZWS	hochgradig erhöht, 35 – 60%	hochgradige Verengung mit RM-Kompression, 35 – 60%	ventraler Osteophyt, bis 50% des Wirbelkörpers betroffen; 34 – 66%ige Sklerose des Wirbelendplatte
IV	komplett, über 75%ige Reduzierung des ZWS	höchstgradig erhöht, über 60%	kompletter Verschluss des Spinalkanals, über 60%	multiple große Osteophyten, über 50% des Wirbelkörpers betroffen; über 66%ige Sklerose der Wirbelplatte

Tabelle 7: Röntgen und myelographische Klassifizierung.

Für die Auswertung der CT- und Myelo-CT-Bilder dienten dieselben Kriterien. Darüber hinaus wurde die Struktur und Densität der Bandscheibe bewertet (LARSSON et al. 1989; CHRISTE et al. 2005). Die Einengung des Spinalkanals wurde ebenfalls ausschließlich anhand der Kontrastdarstellung im Myelo-CT-Bild bewertet.

Grad	Verengung des ZWS	Struktur	Densität der Bandscheibe	Höhe der Bandscheibe	Einengung des Spinalkanals bei Myelo-CT	Wirbelkörperveränderung
0	keine		hypodens	normal	normal	keine
I	geringgradig bis maximal 25%ige Reduzierung des ZWS		hypodens	geringgradig erhöht, bis maximal 15%	geringgradige Verengung, bis maximal 15%	minimaler ventraler Osteophyt, bis 10% des Wirbelkörpers betroffen
II	mittelgradig, 25 – 50%ige Verengung des ZWS		isodens	mittelgradig erhöht, 16 – 34%	mittelgradige Verengung, 16 – 34%	ventraler Osteophyt, bis 25% des Wirbelkörpers betroffen; bis 33%ige Sklerose der Wirbelendplatte
III	hochgradig, 50 – 75%ige Verengung des ZWS		isodens bis hyperdens	hochgradig erhöht, 35 – 60%	hochgradige Verengung mit RM-Kompression, 35 – 60%	ventraler Osteophyt, bis 50% des Wirbelkörpers betroffen; 34 – 66%ige Sklerose der Wirbelendplatte
IV	komplett, über 75%ige Reduzierung des ZWS	weiß, verkalkt	hyperdens	höchstgradig erhöht, über 60%	kompletter Verschluss des Spinalkanals, über 60%	multiple große Osteophyten, über 50% des Wirbelkörpers betroffen; über 66%ige Sklerose der Wirbelplatte

Tabelle 8: CT und Myelo-CT Klassifizierung.

Bei den MRT-Bildern wurden neben den für Röntgen, Myelographie und CT zugrunde gelegten Kriterien die Verengung des Zwischenwirbelspalt, die Höhe der Bandscheibe, die Einengung des Spinalkanals sowie die Struktur und Signalintensität der Bandscheibe beurteilt. Die Unterscheidung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus wurde in Anlehnung an die Studien von LARSSON et al. (1989) und THOMPSON et al. (1990) bewertet.

Grad	Verengung des ZWS	Struktur	Unterscheidung zw. Nucleus und Anulus	Signalintensität	Höhe der Bandscheibe	Einengung des Spinalkanals
0	keine	homogen, hell weiß	deutlich	hyperintens, isointens zum Liquor	normal	normal
I	geringgradig, bis maximal 25%ige Reduzierung des ZWS	inhomogen	deutlich	hyperintens, isointens zum Liquor	geringgradig erhöht, bis maximal 15%	geringgradige, Verengung, bis maximal 15%
II	mittelgradig, 25 – 50%ige Verengung des ZWS	inhomogen, grau	undeutlich	intermediär	mittelgradig erhöht, 16 – 34%	mittelgradige Verengung, 16 – 34%
III	hochgradig, 50 – 75%ige Verengung des ZWS	inhomogen, grau – schwarz	verloren	intermediär bis hypointens	hochgradig erhöht, 35 – 60%	hochgradige Verengung mit RM-Kompression, 35 – 60%
IV	komplett, über 75%ige Reduzierung des ZWS	inhomogen, schwarz	verloren	hypointens	höchstgradig erhöht, über 60%	kompletter Verschluss des Spinalkanals, über 60%

Tabelle 9: MRT Klassifizierung der Degeneration.

Der Begutachtung von Wirbelkörperveränderungen wurde die Einteilung nach MODIC (1988) zugrunde gelegt. Bei dieser Klassifizierung wird nicht nach Größe und Häufigkeit der Osteophyten oder nach dem Ausmaß der Endplattensklerose unterschieden, sondern nach folgendem Schema:

- 0. keinerlei ersichtliche Veränderungen
- I. inflammatorische Veränderung
- II. fettige Degeneration
- III. Sklerosierung

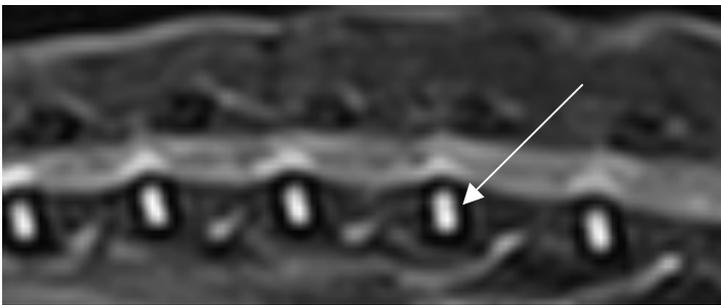


Abbildung 5: MRT (Symphony), sagittale multiplanare Rekonstruktion. T2-Wichtung.

Der Pfeil zeigt eine geringgradige fettige Degeneration der Bandscheibe.

Modic-Einteilung	T1-Wichtung	T2-Wichtung
Typ I inflammatorische Veränderungen	signalarm	signalreich
Typ II fettige Degeneration	signalreich	signalreich
Typ III Sklerosierung	intermediär bis signalarm	intermediär bis signalarm

Tabelle 10: Signalgebung der MRT-Bilder nach MODIC (1988).

Bei den Schnittbildverfahren CT und MRT wurde des Weiteren die Bandscheibenlage nach HANSEN (1952) klassifiziert:

0. normale Bandscheibe
1. Vorwölbung der Bandscheibe (Hansen Typ II)
2. Vorfall der Bandscheibe (Hansen Typ I)

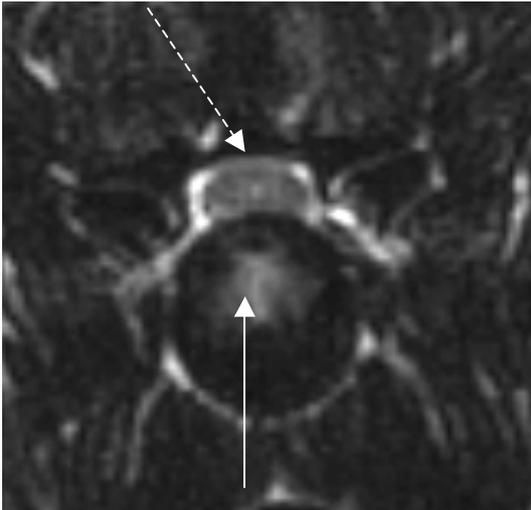


Abbildung 6: MRT, transversale Schnittführung, T2-Wichtung, Zwischenwirbelspalt C3 – 4. Das Epiduralfett zeigt sich dorsal geringgradig verdrängt/ ausgelöscht (gestrichelter Pfeil). Im ventralen Bereich ist das Epiduralfett hochgradig verdrängt, die Bandscheibe ist zentral vorgewölbt (Pfeil).

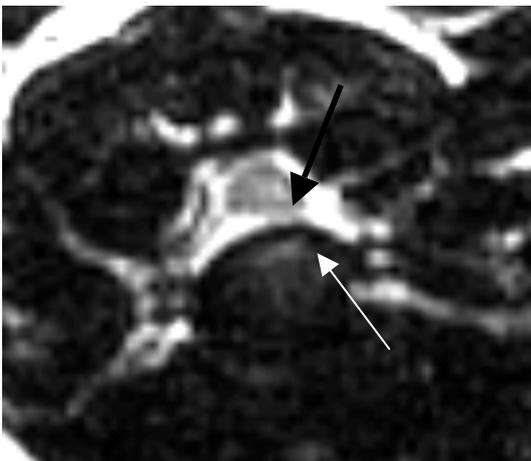


Abbildung 7: MRT, transversale Schnittführung, T2-Wichtung, Zwischenwirbelspalt C3 – 4. Das Epiduralfett stellt sich um das gesamte Rückenmark dar. Es ist eine geringgradige ventro-laterale Verdrängung (schwarzer Pfeil) und ein lateralisierter Bandscheibenvorfall zu erkennen (weißer Pfeil).

Vermessung des Zwischenwirbelspalt

Um den Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wirbelkörpern objektiv zu ermitteln, wurden zunächst die dorsalen und ventralen Begrenzungen der Extremitas cranialis et caudalis bestimmt und jeweils mit einer Linie verbunden. Dann wurde die jeweilige Mitte beider Linien als Referenzpunkt festgelegt und deren Abstand zueinander gemessen. Dieses Verfahren wurde einheitlich bei allen bildgebenden Modalitäten angewandt. Bei den konventionellen Röntgenbildern wurden Wirbelsäulenabschnitte in korrekter lateraler Position für die Messung ausgewählt. CT- und MRT-Aufnahmen wurden anhand der Bilder mit sagittaler Schnittführung in der Medianen vermessen. Dabei wurden sowohl die Darstellungen der T1- als auch der T2-Wichtung zur Auswertung herangezogen. Der für den veränderten Zwischenwirbelspalt gemessene Wert wurde schließlich den Messwerten je eines kranial und kaudal davon gelegenen Zwischenwirbelspalt gegenübergestellt und die Verengung in Bezug dazu prozentual errechnet. Lediglich beim Cauda-equina-Syndrom konnte nur der kranial zur Veränderung gelegene Zwischenwirbelspalt zum Vergleich herangezogen werden, da am Kreuzbein die Wirbel miteinander verschmolzen sind.

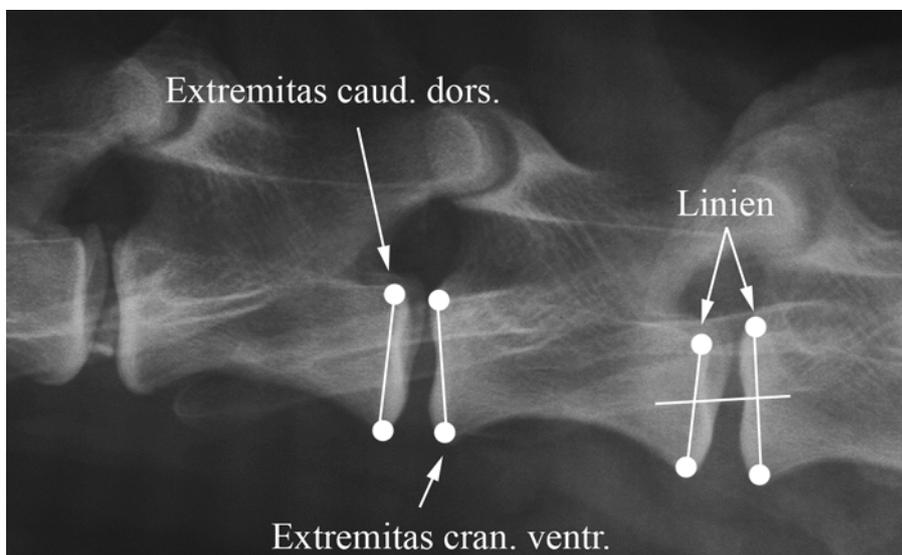


Abbildung 8: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, Vermessungspunkte.

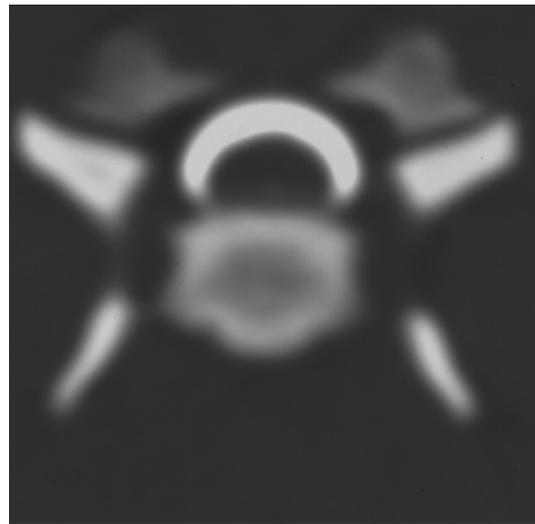
Es sind die Linien zwischen den Extremitates cran. et caud. und eine Linie zur Bemessung der dritten Distanz sichtbar.

Bestimmung der Bandscheibenhöhe

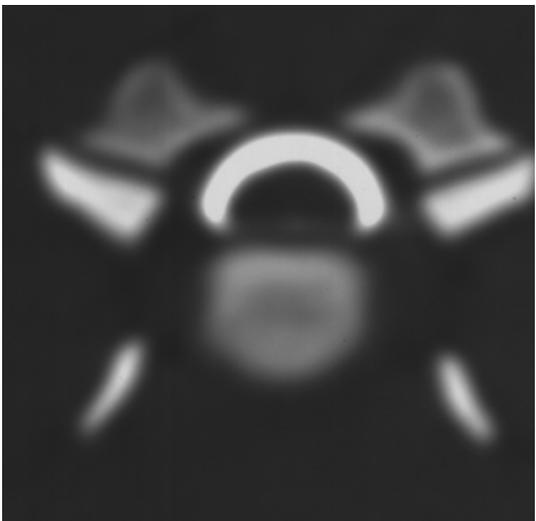
Als Maß für die Bandscheibenhöhe wurde die Distanz zwischen dem dorsalen Rand der Bandscheibe und dem höchsten Punkt des Wirbelkanals bestimmt. Für die Auswertung der konventionellen Röntgen- und Myelographieaufnahmen wurden Segmente mit korrekter latero-lateraler Projektion, möglichst im Zentralstrahl, ausgewählt. Die CT- und MRT-Bilder, vorwiegend T1-gewichtet, wurden sowohl bei sagittaler als auch bei transversaler Schnittführung jeweils in der Medianen vermessen. Eine auf diese Weise gefundene Erhöhung wurde jeweils mit der Position einer physiologischen Bandscheibe verglichen, die sich kranial und kaudal der veränderten Region befand und in Prozent ausgedrückt.



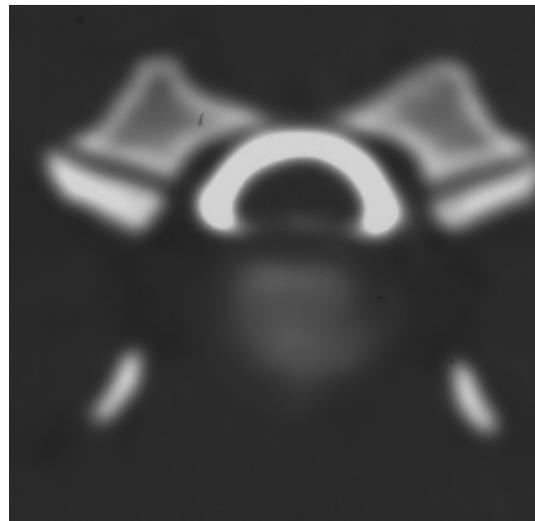
A



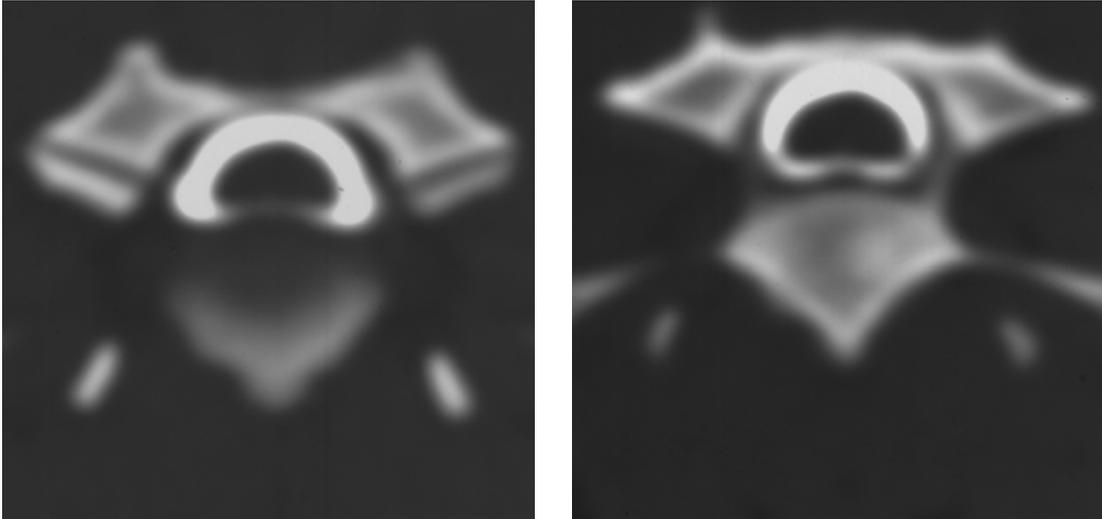
B



C



D



E

F

Abbildung 9: CT, transversale Schnittführung, Knochenfenster, kraniale Myelographie.

Darstellung der Bandscheibenhöhe und der Einengung des Spinalkanals anhand einer Bildsequenz (A - F) im Bereich des 3. – 4. Halswirbels.

A: Höhe C3: Der Kontrastmittelring stellt sich deutlich im Rückenmarkskanal dar, es ist keine Einengung des Myelogramms zu erkennen.

B: Kaudale Endplatte des 3. Halswirbels: Der Kontrastmittelring stellt sich im dorsalen Bereich deutlich dar, im ventralen Bereich ist eine Auslöschung des Kontrastmittelrings zu erkennen.

C: Zwischenwirbelbereich C3 – 4, kranialer Teil der Bandscheibe: Der Kontrastmittelring stellt sich im dorsalen Bereich deutlich dar, im ventralen Bereich ist eine Auslöschung des Kontrastmittelrings zu erkennen.

D: Zwischenwirbelbereich C3 – 4, zentraler Teil der Bandscheibe: Der Kontrastmittelring stellt sich im dorsalen Bereich deutlich dar, im ventralen Bereich ist eine Auslöschung des Kontrastmittelrings zu erkennen, die Bandscheibe ist zentral deutlich erhöht. Der Spinalkanal zeigt in diesem Bild die größte Einengung der gesamten Sequenz.

E: Zwischenwirbelbereich C3 – 4, kaudaler Teil der Bandscheibe: Der Kontrastmittelring stellt sich im dorsalen Bereich deutlich dar, im ventralen Bereich ist eine Auslöschung des Kontrastmittelrings zu erkennen. Die Einengung des Spinalkanals nimmt nun im Verhältnis zum vorherigen Bild wieder ab.

F: Höhe C4: Der Kontrastmittelring stellt sich deutlich im Rückenmarkskanal dar, ventral ist eine geringgradige Einengung des Myelogramms zu erkennen.

Bestimmung der Einengung des Spinalkanals

Einengungen des Spinalkanals wurden röntgenologisch und computertomographisch stets anhand der Myelographieaufnahmen bestimmt. Dabei wurde die Distanz zwischen dem dorsalen und ventralen Kontraststreifen gemessen und der Schweregrad der Einengung gegenüber dem kranial und kaudal davon gelegenen unveränderten Abschnitt in Prozent errechnet. Die Messung wurde auch hier an möglichst korrekt positionierten Röntgenaufnahmen bzw. den CT- und MRT-Schnitten in der Medianen durchgeführt.

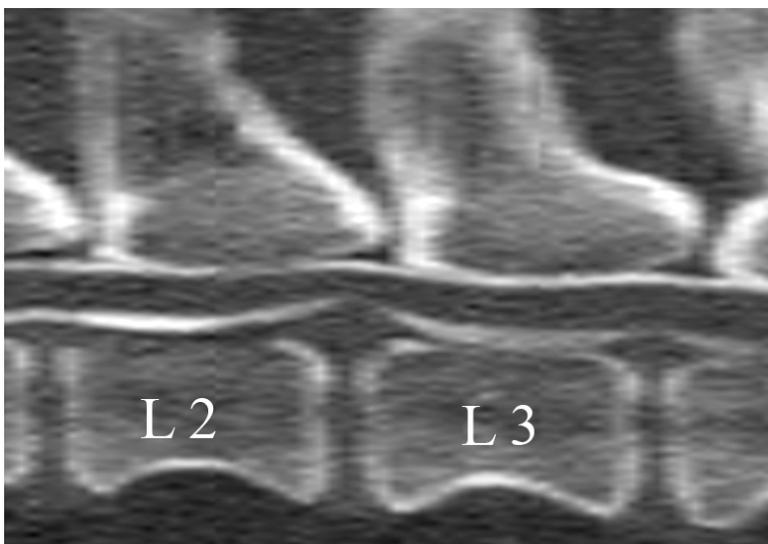


Abbildung 10: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster.
Es liegt ein Bandscheibenvorfall im Bereich L2 – 3 vor.

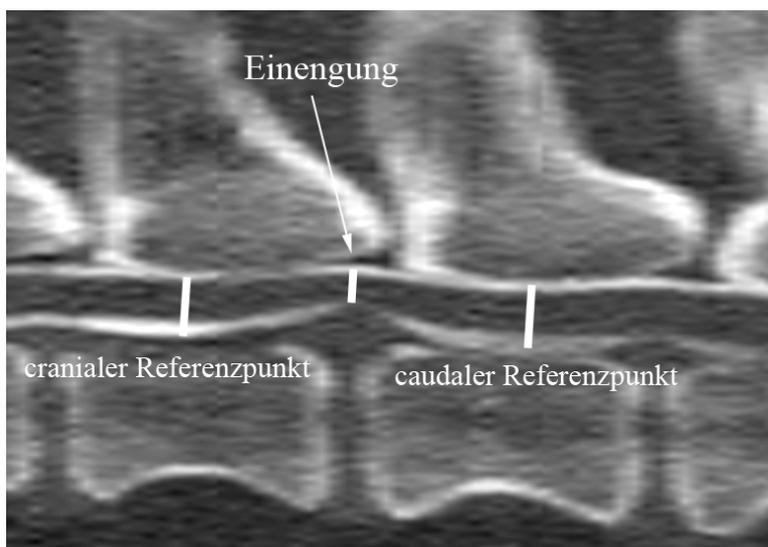


Abbildung 11: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster.
Es liegt derselbe Befund wie in Abbildung 16 vor. Die Einengung sowie der kraniale und kaudale Referenzpunkt werden dargestellt.

3.2. Statistische Auswertung

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Programm SAS 9.1, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, nach einem zuvor bestimmten Auswertungsschema der Bilder berechnet.

Neben den üblichen deskriptiven Darstellungen mit Mittelwert, Standardabweichung und Median für die quantitativen Merkmale wurden mit Häufigkeitsverteilungen die qualitativen Parameter wiedergegeben.

Mittels einer Korrelation wurden die Verengung des Zwischenwirbelspaltes, Struktur und Intensität der Bandscheibe, Höhe der Bandscheibe, Einengung des Spinalkanals und Wirbelkörperveränderungen der jeweiligen Modalitäten miteinander verglichen. Des Weiteren wurden die Parameter der bildgebenden Verfahren mit dem klinisch-neurologischen Befund der Patienten verglichen.

Für die Signifikanz wurde in dieser Studie die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Als Testverfahren wurden in Abhängigkeit vom Merkmalstyp der Chi-Quadrat-Test bzw. der t-Test verwendet.

4. Ergebnisse

4.1. Veränderungen beim Cauda-equina-Syndrom

Aus Tabelle 11 gehen die mit den verschiedenen Bildgebungsverfahren geprüften Parameter und Schweregrade ihrer Veränderungen beim Cauda-equina-Syndrom (n = 18) im Einzelnen hervor. Es hat sich gezeigt, dass mittels der Schnittbildverfahren keine Verengung des Zwischenwirbelspaltes, jedoch durch das konventionelle Röntgen bei einem Patienten eine Verengung 2. Grades dargestellt werden konnte. Bei den durch das konventionelle Röntgen und die CT beurteilten Wirbelkörperveränderungen konnten alle zuvor festgelegten Schweregrade beobachtet werden. Bei acht Fällen war dabei eine Übereinstimmung der zwei Modalitäten sichtbar. Die Betrachtung der Bandscheibenhöhe zeigte in neun Fällen einen höheren Schweregrad beim MRT. Röntgen und CT zeigten jeweils nur bei einem Patienten größere Parameter bei der Erhöhung der Bandscheiben. Bei der Einengung des Spinalkanals wurden durch die MRT im Verhältnis zu den anderen Verfahren größere Grade gemessen. Die der MRT eigene Beurteilung der Bandscheibenstruktur und die Unterscheidung des Nucleus pulposus und des Anulus fibrosus zeigte alle vier Schweregrade. Bei der im CT beurteilten Densität der Bandscheibe und bei der im MRT beurteilten Signalintensität der Bandscheibe konnten die Patienten in die ersten 3 Grade eingeteilt werden.

Patienten-Nr.	Diagnose	Untersuchungsverfahren	Verengung des ZWS	Wirbelkörperveränderungen	Höhe des Bandscheibenvorfalls	Einengung des Spinalkanals	Struktur der BS	Unterscheidung zw. Nucleus und Anulus	Signalintensität / Dichte
1	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	1	0	0			
		CT	0	2	2	2			2
		MRT	0		2	2	2	2	2
2	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT		2	1	1			2
		MRT	0		2	3	2	2	3
4	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	0	0			
		CT		4	2	1			2
		MRT			3	3	2	2	2
7	Cauda-equina-Syndrom	RTG	2	3	1	1			
		CT		2	2	1			2
		MRT	0		1	1	1	2	2
10	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT		1	1	1			1
		MRT	0		2	2	1	0	0
12	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT		1	2	1			2
		MRT	0		2	2	3	2	3
13	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	2	1			
		CT		2	1	1			2
		MRT	0		0	1	0	2	1
18	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT	0	1	0	1			1
		MRT	0		1	1	0	0	0
20	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT	0	0	1	1			1
		MRT	0		2	2	0	0	0
21	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	2	2			
		CT	0	3	2	2			2
		MRT	0		3	3	3	2	3
22	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	3	3			
		CT		1	2	2			2
		MRT	0		3	3	3	2	2

23	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	1	1			
		CT	0	2	2	2			2
		MRT	0		1	1	1	0	0
24	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	2	2			
		CT	0	2	2	2			2
		MRT	0		3	3	3	3	3
27	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	0	0			
		CT	0	2	2	3			1
		MRT	0		3	3	2	2	2
30	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	2	2			
		CT		3	2				2
		MRT	0		3	3	3	2	3
34	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	1	2			
		CT	0	2	2	2			2
		MRT	0		3	3	2	2	2
35	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	3	3			
		CT	0	3	3	3			2
		MRT	0		3	3	2	3	2
42	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	2	1			
		CT	0	3	3				2
		MRT	0		3	3	4	3	3

Tabelle 11: Auswertungstabelle der Patienten mit Cauda-equina-Syndrom.

Grad 0 = weiß, Grad 1 = hellgrau, Grad 2 = mittelgrau, Grad 3 = dunkelgrau und Grad 4 = schwarz.

4.2. Veränderungen beim Bandscheibenvorfall

Bei den Bandscheibenvorfällen (n = 16) wurde sichtbar, dass nur bei der Hälfte der Patienten eine Verengung des Zwischenwirbelspaltes messbar war. Mittels des CTs konnte in den meisten Fällen (n = 11) ein höherer Schweregrad der Wirbelkörperveränderungen im Verhältnis zum konventionellen Röntgen festgestellt werden. Bei der Höhe der Bandscheibe zeigten sich bei acht Patienten Übereinstimmungen zwischen allen Modalitäten. Die MRT stellte bei drei Patienten, die CT lediglich bei einem Patienten größere Schweregrade dar. Bei der Einengung des Spinalkanals konnten nur bei vier Patienten gleiche Parameter für alle Verfahren ermittelt werden. In fünf Fällen wurden durch die MRT stärkere Einengungen ausgemessen. Sowohl die Struktur der Bandscheibe als auch die Unterscheidung zwischen dem Nucleus pulposus und dem Anulus fibrosus zeigten alle zuvor beschriebenen Grade. Bei der Dichte bzw. der Signalgebung der Bandscheibe wurden durch die CT und MRT alle vier Schweregrade beurteilt.

Patienten-Nr.	Diagnose	Untersuchungsverfahren	Verengung des ZWS	Wirbelkörperveränderungen	Höhe des Bandscheibenvorfalls	Einengung des Spinalkanals	Struktur der BS	Unterscheidung zw. Nucleus und Anulus	Signalintensität / Dichte
3	Bandscheibenvorfall	RTG	0	1	2	1			
		CT	0	3	2	1			2
		MRT	0		2	2	2	2	2
5	Bandscheibenvorfall	RTG	0	1	0	0			
		CT		2	2	2			2
		MRT	0		3	3	3	3	3
6	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	3	3			
		CT		2	3	3	3		4
		MRT	0		3	3	3	3	3

8	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	2	1			
		CT	1	2	2	1			3
		MRT	0		2	1	2	2	2
17	Bandscheibenvorfall	RTG	0	1	1	1			
		CT	0	2	3	3			2
		MRT	0		3	3	2	2	2
25	Bandscheibenvorfall	RTG	2	1	3	3			
		CT		1	2	2			3
		MRT	0		3	3	3	3	3
26	Bandscheibenvorfall	RTG	1	0	2	2			
		CT		2	2	2			1
		MRT	1		2	2	1	0	1
28	Bandscheibenvorfall	RTG	1	1	3	3			
		CT	1	2	4	4			2
		MRT	0		3	3	2	2	2
29	Bandscheibenvorfall	RTG	1	1	1	1			
		CT							
		MRT	1		3	2	2	2	3
33	Bandscheibenvorfall	RTG	2	1	3	3			
		CT	2	2	3	4			2
		MRT	1		3	3	4	3	3
36	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	1	1			
		CT		1	2	2			2
		MRT	0		2	2	1	1	1
39	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	2	1			
		CT		1	2	1			1
		MRT	0		2	1	1	0	0
45	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	3	3			
		CT	0	1	3	3			2
		MRT	0		2	2	4	4	4
46	Bandscheibenvorfall	RTG	2	1	2	1			
		CT		0	2	1			1
		MRT	2		2	1	3	3	3
47	Bandscheibenvorfall	RTG	1	1	2	1			
		CT	1	1	2	1			2
		MRT	0		3	3	3	2	3
48	Bandscheibenvorfall	RTG	0	2	2	1			
		CT	0	1	2	2			1
		MRT			2	1	3	2	2

Tabelle 12: Auswertungstabelle der Patienten mit Bandscheibenvorfällen.

Grad 0 = weiß, Grad 1 = hellgrau, Grad 2 = mittelgrau, Grad 3 = dunkelgrau und Grad 4 = schwarz.

4.3. Veränderungen bei den sonstigen Diagnosen

Aus Tabelle 13 gehen die Parameter und Schweregrade der Patientengruppe mit sonstigen Diagnosen hervor. Es hat sich gezeigt, dass insgesamt bei fünf Patienten eine Verengung des Zwischenwirbelspaltes bemessen werden konnte. Nur bei zwei dieser fünf Patienten wurde eine Verengung bei allen Bildgebungsverfahren gefunden. Bei den Wirbelkörperveränderungen zeigte sich, dass durch die CT höhere Grade ermittelt werden konnten. Eine Höhenveränderung der Bandscheibe wurde bei neun Patienten festgestellt. Hierbei fiel auf, dass die Schnittbildverfahren und insbesondere die MRT die Höhe der Bandscheiben deutlicher darstellte. Äquivalent zu der Höhenveränderung der Bandscheibe konnten bei der Einengung des Spinalkanals durch die MRT weiter fortgeschrittene Schweregrade bemessen werden. Lediglich bei zwei Patienten zeigte das Röntgen stärkere Einengungen des Spinalkanals als sie durch die Schnittbildverfahren dargestellt werden konnten. Die Struktur der Bandscheibe wie auch die Unterscheidung zwischen dem Nucleus pulposus und dem Anulus fibrosus ließen keinerlei Veränderungen des 1. bis 3. Grades erkennen. Übereinstimmend mit der Signalgebung des Cauda-equina-Syndroms konnten bei der Patientengruppe der sonstigen Diagnosen Grad 0 – 3 ermittelt werden.

Patienten-Nr.	Diagnose	Untersuchungsverfahren	Verengung des ZWS	Wirbelkörperveränderungen	Höhe des Bandscheibenvorfalles	Einengung des Spinalkanals	Struktur der BS	Unterscheidung zw. Nucleus und Anulus	Signalintensität/ Dichte
11	Tumor T12	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	1	/	/	1
		MRT	1	/	0	1	0	0	0
15	Tumor T 7 – 8	RTG	1	0	0	0	/	/	/
		CT	0	0	0	0	/	/	1
		MRT	0	/	0	0	1	2	1
19	Tumor L5 – 7	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	0	0	0	0	/	/	1
		MRT	0	/	0	0	0	0	0
		RTG	0	0	0	4	/	/	/

		CT	/	0	0	/	/	/	1
		MRT	0	/	1	0	2	2	2
14	Plexus-brachialis-Läsion C6 – 8	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	0	/	/	0
49	Plexus-brachialis-Läsion T3 – 4	MRT	0	/	0	0	0	0	0
		RTG	3	0	1	1	/	/	/
43	Rückenmarksblutung T12 – 13	CT	/	2	2	1	/	/	2
		MRT	1	/	2	3	1	1	1
44	Rückenmarksblutung C4 – 5	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	1	/	/	2
16	Wobbler-Syndrom	MRT	0	/	0	0	1	1	2
		RTG	1	1	2	2	/	/	/
40	Wobbler-Syndrom	CT	1	2	3	3	/	/	2
		MRT	1	/	3	3	3	2	3
50	Gelenkfortsatzfraktur L7 – S1	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	0	1	1	1	/	/	/
9	Diskospondylitis	MRT	0	/	1	1	0	0	1
		RTG	0	2	3	2	/	/	/
31	degenerative Myelopathie	CT	/	2	2	1	/	/	2
		MRT	0	/	2	1	2	2	2
37	kein Befund C5 – T1	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	0	/	/	0
38	kein Befund C7 – T3	MRT	0	/	0	0	0	0	0
		RTG	1	0	0	0	/	/	/
41	kein Befund T11 – L1	CT	1	0	0	0	/	/	1
		MRT	1	/	0	0	1	1	2
41	kein Befund T11 – L1	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		MRT	0	/	1	1	3	2	3

Tabelle 13: Auswertungstabelle aller übrigen Patienten.

Grad 0 = weiß, Grad 1 = hellgrau, Grad 2 = mittelgrau, Grad 3 = dunkelgrau und Grad 4 = schwarz.

4.4. Verengung des Zwischenwirbelspaltes

4.4.1. Röntgenologische Verengung des Zwischenwirbelspaltes

Der Zwischenwirbelspalt wurde bei allen in dieser Studie aufgenommenen Patienten anhand des nativen oder myelographischen Röntgenbildes beurteilt. Dabei zeigte sich, dass bei 37 Patienten (74%) keine Verengung diagnostiziert werden konnte (Grad 0). Eine geringgradige bis maximal 25%ige Verengung des Zwischenwirbelspaltes (Grad 1) wurde bei 8 Patienten (16%) beobachtet. Vier Tiere des Patientengutes zeigten eine mittelgradige Verengung des Zwischenwirbelspaltes (Grad 2). Nur bei einem Patienten konnte mittels der Röntgenaufnahme eine hochgradige Verengung (Grad 3) diagnostiziert werden. Eine komplette Verengung des Zwischenwirbelspaltes konnte bei keinem Patienten dieser Studie beobachtet werden.

4.4.2. Computertomographische Verengung des Zwischenwirbelspaltes

Die Einengung des Zwischenwirbelspaltes konnte nur bei der Hälfte der zur Studie herangezogenen Hunde vermessen werden, da nur bei diesen Hunden eine multiplanare Rekonstruktion erstellt wurde. Davon zeigten 18 Patienten (72%) keinerlei Verengungen des Zwischenwirbelspaltes. Eine geringgradige bis maximal 25%ige Verengung des Zwischenwirbelspaltes wurde bei 6 Tieren (24%) diagnostiziert. Lediglich bei einem Patienten (4%) konnte eine mittelgradige, 25 – 50%ige Verengung des Zwischenwirbelspaltes ausgemessen werden.

4.4.3. Magnetresonanztomographische Verengung des Zwischenwirbelspaltes

Der Zwischenwirbelspalt konnte in dieser Arbeit nur an 48 der 50 MRT-Bilder des Patientengutes ausgemessen werden, da von zwei Patienten keine multiplanare Rekonstruktion erstellt wurde. Dabei zeigten 40 Patienten (83,33%) keine Verengung des Zwischenwirbelspaltes. Eine geringgradige bis maximal 25%ige Verengung des Zwischenwirbelspaltes wurde bei 7 Patienten (14,58%) diagnostiziert. Lediglich bei einem Patienten (2,08%) konnte eine mittelgradige, 25 – 50%ige Verengung des

Zwischenwirbelspaltes gemessen werden. Eine hochgradige oder gar komplette Verengung des Zwischenwirbelspaltes konnte bei keinem Patienten diagnostiziert werden.

Grad	RTG Anzahl n = 50 (%)	CT Anzahl n = 25 (%)	MRT Anzahl n = 48 (%)
0	37 (74,0)	18 (72,0)	40 (83,3)
1	8 (16,0)	6 (24,0)	7 (14,6)
2	4 (8,0)	1 (4,0)	1 (2,1)
3	1 (2,0)	0 (0)	0 (0)
4	0 (0)	0 (0)	0 (0)

Tabelle 14: Röntgenologische, computertomographische und magnetresonanztomographische Verengung des Zwischenwirbelspaltes.

Statistisch gesehen war zwischen dem konventionellen Röntgen/ bzw. der Myelographie und der CT kein signifikanter Unterschied ($p = 0,2$) erkennbar. Die MRT und CT ($p = 0,03$) wie auch die MRT und das Röntgen/ bzw. die Myelographie ($p = 0,02$) ließen jeweils einen Unterschied zwischen den Modalitäten erkennen.

4.5. Wirbelkörperveränderungen

4.5.1. Röntgenologische Wirbelkörperveränderungen

Die Wirbelkörperveränderungen wurden in dieser Studie grundsätzlich in 5 Grade eingeteilt, von denen mit Hilfe des Röntgenverfahrens allerdings nur die ersten 4 Grade diagnostiziert werden konnten. Die meisten Patienten (n = 25) hatten keinerlei röntgenologische Veränderungen der Wirbelkörper. Minimale ventrale Osteophyten (Grad 1) konnten bei 12 Patienten diagnostiziert werden. Ein deutlicher Osteophyt (Grad 2) wurde bei acht Patienten beobachtet und eine definitive Sklerose der Wirbelendplatte, einhergehend mit einem Osteophyt (Grad 3) bei fünf Patienten.

4.5.2. Computertomographische Wirbelkörperveränderungen

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, wurden auch mit Hilfe der Computertomographie die Veränderungen der Wirbelendplatten beurteilt. Keinerlei Veränderungen (Grad 0) wiesen dabei 11 der 49 zur Beurteilung der Wirbelkörperendplatten herangezogenen Patienten auf. Ein minimaler ventraler Osteophyt (Grad 1) konnte bei 13 Tieren und ein deutlicher ventraler Osteophyt (Grad 2) bei 18 Tieren diagnostiziert werden. Eine Veränderung 3. Grades wurde bei sechs Hunden wahrgenommen. Ein Patient zeigte eine Veränderung 4. Grades.

Grad	RTG Anzahl n = 50 (%)	CT Anzahl n = 49 (%)
0	25 (50,0)	11 (22,5)
1	12 (24,0)	13 (26,5)
2	8 (16,0)	18 (36,7)
3	5 (10,0)	6 (12,2)
4	0 (0)	1 (2,02)

Tabelle 15: Röntgenologische und computertomographische Wirbelkörperveränderungen.

Das konventionelle Röntgen und die CT wiesen bei der Betrachtung der Wirbelkörperveränderungen einen signifikanten Unterschied auf ($p = 0,002$).

4.5.3. Magnetresonanztomographische Wirbelkörperveränderungen

Die überwiegende Mehrheit der 50 Patienten zeigte keinerlei Wirbelkörperveränderung auf den MRT-Bildern (n = 40). Bei fünf Patienten wurde eine Sklerosierung der Wirbelkörper diagnostiziert. Drei weitere Patienten zeigten eine inflammatorische Veränderung und lediglich zwei Patienten wiesen eine fettige Degeneration auf. Die genaue Verteilung der Wirbelkörperveränderungen im Verhältnis zu den diversen Diagnosen wird in Tabelle 16 dargestellt.

Diagnose	keine Veränderung	inflammatorische Veränderung Typ I	fettige Degeneration Typ II	Sklerosierung Typ III	Anzahl (n)
Cauda-equina-Syndrom	12		2	4	18
Bandscheibenvorfall	15			1	16
Tumor	3	1			4
Plexus-brachialis-Läsion	2				2
Rückenmarksblutung	2				2
Wobbler-Syndrom	1	1			2
Wirbelfortsatzfraktur	1				1
Diskospondylitis		1			1
degenerative Myelopathie	1				1
kein Befund	3				3
Summe	40	3	2	5	50

Tabelle 16: Wirbelkörperveränderungen des MRT nach MODIC (1988).

4.6. Höhe der Bandscheibe

4.6.1. Höhe der Bandscheibe im Röntgen/ in der Myelographie

Zur Bestimmung der Bandscheibenhöhe wurde eine Einteilung in 5 Grade gewählt. Grad 0 wies keine Höhenveränderung der Bandscheibe auf und konnte bei 20 Patienten festgestellt werden. Grad 1 stellten Patienten mit einer maximal 15%igen Erhöhung der Bandscheibe (n = 8) dar. 14 Patienten zeigten eine mittelgradige Erhöhung (Grad 2). Eine hochgradig erhöhte Bandscheibe wurde bei 8 Patienten diagnostiziert.

4.6.2. Höhe der Bandscheibe in der Computertomographie

Zur Messung der Bandscheibenhöhe wurde eine der röntgenologischen Klassifizierung äquivalente Einteilung in 5 Grade gewählt. Grad 0 konnte bei 12 der 49 zur Untersuchung herangezogenen Tiere beobachtet werden. Grad 1 konnte bei vier Hunden gemessen werden. 19 weitere Patienten zeigten eine mittelgradig erhöhte Bandscheibe. Eine hochgradige Erhöhung der Bandscheibe (Grad 3) wurde bei sieben Tieren diagnostiziert. Im Gegensatz zu der röntgenologischen Klassifizierung wurde bei einem Patienten mit Hilfe des CTs ein vollständig kollabierter Bandscheibenraum diagnostiziert.

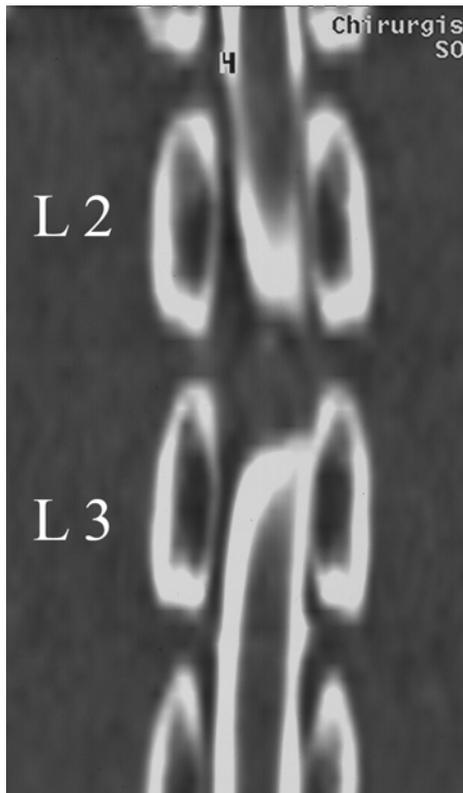


Abbildung 12: Myelo-CT, dorsale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster der Weite 1500 bei einem Zentrum von 300.

Es liegt ein Bandscheibenvorfall im Bereich L2 – 3 vor, die Bandscheibe ist höchstgradig erhöht (Grad 4).

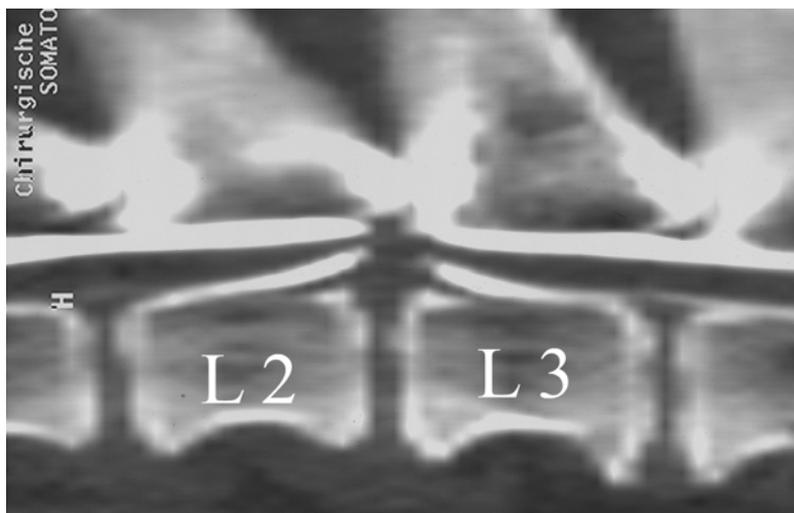


Abbildung 13: Myelo-CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster der Weite 1500 bei einem Zentrum von 300.

Es handelt sich um den gleichen Patienten wie in Abbildung 18. Es liegt ein Bandscheibenvorfall im Bereich L2 – 3 vor, die Bandscheibe ist höchstgradig erhöht (Grad 4).

4.6.3. Höhe der Bandscheibe in der Magnetresonanztomographie

Zur Ausmessung der Bandscheibenhöhe mittels MRT wurde ebenfalls die bereits in den Abschnitten des Röntgens und der Computertomographie genutzte Einteilung in 5 Grade gewählt. Grad 0 wies keinerlei Höhenveränderungen der Bandscheibe auf und wurde bei acht Tieren (16%) diagnostiziert. Sieben Hunde konnten dem 1. Grad zugeteilt werden. Als Grad 2 wurde eine mittelgradige Erhöhung definiert, die bei 17 Tieren des Patientengutes gesehen wurde. Bei 14 Patienten wurde eine hochgradige Erhöhung (Grad 3) diagnostiziert. Ein kollabierter Bandscheibenraum (Grad 4) konnte in dieser Arbeit nicht mittels MRT nachgewiesen werden.

Grad	RTG Anzahl n = 50 (%)	CT Anzahl n = 49 (%)	MRT Anzahl n = 50 (%)
0	20 (40,0)	12 (24,5)	8 (16,0)
1	8 (16,0)	4 (8,2)	7 (14,0)
2	14 (28,0)	25 (51,0)	17 (34,0)
3	8 (16,0)	7 (14,3)	18 (36,0)
4	0 (0)	1 (2,04)	0 (0)

Tabelle 17: Myelographische, myelo-computertomographische und magnetresonanztomographische Bandscheibenhöhe der Patienten.

Die Höhe der Bandscheibe zeigte bei allen Verfahren signifikante Unterschiede. So ließ sich für die Myelographie und CT ein p-Wert von $p = 0,001$ ermitteln und für die Myelographie und MRT ein p-Wert von $p = 0,0001$. Die CT und die MRT ergaben beim Vergleich zueinander einen p-Wert von $p = 0,006$.

4.7. Einengung des Spinalkanals

4.7.1. Einengung des Spinalkanals im Röntgen/ in der Myelographie

Die Grundvoraussetzung zur Beurteilung einer Einengung des Spinalkanals war eine zuvor durchgeführte Myelographie. 19 Patienten zeigten keine Einengung des Spinalkanals. Bei 16 Tieren war eine geringe Verengung und bei weiteren sieben Tieren eine mittelgradige Verengung zu beobachten. Eine hochgradige Verengung einhergehend mit einer Kompression des Rückenmarks konnte bei sieben Patienten diagnostiziert werden. Ein Patient wies einen kompletten Verschluss des Spinalkanals auf. Die oben genannten Grade werden in Tabelle 18 dargestellt.

4.7.2. Einengung des Spinalkanals in der Myelo-Computertomographie

Die Einengung des Spinalkanals wurde ebenfalls grundsätzlich in 5 Grade eingeteilt, wobei die Beobachtung eines kompletten Verschlusses des Spinalkanals (Grad 4) bei der CT nur in zwei Fällen gemessen werden konnte. In sieben Fällen wurde keine Verengung des Spinalkanals beobachtet. Die geringgradige Verengung war mit 20 Fällen die am häufigsten auftretende Verengung, gefolgt von der mittelgradigen Verengung mit einer Patientenzahl von 11 Hunden. Eine hochgradige Verengung des Spinalkanals mit Kompression des Rückenmarks wurde bei sechs Patienten diagnostiziert. Bei vier weiteren Patienten konnte retrospektiv keine Aussage über die Verengung des Spinalkanals gemacht werden.

4.7.3. Einengung des Spinalkanals in der Magnetresonanztomographie

In Anlehnung an die zuvor beschriebenen Untersuchungen wurde auch die Einengung des Spinalkanals in 5 Grade unterteilt. Bei sieben Patienten konnte keine Verengung (Grad 0) diagnostiziert werden. Eine geringgradige Verengung (Grad 1) konnte bei 14 Patienten beobachtet werden. Neun Hunde wiesen eine mittelgradige Verengung des Spinalkanals (Grad 2) auf. Die größte Gruppe mit 20 Tieren stellte allerdings Grad 3 dar, bei ihnen lag eine hochgradige Verengung mit Kompression des Rückenmarks vor. Ein kompletter Verschluss des Spinalkanals (Grad 4) wurde nicht diagnostiziert.

Grad	RTG Anzahl n = 50 (%)	CT Anzahl n = 46 (%)	MRT Anzahl n = 50 (%)
0	19 (38,0)	7 (15,2)	7 (14,0)
1	16 (32,0)	20 (43,5)	14 (28,0)
2	7 (14,0)	11 (23,9)	9 (18,0)
3	7 (14,0)	6 (13,0)	20 (40,0)
4	1 (2,0)	2 (4,3)	0 (0)

Tabelle 18: Myelographische, myelo-computertomographische und magnetresonanztomographische Einengung des Spinalkanals.

Die Einengung des Spinalkanals zeigte bei allen Verfahren signifikante Unterschiede. Zwischen der Myelographie und der CT wurde eine signifikante Differenz beobachtet ($p = 0,0004$). Ebenfalls wurden zwischen der Myelographie und der MRT ($p = 0,0001$) und der CT und der MRT ($p = 0,01$) deutliche Unterschiede ermittelt.

4.8. Struktur der Bandscheibe

Die Struktur der Bandscheibe wurde nur mittels computergestützten Verfahren beurteilt.

4.8.1. Struktur der Bandscheibe in der Computertomographie

Eine deutlich weiße, verkalkte Bandscheibe konnte nur bei einem Patienten durch die computertomographische Untersuchung beobachtet werden. Die anderen Patienten zeigten keinerlei nennenswerte Veränderungen der Bandscheibe.

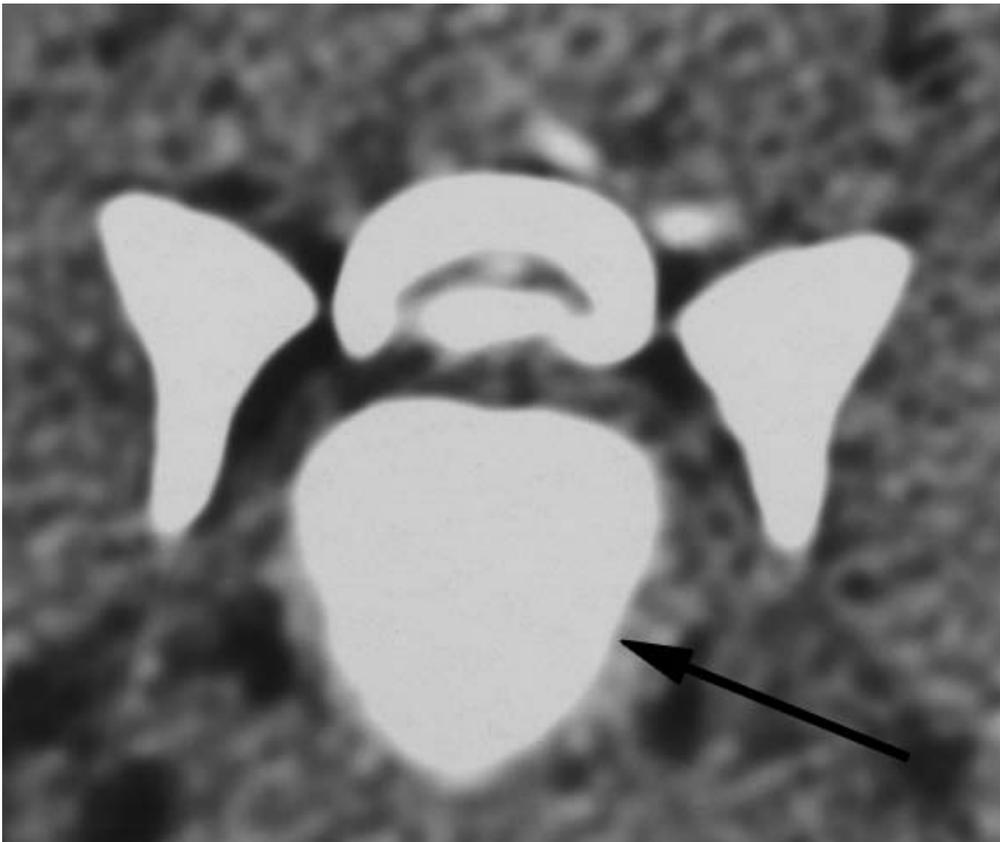


Abbildung 14: Myelo-CT, transversale Schnittführung, Weichteilfenster.
Der Pfeil stellt die weiße, verkalkte Bandscheibe dar.

4.8.2. Struktur der Bandscheibe in der Magnetresonanztomographie

Die Struktur der Bandscheibe konnte bei allen Patienten beurteilt werden. Bei acht Patienten war eine homogene, hell weiße (signalreich, hyperintens) (Grad 0) und bei 12 Hunden eine inhomogene Bandscheibe (Grad 1) zu erkennen. Bei 13 weiteren Patienten ließ sich eine inhomogene, graue Bandscheibenstruktur (Grad 2) darstellen. Eine inhomogene, grau-schwarze Bandscheibe (Grad 3) war in 14 Fällen zu sehen. Die restlichen drei Patienten wurden in Grad 4 eingeteilt. Der Übersichtlichkeit halber werden alle Werte in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Grad	Struktur	Anzahl (n)	Anzahl (%)
0	homogen, hell weiß	8	16
1	inhomogen	12	24
2	inhomogen, grau	13	26
3	inhomogen, grau-schwarz	14	28
4	inhomogen, schwarz	3	6

Tabelle 19: Magnetresonanztomographische Struktur der Bandscheiben des Patientengutes.

4.9. Unterscheidung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus

Eine Differenzierung des im Zentrum liegenden Gallertkerns, dem Nucleus pulposus und einem diesen umgebenden Faserring, dem Anulus fibrosus, wurde mittels der MRT-Bilder bei allen Patienten (n = 50) angestrebt. Bei 30% (n = 15) der Patienten war eine deutliche und bei 68% (n = 34) eine undeutliche Unterscheidung der Gewebestrukturen möglich. Demgegenüber war bei 2% der Patienten (n = 1) keinerlei Unterscheidung mehr möglich.

Grad	Anzahl (n)	Anzahl (%)
0	11	22
1	4	8
2	25	50
3	9	18
4	1	2

Tabelle 20: Magnetresonanztomographische Unterscheidung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus.

4.10. Dichte und Signalintensität der Bandscheibe

4.10.1. Dichte der Bandscheibe in der Computertomographie

Die Dichte der Bandscheibe wurde bei 49 von 50 Patienten bewertet und als hypodens (Grad 0 und 1), isodens (Grad 2), isodens bis hyperdens (Grad 3) oder als hyperdens (Grad 4) eingestuft. Gehäuft (n = 26) wurde dabei eine isodense Bandscheibe (Grad 2) diagnostiziert. Mit einer Fallzahl von 19 Patienten wurde eine hypodense Bandscheibe als zweithäufigste Dichte gesehen. Ein isodense bis hyperdense Bandscheibe (Grad 3) wurde in drei Fällen festgestellt. Bei einem Patient konnte eine hyperdense Bandscheibe diagnostiziert werden. Der Übersichtlichkeit halber soll daher auf die nachfolgende Tabelle verwiesen werden.

Grad	Anzahl (n)	Anzahl (%)
0	3	6,12
1	16	32,65
2	26	53,06
3	3	6,12
4	1	2,04

Tabelle 21: Computertomographische Dichte der Bandscheiben.

4.10.2. Signalintensität der Bandscheibe in der Magnetresonanztomographie

Bei der Signalintensität wurden alle in der Auswertungsskala beschriebenen Intensitäten beobachtet. Bei 16 Hunden konnte ein hyperintenses Signal (Grad 0 und 1) beobachtet werden. Ein gehäuftes Auftreten mit 17 Patienten (34%) wurde bei einer intermediären Signalgebung erfasst. Ein intermediäres bis hypointenses Signal (Grad 3) wurde bei 16 Patienten (32%) diagnostiziert. Ein Patient offenbarte ein deutlich hypointenses Signal (n = 1).

Grad	Anzahl (n)	Anzahl (%)
0	9	18
1	7	14
2	17	34
3	16	32
4	1	2

Tabelle 22: Magnetresonanztomographische Signalintensität der Bandscheiben.

Die Dichte der Bandscheibe beurteilt durch die CT und die Signalintensität der Bandscheibe beurteilt durch die MRT zeigten keinen signifikanten p-Wert ($p = 0,17$).

4.11. Bandscheibenlage

Die Bandscheibenlage wurde bei allen Patienten anhand der transversalen MRT- und CT-Bilder beurteilt. Dabei zeigte über die Hälfte der Patienten (n = 29) eine Vorwölbung der Bandscheiben (Hansen Typ II). Lediglich bei sieben Patienten konnte ein Bandscheibenvorfall (Hansen Typ I) diagnostiziert werden. Die restlichen Patienten (n = 14) zeigen keine in ihrer Lage veränderten Bandscheiben.

Diagnose	normale Bandscheibe	Typ I	Typ II	Anzahl (n)
Cauda-equina-Syndrom	2		16	18
Bandscheibenvorfall		5	11	16
Tumor	3		1	4
Plexus-brachialis-Läsion	1	1		2
Rückenmarksblutung	1		1	2
Wobbler-Syndrom	1	1		2
Wirbelfortsatzfraktur	1			1
Diskospondylitis	1			1
degenerative Myelopathie	1			1
kein Befund	3			3
Summe	14	7	29	50

Tabelle 23: Computertomographische und magnetresonanztomographische Lage der Bandscheiben.

4.12. Vermessung der Zwischenwirbelspalten

Im Folgenden wird näher auf die Vermessung des Zwischenwirbelspaltes eingegangen. Da das Cauda-equina-Syndrom einen Großteil der Erkrankungen dieser Studie darstellte, soll an dieser Stelle erwähnt werden, dass für diese spezielle Erkrankung keine weiter kaudal liegende Zwischenwirbelspaltenvermessung durchgeführt wurde. Aus diesem Grund erfolgte die Vermessung des kaudalen Zwischenwirbelspaltes nur bei 26 Patienten.

4.12.1. Röntgenologische Vermessung

Die Vermessung des zu beurteilenden Zwischenwirbelspaltes konnte bei allen Patienten durchgeführt werden. Dabei ergaben sich für den speziell zu untersuchenden Wirbelspalt Werte zwischen 0,14 – 1,41cm und für den kranialen und kaudalen Wirbelspalt jeweils Werte zwischen 0,25 – 0,99cm. Der Zwischenwirbelspalt des kranialen Wirbels konnte bei einem Tier und der des kaudalen Wirbels bei 24 Patienten nicht vermessen werden. Da nahezu für jedes Tier ein individueller Wert gemessen worden ist, wird an dieser Stelle auf eine Auflistung der Werte verzichtet und auf die nachfolgende Tabelle verwiesen.

4.12.2. Computertomographische Vermessung

Bei 27 Patienten konnte der zu beurteilende Zwischenwirbelspalt vermessen werden. Der kraniale Zwischenwirbelspalt wurde bei 21 Tieren und der kaudale bei neun Hunden berechnet. Für den zentralen Zwischenwirbelspalt ergaben sich dabei Werte von 0,27 – 1,27cm. Der kraniale Zwischenwirbel wies Werte zwischen 0,29 – 0,99cm und der kaudale Zwischenwirbelspalt Werte zwischen 0,23 – 0,81cm auf. Da auch mittels Computertomographie für jeden Patienten individuelle Werte ermittelt wurden, wird auch an dieser Stelle auf Tabelle 24 verwiesen.

4.12.3. Magnetresonanztomographische Vermessung

Die MRT-Vermessung des primär unter Beobachtung stehenden Zwischenwirbelspaltes konnte, wie die Vermessung des kranialen Zwischenwirbelspaltes, bei 48 von 50 Patienten durchgeführt werden. Der kaudale Zwischenwirbelspalt wurde bei 25 Tieren beurteilt. Die Messwerte ergaben hierbei Distanzen zwischen 0,31 – 1,09cm (kranialer Wirbelspalt), 0,33 – 1,53cm (primär zu beobachtender Wirbelspalt) und 0,3 – 0,99cm (kaudaler Wirbelspalt). An dieser Stelle wird ebenfalls auf Tabelle 24 verwiesen.

Bei den absoluten gemessenen Distanzen der Zwischenwirbelspalte in Millimetern, zeigte das konventionelle Röntgen im Vergleich zur Computer- und Magnetresonanztomographie die größten Werte. Dies ist dadurch begründet, dass es aufgrund des Abstandes der Wirbelsäule zur Röntgenkassette zu einer Magnifikation bzw. geometrischen Vergrößerung auf der Röntgenkassette kommt.

In der nachfolgenden Tabelle werden die jeweiligen Distanzen in Zentimetern der unter betracht stehenden Zwischenwirbelspalte der verschiedenen Modalitäten gegenüberstellend dargestellt. Im Anhang werden nochmals die Verteilungen der gemessenen Distanzen aller Zwischenwirbelspalte dargestellt. An dieser Stelle wird auf die Tabellen 26 – 34 verwiesen.

Patienten-Nr.	Diagnose	Rasse	ZWS-Verengung im RTG	ZWS-Verengung im CT	ZWS-Verengung im MRT
1	Cauda-equina-Syndrom	DSH	1,08	0,70	1,38
2	Cauda-equina-Syndrom	Bayerischer Gebirgsschweisshund	0,97		0,99
3	Bandscheibenvorfall	DSH	1,27	1,02	1,32
4	Cauda-equina-Syndrom	DSH	1,18		
5	Bandscheibenvorfall	DSH	1,11		0,98
6	Bandscheibenvorfall	Labrador	0,93		0,84
7	Cauda-equina-Syndrom	Rottweiler	0,61		1,03
8	Bandscheibenvorfall	Berner Sennenhund	1,00		0,56

9	Diskospondylitis	Mischling	0,97	0,68	0,88
10	Cauda-equina-Syndrom	Chow Chow	0,84		0,81
11	Tumor T12	Mischling	0,62		0,74
12	Cauda-equina-Syndrom	Rottweiler	1,29		1,30
13	Cauda-equina-Syndrom	DSH	1,03		1,06
14	Plexus-brachialis-Läsion C6 – 8	Mischling	0,78		0,76
15	Tumor T 7 – 8	Deutsch-Drahthaar	0,37	0,37	0,51
16	Wobbler-Syndrom	Berner Sennenhund	0,69	0,59	0,57
17	Bandscheibenvorfall	Golden Retriever	1,18	0,90	1,17
18	Cauda-equina-Syndrom	Mischling	1,13	0,89	1,09
19	Tumor L5 – 7	Foxterrier	0,80	0,43	0,67
20	Cauda-equina-Syndrom	DSH	0,97	0,80	1,10
21	Cauda-equina-Syndrom	Mischling	0,88	0,63	0,89
22	Cauda-equina-Syndrom	DSH	1,19		1,20
23	Cauda-equina-Syndrom	Mischling	1,05	0,86	1,12
24	Cauda-equina-Syndrom	Mischling	1,16	1,21	1,31
25	Bandscheibenvorfall	RHD	0,42		0,65
26	Bandscheibenvorfall	Rottweiler	0,85	0,58	0,87
27	Cauda-equina-Syndrom	Golden Retriever	1,18	0,99	1,25
28	Bandscheibenvorfall	DSH	0,72	0,60	0,99
29	Bandscheibenvorfall	Irischer Wolfshund	0,90		0,90
30	Cauda-equina-Syndrom	Mischling	1,41		1,53
31	degenerative Myelopathie	Mischling	1,19		1,25
32	Tumor L3	RHD	0,51		0,61
33	Bandscheibenvorfall	Französische Bulldogge	0,55	0,43	0,83
34	Cauda-equina-Syndrom	DSH	1,31	1,27	1,12
35	Cauda-equina-Syndrom	Französische Bulldogge	1,09	1,23	1,26
36	Bandscheibenvorfall	Kleiner Münsterländer	0,61	0,40	0,65
37	kein Befund C5 – T1	Dalmatiner	0,88		0,76

38	kein Befund C7 – T3	Rottweiler	0,56	0,28	0,57
39	Bandscheibenvorfall	Berner Sennenhund	1,02		0,82
40	Wobbler-Syndrom	Deutsche Dogge	1,07		0,95
41	kein Befund T11 – L1	Irish Setter	0,66		0,78
42	Cauda-equina- Syndrom	Mischling	0,89	0,53	1,12
43	Rückenmarksblutung T12 – 13	Yorkshire Terrier	0,28	0,27	0,33
44	Rückenmarksblutung C4 – 5	Mischling	0,57		0,54
45	Bandscheibenvorfall	DSH	0,87	0,68	0,70
46	Bandscheibenvorfall	Dachshund	0,49	0,31	0,41
47	Bandscheibenvorfall	Dobermann	0,82	0,72	0,76
48	Bandscheibenvorfall	RHD	0,60	0,53	
49	Plexus-brachialis- Läsion T3 – 4	Mischling	0,14		0,44
50	Gelenkfortsatzfraktur L7 – S1	DSH	1,26	1,10	1,36

Tabelle 24: Distanzen (cm) der Verengung der Zwischenwirbelspalten aller Patienten und Modalitäten.

4.13. Zusammenfassung der Ergebnisse

Im diesem Abschnitt werden nun nochmals alle bereits erwähnten Ergebnisse in der nachfolgenden Tabelle chronologisch aufgelistet.

Patienten-Nr.	Diagnose	Untersuchungsverfahren	Verengung des ZWS	Wirbelkörperveränderungen	Höhe des Bandscheibenvorfalls	Einengung des Spinalkanals	Struktur der BS	Unterscheidung zw. Nucleus und Anulus	Signalintensität / Dichte
1	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	1	0	0	/	/	/
		CT	0	2	2	2	/	/	2
		MRT	0	/	2	2	2	2	2
2	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	2	1	1	/	/	2
		MRT	0	/	2	3	2	2	3
3	Bandscheibenvorfall	RTG	0	1	2	1	/	/	/
		CT	0	3	2	1	/	/	2
		MRT	0	/	2	2	2	2	2
4	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	0	0	/	/	/
		CT	/	4	2	1	/	/	2
		MRT	/	/	3	3	2	2	2
5	Bandscheibenvorfall	RTG	0	1	0	0	/	/	/
		CT	/	2	2	2	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	3	3	3
6	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	3	3	/	/	/
		CT	/	2	3	3	3	/	4
		MRT	0	/	3	3	3	3	3

7	Cauda-equina-Syndrom	RTG	2	3	1	1			
		CT		2	2	1			2
		MRT	0		1	1	1	2	2
8	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	2	1			
		CT	1	2	2	1			3
		MRT	0		2	1	2	2	2
9	Diskospondylitis	RTG	0	0	0	0			
		CT	0	1	0	0			1
		MRT	0		1	1	0	0	1
10	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT		1	1	1			1
		MRT	0		2	2	1	0	0
11	Tumor T12	RTG	0	0	0	0			
		CT		0	0	1			1
		MRT	1		0	1	0	0	0
12	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT		1	2	1			2
		MRT	0		2	2	3	2	3
13	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	2	1			
		CT		2	1	1			2
		MRT	0		0	1	0	2	1
14	Plexus-brachialis-Läsion C6 – 8	RTG	0	0	0	0			
		CT		0	0	0			0
		MRT	0		0	0	0	0	0
15	Tumor T 7 – 8	RTG	1	0	0	0			
		CT	0	0	0	0			1
		MRT	0		0	0	1	2	1
16	Wobbler-Syndrom	RTG	1	1	2	2			
		CT	1	2	3	3			2
		MRT	1		3	3	3	2	3
17	Bandscheibenvorfall	RTG	0	1	1	1			
		CT	0	2	3	3			2
		MRT	0		3	3	2	2	2
18	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT	0	1	0	1			1
		MRT	0		1	1	0	0	0
19	Tumor L5 – 7	RTG	0	0	0	0			
		CT	0	0	0	0			1
		MRT	0		0	0	0	0	0
20	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	0	0			
		CT	0	0	1	1			1
		MRT	0		2	2	0	0	0
21	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	2	2			
		CT	0	3	2	2			2
		MRT	0		3	3	3	2	3
22	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	0	3	3			
		CT		1	2	2			2
		MRT	0		3	3	3	2	2
23	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	1	1			
		CT	0	2	2	2			2
		MRT	0		1	1	1	0	0

24	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	2	2	/	/	/
		CT	0	2	2	2	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	3	3	3
25	Bandscheibenvorfall	RTG	2	1	3	3	/	/	/
		CT	/	1	2	2	/	/	3
		MRT	0	/	3	3	3	3	3
26	Bandscheibenvorfall	RTG	1	0	2	2	/	/	/
		CT	/	2	2	2	/	/	1
		MRT	1	/	2	2	1	0	1
27	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	0	0	/	/	/
		CT	0	2	2	3	/	/	1
		MRT	0	/	3	3	2	2	2
28	Bandscheibenvorfall	RTG	1	1	3	3	/	/	/
		CT	1	2	4	4	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	2	2	2
29	Bandscheibenvorfall	RTG	1	1	1	1	/	/	/
		CT	/	/	/	/	/	/	/
		MRT	1	/	3	2	2	2	3
30	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	2	2	/	/	/
		CT	/	3	2	/	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	3	2	3
31	degenerative Myelopathie	RTG	0	2	3	2	/	/	/
		CT	/	2	2	1	/	/	2
		MRT	0	/	2	1	2	2	2
32	Tumor L3	RTG	0	0	0	4	/	/	/
		CT	/	0	0	/	/	/	1
		MRT	0	/	1	0	2	2	2
33	Bandscheibenvorfall	RTG	2	1	3	3	/	/	/
		CT	2	2	3	4	/	/	2
		MRT	1	/	3	3	4	3	3
34	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	2	1	2	/	/	/
		CT	0	2	2	2	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	2	2	2
35	Cauda-equina-Syndrom	RTG	0	3	3	3	/	/	/
		CT	0	3	3	3	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	2	3	2
36	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	1	1	/	/	/
		CT	/	1	2	2	/	/	2
		MRT	0	/	2	2	1	1	1
37	kein Befund C5 – T1	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	0	/	/	0
		MRT	0	/	0	0	0	0	0
38	kein Befund C7 – T3	RTG	1	0	0	0	/	/	/
		CT	1	0	0	0	/	/	1
		MRT	1	/	0	0	1	1	2
39	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	2	1	/	/	/
		CT	/	1	2	1	/	/	1
		MRT	0	/	2	1	1	0	0
40	Wobbler-Syndrom	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	1	/	/	0
		MRT	0	/	1	1	1	2	1

41	kein Befund T11 – L1	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	1	0	0	/	/	1
		MRT	0	/	1	1	3	2	3
42	Cauda-equina- Syndrom	RTG	0	3	2	1	/	/	/
		CT	0	3	3	/	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	4	3	3
43	Rückenmarksblutung T12 – 13	RTG	0	0	2	1	/	/	/
		CT	0	1	2	1	/	/	1
		MRT	0	/	2	1	1	2	2
44	Rückenmarksblutung C4 – 5	RTG	0	0	0	0	/	/	/
		CT	/	0	0	1	/	/	2
		MRT	0	/	0	0	1	1	2
45	Bandscheibenvorfall	RTG	0	0	3	3	/	/	/
		CT	0	1	3	3	/	/	2
		MRT	0	/	2	2	4	4	4
46	Bandscheibenvorfall	RTG	2	1	2	1	/	/	/
		CT	/	0	2	1	/	/	1
		MRT	2	/	2	1	3	3	3
47	Bandscheibenvorfall	RTG	1	1	2	1	/	/	/
		CT	1	1	2	1	/	/	2
		MRT	0	/	3	3	3	2	3
48	Bandscheibenvorfall	RTG	0	2	2	1	/	/	/
		CT	0	1	2	2	/	/	1
		MRT	/	/	2	1	3	2	2
49	Plexus-brachialis- Läsion T3 – 4	RTG	3	0	1	1	/	/	/
		CT	/	2	2	1	/	/	2
		MRT	1	/	2	3	1	1	1
50	Gelenkfortsatzfraktur L7 – S1	RTG	0	1	1	1	/	/	/
		CT	0	2	2	1	/	/	3
		MRT	0	/	2	2	3	3	3

Tabelle 25: Auswertung aller Patienten.

Grad 0 = weiß, Grad 1 = hellgrau, Grad 2 = mittelgrau, Grad 3 = dunkelgrau und Grad 4 = schwarz.

4.14. Ausgewählte Fälle

Auf den folgenden Seiten werden einige ausgewählte Fälle dargestellt:

1. Fall: Foxterrier, m, 2 Jahre,
Vorstellungsgrund: Probleme beim Aufstehen, ggr. aufgekrümmter Rücken, TCR hyporeflektisch, PSR hyperreflektisch, restlichen Reflexe o.b.B.
Diagnose: Intradurale Raumforderung L5 - 7

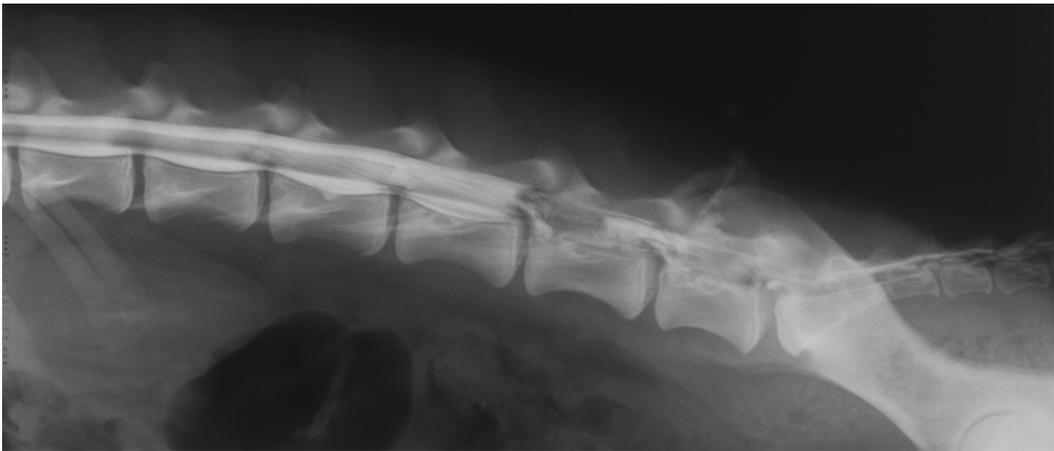


Abbildung 15: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kraniale und kaudale Myelographie.
Kranial von L6 ist die subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels sichtbar, kaudal von L6 kommt es zu einer epiduralen Verteilung des Kontrastmittels. Im Bereich von L5 – 6 liegt eine Kontrastmittelaussparung vor.

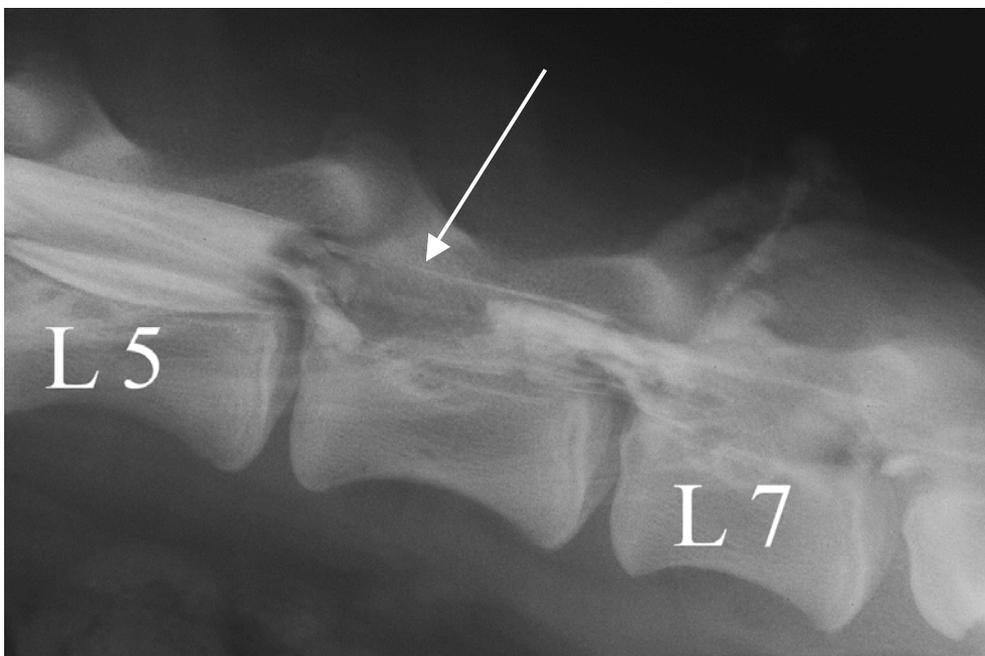


Abbildung 16: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, Vergrößerung von Abbildung 15, kraniale und kaudale Myelographie.
Kranial von L6 ist die subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels sichtbar, kaudal von L6 kommt es zu einer epiduralen Verteilung des Kontrastmittels. Im Bereich von L5 – 6 liegt eine Kontrastmittelaussparung vor (Pfeil).



Abbildung 17: Röntgen, ventro-dorsaler Strahlengang, kraniale Myelographie.

Kranial von L6 ist die subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels sichtbar, ab L6 kommt es zu einem Stopp der Kontrastmittelsäule.

Radiologischer Befund: Intradurale Raumforderung L5 – 7.

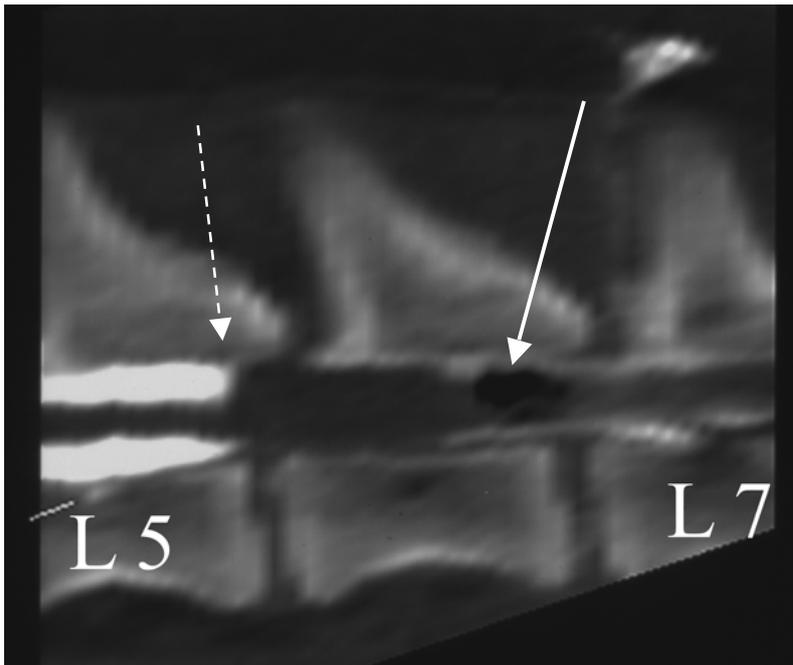


Abbildung 18: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster, kraniale und kaudale Myelographie.

Kranial von L6 ist die subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels sichtbar (gestrichelter Pfeil). Kaudal von L6 ist die epidurale Verteilung des Kontrastmittels sichtbar. Im Bereich von L5 – 6 liegt eine Kontrastmittelaussparung vor. Intradural ist eine ovale, hypodense Struktur im kaudalen Bereich von L6 (Pfeil) erkennbar.

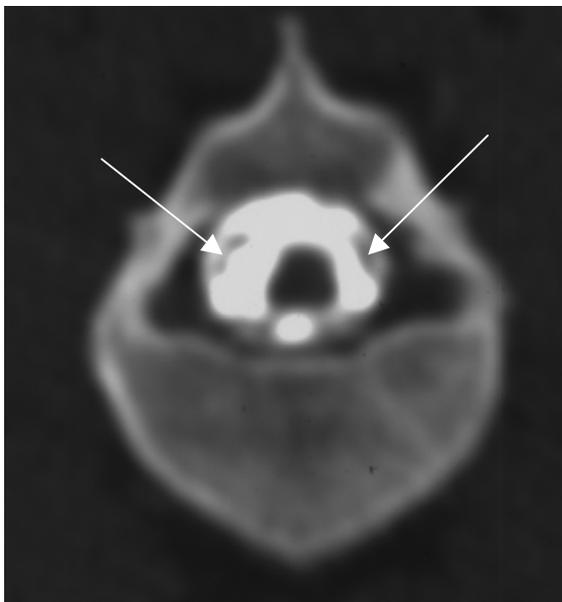


Abbildung 19

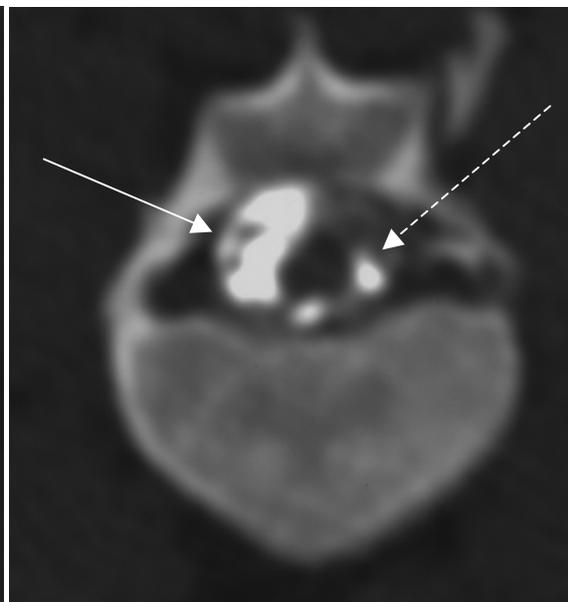


Abbildung 20

Abbildung 19: CT, transversale Schnittführung in Höhe L5, Knochenfenster.

Das Kontrastmittel verteilt sich asymmetrisch. Der Austritt der Cauda equina Fasern ist sichtbar (Pfeile).

Abbildung 20: CT, transversale Schnittführung in Höhe L5, Knochenfenster.

Das Kontrastmittel verteilt sich asymmetrisch. Rechts ist der Austritt der Cauda equina Fasern zu erkennen (Pfeil), links liegt im latero-dorsalen Bereich eine Kontrastmittelaussparung vor (gestrichelter Pfeil).

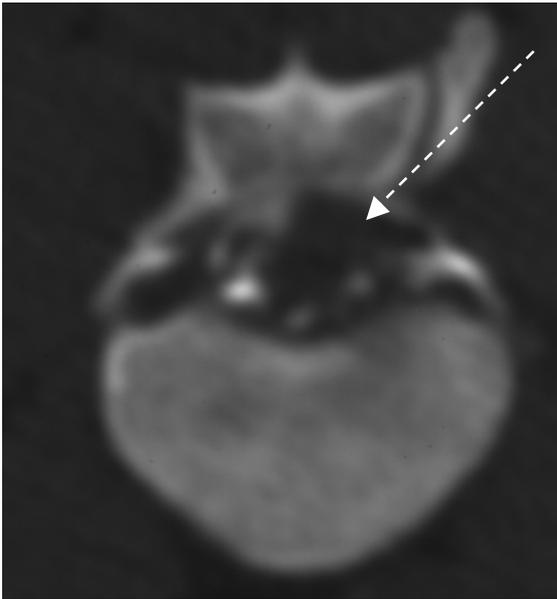


Abbildung 21: CT, transversale Schnittführung in Höhe L6, Knochenfenster.
Eine nahezu völlige Kontrastmittelaussparung weist auf einen diffusen Prozess hin (gestrichelter Pfeil).

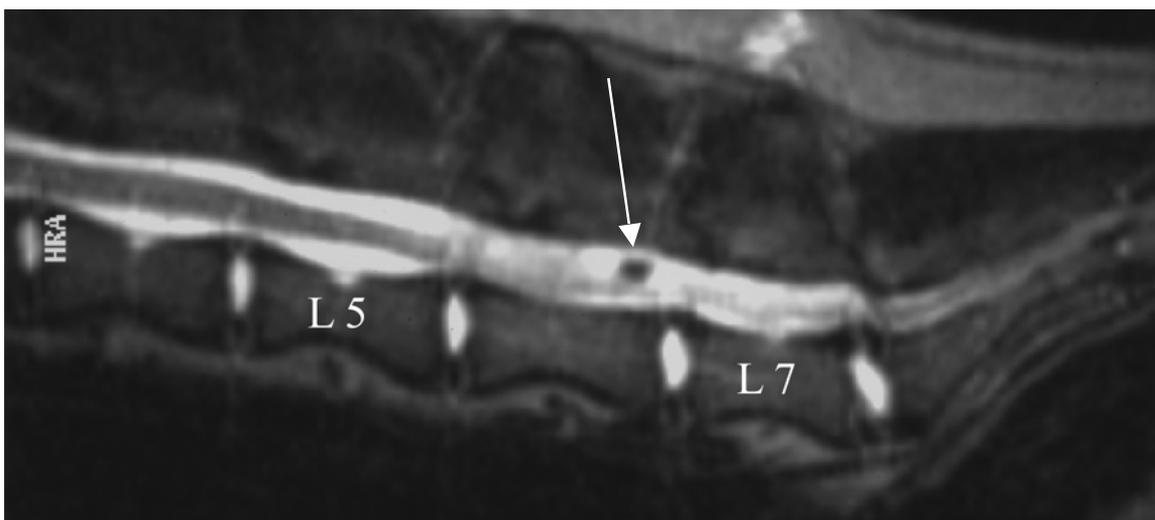


Abbildung 22: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T2-Wichtung.
Die Bandscheiben stellen sich signalreich dar. Kranial von L6 stellt sich Epiduralfett deutlich dar, ab L6 kommt es zu einer Signalveränderung des Rückenmarks (Pfeil). Dorsal im Rückenmark zeigt sich auf Höhe von L6 eine signallose Struktur (Gas).

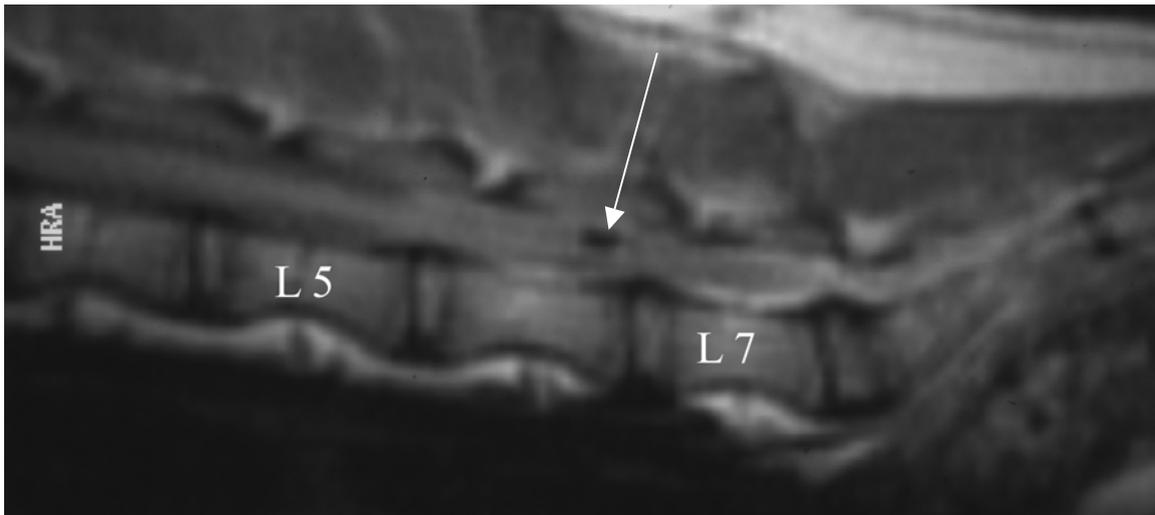


Abbildung 23: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung.

Die Bandscheiben stellen sich signalreich dar, es liegt eine geringgradige Erhöhung der Bandscheiben zwischen L5 – 6, L6 – 7 und L7 – S1 vor. Dorsal im Rückenmark zeigt sich auf Höhe von L6 eine signallose Struktur (Gas, Pfeil).



Abbildung 24: MRT, dorsale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung, nach Kontrastmittelgabe.

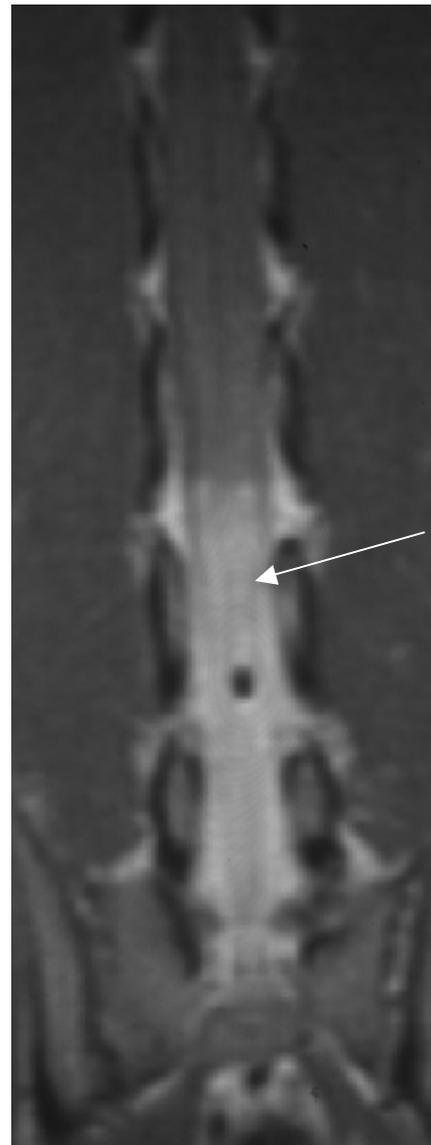


Abbildung 25: Vergrößerung der Abbildung 24.

Es ist eine diffuse Kontrastmittelanreicherung im Bereich von L6 – 7 (Pfeil) und eine signallose Struktur (Gas) lateralisiert im Rückenmark auf Höhe von L6 sichtbar.

Radiologischer Befund: Diffuser Prozess.



Abbildung 26: MRT, transversale Schnittführung L5, T1-Wichtung.

Es ist eine leicht lateralisierte signallose Struktur (Gas, Pfeil) dorsal im Rückenmark sichtbar. Das Rückenmark selbst weist eine diffuse Struktur auf.

Radiologischer Befund: Diffuser Prozess.

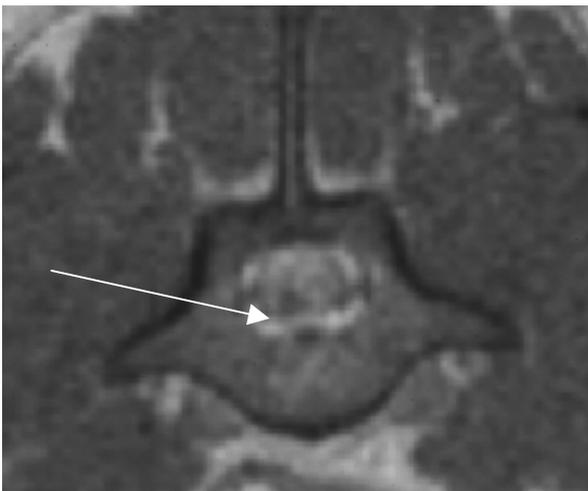


Abbildung 27: MRT, transversale Schnittführung L6, T1-Wichtung, nach Kontrastmittelgabe.

Intradural ist eine fleckige Kontrastmittelmittelanreicherung sichtbar (Pfeil).

2. Fall: Mischling, m, 7 Jahre,
Vorstellungsgrund: Probleme beim Aufstehen, ggr. aufgekrümmter Rücken, TCR
hyporeflektisch, PSR hyperreflektisch, restlichen Reflexe o.b.B.
Diagnose: Rückenmarkstumor T 12

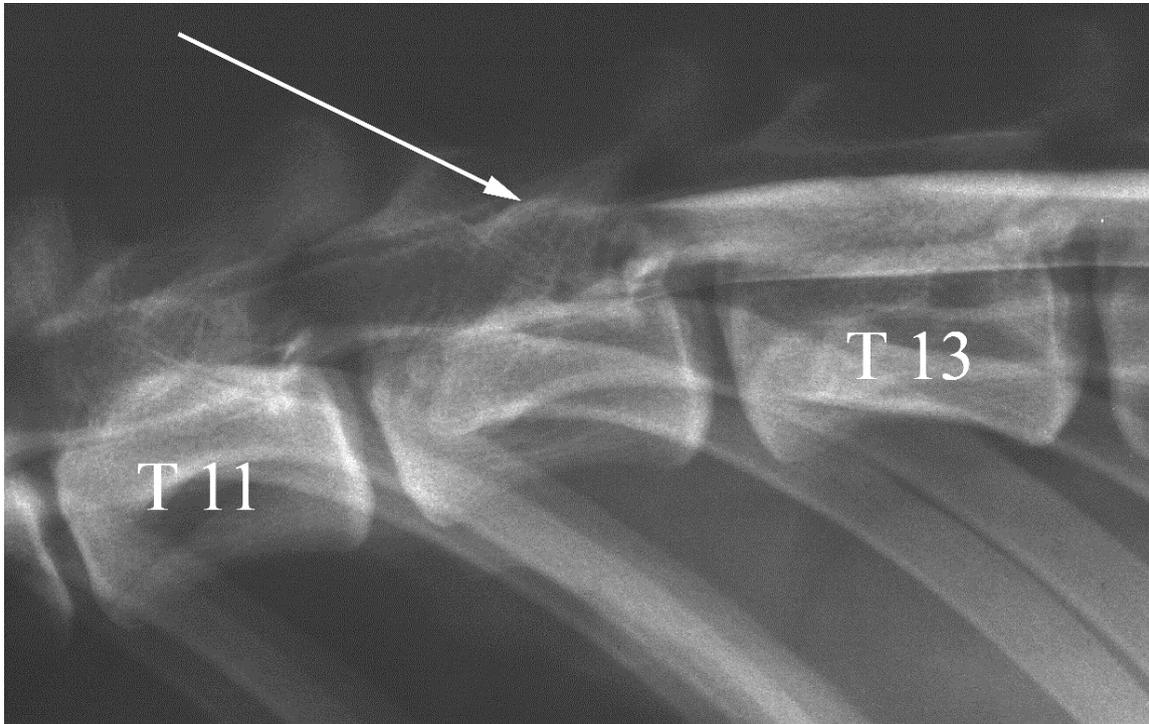


Abbildung 28: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kaudale Myelographie.

Kaudal von T12 liegt eine subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels vor. In Höhe von T12 kommt es zu einer Verdrängung der Kontrastmittelsäule nach dorsal und einem Stopp der Kontrastmittelsäule nach kranial (Prozess wird durch den Pfeil dargestellt).

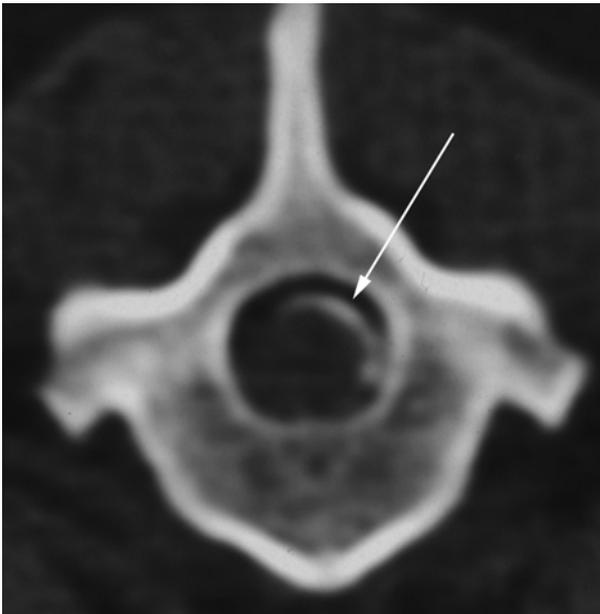


Abbildung 29

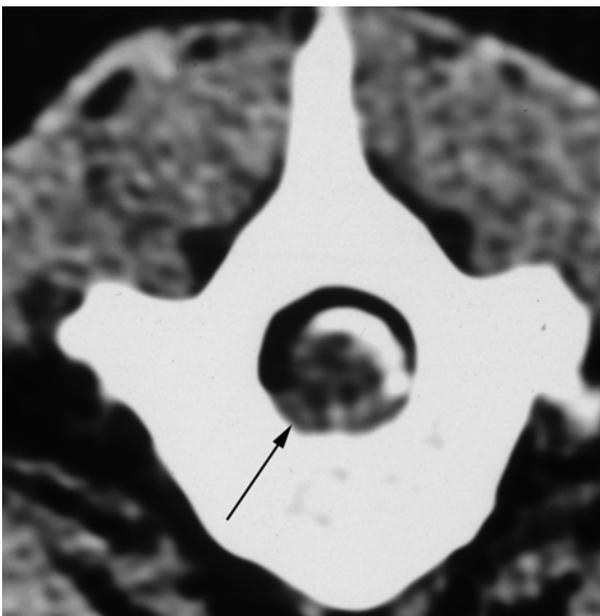


Abbildung 30

Abbildung 29: Myelo-CT, transversale Schnittführung T12, Knochenfenster.

Die Abbildung zeigt eine latero-dorsale Verdrängung der Kontrastmittelsäule (weißer Pfeil) mit latero-ventraler Auslöschung des Myelogramms.

Abbildung 30: Myelo-CT, transversale Schnittführung T12, Weichteilfenster.

Es liegt eine latero-ventrale Verdrängung der Kontrastmittelsäule mit Auslöschung des Myelogramms vor, latero-ventral ist ein diffuser Prozess zu sehen (Pfeil).

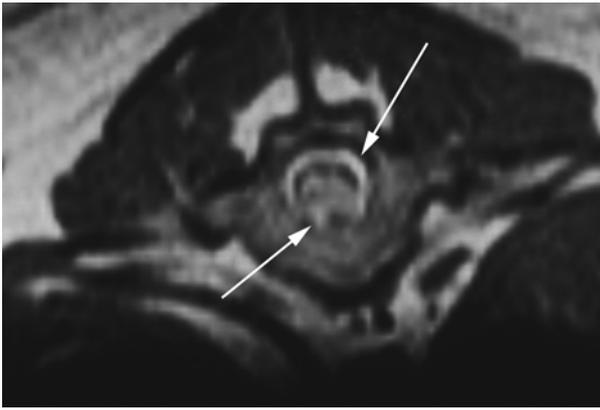


Abbildung 31: MRT, transversale Schnittführung in Höhe von T12, T1-Wichtung nach Kontrastmittelinjektion.

Das Epiduralfett stellt sich dorsal deutlich dar (oberer Pfeil), latero-ventral liegt eine Kontrastmittelanreicherung im Bereich des Rückenmarks vor (Pfeil).

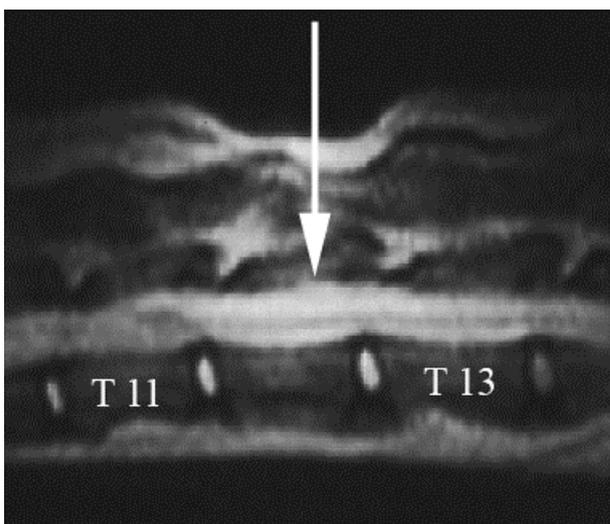


Abbildung 32: MRT, sagittale MPR, T2-Wichtung.

Die Bandscheiben stellen sich signalreich dar. Es liegt eine Signalveränderung des Rückenmarks in Höhe des 12. thorakalen Wirbels vor (Pfeil).

3. Fall: Mischling, m, 11 Jahre,
Vorstellungsgrund: seit einer Woche Lahmheit hinten links, spinale Reflexe hyporeflektisch
Diagnose: Cauda equina-Syndrom

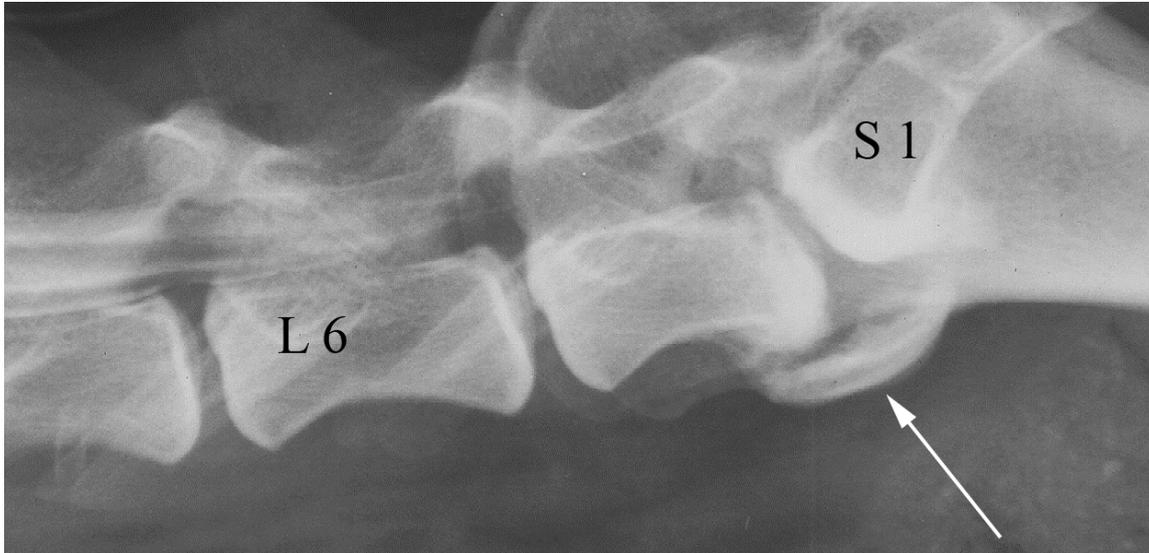
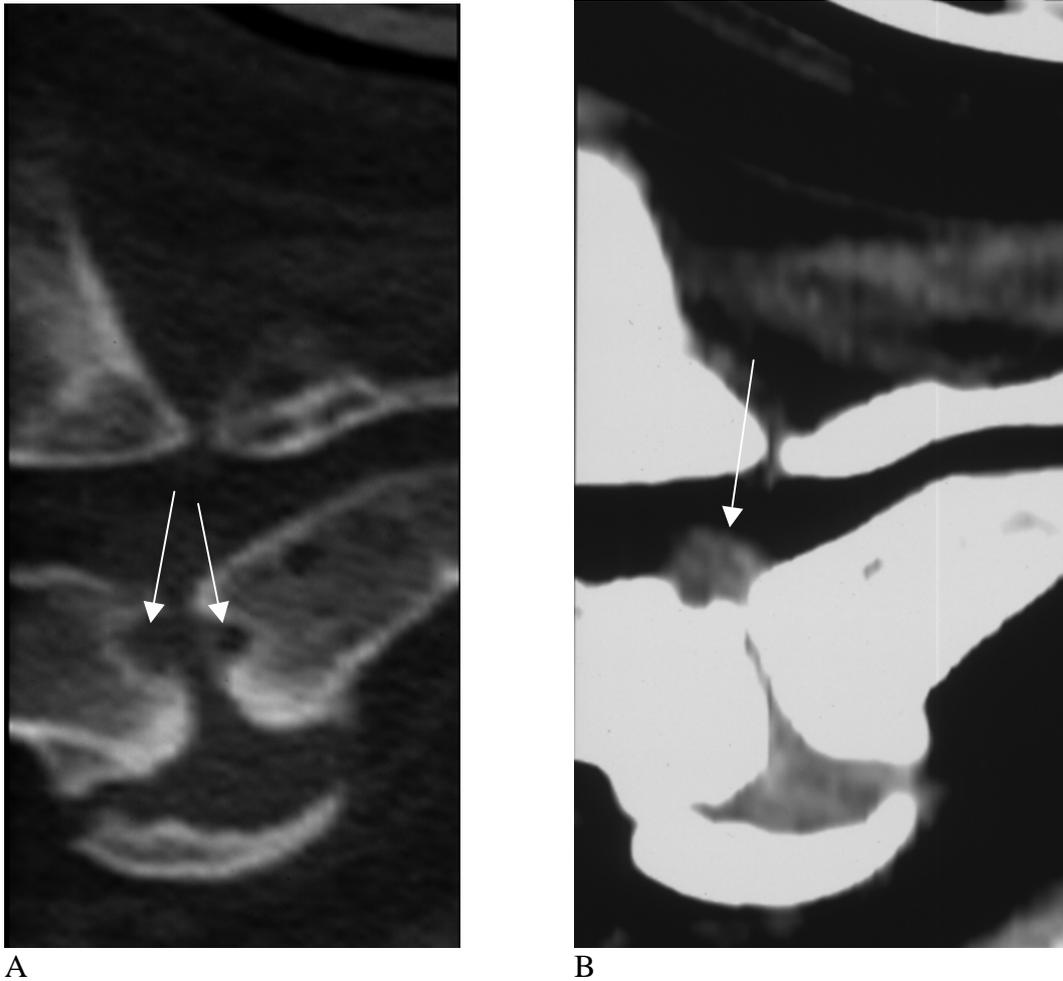
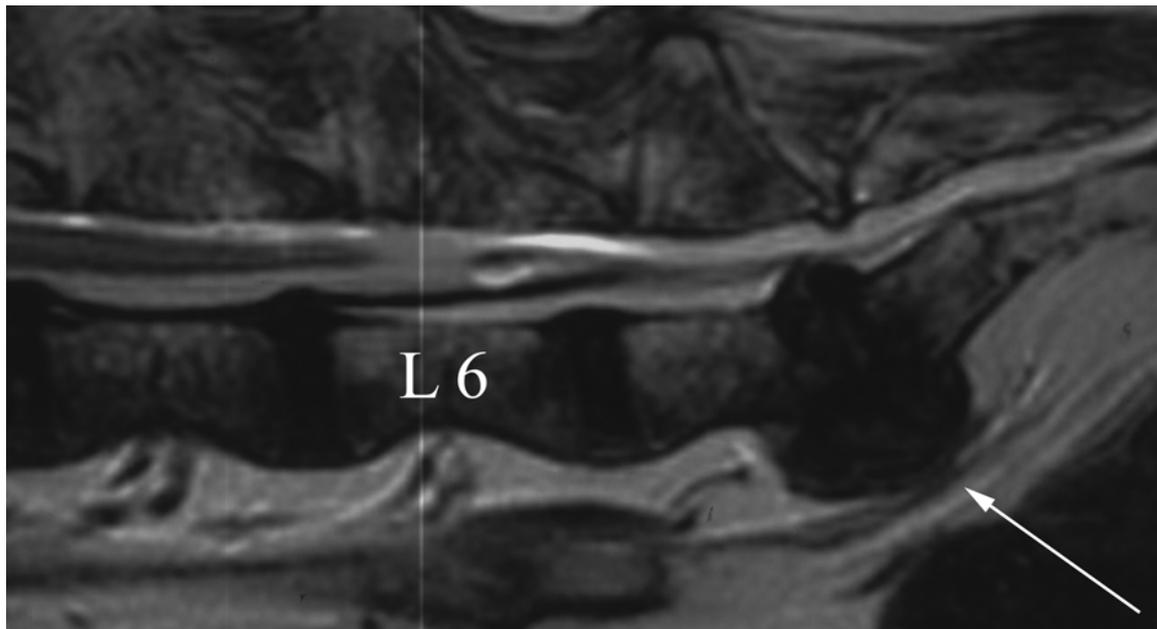


Abbildung 33: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kraniale Myelographie.

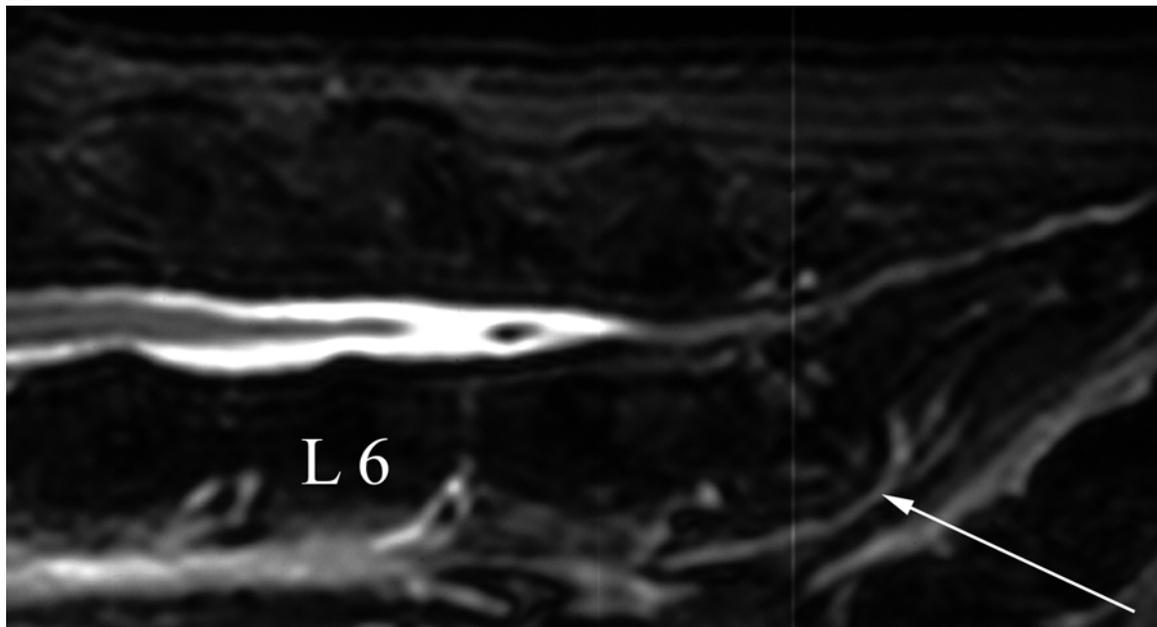
Der Duraschlauch endet auf Höhe des 6. Lumbalwirbels. Ventral ist zwischen L7 und S1 eine deutliche Knochenschuppe/ Spondylose zu erkennen.



A **B**
Abbildung 34: CT, sagittale MPR L7 – S1, A: Knochenfenster, B: Weichteilfenster.
Auf beiden Bildern ausgeprägte ventrale Knochenschuppe/ Spondylose zu erkennen.
Bild A: Deutliche osteolytische Veränderungen der Endplatten sichtbar (Pfeile).
Bild B: Deutliche Protrusion des Bandscheibenmaterials nach dorsal zu erkennen (Pfeil).
Radiologischer Befund: Endplattenosteolyse einhergehend mit Protrusion des Bandscheibenmaterials.



A



B

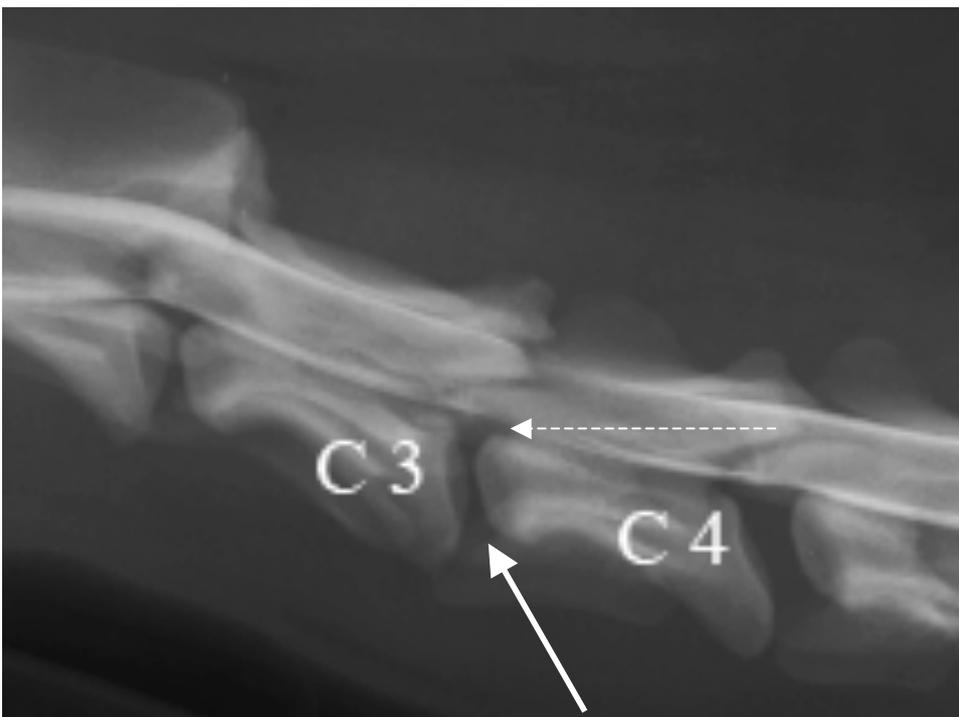
Abbildung 35: MRT, sagittale MPR, A: T1-Wichtung, B: T2-Wichtung.

Die Bandscheiben stellen sich in beiden Wichtungen nicht signalreich dar. Es ist eine deutliche Vorwölbung des Bandscheibenmaterials (L7 – S1) nach dorsal einhergehend mit einer Kompression des Rückenmarks sichtbar. Die Kompression wird in der T1-Wichtung besser dargestellt. Der Pfeil zeigt jeweils die Sklerosierung der Bandscheibe (Modic Typ III).

4. Fall: Dachshund, m, 11 Jahre,
Vorstellungsgrund: Hund nach Unfall hgrd ataktisch, PZ vorne negativ, hinten verzögert, sehr schmerzhaft
Diagnose: Bandscheibenvorfall C3-4



A



B

Abbildung 36: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, kraniale Myelographie.

Es ist eine gleichmäßige subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels zu erkennen. Eine physiologische Erhöhung des Myelogramms von ventral zwischen C2 und 3 ist sichtbar. Es ist eine mittelgradige Verengung des Zwischenwirbelspaltes zwischen C3 – 4 (Pfeil) und geringgradige Erhöhung der Bandscheibe (gestrichelter Pfeil) erkennbar.

Radiologischer Befund: Verengung des Zwischenwirbelspaltes mit Erhöhung des Bandscheibenmaterials.

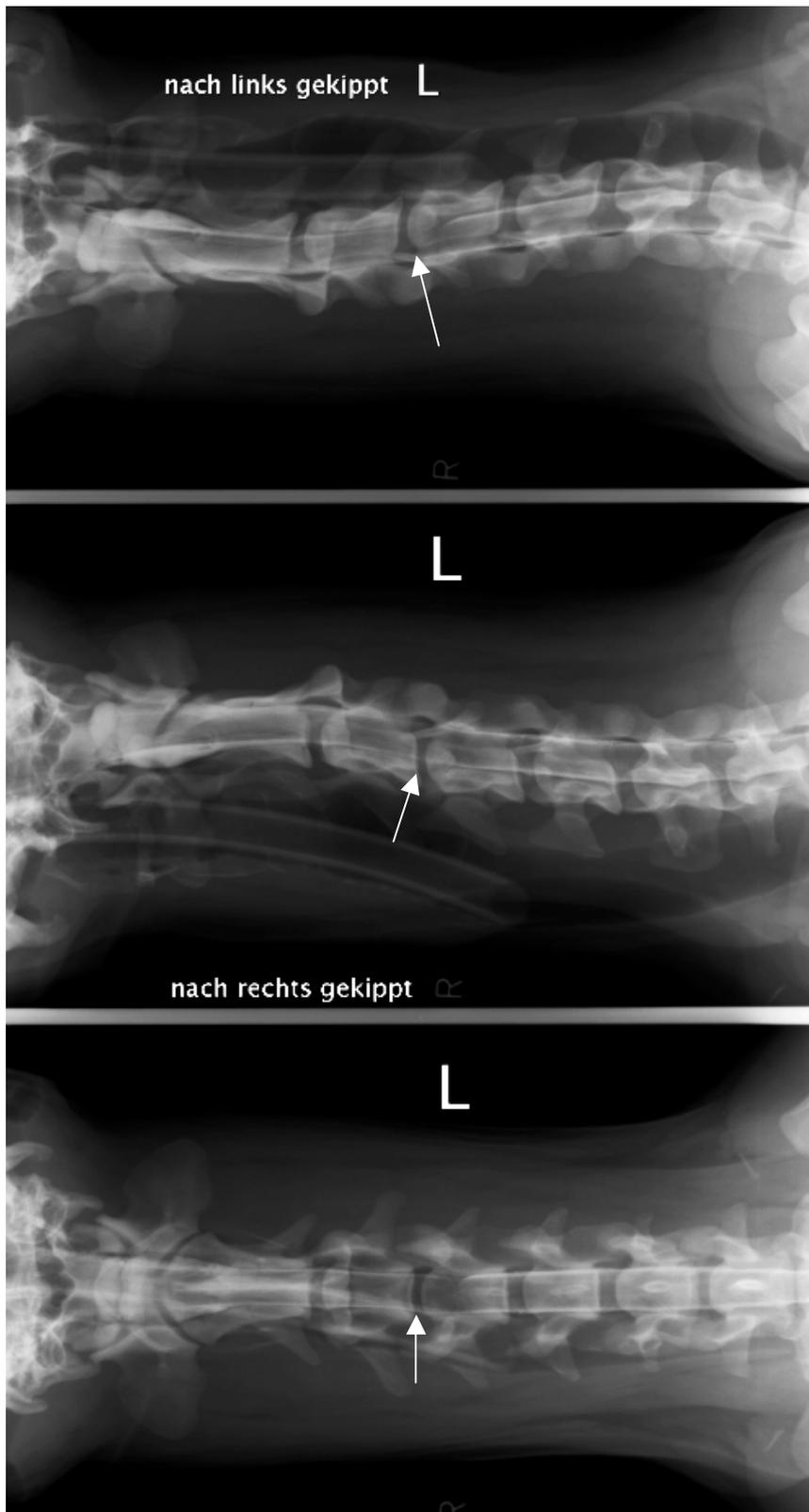
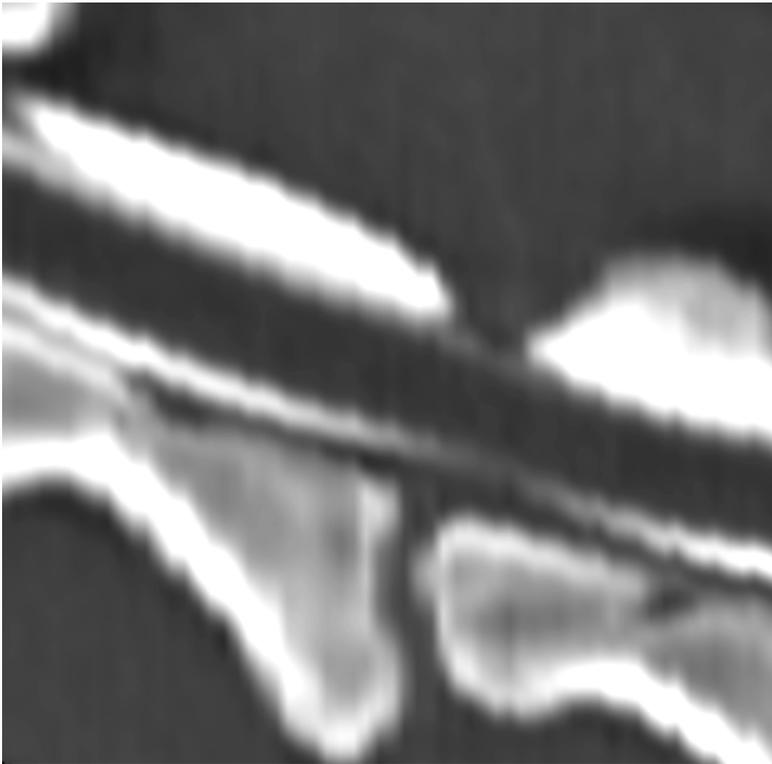
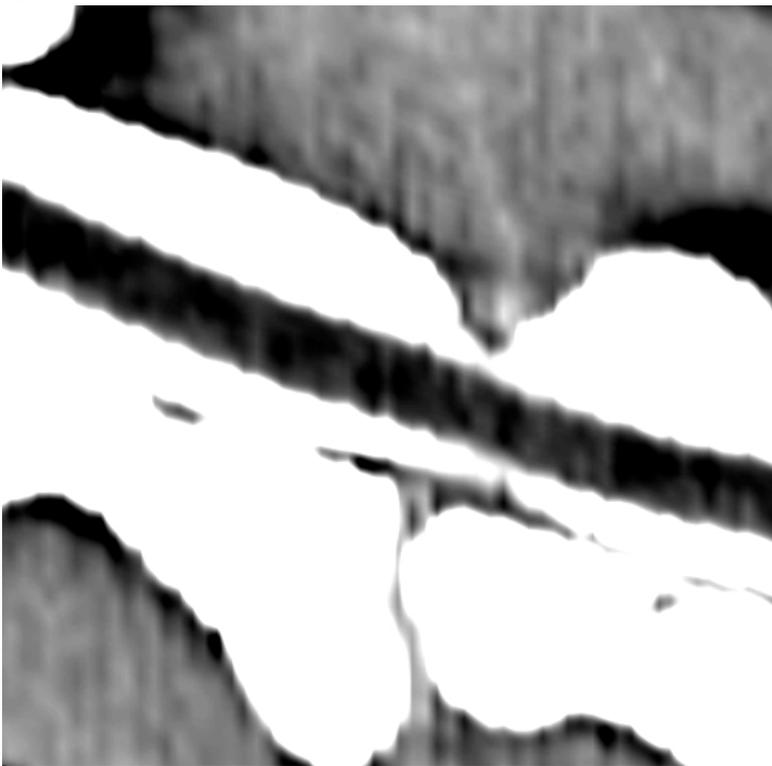


Abbildung 37: Röntgen, Schrägaufnahmen im 45° Winkel und ventro-dorsaler Strahlengang, kraniale Myelographie.

Es ist eine gleichmäßige subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels, eine mittelgradige Verengung des Zwischenwirbelspaltes zwischen C3 – 4 (Pfeil) und auf dem obersten Bild ein lateralisierter Stopp der Kontrastmittelsäule zu erkennen.



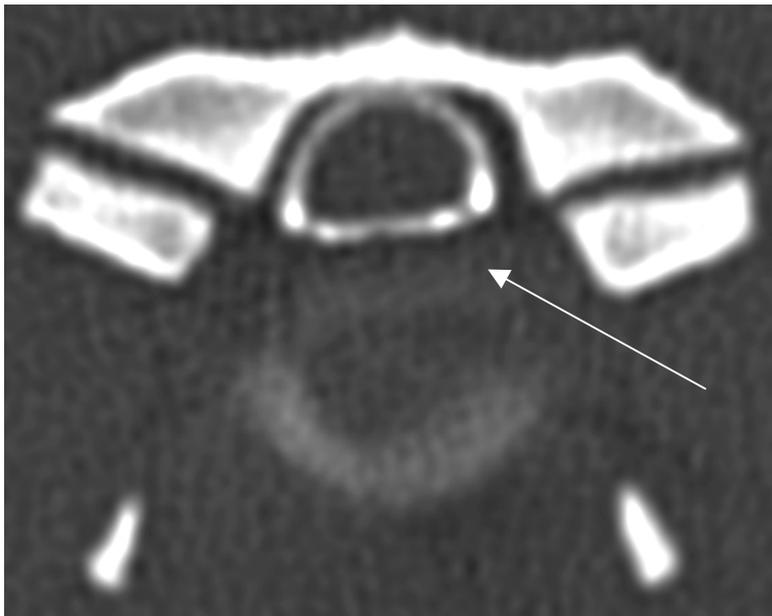
A



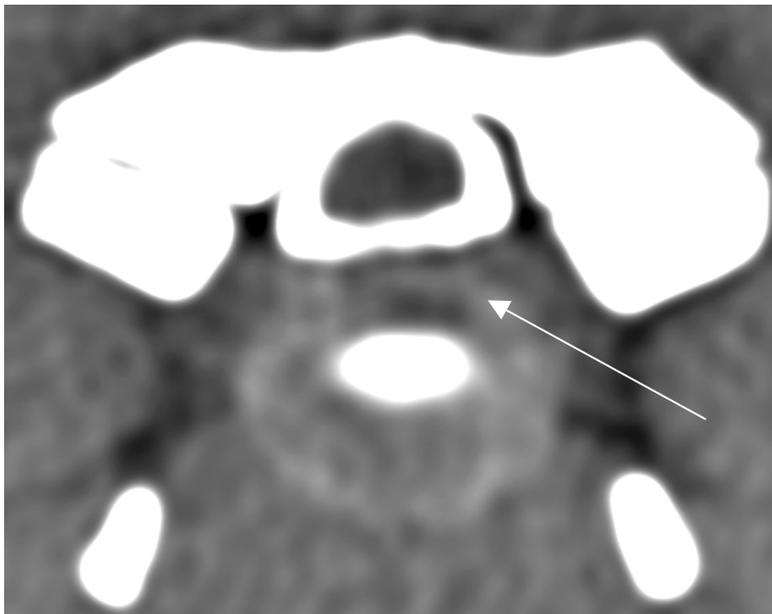
B

Abbildung 38: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, A: Knochenfenster, B: Weichteilfenster, kraniale Myelographie.

Es ist eine subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels, eine geringgradige Erhöhung der Bandscheibe und eine mittelgradige Einengung des Spinalkanals sichtbar.



A

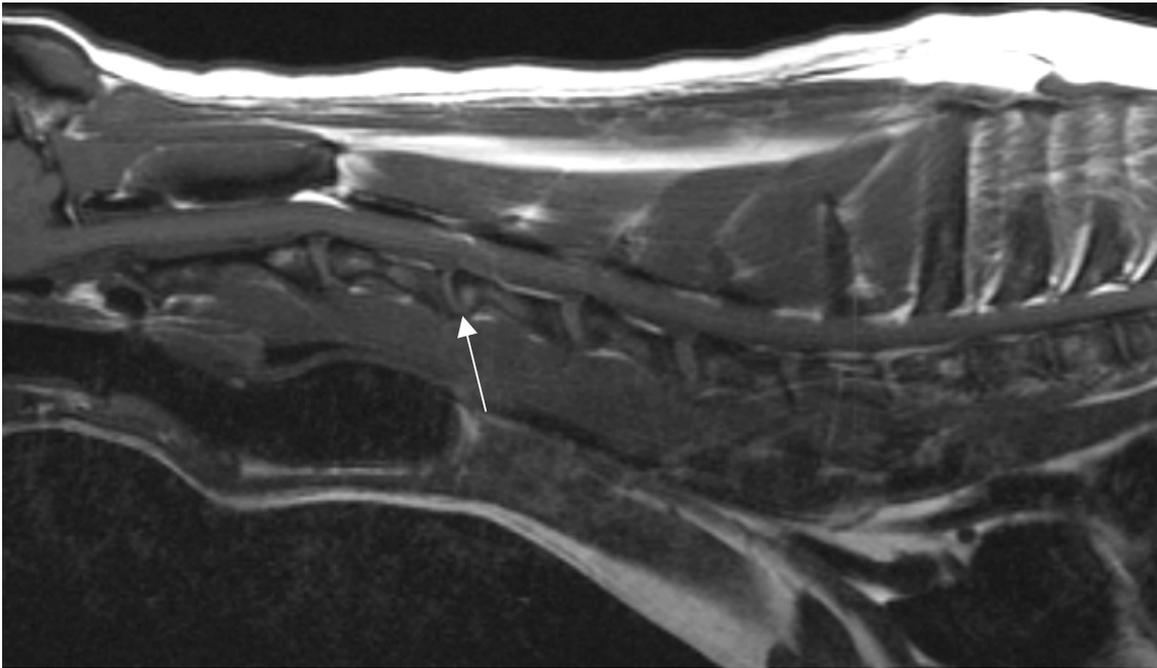


B

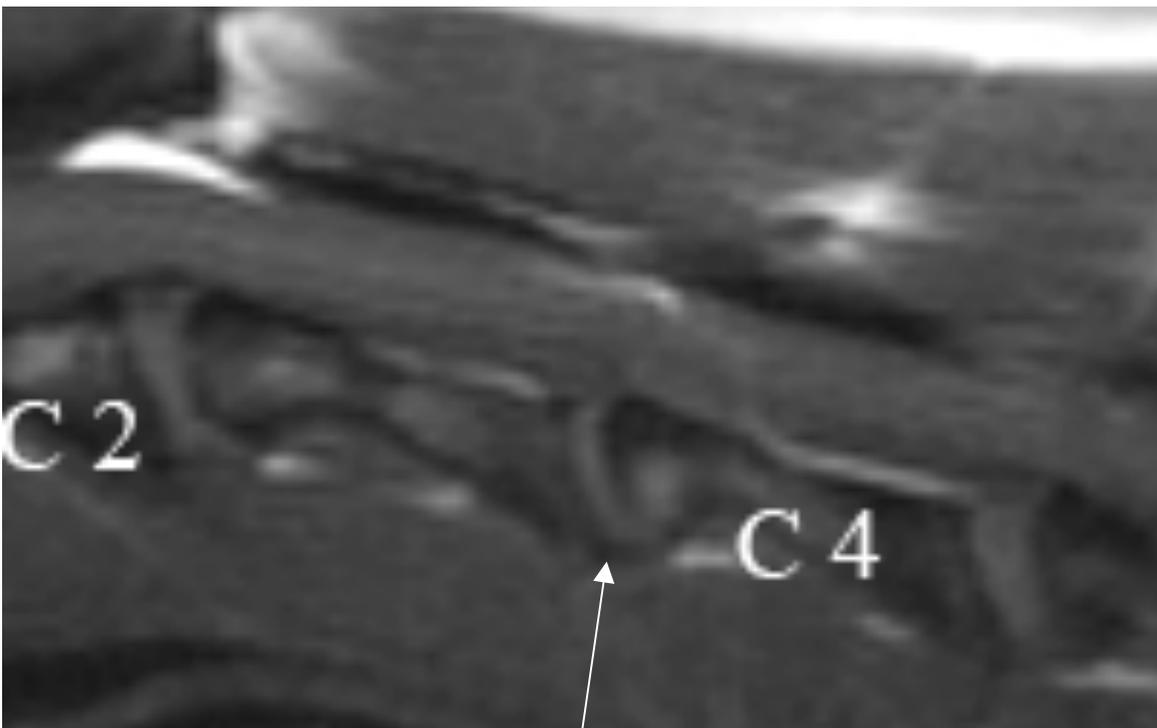
Abbildung 39: CT, transversale Schnittführung, A: Knochenfenster, B: Weichteilfenster, kraniale Myelographie.

Eine subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels, eine mittelgradig lateralisierte Erhöhung der Bandscheibe (Pfeil) und eine mittelgradige Einengung des Spinalkanals ist sichtbar.

Radiologischer Befund: Erhöhung des Bandscheibenmaterials mit Einengung des Spinalkanals.



A

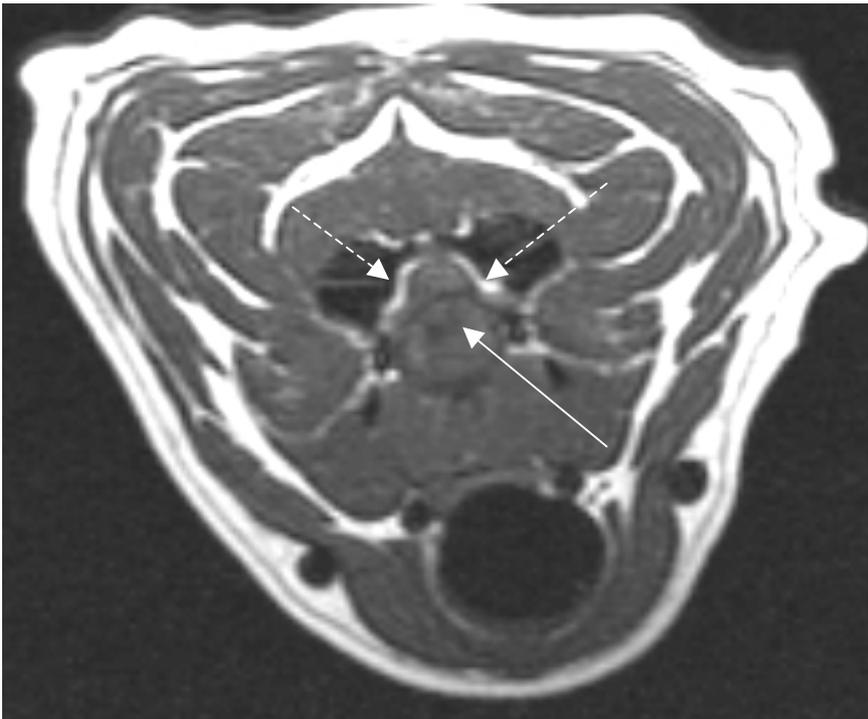


B

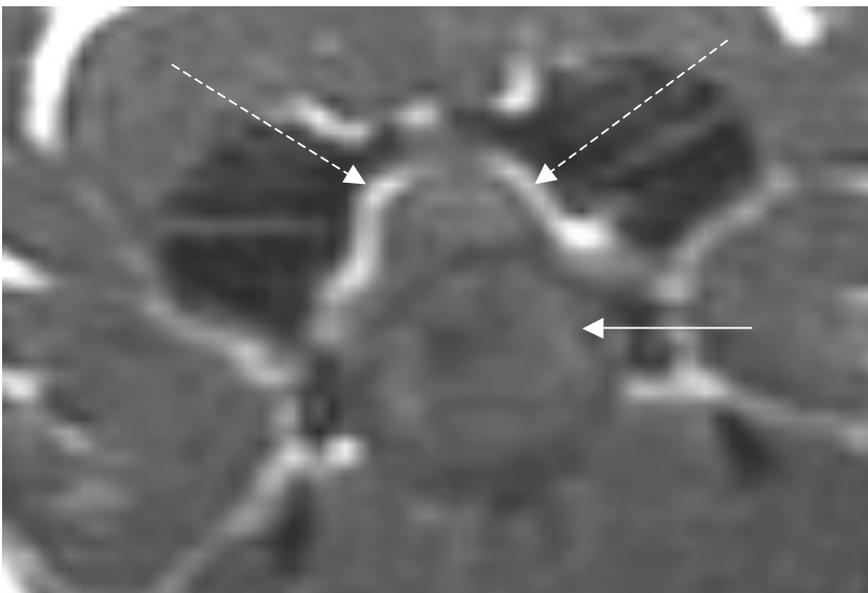
Abbildung 40: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung.

A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme.

Die Bandscheiben stellen sich signalarm dar, der Zwischenwirbelspalt ist zwischen C3 – 4 mittelgradig verengt (Pfeil), die Bandscheibe ist geringgradig erhöht der Spinalkanal ist geringgradig eingengt.



A

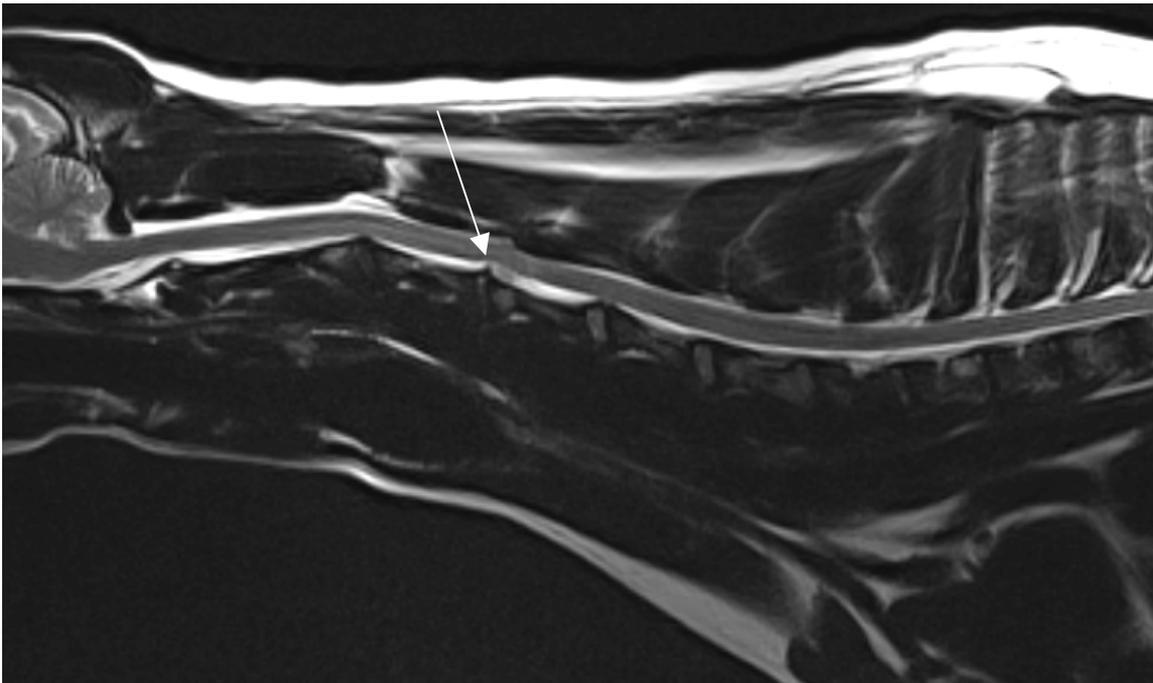


B

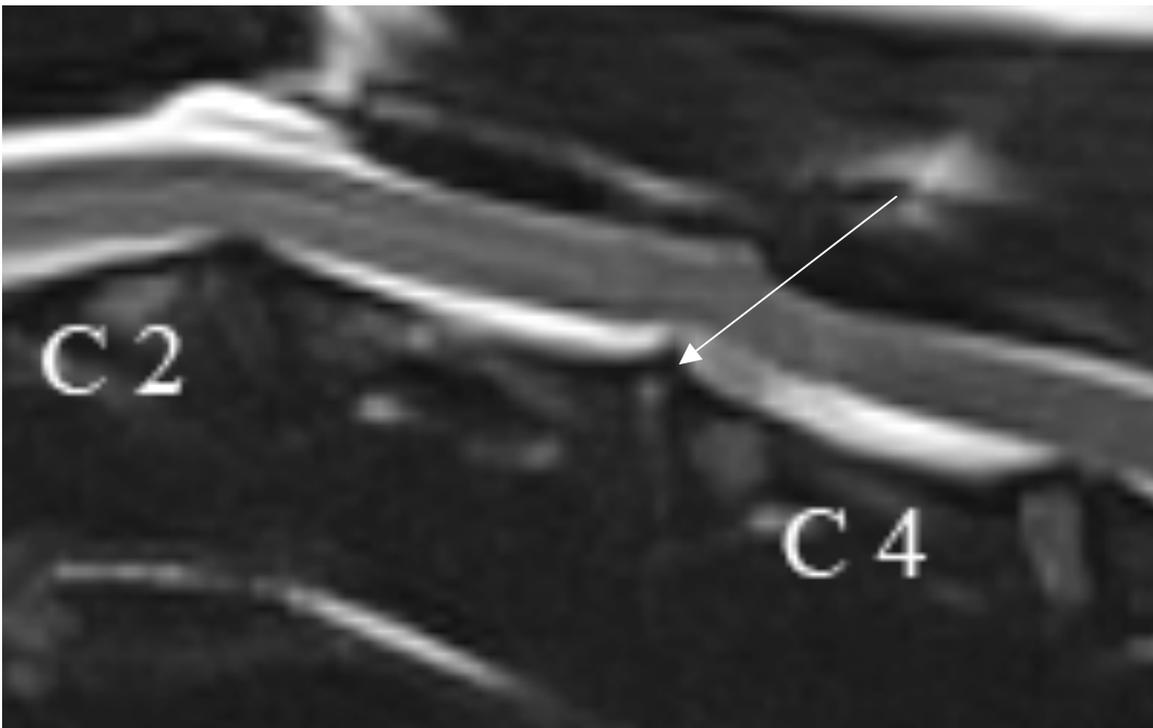
Abbildung 41: MRT, transversale Schnittführung, T1-Wichtung.

A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme.

Die Bandscheiben stellen sich signalarm dar, das Epiduralfett ist dorsal des Rückenmarks sichtbar (gestrichelter Pfeil), die Bandscheibe ist mittelgradig lateralisiert erhöht (Pfeil), der Spinalkanal ist geringgradig eingengt.



A

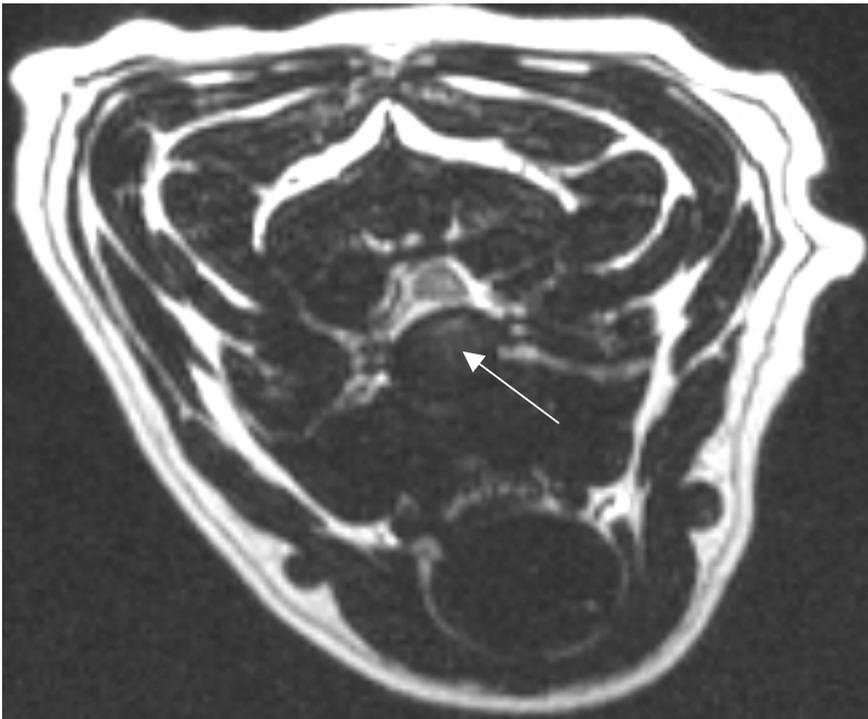


B

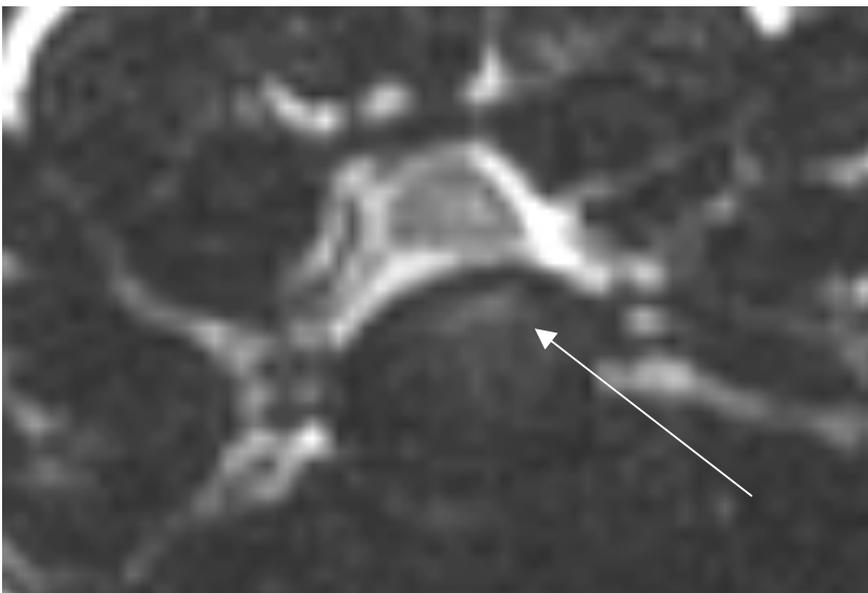
Abbildung 42: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T2-Wichtung.

A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme.

Die Bandscheiben stellen sich signalarm dar, das Epiduralfett stellt sich dorsal und ventral des Rückenmarks dar, der Zwischenwirbelspalt ist zwischen C3 – 4 mittelgradig verengt, die Bandscheibe ist mittelgradig erhöht (Pfeil), der Spinalkanal ist geringgradig eingengt.



A



B

Abbildung 43: MRT, transversale Schnittführung, T2-Wichtung.

A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme.

Die Bandscheiben stellen sich signalarm dar, es liegt eine mittelgradig lateralisiert erhöhte Bandscheibe vor (Pfeil), der Spinalkanal ist geringgradig eingengt.

5. Fall: Dobermann, m, 9 Jahre,
Vorstellunggrund: Hund mit Ataxie vorgestellt, PZ überall prompt, spinale
Reflexe hinten hyperreflektisch, vorne normo-hyperreflektisch, schmerzhaft bei
Ventroflexion des Halses
Diagnose: Bandscheibenvorfall C4 – 5 mit gleichzeitiger dorsaler Kompression
rechts



A



B

Abbildung 44: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, kraniale Myelographie.

Es liegt eine sanduhrförmige Einengung des Myelogramms (Grad 2) zwischen C4 – 5 (Pfeile) und eine geringgradige Verengung des Zwischenwirbelspaltes in diesem Bereich vor.

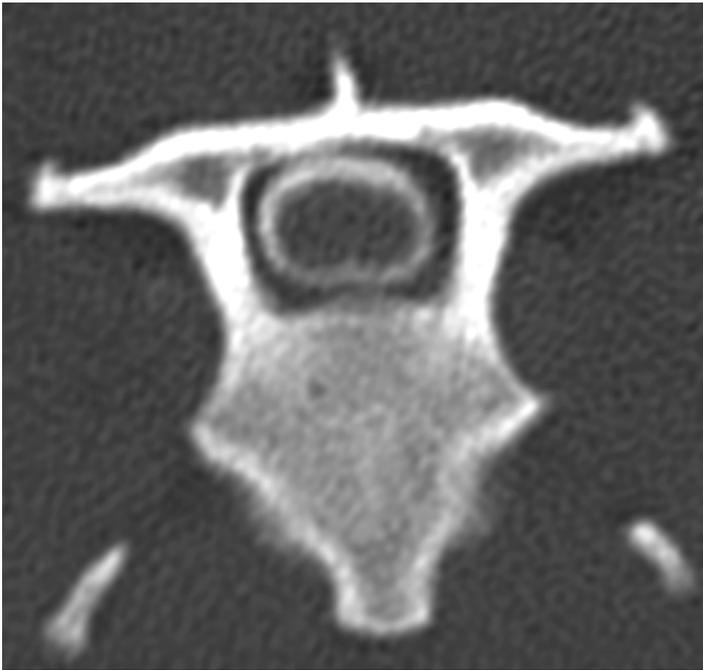


Abbildung 45: CT, transversale Schnittführung in Höhe C4, Knochenfenster, kraniale Myelographie.

Der Kontrastmittelring stellt sich deutlich dar.



Abbildung 46: CT, transversale Schnittführung in Höhe des ZWS C4 – 5, Knochenfenster, kraniale Myelographie.

Es ist eine mittelgradige Erhöhung der Bandscheibe sichtbar, latero-dorsale des Rückenmarks ist ein Prozess, einhergehend mit dorsaler Kompression im Bereich C4 – 5 (Pfeil) erkennbar.

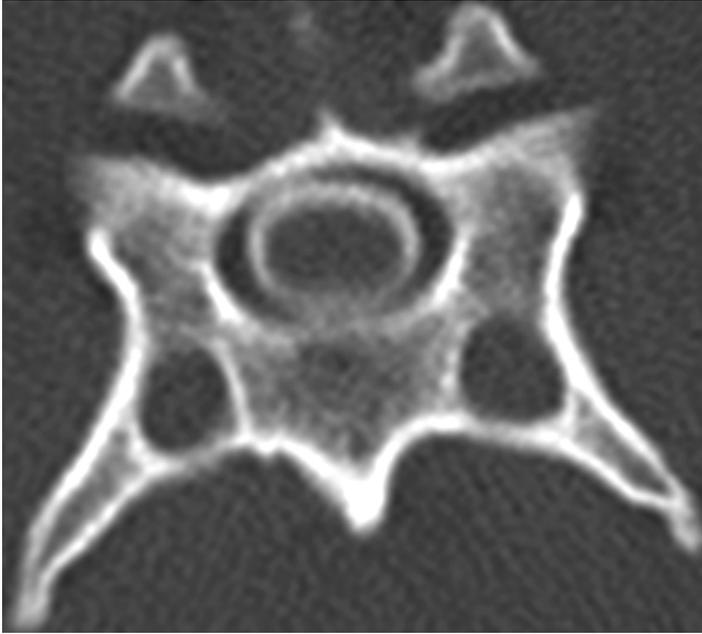
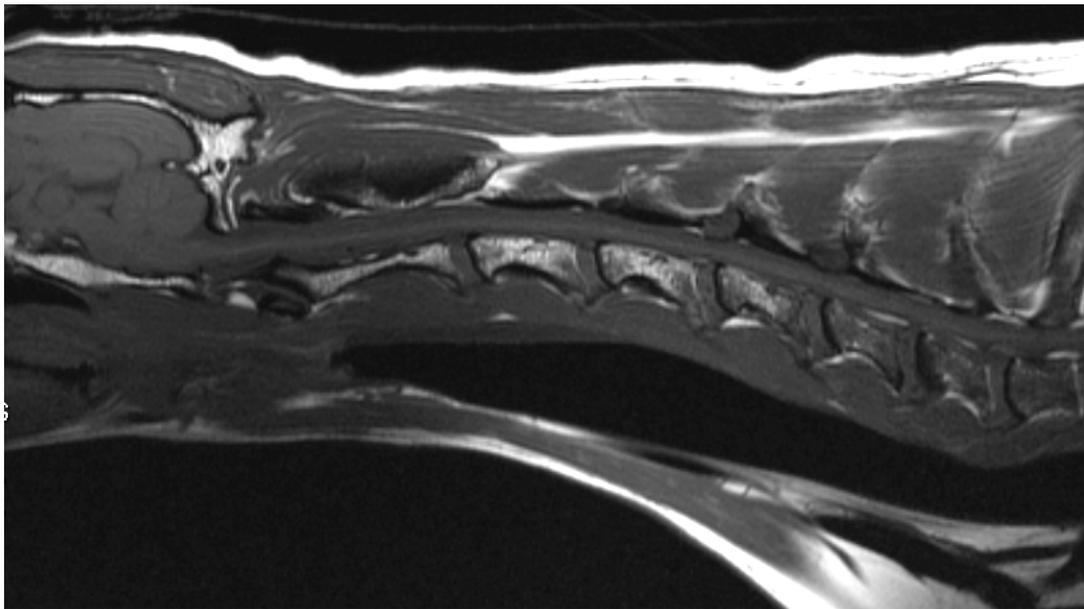
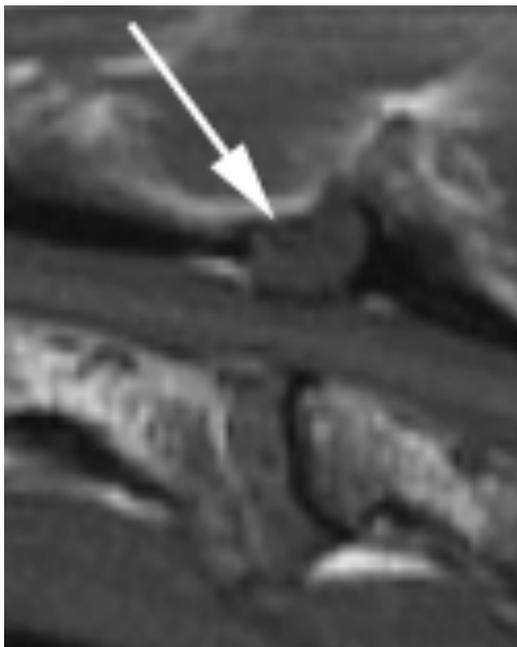


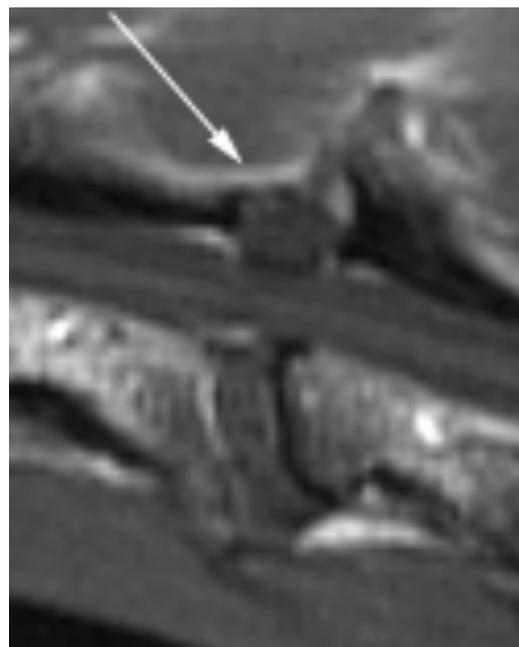
Abbildung 47: CT, transversale Schnittführung in Höhe C5, Knochenfenster, kraniale Myelographie.
Der Kontrastmittelring stellt sich deutlich dar.



A



B



C

Abbildung 48: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung.

A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, C: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme nach Kontrastmittelinjektion.

Eine mittelgradige Erhöhung der Bandscheibe und eine hochgradige Einengung des Spinalkanals mit verursacht durch einen dorsalen Prozess ist sichtbar (Pfeil).

Radiologischer Befund: Bandscheibenerhöhung und ventrale wie auch dorsale Kompression des Rückenmarks.

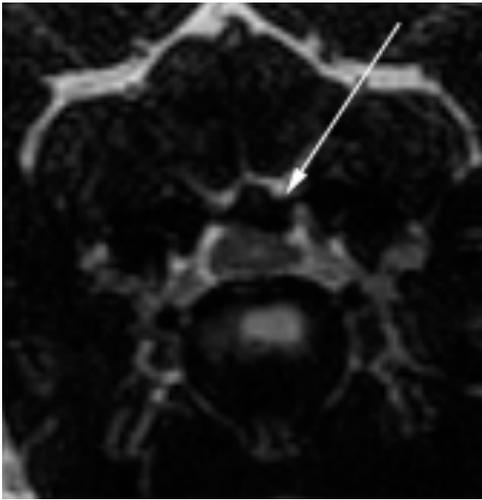


Abbildung 49: MRT, transversale Schnittführung in Höhe des ZWS C4 – 5, T2-Wichtung.
Epiduralfett ist teilweise verdrängt. Eine hochgradige Erhöhung der Bandscheibe, ein latero-dorsal des Rückenmarks lokalisierter Prozess, einhergehen mit einer dorsalen Kompression im Bereich C4 – 5 (Pfeil) ist sichtbar.

Radiologischer Befund: Bandscheibenerhöhung und ventrale wie auch dorsale Kompression des Rückenmarks.

6. Fall: Rauhaardackel, wk, 6 Jahre,
Vorstellungsgrund: Hund mit reduzierter Bewegungslust vorgestellt, PZ überall prompt, spinale Reflexe hinten hyperreflektisch, vorne normo-hyperreflektisch, schmerzhaft bei Ventroflexion des Halses
Diagnose: Bandscheibenvorfall C2 – 3 und alte Fraktur des dritten Halswirbels



A



B

Abbildung 50: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kraniale Myelographie.

A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme.

Subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels erkennbar. Das Myelogramm ist dorsal der Bandscheibe zwischen C2-3 erhöht (Pfeil) und der Spinalkanal ist geringgradig verengt.

Radiologischer Befund: Erhöhung der Bandscheibe einhergehend mit Verengung des Spinalkanals bei C2 – 3.

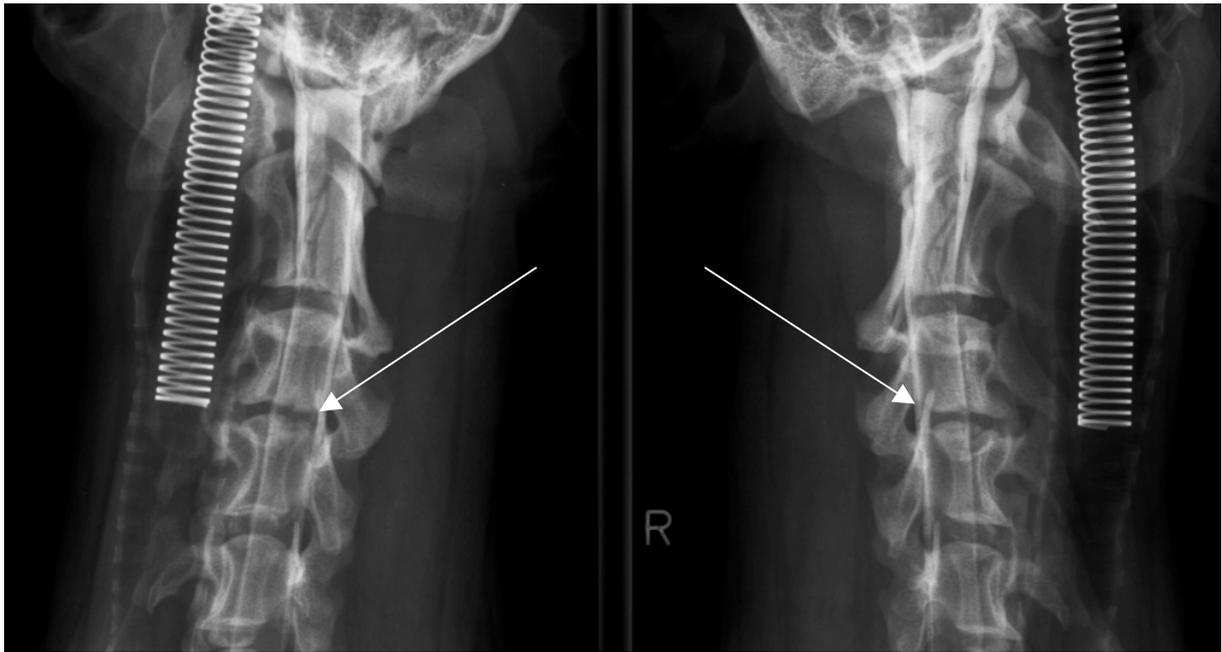


Abbildung 51: Röntgen, Schrägaufnahmen, ventro-dorsaler Strahlengang, kraniale Myelographie. Eine subarachnoidale Verteilung des Kontrastmittels ist zu erkennen. Das Myelogramm stellt sich deutlich dar. Der Zwischenwirbelspalt C3 – 4 ist verengt (Pfeile).
Radiologischer Befund: Verengter Zwischenwirbelspalt C3 – 4.

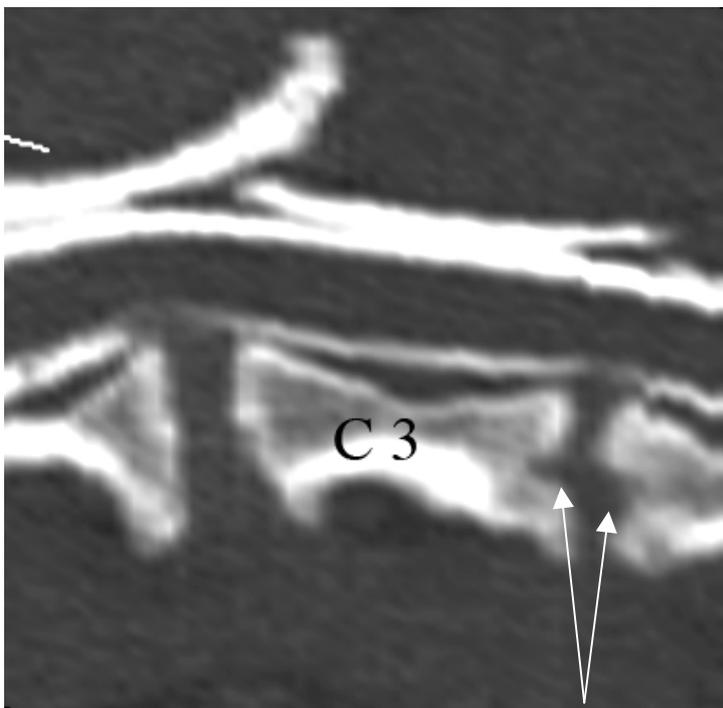


Abbildung 52: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster, kraniale Myelographie. Das Myelogramm ist dorsal der Bandscheibe zwischen C2 – 3 erhöht, der Spinalkanal ist mittelgradig verengt, es sind osteolytische Veränderungen der Wirbelendplatten zwischen C3 – 4 zu erkennen (Pfeile).

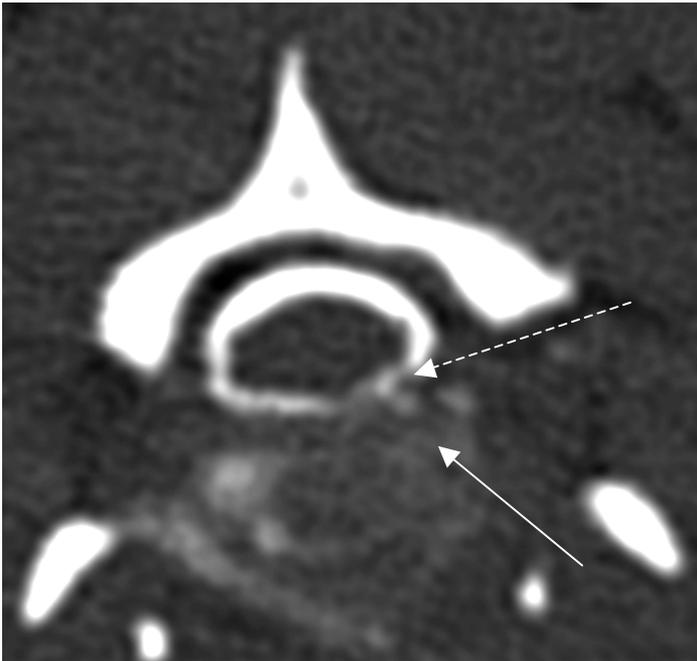


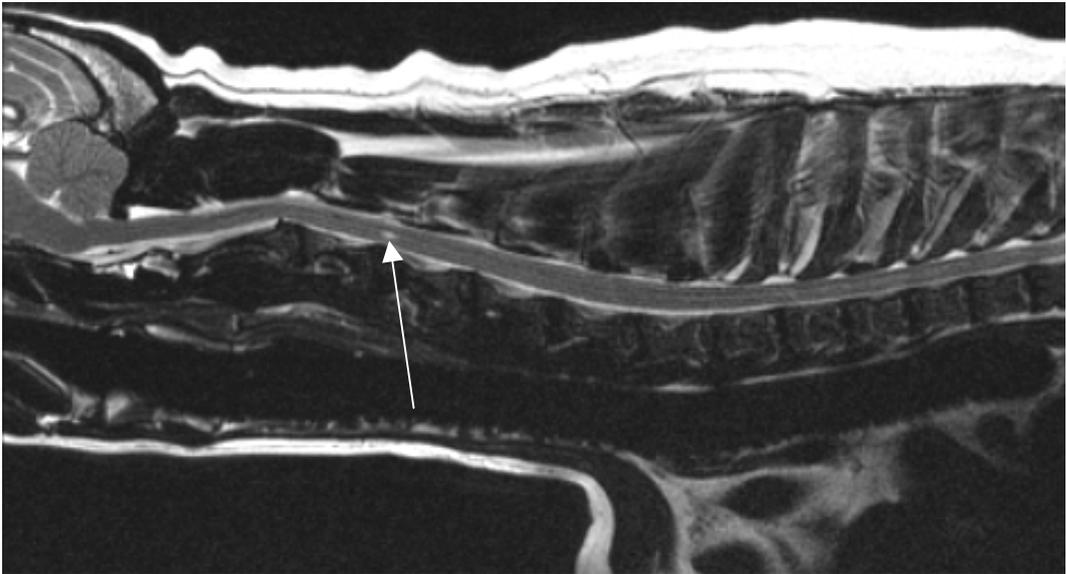
Abbildung 53: CT, transversale Schnittführung in Höhe der Bandscheibe C2 – 3, Knochenfenster, kraniale Myelographie.

Der Kontrastmittelring stellt sich im dorsalen Bereich deutlich dar, ventral kommt es zu einer Ausdünnung und einer leicht lateralisierten Anhebung des Kontrastmittelrings (gestrichelter Pfeil), die Bandscheibe ist lateralisiert erhöht (Pfeil).

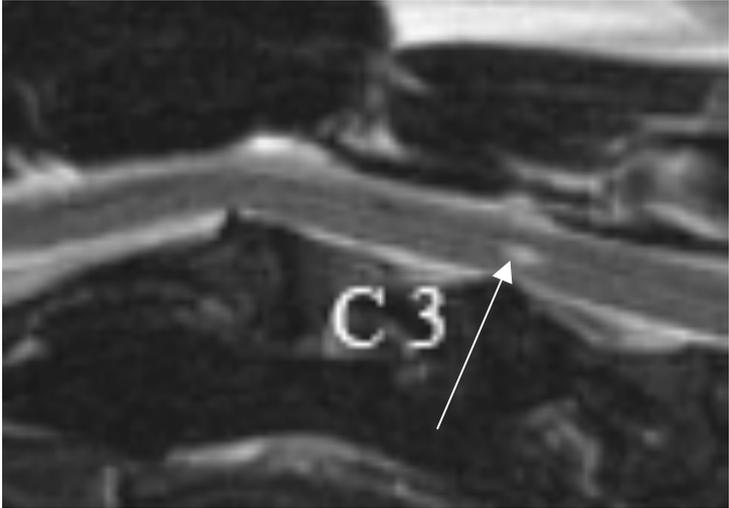


Abbildung 54: CT, transversale Schnittführung in Höhe des Wirbelkörpers C3, Knochenfenster, kraniale Myelographie.

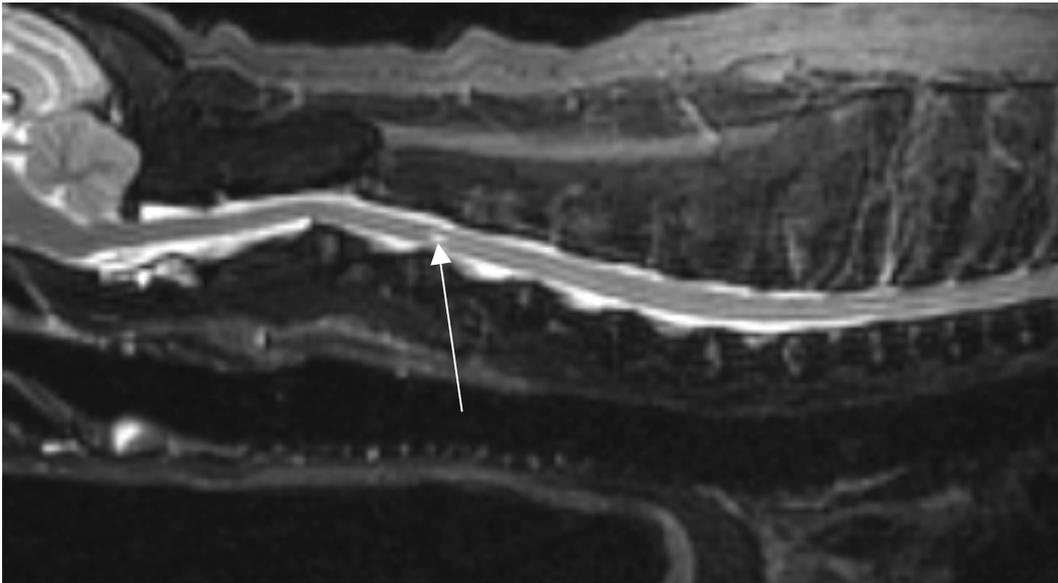
Der Kontrastmittelring stellt sich gut dar, im ventralen Bereich wird der Kontrastmittelring mittelgradig eingengt, es ist eine Frakturlinie durch den Wirbelkörper zu erkennen (Pfeil).



A



B



C

Abbildung 55: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung, A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, C: Übersichtsaufnahme der T2-Wichtung.

Bandscheiben stellen sich signalarm dar. Das ventrales Epiduralfett über der Bandscheibe C2 – 3 ist verdrängt und die Bandscheibe mittelgradig erhöht mit geringgradiger Einengung des Spinalkanals. In beiden Wichtungen ist ein hyperintenses Signal im Rückenmark zu erkennen (Pfeil).

Radiologischer Befund: Erhöhung der Bandscheibe einhergehend mit Verengung des Spinalkanals bei C2 – 3, hyperintenses Signal im Rückenmark.

5. Diskussion

In den vergangenen Jahren sind diverse Studien über Wirbelsäulenerkrankungen des Hundes publiziert worden (THIESS 1983; LUTTGEN et al. 1988; LANG und JAGGY 1989; LUTTGEN 1992; TASSANI-PRELL 1993; RENTMEISTER 1995; JURINA 1996; KRAFT et al. 1998; SOMMER 1998; BAGLEY 2000; JONES und INZANA 2000; JONES et al. 2005; PENDERIS et al. 2005; BESALTI et al. 2006; DA COSTA et al. 2006; OHLERTH und SCHARF 2007; WUNDERLIN et al. 2008). Vereinzelt wurden auch verschiedene bildgebende Verfahren miteinander verglichen (SANDE 1992; ZANDER 2002; DA COSTA et al. 2006; WUNDERLIN et al. 2008). Dennoch war es in der aktuellen Literatur nicht möglich, eine Arbeit über den Vergleich aller derzeit zur Verfügung stehenden bildgebenden Verfahren zur Diagnostik der Wirbelsäulenerkrankungen des Hundes zu finden. Daher war es das Ziel dieser Arbeit, die verschiedenen bildgebenden Verfahren miteinander zu vergleichen und die Aussagekraft der jeweiligen bildgebenden Verfahren vergleichend darzustellen. Anhand von speziellen Vermessungs- und Auswertungsverfahren wurde versucht, die Vorteile der jeweiligen Modalitäten herauszuarbeiten. Hierzu wurden retrospektiv Röntgen-, CT- und MRT-Bilder von insgesamt 50 Hunden mit einer Vorgeschichte verschiedener Wirbelsäulenbeschwerden ausgewertet. Das Patientengut wurde in dieser Arbeit in 10 Diagnosegruppen unterteilt. Die größte Gruppe mit 18 Tieren (36%) stellte Patienten mit einem Cauda-equina-Syndrom dar. Verglichen mit den Angaben in der Literatur, ist dies sehr häufig. In anderen Arbeiten werden teilweise Patientengruppen beschrieben, bei denen die Häufigkeit zwischen 0 – 11% liegt (HARTUNG 1983; ZANDER 2002). Am zweithäufigsten traten Bandscheibenvorfälle bei 16 Patienten (32%) auf. Dies entspricht den Erfahrungen von HARTUNG (1983), dessen Patientengut zu 37% Bandscheibenvorfälle aufwies. Tiere mit tumorösen Geschehen im Bereich der Wirbelsäule bildeten die dritte Gruppe mit insgesamt vier Tieren (8%). Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen anderer Autoren überein, die den tumorösen Erkrankungen der Wirbelsäule nur eine untergeordnete Rolle zuteilen (HARTUNG 1983; ZANDER 2002; MEIJ 2005; MORGAN et al. 2007). Die nächsten drei Gruppen, mit jeweils zwei Patienten (4%), bestehen aus Läsionen des Plexus brachialis, Rückenmarksblutungen und dem Wobbler-Syndrom. Die geringe Anzahl der Patienten mit einem Wobbler-Syndrom entspricht im weitesten Sinne den Erkenntnissen von

ZANDER (2002). Die Ergebnisse stehen aber auch im Gegensatz zu der Studie von HARTUNG (1983), in dessen Patientengut 13% der Tiere unter dem Wobbler-Syndrom litten. Die letzten drei Gruppen, mit je einem Patienten, bestanden aus einer Wirbelfortsatzfraktur, einer Diskospondylitis und einer degenerativen Myelopathie. Wirbelfrakturen wurden z.B. in der Arbeit von ZANDER (2002) viel häufiger diagnostiziert, wohingegen keine degenerative Myelopathie beschrieben wird. Die letzte Gruppe bildeten drei Patienten, bei denen der Verdacht einer Wirbelsäulenerkrankung mit keinem der bildgebenden Verfahren bestätigt werden konnte.

Die unterschiedliche Verteilung der Diagnosen im Vergleich zur aktuellen Literatur mag daran liegen, dass es sich um eine retrospektive Studie handelt und nur Patienten in die Studie aufgenommen wurden, bei denen alle drei bildgebenden Verfahren innerhalb eines Zeitraums von maximal 48 h durchgeführt wurden.

Auf eine vertiefende Diskussion über die Alters-, Rasse- und Geschlechtsverteilung wird unter Verweis auf die Literatur nicht näher eingegangen, da diese keinen Einfluss auf diese Arbeit hatte (JAGGY et al. 1987; LANG und JAGGY 1989; JURINA 1991; SCHWARZ 1991; GREVEL und COP 1992; LANG et al. 1992; TASSANI-PRELL 1993; RENTMEISTER 1995; JURINA 1996; GREVEL und SCHWARTAU 1997; KATHMANN et al. 2001; JURINA und GREVEL 2002; ZANDER (2002), SJÖSTRÖM 2003; BESALTI et al. 2006; SCHWARZ 2006).

In dieser Arbeit wurde ein besonderes Augenmerk auf die diagnostische Aussagefähigkeit der verschiedenen bildgebenden Verfahren gelegt. So wurden die durch die bildgebenden Verfahren ermittelten Durchschnittswerte der Verengung des Zwischenwirbelspaltes miteinander verglichen. Die Verengung der Zwischenwirbelspalte bezog sich in diesem Fall auf die kranial und kaudal gelegenen Zwischenwirbelspalten. Dabei wurde offensichtlich, dass zwischen der MRT und der CT ein signifikanter Unterschied ($p = 0,03$) zu erkennen war, ebenso wie zwischen der MRT und der Röntgenuntersuchung ($p = 0,02$). In diesem zweiten Fall kann dem Vergleich eine größere Bedeutung zugesprochen werden, da nur bei 25 Patienten eine multiplanare Rekonstruktion der CT-Bilder erstellt wurde. Bei der MRT wurde dagegen bei 48 Patienten eine multiplanare Rekonstruktion erstellt. Daher konnten durch die MRT und Röntgenuntersuchung nahezu die doppelte Patientenzahl miteinander verglichen werden. Der Vergleich zwischen der CT und dem Röntgenverfahren ließ unter Betrachtung der Verengung des Zwischenwirbelspaltes keine Übereinstimmung

erkennen ($p = 0,2$). Dies kann daher rühren, dass es sich bei den meisten CT-Bildern um Rekonstruktionen handelte.

Bei den absoluten gemessenen Distanzen der Zwischenwirbelspalte in Millimetern, zeigte das konventionelle Röntgen im Vergleich zur Computer- und Magnetresonanztomographie die größten Werte. Dies beruht darauf, dass es aufgrund des Abstandes der Wirbelsäule zur Röntgenkassette zu einer fälschlich vergrößerten Projektion auf der Röntgenkassette kommt.

Die Bandscheibe konnte nur durch die MRT mittels der Signalgebung und die CT mittels der Dichte beurteilt werden. Dabei ist kein signifikanter Unterschied ($p = 0,17$) erzielt worden. Durch das konventionelle Röntgen ist in diesem Fall keine Aussage über eine frühzeitige Veränderung der Bandscheibe möglich, weshalb das konventionelle Röntgenverfahren bei dieser Betrachtung verglichen mit anderen bildgebenden Verfahren zu unklaren Ergebnissen führt.

Die Höhe der Bandscheibe hingegen kann mit allen zur Verfügung stehenden Verfahren beurteilt werden. Hier erwies sich, dass alle Verfahren Unterschiede zeigten und sich p-Werte von 0,0001 (MRT-Myelographie), 0,001 (CT-Myelographie) und 0,006 (MRT-CT) ergaben. Die MRT zeigte dabei im Verhältnis zu den anderen Verfahren größere Höhegrade der Bandscheibe. Dies kann durch die Erstellung der Bilder in transversaler Schnittführung und den guten Weichteilkontrast des MRTs erklärt werden. Bei der CT konnten ebenfalls höhere Grade der Bandscheibenerhöhung als bei der Myelographie gemessen werden. Entsprechend der MRT wurden auch hier die Bilder der transversalen Schnittführung zur Auswertung herangezogen. Obwohl die Auswertung der Bilder sowohl im Weichteil- als auch im Knochenfenster erfolgte, konnten die Grenzen der Bandscheibe nicht so deutlich wie in der MRT dargestellt werden. Die Myelographie hatte bei der Betrachtung der Bandscheibenhöhe gegenüber beiden Schnittbildverfahren das Nachsehen. Dies lag daran, dass mittels der Myelographie nur eine eingeschränkte Lokalisierung der Diskopathie möglich war. Eine Beurteilung einer lateralisierten Erhöhung war trotz der Anfertigung von Schrägaufnahmen nur im begrenzten Maße möglich.

Die Ergebnisse der Einengung des Spinalkanals wurden ebenfalls miteinander verglichen. So zeigte sich, dass zwischen der MRT und CT eine Signifikanz ($p = 0,01$) zu erkennen war. Ein deutlich signifikantes Ergebnis wurde auch hier wieder zwischen der MRT und dem Röntgenverfahren ($p = 0,0001$) und der CT und dem Röntgenverfahren ($p = 0,0004$) erzielt. Entsprechend zur Beurteilung der Bandscheibenhöhe zeigte sich auch

bei der Einengung des Spinalkanals die Überlegenheit der MRT. Durch beide schnittbildgebenden Verfahren wurde äquivalent zur Beurteilung der Bandscheibenhöhe der Vorteil der transversalen Schnittführung deutlich. Des Weiteren war es durch die Myelographie nicht möglich Veränderungen im Wirbelkörper darzustellen, die mit einer Einengung des Spinalkanals einhergehen. Allein durch dieses Verfahren wären solche Veränderungen im Wirbelkörper nicht mit absoluter Sicherheit diagnostiziert worden.

Die einwandfreie Beurteilung der Bandscheibenstruktur und die Unterscheidung zwischen dem Nucleus pulposus und dem Anulus fibrosus ist eine der MRT eigene Möglichkeit. Die CT ist zwar in der Lage verkalkte Bandscheiben darzustellen, doch bildet die Verkalkung die Endphase der Degeneration. Aus diesem Grund ist die MRT zur präventiven Beurteilung der Bandscheibenstruktur in Hinblick auf jegliche Veränderungen das derzeitige Mittel der Wahl.

Eine altersbedingte Degeneration der Bandscheiben und Wirbelkörper konnte durch alle bildgebenden Verfahren mit einem signifikanten Ergebnis ($p = 0,002$) nachgewiesen werden. Jedoch war es mit keinem bildgebenden Verfahren möglich, ein Verhältnis zwischen dem klinischen Erscheinungsbild, hier speziell bezogen auf das Stehvermögen und die Druckdolenz während der Manipulation und den beobachteten degenerativen Veränderungen, und den Bildern zu erstellen.

Eine Beurteilung der Wirbelkörperveränderungen basierend auf der Arbeit von MODIC (1988) konnte mittels MRT vorgenommen werden. Dabei zeigten sich bei den meisten Patienten keinerlei Veränderungen ($n = 40$). Sklerosierungen wurden bei fünf Patienten, inflammatorische Veränderungen bei drei Patienten und fettige Degenerationen bei zwei Patienten beobachtet. Obwohl die meisten Patienten dieser Studie keinerlei Veränderungen nach MODIC (1988) zeigten, sollte in Zukunft eine routinemäßige Beurteilung der Wirbelkörper in Betracht gezogen werden. Durch sie können morphologische Veränderungen früher als mit anderen bildgebenden Verfahren dargestellt und diagnostiziert werden. Dies stimmt mit der Übersichtsarbeit von WUNDERLIN et al. (2008) überein, die eine frühzeitige Veränderung des Gewebes bei Diskospondylitis beschreiben. In der Humanmedizin werden Mikrofrakturen, Einblutungen, Fibrosierungen und Nekrosen als Folge des Degenerationsprozesses besprochen (STEINHAGEN et al. 2007), weshalb hier präventiv eine Beurteilung durchgeführt wird.

Bei der Diagnostik des Cauda-equina-Syndroms hat sich in dieser Studie, übereinstimmend mit der Literatur, die deutliche Überlegenheit der Schnittbildverfahren ein weiteres Mal bestätigt (SANDE 1992; ADAMS 1999; BRAWNER und HATHCOCK 2003; ADAMS 2007). Mit Hilfe konventioneller Röntgenaufnahmen konnte in Flexions- und Extensionsstellung zwar teilweise der dynamische Charakter der Erkrankung verdeutlicht werden, eine weitere Aussage über die Ursache der Kompression der die Cauda equina bildenden Nervenwurzeln konnte allerdings nicht immer gemacht werden. Durch die CT, noch besser durch die Myelo-CT, war es möglich die knöchernen Strukturen überlagerungsfrei darzustellen und teilweise die Foramina intervertebralia, die Spinalnerven und etwaige Weichteilkompressionen zu beurteilen. Die Literatur zeigt hier ebenfalls einen großen Vorteil der Schnittbildverfahren (SANDE 1992; ADAMS 1999; BRAWNER und HATHCOCK 2003; JONES et al. 2005). Mittels der MRT war aufgrund des guten Weichteilkontrastes eine noch deutlichere Beurteilungsmöglichkeit des Rückenmarks möglich. So war auch mittels MRT bei neun Patienten die Höhe der Bandscheibe im Verhältnis zu den anderen Modalitäten deutlicher erhöht. Bei der Einengung des Spinalkanals konnten durch die MRT ebenfalls größere Parameter im Verhältnis zum konventionellen Röntgen und der CT ermittelt werden.

Falls es zu keiner massiven Kompression des epiduralen Fettgewebes kam, konnte in diesen Fällen auf einen chirurgischen Eingriff verzichtet werden. Da sowohl die CT als auch die MRT zu ausreichend gesicherten Diagnosen führten, ist es schwer eines der beiden Schnittbildverfahren den Vorrang im Rahmen der Diagnostik des Cauda-equina-Syndroms zu geben. In dieser Studie zeigte sich jedoch die Bedeutung der Anfertigung der Bilder in den diversen Fenstern bei der CT und in verschiedenen Wichtungen bei der MRT. So war es z.B. mit Hilfe des Knochenfensters im CT möglich, Veränderungen der Wirbelendplatte darzustellen. Die bedeutende Protrusion des Bandscheibenmaterials wurde allerdings erst mit Hilfe des Weichteilfensters deutlich. Erst dieser Befund stimmte dann mit den Ergebnissen der MRT überein. Bei den verschiedenen Wichtungen der MRT war im Gegensatz zu den verschiedenen Fenstern der CT keine so große Diskrepanz zu erkennen. Sicherlich war es zur Differenzierung der Strukturen essentiell eine T1- und T2-Wichtung beurteilen und auswerten zu können. So wurde durch die T1-Wichtung die anatomische Struktur deutlich und scharf dargestellt. Die T2-Wichtung war zur Beurteilung des Wassergehalts der Strukturen besser geeignet. Daraus folgt, dass die Bilder standardmäßig in verschiedenen Wichtungen im MRT bzw. in verschiedenen Fenstern im CT erstellt werden sollten.

Eine Schwachstelle dieser Studie war, dass es retrospektiv nicht möglich war, einen Goldstandard festzulegen, der beispielsweise durch eine pathologische Untersuchung und eine post mortale Skelettvermessung gewährleistet worden wäre.

Mittels Myelographie war es zwar im Falle der Diskopathien möglich eine Tendenz des Vorfalles oder der Vorwölbung in den Wirbelkanal zu sehen, doch war eine weitere Aussage über das Ausmaß der Kompression des Rückenmarks, auch nach der Anfertigung von Aufnahmen in schräger Position, nur schwer möglich. Dies stimmt mit den Erfahrungen von OBLY et al. (2000) überein, die eine hohe Aussagekraft des CTs in Bezug auf die Lateralisation der Bandscheibe beschreiben. Ein weiterer Vorteil bestand in der überlagerungsfreien Darstellung der Knochen und Weichteilstrukturen. Diese Erfahrungen stimmen mit denen anderer Autoren überein (SANDE 1992; ADAMS 1999; BRAWNER und HATHCOCK 2003; ADAMS 2007). Durch die Schnittbildverfahren und gerade durch die MRT bestand die Möglichkeit der Unterscheidung zwischen einer Vorwölbung (n = 29) und einem Vorfall (n = 7) der Bandscheibe. Dies spielt für die Prognose des Patienten oder die weiterführende chirurgische Behandlung eine entscheidende Rolle. In dieser Arbeit zeigte sich bei der Hälfte der Patienten (n = 8), dass eine Diskopathie nicht zwingend mit einer Verengung des Zwischenwirbelspaltes einhergeht. Dies ist ein klarer Vorteil der schnittbildgebenden Verfahren, da häufig fälschlicherweise bei einer röntgenologisch erkennbaren Verengung des Zwischenwirbelspaltes von einem Bandscheibenvorfall ausgegangen wird. Dieses Erkenntnis ist ein Schwerpunkt der Vermessung dieser Arbeit.

Ein Nachteil der Schnittbilddiagnostik in dieser Arbeit mag das Fehlen der Stressaufnahmen sein, wie sie teilweise bei der Myelographie der Patienten der Chirurgischen und Gynäkologische Kleintierklinik München durchgeführt werden. Es gibt zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine tiermedizinische Studie, die CT- oder MRT-Stressaufnahmen mit konventionellen Myelographiestressaufnahmen vergleicht, weshalb in diesem Fall ein Vergleich der Methoden schwer fällt.

Da in dieser Studie nur vier Patienten mit einer tumorösen Veränderung im Bereich der Wirbelsäule vorgestellt wurden, spricht dies für die bereits in der Literatur beschriebene Seltenheit des Auftretens dieses Krankheitskomplexes (HARTUNG 1983; ZANDER 2002; ZANDER et al. 2002; MEIJ 2005; MORGAN et al. 2007). Bei der Diagnostik der Wirbelsäulentumoren, einschließlich der Rückenmarkstumoren, wurde die Überlegenheit

des MRTs durch seinen Weichteilkontrast sehr deutlich. So war eine Rückenmarksbeurteilung samt der tumorösen Veränderungen nur durch dieses Verfahren möglich. Die Darstellung wurde nach der intravenösen Kontrastmittelinjektion von Omniscan® bei der MRT noch deutlicher. Mittels der Myelo-CT war es möglich, Prozesse im Bereich des Rückenmarks zu erkennen, die jedoch nicht mit absoluter Sicherheit als intradural-extramedullär oder als intramedullär diagnostiziert werden konnten. Mit Hilfe der Myelographie bestand lediglich die Möglichkeit der groben Lokalisierung eines Geschehens, ohne dass weitere Aussagen über deren Ursache getroffen werden konnten. Die Ursache der ungenauen Lokalisierung basiert darauf, dass der eigentliche Tumor durch Ödeme und die darauf basierende Raumforderung eine vorzeitige Kontrastmittelauslöschung mit sich bringt. Dies beeinträchtigt eine genaue Beschreibung hinsichtlich der Größe der Veränderung. Diese Beobachtung stimmt mit den Aussagen der aktuellen Literatur überein, die die Myelographie teilweise als unnötig und unexakt in ihrer Aussagekraft betrachten (WIDMER und THRALL 2007). In dieser Arbeit wurde unter dem Gesichtspunkt der exakten Beschreibung der Lokalisation jeglicher Veränderung deutlich, dass dies ein Vorteil der Schnittbildverfahren darstellt.

Bei den Läsionen des Plexus brachialis fiel maßgeblich auf, dass die Myelographie schnell an die Grenzen ihrer Möglichkeiten stößt. So war eine Beurteilung des Schweregrades einer Läsion, der Nervenwurzeln und der Foramina intervertebralia mittels der Myelographie nicht möglich. Die Myelo-CT ergab Hinweise auf Plexus-Läsionen durch die Anwesenheit von Myelocelen, wie sie bereits in der aktuellen Literatur beschrieben werden (FORTERRE et al. 1998). Die Ergebnisse der Myelo-CT waren aber in einem der zwei Fälle bei weitem nicht so exakt wie die der MRT. Insbesondere durch das Gerät der neueren Generation „MAGNETOM SYMPHONY“ konnte eine bessere Darstellung der Weichteilstrukturen und der Nervenwurzeln beobachtet werden. Bei einem der Patienten konnte eine deutliche Durchtrennung der Nervenwurzeln festgestellt werden. Mittels der MRT war bei beiden Patienten eine deutliche Atrophie der umgebenden Muskulatur zu erkennen. Gerade dieser angesprochene Vorteil der besseren Darstellung der Nervenwurzeln und der Foramina intervertebralia mittels MRT werden jedoch in der aktuellen humanmedizinischen Literatur kontrovers diskutiert. Die Myelo-CT wird auch heute noch bevorzugt in der Humanmedizin eingesetzt (CARVALHO et al. 1997; DOI et al. 2002). Da sich in dieser Studie lediglich zwei Patienten mit einer Läsion des Plexus brachialis befanden und

beide schnittbildgebenden Verfahren zu ausreichenden Ergebnissen führten, wären sicherlich weitere Untersuchungen an einer größeren Patientenzahl für das Mittel der Wahl zur Diagnostik des Plexus-brachialis-Abrisses erforderlich.

In der Diagnostik von Rückenmarksblutungen ist die MRT das Verfahren der Wahl. Durch die MRT ist eine aussagekräftigere Beurteilung der Weichteilstrukturen möglich. Äquivalent zu den Tumoren konnte auch hier nur eine exakte Diagnose durch die MRT gestellt werden, da durch sie alle anderen in Frage kommenden Diagnosen ausgeschlossen werden konnten. Durch die Myelo-CT war es möglich, Prozesse im Bereich des Rückenmarks zu erkennen, die jedoch nicht mit absoluter Sicherheit als intradural-extramedullär oder als intramedullär diagnostiziert werden konnten. Mittels der Myelographie bestand lediglich die Möglichkeit der Lokalisation eines Geschehens, ohne weitere Aussagen über die genauere Abgrenzung treffen zu können. Wie in der Literatur beschrieben, kann deshalb an dieser Stelle nochmals die Überlegenheit der MRT bei Weichteilveränderungen und die Überlegenheit der CT bei knöchernen Veränderungen im Gegensatz zu konventionellen Röntgenbildern aufgezeigt werden (SANDE 1992; GREENAN 1993; ADAMS 1999; WIDMER und THRALL 2007).

Zur Diagnostik des Wobbler-Syndroms haben sich die Myelographie und Stressaufnahmen in Flexions- und Extensionsstellung bewährt. Mit Hilfe der stationären CT und der MRT konnte der dynamische Charakter dieser Erkrankung nicht immer verdeutlicht werden. Doch gerade dieser dynamische Charakter ist für die weiterführende Therapie von besonderem Stellenwert. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist lediglich eine Arbeit von PENDERIS (2004) auffindbar, die MRT-Stressaufnahmen beim Hund beschreibt. Übereinstimmend mit der Literatur wurde allerdings auch in dieser Arbeit beobachtet, dass Rückenmarksveränderungen, hervorgerufen durch das Wobbler-Syndrom, lediglich durch die MRT zufriedenstellend dargestellt werden können (DA COSTA et al. 2006; DA COSTA und PARENT 2007). In Zukunft wäre die Erstellung dynamischer MRT-Bilder sicherlich empfehlenswert, da durch sie auf die Anfertigung der Röntgenbilder verzichtet werden könnte und die Operationsplanung sicherlich erleichtert werden würde.

Durch die konventionelle Röntgenaufnahme konnte in dieser Studie die Lokalisation der Wirbelgelenkfortsatzfraktur im Bereich von L7 ohne Zweifel festgestellt werden. Die

Myelographie führte aber zu keinem Ergebnis, da der Duraschlauch bei diesem Patienten bereits weiter kranial endete und somit keine Aussage über das Rückenmark möglich war. Für die endgültige Bestimmung des Ausmaßes der Fraktur, einhergehend mit einer geringen Subluxation, ergab sich die CT als das beste diagnostische Mittel. Durch sie war es möglich, den Wirbel überlagerungsfrei darzustellen. Diese Erkenntnis stimmt mit den Angaben der Literatur überein, die der CT eine höhere Sensitivität im Gegensatz zur konventionellen Röntgenaufnahme zuspricht (PATHRIA und PETERSILGE 1991; MOENS und RUNYON 2002). Das Rückenmark konnte allerdings auch mittels CT nicht ausreichend beurteilt werden. Hier zeigte die MRT klare Vorteile, wogegen die MRT bei der Darstellung der Knochenstruktur der Computertomographie deutlich unterlegen war. Dies entspricht den Angaben der Literatur (GREENAN 1993). Ein weiterer Vorteil der CT zur Darstellung der knöchernen Struktur stellte sich bei einem mit Bandscheibenproblematik im Bereich des 2. und 3. Halswirbels vorgestellten Patienten dar. Durch die CT war es in diesem Falle möglich, eine alte Wirbelkörperfraktur des 3. zervikalen Wirbels zu diagnostizieren. Diese befand sich kaudal der Bandscheibenproblematik und konnte mit der transversalen Schnittführung und einer multiplanaren Rekonstruktion hervorragend dargestellt werden. Bei der konventionellen Röntgenaufnahme und allen Wichtungen und Ebenen bei der MRT waren keinerlei knöcherne Veränderungen zu erkennen. Dies zeigte den Stellenwert und die Bedeutung der CT bei der Diagnostik von Wirbelfrakturen.

Als bestes bildgebendes Verfahren zur Diagnose der Diskospondylitis wurde in dieser Studie die MRT angesehen, was mit der Arbeit von WUNDERLIN et al. (2008) übereinstimmt. Durch die MRT konnte eine bessere Aussage über das Ausmaß der Schädigung getroffen werden. Eine inflammatorische Wirbelkörperveränderung, basierend auf der Einteilung der Wirbelkörperveränderungen von MODIC (1988), bestätigte die Einschätzung (KRAFT et al. 1998; ADAMS 1999; GONZALO-ORDEN et al. 2000; WUNDERLIN et al. 2008). Es sollte bei den Wirbelkörperveränderungen aber darauf geachtet werden, dass neben der T1- und der T2-Wichtung auch immer eine STIR angefertigt wird. Durch sie ist es möglich das helle Signal des Fettgewebes in der T1- und T2-Wichtung zu unterdrücken, was eine deutlichere und bessere Abgrenzung der inflammatorischen Veränderung ermöglicht.

Bei der degenerativen Myelopathie handelt es sich um eine Ausschlussdiagnose bei Hunden mit einer Rasseprädisposition. Sie stellt den Beobachter somit vor das Problem, dass bei allen bildgebenden Verfahren keinerlei Veränderungen dargestellt werden können. Der Vollständigkeit halber sollte dem Patientenbesitzer daher neben den routinemäßigen Röntgenbildern ein weiteres Verfahren zum Ausschluss eventueller Veränderungen angeraten werden, entweder eine CT oder MRT. Da sich in dieser Studie lediglich ein Patient befand, der an einer degenerativen Myelopathie litt und alle bildgebenden Verfahren ohne Befund blieben, ist die Aussage über die Methode der Wahl schwer zu stellen. In der derzeitigen Literatur wird in einer Studie zur Anfertigung von myelographischen CT-Bildern geraten (JONES et al. 2005). Je nach Belieben des Radiologen stellen die CT und MRT in diesem Fall äquivalente Verfahren dar.

Es gibt Patienten bei denen entgegen des klinischen Bildes trotz aller drei angewandten Modalitäten keine Aussage hinsichtlich einer pathologischen Ursache gemacht werden konnte. Die Frage der Genese blieb in diesen drei Fällen offen.

Die bei allen Patienten gemessenen Werte des Zwischenwirbelspaltess ergaben kein eindeutig verwertbares Ergebnis hinsichtlich eines bestimmten pathologischen Befundes. So konnte nur bei der Hälfte der Diskopathien und der Patienten mit einem Wobbler-Syndrom eine Verengung des Zwischenwirbelspaltess ermittelt werden. Ein röntgenologisch verengter Zwischenwirbelspalt ist daher nicht automatisch mit einem Bandscheibenvorfall vergesellschaftet.

Schlussfolgernd kann festgestellt werden, dass die Schnittbildverfahren einen großen diagnostischen Vorteil gegenüber dem konventionellen Röntgenverfahren und der Myelographie darstellen. Als Grundlage einer jeden Diagnosefindung ist aber immer eine gute klinische und neurologische Untersuchung zu empfehlen, um den in Frage kommenden Bereich näher einzugrenzen. Als Übersichtsbilder eignen sich konventionelle Röntgenbilder, die den weiteren diagnostischen Plan richtungweisend beeinflussen und das Eingriffsfeld für weitere therapeutische Maßnahmen absolut exakt darstellen. Schnittbildverfahren benötigen eine andere nicht so schnell nachvollziehbare Darstellung der Lokalität, weshalb gerade Chirurgen bei einem möglichen Eingriff gerne auf ein konventionelles Röntgenbild zurückgreifen.

Um diagnostisch knöcherne Veränderungen darzustellen, sollte zur Erstellung von CT-Bildern geraten werden. Die MRT stellt durch ihren hervorragenden Weichteilkontrast das Mittel der Wahl bei Weichteilveränderungen, wie zum Beispiel bei Rückenmarksläsionen dar.

Aufgrund der hohen Anschaffungs- und Wartungskosten sowie den technischen und personellen Anforderungen sind jedoch beide Schnittbildverfahren derzeit nur Universitäten und großen Kliniken vorbehalten. Die allgemeine tierärztliche Praxis kann aber nicht auf deren diagnostischen Aussagewert verzichten.

6. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, alle derzeit zur Verfügung stehenden diagnostischen bildgebenden Verfahren bei Wirbelsäulenerkrankungen des Hundes miteinander zu vergleichen. Die Aussagekraft der jeweiligen bildgebenden Verfahren sollte miteinander vergleichend dargestellt werden. Anhand von speziellen Vermessungs- und Auswertungsverfahren wurde versucht die Vorteile der jeweiligen Modalitäten herauszuarbeiten.

Als Basis dieser Arbeit wurden 50 Hunde des Patientengutes der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München ausgewertet, die in den Jahren 2000 – 2005 einer radiologischen Wirbelsäulenuntersuchung unterzogen wurden. Die Untersuchung umfasste die Erstellung konventioneller Röntgenbilder, Myelographien, konventioneller computertomographischer Bilder, Myelo-CT Bilder und magnetresonanztomographischer Bilder. Die Patientendaten sowie die klinische und neurologische Voruntersuchung konnten den Akten der Patienten entnommen werden. Der Auswertung der Röntgen- und CT-Bilder lagen die Arbeiten von CHRISTE et al. (2005) und LARSSON et al. (1989) zugrunde. Dabei wurden die Verengung des Zwischenwirbelspaltes, die Struktur der Bandscheibe, die Dichte der Bandscheibe, die Bandscheibenveränderungen, die Höhe der Bandscheibe und die Einengung des Spinalkanals ausgewertet. Basierend auf den Arbeiten von LARSSON et al. (1989) und THOMPSON et al. (1990) wurden die MRT-Bilder ausgewertet. Grundlage der Auswertung war die Beurteilung der Verengung des Zwischenwirbelspaltes, der Struktur der Bandscheibe, der Unterscheidung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus, der Signalintensität der Bandscheibe, der Höhe der Bandscheibe und der Einengung des Spinalkanals.

Es wurde ein Verfahren entwickelt, das die genaue Vermessung des Zwischenwirbelspaltes bei allen Diagnoseverfahren erlaubte. Die Referenzwerte für mögliche Verengungen stellten jeweils die kranialen und kaudalen Zwischenwirbelspalten dar.

Auf den Patientendaten basierend ließen sich die Patienten in 10 Diagnosegruppen einteilen. Hunde mit einem Cauda-equina-Syndrom (n = 18) stellten die stärkste Gruppe dar, gefolgt von denen mit Bandscheibenvorfällen (n = 16). Die dritte Gruppe bildeten Patienten (n = 4), bei denen Tumore im Bereich der Wirbelsäule diagnostiziert wurden. Den nächsten drei Gruppen gehörten je 2 Hunde an, die mit Plexus-brachialis-Läsionen,

Rückenmarksblutungen und einem Wobbler-Syndrom vorgestellt wurden. Die letzten drei Gruppen mit je einem Patienten beinhalteten eine Wirbelfortsatzfraktur, eine Diskospondylitis und eine degenerative Myelopathie.

Bei den 18 Hunden mit einem Cauda-equina-Syndrom wurde deutlich, dass die Schnittbildverfahren den konventionellen Röntgenbildern und der Myelographie deutlich überlegen waren. Welches der beiden Schnittbildverfahren zur Diagnostik des Cauda-equina-Syndroms nun das bessere ist, konnte nicht mit absoluter Sicherheit geklärt werden, da beide Verfahren sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich bringen.

Die 16 Hunde mit Bandscheibenvorfällen verdeutlichten ein weiteres Mal die Überlegenheit des CTs und MRTs gegenüber den konventionellen Röntgenbildern und der Myelographie.

Auch konnte eine deutliche Überlegenheit des MRTs zur Diagnose der vier Patienten mit Tumoren und der jeweils 2 Patienten mit Plexus-brachialis-Läsionen und Rückenmarksblutungen gesehen werden.

Zur Bestätigung der Erkenntnis des Wobbler-Syndroms bei 2 Patienten lieferte die Myelographie hervorragende Ergebnisse. Durch sie war es möglich, den dynamischen Charakter dieser Erkrankung zu verdeutlichen.

Für die Gelenkfortsatzfraktur eignete sich besonders die CT, da durch sie kleinste Fissuren darzustellen sind.

Bei der degenerativen Myelopathie handelt es sich um eine Ausschlussdiagnose, weshalb hier bei keinem der vorgestellten bildgebenden Verfahren Veränderungen zu diagnostizieren waren.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass in dieser Arbeit der diagnostische Vorteil der Schnittbildverfahren gegenüber dem konventionellen Röntgenverfahren und der Myelographie deutlich zu erkennen war.

7. Summary

This study compares all diagnostic imaging procedures available at present time concerning spine diseases in the dog. The significance of the diagnostic imaging procedures has been compared to each other. Based on specific procedures it was tried to extract the advantage of the different modalities.

In order to complete the study, 50 dogs from the patient population of the Department of Veterinary Surgery, small animal hospital, Ludwig-Maximilians-University Munich have been examined from the year 2000 until 2005 using diagnostic imaging.

The examination included the conventional radiographs, myelography, conventional computed tomography (CT), myelo-ct and magnetic resonance imaging (MRT). The patients' details as well as the clinical and neurological pre-examinations could be taken from the patients' records.

The examination of the radiographs and CT images were based on the studies of CHRISTE et al. (2005) and LARSSON et al. (1989). Therefore the narrowing of the intervertebral disc space, the structure of the intervertebral disc, the intensity of the intervertebral disc, alteration of the intervertebral disc, the height of the intervertebral disc and the narrowing of the spinal canal were evaluated. Based on the studies of LARSSON et al. (1989) and THOMPSON et al. (1990) the MRI images were evaluated. Background for the evaluation was the judgment concerning the narrowing of the intervertebral disc space, the structure of the intervertebral disc, the differentiation between nucleus pulposus and anulus fibrosus, the signal intensity of the intervertebral disc, the height of the intervertebral disc and the narrowing of the spinal canal. For every diagnostic imaging procedure the intervertebral disc space was measured. The reference values for possible narrowings were represented by the cranial and caudal intervertebral disc spaces.

With this knowledge of the patients details the patients could be divided into ten diagnostic groups. The largest of the ten groups showed the cauda equina syndrome (n = 18), followed by the group with intervertebral disc disease (n=16). The third group (n = 4) consisted of patients with tumor in the spinal area. Two dogs with plexus brachialis lesions, spinal bleeding and wobbler-syndrome were part of the following three groups (n = 2). The last three groups (n = 1) suffered from articular process fracture, discospondylitis and a degenerative myelopathy.

Among the 18 dogs with cauda equina syndrome it was clearly visible that the CT and MRI were more accurate than the conventional radiographs and the myelography.

So far it has not been possible to clarify, which of the two specified imaging procedures is superior as both procedures still show advantages as well as disadvantages.

The examination of the 16 dogs with intervertebral disc disease showed clearly the superiority of CT and MRI compared to the conventional radiographs and myelography.

For the remaining diseases the MRI showed to be the more convincing imaging technique as the higher soft tissue contrast made the structures more visible.

At the same time a higher diagnostic value of the MRI was seen within the tumor patients and patients with plexus lesions.

In order to determine the wobbler-syndrome, which had been diagnosed in two patients, the myelography showed the most successful results. At the same time these findings supported the dynamic character of the disease.

For the articular process fracture the CT was more convincing, as even smallest fissures became visible.

In the case of the degenerative myelopathy an elimination diagnosis was used. Therefore none of the examined imaging procedures led to any improvements in diagnosis.

In the end it can be said, that in this scientific research the diagnostic advantage of the CT and MRI in comparison to the conventional X-ray procedure and the myelography was clearly visible.

8. Literaturverzeichnis

ADAMS WH.

The spine.

Clin Tech Small Anim Pract 1999; 14 (3): 148-159.

ADAMS WH.

Die bildgebenden Verfahren in der Tiermedizin.

Interne Fortbildung, Knoxville, 2007.

ASSHEUER J, SAGER M.

MRI and CT Atlas of the Dog.

Blackwell Publishers, Oxford, 1997.

BAGLEY RS.

Spinal fracture or luxation.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 2000; 30 (1): 133-153.

BARONE G, ZIEMER LS, SHOFER FS, STEINBERG SA.

Risk factors associated with development of seizures after use of iohexol for myelography in dogs: 182 cases (1998).

J Am Vet Med Assoc 2002; 220 (10): 1499-1502.

BESALTI O, PEKCAN Z, SIRIN YS, ERBAS G.

Magnetic resonance imaging findings in dogs with thoracolumbar intervertebral disk disease: 69 cases (1997-2005).

J Am Vet Med Assoc 2006; 228 (6): 902-908.

BOS AS, BRISSON BA, HOLMBERG DL, NYKAMP SG.

Use of the ventrodorsal myelographic view to predict lateralization of extruded disk material in small-breed dogs with thoracolumbar intervertebral disk extrusion: 104 cases (2004-2005).

J Am Vet Med Assoc 2007; 230 (12): 1860-1865.

BRAWNER WR, HATHCOCK JT.

Neuroradiology.

In: SLATTER D. (ed): Textbook of Small Animal Surgery. Saunders, Philadelphia, 2003, 1118-1131.

BRÜHSCHWEIN A.

Anatomische Darstellung des caninen Karpalgelenkes mittels

Magnetresonanztomographie und Computertomographie unter besonderer Berücksichtigung der Weichteilstrukturen.

Diss. med. vet., München, 2005.

BUSH WW.

Cervical spinal cord vs. peripheral nerve/ muscle injury: what every ER vet must know.

12th International Veterinary Emergency and Critical Care Symposium, San Antonio, 2006.

BUTTERWORTH SJ, GIBBS C.

A review of the usefulness of myelography in 50 dogs.

Vet Rec 1992; 130 (21): 461-465.

CARVALHO GA, NIKKHAH G, MATTHIES C, PENKERT G, SAMII M.

Diagnosis of root avulsions in traumatic brachial plexus injuries: value of computerized tomography myelography and magnetic resonance imaging.

J Neurosurg 1997; 86 (1): 69-76.

CHRISTE A, LÄUBLI R, GUZMAN R, BERLEMANN U, MOORE RJ, SCHROTH G, VOCK P, LÖVBLAD KO.

Degeneration of the cervical disc: histology compared with radiography and magnetic resonance imaging.

Neuroradiology 2005; 47 (10): 721-729.

CLEMMONS RM.

Degenerative myelopathy.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1992; 22 (4): 965-971.

DA COSTA RC, PARENT JM.

One-year clinical and magnetic resonance imaging follow-up of Doberman Pinschers with cervical spondylomyelopathy treated medically or surgically.

J Am Vet Med Assoc 2007; 231 (2): 243-250.

DA COSTA RC, PARENT J, DOBSON H, HOLMBERG D, PARTLOW G.

Comparison of magnetic resonance imaging and myelography in 18 Doberman pinscher dogs with cervical spondylomyelopathy.

Vet Radiol Ultrasound 2006; 47 (6): 523-531.

DÄMMRICH K.

Zur Pathologie der degenerativen Erkrankung der Wirbelsäule bei Hunden.

Kleintierpraxis 1981; 26: 467-476.

DENNIS R.

Radiographic examination of the canine spine.

Vet Rec 1987; 121 (2): 31-35.

DEWEY CW, COATES JR.

Miscellaneous spinal conditions and peripheral nerve injuries.

In: SLATTER D. (ed) Textbook of Small Animal Surgery. Saunders, Philadelphia, 2003, 1209-1218.

DICKINSON PJ.

Spinal cord disease in large breed dogs.

4th Annual Veterinary Neurology Symposium, Davis, 2007.

- DOI K, OTSUKA K, OKAMOTO Y, FUJII H, HATTORI Y, BALIARSING AS.
Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography.
J Neurosurg 2002; 96 (3 Suppl): 277-284.
- FLATZ KM.
Ex vivo Untersuchungen zum Nachweis von Knorpeldefekten im Kniegelenk des Hundes mit der Hochfeld-Magnetresonanztomographie.
Diss. med. vet., München, 2006.
- FOLTIN I.
Kernspintomographische Kriterien für Hüftgelenksdysplasie, Koxarthrose und Morbus Legg-Calvé-Perthes beim Hund.
Diss. med. vet., München, 2002.
- FORTERRE F, GUTMANN SBAUER B, SCHMAHL W, MATIS U.
CT-Myelographie zur Diagnose des Plexus-brachialis-Abrisses beim Kleintier.
Tierarztl Prax 1998; 26 (5): 322-329.
- GAROSI L.
Lesion localization and differential diagnosis.
In: OLBY N, PLATT S (eds): BSAVA Manual of Canine and Feline Neurology: British Small Animal Veterinary Association. 3. Aufl., Blackwell Publishers, Oxford, 2004, 24-34.
- GAVIN PR, FIKE JR, HOOPES PJ.
Central nervous system tumors.
Semin Vet Med Surg (Small Anim) 1995; 10 (3): 180-189.
- GEML BN.
Diagnostische Wertigkeit von CT und MRT in der präoperativen Diagnostik von Pankreaskarzinomen.
Diss. med., Freiburg im Breisgau, 2006.
- GIBBONS SE, MACIAS C, DE STEFANI A, PINCHBECK GL, MCKEE WM.
The value of oblique versus ventrodorsal myelographic views for lesion lateralisation in canine thoracolumbar disc disease.
J Small Anim Pract 2006; 47 (11): 658-662.
- GONZALO-ORDEN JM, ALTONAGA JR, ORDEN MA, GONZALO JM.
Magnetic resonance, computed tomographic and radiologic findings in a dog with discospondylitis.
Vet Radiol Ultrasound 2000; 41 (2): 142-144.
- GREENAN TJ.
Diagnostic imaging of sports-related spinal disorders.
Clin Sports Med 1993; 12 (3): 487-505.

GREVEL V, COP Z.

Ungewöhnliche Bandscheibenvorfälle beim Hund. Teil 1: Vorfälle mit besonderer Berücksichtigung der Lokalisation. Teil 2: Vorgefallenes Bandscheibenmaterial aus klinischer Sicht.

Kleintierpraxis 1992; 37: 585-592, 657-664.

GREVEL V, SCHWARTAU K.

Die Hemilaminektomie beim thorakolumbalen Bandscheibenvorfall des Hundes. Teil 1: Klinische Befunde und Röntgendiagnostik. Teil 2: Operationsbefunde und Operationsergebnisse.

Kleintierpraxis 1997; 42: 5-20, 173-196.

GRIFFITHS IR.

Avulsion of the brachial plexus-1. Neuropathology of the spinal cord and peripheral nerves.

J Small Anim Pract 1974; 15 (3): 165-176.

GRIFFITHS IR, DUNCAN ID, LAWSON DD.

Avulsion of the brachial plexus-2. Clinical aspects.

J Small Anim Pract 1974; 15 (3): 177-183.

HANSEN HJ.

A pathologic-anatomical study on disc degeneration in dog, with special reference to the so-called enchondrosis intervertebralis.

Acta Orthop Scand Suppl 1952; 11: 1-117.

HARA Y, TAGAWA M, EJIMA H, ORIMA H, FUJITA M.

Usefulness of computed tomography after myelography for surgery on dogs with cervical intervertebral disc protrusion.

J Vet Med Sci 1994; 56 (4): 791-794.

HARTUNG K.

Myelographie beim kleinen Haustier.

Tierarztl Praxis 1983; 11: 85-96.

HATHCOCK JT, STICKLE RL.

Principles and concepts of computed tomography.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1993; 23 (2): 399-415.

JAGGY A, LANG J.

Zervikale Spondylopathie („Wobbler-Syndrom“) beim Hund.

Schweiz Arch Tierheilkd 1986 128 (8): 385-399.

JAGGY A, LANG J, SCHAWALDER P.

Cauda-equina-Syndrom beim Hund.

Schweiz Arch Tierheilkd 1987; 129 (4): 171-192.

JONES JC, INZANA KD.

Subclinical CT abnormalities in the lumbosacral spine of older large-breed dogs.

Vet Radiol Ultrasound 2000; 41 (1): 19-26.

JONES JC, INZANA KD, ROSSMEISL JH, BERGMAN RL, WELLS T, BUTLER K.
CT myelography of the thoraco-lumbar spine in 8 dogs with degenerative myelopathy.
J Vet Sci 2005; 6 (4): 341-348.

JURINA K.

Zervikale Bandscheibenvorfälle beim Hund - Klinische und röntgenologische
Untersuchungsbefunde prae und post operationem.
Diss. med. vet., Berlin, 1996.

JURINA K, GREVEL V.

Der zervikale Bandscheibenvorfall beim Hund. Teil 1: Klinische und röntgenologische
Befunde. Teil 2: Operation und Nachuntersuchung.
Tierarztl Praxis 2002; 30: 88-96, 192-201.

KATHMANN I, DEMIERRE S, JAGGY A.

Rehabilitationsmaßnahmen in der Kleintierneurologie.
Schweiz Arch Tierheilkd 2001; 143 (10): 495-502.

KAUFFMANN GW, WUNSCH C, SCHNEIDER B.

Röntgendiagnostik.

In: KAUFFMANN GW, MOSER E, SAUER R. (Hrsg.): Radiologie. 3. Aufl., Urban &
Fischer bei Elsevier, München/ Jena, 2006, 85-252.

KIRBY BM.

Spinal fracture/ luxation.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1995; 25 (5): 1149-1174.

KNIPE M.

Diagnostic imaging in neurological patients: The Black, White, and Grey.
3th Annual Veterinary Neurology Symposium, Davis, 2006.

KOCH DA, MONTAVON PM.

Eine chirurgische Methode zur Stabilisation von traumatischen Subluxationen,
Luxationen und Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule bei Hunden und Katzen.
Schweiz Arch Tierheilkd 1998; 140 (10): 413-418.

KÖNIG HE, LIEBICH HG.

Bewegungsapparat.

In: KÖNIG HE, LIEBICH HG (Hrsg.): Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und
Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer, Stuttgart, 2001.

KÖNIG HE, LIEBICH HG.

Organe, Kreislauf- und Nervensystem.

In: KÖNIG HE, LIEBICH HG (Hrsg.): Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und
Farbatlas für Studium und Praxis. Schattauer, Stuttgart, 2002.

KORNBERG M.

Neurologische Erkrankungen.

In: NIEMAND HG, SUTER PF, KOHN B (Hrsg.): Praktikum der Hundeklinik. 10.
Aufl., Parey, Stuttgart, 2006, 1004-1063.

- KRAFT SL, MUSSMAN JM, SMITH T, BILLER DS, HOSKINSON JJ.
Magnetic resonance imaging of presumptive lumbosacral discospondylitis in a dog.
Vet Radiol Ultrasound 1998; 39 (1): 9-13.
- KÜNZEL E.
Beitrag zur funktionellen Anatomie der Zwischenwirbelscheiben des Hundes mit Berücksichtigung der Discopathien.
Berl Munch Tierarztl Wochenschr 1960; 73: 101-120.
- LANG J, HÄNI H, SCHAWALDER P.
A sacral lesion resembling osteochondrosis in the german shepherd dog.
Vet Radiol Ultrasound 1992; 33 (2): 69-76.
- LANG J, JAGGY A.
Die Röntgenuntersuchung der Cauda equina des Hundes.
Schweiz Arch Tierheilkd 1989; 131 (6): 299-309.
- LARSSON EM, HOLTÅS S, CRONQVIST S, BRANDT L.
Comparison of myelography, CT myelography and magnetic resonance imaging in cervical spondylosis and disk herniation. Pre- and postoperative findings.
Acta Radiol 1989; 30 (3): 233-239.
- LAUTERSACK O.
Das Wobbler-Syndrom (zervikale Spondylomyelopathie) beim Dobermann im Vergleich mit ausgewählten Rassen.
Diss. med. vet., Giessen, 2002.
- LEPPIN R.
Grundlagen der Magnetresonanztomographie.
Interne Fortbildung, Düsseldorf, 2007.
- LEWIS DD, HOSGOOD G.
Complications associated with the use of iohexol for myelography of the cervical vertebral column in dogs: 66 cases (1988-1990).
J Am Vet Med Assoc 1992; 200 (9): 1381-1384.
- LIEBICH HG.
Funktionelle Histologie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis.
Schattauer, Stuttgart, 1999.
- LUTTGEN PJ.
Neoplasms of the spine.
Vet Clin North Am Small Anim Pract 1992; 22 (4): 973-984.
- LUTTGEN PJ, PECHMAN RD, HARTSFIELD SM.
Neuroradiology.
Vet Clin North Am Small Anim Pract 1988; 18 (3): 501-528.

MATIS U.

Fixation techniques for spinal fractures and dislocations.
32nd World Congress of the World Small Animal Veterinary Association, Sydney,
Australia, 2007.

MEIJ B.

Spinal cord and nerve sheath tumors: diagnosis and surgery.
30th World Congress of the World Small Animal Veterinary Association, Mexico City,
Mexico, 2005.

MEOLA SD, SWIDERSKI JK, RANDALL EK, KRAFT SL, PALMER RH.

What is your diagnosis? Spinal cord compression.
J Am Vet Med Assoc 2007; 230 (11): 1629-1630.

MOENS NM, RUNYON CL.

Fracture of L7 vertebral articular facets and pedicles following dorsal laminectomy in a
dog.
J Am Vet Med Assoc 2002; 221 (6): 800, 807-810.

MORGAN LW, TOAL R, SIEMERING G, GAVIN P.

Imaging diagnosis-infiltrative lipoma causing spinal cord compression in a dog.
Vet Radiol Ultrasound 2007; 48 (1): 35-37.

MUNANA KR.

Canine and feline myelopathie III: fracture and luxation in spinal trauma.
Western Veterinary Conference, Las Vegas, 2002.

NEER TM, KREEGER JM.

Cervical spinal cord astrocytoma in a dog.
J Am Vet Med Assoc 1987; 191 (1): 84-86.

NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E.

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I: Bewegungsapparat. Parey Verlag,
Stuttgart, 1984, 25-45, 189-190.

NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E.

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band IV: Nervensystem, Sinnesorgane, endokrine
Drüsen. Parey Verlag, Stuttgart, 1992, 28-33.

NYKAMP SG, STEFFEY MA, SCRIVANI PV, SCHATZBERG SJ.

Computed tomographic appearance of epidural empyema in a dog.
Can Vet J 2003; 44 (9): 729-731.

OHLERTH S, SCHARF G.

Computed tomography in small animals-basic principles and state of the art applications.
Vet J 2007; 173 (2): 254-271.

OLBY NJ, MUNANA KR, SHARP NJ, THRALL DE.

The computed tomographic appearance of acute thoracolumbar intervertebral disc herniations in dogs.

Vet Radiol Ultrasound 2000; 41 (5): 396-402.

PATHRIA MN, PETERSILGE CA.

Spinal trauma.

Radiol Clin North Am 1991; 29 (4): 847-865.

PENDERIS J, DENNIS R.

Use of traction during magnetic resonance imaging of caudal cervical spondylomyelopathy ("Wobbler-Syndrome") in the dog.

Vet Radiol Ultrasound 2004; 45 (3): 216-219.

PENDERIS J, SCHWARZ T, MCCONNELL JF, GAROSI LS, THOMSON CE, DENNIS R.

Dysplasia of the caudal vertebral articular facets in four dogs: results of radiographic, myelographic and magnetic resonance imaging investigations.

Vet Rec 2005; 156 (19): 601-605.

PRATA RG.

Diagnosis of spinal cord tumors in the dog.

Vet Clin North Am 1977; 7 (1): 165-185.

RENTMEISTER K.

Zur lumbosakralen Stenose des Hundes („Cauda Equina Kompressionssyndrom“).

Diss. med. vet., München, 1995.

ROBERTS RE, SELCER BA.

Myelography and epidurography.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1993; 23 (2): 307-329.

SANDE RD.

Radiography, myelography, computed tomography, and magnetic resonance imaging of the spine.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1992; 22 (4): 811-831.

SANDERS SG, BAGLEY RS, GAVIN PR.

Intramedullary spinal cord damage associated with intervertebral disk material in a dog.

J Am Vet Med Assoc 2002; 221 (11): 1594-1596, 1574-1575.

SCHMID V, LANG J.

Measurements on the lumbosacral junction in normal dogs and those with cauda equina compression.

J Small Anim Pract 1993; 34 (9): 437-442.

SCHWARZ G.

Zum Cauda-equina-Syndrom bei Hund und Katze.

Wien Tierarztl Monatsschr 1991; 79: 292-294, 296-300.

SCHWARZ G.

Wirbelsäulenerkrankung.

In: NIEMAND HG, SUTER PF, KOHN B (Hrsg.): Praktikum der Hundeklinik. 10 Aufl., Parey, Stuttgart, 2006, 1065-1082.

SEIM III HB.

Surgery of the lumbosacral spine.

In: FOSSUM TW (ed): Small Animal Surgery. 2 Aufl., Mosby, St. Louis, 2002, 1302-1321.

SHELL LG.

Brachial plexus and/ or nerve root avulsion.

Vin.com, 2007

SHORES A.

Spinal trauma. Pathophysiology and management of traumatic spinal injuries.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1992; 22 (4): 859-888.

SHORES A.

Magnetic resonance imaging.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1993; 23 (2): 437-459.

SIMPSON ST.

Intervertebral disc disease.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1992; 22 (4): 889-897.

SJÖSTRÖM L.

Lumbosacral disorders.

In: SLATTER D (ed): Textbook of Small Animal Surgery. Saunders, Philadelphia, 2003, 1227-1137.

SOMMER K.

Frakturen, Luxationen und Luxationsfrakturen der Wirbelsäule bei Hund und Katze.

Diss. med. vet., München, 1998.

STEINBERG HS.

Brachial plexus injuries and dysfunctions.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1988; 18 (3): 565-580.

STEINHAGEN J, HABERMANN CR, PETERSEN JP, KOTHE R.

Bildgebung bei degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule.

In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR RHEUMATOLOGIE. (Hrsg.): Rheumatologie. Bildgebende Verfahren in der Rheumatologie. 1. Aufl., Steinkopff, Darmstadt, 2007, 219-239.

STICKLE RL, HATHCOCK JT.

Interpretation of computed tomographic images.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 1993; 23 (2): 417-435.

TASSANI-PRELL M.

Der Bandscheibenvorfall beim Hund. Behandlung und Ergebnisse in den Jahren 1983 – 1988.

Diss. med. vet., München, 1993.

THIESS A.

Frakturen, Luxationen und Luxationsfrakturen der Wirbelsäule beim Hund

Diss. med. vet., München, 1983.

THOMAS WB.

Diskospondylitis and other vertebral infections.

Vet Clin North Am Small Anim Pract 2000; 30 (1): 169-182.

THOMPSON JP, PEARCE RH, SCHECHTER MT, ADAMS ME, TSANG IK, BISHOP PB.

Preliminary evaluation of a scheme for grading the gross morphology of the human intervertebral disc.

Spine 1990; 15 (5): 411-145.

TIDWELL AS.

Principles of computed tomography and magnetic resonance imaging.

In: THRALL DE (ed): Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. 5. Aufl., Saunders, Philadelphia, 2007, 50-77.

TIDWELL AS, JONES JC.

Advanced imaging concepts: a pictorial glossary of CT and MRI technology.

Clin Tech Small Anim Pract 1999; 14 (2): 65-111.

TIPOLD A.

Tumoren des zentralen und peripheren Nervensystems.

In: NOLTE I, NOLTE M (Hrsg.): Praxis der Onkologie bei Hund und Katze. 1. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart, 2000, 281-90.

TOOMBS JP, WATERS DJ.

Intervertebral disc disease.

In: SLATTER D (ed): Textbook of Small Animal Surgery. Saunders, Philadelphia, 2003, 1193-1209.

VANDEVELDE M, SCHAWALDER P, UELTSCHI G.

Degenerative Myelopathie beim Deutschen Schäfer.

Schweiz Arch Tierheilkd 1980; Jun; 122 (6): 323-326.

VASILOPULOS RJ, MACKIN AJ, JENNINGS D, READ R.

What is your neurologic diagnosis? Nerve sheath tumor involving the brachial plexus with involvement of the spinal cord.

J Am Vet Med Assoc 2002; 221 (10): 1397-1399.

VERNAU KM.

Spinal cord disease of large breed dogs.

78th Annual Western Veterinary Conference, Las Vegas, 2006.

WAIBL H, MAYRHOFER E, MATIS U, BRUNNBERG L, KÖSTLIN R.
Atlas der Röntgenanatomie des Hundes.
Parey Verlag, Stuttgart, 2. Aufl., 2003.

WHEELER SJ.
Lumbosacral disease.
Vet Clin North Am Small Anim Pract 1992; 22 (4): 937-950.

WIDMER WR.
Iohexol and iopamidol: new contrast media for veterinary myelography.
J Am Vet Med Assoc 1989; 194 (12): 1714-1716.

WIDMER WR, THRALL DE.
Canine and feline intervertebral disc disease, myelography and spinal cord disease.
In: THRALL DE (ed) Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. 5. Aufl., Saunders, Philadelphia, 2007, 194-219.

WUNDERLIN N, WIGGER A, SCHMIDT M, KLUMPP S, KRAMER M.
Überblick über verschiedene bildgebende Verfahren zur Diagnose der Diskospondylitis beim Hund.
Kleintierpraxis 2008; 53 (9): 539-546.

ZANDER S.
Diagnostik von Wirbelsäulenerkrankungen bei Hunden mit Hilfe der Computertomographie im Vergleich zur Myelographie.
Diss. med. vet., Hannover, 2002.

ZANDER S, MEYER-LINDENBERG A, KRAMER S, WOHLSEIN P, TIPOLD A.
Ungewöhnliche Manifestation eines Plexuskarzinoms bei einem Hund: Klinische, computertomographische und histopathologische Diagnose.
Tierarztl Praxis 2002; 30: 15-20.

9. Anhang

9.1. Abkürzungen

		mk	männlich kastriert
Abb.	Abbildung	ml	Milliliter
C 1 – 7	Halswirbel 1 – 7	MPR	multiplanare Rekonstruktion
caud.	caudal (Singular)		
caudd.	caudal (Plural)	MRT	Magnetresonanz- tomographie
cran.	cranial (Singular)		
crann.	cranial (Plural)	o.b.B.	ohne besonderen Befund
CT	Computertomographie	Proc.	Processus (Singular)
DSH	Deutscher Schäferhund	Procc.	Processus (Plural)
EKG	Elektrokardiographie	PSR	Patellarsehnenreflex
FAT SAT	fat saturation	PZ	Propriozeption
FLAIR	Fluid attenuated inversion recovery	RHD	Rauhaardackel
		RM	Rückenmark
FSE	Synonym für RARE Rapide Acquisition with Relaxation Enhancement	RTG	Röntgen
		S 1 – 3	Sakralwirbel 1 – 3
		STIR	Short-Tau Inversion Recovery
ggr.	geringgradig		
hgrd.	hochgradig	T 1 – 13	Brustwirbel 1 – 13
HU	Hounsfield Unit	TCR	Tibialis-cranialis-Reflex
Incc.	Incisura (Plural)	TE	Echozeit
i.v.	intravenös	TR	Repetitionszeit
KG	Körpergewicht	TSE	Turbo-Spin-Echo
kg	Kilogramm	w	weiblich
L 1 – 7	Lendenwirbel 1 – 7	wk	weiblich kastriert
m	männlich	ZWS	Zwischenwirbelspalt

9.2. Statistische Tabellen

RTG kranialer ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.25	1	2.04	1	2.04
0.33	1	2.04	2	4.08
0.4	1	2.04	3	6.12
0.42	1	2.04	4	8.16
0.43	1	2.04	5	10.20
0.5	1	2.04	6	12.24
0.56	3	6.12	9	18.37
0.57	3	6.12	12	24.49
0.58	1	2.04	13	26.53
0.59	1	2.04	14	28.57
0.6	1	2.04	15	30.61
0.63	1	2.04	16	32.65
0.65	2	4.08	18	36.73
0.66	1	2.04	19	38.78
0.67	1	2.04	20	40.82
0.68	2	4.08	22	44.90
0.69	1	2.04	23	46.94
0.72	1	2.04	24	48.98
0.74	1	2.04	25	51.02
0.75	2	4.08	27	55.10
0.76	3	6.12	30	61.22
0.77	1	2.04	31	63.27
0.79	2	4.08	33	67.35
0.8	4	8.16	37	75.51
0.81	1	2.04	38	77.55
0.82	2	4.08	40	81.63
0.84	1	2.04	41	83.67
0.87	1	2.04	42	85.71
0.88	1	2.04	43	87.76
0.92	2	4.08	45	91.84
0.94	1	2.04	46	93.88
0.95	1	2.04	47	95.92
0.97	1	2.04	48	97.96
0.99	1	2.04	49	100.00

Tabelle 26: Röntgenuntersuchung, Werte der kranialen Zwischenwirbelspalte.
Fehlende Häufigkeit = 1.

RTG zentraler ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.14	1	2.00	1	2.00
0.28	1	2.00	2	4.00
0.37	1	2.00	3	6.00
0.42	1	2.00	4	8.00
0.49	1	2.00	5	10.00
0.51	1	2.00	6	12.00
0.55	1	2.00	7	14.00
0.56	1	2.00	8	16.00
0.57	1	2.00	9	18.00
0.6	1	2.00	10	20.00
0.61	2	4.00	12	24.00
0.62	1	2.00	13	26.00
0.66	1	2.00	14	28.00
0.69	1	2.00	15	30.00
0.72	1	2.00	16	32.00
0.78	1	2.00	17	34.00
0.8	1	2.00	18	36.00
0.82	1	2.00	19	38.00
0.84	1	2.00	20	40.00
0.85	1	2.00	21	42.00
0.87	1	2.00	22	44.00
0.88	2	4.00	24	48.00
0.89	1	2.00	25	50.00
0.9	1	2.00	26	52.00
0.93	1	2.00	27	54.00
0.97	3	6.00	30	60.00
1	1	2.00	31	62.00
1.02	1	2.00	32	64.00
1.03	1	2.00	33	66.00
1.05	1	2.00	34	68.00
1.07	1	2.00	35	70.00
1.08	1	2.00	36	72.00
1.09	1	2.00	37	74.00
1.11	1	2.00	38	76.00
1.13	1	2.00	39	78.00
1.16	1	2.00	40	80.00
1.18	3	6.00	43	86.00
1.19	2	4.00	45	90.00
1.26	1	2.00	46	92.00
1.27	1	2.00	47	94.00
1.29	1	2.00	48	96.00
1.31	1	2.00	49	98.00
1.41	1	2.00	50	100.00

Tabelle 27: Röntgenuntersuchung, Werte der betroffenen Zwischenwirbelspalte.

RTG kaudaler ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.25	1	3.85	1	3.85
0.29	1	3.85	2	7.69
0.37	1	3.85	3	11.54
0.39	1	3.85	4	15.38
0.46	1	3.85	5	19.23
0.56	1	3.85	6	23.08
0.57	1	3.85	7	26.92
0.58	2	7.69	9	34.62
0.64	1	3.85	10	38.46
0.66	1	3.85	11	42.31
0.71	1	3.85	12	46.15
0.73	2	7.69	14	53.85
0.76	2	7.69	16	61.54
0.8	1	3.85	17	65.38
0.83	1	3.85	18	69.23
0.86	1	3.85	19	73.08
0.87	1	3.85	20	76.92
0.89	1	3.85	21	80.77
0.92	1	3.85	22	84.62
0.96	1	3.85	23	88.46
0.97	1	3.85	24	92.31
0.99	2	7.69	26	100.00

Tabelle 28: Röntgenuntersuchung, Werte der kaudalen Zwischenwirbelspalte.
Fehlende Häufigkeiten = 24.

CT kranialer ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.177304965	1	4.76	1	4.76
0.32	1	4.76	2	9.52
0.379672897	1	4.76	3	14.29
0.393081761	1	4.76	4	19.05
0.399408284	1	4.76	5	23.81
0.459558824	1	4.76	6	28.57
0.469314079	1	4.76	7	33.33
0.489864865	1	4.76	8	38.10
0.494880546	1	4.76	9	42.86
0.51	1	4.76	10	47.62
0.567567568	1	4.76	11	52.38
0.612565445	1	4.76	12	57.14
0.623376623	1	4.76	13	61.90
0.636942675	1	4.76	14	66.67
0.649171271	1	4.76	15	71.43
0.662460568	1	4.76	16	76.19
0.6640625	1	4.76	17	80.95
0.700636943	1	4.76	18	85.71
0.70941337	1	4.76	19	90.48
0.8	1	4.76	20	95.24
0.830188679	1	4.76	21	100.00

Tabelle 29: CT, Werte der kranialen Zwischenwirbelspalte.
Fehlende Häufigkeiten = 29.

CT zentraler ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.265957447	1	3.70	1	3.70
0.28	1	3.70	2	7.41
0.31147541	1	3.70	3	11.11
0.373831776	1	3.70	4	14.81
0.398230088	1	3.70	5	18.52
0.43	1	3.70	6	22.22
0.432432432	1	3.70	7	25.93
0.527472527	1	3.70	8	29.63
0.530660377	1	3.70	9	33.33
0.575342466	1	3.70	10	37.04
0.586387435	1	3.70	11	40.74
0.600272851	1	3.70	12	44.44
0.628930818	1	3.70	13	48.15
0.675324675	1	3.70	14	51.85
0.680147059	1	3.70	15	55.56
0.700636943	1	3.70	16	59.26
0.716981132	1	3.70	17	62.96
0.80078125	1	3.70	18	66.67
0.861486486	1	3.70	19	70.37
0.885714286	1	3.70	20	74.07
0.902527076	1	3.70	21	77.78
0.989761092	1	3.70	22	81.48
1.01910828	1	3.70	23	85.19
1.104972376	1	3.70	24	88.89
1.214511041	1	3.70	25	92.59
1.227810651	1	3.70	26	96.30
1.274509804	1	3.70	27	100.00

Tabelle 30: CT, Werte der betroffenen Zwischenwirbelspalte.

Fehlende Häufigkeiten = 23.

RTG kaudaler ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.230496454	1	11.11	1	11.11
0.321261682	1	11.11	2	22.22
0.4	1	11.11	3	33.33
0.400943396	1	11.11	4	44.44
0.608108108	1	11.11	5	55.56
0.620736698	1	11.11	6	66.67
0.636363636	1	11.11	7	77.78
0.659685864	1	11.11	8	88.89
0.811320755	1	11.11	9	100.00

Tabelle 31: CT, Werte der kaudalen Zwischenwirbelspalte.

Fehlende Häufigkeiten = 41.

MRT kranialer ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.31358885	1	2.08	1	2.08
0.428571429	1	2.08	2	4.17
0.4375	1	2.08	3	6.25
0.484375	1	2.08	4	8.33
0.537897311	1	2.08	5	10.42
0.555555556	1	2.08	6	12.50
0.597826087	2	4.17	8	16.67
0.616883117	1	2.08	9	18.75
0.631578947	1	2.08	10	20.83
0.633802817	1	2.08	11	22.92
0.637119114	1	2.08	12	25.00
0.638820639	1	2.08	13	27.08
0.640668524	1	2.08	14	29.17
0.644067797	1	2.08	15	31.25
0.648379052	1	2.08	16	33.33
0.654450262	1	2.08	17	35.42
0.660377358	1	2.08	18	37.50
0.665467626	1	2.08	19	39.58
0.679347826	1	2.08	20	41.67
0.69	1	2.08	21	43.75
0.711805556	1	2.08	22	45.83
0.72	1	2.08	23	47.92
0.728476821	1	2.08	24	50.00
0.737527115	1	2.08	25	52.08
0.750798722	1	2.08	26	54.17
0.758928571	1	2.08	27	56.25
0.785714286	1	2.08	28	58.33
0.794520548	1	2.08	29	60.42
0.801393728	1	2.08	30	62.50
0.807799443	1	2.08	31	64.58
0.810055866	1	2.08	32	66.67
0.81920904	1	2.08	33	68.75
0.83984375	1	2.08	34	70.83
0.847880299	1	2.08	35	72.92
0.858806405	1	2.08	36	75.00
0.869565217	1	2.08	37	77.08
0.875	1	2.08	38	79.17
0.88028169	1	2.08	39	81.25
0.884808013	1	2.08	40	83.33
0.891089109	1	2.08	41	85.42
0.894854586	1	2.08	42	87.50
0.914285714	1	2.08	43	89.58
0.928	1	2.08	44	91.67
0.971731449	1	2.08	45	93.75
1.028806584	1	2.08	46	95.83
1.045130641	1	2.08	47	97.92
1.091549296	1	2.08	48	100.00

Tabelle 32: MRT, Werte der kranialen Zwischenwirbelspalte.
Fehlende Häufigkeiten = 2.

MRT zentraler ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.331010453	1	2.08	1	2.08
0.406779661	1	2.08	2	4.17
0.444444444	1	2.08	3	6.25
0.514285714	1	2.08	4	8.33
0.537897311	1	2.08	5	10.42
0.5625	1	2.08	6	12.50
0.566037736	1	2.08	7	14.58
0.571428571	1	2.08	8	16.67
0.61281337	1	2.08	9	18.75
0.652173913	2	4.17	11	22.92
0.67	1	2.08	12	25.00
0.703125	1	2.08	13	27.08
0.73943662	1	2.08	14	29.17
0.761589404	1	2.08	15	31.25
0.761670762	1	2.08	16	33.33
0.763888889	1	2.08	17	35.42
0.779220779	1	2.08	18	37.50
0.807017544	1	2.08	19	39.58
0.815217391	1	2.08	20	41.67
0.828571429	1	2.08	21	43.75
0.84375	1	2.08	22	45.83
0.869565217	1	2.08	23	47.92
0.875	1	2.08	24	50.00
0.88028169	1	2.08	25	52.08
0.886426593	1	2.08	26	54.17
0.903954802	1	2.08	27	56.25
0.950118765	1	2.08	28	58.33
0.984340045	1	2.08	29	60.42
0.98630137	1	2.08	30	62.50
0.987654321	1	2.08	31	64.58
1.03125	1	2.08	32	66.67
1.064356436	1	2.08	33	68.75
1.09947644	1	2.08	34	70.83
1.115107914	1	2.08	35	72.92
1.122194514	2	4.17	37	77.08
1.166134185	1	2.08	38	79.17
1.201117318	1	2.08	39	81.25
1.248	1	2.08	40	83.33
1.252086811	1	2.08	41	85.42
1.25813449	1	2.08	42	87.50
1.302816901	1	2.08	43	89.58
1.309192201	1	2.08	44	91.67
1.324041812	1	2.08	45	93.75
1.361607143	1	2.08	46	95.83
1.378091873	1	2.08	47	97.92
1.528384279	1	2.08	48	100.00

Tabelle 33: MRT, Werte der betroffenen Zwischenwirbelspalte.
Fehlende Häufigkeiten = 2.

MRT kaudaler ZWS	Vorkommen	Vorkommen in %	Patientenzahl	Patientenzahl %
0.296167247	1	4.00	1	4.00
0.514285714	1	4.00	2	8.00
0.555555556	1	4.00	3	12.00
0.557103064	1	4.00	4	16.00
0.595238095	1	4.00	5	20.00
0.625	1	4.00	6	24.00
0.628930818	1	4.00	7	28.00
0.644067797	1	4.00	8	32.00
0.679347826	1	4.00	9	36.00
0.68359375	1	4.00	10	40.00
0.684596577	1	4.00	11	44.00
0.712530713	1	4.00	12	48.00
0.733695652	1	4.00	13	52.00
0.761589404	1	4.00	14	56.00
0.78	1	4.00	15	60.00
0.809859155	1	4.00	16	64.00
0.811688312	1	4.00	17	68.00
0.885416667	1	4.00	18	72.00
0.89673913	1	4.00	19	76.00
0.902612827	1	4.00	20	80.00
0.951086957	1	4.00	21	84.00
0.960219479	1	4.00	22	88.00
0.988700565	1	4.00	23	92.00
1	2	8.00	25	100.00

Tabelle 34: MRT, Werte der kaudalen Zwischenwirbelspalte.

Fehlende Häufigkeiten = 25.

9.3. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Röntgenuntersuchung – Lumbale Punktion mit anschließender Kontrastmittelinjektion.....	39
Abbildung 2: Spiral-CT, Typ Somatom AR. SP.	41
Abbildung 3: Magnetom Open Viva, 0,2 Tesla, Siemens (Erlangen).....	43
Abbildung 4: Magnetom Symphony, 1,5 Tesla, Siemens (Erlangen).....	43
Abbildung 5: MRT (Symphony), sagittale multiplanare Rekonstruktion.	47
Abbildung 6: MRT, transversale Schnittführung, T2-Wichtung, Zwischenwirbelspalt C3 – 4.	48
Abbildung 7: MRT, transversale Schnittführung, T2-Wichtung, Zwischenwirbelspalt C3 – 4.	48
Abbildung 8: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, Vermessungspunkte.	49
Abbildung 9: CT, transversale Schnittführung, Knochenfenster, kraniale Myelographie.	51
Abbildung 10: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster.	52
Abbildung 11: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster.	52
Abbildung 12: Myelo-CT, dorsale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster der Weite 1500 bei einem Zentrum von 300.....	66
Abbildung 13: Myelo-CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster der Weite 1500 bei einem Zentrum von 300.	66
Abbildung 14: Myelo-CT, transversale Schnittführung, Weichteilfenster.....	70
Abbildung 15: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kraniale und kaudale Myelographie.....	84
Abbildung 16: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, Vergrößerung von Abbildung 15, kraniale und kaudale Myelographie.	84
Abbildung 17: Röntgen, ventro-dorsaler Strahlengang, kraniale Myelographie.....	85
Abbildung 18: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster, kraniale und kaudale Myelographie.	86
Abbildung 19: CT, transversale Schnittführung in Höhe L5, Knochenfenster.	86
Abbildung 20: CT, transversale Schnittführung in Höhe L5, Knochenfenster.	86
Abbildung 21: CT, transversale Schnittführung in Höhe L6, Knochenfenster.	87
Abbildung 22: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T2-Wichtung.....	87
Abbildung 23: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung.....	88

Abbildung 24: MRT, dorsale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung, nach Kontrastmittelgabe.....	89
Abbildung 25: Vergrößerung der Abbildung 24.	89
Abbildung 26: MRT, transversale Schnitfführung L5, T1-Wichtung.	90
Abbildung 27: MRT, transversale Schnitfführung L6, T1-Wichtung, nach Kontrastmittelgabe.....	90
Abbildung 28: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kaudale Myelographie.....	91
Abbildung 29: Myelo-CT, transversale Schnitfführung T12, Knochenfenster.	92
Abbildung 30: Myelo-CT, transversale Schnitfführung T12, Weichteilfenster.	92
Abbildung 31: MRT, transversale Schnitfführung in Höhe von T12, T1-Wichtung nach Kontrastmittelinjektion.	93
Abbildung 32: MRT, sagittale MPR, T2-Wichtung.....	93
Abbildung 33: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kraniale Myelographie.	94
Abbildung 34: CT, sagittale MPR L7 – S1, A: Knochenfenster, B: Weichteilfenster.....	95
Abbildung 35: MRT, sagittale MPR, A: T1-Wichtung, B: T2-Wichtung.....	96
Abbildung 36: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, kraniale Myelographie.	97
Abbildung 37: Röntgen, Schrägaufnahmen im 45° Winkel und ventro-dorsaler Strahlengang, kraniale Myelographie.....	98
Abbildung 38: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, A: Knochenfenster, B: Weichteilfenster, kraniale Myelographie.	99
Abbildung 39: CT, transversale Schnitfführung, A: Knochenfenster, B: Weichteilfenster, kraniale Myelographie.....	100
Abbildung 40: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung.....	101
Abbildung 41: MRT, transversale Schnitfführung, T1-Wichtung.....	102
Abbildung 42: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T2-Wichtung.....	103
Abbildung 43: MRT, transversale Schnitfführung, T2-Wichtung.....	104
Abbildung 44: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, kraniale Myelographie.	105
Abbildung 45: CT, transversale Schnitfführung in Höhe C4, Knochenfenster, kraniale Myelographie.....	106
Abbildung 46: CT, transversale Schnitfführung in Höhe des ZWS C4 – 5, Knochenfenster, kraniale Myelographie.....	106

Abbildung 47: CT, transversale Schnittführung in Höhe C5, Knochenfenster, kraniale Myelographie.....	107
Abbildung 48: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung.....	108
Abbildung 49: MRT, transversale Schnittführung in Höhe des ZWS C4 – 5, T2-Wichtung.	109
Abbildung 50: Röntgen, latero-lateraler Strahlengang, kraniale Myelographie.	110
Abbildung 51: Röntgen, Schrägaufnahmen, ventro-dorsaler Strahlengang, kraniale Myelographie.....	111
Abbildung 52: CT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, Knochenfenster, kraniale Myelographie.....	111
Abbildung 53: CT, transversale Schnittführung in Höhe der Bandscheibe C2 – 3, Knochenfenster, kraniale Myelographie.....	112
Abbildung 54: CT, transversale Schnittführung in Höhe des Wirbelkörpers C3, Knochenfenster, kraniale Myelographie.....	112
Abbildung 55: MRT, sagittale multiplanare Rekonstruktion, T1-Wichtung, A: Übersichtsaufnahme, B: Vergrößerung der Übersichtsaufnahme, C: Übersichtsaufnahme der T2-Wichtung.....	114

9.4. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Lokalisation der Erkrankungen nach ROBERTS und SELCER (1993).	8
Tabelle 2: Signalintensität einiger Strukturen.	14
Tabelle 3: Diagnosen des Gesamtpatientengutes.	35
Tabelle 4: Übersichtstabelle der Patienten mit Rasse, Alter, Geschlecht, Diagnose, Reihenfolge der bildgebenden Verfahren und klinischem bzw. neurologischem Befund.	37
Tabelle 5: Gerätedaten SOMATOM AR. SP.	40
Tabelle 6: Gerätedaten der Kernspintomographen.	42
Tabelle 7: Röntgen und myelographische Klassifizierung.	44
Tabelle 8: CT und Myelo-CT Klassifizierung.	45
Tabelle 9: MRT Klassifizierung der Degeneration.	46
Tabelle 10: Signalgebung der MRT-Bilder nach MODIC (1988).	47
Tabelle 11: Auswertungstabelle der Patienten mit Cauda-equina-Syndrom.	56
Tabelle 12: Auswertungstabelle der Patienten mit Bandscheibenvorfällen.	58
Tabelle 13: Auswertungstabelle aller übrigen Patienten.	60
Tabelle 14: Röntgenologische, computertomographische und magnetresonanztomographische Verengung des Zwischenwirbelspaltes.	62
Tabelle 15: Röntgenologische und computertomographische Wirbelkörperveränderungen.	63
Tabelle 16: Wirbelkörperveränderungen des MRT nach MODIC (1988).	64
Tabelle 17: Myelographische, myelo-computertomographische und magnetresonanztomographische Bandscheibenhöhe der Patienten.	67
Tabelle 18: Myelographische, myelo-computertomographische und magnetresonanztomographische Einengung des Spinalkanals.	69
Tabelle 19: Magnetresonanztomographische Struktur der Bandscheiben des Patientengutes.	71
Tabelle 20: Magnetresonanztomographische Unterscheidung zwischen Nucleus pulposus und Anulus fibrosus.	72
Tabelle 21: Computertomographische Dichte der Bandscheiben.	73
Tabelle 22: Magnetresonanztomographische Signalintensität der Bandscheiben.	74
Tabelle 23: Computertomographische und magnetresonanztomographische Lage der Bandscheiben.	75

Tabelle 24: Distanzen (cm) der Verengung der Zwischenwirbelspalten aller Patienten und Modalitäten.....	79
Tabelle 25: Auswertung aller Patienten.....	83
Tabelle 26: Röntgenuntersuchung, Werte der kranialen Zwischenwirbelspalte.	142
Tabelle 27: Röntgenuntersuchung, Werte der betroffenen Zwischenwirbelspalte.....	143
Tabelle 28: Röntgenuntersuchung, Werte der kaudalen Zwischenwirbelspalte.....	144
Tabelle 29: CT, Werte der kranialen Zwischenwirbelspalte.	145
Tabelle 30: CT, Werte der betroffenen Zwischenwirbelspalte.....	146
Tabelle 31: CT, Werte der kaudalen Zwischenwirbelspalte.....	146
Tabelle 32: MRT, Werte der kranialen Zwischenwirbelspalte.....	147
Tabelle 33: MRT, Werte der betroffenen Zwischenwirbelspalte.	148
Tabelle 34: MRT, Werte der kaudalen Zwischenwirbelspalte.	149

Lebenslauf

Geburtsdatum: 03.06.1983

Geburtsort: Düsseldorf

Wohnort: Cambridgelaan 222, 3508 TW Utrecht, Holland

Familienstand: ledig

Vater: Dr. med. vet. Rainer Krauß, Tierarzt

Mutter: Dr. med. Marija Krauß geborene Umiljenovic, Fachärztin für
Anästhesiologie

Geschwister: einen Bruder

1989 – 1993 Besuch der Sankt Franziskus Grundschule in Düsseldorf

1993 – 2002 Besuch des Gymnasiums Rückertstrasse
Abitur im Mai 2002

2002 – 2004 Beginn des tiermedizinischen Studiums in Budapest an der Szent Istvan
Universität

Abschluss des Physikums im Sommersemester 2004

2004 weiterführender Studiengang an der LMU München

2006 1. Staatsexamen

2007 2. Staatsexamen

2007/ 08 3. Staatsexamen

30.01.2008 Approbation zum Tierarzt

01.05.2008 Beginn des rotierenden Kleintier-Internships an der Universität Utrecht

Praktika:

2005 University of Tennessee Knoxville TN, USA

2006 Veterinärmedizinische Fakultät Zürich, Schweiz

2007 5th Avenue Veterinary Specialists, New York, USA

University of Tennessee Knoxville TN, USA

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Frau Prof. Dr. med. vet. habil. Ulrike Matis, Vorstand der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München, für die Überlassung des interessanten Themas und für die Unterstützung bei der Durchführung herzlich danken.

Herrn Prof. Dr. agr. habil. Klaus Osterkorn danke ich für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung.

Bei Frau Dr. med. vet. Katharina Flatz möchte ich mich ebenfalls für die sehr gute Betreuung und die wissenschaftliche Anleitung bedanken.

Ferner möchte ich mich bei Herrn Dr. med. vet. Andreas Brühschwein für die gute Beratung und Hilfe bedanken.

Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Dr. med. vet. Ralph Leppin für diverse Gespräche und Vorträge bedanken.

Zuletzt gilt mein besonderer Dank meinen Eltern, die mir während meines gesamten Studiums und der Anfertigung der vorliegenden Arbeit immer zur Seite standen.