

Aus der Klinik für Kleintiere
Chirurgie
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Der lumbosakrale Übergangswirbel beim
Deutschen Schäferhund
Formen, Häufigkeit und Genetik

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Eingereicht von
CHRISTIAN JULIER-FRANZ

Giessen 2006

Aus der Klinik für Kleintiere
Chirurgie
der Justus-Liebig-Universität Giessen
Betreuer: Prof. Dr. M. Kramer

Der lumbosakrale Übergangswirbel beim
Deutschen Schäferhund
Formen, Häufigkeit und Genetik

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
beim Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Eingereicht von
CHRISTIAN JULIER-FRANZ
Tierarzt aus Landau

Giessen 2006

Mit Genehmigung des Fachbereich Veterinärmedizin
der Justus-Liebig-Universität Giessen

Dekan:

Prof. Dr. M. Reinacher

1. Berichterstatter:

Prof. Dr. M. Kramer

2. Berichterstatter:

Prof. Dr. Dr. h.c. R. Leiser

Tag der mündlichen Prüfung:

18.05.2006

Meinem Bruder

1. Einleitung	- 1 -
2. Literaturteil	- 2 -
2.1. Anatomische Grundlagen	- 2 -
2.1.1. Wirbelsäule.....	- 2 -
2.1.2. Wirbelzahl.....	- 3 -
2.1.3. Lendenwirbel	- 4 -
2.1.4. Kreuzbein	- 6 -
2.1.5. Lumbosakralgelenk.....	- 8 -
2.1.6. Ileosakralgelenk.....	- 8 -
2.1.7. Statik und Dynamik.....	- 9 -
2.2. Entwicklung der Wirbelsäule.....	- 10 -
2.2.1. Entwicklung der Sklerotome	- 10 -
2.2.2. Ausbildung der endgültigen Wirbelkörper	- 12 -
2.2.3. Entwicklung der Wirbelbögen	- 12 -
2.2.4. Entwicklung der Wirbelfortsätze	- 13 -
2.2.5. Knorpelstadium der Wirbelsäule	- 13 -
2.2.6. Verknöcherung der Wirbelsäule	- 13 -
2.2.7. Fusion der Kreuzbeinwirbel	- 14 -
2.3. Biomechanik des Lumbosakralen Übergangs	- 15 -
2.3.1. Biomechanik des Lumbosakralgelenks (LSG).....	- 15 -
2.3.2. Biomechanik des Ileosakralgelenks (ISG)	- 24 -
2.4. Lumbosakrale Übergangswirbel (LÜW).....	- 28 -
2.4.1. Definition Übergangswirbel.....	- 28 -
2.4.2. Lumbosakrale Übergangswirbel	- 29 -
2.4.3. Lumbalisation und Sakralisation	- 30 -
2.4.4. Entstehung von lumbosakralen Übergangswirbeln.....	- 33 -
2.4.5. Formen des lumbosakralen Übergangswirbels.....	- 33 -
2.4.6. Häufigkeit der lumbosakralen Übergangswirbel beim Hund	- 36 -
2.4.7. Lumbosakrale Übergangswirbel und Geschlecht	- 41 -
2.4.8. Lumbosakrale Übergangswirbel und Hüftgelenkdysplasie.....	- 41 -
2.4.9. Lumbosakrale Übergangswirbel und Achsenabweichungen.....	
der Wirbelsäule.....	- 43 -
2.4.10. Lumbosakrale Übergangswirbel und Kauda equina.....	
Kompressionssyndrom (CES)	- 44 -

2.4.11. Heritabilität von lumbosakralen Übergangswirbeln	- 49 -
2.4.12. Sakrokokzygealer Übergangswirbel (SÜW).....	- 49 -
2.5. Röntgenuntersuchung des lumbosakralen Bereichs	- 50 -
2.5.1. Konventionelles Röntgen.....	- 50 -
2.5.2. Computertomographische Untersuchung (CT)	- 53 -
2.6. Magnetresonanztomographische Untersuchung (MRT)	- 56 -
3. Eigene Untersuchungen	- 57 -
3.1. Material.....	- 57 -
3.2. Methoden.....	- 57 -
3.2.1. Identität.....	- 57 -
3.2.2. Identitätskontrolle	- 57 -
3.2.3. Auswertbarkeit.....	- 58 -
3.2.4. Beurteilungskriterien.....	- 58 -
3.2.4.1. Querfortsätze.....	- 58 -
3.2.4.2. Dornfortsätze	- 61 -
3.2.4.3. Wirbelkörper	- 62 -
3.2.5. Kreuzbeinwirbelanzahl.....	- 64 -
3.2.6. Sakrokokzygealer Übergang	- 64 -
3.2.7. Hüftgelenksdysplasie-Grad.....	- 65 -
3.3. Formen des lumbosakralen Übergangs.....	- 67 -
3.3.1. Normaler lumbosakraler Übergang.....	- 67 -
3.3.2. Symmetrischer LÜW.....	- 68 -
3.3.2.1. Isolierter Processus spinosus des ersten Kreuzbeinwirbels	- 68 -
3.3.2.2. Ausgeprägter symmetrischer LÜW.....	- 68 -
3.3.3. Asymmetrischer LÜW	- 70 -
3.4. Datenerfassung	- 71 -
3.5. Statistik.....	- 71 -
4. Ergebnisse	- 72 -
4.1. Geschlecht und Alter der Tiere	- 72 -
4.2. Auswertbarkeit der Aufnahmen und Ausschlusskriterien.....	- 73 -
4.3. Anatomische Merkmale des lumbosakralen Übergangs.....	- 74 -
4.3.1. Länge der Querfortsätze.....	- 74 -
4.3.2. Ausrichtung der Querfortsätze.....	- 75 -
4.3.3. Kontaktaufnahme des Querfortsatzes mit dem Kreuzbein.....	- 75 -

4.3.4. Abstand zwischen den Procc. spinosi der Crista dorsalis	- 76 -
4.3.5. Wirbelkörper	- 77 -
4.4. Lumbosakrale Übergangswirbel	- 77 -
4.5. Formen des asymmetrischen LÜW	- 78 -
4.6. Zusammenhang zwischen lumbosakralen und..... sakrokokzygealen Übergangswirbeln	- 79 -
4.7. Anzahl der Kreuzbeinwirbel	- 79 -
4.8. Lumbosakrale Übergangswirbel und Hüftgelenkdysplasie.....	- 80 -
4.8. Heritabilitätsschätzung.....	- 83 -
5. Diskussion	- 85 -
5.1. Literatur	- 85 -
5.2. Material und Methoden	- 92 -
5.3. Ergebnisse.....	- 95 -
6. Zusammenfassung	- 102 -
7. Summary	- 103 -
8. Literaturverzeichnis	- 104 -

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
C	Halswirbel
C1-7	1.-7. Halswirbel
CES	Kauda equina Kompressionssyndrom
CT	Computertomographie
Cy	Schwanzwirbel
DD	degenerative Diskopathie
DLSS	degenerative lumbosakrale Stenose
DSH	Deutscher Schäferhund
For.	Foramen
Forr.	Foramina
HD	Hüftgelenkdysplasie
ISG	Ileosakralgelenk
L	Lendenwirbel
L1-7	1.-7. Lendenwirbel
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
LSG	Lumbosakralgelenk
LÜW	lumbosakraler Übergangswirbel
LWS	Lendenwirbelsäule
MRT	Magnetresonanztomographie
Proc.	Processus (Singular)
Procc.	Processus (Plural)
PS S1	Processus spinosus des ersten Kreuzbeinwirbels
S	Kreuzbeinwirbel
S1-3	1.-3. Kreuzbeinwirbel
SÜW	sakrokokzygealer Übergangswirbel
Tab.	Tabelle
Th	Brustwirbel
V	Vena
ZWS	Zwischenwirbelspalt

1. Einleitung

Die lumbosakralen Übergangswirbel (LÜW) als Variationen im Bereich der Wirbelsäule bei Mensch und Tier sind schon seit langem bekannt. Aufgrund der unterschiedlichen Belastung der Wirbelsäulen von Mensch und Tier, sowohl im Stand als auch im Gang, lassen sich die Ergebnisse der Untersuchungen bei Menschen nicht auf den Hund übertragen.

Die Definition des Übergangswirbels ist weit gefasst. Es gibt mehrere Arbeiten im deutschen und englischen Sprachraum, die sich mit der Einteilung und Häufigkeit der lumbosakralen Übergangswirbel befassen. Das Auftreten der lumbosakralen Übergangswirbel beim Hund allgemein und bei den einzelnen Hunderassen ist in den einzelnen Arbeiten sehr unterschiedlich beschrieben. Auch die Begriffe Sakralisation und Lumbalisation werden nicht immer gleichsinnig verwendet. Beim Deutschen Schäferhund (DSH) finden sich überproportional viele Übergangswirbel. Der Einfluss lumbosakraler Übergangswirbel auf die Entwicklung einer Hüftgelenkdysplasie (HD) wird kontrovers diskutiert. Hunde mit lumbosakralen Übergangswirbeln erkranken häufiger an einem Kauda equina Kompressionssyndrom als Tiere ohne Übergangswirbel. Eine Vererblichkeit der Übergangswirbel wird vermutet, aber noch nicht nachgewiesen, auch eine mögliche Geschlechtsprädisposition wird von den Autoren unterschiedlich bewertet.

Ein Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von 5000 HD-Röntgenbildern von DSH mit Zuchtbucheintrag, die Häufigkeit der LÜW insgesamt und differenziert nach Geschlecht darzustellen und die Vererblichkeit für LÜW einzuschätzen.

Da es sich bei dem Untersuchungsmaterial um standardisierte HD-Aufnahmen handelt, ist eine spätere Reproduktion der Ergebnisse gewährleistet.

Erfahrungen anderer Autoren mit modernen bildgebenden Verfahren wie MRT und CT werden zusammengefasst und erörtert. Die Biomechanik des lumbosakralen Übergangs wird dargestellt und die möglichen Auswirkungen eines LÜW auf die Bewegungsabläufe besprochen. Die Einteilung der LÜW in unterschiedliche Formen und die Zuordnung zu Sakralisationen und Lumbalisationen der verschiedenen Autoren werden zusammengefasst und verglichen. Besondere Beachtung findet hierbei die Form des „isolierten Processus spinosus des ersten Kreuzbeinwirbels“.

Die Bedeutung von LÜW bei der Entstehung von HD wird anhand der vorliegenden HD-Befunde überprüft.

2. Literaturteil

2.1. Anatomische Grundlagen

2.1.1. Wirbelsäule

Die einzelnen Wirbel, *Vertebrae*, bilden in ihrer Summe die Wirbelsäule, *Columna vertebralis*, des Hundes. Mit ihrem zentralen Wirbelloch, *For. vertebrale*, formen die Wirbel zur Aufnahme des Rückenmarks den Wirbelkanal, *Canalis vertebralis* (NICKEL et al. 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994).

Die Wirbelsäule des Hundes wird nach den Körperregionen in fünf Abschnitte unterteilt: Halswirbelsäule, Brustwirbelsäule, Lendenwirbelsäule, Kreuzbein und Schwanzwirbelsäule.

Die Halswirbelsäule des Hundes wird aus sieben Halswirbeln, *Vertebrae cervicales*, gebildet. Die ersten beiden, der Kopfträger, Atlas, und der Umdreher, Axis, sind für die Kopfbewegung verantwortlich und unterscheiden sich in ihrer Form von den restlichen fünf Halswirbeln.

Die Brustwirbelsäule besteht bei allen Fleischfressern aus 13 Brustwirbeln, *Vertebrae thoracicae*. Beim Hund zeigen sich seltener auch 12 oder 14 Brustwirbel.

Der Hund besitzt im Allgemeinen sieben Lendenwirbel, *Vertebrae lumbales*, seltener sind auch nur sechs Wirbel angelegt.

Das Kreuzbein, *Os sacrum*, besteht bei den Fleischfressern aus drei Wirbeln, die mit ca. 18 Monaten vollständig knöchern verschmelzen. Dem entsprechend zeigt das Kreuzbein nur eine Extremitas cranialis bzw. caudalis (DYCE et al., 1991; NICKEL et al., 1992).

Die Schwanzwirbelsäule wird beim Hund aus 20-23 Schwanzwirbeln, *Vertebrae caudales*, gebildet. Die Anzahl der Schwanzwirbel schwankt zwischen den einzelnen Rassen und Tieren sehr stark (NICKEL et al., 1992).

Die Normalform der Wirbelsäule des Hundes ergibt somit: 7 Halswirbel (C), 13 Brustwirbel (Th), 7 Lendenwirbel (L), 3 Kreuzbeinwirbel (S) und 20-23 Schwanzwirbel (Cy).

Es treten regelmäßig von der Normalform abweichende Variationen der Wirbelsegmente auf. Nur etwa 2/3 der menschlichen Wirbelsäulen entsprechen der Normalform C7-Th12-L5-S5-Cy4. Die häufigsten Verschiebungen beim Menschen treten im Lendenkreuzbeinübergang auf (JUNGHANNS, 1939).

Die Wirbelsäule des Hundes zeigt vier Krümmungen. Die dorsal konvexe Kopf-Hals-Krümmung, die dorsal konkave Hals-Brust-Krümmung, die dorsal leicht konvexe Brust-Lenden-Krümmung und die dorsal konvexe Sakral-Krümmung (NICKEL et al., 1992). Im Gegensatz dazu wird die Sakral-Krümmung von VOLLMERHAUS et al. (1994) als hauptsächlich lordotisch, also dorsal konkav, beschrieben.

2.1.2. Wirbelzahl

Die Wirbelzahl gibt die Position des einzelnen Wirbels in der Wirbelsäule, gezählt ab dem Okziput, wieder. So trägt der Atlas die Wirbelzahl eins, der Axis die zwei und so weiter. Ausgehend von der Normalform der Hundewirbelsäule trägt der letzte Lendenwirbel die Wirbelzahl 27 und der erste Kreuzbeinwirbel die Wirbelzahl 28 (ZIEGLER, 1989).

Eine Erhöhung der präsakralen Wirbelzahl auf 28 oder eine Verminderung auf 26 ist nach BLUMENSAAT und CLASING (1932) und SCHULTZ und WATSON (1995) die Folge einer kompletten symmetrischen Lumbalisation bzw. Sakralisation. Andere Autoren (MORGAN, 1968; LARSEN, 1977; SIMOENS et al., 1983) sehen den Ursprung eines überzähligen Wirbels in einer zusätzlichen Wirbelanlage, nach SIMOENS et al. (1983) ist eine Verminderung der Wirbelzahl die Folge des Verschmelzens zweier Wirbelanlagen.

STARCK (1979) erstellt vier mögliche Thesen zur Entstehung von überzähligen Wirbeln oder von der Norm abweichenden Wirbelsäulenformeln:

- 1.) Terminale Erhöhung oder Verminderung der Wirbelzahl;
- 2.) Einfügen oder Herauslösen eines einzelnen Wirbels;
- 3.) Nicht die Wirbelzahl sondern die Wirbelsäulenlänge ist festgelegt und kann unterschiedlich eingeteilt werden (Nonius-Prinzip);
- 4.) Verschiebung des Beckenrings in der späten embryonalen Phase um bis zu 2 Wirbelsegmente

2.1.3. Lendenwirbel

Die Lendenwirbel, vertebrae lumbales, (Abb. 1 und 2) entsprechen der Grundform eines Wirbels. Sie sind in den gut ausgebildeten Wirbelkörper, Corpus vertebrae, den Wirbelbogen, Arcus vertebrae, und die Wirbelfortsätze, Procc. vertebrae, zu unterteilen (DYCE et al., 1991; NICKEL et al., 1992; KOENIG und LIEBICH, 1999).

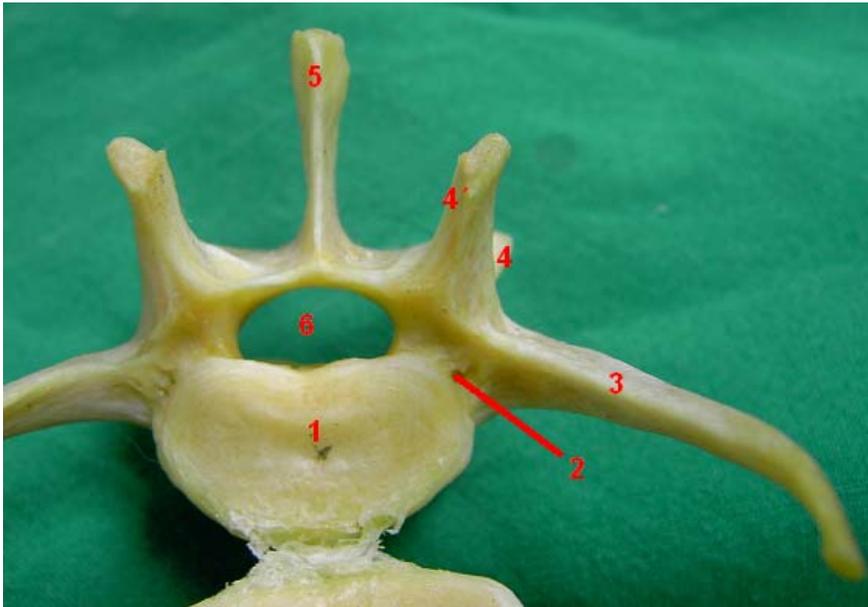


Abb. 1: 7. Lendenwirbel, Sicht von kranial

1 Extremitas cranialis; 2 Incisura vertebrae cranialis; 3 Proc. transversus; 4 Proc. articularis caudalis; 4' Proc. articularis cranialis; 5 Proc. spinosus; 6 For. vertebrale

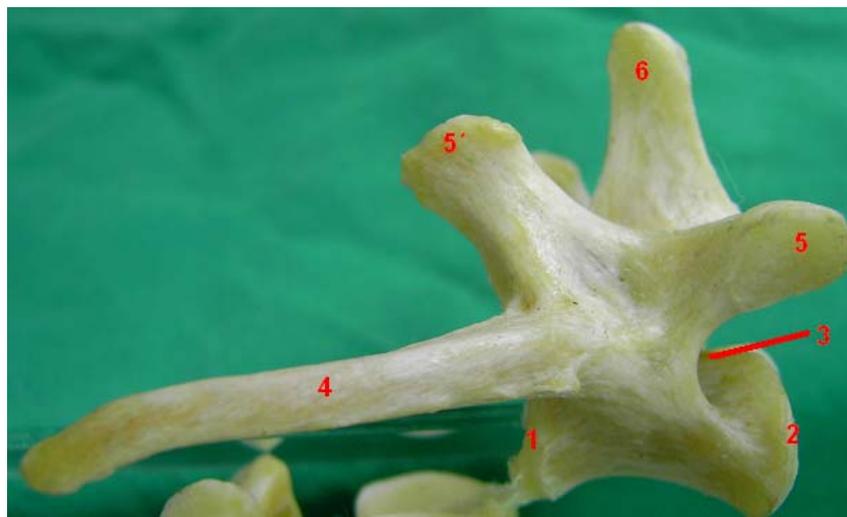


Abb. 2: 7. Lendenwirbel, Sicht von lateral

1 Extremitas cranialis; 2 Extremitas caudalis; 3 Incisura vertebrae caudalis; 4 Proc. transversus; 5 Proc. articularis caudalis; 5' Proc. articularis cranialis; 6 Proc. spinosus

Die Endflächen des Wirbelkörpers, Extremitas cranialis und caudalis, sind flach ausgebildet. Nur im kaudalen Bereich der Lendenwirbelsäule ist eine Crista ventralis abzugrenzen. Der Wirbelbogen begrenzt den Wirbelkanal, der sich am Übergang vom mittleren zum kaudalen Lendenwirbelsäulenbereich zur Aufnahme der Lendenschwelligung des Rückenmarks erweitert. Die Höhe des Wirbelkanals entspricht der Hälfte der Höhe des Wirbelkörpers und verringert sich nach kaudal. An seinem Ansatz, Pediculus, weist der Wirbelbogen jeweils kranial und kaudal eine Einkerbung, Incisura vertebralis cranialis bzw. caudalis, auf. Je zwei benachbarte Wirbel bilden so das Zwischenwirbelloch, For. intervertebrale, durch das Nervenbahnen das Rückenmark verlassen. Im dorsalen Bereich zeigt sich zwischen den Wirbelbögen der Zwischenbogenspalt, Spatium interarcuale, der im kranialen Anteil der Lendenwirbelsäule sehr eng ist. Zwischen dem letzten Lendenwirbel und dem Kreuzbein ist das Spatium interarcuale gut ausgebildet und erlaubt so leichter Injektionen in den Wirbelkanal (NICKEL et al., 1992).

Die Wirbelfortsätze dienen als Ansatzpunkte für Muskeln und sind auch an der Bildung gelenkiger Verbindungen beteiligt.

Der Dornfortsatz, Proc. spinosus, des Hundes nimmt bis zum 5./6. Lendenwirbel an Größe zu und wird dann wieder kleiner. Im vorderen Teil der Lendenwirbelsäule ist er nach kranial ausgerichtet, wogegen er im kaudalen Bereich fast senkrecht steht.

Die Querfortsätze, Procc. costales, sind kräftig angelegt, weisen nach kranio-lateral und überlagern teilweise die vorhergehenden Wirbel. Nach kaudal nehmen die Querfortsätze an Größe zu (DYCE et al., 1991).

Die vorderen und hinteren Gelenkfortsätze, Procc. articulares craniales et caudales, stehen beim Hund im kranialen Lendenwirbelsäulenbereich fast senkrecht. Am Übergang von L7 zu S1 haben sie eine Winkelung von etwa 45° zur Senkrechten (GEMBARDT, 1974; HENNINGER und WERNER, 2002 a).

Die Form der kleinen Wirbelgelenke kann variieren von eben und kongruent, flach bogenförmig, ventral gekrümmt bis dorsal geknickt (HENNINGER und WERNER, 2002 a; Abb. 9).

Beim DSH sind die Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke von L7-S1 oft keine Schiebegelenke, sondern bogenförmig und stellen sich teilweise walzenförmig dar (LANG, 1993; Abb. 11). Die kranialen Gelenkfortsätze fusionieren im kaudalen Anteil der Lendenwirbelsäule mit den Zitzenfortsätzen, Procc. mamillares, zu den Procc. mamilloarticulares.

Die Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke sind in der Sagittalebene einander zugekehrt und die vorderen Gelenkfortsätze umschließen von lateral die hinteren (VOLLMERHAUS et al., 1994). Die Hilfsfortsätze, Procc. accessorii, werden kreuzbeinwärts immer kleiner (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994). Die Lendenwirbel zeigen keine Gelenkflächen für Rippen (KOENIG und LIEBICH, 1999). Bis zum vorletzten Lendenwirbel nehmen die Wirbel nach kaudal an Größe zu. Der letzte Lendenwirbel ist kleiner als sein Vorgänger und entspricht in seiner Größe in etwa dem zweiten Lendenwirbel (NICKEL et al., 1992). Die Länge des siebten Wirbelkörpers entspricht etwa dem zweifachen seiner Höhe (MORGAN et al., 2000).

2.1.4. Kreuzbein

Der Hund hat ein kompaktes, kurzes Kreuzbein, os sacrum (Abb. 3 und 4), das sich nach kaudal nur wenig verjüngt. Die Wirbelkörper zeigen keine Crista ventralis. Im Bereich der Nahtstellen der einzelnen Wirbel erkennt man Querlinien, Lineae transversae. Am kranioventralen Rand des ersten Kreuzbeinwirbels lässt sich das Promotorium isolieren. Das Kreuzbein besitzt eine Extremitas cranialis und caudalis und entsprechend kranial am ersten bzw. kaudal am letzten Kreuzbeinwirbel die Incisura cranialis bzw. caudalis. Die Wirbelbögen verschmelzen beim Hund vollständig bis auf die Forr. intervertebralia. Der Wirbelkanal verjüngt sich deutlich vom letzten Lendenwirbel zum ersten Kreuzbeinwirbel und nimmt im Verlauf des Kreuzbeins weiter ab. Die Dornfortsätze sind im Gegensatz zur Lendenwirbelsäule nach kaudal ausgerichtet und beim Hund an ihrer Basis verwachsen. Die Querfortsätze vereinigen sich zur Pars lateralis, die die Forr. intervertebralia in die Forr. sacralia dorsalia und Forr. sacralia ventralia seu pelvina unterteilt. Im Bereich der ersten beiden Wirbel bildet die Pars lateralis den Kreuzbeinflügel, Ala sacralis, der mit seiner überknorpelten Facies auricularis Kontakt zum Darmbeinflügel aufnimmt. Die Gelenkfläche des kranialen Gelenkfortsatzes des ersten Kreuzbeinwirbels ist mehr horizontal gerichtet, die des kaudalen Gelenkfortsatzes am letzten Kreuzbeinwirbel fast sagittal. Die restlichen Procc. articulares kann man als Höcker rudimentär erkennen (DYCE et al., 1991; NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994; KOENIG und LIEBICH, 1999).

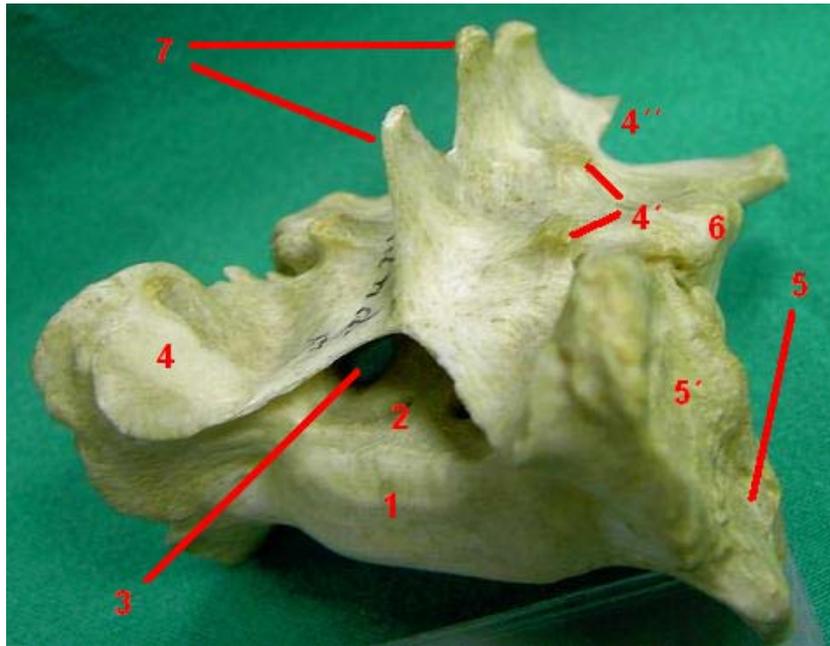


Abb. 3: Kreuzbein, Sicht von kraniodorsal

- 1 Extremitas cranialis; 2 For. vertebrale; 3 For. sacrale ventrale; 4 Proc. articularis cranialis;
4' Rudimente der Procc. articulares; 4'' Proc. articularis caudalis;
5 Ala sacralis; 5' ihre Facies auricularis; 6 Pars lateralis; 7 Procc. spinosi

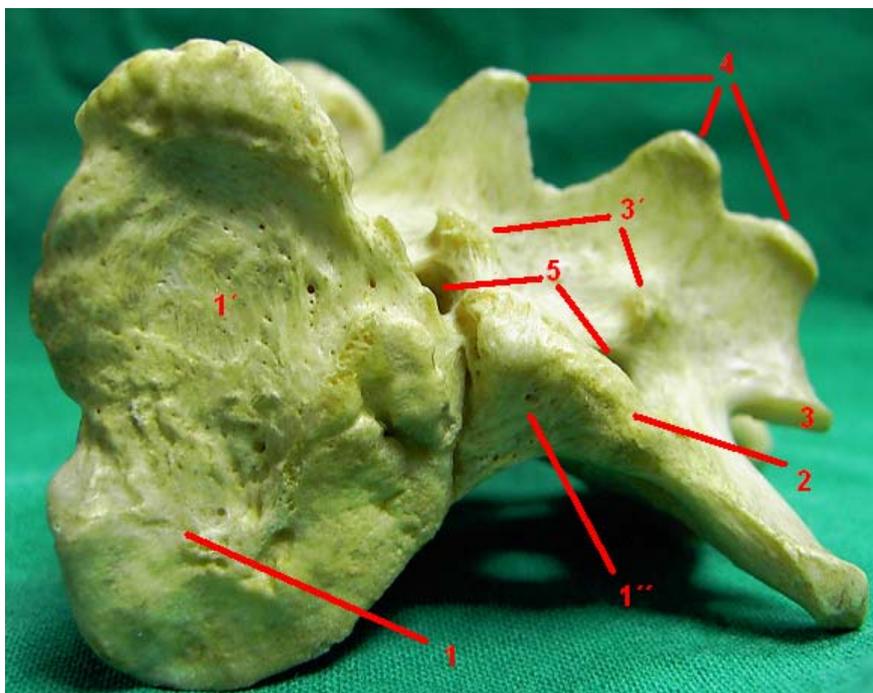


Abb. 4: Kreuzbein, Sicht von lateral

- 1 Ala sacralis; 1' ihre Facies auricularis; 1'' Anteil 2. Kreuzbeinwirbel; 2 Pars lateralis;
3 Proc. articularis caudalis 3' Rudimente der Procc. articulares; 4 Procc. spinosi;
5 For. sacrale dorsale

2.1.5. Lumbosakralgelenk

Das Lendenkreuzbeingelenk, *Articulatio lumbosacralis*, besteht aus der Zwischenwirbelfuge, *Symphysis intervertebralis*, den Wirbelbogengelenken und den kleinen Wirbelgelenken, *Articulationes processuum articularium*, die als Schiebegelenke ausgelegt sind. Die Zwischenwirbelfuge wird von der Zwischenwirbelscheibe, *Discus intervertebralis*, bestehend aus Gallertkern, *Nucleus pulposus*, und dem faserknorpeligen Anteil, *Anulus fibrosus*, und den dorsalen und ventralen Längsbändern, *Ligg. longitudinales dorsalis et ventralis*, gebildet.

Kurze Bänder sind als Zwischenbogenbänder, *Ligg. flava*, über das *Spatium interarcuale*, Zwischendornenbänder, *Ligg. interspinalia*, die die Dornfortsätze miteinander verbinden und Zwischenquerbänder, *Ligg. intertransversalia*, zwischen den Querfortsätzen an der Gelenkbildung beteiligt (NICKEL et al., 1992).

2.1.6. Ileosakralgelenk

Das Kreuzdarmbeingelenk, *Articulatio sacroiliaca*, ist ein straffes Gelenk mit sehr enger Gelenkkapsel. Es verbindet die *Facies auriculares* von Darm- und Kreuzbein miteinander. Als Gelenkbänder, *Ligg. sacroiliaca*, sind beim Hund die ventralen Kreuzdarmbeinbänder, *Ligg. sacroiliaca ventralia*, die inneren Kreuzdarmbeinbänder, *Ligg. sacroiliaca interossea*, und die dorsalen Kreuzdarmbeinbänder, *Ligg. sacroiliaca dorsalia*, ausgebildet. Zwischen dem Kreuzbeinflügel, *Ala sacralis*, und dem Darmbeinhöcker, *Tuberositas iliaca*, verlaufen lamellär geschichtete kollagene Faserbündel im dorsalen Anteil der Gelenkfläche vom Darmbein aus nach schräg ventral und im ventralen Anteil nach schräg dorsal. Dieser gerichtete Faserverlauf verhindert ein Durchsacken des Kreuzbeins nach ventral. Das *Lig. sacrotuberale* verbindet den Querfortsatz des letzten Kreuzbeinwirbels mit dem Sitzbeinhöcker (NICKEL et al., 1992).

2.1.7. Statik und Dynamik

Zur Veranschaulichung der Zug- und Druckkräfte, die am Tierrumpf wirken wird das Modell einer parabolischen Bogensehnenbrücke herangezogen (SLIJPER, 1946). Dieser Vergleich dient dazu, ein Verständnis für die einzelnen Abläufe zu bekommen. Er entspricht jedoch nie genau den Gegebenheiten beim Tier, da es kein technisches Konstrukt, sondern ein Lebewesen ist.

Der „Brückenbogen“ setzt sich aus einem druckfesten Untergurt, bestehend aus den Wirbelkörpern und Zwischenwirbelscheiben, und dem Obergurt, der von den gelenkig verbundenen Wirbelbögen, den Dornfortsätzen, den Zwischendornbändern, den Rückenmuskeln und dem Rückenband, Lig. supraspinale, gebildet wird.

Die „Sehne“ lässt sich nur sinngemäß übertragen, da kein gespannter Strang im eigentlichen Sinn vorliegt. Im kranialen Teil übernimmt der relativ steife Thorax diese Funktion und im kaudalen Teil die Bauchmuskeln und ihre Aponeurosen, die nicht nur an den Bogenenden sondern auch am gesamten Brückenbogen angreifen.

Dem „Durchhängen“ des Brückenbogens bei Belastung wirken im Bereich der Lendenwirbelsäule neben der aktiven Bauchmuskulatur das ventrale Längsband, Lig. longitudinale ventrale, und die sich bei zu starkem Druck von dorsal ineinander verkeilenden Dornfortsätze entgegen.

Das „Überspannen“ des Bogens wird durch die Spannung der Muskeln und Sehnen des Obergurtes und der Stauchung der Wirbelkörper und Zwischenwirbelscheiben des Untergurtes verhindert.

Kopf und Hals, bzw. Kreuzbein und Schwanz werden in diesem Modell als „Konsolen“ betrachtet, die bei Bewegung die wechselnden zentrifugalen Schubkräfte im Untergurt neutralisieren.

Die Vordergliedmaßen sind als Stützgliedmaßen weniger gewinkelt als die Hintergliedmaßen, die über das Hüftgelenk, Becken, Kreuzdarmbeingelenk und das Lendenkreuzbeingelenk den Bewegungsimpuls auf den Rumpf übertragen.

Die Gelenke der Gliedmaßen werden durch Sehnen und Muskeln am Einknicken gehindert. Pflanzenfresser, die ein relativ hohes Körpergewicht aufweisen, zeigen mehr sehnige Strukturen, wohingegen beim relativ leichten Fleischfresser die Muskeln überwiegen.

Dies ermöglicht dem Fleischfresser einen schnellen und wendigen Bewegungsablauf, bedeutet aber gleichzeitig, dass er früher ermüdet und sich ablegt, da er viel aktive Muskelarbeit leisten muss, wo die Pflanzenfresser durch passiv gespannte Sehnen Energie sparen (NICKEL et al., 1992).

Trotz dieser stabilen Konstruktion des Rumpfes ist eine erhebliche seitliche Beweglichkeit der Brust- und Lendensegmente der Fleischfresser möglich, um sich zum Beispiel im Schlaf einzurollen (DYCE et al., 1991).

2.2. Entwicklung der Wirbelsäule

2.2.1 Entwicklung der Sklerotome

Aus dem Ektoderm bildet sich durch Einstülpung das Neuralrohr und aus dem Mesoderm der dorsomedianen Wand des Urdarms die Chorda dorsalis, die von der Hypophysentasche bis zum Schwanz zieht (BAILEY, 1975; MICHEL, 1983; SCHNORR, 1989; SINOWATZ, 1991)

Die Mesodermzellen der Chorda dorsalis verlieren ihre Fortsätze, reihen sich erst aneinander (Geldrollenstadium) und bilden dann die typischen Vakuolen. Bei den Wirbeltieren wird diese Anordnung später wieder aufgegeben und die Zellen liegen im Querschnitt nebeneinander. Umschließend nimmt das Perichordalskelett die Chorda dorsalis und das Neuralrohr auf. Es ist erst häutig, dann knorpelig und später knöchern angelegt.

Bei der frühen Segmentierung des Mesoderms liegen die Urwirbel, primäre Sklerotome, noch auf einer Höhe mit den entsprechenden Myotomen. Die sekundären Sklerotome entstehen durch das Verschwinden der ventromedialen Wand der Urwirbel. Sklerotomzellen wandern ein und umschließen die Chorda dorsalis, weniger dichtes Mesenchym bildet die Intersegmentalspalten, in die die Intersegmentalarterien einfließen. Später kommt es durch Zellverlagerung zur Bildung eines Intrasegmentalspaltes, der die Sklerotome in einen kompakteren kaudalen und einen weniger dichten kranialen Anteil trennt. Noch liegen die Sklerotome und die Myotome eines Segmentes nebeneinander (Abb. 5A; MICHEL, 1983; SINOWATZ, 1991).

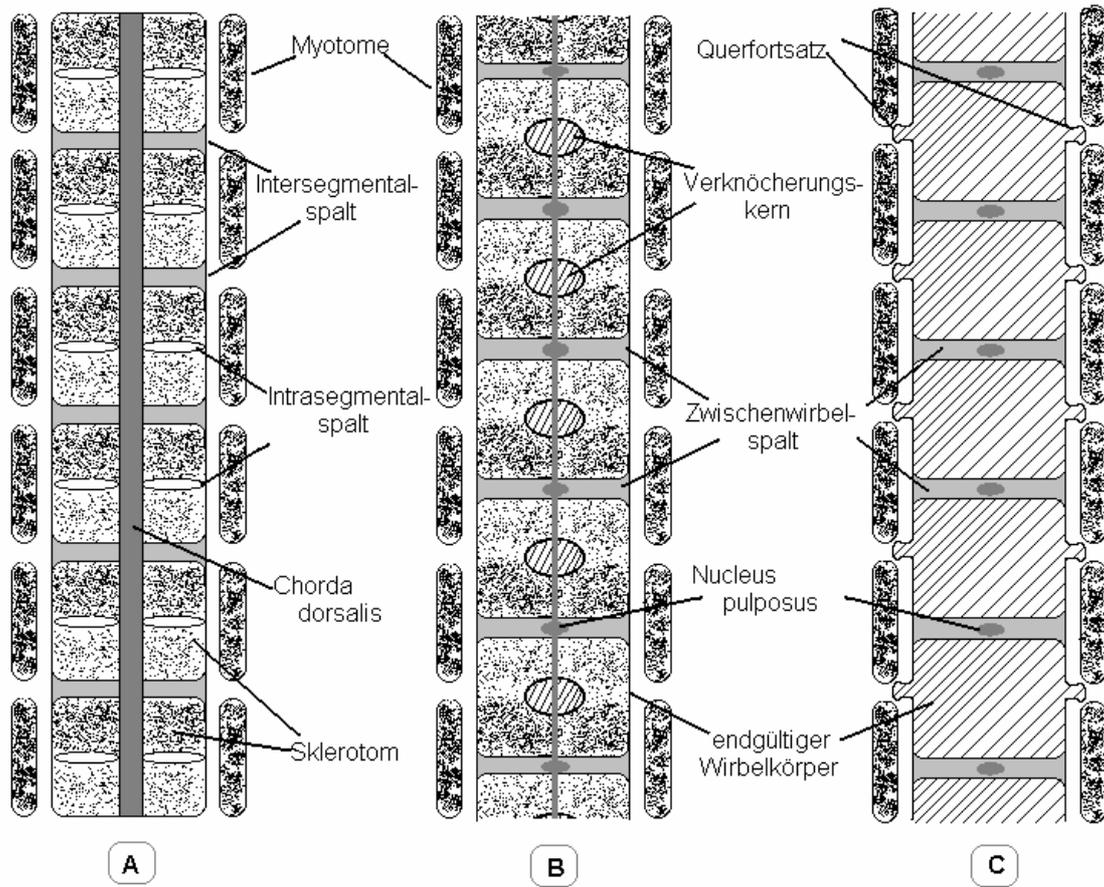


Abb. 5: Entwicklung der Wirbelsäule, schematisch (nach CLARA, 1966; modifiziert)

A: Lage der Sklerotome; B: Lage der definitiven Wirbel, knorpeliges Stadium;

C: Lage der definitiven Wirbel, verknöcherte Wirbel

2.2.2. Ausbildung der endgültigen Wirbelkörper

In der Nähe der Myotome bilden sich Verdichtungen im Mesenchym, die den Anlagen der Rippen bzw. Querfortsätze der Lendenwirbelsäule und den Bogenanlagen der Wirbelbögen entsprechen. Gleichzeitig formen sich aus Ansammlungen von mesenchymalen Zellen im Intrasegmentalspalt die Anlagen der Bandscheiben und der neuen Grenzen der Wirbelkörper. Die myotomnahen Mesenchymzellen richten sich nach kranio-medial aus. Durch die Fusion je eines kranialen Anteils eines Sklerotomes mit einem vorhergehenden kaudalen entstehen die endgültigen Wirbelkörperanlagen. Das Material im Intersegmentalspalt wird dabei eingebaut. Aus dem Intrasegmentalspalt bildet sich der Intervertebralspalt. Die Chorda dorsalis bildet sich im Wirbelkörper vollständig zurück. Aus ihren Resten im Intervertebralspalt formt sich der Gallertkern, Nucleus pulposus, des Discus intervertebralis, der später vom faserigen Anulus fibrosus umgeben wird. SINOWATZ (1991) sieht keine Beteiligung der Chorda dorsalis an der Bildung des Nucleus pulposus, sie dient vielmehr als Platzhalter für den Gallertkern. Durch diese Anordnung kommt es zu einer Verschiebung der Wirbelgrenzen und so übergreift ein Myotom jetzt einen Intervertebralspalt (Abb. 5B) (BAILEY, 1975; MICHEL, 1983; SCHNORR, 1989; SINOWATZ, 1991).

Die Entwicklung des Wirbelkörpers des Hundes geht teils von den Wirbelbögen, arkozentral, und teils von selbständigen Zentren aus dem perichordalen Gewebe, autozentral, aus (BOLK et al., 1967).

2.2.3. Entwicklung der Wirbelbögen

Die Wirbelbögen bilden sich aus dem häutigen Perichordalskelett. Der dorsale Bogen, Neuralbogen, entspringt mit seiner Basis aus der epichordalen Längsleiste der Chorda dorsalis und umschließt das Neuralrohr. Der ventrale Anteil der Bogenanlagen hat seinen Ursprung korrespondierend in der hypochordalen Längsleiste und verschmilzt mit dem Wirbelkörper. Aus ventrolateralen Anteilen der Bogenanlage (sogenannte Basisventralia oder Hämalbogen) entwickeln sich im Thoraxbereich die Rippenanlagen, im Lendenbereich die Querfortsätze und im kranialen Schwanzbereich die Procc. haemales (BAILEY, 1975; MICHEL, 1983; SINOWATZ, 1991).

2.2.4. Entwicklung der Wirbelfortsätze

Die Procc. articulares craniales et caudales, Procc. mamillares und die Procc. accessorii entspringen dem Neuralbogen und bilden dort beiderseits die kleinen Wirbelgelenke. Nach BOLK et al. (1967) und SINOWATZ (1991) entwickeln sich aus dem Hämalbogen die Rippenfortsätze, Procc. costarii, wogegen sie nach SCHNORR (1989) Abkömmlinge des Wirbelkörpers sind. Aus ihnen entwickeln sich die Rippen und sie sind an der Bildung der Procc. costales seu transversi der Lendenwirbelsäule beteiligt. Das Spinale (isolierte Anlage für den Dornfortsatz) und der Neuralbogen sind der Ursprung für den Proc. spinosus (BOLK et al., 1967).

2.2.5. Knorpelstadium der Wirbelsäule

Am Ende der Embryonalphase beginnt das Knorpelwachstum an vier Zentren des Wirbels. Zwei im Wirbelkörper axial und zwei weitere jeweils an der Basis der Neuralbögen. Zuerst fusionieren die Knorpelzentren im Wirbelkörper, dann die des Wirbelbogens und schließlich der Wirbelbogen zusammen mit dem Wirbelkörper und der hypochordalen Spange. Die Wirbelbögen sind temporär noch mit der Membrana reuniens verbunden (BAILEY, 1975; SINOWATZ, 1991).

Eine Besonderheit betrifft den Atlas und den Axis. Der kleine Wirbelkörper des Atlas entsteht nur aus einem Knorpelzentrum und das zweite Knorpelzentrum orientiert sich nach kaudal und bildet die Grundlage für den Dens axis (SINOWATZ, 1991).

2.2.6. Verknöcherung der Wirbelsäule

Die Verknöcherung der Wirbelsäule geht von primären Knochenkernen (primäre Ossifikationszentren) aus. Ein Zentrum liegt im Wirbelkörper, die anderen beiden im Bereich des Neuralbogens (Abb. 6). Im Bereich der vorderen zwei Kreuzbeinwirbel treten zwei weitere Verknöcherungszentren im ventralen Anteil des Wirbelkörpers auf, welche die Gelenkflächen zum Darmbein ausbilden (FRENKEL, 1873). Durch fortschreitende Verknöcherung entstehen der Wirbelkörper und der Wirbelbogen, die beim Fleischfresser erst postnatal fusionieren.

Später treten noch sekundäre Ossifikationszentren im Bereich der Epiphysen, der Dornfortsätze der Wirbelsäule beim Pferd und der Lendenwirbelquerfortsätze auf (BAILEY, 1975; MICHEL, 1983; SCHNORR, 1989; SINOWATZ, 1991; VOLLMERHAUS et al., 1994).

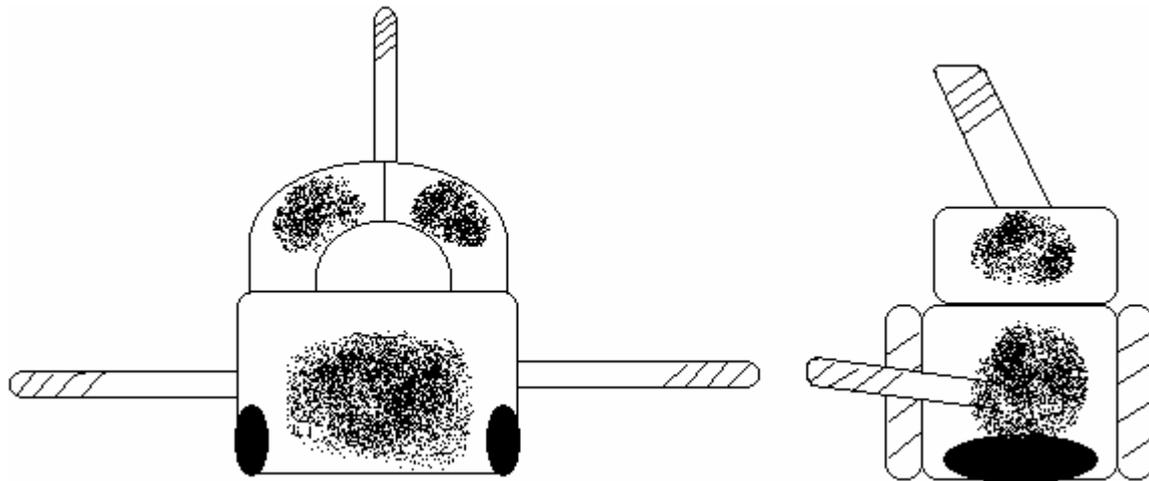


Abb. 6: Verknöcherungskerne der Wirbelkörper, schematisch

-  Primäre Ossifikationszentren;  sekundäre Ossifikationszentren;
 Ossifikationszentren im Bereich der vorderen Kreuzbeinwirbel (ventrale Seitenteile)

2.2.7. Fusion der Kreuzbeinwirbel

Die Kreuzbeinwirbel werden zunächst einzeln angebildet und fusionieren später durch Verknöcherung der Zwischenwirbelspalten. Dieser Vorgang ist beim Fleischfresser bei Geburt meist noch nicht vollendet (MICHEL, 1983; SINOWATZ, 1991). Die vollständige Fusion ist erst mit 18-24 Monaten abgeschlossen (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al., 1994). Die Procc. spinosi vereinigen sich an ihrer Basis zur Crista dorsalis. Die Procc. costales bilden die Pars lateralis. Die Procc. articulares craniales et caudales, mammillares und accessorii sind nur als rudimentäre Hügel zu erkennen (NICKEL et al., 1992).

2.3. Biomechanik des Lumbosakralen Übergangs

Zur Untersuchung der Beweglichkeit der Wirbelsäule beim Hund werden mehrere Versuchsaufbauten angewendet. Die meisten Autoren verwenden isolierte Wirbelsäulenpräparate, die bis auf den Bandapparat von Muskelmasse und Gliedmaßenknochen befreit sind (BÜRGER und LANG, 1993). LANG (1972) verwendet für seine Untersuchung Hunde in Narkose oder direkt post mortem vor Eintritt der Leichenstarre. SCHMID und LANG (1993) untersuchen Röntgenbilder von gesunden und am CES erkrankten Hunden.

Die Schubübertragung der Hinterhand auf das Rumpfskelett erfolgt über das Ileosakral- und das Lumbosakralgelenk (GEMBARDT, 1974; NICKEL et al. 1992).

2.3.1. Biomechanik des Lumbosakralgelenks (LSG)

LANG (1972) misst anhand einer Hilfsgeraden ventral am Wirbelkörper auf Röntgenaufnahmen die Winkel, welche bei Beugung bzw. Streckung, Seitwärtsbiegung und Torsion in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten möglich sind. Eine Hilfsperson lagert die Tiere und verwendet bei der Manipulation subjektiv soviel Kraft, dass keine Wirbelsäulenschäden entstehen. Es findet keine Kontrolle der Wirbelsäule auf Schäden statt. In der Vertikalen zeigt das LSG die größte Beweglichkeit der Lendenwirbelsäule mit 27° im Mittel bei Beugung und zwischen 5° und 30° bei Streckung. Eine Seitwärtsbiegung und Torsion ist nach LANG (1972) im LSG nicht möglich. Er begründet dies durch die sagittale Stellung der Gelenkfortsätze des LSG.

BÜRGER und LANG (1992) erörtern die funktionelle Anatomie und die kinetischen Grundlagen des lumbosakralen Übergangs. Nach JUNGHANNS und SCHMORL (1957) wird das vertebrale Bewegungselement in seine dorsalen und ventralen Bestandteile untergliedert.

Die dorsalen Elemente bilden der Wirbelkanal, bestehend aus Wirbelbogen und Dorsalfläche des Wirbelkörpers und die Wirbelbogen- und kleinen Wirbelgelenke. Die Wirbelbogengelenke sind spaltfreie Gelenke (Synarthrosen), wogegen die kleinen Wirbelgelenke echte Gelenke (Diarthrosen) sind. Da sich das LSG aus mehreren Gelenken zusammensetzt empfiehlt LANG (1993) den Begriff lumbosakrale Verbindung.

Die Stellung der kleinen Wirbelgelenke ist am Hals fast horizontal und wird nach kaudal immer steiler bis die Gelenkflächen schließlich im Bereich der Lendenwirbelsäule fast sagittal stehen. Dies ermöglicht eine große Beweglichkeit im Halsbereich und ein straffe Lendenwirbelsäule, die sich gut beugen, strecken und auch zur Seite biegen lässt, aber sehr stabil gegen Rotationsbewegungen ist.

Die ventralen Elemente bilden die kurzen und langen Zwischenwirbelbänder und die Zwischenwirbelscheibe. Die Zwischenwirbelscheibe ist wiederum eine Synarthrose.

Die Bewegungsarten werden in Rotations- und Translationsbewegungen unterteilt. Bei der Rotation, drehen sich die einzelnen Punkte um ein gemeinsames Zentrum und bei der Translation verschieben sich die einzelnen Punkte parallel zu einem Zentrum (Abb. 7).

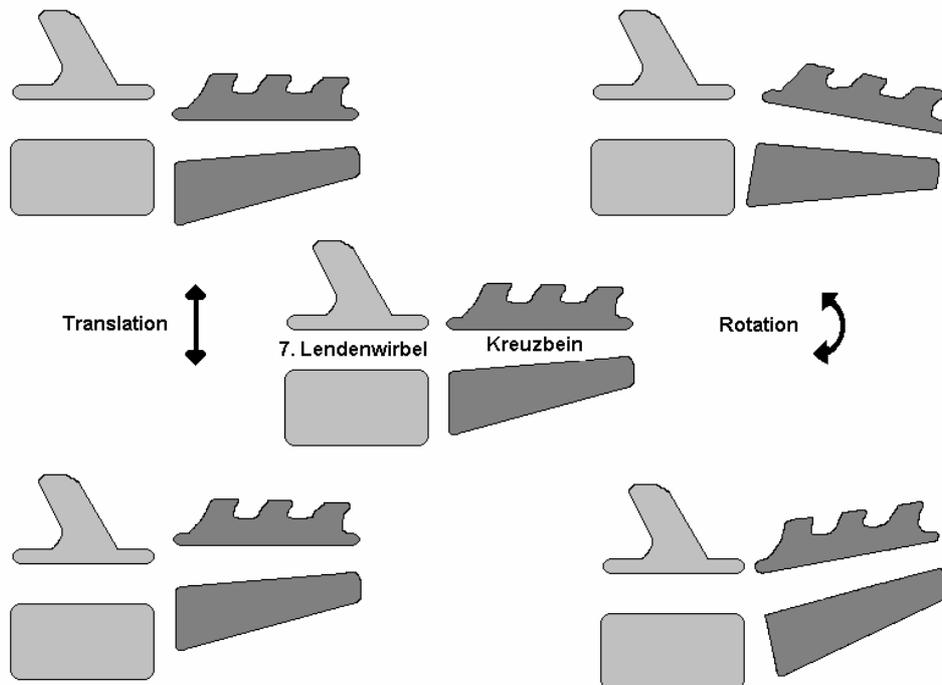


Abb. 7: Vereinfachte Darstellung von Translations- und Rotationsbewegung

Die Bewegung kann sich aus Abschnitten verschiedener Bewegungsarten zusammensetzen oder um verschiedene Rotationszentren drehen. Während eines Bewegungsablaufs wandert das Rotationszentrum geringgradig. Für jede Teilbewegung kann ein anderes Zentrum errechnet werden. In der Regel sammeln sich die Zentren im Bereich der Zwischenwirbelscheibe. Zeigt diese degenerative Veränderungen, wird der Streukreis der Rotationszentren größer und der Anteil der Translationsbewegung steigt an (BÜRGER und LANG, 1992).

Die Gesamtbeweglichkeit zwischen zwei Wirbeln lässt sich durch den Winkel zwischen den Wirbelkanten bei maximaler Extension und maximaler Flexion bestimmen, sagt aber nichts über die Bewegungsart aus.

Durch die steile Stellung der kaudalen Gelenkfortsätze am letzten Lendenwirbel sind im Lumbosakralgelenk praktisch keine Seitwärtsbewegungen festzustellen. Vielmehr findet eine federnd-drehende Wellenbewegung statt (GEMBARDT, 1974).

BÜRGER und LANG (1993) verwenden 13 Wirbelsäulenpräparate von DSH. 12 Präparate stammen von klinisch unauffälligen Hunden, 2 dieser Tiere zeigen geringgradige Spondylosen zwischen L7 und S1. Das letzte Präparat stammt von einem Hund mit progressiver Hinterhandschwäche und neurologischen Ausfällen, der im Myelogramm mehrere Diskusprotrusionen mit geringgradigen extraduralen Kompressionen auf Höhe von Th13-L1, L6-7 und L7-S1 aufweist.

Die Wirbelsäulenpräparate umfassen das Kreuzbein und die LWS nach kranial bis einschließlich L3. In einer Spannkonstruktion wird das LSG in 5°-Schritten gebeugt und gestreckt. Durchschnittlich zeigen die Präparate eine Gesamtbeweglichkeit im Lumbosakralgelenk von 60° auf.

Weibliche Tiere zeigen eine signifikant größere Beweglichkeit (im Schnitt etwa 5°) als männliche. Diesen Unterschied erklären die Autoren durch das höhere Körpergewicht der Rüden und den stärkeren Arbeitseinsatz im jungen Alter, die zu einer Umformung der Gelenke führen können.

WALLA (1986) sieht in einer erhöhten Beweglichkeit mit zu kleinem lumbosakralem Winkel in Extension einen Erkrankungsgrund für CES.

Anhand der Röntgenaufnahmen wird mit Hilfsgeraden für die einzelnen Schritte das Drehzentrum der Bewegung bestimmt (BÜRGER und LANG, 1993).

Die Unterteilung erfolgt in Rotations-, Translationsbewegungen und Mischformen davon. Neun Präparate zeigen überwiegend Rotationsbewegungen und die Drehzentren liegen bei sechs Tieren im kaudalen Bereich des Wirbelkörpers von L7 oder der Bandscheibe zwischen L7 und S1 und bei drei Tieren in der Wirbelkörpermitte von L7. In zwei Fällen liegt hauptsächlich eine Translationsbewegung vor. Die Drehzentren streuen sehr weit und liegen teilweise im Unendlichen. Diese Form der Bewegung äußert sich röntgenologisch als Subluxation von L7 gegenüber S1. Die Mischform ist mit zwei Fällen vertreten.

Das neurologisch auffällige Tier zeigt überwiegend Rotationsbewegungen im LSG. Von den beiden Hunden mit Spondylosen weist einer hauptsächlich Translationsbewegungen und der andere eine Mischform auf. Allgemein überwiegt im kaudalen Bereich der LWS die Rotationsbewegung und im kranialen Bereich die Translationsbewegung.

Hunde mit blockiertem ISG (siehe auch 2.3.2.) können den Bewegungsimpuls der Hinterhand nicht mehr im ISG bündeln und geben so die federnd-schwingende Wellenbewegung über das fixierte Kreuzbein direkt an das LSG weiter. Hauptverantwortlich für die Impulsweitergabe ist somit der Discus intervertebralis zwischen L7 und S1. Die Überbelastung der Bandscheibe führt zu Überdehnung der periostalen Verankerung des Lig. longitudinale ventrale und zu Osteophyten- und Ankylosenbildung im Verlauf des Periost (GEMBARDT, 1974; DÄMMRICH, 1981).

GRUSSENDORF (1991) beschreibt das Entstehen des CES durch Malartikulation der kleinen Wirbelgelenke. Die Stellung der kleinen Wirbelgelenke am letzten Lendenwirbel ist im Vergleich zu den vorhergehenden Lendenwirbeln nicht ganz so steil und um etwa 50° zur Waagrechten geneigt. Die Bewegung der Gelenke wird durch den Arcus vertebrae und die Procc. accessorii eingeschränkt. Da am letzten Lendenwirbel die Procc. accessorii nicht ausgebildet sind, ist eine Subluxation der kleinen Wirbelgelenke möglich, die folglich die Belastung auf die Bandscheibe und die Wirbelbänder erhöht. Das kann wiederum eine Diskopathie mit Subluxation des Wirbelkörpergelenks bzw. Spondylosen verursachen.

HANNA (2001) untersucht 34 Hunde (darunter 19 DSH), die mit CES vorgestellt werden und gleichzeitig eine Osteochondrosis dissecans dorsal an der kranialen Endplatte von S1 oder dorsal an der kaudalen Endplatte von L7 zeigen. 21 Hunde weisen eine dynamische Instabilität auf, die sich durch Überlagerung der Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke von L7 und S1 und Verengung des Spatium lumbosakrale im ventrodorsalen Strahlengang bzw. durch Ventralverlagerung des Kreuzbeins auf der laterolateralen Röntgenaufnahme ausdrückt.

Der Stellung und Ausdehnung der kleinen Wirbelgelenke kommt eine wichtige Bedeutung bei der Stabilität des LSG zu (BREIT und KÜNZEL, 2001). Erhöhte Gewichtslast bei großen Hunderassen auf die Verbindung zwischen L7 und S1 kann durch eine Vergrößerung der Endplatten, durch eine größere Kontaktfläche der kleinen Wirbelgelenke oder durch beides zusammen kompensiert werden. Die Fläche des kaudalen Fazettengelenks von L7 ist nur in Verbindung mit der Winkelung und dreidimensionalen Ausformung des Gelenks aussagekräftig. Die mazerierten Wirbelsäulen von 190 Rassehunden werden in dieser Studie vermessen.

Abhängig von der Körpermasse teilen die Autoren die Tiere in die Gruppen kleine Hunde (<25 kg) und große Hunde (>25 kg). Es sind 145 erwachsene Tiere zwischen 1 und 15 Jahren und 45 juvenile Tiere zwischen 4 und 44 Wochen vertreten. Die Größe der Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke und die Fläche der Endplatten nimmt mit der Masse des Tieres zu, steigt aber nicht proportional dazu an. Der Anteil der Gelenkfläche an der Gesamtausdehnung des Gelenkfortsatzes steigt ebenso mit dem Körpergewicht von durchschnittlich 55% beim Yorkshire Terrier bis zu durchschnittlich 70% beim Rottweiler. Hunde ohne osteophytäre Zubildungen am lumbosakralen Übergang zeigen einen Anteil von etwa 53%, wohingegen der Anteil bei Tieren mit leichten Osteophyten auf 65% und bei mittleren bis schweren Veränderungen auf 70-78% ansteigt. Beim DSH reichen die Werte von 50-95% (Mittel: 70%). Die Ausdehnung der Kontaktfläche ist bei 58% der kleinen Hunde auf den kaudal der Endplatte von L7 gelegenen Anteil des Gelenkfortsatzes begrenzt. Bei 70% der großen Hunde ragt die Kontaktfläche über den Wirbelspalt hinaus. Bis zu 45% der Gelenkfläche liegen beim DSH über dem Wirbelkörper. Dies ermöglicht dem kranialen Gelenkfortsatz von S1 bei großen Hunden ein weites Gleiten nach kranial und führt zu einer erhöhten Belastung der Bandscheibe (Abb. 8).

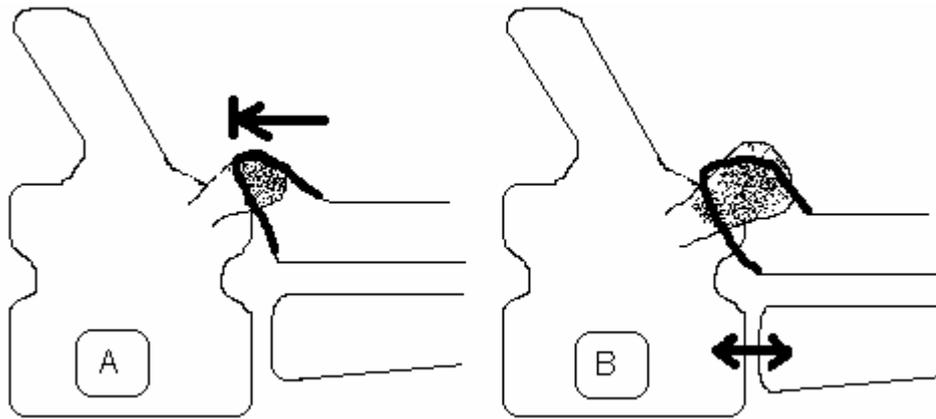


Abb. 8: Größe der kaudalen Gelenkfortsätze von L7, ihre Gelenkflächen und der daraus resultierende Bewegungsspielraum (schematisch, vereinfacht)

A: kleine Hunderassen:

Die kaudalen Gelenkfortsätze von L7 sind klein und ihre Gelenkfläche nimmt etwa 50% der Oberfläche ein. Die Gelenkfläche liegt größtenteils kaudal der Wirbelendplatte. Ein weites Vorgreifen der kranialen Gelenkfortsätze von S1 findet nicht statt

B: große Hunderassen:

Die kaudalen Gelenkfortsätze von L7 sind groß und ihre Gelenkfläche nimmt bis zu 95% der Oberfläche ein. Bis zu 45% der Gelenkfläche liegen kranial der Wirbelendplatte. Ein weites Gleiten der kranialen Gelenkfortsätze von S1 ist möglich und belastet so die Bandscheibe.

Neben der Größe und Ausdehnung der Fazettengelenkflächen wird auch deren räumliche Orientierung dargestellt. BREIT und KÜNZEL (2001) verwenden hierfür 3 Winkelmaße: $\alpha L7^1$, $\alpha L7^2$ und $\beta L7$. Von den Inklinationswinkeln gibt $\alpha L7^1$ die Neigung der Gelenkfläche zur horizontalen Ebene wieder, $\beta L7$ die Neigung zur medianen Ebene. Die beiden Winkel alleine können nur eine ebene Fläche darstellen, $\alpha L7^2$ dient dazu die konvexe Form der Gelenkfläche bei einigen Hunden darzustellen.

Der DSH zeigt im Vergleich zu anderen großrahmigen Hunden einen kleineren Inklinationswinkel $\beta L7$ ($11,1^\circ \pm 4,6^\circ$), die Gelenkflächen liegen somit paralleler zur Wirbelsäulenlängsachse.

Die Inklinationswinkel $\alpha L7^1$ und $\alpha L7^2$ sind bei großen Hunden größer als bei kleinen Hunden, die Gelenkflächen stehen somit steiler.

Bei 63% der kleinen Hunde und 50% der großen Hunde ist die Gelenkfläche flach ($\alpha L7^1 = \alpha L7^2$). 37% der kleinen und 50% der großen Hunde zeigen eine konvexe Gelenkfläche ($\alpha L7^1 > \alpha L7^2$), was eine axiale Rotationsbewegung ermöglicht.

Bei jungen Hunden ist β_{L7} in der frühen Phase (<15 Wochen) negativ und somit die Gelenkfläche nicht nach kaudolateral sondern nach kaudomedial gerichtet. Sowohl β_{L7} als auch α_{L7}^1 und α_{L7}^2 werden mit zunehmendem Alter größer und die Gelenkflächen schrittweise aus einer mehr horizontalen in eine steilere Anlage umgebaut.

Die Vergrößerung der Fazettengelenkfläche nach kranial, die Abwesenheit eines Hilfsfortsatzes (GRUSSENDORF, 1991) und eine steile Stellung der Gelenkflächen mit einem kleinen Inklinationswinkel β_{L7} ermöglichen ein leichtes Gleiten der Gelenke in kraniokaudaler Richtung (Translationsbewegung) und sind eine Prädisposition für DLSS.

Ist der Inklinationswinkel β_{L7} groß wird ein Gleiten in kraniokaudaler Richtung unterbunden, da der kraniale Gelenkfortsatz von S1 nach medial zum Wirbelbogen hin abgelenkt wird (BREIT und KÜNZEL, 2001).

In einer Studie von HENNINGER und WERNER (2002 a) wird der lumbosakrale Übergang von 12 Hunden (davon sieben DSH) im CT untersucht. Diese Tiere zeigen röntgenologisch keine Auffälligkeiten. Im Knochenfenster können die einzelnen Strukturen des LSG gut abgegrenzt werden. Die mittlere Winkelung der kleinen Wirbelgelenke liegt bei etwa 45%. Es sind aber auch Winkel mit 35° oder 60° festzustellen. Die Form der Gelenke ist unterschiedlich. Bei vier Hunden eben und kongruent, bei vier Hunden ventral gekrümmt und bei den restlichen flach, bogenförmig oder dorsal geknickt (Abb. 9).

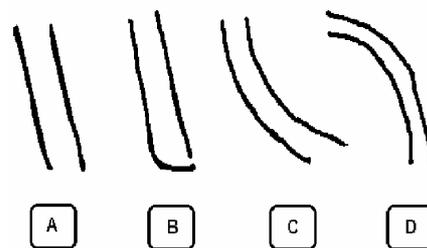


Abb. 9: Schematische Darstellung der Form der Gelenkflächen des Proc. articularis cranialis des Kreuzbeins (linke Linie) und des Proc. articularis caudalis von L7 (rechte Linie) im CT-Bild (nach HENNINGER und WERNER, 2002)

A: Gerade, kongruent verlaufend; B: Ventral gekrümmt; C: Bogenförmig konkav; D: Dorsal geknickt

LANG (2003) beschäftigt sich mit der Stellung, Form und dem Tropismus der Fazettengelenke beim Hund, insbesondere beim DSH. Der Gelenkstropismus der Fazettengelenke wird kontrovers als mögliche Ursache von degenerativer lumbosakraler Stenose (DLSS) diskutiert. Gelenkstropismus zeichnet sich durch eine asymmetrische Anlage der kleinen Wirbelgelenke eines Wirbels aus (Abb. 10).



Abb. 10: Gelenkstropismus (LANG, 2003)

Unterschiedliche Stellung der einzelnen kleinen Wirbelgelenkspalten der kaudalen LWS

Die Winkelung ist im kranialen Anteil der Lendenwirbelsäule fast sagittal und geht nach kaudal in eine Winkelung von etwa 35° - 45° über. Dieser Übergang findet beim DSH sehr abrupt bei L7-S1 statt, wohingegen er sich bei den anderen Rassen über mehrere Wirbel erstreckt (Tab. 1).

Beim DSH ist die Winkeldifferenz der Fazettengelenke zwischen L7-S1 und L6-L7 fast doppelt so hoch wie bei den anderen Rassen, und die Winkeldifferenz zwischen L6-L7 und L5-L6 ist kleiner als die der anderen Rassen. Diese plötzliche Änderung in der Winkelstellung bündelt die Rotationsbewegung der Wirbelsäule in der Längsachse auf den lumbosakralen Übergang und führt zu einer übermäßigen Belastung der verschiedenen Anteile der lumbosakralen Verbindung, wie Bandscheibe, Fazettengelenke oder die Ligg. longitudinales.

	DSH	Differenz	Andere Rasse	Differenz
L5 - L6	10,5°	4,7°	18,4°	6,7°
L6 - L7	15,2°		25,1°	
L7 – S1	34,9°	19,7°	36,4°	11,3°

Tab. 1: Winkelung der Fazettengelenke der kaudalen Lendenwirbelsäule (LANG, 2003)

Neben der Winkelung ist auch die Form von großer Bedeutung. Ein leicht gewinkelter oder gar runder Gelenkspalt vergrößert die Gelenkfläche und die Stabilität.

80% der Fazettengelenke der Lendenwirbelsäule beim DSH zeigen eine gerade, nur 17% eine gewinkelte und 3% eine runde Form. Bei den anderen Rassen überwiegt die runde Form (55%), gefolgt von der geraden (26%) und der gewinkelten (19%). Abb. 11 zeigt die Gelenkformen von kranial nach kaudal im CT-Bild und Abb. 12 eine kaudale LWS eines DSH in der Aufsicht von schräg kaudal. Genaue Winkel können in der Abb. 12 nicht bestimmt werden, da die Gelenke nicht orthograd dargestellt sind.

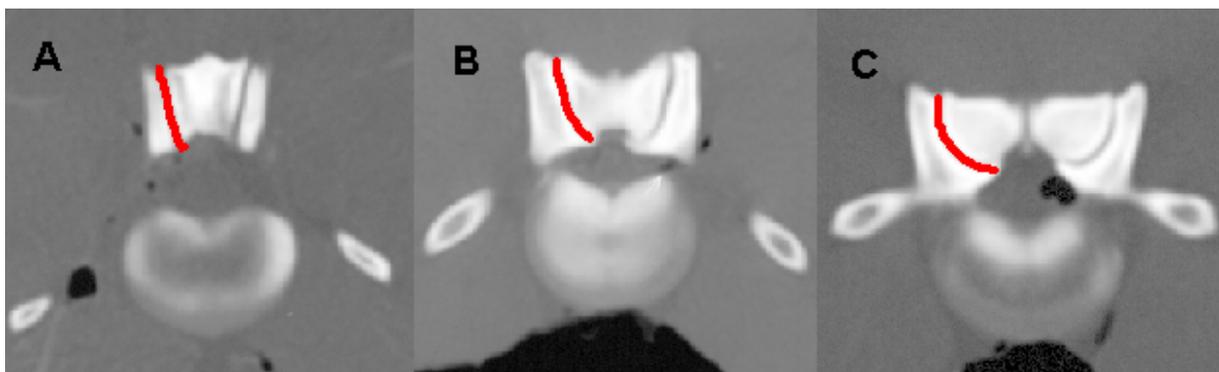


Abb. 11: Formen der Fazettengelenke im CT-Bild (LANG, 2003)

A: gerade Form

B: gewinkelte Form

C: runde Form

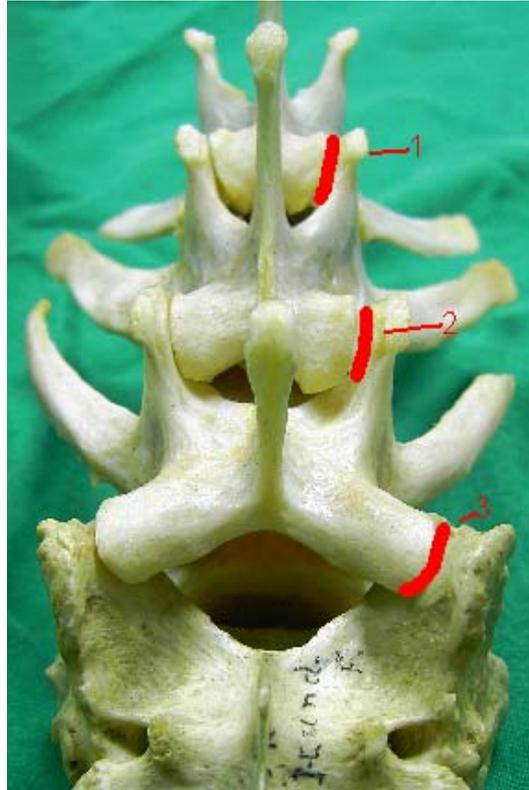


Abb. 12: Winkelung der Fazettengelenke der kaudalen LWS, Sicht von schräg dorsal

1 Fazettengelenk L5-L6: steil, gerade; 2 Fazettengelenk L6-L7: steil, minimal gebogen;
3 Fazettengelenk L7-S1: flacher, gewinkelt

2.3.2. Biomechanik des Ileosakralgelenks (ISG)

GEMBARDT (1974) untersucht röntgenologisch und histologisch an den Wirbelsäulen von 84 nicht vorselektierten großwüchsigen Hunden die ISG. Unter den Hunden befinden sich 45 DSH und 17 Boxer. Das ISG wird durch die Körpermasse des Tieres statisch belastet und seine faserigen Bestandteile wirken beim dynamischen Bewegungsablauf den entstehenden Scherkräften entgegen. Das ISG dient beim Bogensehnenbrückenmodell (siehe Kapitel 2.1.3.) als kaudaler Unterstützungspunkt. Eine Überbelastung führt zur Lockerung der kollagenen Faserbündel und zu einem Absinken des Kreuzbeins nach ventral. Nach Angaben des Autors lässt sich diese Verschiebung im Röntgenbild durch ein Überstehen des ventralen Gelenkrandes der Facies auricularis des Kreuzbeins über den des Darmbeins feststellen. Histologisch kann man erkennen, dass durch die entstandene Inkongruenz die hyalinen Knorpelüberzüge der Gelenkflächen Drucknekrosen aufweisen und sich die kollagenen Fasern langsam in Faserknorpel umbilden.

Die den Nekrosen folgenden Proliferationen von Knorpelzellen sind im Zentrum und an den Rändern der Facies auricularis zu erkennen. Am Rand überschießende Knorpelproliferationen findet man am Darmbein häufig dorsomedial und am Kreuzbein ventrolateral. Nach der enchondralen Ossifikation dieser Knorpelwulste sind sie dann auch im Röntgenbild sichtbar. Das Endstadium ist die Ankylose des ISG. Man unterscheidet die innere Ankylose, die durch ossifiziertes Pannusgewebe, das die Knorpelnekrosen in den Gelenkflächen auffüllt, entsteht, von der Verknöcherung des Bandapparates. Die Gelenkversteifung durch den Bandapparat kann in zwei Formen vorkommen. Die Ankylosis capsularis ossea geht von der Gelenkkapsel aus und findet sich nur am lateralen Gelenkrand. Die zweite Form entsteht durch desmale Ossifikation der kollagenen Fasern zwischen Kreuz- und Darmbein. Innere Ankylosen und Verknöcherungen des Bandapparates können gleichzeitig oder getrennt auftreten, so wie es das ISG einseitig oder beiderseits betreffen kann.

81 Wirbelsäulen werden mittels Röntgenaufnahmen auf Spondylopathien untersucht. 29 Tiere zeigen keine Veränderungen, bei acht sind nur geringgradige Spondylopathien in Form von ventralen Exostosen festzustellen. Bei 44 Hunden sind mittelgradige bis schwere Spondylopathien zu erkennen, wobei es bei 28 Tieren vor allem das Lumbosakralgelenk betrifft. Unter den Hunden mit Veränderungen am Lumbosakralgelenk befinden sich zehn Tiere mit Ankylosen im ISG.

Alle DSH und Boxer, die älter als drei Jahre sind, zeigen veränderte Iliosakralgelenke (GEMBARDT, 1974).

Der Hund hat im Vergleich zu den Klauen- und Huftieren nur eine schwache Verspannung des Beckens mit dem Kreuzbein. Das Lig. sacrotuberale latum ist auf das Lig. sacrotuberale verkleinert, was eine deutliche Verringerung der Stabilität bedingt. Seitliche Traumata oder gynäko- bzw. andropathische Geschehen können zu einer Blockierung des ISG führen. Nach ZOHMANN und FUCHS (2000) kann mittels ausführlicher Anamnese, klinischer Untersuchung unter Berücksichtigung des zugehörigen Myotoms (Kruppen- und Glutealmuskulatur), Viszeroms (Beckenorgane), Sklerotoms (Beckengürtel) und Dermatoms (Hautsegment zwischen sechstem Lendenwirbel und Kreuzbeinmitte) sowie Gelenkfunktionsprüfung („Federtest“) die Diagnose blockiertes ISG gestellt werden.

Führt die digitale Palpation zu einer Schmerzreaktion ist von einer reversiblen Blockierung auszugehen, zeigt das Tier jedoch keine Schmerzen handelt es sich um einen irreversiblen, schon ankylosierten Vorgang.

Lokale Infiltration, Gelenksinjektionen ins ISG, segmentale Akupunktur und manuelle Deblockierung bieten sich als Therapie von reversiblen Fällen an (ZOHMANN und FUCHS, 2000).

Das Pferd als schwergewichtiger Pflanzenfresser hat ein fast horizontal gestelltes ISG. Beim Hund steht das ISG jedoch steiler, bei großen Rassen wie dem DSH sogar fast sagittal (BREIT und KÜNZEL, 2001). Diese Stellung ermöglicht zwar einen gewissen Grad an Elastizität, verringert aber die Tragfähigkeit. Die Gewichtslast auf der Hinterhand beim stehenden Hund entspricht etwa 30-40% der Körpermasse. In Bewegung erhöht sich die Last auf etwa das Dreifache der Körpermasse.

BREIT et al. (2002) bestimmen den Winkel des ISG im Röntgenbild und kontrollieren die Reproduzierbarkeit des Verfahrens anhand von anatomischen Präparaten. Die Tierkörper von 40 euthanasierten großrahmigen Hunden werden in einer röntgenanatomischen Grundstudie mit leicht (Kreuzbein in zentraler Aufsicht) und vollständig gestreckten Hintergliedmaßen (Kreuzbein in gewinkelter Aufsicht) im ventrodorsalen Strahlengang geröntgt. Danach werden die Wirbelsäulen samt Becken freipräpariert und die Röntgenaufnahmen am Präparat wiederholt.

Zusätzlich verwenden diese Autoren 113 Beckenröntgenaufnahmen von DSH, Golden Retrievern und Rottweilern für eine retrospektive Studie. Die Winkelung des ISG wird am Röntgenbild mit zwei Hilfsgeraden, die den dorsalen und ventralen Abstand der beiden Ileosakralgelenke bestimmen, errechnet. Die Reproduzierbarkeit der Messungen bestätigt sich an 20 Präparaten.

Der Rottweiler zeigt in diesen Studien ein weniger steiles ISG als der DSH oder der Golden Retriever. Die Unterschiede zwischen dem Becken in zentraler und gewinkelter Aufsicht sind gering. Die Winkelung des ISG korreliert beim wachsenden Hund mit dem Alter, aber nicht mit dem Geschlecht. Mit zunehmendem Alter stehen die Gelenke steiler. Die endgültige knöcherne Ausformung des ISG ist erst mit 12 Monaten abgeschlossen, so dass schwere Arbeit, hohes Körpergewicht und ungebremste Aktivität im Welpenalter eine Malformation des ISG begünstigen können.

BREIT und KÜNZEL (2001) bestimmen die biomechanischen Gegebenheiten des ISG von reinrassigen Hunden. Für die Studie verwenden sie 145 mazerierte Wirbelsäulen mit Beckenknochen von erwachsenen Hunden und 45 Präparate von juvenilen Tieren. Die Präparate werden nach Größe der Hunde in zwei Gruppen unterteilt. Yorkshire-Terrier (24) und Dackel (25) sind die am häufigsten vertretenen Rassen bei den kleinen Hunden, sowie der DSH (37) und der Rottweiler (11) bei den großen Rassen. An jedem Präparat werden die Inklinationwinkel α , β^1 und β^2 , die Fläche der Kreuzbeinflügel und das Verhältnis der Facies auricularis zur mit kollagenen Fasern überdeckten Gelenkfläche bestimmt.

Inklinationwinkel α bezeichnet die Neigung zur sagittalen Ebene, β^1 die Neigung zur horizontalen Ebene und β^2 die Tiefe der konkaven Wölbung der Kreuzbeinflügel. Die Gewichtslast wird als Quotient von Gewicht und Kreuzbeinflügelfläche angegeben. Die Zahlen werden nicht absolut, sondern relativ zu den Werten des Yorkshire Terriers aufgezeichnet. Die Gewichtslast kleiner Rassen entspricht mit Ausnahme des Maltesers etwa dem 1,4- bis 1,6-fachen, bei den großen Rassen sogar dem 1,7- bis 2,7-fachen der Gewichtslast des Yorkshire Terriers. Der Inklinationwinkel α ist bei großen Rassen signifikant ($5,6^\circ \pm 2,7^\circ$) kleiner als bei kleinen Rassen ($7,5^\circ \pm 3,2^\circ$). Der DSH zeigt einen besonders kleinen Inklinationwinkel α . Bei 43% aller DSH ist er kleiner als $3,2^\circ$. Diesen Wert hat sonst nur noch ein großer Münsterländer. Die Kreuzbeinflügel der großen Hunde weisen eine deutliche Konkavität auf, wohingegen die Kreuzbeinflügel der kleinen Rassen flach sind. So kann der steilere Inklinationwinkel α teilweise kompensiert werden. Diese konkave Fläche entsteht am Übergang der zusätzlichen ventralen Verknöcherungskerne der ersten beiden Kreuzbeinwirbel, die für die Bildung der Kreuzbeinflügel zuständig sind. Der zusätzliche Verknöcherungskern von S2 wird bei allen großen Hunden, aber nur selten bei den kleinen gefunden. HERLING (1996) bezeichnet das ventral prominente Auftreten dieses Verknöcherungskerns als „Beckenringanomalie“. Die vollständige Fusion der beiden Kerne tritt mit etwa 12 Monaten ein. Somit können formative Reize wie Körpermasse und Aktivität bis zu dieser Zeit erheblichen Einfluss auf die endgültige Form des ISG haben. Es wird vermutet, dass eben diese Reize auch zur Ausbildung des zusätzlichen Verknöcherungskerns von S2 führen und so Kleinrassen wie Yorkshire Terrier und Malteser aufgrund ihres geringen Körpergewichts keinen Anlass zu Anlage dieses Kerns zeigen.

BREIT et al. (2003) stellen die röntgenologischen Veränderungen einer Ankylose des ISG dar. Der von WINKLER (1985) benutzte Begriff Beckenringanomalie beschreibt einen fast identischen Befund wie die Ankylose des ISG.

Die Beckenringanomalie wird häufiger unilateral, und bei weiblichen Tieren gefunden. Der Boxer zeigt eine Rassenprädisposition für diese Erkrankung.

646 mazerierte Wirbelsäulen und Becken von Rassehunden untersuchen BREIT et al. (2003) röntgenologisch. Der DSH ist mit 106 Präparaten die am häufigsten vertretene Rasse. Die Aufnahmen werden im ventrodorsalen Strahlengang mit gestrecktem und gebeugtem LSG angefertigt.

Knöcherner Veränderungen können am Präparat vor allem im kranioventralen und kaudalen Bereich der ISG nachgewiesen werden. Der kaudoventrale Anteil des ISG ist nur bei einem Hund betroffen. Röntgenologisch lassen sich die Ankylosen abhängig von ihrer Ausprägung im kaudoventralen und im kranioventralen Anteil des ISG gut, im kaudalen wegen Überlagerungen mit verkalkenden Bandstrukturen schlecht darstellen. Die Ankylosen treten häufiger beiderseits als unilateral auf. Sie zeigen sich vermehrt bei Rüden und Hunden großer Rassen.

2.4. Lumbosakrale Übergangswirbel (LÜW)

2.4.1. Definition Übergangswirbel

Ein Übergangswirbel ist sowohl durch seine untypische Morphologie als auch durch seine Lokalisation gekennzeichnet. Er befindet sich am Übergang zweier Wirbelsäulenabschnitte und zeigt anatomische Merkmale auf, die ihn nicht klar dem einen oder anderen Wirbelsäulensegment zuordnen lassen (GEGENBAUR, 1873). Schon ROSENBERG (1907) spricht bei Übergangswirbeln von Varietäten oder Variationen des Normalen und nicht von Missbildungen. Die einzelnen Übergänge der Wirbelsäulensegmente sind nicht genau festgelegt, sondern können sich sowohl nach kranial als auch kaudal verschieben (SIMOENS et al., 1983).

Übergangswirbel können zwischen allen Wirbelsäulenabschnitten auftreten. Treten an mehreren Segmentgrenzen Übergangswirbel auf, kann man eine kopf- oder steißwärts gerichtete Orientierung erkennen (JUNGHANNS, 1939).

Die Veränderungen betreffen in den meisten Fällen den Wirbelbogen und/oder die Wirbelfortsätze, der Wirbelkörper wird seltener mit einbezogen. Die morphologischen Variationen können beiderseits oder einseitig auftreten (JUNGHANNS, 1939; MORGAN, 1968).

Nach MORGAN (1968) und BARONE (1976) kommen Übergangswirbel kaudal häufiger vor, als kranial.

ZIEGLER (1989) findet mehr Übergangswirbel im thorakolumbalen als im lumbosakralen Abschnitt.

Übergangswirbel im Bereich von Okziput, Atlas und Axis haben eine große klinische Bedeutung, da Instabilitäten auf dieser Höhe zu Kompressionen des Rückenmarks und schwersten klinischen Symptomen führen können (MORGAN, 1999 a).

Zervikothorakalen, thorakolumbalen und sakrokokzygealen Übergangswirbeln wird keine klinische Bedeutung zugeordnet. LÜW können am Entstehen einer HD oder eines CES mitbeteiligt sein (MORGAN, 1999 b).

2.4.2. Lumbosakrale Übergangswirbel

Der LÜW ist ein Wirbel an der Segmentgrenze zwischen Lendenwirbelsäule und Kreuzbein, der Merkmale beider Abschnitte aufweist. Dieses kann sich im einzelnen auf Asymmetrien im Bereich der Wirbelfortsätze (STIEVE, 1921) beziehen, oder soweit führen, dass der Wirbel durch komplette Annahme der Morphologie des benachbarten Wirbelsäulenabschnittes zu einer Mehr- oder Minderzahl der Wirbel in den einzelnen Segmenten führt (BLUMENSAAT und CLASING, 1932).

FRENKEL (1873) und GEGENBAUR (1873) untersuchen genauer die embryonale Wachstumsphase der Wirbel am lumbosakralen Übergang. Zusätzlich zu den drei bekannten Verknöcherungskernen (einer zentral im Wirbelkörper und zwei beiderseits am Wirbelbogenursprung) entdecken sie an Kreuzbeinwirbeln zwei weitere, die sich beiderseits ventral am Wirbelkörper befinden. Diese Verknöcherungskerne bilden zu einem Großteil die Facies auricularis. Aufgrund ihrer Lokalisation werden diese Wirbelabschnitte ventrale Seitenteile genannt und als Rippenanalogon im Bereich des Kreuzbeins angesehen.

2.4.3. Lumbalisation und Sakralisation

Der Begriff Lumbalisation eines Kreuzbeinwirbels beschreibt morphologische Veränderungen, die eine Loslösungstendenz nach kranial vermitteln. Dieses reicht bis zur vollständigen Isolierung des ersten Kreuzbeinwirbels (WINKLER, 1985; ZIEGLER, 1989). Solche Variationen können auch einseitig vorkommen und werden in der Humanmedizin als Hemilumbalisation bezeichnet (JUNGHANNS und SCHMORL, 1957).

Der Begriff Sakralisation beschreibt den gegenläufigen Vorgang. Ein Lendenwirbel orientiert sich nach kaudal und nimmt Merkmale eines Kreuzbeinwirbels an. Auch hier reichen einzelne Varianten von atypischen Querfortsätzen bis zur vollständigen Verschmelzung mit dem Kreuzbein (WINKLER, 1985; ZIEGLER, 1989). Für einseitige Veränderungen wird von JUNGHANNS und SCHMORL (1957) der Begriff der Hemisakralisation geprägt.

Die Begriffe Hemilumbalisation bzw. Hemisakralisation sind in der Tiermedizin bisher nicht häufig im Gebrauch, lediglich MORGAN et al. (1993) erwähnt die Hemilumbalisation.

JUNGHANNS (1939) sieht in der Sakralisation und der Lumbalisation beim Menschen zwei Prozesse, die rein morphologisch, ohne genaue Kenntnis der Wirbelzahl, nicht unterschieden werden können.

MORGAN (1968) sowie auch ZIEGLER (1989) teilen die Übergangswirbel anhand ihrer Wirbelzahl ein, so dass ein veränderter 27. Wirbel eine Sakralisation und ein veränderter 28. Wirbel eine Lumbalisation ist.

MORGAN et al. (1993) weist darauf hin, dass bei Lumbalisationen des ersten Kreuzbeinsegmentes häufig auch gleichzeitig eine Sakralisation des ersten Schwanzwirbels vorliegt und so wieder ein Kreuzbein aus drei Wirbeln entsteht.

LARSEN (1977) liegen in seiner Auswertung von HD-Begleitschreibern nur wenige Röntgenaufnahmen vor, und eine große Zahl lassen nur einen kleinen Teil der Lendenwirbelsäule erkennen, so dass die genaue Wirbelzahl nicht bestimmt werden kann. In den wenigen Fällen mit komplett in Röntgenaufnahmen vorliegenden Lendenwirbelsäulen zeigen sich die LÜW meistens als Sakralisation und so schließt der Autor, dass es sich beim Großteil der LÜW um Sakralisationen des letzten Lendenwirbels handelt.

WINKLER und LÖFFLER (1986) unterscheiden Lumbalisation und Sakralisation anhand der Stellung der Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke und dem Auftreten von ventralen Seitenteilen. Es wird eine horizontale Hilfslinie waagrecht durch die Kranialansicht des Wirbelkörpers gelegt. Der Schnittwinkel mit einer Tangente zwischen kranialem Gelenkfortsatz und Wirbelkörper ist am ersten Kreuzbeinwirbel größer als 90° und am letzten Lendenwirbel um 90° , da die Gelenkfortsätze am Kreuzbein weiter lateral liegen. Eine weitere Gerade vom Gelenkfortsatz zum Wirbelkörpermittelpunkt gibt die Stellung der Gelenkflächen wieder. Diese stehen am letzten Lendenwirbel stärker sagittal ausgerichtet (Abb. 13). Die ventralen Seitenteile an einem Lendenwirbel entstehen aus eigenen Verknöcherungszentren, die entsprechenden am Kreuzbein sind für die Bildung der Kreuzbeinflügel verantwortlich. Eine Lumbalisation ist gekennzeichnet durch eine steilere Stellung der Gelenkflächen und dem Auftreten von ventralen Seitenteilen.

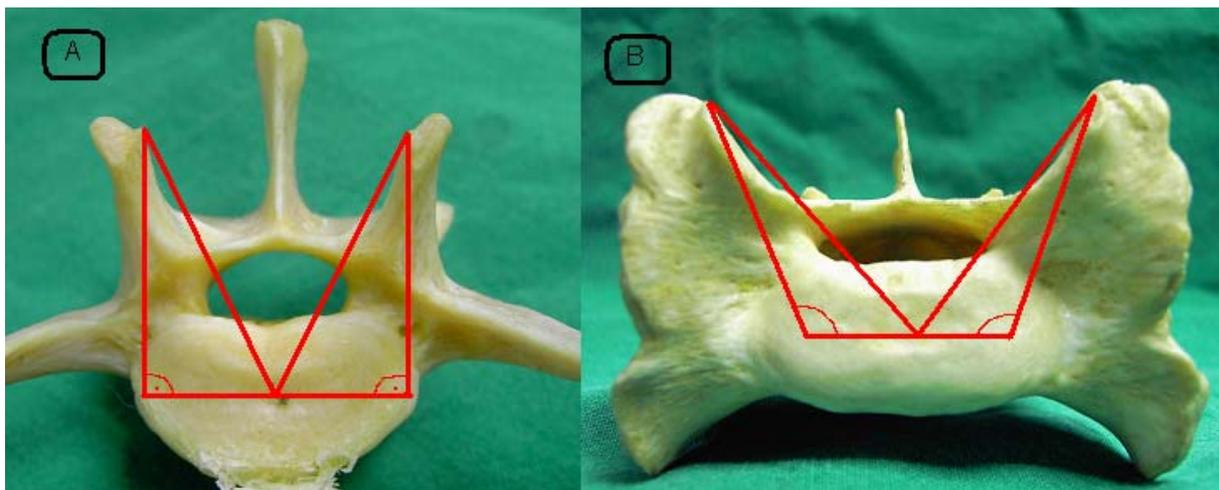


Abb. 13: Lage und Winkelung der kranialen Gelenkfortsätze von L7 (A) und S1 (B)
(nach Winkler und Löffler, 1986)

A: Die Gelenkfortsätze am letzten Lendenwirbel stehen eng beieinander und sind steil gewinkelt

B: Die Gelenkfortsätze am ersten Kreuzbeinwirbel stehen weiter auseinander und sind flacher gewinkelt

Das isolierte Auftreten eines Proc. spinosus an S1 (PS S1) und seine Entfernung zum Dornfortsatz des zweiten Kreuzbeinwirbels auf Beckenaufnahmen im ventrodorsalen Strahlengang wird als weiteres Erkennungsmerkmal für eine Lumbalisation verwendet. Mit zunehmendem Grad der Lumbalisation vergrößert sich der Abstand zwischen den Dornfortsätzen.

WINKLER (1985) teilt die Lumbalisationen in drei Formen ein. Form A zeichnet sich durch einen isolierten PS S1 und eine ansatzweise Aufteilung der kranialen Kreuzbeinflügelkontur in Querfortsatz und kranialen Gelenkfortsatz, die durch eine bogenförmige Verbindungslinie getrennt sind. Form B entspricht in weiten Zügen Form A, nur dass hier die Querfortsätze deutlich zu erkennen sind und die Größe eines normalen Lendenwirbelquerfortsatzes aufweisen. Es können Mischformen vorkommen, so dass eine Kreuzbeinseite Form A und die andere Form B zeigt. Form C zeigt zusätzlich zu den Veränderungen von Form B einen Gelenkspalt zwischen dem ersten und zweiten Kreuzbeinsegment.

Sakralisationen zeigen sich durch Kontaktaufnahme eines oder beider Lendenwirbelquerfortsätze mit der Darmbeinschaukel.

WINKLER (1985) betont, dass die einzelnen Formen der Lumbalisation im Gegensatz zu den Sakralisationen niemals einseitig auftreten und schließt daraus, dass die Lumbalisation nicht eine Umkehrung der Sakralisation darstellt.

In seiner Diskussion erwähnt WINKLER (1985), dass trotz vorangestellter morphologischer Definition von Lumbalisation und Sakralisation, diese Begriffe eigentlich nur dann sicher verwendet werden können, wenn die komplette Wirbelsäule auf den Röntgenaufnahmen einsehbar ist und schließt sich der Meinung von MORGAN (1968) an, die auch von ZIEGLER (1989) bestätigt wird.

BREIT und KÜNZEL (1998) ordnen die Wirbel anhand ihrer Wirbelzahl zu. Acht der 228 untersuchten Wirbelsäulenpräparate zeigen einen LÜW. Bei fünf von acht (62,5%) Hunden ist der 28. Wirbel der Übergangswirbel, bei drei von acht (37,5%) Hunden der 27. Wirbel. Betrifft die Veränderung den 27. Wirbel wird sie als Sakralisation, betrifft sie den 28. Wirbel wird sie als Lumbalisation bezeichnet. BREIT und KÜNZEL (1998) ziehen wie WINKLER und LÖFFLER (1986) als weitere Unterscheidungsmerkmale die Stellung der Gelenkflächen, den Abstand zwischen den Dornfortsätzen der Kreuzbeinwirbel und die „ventralen Seitenteile“ heran. Bei einer Lumbalisation stehen die kranialen Gelenkfortsätze weniger sagittal als bei einer Sakralisation. Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen des ersten und zweiten Kreuzbeinsegmentes ist weiter als der zwischen dem zweiten und dritten Kreuzbeinsegment und die ventralen Seitenteile sind bei Lumbalisationen immer deutlich angelegt.

2.4.4. Entstehung von lumbosakralen Übergangswirbeln

Der genaue Zeitpunkt der Entstehung von LÜW in der Entwicklung des Hundes ist noch nicht bekannt. Traumen, entzündliche Geschehen und degenerative Prozesse werden jedoch als Ursachen ausgeschlossen (BARONE, 1976).

Angeborene Wirbelsäulenveränderungen können in zwei große Gruppen unterteilt werden. Nach ihrem Ursprung teilt man die Wirbelsäulenbestandteile in ektodermal (Wirbelbogen und Rückenmark, ehem. Neuralrohr) und mesodermal (Wirbelkörper und Zwischenwirbelscheibe, ehem. Chorda dorsalis) ein (BAILEY, 1975).

Blockwirbel, Halbwirbel und Schmetterlingswirbel sind Beispiele für mesodermale Veränderungen, die in der Regel keine klinischen Symptome verursachen. Spina bifida, und Syringomyelie sind Veränderungen ektodermalen Ursprungs. Betroffene Tiere zeigen häufiger klinische Symptome und eine chirurgische Therapie ist oft ohne Erfolg (BAILEY, 1975). Es kommen auch komplexe Wirbelsäulenveränderungen vor, die alle Wirbelanteile einbeziehen. Der Übergangswirbel wird von BAILEY (1975) nicht direkt erwähnt, aber da die Variationen an Wirbelbogen, -körper und -fortsätzen einzeln oder gleichzeitig auftreten können, ist ihr Ursprung nicht klar zuzuordnen.

2.4.5. Formen des lumbosakralen Übergangswirbels

WINKLER (1985) unterteilt die LÜW unter den Gesichtspunkten der Symmetrie und Morphologie. Er unterscheidet zwischen ein- und beidseitigen Übergangswirbeln. Die Aufteilung in die Formen der Lumbalisation und Sakralisation beschreibt Kapitel 2.4.3.. Es wird bei den einzelnen Rassen zwischen Lumbalisation und Sakralisation unterschieden. Beim DSH stehen 518 Lumbalisationen 114 Sakralisationen gegenüber. Die häufigste Form der Lumbalisation ist Form A (330) und der Großteil der Sakralisationen stellt sich einseitig (87) dar.

ZIEGLER (1989) teilt die Formen der Assimilationsstörungen streng nach ihrer Morphologie ein. Beim Hund werden insgesamt 23 morphologische Variationen des lumbosakralen Übergangs festgehalten. Als Beurteilungskriterien werden die Länge des Proc. costarius und dessen Richtung, die Ausbildung eines ventralen Seitenteils und der Zwischenwirbelkörperabstand herangezogen. Die Ausprägung der einzelnen Merkmale wird für Sakralisationen, Lumbalisationen und nicht einzuordnende LÜW dann getrennt eingestuft.

Es gibt jeweils vier Grade, die beschreiben, ob der vorliegende Befund physiologisch ist oder eine geringe, mittlere oder schwere Ausprägung eines Charakteristikums einer Sakralisation, Lumbalisation oder eines LÜW ist.

Als Beispiel veranschaulicht auf einer Röntgenaufnahme im ventrodorsalen Strahlengang die erkennbare Ausbildung eines ventralen Seitenteils die Einteilung. Ein fehlendes ventrales Seitenteil ist ein ausgeprägtes Merkmal an S1 bei einer Lumbalisation, ein physiologischer Befund an L7 bei einer Sakralisation und ein nicht zu beurteilender Befund bei einem LÜW. Zeigt sich ein ventrales Seitenteil am morphologisch verdächtigen Wirbel in Form und Größe eines normalen Seitenteils eines Kreuzbeinwirbels, ist dies ein physiologischer Befund bei einer Lumbalisation von S1, einem ausgeprägten Merkmal einer Sakralisation von L7 und ein Hinweis auf einen LÜW.

Beim Hund treten nur 20 der 23 verschiedenen Variationen auf. Von diesen zeigen sich wiederum nur je 14 bei Sakralisationen und Lumbalisationen und 18 bei LÜW. Die Seitenverteilung der Veränderungen werden getrennt für Lumbalisationen, Sakralisationen und LÜW beschrieben. Die beim Hund am häufigsten aufgetretenen Formen stellt Abb. 14 dar. Die Zeichnungen geben die Variationen einseitig wieder, aber es wird die Häufigkeit auf jeder Seite in einer Tabelle angegeben. Ist der LÜW symmetrisch, so wird sowohl die rechte als auch die linke Seite notiert.

ZIEGLER(1989) untersucht 485 Aufnahmen von Hunden mit einer lumbosakralen Assimilationsstörungen und findet 203 symmetrische und 282 asymmetrische LÜW.

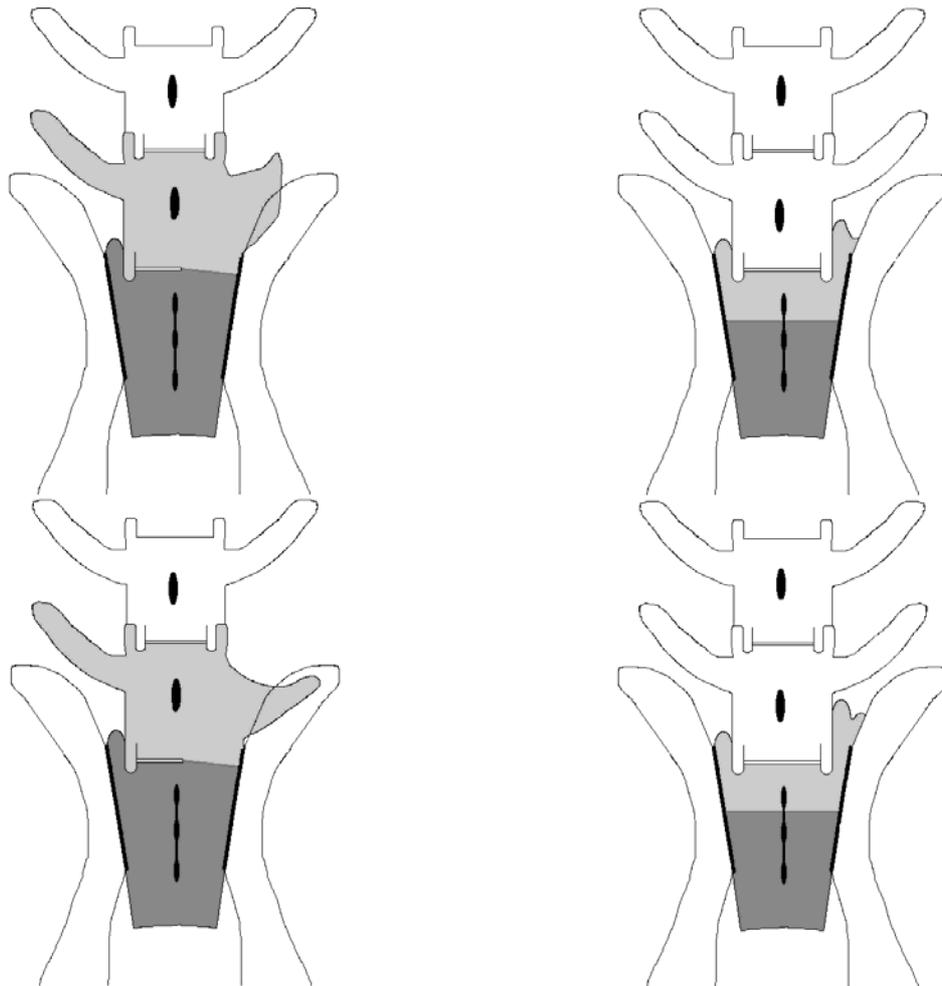


Abbildung 14: Häufigste Formen des LÜW nach ZIEGLER (1989), skizziert

○ Lendenwirbel, ◐ LÜW, ◑ Kreuzbeinwirbel

MORGAN (1999 b) unterteilt die LÜW nach ihrer Symmetrie und dem Kontakt zum Kreuzbein. Die symmetrischen LÜW weisen beiderseits eine gleiche Fortsatzmorphologie auf und führen zu keiner Winkelung oder Rotation des Beckens. Die zweite Gruppe bilden die asymmetrischen LÜW. Sie haben auf der einen Seite einen Querfortsatz wie ein Lendenwirbel und auf der anderen Seite einen Kreuzbeinflügel mit Kontakt zum Darmbein. Diese Gruppe wird noch in vier Untergruppen geteilt: mit Rotation des Beckens, mit Winkelung des Beckens, mit Rotation und Winkelung des Beckens und ohne Rotation und Winkelung des Beckens. Die dritte Gruppe bilden asymmetrische LÜW, die zwar beiderseits einen kreuzbeinflügelähnlichen Fortsatz tragen, aber keine Kreuzbeindarmbeinverbindung bilden.

2.4.6. Häufigkeit der lumbosakralen Übergangswirbel beim Hund

Nach JUNGHANNS (1939) streuen die Häufigkeitsangaben von LÜW beim Menschen sehr weit. Es werden Zahlen von 0,6%-25% angegeben. Untersucht wurden unterschiedliche Nierenübersichtsröntgenaufnahmen oder Skelette bzw. Teile davon.

LARSEN (1977) untersucht in Schweden von 24463 Hunden computergespeicherte HD-Begleitschreiben. Bei 552 (2,25%) der Datensätze kann er den Nebenbefund LÜW feststellen. Die Befunde werden von den HD-Gutachtern erhoben und es ist keine genaue Definition für einen LÜW vorgegeben. 57 Rassen sind in diese Untersuchung eingeschlossen. LÜW treten signifikant häufiger bei den Rassen Rhodesian Ridgeback (7,85%), Britischer Spaniel (5,91%), DSH (4,28%) und Dobermannpinscher (3,70%) auf. LARSEN (1977) vermutet einen Zusammenhang zwischen der Zucht dieser Rassen auf besondere äußere Merkmale und dem gehäuften Auftreten von LÜW. Der Britische Spaniel wird auf Schwanzlosigkeit, der Rhodesian Ridgeback auf die gegenläufige Haarleiste auf dem Rücken (Ridge) und der DSH und der Dobermann auf eine leicht abfallende Rückenpartie im Stand gezüchtet. Der Autor schreibt, dass die Häufigkeit der LÜW jedoch größer als 2,25% ist, da auf einigen oder mehreren ausgewerteten Röntgenbildern der lumbosakrale Übergang nicht abgebildet ist und das Erkennen eines LÜW durch Überlagerung mit Kot oder dem Präputium erschwert sein kann. Als bestes Merkmal zur Feststellung eines LÜW zieht er die Dornfortsätze des Kreuzbeins heran.

MORGAN (1968) untersucht die freipräparierten Wirbelsäulen von 145 ausgewachsenen Hunden auf morphologische Veränderungen. Er fertigt Röntgenaufnahmen im dorsoventralen und laterolateralen Strahlengang an und untersucht dann die einzelnen Wirbel getrennt. Veränderungen an den kleinen Wirbelgelenken werden in dieser Studie nicht erfasst. Zu 92 Hunden liegt ein genauer Vorbericht vor.

68 (47%) Präparate zeigen insgesamt 84 angeborene Veränderungen der Wirbelsäule. Bei 16 Tieren liegen zwei Veränderungen gleichzeitig vor. In sieben Fällen betrifft es den lumbosakralen und sakrokokzygealen Übergang und in neun Fällen liegen die Veränderungen weit getrennt an unterschiedlichen Abschnitten der Wirbelsäule.

7% der Wirbelsäulen zeigen eine veränderte Segmentaufteilung. In vier Fällen ist die präsakrale Wirbelanzahl zwar 27, aber es liegen 12 Brust- und acht Lendenwirbel vor. Bei fünf Hunden ist die präsakrale Wirbelanzahl auf 26 reduziert und bei einem Hund auf 28 erhöht (8. Lendenwirbel). Die geringere Anzahl von präsakralen Wirbeln ist einmal durch nur 12 Brustwirbel und viermal durch sechs Lendenwirbel bedingt. MORGAN (1968) findet bei drei Hunden ein- oder beidseitig „Halsrippen“ am 7. Halswirbel und bei zehn Wirbelsäulen Lumbalisationen des letzten Brustwirbels. An vier Präparaten (2,8%) können LÜW festgestellt werden.

In sieben Fällen ist das Kreuzbein nicht vollständig fusioniert. Bei fünf Präparaten ist das 1. vom 2. Kreuzbeinsegment und bei zwei Präparaten das 2. vom 3. Kreuzbeinsegment durch eine Aufhellungslinie getrennt.

Teilweise oder komplette Fusion des ersten Schwanzwirbels mit dem Kreuzbein (SÜW) treten bei 18 (12,5%) Tieren auf und ein Tier zeigt ein Pseudogelenk zwischen dem Querfortsatz des letzten Kreuzbeinwirbels und dem Querfortsatz des ersten Schwanzwirbels.

Von 51 (75%) Hunden mit Wirbelsäulenveränderungen kann die Krankheitsgeschichte eingesehen werden. 38 (74,5%) Tiere weisen keine orthopädischen oder neurologischen Symptome auf. Die restlichen 13 Hunde zeigen zwar Lahmheit, Schmerz oder Parästhesien im Bereich des Rückens oder der Hintergliedmaße, aber es finden sich bei allen 13 Hunden in der Sektion auch weitere Befunde, die diese Symptome besser erklären können. Die Relevanz der Wirbelsäulenveränderung bleibt in diesen Fällen ungeklärt.

In seinen Betrachtungen über das Achsenskelett des Dackels findet KUSCH (1983) bei jedem siebten Tier einen achten Lendenwirbel. Dieser Wirbel zeigt Merkmale eines Kreuzbeinwirbels oder ist sogar mit dem ersten Kreuzbeinsegment ein- oder beidseitig verschmolzen und wird als Übergangswirbel bezeichnet. Jeder dritte Dackel weist ein Kreuzbein aus vier Wirbeln auf. Diese Wirbel bezeichnet er als Übergangswirbel zu den Lendenwirbeln oder den Schwanzwirbeln hin.

WINKLER (1985) liegen 14618 HD-Röntgenaufnahmen von zehn Hunderassen und vier anatomische Präparate der Kreuzbeinregion vor. Etwa die Hälfte der Aufnahmen ist von DSH und ein Viertel von Boxern. Im Schnitt waren etwa 85% der Bilder auswertbar. Kriterien hierfür sind gute technische Qualität und die vollständige Abbildung des letzten Lendenwirbels. Die geringere Auswertbarkeit bei großen Hunderassen erklärt WINKLER (1985) durch die Schwierigkeit bei einer HD-Aufnahme zugleich Kniegelenke und letzten Lendenwirbel abzubilden. 632 (11,1%) der DSH haben einen LÜW. 518 (81,96%) werden als Lumbalisation und 114 (18,04%) als Sakralisation eingestuft. Die Rasse Rhodesian Ridgeback zeigt einen Anteil von 16,7% LÜW bei 24 vorliegenden Aufnahmen. Von sieben Rassen liegen genug Röntgenaufnahmen für eine 95%-Koinfidenzintervallschätzung vor. Die LÜW sind bei den Rassen Boxer, Cocker Spaniel, Leonberger, Bobtail und Sibirian Husky etwa gleich häufig, wogegen sie bei DSH häufiger und beim Airedale Terrier seltener sind.

Die anatomischen Präparate sind mazeriert. Präparat A und B bestehen aus einem isolierten Kreuzbein, Präparat C aus einem Becken mit Kreuzbein und Präparat D aus einem Kreuzbein mit letztem Lendenwirbel. Anhand der Präparate wird versucht den Unterschied zwischen einem normalen Kreuzbein (Präparat A) und Kreuzbeinen mit LÜW (restliche Präparate) zu erläutern und gleichzeitig eine Möglichkeit zu finden Übergangswirbel in Lumbalisationen und Sakralisationen einzuteilen (ventrale Seitenteile, Winkelung der kleinen Wirbelgelenke (Abb. 13)).

JAGGY et al. (1987) untersuchen 57 Hunde mit einem CES. Bei neun (15,79%) Hunden finden sie Missbildungen in Form eines Keil-, Block- oder Übergangswirbels zwischen L7 und S1. Eine genauere Aufteilung nehmen sie nicht vor.

ZIEGLER (1989) wertet 6227 Röntgenaufnahmen von Hunden aus. Diese zeigen den lumbosakralen Übergang entweder im ventrodorsalen oder/und laterolateralen Strahlengang. Zusätzlich liegen bei einigen Hunden noch weitere Aufnahmen vom Hals, Thorax und/oder Abdomen zur Bestimmung der Wirbelzahl vor. Insgesamt 568 (9%) Tiere haben eine Assimilationsstörung im lumbosakralen Übergang. 14% der Veränderungen werden als Sakralisation, 19% als Lumbalisation eingestuft. Bei 67% ist eine klare Einteilung anhand der Wirbelzahl nicht möglich. Diese bezeichnet die Autorin als lumbosakrale Übergangswirbel. Unter den Rassen mit mehr als zehn diagnostizierten LÜW zeigen der Dobermann mit 19% und der DSH mit 16% den größten Anteil an LÜW.

Beim Jagdterrier und Griffon werden mehr als 30% LÜW gefunden, jedoch ist die Anzahl der Röntgenbilder bei beiden Rassen gering. DSH und Dackel zeigen signifikant mehr Lumbalisationen, wogegen beim Spaniel die Sakralisation signifikant häufiger vorkommt. Nach Geschlechtern aufgeteilt, zeigen die Rüden einen signifikant höheren Anteil an Assimilationsstörungen am lumbosakralen Übergang als die Hündinnen.

KEALY (1991) erwähnt das Auftreten von LÜW ohne eine genaue Häufigkeit anzugeben. Er misst ihnen keine klinische Bedeutung zu, weist aber darauf hin, dass eine korrekte Lagerung bei Beckenaufnahmen durch LÜW erschwert sein kann.

Bei einer Reihenuntersuchung an 227 Hunden zur korrekten Lagerung bei Röntgenaufnahmen des lumbosakralen Übergangs finden KÖPPEL und REIN (1992) sieben (3,08%) Tiere mit einem LÜW, die sie als unvollständige Sakralisationen einstufen.

MATTOON und KOBLIK (1993) fertigen eine Röntgenstudie des lumbosakralen Übergangs an. Im Patientengut sind 26 Hunde, die an einem CES erkrankt sind, und 93 Tiere, die keinen Hinweis für eine CES aufweisen. Fünf Hunde mit CES (19,23%) und sechs Hunde ohne CES (6,45%) haben einen LÜW.

BREIT und KÜNZEL (1998) finden an 228 Wirbelsäulen von seziierten Hunden aus 52 Rassen bei 116 (50,9%) Präparaten insgesamt 182 Variationen. 37 (16,2%) Wirbelsäulen zeigen eine veränderte Anzahl von Wirbeln in den einzelnen Segmenten, 24 (10,52%) eine Erhöhung der Gesamtwirbelzahl (Hals-, Brust-, Lenden- und Kreuzbeinwirbel) auf 31 und eine Wirbelsäule (0,43%) eine Reduktion der Gesamtwirbelzahl auf 29. Acht der 31 untersuchten DSH haben abweichende segmentale Wirbelzahlen. Der DSH (8/31) und der Dackel (7/20) sind die einzigen Rassen, bei denen mehr als ein Tier eine auf 31 erhöhte Gesamtanzahl aufweist. Ein DSH zeigt einen LÜW (Lumbalisation), die anderen haben jeweils vier Kreuzbeinwirbel durch teilweise oder vollständige Fusion des ersten Schwanzwirbels (SÜW). Ein Berner Sennenhund, ein Leonberger, ein Shi Tzu, ein Irischer Setter, ein Zwergpudel und ein Yorkshire Terrier weisen ebenfalls einen LÜW auf. Die Häufigkeit der Übergangswirbel nimmt nach kaudal zu. Es werden keine zervikothorakalen Übergangswirbel festgestellt, jedoch drei thorakolumbale und sieben LÜW. 19 Tiere ohne LÜW haben vier Kreuzbeinwirbel (SÜW).

MORGAN (1999 b) bestimmt anhand von über 5000 Röntgenbildern von Hunden, die keinen Hinweis auf ein CES zeigen, die Häufigkeit der LÜW. 143 Hunde (2,5%)

werden als LÜW-positiv eingestuft. 82 davon sind männlich, 61 weiblich und 63 Hunde gehören zur Rasse DSH.

MORGAN et al. (1999) untersuchen 1018 Labrador-Retriever, die älter als ein Jahr sind, auf dysplastische Knochenerkrankungen. Die Hunde werden für diese Studie von ihren Besitzern auf Anfrage zur Verfügung gestellt. Die Autoren gehen davon aus, dass die meisten ihre für sie gesunden Hunde vorstellen und unbewusst eine Vorselektion treffen. Daraus kann man folgern, dass das tatsächliche Auftreten von dysplastischen Gelenken ein wenig höher liegt als in der Studie gefunden.

Neben dem lumbosakralen Übergang werden die Schulter-, Ellbogen-, Hüft-, Knie- und Tarsalgelenke untersucht. 330 Tiere (32,4%) zeigen mindestens ein dysplastisches Gelenk. LÜW-positive Tiere haben einen sichtbaren Zwischenwirbelspalt zwischen den normalerweise fusionierten S1 und S2, einen seitlich flügel förmigen deformierten Querfortsatz an S1, einen isolierten PS S1 oder zwei asymmetrisch ausgebildete Querfortsätze am letzten Lendenwirbel. Es werden 37 (3,6%) Hunde als LÜW-positiv eingestuft, davon 27 weibliche (4,2%) und 10 (2,7%) männliche. Je zwei Hündinnen und Rüden zeigen gleichzeitig noch Veränderungen an den Ellenbogengelenken und zwei Rüden und eine Hündin eine Hüftgelenksdysplasie.

In einer computertomographischen Studie an sechs Hunden finden JONES und INZANA (2000) bei zwei (66%) der drei untersuchten DSH einen LÜW.

JONES et al. (2000) diagnostizieren insgesamt acht Wirbeldeformationen bei zwölf an DLSS erkrankten Arbeitshunden, ohne genaue Angabe der Lokalisation.

LINN et al. (2003) finden bei 25 an CES erkrankten militärischen Arbeitshunden drei LÜW (12%) und in einem Fall einen achten Lendenwirbel (4%). Das Untersuchungsgut setzt sich aus etwa einem Drittel DSH und etwa zwei Dritteln Malinois zusammen. Eine genaue Zuordnung der LÜW zu den Patienten findet nicht statt.

2.4.7. Lumbosakrale Übergangswirbel und Geschlecht

WINKLER (1985) kann bei 10 Rassen keine Geschlechtsprädisposition für LÜW feststellen.

Auch LARSEN (1977) sieht keinen Zusammenhang zwischen Geschlecht und Auftreten von LÜW.

ZIEGLER (1989) findet signifikant mehr LÜW bei männlichen Tieren.

In einer röntgenologischen Studie an 1018 Labrador-Retrievern finden MORGAN et al. (1999) bei 4,2% der weiblichen und bei 2,7% der männlichen Tiere LÜW.

In einer humanmedizinischen Studie an Spondylolistheseerkrankten können KIM und SUK (1997) bei 27 Frauen und 6 Männern einen LÜW nachweisen, genauere Angaben über die jeweiligen Gruppengrößen werden jedoch nicht gemacht.

2.4.8. Lumbosakrale Übergangswirbel und Hüftgelenkdysplasie

LARSEN (1977) vergleicht die HD-Begleitschreiben von 552 Hunden aus 57 Rassen mit LÜW mit denen von fast 24.000 Hunden ohne LÜW. Es zeigt sich keine Korrelation zwischen Vorliegen eines LÜW und dem HD-Status. Er weist aber darauf hin, dass es im Falle von einseitigen LÜW zu einer Rotation oder Abkipfung des gesamten Beckenrings kommen kann und die beiden Hüftgelenke unterschiedlich stark im Stand und in der Bewegung belastet werden. Das tiefer gelegene Azetabulum erhält eine größere Abdeckung, wogegen das höher gestellte anfälliger für Dysplasien ist.

WINKLER (1985) überprüft statistisch den Zusammenhang von HD und LÜW bei 10 Rassen. Beim DSH und acht weiteren Rassen lässt sich kein Zusammenhang zwischen HD und LÜW belegen. Beim Boxer ist ein Zusammenhang nicht auszuschließen.

ZIEGLER (1989) stellt das Vorliegen eines LÜW dem Auftreten von Koxarthrosen bei Hund und Katze gegenüber. Die Tiere werden in zwei Altersgruppen (jünger als ein Jahr/ älter als ein Jahr) unterteilt. Das Vorkommen von Arthrosen kontrolliert sie an drei Stellen des Hüftgelenks: Gelenkpfanne, Oberschenkelkopf, Oberschenkelhals. Die Arthrosen werden pro Gelenk mit Punkten von 0 (arthrosefrei) bis 3 (hochgradige Arthrosen) bewertet. Pro Tier sind Punktsummen von 0 bis 18 möglich. Es werden nur Hunde mit Assimilationsstörungen untersucht, es gibt keine Kontrollgruppe.

Von 406 ausgewerteten Hunderöntgenaufnahmen im ventrodorsalen Strahlengang weisen 110 (27%) keinerlei Anzeichen für eine Arthrose auf.

Bei Hunden unter einem Jahr liegt der Anteil arthrosefreier Tiere bei 72,9%, bei Hunden über einem Jahr bei 17,4%. Geringgradige Koxarthrosen (Punktsumme neun und weniger) treten bei 245 (60%) Hunden auf.

Das Auftreten von arthrotischen Veränderungen wird nun mit den einzelnen Merkmalen der Assimilationsstörungen verglichen.

Bei Hunden unter einem Jahr zeigen sich 38 asymmetrische und 32 symmetrische Assimilationsstörungen. 19 (27,1%) Hunde zeigen eine Koxarthrose, davon haben 13 (68,4%) einen asymmetrischen und sechs (31,6%) einen symmetrischen LÜW. Bei allen symmetrischen und bei acht (61,5%) asymmetrischen Assimilationsstörungen sind die Arthrosen beiderseits gleich stark ausgebildet. Fünf (38,5%) asymmetrische Wirbel haben auf der Seite stärkere Arthrosen, welche den stärker veränderten Proc. costarius (transversus) zeigt.

Bei Hunden über einem Jahr sind 174 asymmetrische und 162 symmetrische Wirbelvariationen festzustellen. 143 (82%) Hunde mit asymmetrischen und 134 (83%) mit symmetrischen Assimilationsstörungen haben Koxarthrosen. Die Arthrosen sind bei 71% der symmetrischen und bei 40% der asymmetrischen Wirbel an beiden Hüftgelenken gleich stark ausgeprägt. Die Mehrzahl der 86 asymmetrischen Assimilationsstörungen, die eine einseitige stärkere Koxarthrose aufweisen, haben diese auf der Seite ausgeprägter, die die auffallendere Abweichung des Proc. costarius (transversus) und einen größeren Längsdurchmesser des Ileosakralgelenks mit einer Abweichung der Wirbelsäulenachse auf die andere Seite aufweist.

OWENS (1989) sieht in asymmetrischen LÜW eine mögliche Ursache für HD. Er lokalisiert die Arthrosen jedoch auf der zur größeren Kreuzbeinkontaktfläche gegenüber liegenden Seite. Asymmetrische LÜW können eine Skoliose hervorrufen und dadurch eine symmetrische Lagerung zur HD-Diagnostik unmöglich machen.

In einem Fallbeispiel zur HD-Beurteilung zeigt ein Hund mit asymmetrischem LÜW auf der Seite der größeren Kreuzbeinkontaktfläche eine deutliche Koxarthrose. Das andere Hüftgelenk ist unauffällig. Einen direkten Zusammenhang zwischen HD und LÜW kann aber nicht nachgewiesen werden (TELLHELM und BRASS, 1994).

MORGAN et al. (1999) untersuchen 1018 Labrador röntgenologisch auf Knochendysplasien an ausgewählten Gelenken. 128 Hunde werden als HD-positiv befunden und 37 als LÜW-positiv. Drei Tiere zeigen beide Veränderungen. Die Schnittmenge entspricht den statistischen Erwartungen.

In einer anderen Studie findet MORGAN (1999 b) bei Hunden mit LÜW in 58 Fällen (40,6%) eine Winkelung oder Rotation des Beckens. 32 dieser Tiere zeigen eine einseitige HD. Die Rotation und/oder Winkelung des Beckens kann einseitig zu einer stärkeren Abdeckung (geschlossener) und auf der anderen Seite zu einer schlechteren Abdeckung (offener) des Oberschenkelkopfes durch das Azetabulum führen. Die offene Seite weist stärkere Veränderungen im Sinne einer Femurkopfsubluxation und sekundären Arthrosen auf.

2.4.9. Lumbosakrale Übergangswirbel und Achsenabweichungen der Wirbelsäule

ZIEGLER (1989) bestimmt die Wirbelsäulenachsenabweichung bei vorliegendem LÜW. Es sind bei 133 (80,6%) der 165 auswertbaren symmetrischen LÜW keine Abweichungen der Wirbelsäulenachse festzustellen. Bei asymmetrischen LÜW zeigen 167 (87,9%) der 190 auswertbaren Aufnahmen Achsenabweichungen, die sich im Großteil zwischen 3°-5° bewegen. In der Mehrzahl der Fälle weicht die Wirbelsäulenachse zur Seite mit dem weniger veränderten Proc. costarius ab. Bei gleich ausgebildeten Procc. costarii ist keine Seitenpräferenz der Wirbelsäulenabweichung zu erkennen.

Einseitige LÜW können eine Abweichung der Wirbelsäulenachse zu einer Seite hin verursachen. Dies führt zur Rotation des Beckens in Längsrichtung und einer ungleichen Belastung der Ileosakralgelenke, Hüftgelenke und Beckengliedmaßen. Daraus resultierende Lahmheiten sind somit mechanisch und nicht neurologisch bedingt (LANG und JAGGY, 1989).

MORGAN (1999 b) entdeckt bei 73% der Hunde mit asymmetrischen LÜW eine Winkelung oder/und Rotation des Beckens.

2.4.10. Lumbosakrale Übergangswirbel und Kauda equina Kompressionssyndrom (CES)

Ein CES wird durch eine Einengung des Wirbelkanals auf Höhe des Zwischenwirbelspaltes von L7 und S1 und einer dadurch bedingten Kompression des Rückenmarks bzw. abgehender Nerven gekennzeichnet (BAILEY und MORGAN, 1983; SLOCUM und DEVINE, 1986; JAGGY et al., 1987; LANG und JAGGY, 1989; MORGAN und BAILEY, 1990; KÖPPEL und REIN, 1992; MORGAN et al., 1993; TACKE et al., 1997).

Es werden in der Literatur auch Synonyme wie Spondylolisthese, Kauda equina Kompression, Kauda equina Syndrom, Malartikulation und Malformation des Lumbosakralgelenks und Spondylosis deformans des Lumbosakralgelenks verwendet (JAGGY et al., 1987; TACKE et al., 1997).

Die Einengung des Wirbelkanals kann auf unterschiedliche Weise zustande kommen. Die am häufigsten beobachtete Ursache ist eine Degeneration der Zwischenwirbelscheibe zwischen L7 und S1. Dies kann unmittelbar in Form einer Extrusion zur Kompression führen oder mittelbar als Folge einer Protrusion mit Hypertrophie des Lig. longitudinale dorsale. Auch Veränderungen am Lig. longitudinale dorsale, Lig. flavum oder der Gelenkkapsel der kleinen Wirbelgelenke können den Wirbelkanal verengen. Tumore, sowohl knöchernen als auch bindegewebigen Ursprungs, sind als Ursache beschrieben. Knöcherne Umformungen, Frakturen oder Luxationen am Wirbelkörper, -bogen oder -gelenk führen zu einer Beeinträchtigung des Bewegungsablaufs an der Wirbelsäule und sekundären bindegewebigen Reaktionen. Bei starkem Ausmaß ist auch eine direkte Einengung des Wirbelkanals möglich. Hunde mit einem CES können je nach Lokalisation motorische, sensorische und vegetative Symptome einzeln oder häufiger in Kombination zeigen.

Auch Entzündungen des Rückenmarks und fibroartilaginäre Embolien können zu Symptomen wie bei einem CES führen.

Die Nerven der Kauda equina haben ihren Ursprung in den Lenden-, Kreuzbein- und Schwanzsegmenten des Rückenmarks. Es sind vor allem Veränderungen des Nervus ischiadicus, des Nervus pudendus, der Nervi pelvini und der Nervi caudales, die für die unterschiedlichen klinischen Symptome beim CES verantwortlich sind.

CES tritt gehäuft beim DSH auf und wird bei Hunden mittleren Alters diagnostiziert. Männliche Tiere sind häufiger vertreten. Hunde mit einer intensiven Belastung im Hundesport erkranken öfter und früher (SLOCUM und DEVINE, 1986; JAGGY et al., 1987; LANG und JAGGY, 1989; BARTHEZ et al., 1993; MORGAN et al., 1993; TACKE et al., 1997).

OLIVER et al. (1978) berichten über lumbosakrale Malartikulation und Malformation der kleinen Wirbelgelenke als Ursache des CES. 13 der untersuchten 20 Hunde sind DSH. Röntgenologisch sind Spondylosen, Stenosen des Wirbelkanals und/oder Subluxationen von S1 nach ventral zu erkennen. LÜW werden vom Autor nicht direkt als Ursache für eine Malartikulation oder Malformation angesprochen.

WRIGHT (1980) untersucht 52 Hunde ohne und 24 Hunde mit Spondylosen am Übergang L7/S1. Die Hunde unterscheiden sich hinsichtlich Rasse, Alter und Geschlecht. Acht Hunde mit Spondylosen zeigen neurologische Ausfälle. Es wird der lumbosakrale Winkel mit Hilfsgeraden an den Wirbelkörperböden von L7 und S1 bestimmt, so wie die Höhe der kaudalen Endplatte von L7 bzw. der kranialen Endplatte von S1. Zeigt sich eine Stufe im Wirbelkanalboden am Übergang zwischen L7 und S1 wird diese relativ zur Höhe der kaudalen Endplatte von L7 angegeben. Ein Mischlingshund mit Spondylosen zeigt einen lumbosakralen Übergangswirbel, der als Sakralisation von L7 eingestuft wird. Dieser Hund zeigt keine neurologischen Ausfälle. In der Studie kann kein Zusammenhang zwischen Spondylosen und lumbosakraler Instabilität hergestellt werden. Auch die lumbosakralen Winkel unterscheiden sich nicht deutlich in den einzelnen Gruppen.

Aus 28 Hunden, die ein CES haben, wählt WATT (1991) 16 Hunde mit einer DLSS als Ursache für ein CES aus. Es liegen Röntgen- und Operationsbefunde vor. Nur zwei (7%) der 28 Hunde mit CES haben einen LÜW, jedoch keine DLSS und werden nicht weiter einbezogen.

Zur Erstellung eines Röntgenprotokolls bei CES-erkrankten Hunden erläutern MORGAN und BAILEY (1990) die möglichen Ursachen von CES und ihre Darstellbarkeit mit konventioneller Röntgentechnik und mit speziellen Röntgenuntersuchungen. Der LÜW kann schon in der Leeraufnahme erkannt werden. LÜW kommen in einigen Hunderassen gehäuft vor, die wiederum häufiger an CES erkranken. Dieser Umstand lässt die Autoren vermuten, dass Hunde mit LÜW eine Prädisposition für CES haben.

MORGAN et al. (1993) untersuchen die Röntgenaufnahmen von 161 DSH in zwei Gruppen. Gruppe 1 enthält Hunde, die an einem CES erkrankt sind, Gruppe 2 solche, die aufgrund anderer Erkrankungen im lumbosakralen Bereich geröntgt werden.

In den beiden Gruppen wird die Häufigkeit für LÜW und degenerative Diskopathie (DD) bestimmt.

Die Beschaffenheit des präsakralen Gelenkspalts wird teilweise durch die Form und Größe des letzten Lendenwirbels und im Falle eines LÜW auch durch eventuelle Kontaktaufnahme zwischen den Querfortsätzen und dem Kreuzbein und/oder Darmbein bestimmt. So können LÜW eine Prädisposition für DD sein.

Die Anzahl der Wirbel, die das Kreuzbein bilden, und ihre teilweise oder vollständige Verwachsung werden als Einteilungskriterien für LÜW verwendet. Hunde mit einem isolierten ersten Kreuzbeinsegment werden als LÜW-positiv eingestuft, solche, bei denen der erste Kreuzbeinwirbel vollständig mit dem zweiten fusioniert ist und das Kreuzbein aus vier Wirbeln besteht, werden als LÜW-frei beurteilt.

Hunde mit Endplattensklerose an L7 oder S1 und/oder mit einem verengten Zwischenwirbelspalt zwischen L7 und S1 mit ausgeprägten Spondylosen werden zur Gruppe der Tiere mit DD zusammengefasst. Tiere ohne solche röntgenologischen Anzeichen werden als DD-frei bezeichnet.

Etwa 38% der Tiere mit CES zeigen einen LÜW, wohingegen in der Gruppe der nicht erkrankten Tiere nur 11% einen LÜW aufweisen. 28% der Hunde aus Gruppe 1 und 44% aus Gruppe 2 haben ein Kreuzbein, das aus vier Wirbeln besteht, ohne dass der erste Kreuzbeinwirbel isoliert vorliegt. Nur insgesamt 42% der untersuchten Röntgenaufnahmen zeigen ein aus drei Wirbeln bestehendes Kreuzbein.

Die Autoren vergleichen das Auftreten von LÜW und/oder DD bei CES-erkrankten und CES-freien Hunden und errechnen daraus die Koinfidenzintervalle. Im Einzelnen zeigen 77,8% +/- 16,1% der Hunde mit LÜW und DD, 57,5% +/- 12,9% der Hunde mit DD aber ohne LÜW, 55,3% +/- 21,2% der Hunde mit LÜW aber ohne DD und 14,8% +/- 6,2% der Hund ohne LÜW und ohne DD ein CES.

Das Vorliegen eines LÜW und/oder DD begünstigt danach das Auftreten eines CES.

MATTOON und KOBLIK (1993) finden in einer Röntgenstudie fünf LÜW bei 26 CES-erkrankten und sechs LÜW bei 93 CES-unauffälligen Hunden. In der Gruppe der CES-positiven Hunde ist der DSH überproportional häufig vertreten. LÜW als Röntgenbefund sind signifikant häufiger bei CES-erkrankten Hunden aufgetreten.

LANG (1989) sieht bei Hunden mit LÜW eine Prädisposition für Bandscheibenerkrankungen und CES. Durch die häufig beim LÜW veränderten kleinen Wirbelgelenke kommt es zu einer Verlagerung des Drehzentrums in der Bandscheibe. Dies kann, muß aber nicht, zu einer übermäßigen mechanischen Belastung der Bandscheibe durch abnorme Scherkräfte und folgender lumbosakraler Instabilität führen. Verformungen der kleinen Wirbelgelenke sind besonders häufig beim DSH zu sehen.

BARTHEZ et al. (1993) untersuchen 21 Hunde mit CES. Von jedem Tier werden Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule, eine Diskographie und wenn möglich eine Epidurographie angefertigt. Die radiologischen Befunde werden in der anschließenden Operation oder Sektion kontrolliert. Auch in dieser Studie ist der Deutsche Schäferhund überproportional häufig vertreten (11/21 Tieren, 52%).

81% der Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule zeigen Spondylosen unterschiedlichen Grades am Übergang L7/S1. In 38 % der Fälle liegt eine Stufe zwischen L7 und S1 vor und 33% der Hunde haben einen LÜW. Sowohl Diskographie (19/21) als auch Epidurographie (18/18) erweisen sich als diagnostisch hilfreich.

Die häufigste Ursache für CES in dieser Studie sind Bandscheibenvorfälle vom Typ Hansen II. Knöcherner Veränderungen wie Spondylosen, Stufenbildung L7/S1 und Übergangswirbel können nach Meinung der Autoren eine Prädisposition für Bandscheibenvorfälle vom Typ Hansen II sein. Diese Vermutung muß jedoch in einer Untersuchung an Tieren ohne Hinweise auf CES überprüft werden.

DANIELSSON und SJÖSTRÖM (1999) finden in ihrer retrospektiven Studie an 131 Hunden mit DLSS einen überproportional hohen Anteil an DSH (57%). 12 (9%) Hunde weisen einen LÜW auf. Es wird aber nicht weiter aufgeschlüsselt, ob es sich um DSH oder Hunde anderer Rassen handelt.

JANSSENS et al. (2000) werten in einer retrospektiven Studie an 35 Hunden mit DLSS Fragebögen aus, die den Hundebesitzern durchschnittlich 30 Monate post Operationem zugesandt werden. Acht der 35 Hunde sind DSH und LÜW treten relativ häufig auf. Genauere Zahlen zur Häufigkeit der LÜW fehlen.

BREIT und KÜNZEL (2002) bestimmen die maximale Wirbelkanalhöhe im Bereich der Lendenwirbelsäule beim Hund. Zur Untersuchung liegen 162 Wirbelsäulenpräparate vor. 122 (75,32%) haben 27 präsakrale Wirbel mit der Wirbelsäulenformel C7/Th13/L7, 20 (12,34%) Präparate haben nur 26 präsakrale Wirbel bzw. der 27. Wirbel ist ein Übergangswirbel und 20 (12,34%) Wirbelsäulen zeigen 28 präsakrale Wirbel bzw. der 28. Wirbel ist ein Übergangswirbel. Die Messungen zeigen, dass die maximale Wirbelkanalhöhe bei Hunden mit 27 präsakralen Wirbeln zu 50% im Bereich von L3/4 und zu 50% im Bereich L4/5 liegt. Bei Tieren mit nur 26 präsakralen Wirbeln liegt das Maximum zu 75% bei L3/4, bei Tieren mit 28 präsakralen Wirbeln zu 95% bei L4/5.

MAYHEW et al. (2002) können in einer MRT-Studie bei 27 an DLSS erkrankten Hunden in einem Fall (3,7%) einen LÜW nachweisen.

Auch in der Humanmedizin wird versucht eine mögliche Verbindung zwischen LÜW und Instabilitäten der Lendenwirbelsäule darzustellen. KIM und SUK (1997) untersuchen 33 Menschen mit einem LÜW und Spondylolisthese im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne LÜW und mit Spondylolisthese. Menschen mit einem LÜW und einer Kompression des Rückenmarks auf Höhe des vierten Lendenwirbels zeigen eine stärkere Verschiebung nach kranial als die Kontrollgruppe. Patienten mit LÜW und einer Einengung auf Höhe des letzten Lendenwirbels weisen ein geringeres Wirbelgleiten auf. Eine chirurgische Versorgung zur Vermeidung weiterer Verschiebungen ist bei Patienten mit LÜW und Einengung in Höhe L4 eher in Betracht zu ziehen als bei Menschen ohne LÜW und der gleichen Einengung. Ist die betroffene Stelle in Höhe L5 sind eher konservative Methoden zu bevorzugen.

2.4.11. Heritabilität von lumbosakralen Übergangswirbeln

JUNGHANNS (1939) spricht von einer Heritabilität der LÜW beim Menschen.

Es vererbt sich nicht der einzelne Übergangswirbel, sondern die Variationsrichtung, also kopf- oder steißwärts. Kopfwärts gerichtete Variationen sind gegenüber den steißwärts gerichteten dominant.

Die hohe Inzidenz von LÜW beim DSH im Vergleich zu anderen Rassen lässt einen genetischen Einfluß vermuten (MORGAN, 1999 b).

In einer Studie an Labrador Retrievern kann das Auftreten von LÜW in vier Würfen eines Rüden mit unterschiedlichen Hündinnen, in den Würfen zweier Rüden mit je zwei unterschiedlichen Hündinnen und bei zwei Vollgeschwistern eines anderen Rüden nachgewiesen werden, was auf eine familiäre Häufung hinweist (MORGAN et al., 1999).

2.4.12. Sakrokokzygealer Übergangswirbel (SÜW)

BREIT und KÜNZEL (1998) finden bei 19 von 228 Wirbelsäulenpräparaten von Hunden unterschiedlicher Rassen vier Kreuzbeinwirbel und eine erhöhte Gesamtwirbelzahl (Halswirbel bis einschließlich Kreuzbein) von 31, ohne dass ein LÜW vorliegt. Dieser Befund entspricht einem SÜW.

ZIEGLER (1989) erklärt das häufige Vorkommen von SÜW durch das Bestreben des Kreuzbeins sich „dreiteilig“ darzustellen. Im Falle einer Lumbalisation des ersten Kreuzbeinwirbels verschmilzt oft der letzte Schwanzwirbel teilweise oder vollständig mit dem Kreuzbein und bei einer Sakralisation des letzten Lendenwirbels löst sich häufig der letzte Kreuzbeinwirbel teilweise oder vollständig aus dem Kreuzbein.

60,8% der Hunde mit einem LÜW zeigen in einer Arbeit von MORGAN (1999 b) auch einen SÜW.

2.5. Röntgenuntersuchung des lumbosakralen Bereichs

2.5.1. Konventionelles Röntgen

Röntgenuntersuchungen sind ein wichtiges Diagnostikum bei Erkrankungen des lumbosakralen Übergangs. Die genaue Beurteilung des Wirbelkanalverlaufs, der kleinen Wirbelgelenke und des Zwischenwirbelspaltes mit seiner Bandscheibe sind häufig schwierig, da es zu Überlagerungen mit dem Kreuzdarmbeingelenk und den Darmbeinschaukeln kommt (LANG, 1989; LANG und JAGGY, 1989; RAMIREZ und THRALL, 1998). Um eine Schrägprojektion der Wirbel durch Fehllagerung zu vermeiden, empfiehlt es sich die Aufnahmen am sedierten Tier durchzuführen (TARVIN und PRATA 1980; LANG und JAGGY, 1989; SCHMID und LANG, 1993; TACKE et al., 1997; RAMIREZ und THRALL, 1998).

Die Röntgenleeraufnahme ist ausreichend zur Darstellung von Wirbelmalformationen wie Block-, Keil- oder Übergangswirbel (MORGAN und BAILEY, 1990).

LANG und JAGGY (1989) fertigen laterolaterale und ventrodorsale Aufnahmen des lumbosakralen Übergangs mit den Hintergliedmaßen in Extension und Flexion zusätzlich zu den Standardaufnahmen in zwei Ebenen an, falls das Ergebnis dieser beiden Aufnahmen nicht aussagekräftig ist. Die laterolateralen Aufnahmen in Flexion und Extension erlauben die Beurteilung der Stabilität des Lumbosakralgelenks. Instabile Gelenke zeigen eine Stufenbildung zwischen L7 und S1 durch Absinken des Kreuzbeins nach ventral. Diese Befunde verdeutlichen sich bei Extension der Hintergliedmaßen.

Zur Lagerung der laterolateralen Aufnahme der Lendenwirbelsäule und des Kreuzbeins legt man ein Schaumstoffkissen unter die Lendenwirbel, um sie in eine Ebene mit den Brustwirbeln zu bekommen. Überlagern sich die Querfortsätze eines Wirbels, hat man ein Zeichen dafür, dass keine Rotation des Tieres um die Wirbelsäulenlängsachse vorliegt. Häufig muß das obenliegende Hinterbein etwas angehoben werden, um eine symmetrische Lagerung zu erreichen. Für die Aufnahme im ventrodorsalen Strahlengang wird der Hund ohne Rotation in Rückenlage verbracht (KEALY, 1991).

Um eine gute Interpretation der Röntgenaufnahmen von Lendenwirbelsäule und Kreuzbein zu ermöglichen, werden die Bilder möglichst nach einem festgelegten Standard angefertigt. KÖPPEL und REIN (1992) bestimmen für die laterolaterale Projektion folgende vier Kriterien: L7/S1 im Zentralstrahl, „deckende Projektion“ der Darmbeinschaufeln und –säulen, senkrechte Projektion der Wirbelkörper und –bögen und orthograde Projektion der Forr. intervertebralia.

Bei Patienten mit einseitigen LÜW erweist sich die orthograde Lagerung des Beckens, wie zum Beispiel für eine HD-Aufnahme, oft als schwierig bis unmöglich (LARSEN, 1977).

Durch absichtliche Schräglage des Patienten beim Röntgen kann diese Asymmetrie ausgeglichen werden (TELLHELM und BRASS, 1994).

MORGAN (1999 b) untersucht den Einfluß von LÜW auf die korrekte Lagerung von Röntgenaufnahmen. In 49,7% der Fälle liegt ein symmetrischer LÜW ohne Verkipfung des Beckens vor. 69 Hunde haben symmetrische Kreuzbeinflügel mit beiderseits stark ausgeprägten Kontaktflächen zum Kreuzbein, zwei zeigen Querfortsätze wie an einem Lendenwirbel.

Bei acht Aufnahmen (5,5%) sind die Kreuzbeinflügel beiderseits angebildet, aber asymmetrisch in ihrer Form und ohne Kontakt zum Darmbein.

Asymmetrische LÜW (44,8%) zeigen sich in der ventrodorsalen Aufnahme durch einen Kreuzbeinflügel einerseits und einem Querfortsatz, ähnlich dem eines Lendenwirbels, auf der anderen Seite. 26 Hunde mit asymmetrischem LÜW zeigen eine Winkelung und Rotation im Becken, zwei nur eine Rotation und 19 nur eine Winkelung. Bei 17 Hunden ist das Becken ohne Schräglage abgebildet.

Zwischen zwei Geraden, die man an den Wirbelkanalböden von L7 und S1 anlegt, ist ein Winkel von etwa 20° in entspannter Seitenlage im Röntgenbild zu erkennen. Bei gebeugten Hintergliedmaßen gehen die Geraden ohne Winkelung ineinander über und bei maximaler Streckung der Hintergliedmaßen erhöht sich der Winkel auf 30°-45°. So umspannt die normale Beweglichkeit im Lumbosakralgelenk einen Winkel von 30°-45°, abhängig von Rasse, Alter und physischer Kondition des Hundes. In neutraler Position erscheint der ZWS leicht keilförmig mit der Spitze nach dorsal, bei gebeugten Hintergliedmaßen leicht keilförmig nach ventral und bei gestreckten Hintergliedmaßen keilförmig mit der Spitze nach dorsal mit einem weiteren Gelenkspalt als bei der neutralen Position. Anhand der laterolateralen Röntgenbilder lassen sich die Zwischenwirbelspalten, die Endplatten von L7 und S1, die Höhe des

Wirbelkanals und die lumbosakrale Verbindung beurteilen. Auf einer ventrodorsalen Aufnahme kann man neben dem LÜW auch lateral am Wirbelkörper gelegene Osteophyten erkennen, die bei starker Ausbildung dorsal die Forr. intervertebralia einengen können (MORGAN et al., 1999).

Je nach Projektionsebene können unterschiedliche röntgenologische Befunde das Vorliegen eines LÜW bestätigen (MORGAN, 1999 b). LÜW sind im Röntgenbild durch ihre Form, ihre Verbindung zum Kreuzbein und/oder Darmbein und durch ihre segmentale Zuordnung in beiden Röntgenebenen zu erkennen. In der ventrodorsalen Aufnahme lassen sich die Symmetrie der Ileosakralgelenke und die Crista dorsalis beurteilen. Eine asymmetrische Verbindung des LÜW zum Darmbein lässt sich meist einfach erkennen, schwieriger ist es einen isolierten PS S1 zu diagnostizieren. Steht dieser isoliert und zeigt einen größeren Abstand zum Dornfortsatz des zweiten Kreuzbeinwirbels als dieser zum Dornfortsatz des dritten Kreuzbeinwirbels, ist dies ein Hinweis auf einen LÜW.

In der laterolateralen Aufnahme gibt die Winkelung des Wirbelkanalbodens einen Hinweis auf das Vorliegen eines LÜW. Die dorsale Winkelung in neutraler Position von etwa 20° zeigt sich im Falle einer Sakralisation zwischen dem ersten und zweiten Kreuzbeinsegment. Auch zeigt sich häufig bei einem LÜW eine Trennung des ersten und zweiten Kreuzbeinsegments. Bei 13,3% der Röntgenbilder ist eine abrupte Verringerung des Wirbelkanaldurchmessers im neuen ersten Kreuzbeinsegment festzustellen.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist die Kontaktaufnahme des LÜW zum Darmbein. Der atypische Gelenkspalt zwischen dem LÜW und dem nächsten Kreuzbeinsegment kann nicht beurteilt werden, da er schräg zur Einfallrichtung der Röntgenstrahlen liegt. Die genaue Abgrenzung des ZWS zwischen dem letzten Kreuzbeinsegment und dem ersten Schwanzwirbel ist oft durch überlagernde Ingesta im Rektum erschwert.

60,8 % der Hunde mit LÜW haben auch einen SÜW. Der ZWS zwischen dem letzten Lendenwirbel und dem LÜW ist in 5 Fällen (3,5%) verengt.

16 Hunde (11,2%) lassen Anzeichen einer Sklerose der Endplatten, 26 (18,2%) Anzeichen einer Spondylose an diesem ZWS erkennen (MORGAN, 1999 b).

2.5.2. Computertomographische Untersuchung (CT)

In der Humanmedizin wird die CT-Untersuchung routinemäßig zur Diagnostik bei lumbosakralen Schmerzen eingesetzt. FEENEY et al. (1996) untersuchen sechs klinisch unauffällige Hunde von 4,5 kg bis 24,5 kg im CT, die vorher eingehend klinisch und labortechnisch untersucht und als gesund eingestuft werden. In Narkose fertigen sie CT-Aufnahmen der LWS und der Lumbosakralregion an. Es werden Transversalschnitte mit einer Schichtdicke von 5,0 mm gefahren. Die Hunde befinden sich in Brust-Bauchlage, die Wirbelsäule ist nicht parallel zum Tisch gelagert. Die Höhe und Breite des Wirbelkanals werden jeweils auf Höhe der Wirbelkörpermitte, der kranialen und der kaudalen Endplatten gemessen.

Um die Größe der Tiere zu berücksichtigen, werden diese Strecken zur mittleren Höhe des sechsten Lendenwirbelkörpers ins Verhältnis gesetzt. Der Wirbelkanal ist im kranialen und mittleren Drittel eines Wirbelkörpers enger als im kaudalen Drittel.

Die Weite des Wirbelkanals nimmt hier deutlicher zu als die Höhe. Der Dura-Endsack wird vermessen und mit den Ausmaßen des Wirbelkanals verglichen. Im querovalen Wirbelkanal befindet sich der fast runde Dura-Endsack. Das peridurale Fettgewebe kann an manchen Stellen, vor allem im Bereich der vorderen zwei Drittel des Wirbelkörpers dorsal und ventral verschwunden sein, so dass der Dura-Endsack in der Höhe den gesamten Wirbelkanal ausfüllt. Dies muß nicht pathologisch sein und wird auch in der Humanmedizin beschrieben. Die zunehmende Dicke des Dura-Endsacks im hinteren Bereich des Wirbelkörpers kann durch enganliegende Nervenwurzeln entstehen, die nicht getrennt von diesem gemessen werden. Feinere Schnitte lösen dieses Problem. Der Dura-Endsack füllt den Wirbelkanal bis auf Höhe des fünften Lendenwirbels etwa zu 90% der Höhe und 80 % der Weite aus. Dieser Wert nimmt dann nach kaudal rapide ab bis dieser im Kreuzbein nur etwa 50% der Höhe und 40% der Weite des Wirbelkanals einnimmt. Der dorsale Rand der Zwischenwirbelscheiben stellt sich zwischen den einzelnen Lendenwirbeln konkav dar, nur zwischen dem siebten Lendenwirbel und dem Kreuzbein zeigen sich bei vier Hunden die dorsalen Bandscheibenkonturen flach bzw. leicht konvex.

RAMIREZ und THRALL (1998) sehen in der CT-Untersuchung ein gutes diagnostisches Verfahren für den Bereich des lumbosakralen Übergangs. Folgende Veränderungen können im CT gesehen und beurteilt werden: LÜW, Verlust von epiduralem Fett, vermehrte Weichteilzeichnung im For. intervertebrale, Verformung

der Bandscheibe, Spondylosen, Einengungen des Wirbelkanals und die veränderten kleinen Wirbelgelenke.

JONES und INZANA (2000) untersuchen den lumbosakralen Übergang von sechs älteren (5-12 Jahre) großwüchsigen Hunden (>20 kg), die klinisch keinen Hinweis auf eine lumbosakrale Stenose haben. In der Gruppe befinden sich drei DSH. Die Tiere befinden sich in Brust-Bauchlage mit gebeugten Hintergliedmaßen. Das Untersuchungsfenster erfasst die Region von L5-S3. Die Schnittebene wird transversal, die Schnittdicke 5,0 mm, im Einzelfall auch 2,0 mm, gewählt. Die Autoren fertigen Aufnahmen im Knochen- und Weichteilfenster an sowie eine dreidimensionale Rekonstruktion. Der Untersuchungsschwerpunkt liegt auf Veränderungen, die typisch für das Vorliegen einer DLSS sind. Es werden der Verlust von periduralem Fett, das Vorwölben der Bandscheibe ins For. intervertebrale oder den Wirbelkanal, knöcherne Zubildungen an den Forr. intervertebralia oder dem Wirbelkanal, Spondylarthrosen, Subluxationen der Wirbel und idiopathische Stenosen an den einzelnen Zwischenwirbelspalten festgehalten.

Andere Veränderungen wie Übergangswirbel, Dura-Ossifikationen und verkalkte Fragmente werden als Nebenbefunde registriert. Das peridurale Fett ist in fünf von sechs Fällen im Bereich eines oder mehrerer Wirbelbereiche verdrängt, häufig finden sich osteophytäre Zubildungen an den Forr. intervertebralia. Bei allen DSH und bei zwei der anderen drei Hunde tritt eine idiopathische Stenose des Wirbelkanals im Bereich der drei ausgewerteten Zwischenwirbelspalten von L5-S1 auf. Alle Hunde zeigen klinisch keinen Hinweis auf eine DLSS. CT-Befunde dürfen immer nur im Zusammenhang mit der klinischen Untersuchung und nicht isoliert betrachtet werden.

Zwölf Arbeitshunde (darunter drei DSH) werden von JONES et al. (2000) aufgrund einer DLSS sowohl eine CT als auch einer Magnetresonanztomographie (MRT)-Untersuchung unterzogen. Nach erfolgtem chirurgischen Eingriff wird erneut eine CT angefertigt. Sechs Monate nach der Operation wird der Erfolg der Operation überprüft. Zweck der Untersuchung ist es festzustellen, ob eine CT oder eine MRT zur Darstellung der DLSS und Planung des chirurgischen Vorgehens zu bevorzugen ist. Beide Verfahren erweisen sich als hilfreich, beeinflussen aber den zu erwartenden Heilungsverlauf nur unwesentlich im Vergleich zur Bedeutung, die die Operationsmethode hat.

HENNINGER und WERNER (2002 a und b) untersuchen in einer röntgenanatomischen Grundlagenstudie den lumbosakralen Übergang von 12 Hunden (darunter sieben DSH) mit CT. Alle 12 zeigen röntgenologisch keine Auffälligkeiten. Die narkotisierten Patienten werden in Rückenlage je einmal mit gebeugten und mit gestreckten Hintergliedmaßen untersucht. Es wird eine sagittale Schnittebene und eine Schichtdicke von 2,0 mm gewählt.

Im Vergleich zur Röntgenaufnahme kann man im Knochenfenster sehr gut die einzelnen Strukturen des lumbosakralen Übergangs identifizieren. Wirbelkörper, -bogen und -fortsätze, der Wirbelkanal, das Spatium lumbosakrale sowie die Form und Größe der Forr. intervertebralia lassen sich beurteilen. Vor allem die kraniale Begrenzung des Wirbeldaches vom ersten Kreuzbeinwirbel ist gut abgrenzbar von den kranialen Gelenkfortsätzen und stellt sich ohne Überlagerung durch die Darmbeinschaukeln dar. Die Gelenkflächen der kleinen Wirbelgelenke sind bei vier Hunden flach und kongruent und bei allen anderen leicht gekrümmt, bogenförmig oder geknickt (Abb. 9). Die mittlere Winkelung beträgt etwa 45°, aber auch Winkel von 35° oder 60° treten auf.

Im Weichteilfenster lassen sich die Bandscheibe, der Verlauf der Cauda equina, einzelne Bandstrukturen (Ligg. longitudinalia dorsalia et ventralia, Ligg. flava) und nach Kontrastmittelapplikation Anteile des Plexus vertebralis internus und der V. intervertebralis und V. iliaca communis darstellen.

Zusammengefasst ist eine CT-Untersuchung ein hilfreiches Diagnostikum bei Erkrankungen im lumbosakralen Bereich, da alle wichtige Strukturen isoliert und Anzeichen einer Instabilität oder morphologische Veränderungen wie ein LÜW festgestellt werden können.

LANG und JAGGY (1989) sehen die CT-Untersuchung als gutes Verfahren zur Abklärung der Platzverhältnisse im Wirbelkanal an. Mit Hilfe der dreidimensionalen Rekonstruktion können Aussagen über alle Strukturen des lumbosakralen Übergangs gemacht werden.

2.6. Magnetresonanztomographische Untersuchung (MRT)

Die MRT-Untersuchung des lumbosakralen Übergangs ist im Vergleich zur CT-Untersuchung durch einen besseren Weichteilkontrast gekennzeichnet. Besonders die Bandscheiben lassen sich im MRT besser beurteilen (RAMIREZ und THRALL, 1998).

MRT-Untersuchungen werden in der Tiermedizin nicht sehr häufig angewendet, da nur in wenigen Einrichtungen Geräte zur Verfügung stehen und diese mit hohen Betriebskosten verbunden sind (MAYHEW et al., 2002; LANG, 2003).

MAYHEW et al. (2002) untersucht 27 an DLSS erkrankte Hunde im MRT. Die Hunde sind nach Schweregrad ihrer Erkrankung in drei Gruppen eingeteilt. Es wird versucht einen Zusammenhang zwischen der Stärke der Symptome und dem Grad der Kompression der Kauda equina zu finden. Ein direkter Zusammenhang scheint nicht zu bestehen, da teilweise Hunde mit schwersten Symptomen nur eine geringe Verdrängung der Kauda equina aufweisen und im Gegensatz dazu Hunde mit milden Symptomen hochgradige Einengungen aufweisen können. Eine Erklärung dafür kann das epidurale Fett und die großen räumlichen Reserven des Wirbelkanals sein. Auch die unterschiedliche Erkrankungsdauer der einzelnen Patienten beeinflusst die Ausprägung der Symptome.

Auch im MRT lassen sich LÜW eindeutig nachweisen.

3. Eigene Untersuchungen

3.1. Material

Aus dem Röntgenarchiv des Vereins für Deutsche Schäferhunde (SV) wurden 5000 Röntgenbilder des Röntgenjahrgangs 1991 zufällig ausgewählt.

Die Aufnahmen wurden alle von verschiedenen Tierärzten im ventrodorsalen Strahlengang mit gestreckten Hintergliedmaßen zur HD-Diagnostik angefertigt.

3.2. Methoden

Die Beurteilung der Röntgenbilder fand an einem Röntgenbildbetrachter mit variabler Lichtstärke und verschiebbaren Jalousien statt.

3.2.1. Identität

Aus dem HD-Befundbogen wurden Tiername, Zwingername, Geschlecht, Geburtsdatum, Datum der Röntgenaufnahme und Zuchtbuchnummer entnommen. Das Alter des Tieres in Monaten zum Zeitpunkt der Aufnahme errechnete sich aus Röntgendatum und Geburtsdatum.

3.2.2. Identitätskontrolle

Geburtsdatum und Hundename wurden dann mit der SV-Datenbank verglichen, um etwaige Schreibfehler und somit fehlerhafte Datensätze auszusortieren. Fehlerhafte und somit für eine genetische Auswertung unbrauchbare Datensätze wurden durch neue, wiederum zufällig aus dem Röntgenjahrgang 1991 ausgewählte, ersetzt.

3.2.3. Auswertbarkeit

Der lumbosakrale Übergang war nicht bei allen Röntgenaufnahmen zu beurteilen. Sowohl stark unter- oder überbelichtete Aufnahmen, ohne klare Darstellbarkeit des Übergangs, als auch schlecht ausfixierte, vergilbte Bilder konnten nicht ausgewertet werden und bildeten die Gruppe mit technischen Mängeln.

Eine Voraussetzung für die Bewertung des lumbosakralen Übergangs ist die vollständige Abbildung des letzten Lendenwirbels und eine symmetrische Lagerung im Bereich des lumbosakralen Übergangs. Aufnahmen, die diesen Kriterien nicht entsprachen, wurden in der Gruppe Lagerungsmängel zusammengefasst.

Röntgenbildern mit Überlagerung der lumbosakralen Region durch Kotmassen im Rektum oder beim Rücken durch dichtere Kortikalisstrukturen des Beckenknochens bildeten die Gruppe der Aufnahmen mit Überlagerungsmängeln.

Die Gewichtung der Ausschlusskriterien folgte wie oben beschrieben: Technik, Lagerung, Überlagerung. Zeigte ein Röntgenbild mehrere Mängel, so wurde der wichtigere erfasst.

3.2.4. Beurteilungskriterien

Die Auswertbarkeit der Röntgenbilder, im Bezug auf den lumbosakralen Übergang vorausgesetzt, konnten nun Veränderungen im Sinne von Übergangswirbeln festgestellt und anhand ihrer Morphologie unterteilt werden. Von besonderem Interesse war hier die Form und Größe der einzelnen Wirbelfortsätze, der Wirbelkörperabstand und die Anzahl der fusionierten Kreuzbeinwirbel.

3.2.4.1. Querfortsätze

Die Querfortsätze, Procc. costales, des letzten Lendenwirbels zeigen nach kranioventral und sind kräftig ausgebildet. Die des Kreuzbeins verschmelzen beiderseits zur Pars lateralis, die im Bereich des ersten und zweiten Kreuzbeinwirbels den Kreuzbeinflügel, Ala sacralis, bilden.

Zeigte ein Wirbelkörper Querfortsätze, die dieser Norm nicht entsprachen, wurden ihre Ausprägungen beschrieben.

Als erstes Kriterium wurde die Symmetrie der beiden Querfortsätze des Wirbels erfasst (Tab. 2). Bilateral symmetrische Wirbel zeigten Querfortsätze von gleicher Morphologie. Bei Asymmetrien wurde die Seite mit den stärker ausgeprägten Veränderungen vermerkt und die Morphologie beider Querfortsätze beschrieben. Die letzte Gruppe bildeten Aufnahmen mit asymmetrischen Querfortsätzen ohne erkennbares Seitenzeichen.

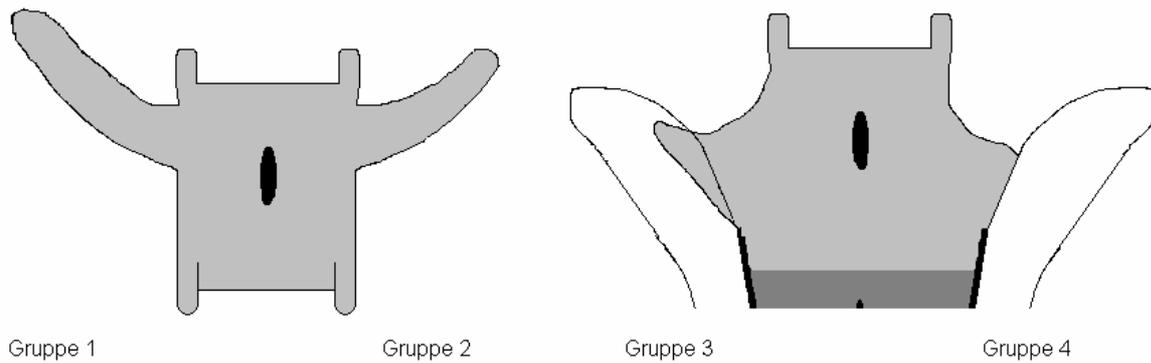
Symmetrie der Querfortsätze	
Gruppe 1	Bilateral symmetrisch
Gruppe 2	Rechter Querfortsatz stärker verändert
Gruppe 3	Linker Querfortsatz stärker verändert
Gruppe 4	Kein Seitenzeichen vorhanden

Tab. 2: Symmetrie der Querfortsätze

Die Einteilung der Länge der Querfortsätze (Tab. 3, Skizze 1) erfolgte in vier Gruppen. In der ersten Gruppe entsprach die Länge der eines normalen Lendenwirbels. In Gruppe zwei wurden jene eingeteilt, die deutlich kürzer, aber noch klar als Querfortsatz zu identifizieren waren. Gruppe drei zeigte nur rudimentär zu erkennende Querfortsätze. Die vierte Gruppe bildeten die Querfortsätze, die mit der Pars lateralis des Kreuzbeins verschmolzen waren.

Länge der Querfortsätze	
Gruppe 1	Normaler Lendenwirbelquerfortsatz
Gruppe 2	Kürzer, aber klar als Querfortsatz zu erkennen
Gruppe 3	Rudimentär angelegt
Gruppe 4	Vollständige Fusion

Tab. 3: Länge der Querfortsätze



Skizze 1: Länge der Querfortsätze

Die Unterteilung der Ausrichtung der Querfortsätze (Tab. 4) wurde mit kranio-lateral, lateral oder nicht zu beurteilen beschrieben. In die letzte Gruppe fallen die rudimentären und verschmolzenen Querfortsätze.

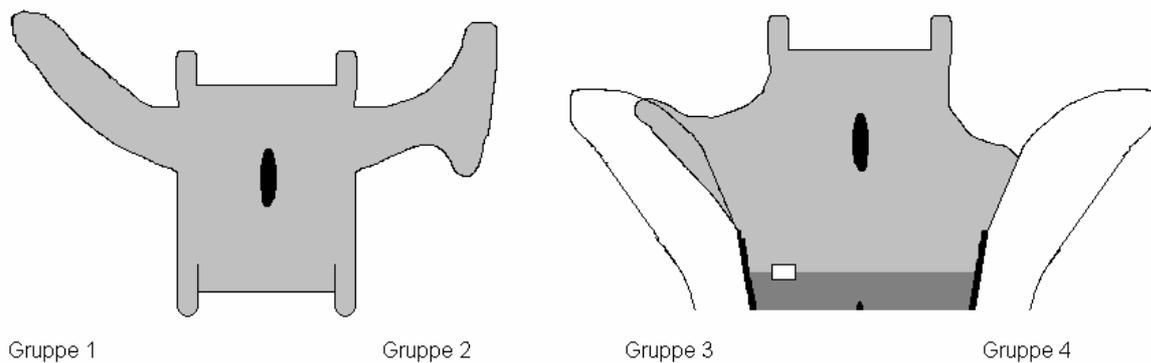
Ausrichtung der Querfortsätze	
Gruppe 1	Nach kranio-lateral
Gruppe 2	Nach lateral
Gruppe 3	Keine Ausrichtung erkennbar

Tab. 4: Ausrichtung der Querfortsätze

Bei manchen Wirbeln kam es zu einer Kontaktaufnahme der Querfortsätze des Lendenwirbels mit der Pars lateralis des Kreuzbeins (Tab. 4, Skizze 2). Es wurden vier Gruppen gebildet. In die erste kamen die Querfortsätze ohne Tendenz zur Kontaktaufnahme. Die zweite Gruppe bildeten jene, die eine Ausziehung nach kaudal zeigten, aber keinen Kontakt zum Kreuzbein aufnahmen. In der dritten Gruppe wurden die Querfortsätze zusammengefasst, die mit der Pars lateralis in engem Kontakt standen und so ein For. sacralis bildeten. In der letzten Gruppe waren die vollständigen Fusionen von Querfortsatz und Pars lateralis (Tab. 5, Skizze 2).

Kontaktaufnahme der Querfortsätze des letzten Lendenwirbels mit der Pars lateralis des Kreuzbeins	
Gruppe 1	Kein Kontakt
Gruppe 2	Ausziehung nach kaudal ohne Kontakt
Gruppe 3	Kontaktaufnahme, ursprünglicher Querfortsatz noch abgrenzbar
Gruppe 4	Vollständige Fusion

Tab.5: Kontaktaufnahme der Querfortsätze mit dem Kreuzbein



Skizze 2: Kontaktaufnahme mit dem Kreuzbein

3.2.4.2. Dornfortsätze

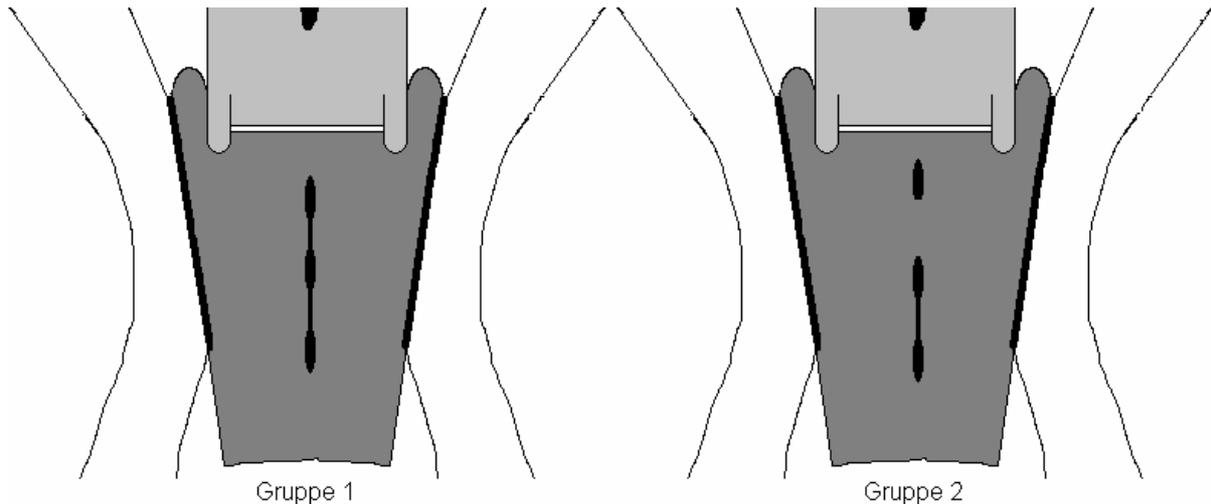
Der Dornfortsatz des ersten Kreuzbeinwirbels des Hundes ist an seiner Basis mit den Dornfortsätzen des zweiten und dritten Kreuzbeinwirbels verschmolzen. Die Spitzen der Dornfortsätze weisen nach kaudal.

Die Bewertung im Hinblick auf das Vorliegen eines LÜW erfolgte anhand des Abstandes der Dornfortsätze der Kreuzbeinwirbel.

Der Abstand zwischen den Spitzen der Dornfortsätze der ersten beiden Kreuzbeinwirbel wurde mit dem Abstand zwischen den Spitzen der letzten beiden Kreuzbeinwirbel verglichen. Diese waren entweder gleich groß oder der Abstand zwischen dem ersten und zweiten Dornfortsatz war größer als der zwischen dem zweiten und dritten und der Dornfortsatz des ersten Kreuzbeinwirbels stellt sich an seiner Basis isoliert dar (Tab. 6, Skizze 3).

Abstand zwischen den Dornfortsätzen der Kreuzbeinwirbel	
Gruppe 1	Abstände zwischen Dornfortsätzen S1-S2 und S2-S3 sind gleich groß
Gruppe 2	Abstand zwischen S1-S2 ist größer als S2-S3, Dornfortsatz von S1 ist an seiner Basis aus Crista dorsalis herausgelöst

Tab. 6: Abstand der Dornfortsätze der Kreuzbeinwirbel



Skizze 3: Abstand der Dornfortsätze der Kreuzbeinwirbel

3.2.4.3. Wirbelkörper

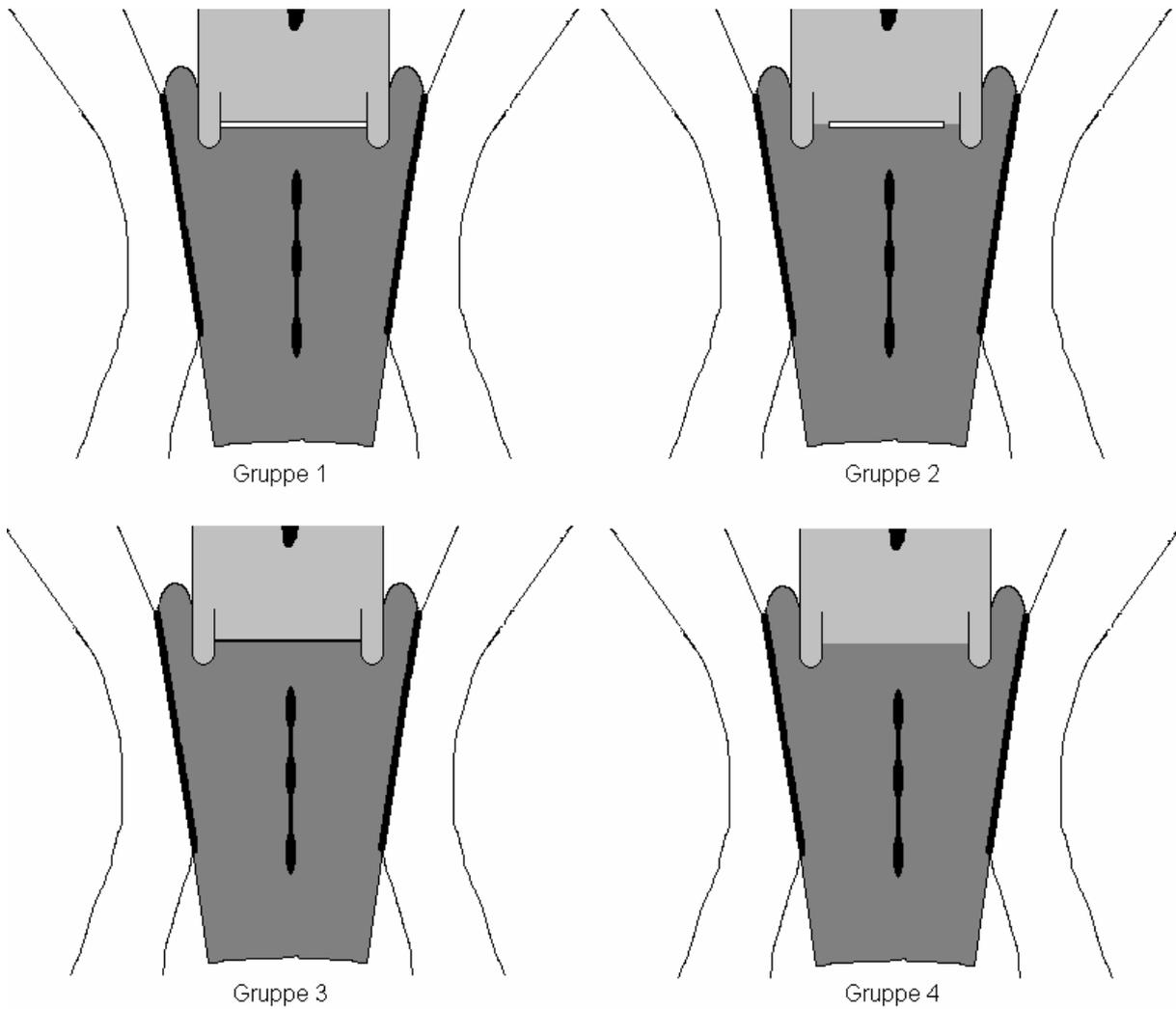
Die Wirbelkörper des letzten Lendenwirbels und des ersten Kreuzbeinwirbels sind in der Regel durch die Zwischenwirbelfuge vollständig getrennt. Die Körper der Kreuzbeinwirbel sind verschmolzen.

Es wurde der Abstand zwischen dem letzten Lendenwirbel und dem ersten Kreuzbeinwirbel oder im Falle eines morphologisch veränderten Wirbels der Abstand kaudal zum nächsten Wirbelkörper beurteilt (Tab. 7, Skizze 4). Die Einteilung erfolgte in vier Gruppen.

Die erste enthielt jene mit einem vollständig ausgebildeten ZWS. Aufnahmen aus Gruppe zwei zeigten eine Kontaktaufnahme von lateralen Wirbelanteilen mit einem abgrenzbaren Spatium. Jene Wirbelpaare, die fast vollständig verschmolzen waren und nur noch eine weniger röntgendichte Querlinie einen Hinweis auf die Wirbelkörpergrenzen gab, wurden in der dritten Gruppe zusammengefasst. Vollständig fusionierte Wirbelkörper bildeten die vierte Gruppe.

Abstand zwischen letztem Lendenwirbel und dem Kreuzbein	
Gruppe 1	Zwischenwirbelspalt (ZWS) normal ausgebildet
Gruppe 2	Laterale Kontaktaufnahme der Wirbelkörper, ZWS noch deutlich
Gruppe 3	Kontaktaufnahme, ZWS nur noch als radioopake Linie zu erkennen
Gruppe 4	Vollständige Fusion

Tab. 7: Wirbelkörper



Skizze 4: Wirbelkörper

3.2.5. Kreuzbeinwirbelanzahl

Die Anzahl der zum Kreuzbein verschmolzenen Wirbel war ein weiteres Untersuchungsmerkmal. Hierbei war wichtig, ob alle Wirbel komplett verschmolzen waren oder Zwischenwirbelspalten zwischen den einzelnen Kreuzbeinsegmenten bestanden. Nur vollständig fusionierte Wirbelkörper wurden in die Bewertung einbezogen. Die Anzahl der verschmolzenen Kreuzbeinsegmente reichte von zwei bis vier.

3.2.6. Sakrokokzygealer Übergang

Der letzte Kreuzbeinwirbel und der erste Schwanzwirbel wurden ebenfalls auf ihre Morphologie hin untersucht. Der erste Schwanzwirbel ist in der Regel vollständig vom letzten Kreuzbeinwirbel getrennt und zeigt zwei kurze, kräftige, dreieckige Querfortsätze, die nach kaudal gerichtet sind.

Von dieser Form abweichende Übergänge wurden den SÜW zugeordnet (Abb. 14).

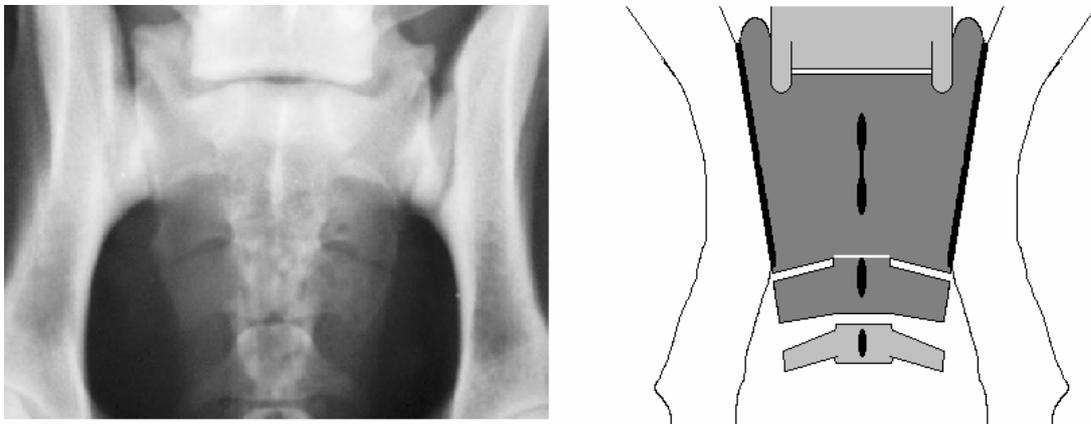


Abb. 14: SÜW, im Röntgenbild und skizziert

3.2.7. Hüftgelenksdysplasie-Grad

Der HD-Grad nach Einstufung der FCI (immer das stärker betroffene Gelenk) wurde vom HD-Befundbogen übernommen und für die statistischen Auswertungen verwendet. Unabhängig davon fand eine zweite Beurteilung nach dem Züricher Punkteschema (Tab. 8) statt. Hier wurden beide Hüftgelenke getrennt untersucht, um einen Unterschied zwischen den Gelenken festhalten zu können. Bei einer Differenz von mehr als zwei Punkten wurde das schlechtere Hüftgelenk vermerkt. Dies war wichtig, um einen Bezug zwischen asymmetrischen Übergangswirbeln und asymmetrischen HD-Befunden herstellen zu können.

Die Befunde von Tieren ohne LÜW wurden verglichen mit symmetrischen LÜW (ausgeprägte symmetrische LÜW und isolierter PS S1 zusammengefasst) und asymmetrischen LÜW.

Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3	Kriterium 4	Kriterium 5	Kriterium 6	Punkte pro Kriterium
Norbergwinkel	Lage des Femurkopfzentrums (FKZ) in Bezug zum dorsalen Azetabulumrand (DAR)	Form des kranio-lateralen Azetabulumrandes	Ausbildung des subchondralen Knochens kranial am Azetabulum	Form von Femurkopf (K), Uebergang Kopf-Hals (U), Femurhals (H)	Zubildung kaudolateral am Femurhals (Morganlinie)	
105° od. mehr	FKZ medial DAR (> 2 mm)	Lateral nachfassend	schmal, gleichmäßig dick	K: rund, deutlich abgesetzt	nicht sichtbar oder flacher Buckel auf abgebeugter Aufnahme	0
105° od. mehr, Gelenkflächen divergierend, oder 100-104°, aber Gelenkflächen parallel	FKZ medial DAR (1-2 mm)	horizontal	breit, aber gleichmäßig	K: rund, schlecht abgesetzt, U: keine Zubildungen, H: walzenförmig	kantiger Buckel auf abgebeugter Aufnahme: (flacher Buckel wird nicht erfasst)	1
100-104°	FKZ liegt auf dem DAR	leichtgradig abgerundet oder leichtgradige Zubildungen	lateral leichtgradig verdickt, medial leichtgradig reduziert	K: leichtgradig abgeflacht, U: leichtgradige Zubildungen	feiner Grat bis 1 mm Breite (nur erfasst, wenn zusätzl. path. Befunde bestehen)	2
90-99°	FKZ lateral DAR (1-5 mm), > 1/3 des K überdacht	mittelgradig abgerundet, leichtgradig Zubildungen, zweiteilige Gelenkfläche	lateral mittelgradig verdickt, medial mittelgradig reduziert	K: mittelgradig abgeflacht, U: leichtgradige Zubildungen	(unscharfer) Grat bis 2-3 mm Breite	3
80-89°	FKZ lateral DAR (6-10 mm), > 1/4 des K überdacht	Stark abgerundet, mäßige Zubildungen	lateral stark verdickt oder nur lateral ausgebildet	K: mittelgradig verformt, U: mittelgradige Zubildungen	Leiste von mehr als 3 mm Breite	4
< 80°	FKZ lateral DAR (> 10 mm), < 1/4 des K überdacht	Rand fehlt, Pfanne massiv verformt	verschmilzt mit lateralem Beckenrand, manchmal fehlend	K: massiv verformt, U: massive Zubildungen K: massiv	Leiste überlagert durch ausgedehnte Exostosen	5

Tab. 8: Radiologische Kriterien zur HD- Klassifizierung beim Hund (FLÜCKIGER, 1993)

3.3. Formen des lumbosakralen Übergangs

Der lumbosakrale Übergang wurde anhand der unter 3.2.4. erwähnten Merkmale in vier Formen eingeteilt.

3.3.1. Normaler lumbosakraler Übergang

Ein voll ausgebildeter Gelenkspalt trennt den letzten Lendenwirbel vom ersten Kreuzbeinwirbel. Die Querfortsätze des Lendenwirbels sind kräftig ausgebildet und weisen nach kraniallateral, die des ersten Kreuzbeinwirbels bilden mit den Querfortsätzen der anderen Kreuzbeinwirbel die Pars lateralis. Erster und zweiter Kreuzbeinwirbel fusionieren vollständig und der Dornfortsatz des ersten Kreuzbeinwirbels verschmilzt an seiner Basis mit den Dornfortsätzen der anderen Kreuzbeinsegmente. Der Abstand zwischen den Dornfortsätzen ist regelmäßig (Abb. 15).

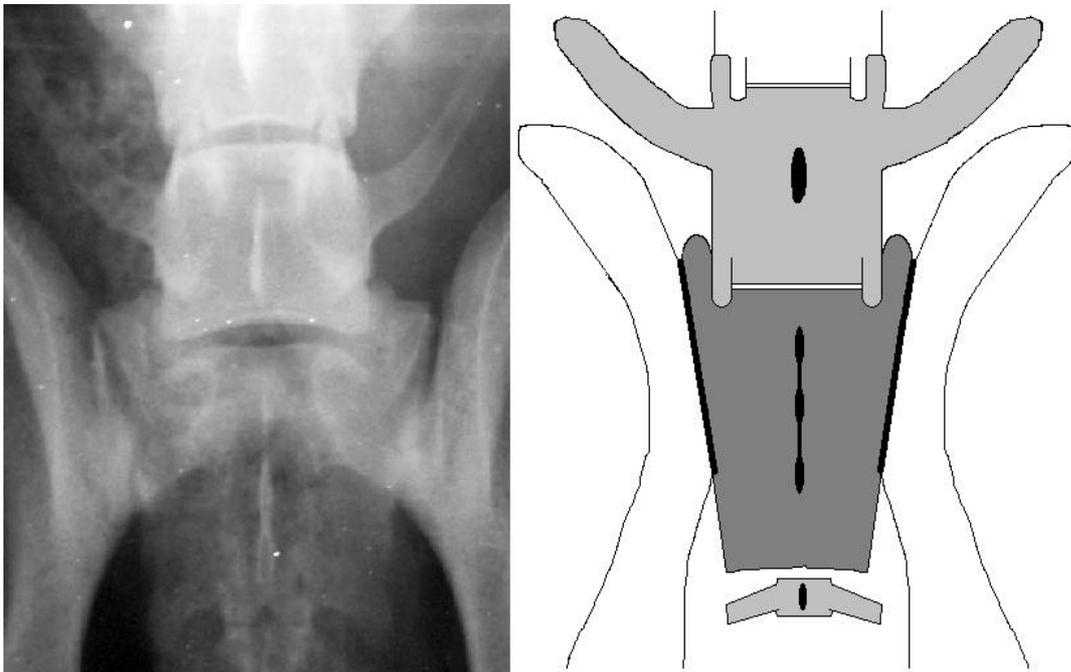


Abb. 15: Normaler lumbosakraler Übergang, im Röntgenbild und skizziert

3.3.2. Symmetrischer LÜW

Symmetrische Übergangswirbel zeigen sich in vielen verschiedenen Formen. Gemeinsam ist jedoch das weitgehend spiegelgleiche Erscheinen der Querfortsätze des letzten Lendenwirbels und des ersten Kreuzbeinwirbels. Fälle mit sehr geringer Asymmetrie wurden dieser Gruppe zugeordnet,

3.3.2.1. Isolierter Processus spinosus des ersten Kreuzbeinwirbels

Die Wirbelkörper und Querfortsätze des letzten Lenden- und ersten Kreuzbeinwirbels verhalten sich beim isolierten PS S1 wie beim normalen lumbosakralen Übergang. Der Unterschied zeigt sich am Dornfortsatz des ersten Kreuzbeinsegmentes. Er stellt sich an seiner Basis isoliert da und der Abstand zwischen ihm und dem Dornfortsatz des zweiten Kreuzbeinsegmentes ist größer als der Abstand zwischen den Dornfortsätzen der letzten beiden Kreuzbeinwirbel (Abb. 16).

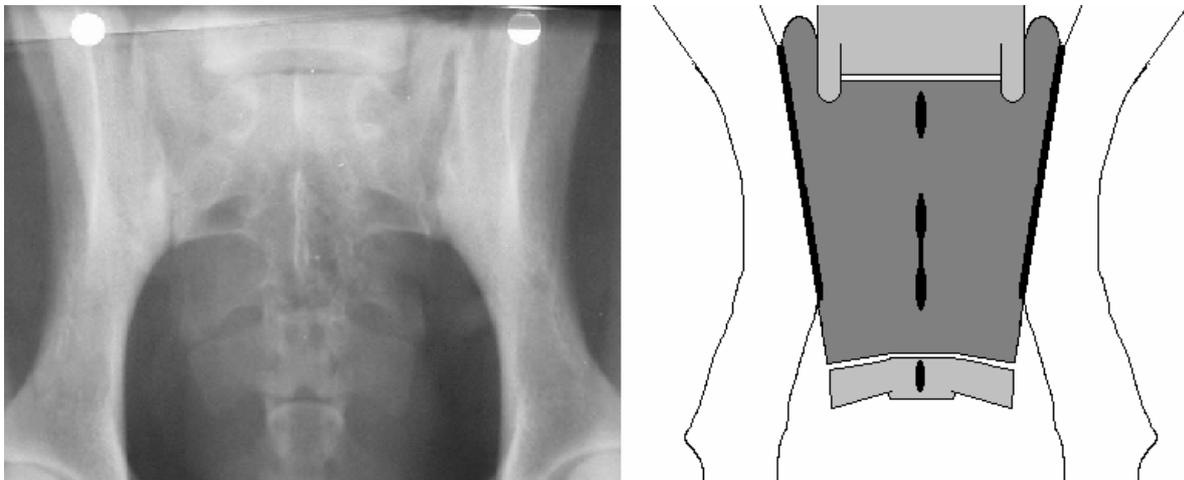


Abb. 16: LÜW isolierter PS S1, im Röntgenbild und skizziert

3.3.2.2. Ausgeprägter symmetrischer LÜW

Die Variationen der Wirbelmorphologie können an L7 und/oder S1 gesehen werden. Betrachtet man die Veränderungen am letzten Lendenwirbel so reichen diese von verkürzten, nach lateral weisenden Querfortsätzen bis zu kompletten Fusionen des Wirbelkörpers mit dem Kreuzbein.

Der erste Kreuzbeinwirbel zeigt rudimentäre Querfortsätze kranial der Ileosakralgelenke oder stellt sich isoliert da und weist komplett die Form eines Lendenwirbels auf. Zwischen den jeweiligen Grenzfällen sind die Übergänge fließend (Abb. 17 und 18).

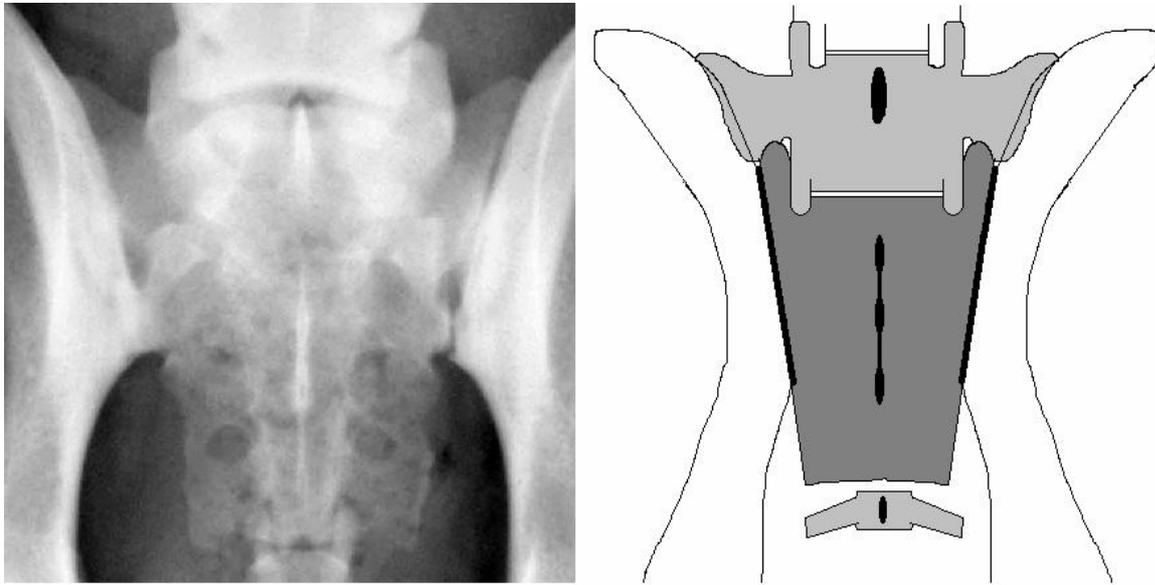


Abb. 17: Ausgeprägter symmetrischer LÜW, im Röntgenbild und skizziert

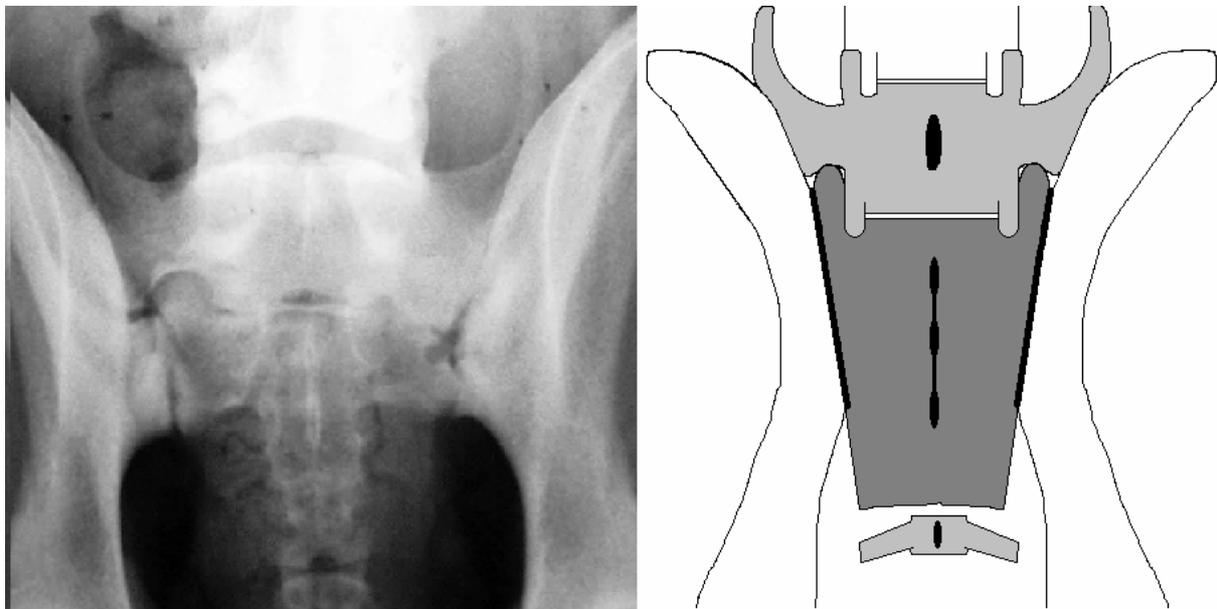


Abb. 18: Ausgeprägter symmetrischer LÜW, im Röntgenbild und skizziert

3.3.3. Asymmetrischer LÜW

Der asymmetrische Übergangswirbel unterscheidet sich von symmetrischen durch die unterschiedliche Ausbildung der beiden Querfortsätze oder eine asymmetrische Form seines Wirbelkörpers (selten). Die Querfortsätze weichen in ihrer Morphologie voneinander ab. Manche Wirbel haben auf der einen Seite einen Querfortsatz wie bei einem Kreuzbeinwirbel und auf der anderen den eines Lendenwirbels (Abb. 19), bei anderen war nur die Größe der Querfortsätze unterschiedlich (Abb. 20).

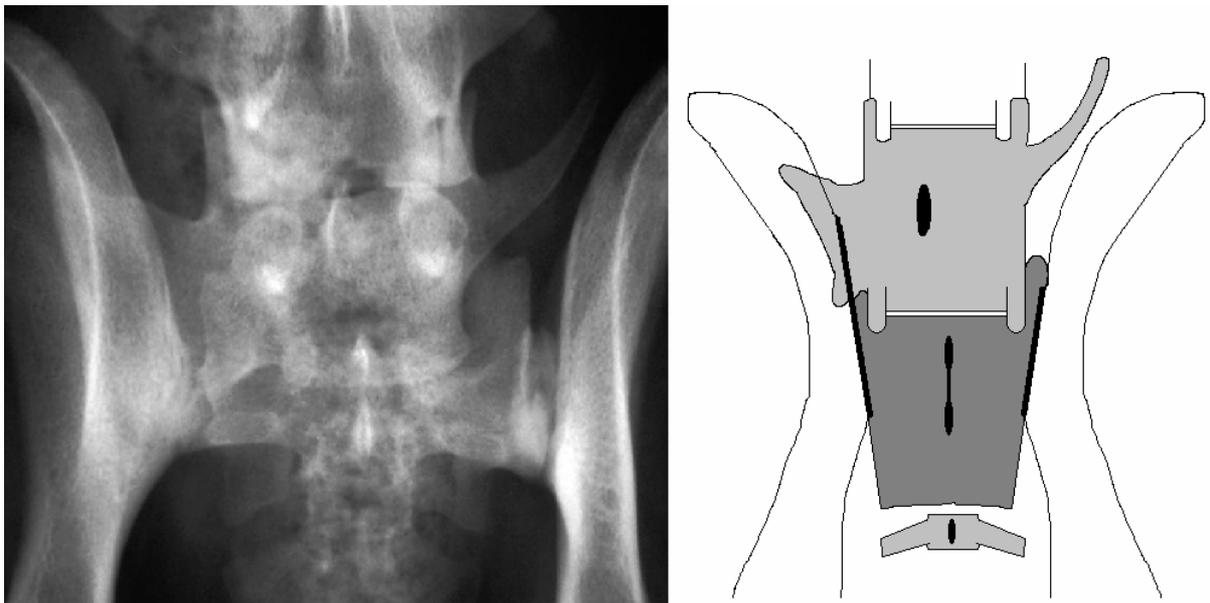


Abb. 19: Asymmetrischer LÜW, im Röntgenbild und skizziert

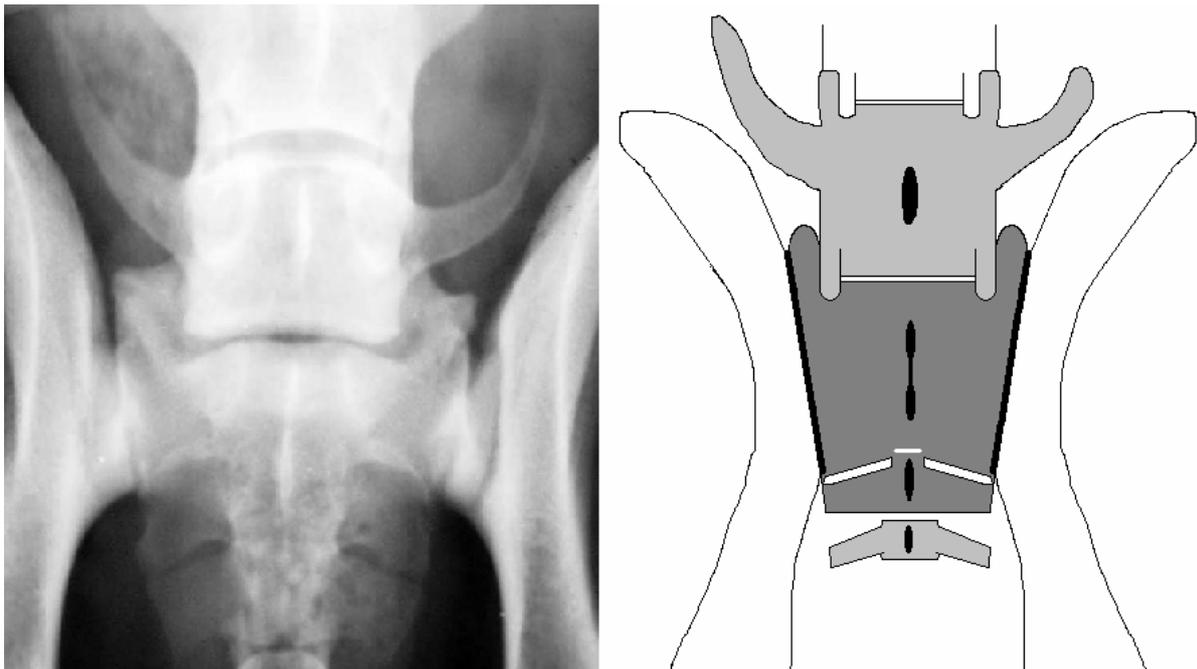


Abb. 20: Asymmetrischer LÜW, im Röntgenbild und skizziert

Die asymmetrischen LÜW werden nach Ursprung ihrer Asymmetrie in zwei Gruppen unterteilt. Gruppe eins fasst die Hunde zusammen, die sich nur in der Morphologie der Querfortsätze unterscheiden, es aber nicht zur Kontaktaufnahme mit der Darmbeinschaukel kommt (Abb. 20) oder die Kontaktflächen auf beiden Seiten gleich groß sind. Die zweite Gruppe bilden jene Tiere mit asymmetrischen LÜW, die mit ihren Querfortsätzen Kontakt zur Darmbeinschaukel aufnehmen und sich die Größe dieser Kontaktfläche zwischen den beiden Seiten unterscheidet (Abb. 19).

3.4. Datenerfassung

Die Daten wurden mit Hilfe einer MICROSOFT ACCESS[®]-Datenbank gespeichert und ausgewertet.

Die Einteilung der einzelnen Formen des LÜW erfolgte durch Abfragen der verschiedenen Merkmale.

3.5. Statistik

Als Standardverfahren zur Bestimmung der Signifikanz der einzelnen Ergebnisse wurde der Chi²-Test verwendet, bei kleinen Erwartungswerten der Craddock-Flood-Test.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) bildete die Grundlage für die Heritabilitätsschätzung. Nach der Ermittlung der Elterntiere mittels SV-Datenbank wurden die Vater- und Muttertiere und dann die einzelnen Gruppengrößen bestimmt. Die Heritabilitätsschätzung, nach Vatertieren gruppiert, erfolgte einmal mit dem Kriterium LÜW ja/nein und eine weitere Analyse mit den einzelnen Formen des LÜW. Die Gewichtung der Formen erfolgte aufsteigend: kein LÜW, isolierter PS S1, ausgeprägter symmetrischer LÜW, ausgeprägter asymmetrischer LÜW.

Zum Vergleich diente eine Heritabilitätsschätzung des HD-Grades gruppiert nach Vatertieren.

4. Ergebnisse

4.1. Geschlecht und Alter der Tiere

Tab. 9 zeigt die nach Geschlechtern getrennte Altersverteilung der untersuchten Hunde. Die erste Gruppe umfasst die Einjährigen. Jüngere Tiere sind nicht vertreten, da 12 Monate das vorgeschriebene Mindestalter zur offiziellen HD-Untersuchung ist. Bis zum Alter von zwei Jahren wird die Gruppeneinteilung im Dreimonatsintervall vorgenommen, danach wird das Intervall auf ein Jahr vergrößert.

54,92% der Aufnahmen stammen von Rüden, 45,08% von Hündinnen. Die meisten Hunde (88,84%) sind am Tag der Röntgenuntersuchung zwischen 12 und 18 Monaten alt. 37,94% der Hunde sind genau 12 Monate, 40,90% zwischen 13 und 15 Monaten und weitere 10,00% zwischen 16 und 18 Monaten alt. 11,16% aller Hunde sind über 18 Monate alt. Das älteste Tier ist ein 81 Monate alter Rüde.

Der Unterschied in der Häufigkeit der einzelnen Altersgruppen bei Hündinnen und Rüden ist nicht signifikant ($p > 0,05$).

Alter in Monaten	Männlich	Weiblich	Gesamtanzahl
12 M	1008 (36,70%)	888 (39,40%)	1897 (37,94%)
13-15 M	1158 (42,17%)	888 (39,40%)	2045 (40,90%)
16-18 M	277 (10,09%)	223 (9,89%)	500 (10,00%)
19-24 M	185 (6,74%)	147 (6,52%)	332 (6,64%)
25-36 M	83 (3,02%)	78 (3,46%)	161 (3,22%)
37-48 M	25 (0,91%)	21 (0,93%)	46 (0,92%)
49-60 M	6 (0,22%)	6 (0,27%)	12 (0,24%)
Über 60 M	4 (0,14%)	3 (0,13%)	7 (0,14%)
Summe	2746 (100,00%)	2254 (100,00%)	5000 (100,00%)

Tab. 9: Geschlechter- und Altersverteilung

4.2. Auswertbarkeit der Aufnahmen und Ausschlusskriterien

Tab. 10 zeigt die Auswertbarkeit der Röntgenbilder unter Berücksichtigung des Geschlechts der Tiere. 87,72% der Aufnahmen lassen eine Auswertung des lumbosakralen Übergangs zu. Die Rüden zeigen eine hochsignifikant ($p < 0,0001$) schlechtere Auswertbarkeit (83,18%) der Röntgenbilder gegenüber den Hündinnen (93,26%).

	Männlich	Weiblich	Gesamtanzahl
Nicht auswertbar	462 (16,82%)	152 (6,74%)	614 (12,28%)
Auswertbar	2284 (83,18%)	2102 (93,26%)	4386 (87,72%)
Summe	2746 (100,00%)	2254 (100,00%)	5000 (100,00%)

Tab. 10: Auswertbarkeit der Röntgenaufnahmen

Mehr als die Hälfte der nicht auswertbaren Aufnahmen weisen Lagerungsmängel auf, etwa ein Drittel ist von schlechter technischer Qualität und etwa 11% sind aufgrund von Überlagerung der lumbosakralen Region nicht zu verwenden. Tab. 11 gibt die einzelnen Mängel aufgeteilt nach Geschlecht wieder.

Kriterium	Männlich	Weiblich	Gesamtanzahl
Technik	169 (36,58%)	29 (19,08%)	198 (32,25%)
Lagerung	252 (54,55%)	99 (65,13%)	351 (57,17%)
Überlagerung	41 (8,87%)	24 (15,79%)	65 (10,58%)
Summe	462 (100,00%)	152 (100,00%)	614 (100,00%)

Tab. 11: Ausschlusskriterien der Röntgenaufnahmen

4.3. Anatomische Merkmale des lumbosakralen Übergangs

4.3.1. Länge der Querfortsätze

Einen physiologisch ausgebildeten Lendenwirbelquerfortsatz am letzten Lendenwirbel bzw. am LÜW haben 3189 Hunde, bei 62 ist er verkürzt und bei 44 nur als Rudiment zu erkennen. Eine vollständige Fusion liegt in 1091 Fällen vor (Tab. 12).

Länge der Querfortsätze	Anzahl
Normaler Lendenwirbelquerfortsatz	3189 (72,71%)
Kürzer, als Querfortsatz zu erkennen	62 (1,42%)
Rudimentär angelegt	44 (1,00%)
Vollständige Fusion/ nicht ausgebildet	1091 (24,87%)
Summe	4386 (100%)

Tab.12: Länge der Querfortsätze

Tab. 13 zeigt die Verteilung der Längen der beiden Querfortsätze bei asymmetrischen LÜW. Die Spalten geben die Länge für den rechten, die Zeilen für den linken Querfortsatz an. Die fett gedruckten Zahlen zeigen die asymmetrischen LÜW mit gleichlangen Querfortsätzen.

Länge der Querfortsätze	I	II	III	IV
Normaler Lendenwirbelquerfortsatz (I)	41	6	0	0
Kürzer, aber klar als Querfortsatz zu erkennen (II)	12	27	4	0
Rudimentär angelegt (III)	0	7	10	3
Vollständige Fusion/ nicht ausgebildet (IV)	0	2	9	0

Tab.13: Länge der beiden Querfortsätze bei asymmetrischen LÜW

4.3.2. Ausrichtung der Querfortsätze

Der Querfortsatz am letzten Lendenwirbel bzw. dem LÜW weist bei 3258 Hunden nach kraniallateral, 39-mal nach lateral und auf 1089 Aufnahmen ist keine Ausrichtung zu erkennen (Tab. 14)

Ausrichtung der Querfortsätze	Anzahl
Nach kraniallateral	3258 (74,28%)
Nach lateral	39 (0,89%)
Keine Ausrichtung erkennbar	1089 (24,83%)
Summe	4386 (100%)

Tab. 14: Ausrichtung der Querfortsätze

Tab. 15 gibt die Ausrichtung der beiden Querfortsätze der asymmetrischen LÜW wieder, die fett gedruckten Zahlen zeigen wieder asymmetrische LÜW mit gleich ausgerichteten Querfortsätzen. Die Spalten geben die Ausrichtung für den rechten, die Zeilen für den linken Querfortsatz an.

Ausrichtung der Querfortsätze	I	II	III
Nach kraniallateral (I)	75	14	2
Nach lateral (II)	3	11	4
Keine Ausrichtung erkennbar (III)	6	3	3

Tab. 15: Ausrichtung der Querfortsätze der asymmetrischen LÜW

4.3.3. Kontaktaufnahme des Querfortsatzes mit dem Kreuzbein

In 3192 Fällen findet keine Annäherung des Querfortsatzes an das Kreuzbein statt. Fünfmal sieht man eine Ausziehung nach kaudal ohne dass es zu einer Berührung kommt. 25 Aufnahmen zeigen einen engen Kontakt des ursprünglichen, noch abgrenzbaren, Querfortsatzes mit dem Kreuzbein. 1164mal ist kein Querfortsatz mehr abgrenzbar (Tab. 16).

Kontakt zwischen Querfortsatz und Kreuzbein	Anzahl
Kein Kontakt	3192 (72,78%)
Ausziehung nach kaudal ohne Kontakt	5 (0,01%)
Kontaktaufnahme, ursprünglicher Querfortsatz abgrenzbar	25 (0,57%)
Nicht abgrenzbar	1164 (26,54%)
Summe	4386 (100%)

Tab. 16: Kontaktaufnahme des Querfortsatzes mit dem Kreuzbein

Im Falle eines asymmetrischen LÜW zeigt Tab. 17 die Annäherung der beiden Querfortsätze des Wirbels an das Kreuzbein. Die Spalten geben die Kontaktaufnahme für den rechten, die Zeilen für den linken Querfortsatz an. Die fett gedruckten Zahlen stehen wieder für gleiche Annäherung der beiden Querfortsätze.

Kontakt zwischen Querfortsätzen und Kreuzbein	I	II	III	IV
Kein Kontakt (I)	39	1	3	14
Ausziehung nach kaudal ohne Kontakt (II)	0	2	0	0
Kontakt, Querfortsatz noch abgrenzbar (III)	4	1	3	6
Vollständige Fusion (IV)	20	0	4	21

Tab.17: Kreuzbeinkontakt der Querfortsätze von asymmetrischen LÜW

4.3.4. Abstand zwischen den Procc. spinosi der Crista dorsalis

3140 Aufnahmen zeigen einen regelmäßigen Abstand zwischen den Dornfortsätzen. Bei 1246 Hunden war der Abstand des PS S1 zu dem Proc. spinosus des zweiten Kreuzbeinwirbels vergrößert (Tab.18). 98 % aller LÜW zeigen einen isolierten PS S1.

Abstand zwischen Dornfortsätzen der Kreuzbeinwirbel	Anzahl
Abstände Dornfortsätze S1-S2 und S2-S3 gleich groß	3140 (71,59%)
Abstand S1-S2 größer als S2-S3, PS S1 isoliert	1246 (28,41%)
Summe	4386 (100%)

Tab.18: Abstand der Procc. spinosi der Crista dorsalis

4.3.5. Wirbelkörper

3203 Hunde haben einen vollständig ausgebildeten ZWS zwischen dem letzten isoliert dargestellten Wirbel der LWS bzw. dem LÜW und dem Kreuzbein (siehe Kapitel 3.2.4.3.). In 7 Fällen ist der ZWS noch gut sichtbar, aber die Wirbelkörper sind schon teilweise verschmolzen. Bei 7 Aufnahmen ist vom ZWS nur noch eine radioopake Linie zu sehen und 1069mal besteht eine vollständige Fusion (Tab. 19).

Abstand zwischen letztem Lendenwirbel und Kreuzbein	Anzahl
ZWS normal ausgebildet	3203 (73,03%)
Laterale Kontaktaufnahme der Wirbelkörper, ZWS noch deutlich	7 (0,16%)
Kontaktaufnahme, ZWS als radioopake Linie	7 (0,16%)
Vollständige Fusion	1069 (26,65%)
Summe	4386 (100%)

Tab.19: Abstand zwischen den Wirbelkörpern von L7 und S1

4.4. Lumbosakrale Übergangswirbel

Tab. 20 zeigt die Unterteilung der LÜW nach Symmetrie und Geschlecht, Tab. 21 stellt die Häufigkeit der beiden Formen des symmetrischen LÜW wieder.

Insgesamt 1270 (28,96%) Aufnahmen zeigen einen LÜW. Die Häufigkeit der Übergangswirbel ist in beiden Geschlechtern etwa gleich. Mit 78% ist die Gruppe der Übergangswirbel mit isoliertem PS S1 am häufigsten vertreten. Ausgeprägte symmetrische Übergangswirbel haben 12% der Tiere mit LÜW und 10% weisen einen asymmetrischen Übergangswirbel auf. Der Unterschied in der Häufigkeit des Auftretens von LÜW bei Rüden und Hündinnen erweist sich als nicht signifikant ($P > 0,05$).

LÜW	Männlich	Weiblich	Gesamtanzahl
Symmetrisch	571 (92,10%)	578 (89,92%)	1149 (90,47%)
Asymmetrisch	49 (7,90%)	72 (11,08%)	121 (9,53%)
Summe	620 (100,00%)	650 (100,00%)	1270 (100,00%)

Tab. 20: Lumbosakrale Übergangswirbel

Symmetrische LÜW	Männlich	Weiblich	Gesamtanzahl
Isolierter PS S1	493 (86,34%)	499 (86,33%)	992 (86,33%)
Ausgeprägte sym. LÜW	78 (13,66%)	79 (13,67%)	157 (13,67%)
Summe	571 (100,00%)	578 (100,00%)	1149 (100,00%)

Tab. 21: Symmetrische Übergangswirbel

4.5. Formen des asymmetrischen LÜW

Tab. 22 zeigt die Häufigkeiten der asymmetrischen LÜW unterteilt nach dem Ursprung ihrer Asymmetrie. 68 (56,20%) Hunde zeigen eine asymmetrische Ausformung der beiden Querfortsätze des LÜW, aber die ventralen Seitenteile sind, so vorhanden, symmetrisch ausgebildet.

Bei 53 (43,80%) Tieren unterscheiden sich die Kontaktaufnahmeflächen der ventralen Seitenteile zur Darmbeinschaukel. Waren beide Merkmale asymmetrisch wurde der Befund der Gruppe der größeren Abweichung zugeordnet.

Asymmetrie	Anzahl
Querfortsätze	68 (56,20%)
Ventrale Seitenteile	53 (43,80%)
Gesamt	121 (100%)

Tabelle 22: Asymmetrie der LÜW

4.6. Zusammenhang zwischen lumbosakralen und sakrokokzygealen Übergangswirbeln

Tab. 23 stellt das gemeinsame Auftreten von SÜW und LÜW dar. In 251 Fällen ist der sakrokokzygeale Übergang nicht auswertbar. Insgesamt treten 1515 (36,64%) SÜW auf. Bei Hunden mit LÜW werden insgesamt 674 (56,40%) SÜW gefunden, wohingegen 841 (28,61%) der Tiere ohne LÜW diese Wirbelveränderung aufweisen. SÜW sind hoch signifikant ($p < 0,0001$) häufiger bei Tieren mit LÜW zu finden.

	LÜW	Kein LÜW	Gesamt
SÜW	674 (56,40%)	841 (28,61%)	1515 (36,64%)
Kein SÜW	521 (43,60%)	2099 (71,39%)	2620 (63,36%)
Summe	1195 (100,00%)	2940 (100,00%)	4135 (100,00%)

Tab. 23: Lumbosakrale und sakrokokzygeale Übergangswirbel

4.7. Anzahl der Kreuzbeinwirbel

Tab. 24 zeigt die Kreuzbeinwirbelanzahl der Tiere mit und ohne LÜW. Eine erhöhte oder erniedrigte Anzahl der Kreuzbeinwirbel weisen 148 (3,37%) der Hunde auf.

110 Hunde haben ein auf zwei verschmolzene Segmente reduziertes Kreuzbein und 38 zeigen ein aus vier Segmenten gebildetes Kreuzbein. In etwa 75% der Fälle ist die Kreuzbeinwirbelanzahl erniedrigt und nur zu 25% erhöht. 143 (96,62%) Tiere mit einer veränderten Kreuzbeinwirbelanzahl haben einen LÜW und nur fünf (3,38%) einen normalen lumbosakralen Übergang.

Insgesamt zeigen 11,25% der Hunde mit LÜW eine veränderte Anzahl von Kreuzbeinwirbeln gegen 0,16% der Hunde ohne LÜW. Dieser Unterschied ist hoch signifikant ($p < 0,0001$).

Anzahl Kreuzbeinwirbel	LÜW	Kein LÜW	Gesamtanzahl
2 Wirbel	108 (8,50%)	2 (0,06%)	110 (2,50%)
3 Wirbel	1127 (88,74%)	3111 (99,84%)	4238 (96,63%)
4 Wirbel	35 (2,76%)	3 (0,10%)	38 (0,87%)
Summe	1270 (100,00%)	3116 (100,00%)	4386 (100,00%)

Tab. 24: Lumbosakrale Übergangswirbel und Anzahl der Kreuzbeinwirbel

4.8. Lumbosakrale Übergangswirbel und Hüftgelenksdysplasie

Der in dieser Arbeit untersuchte Röntgenjahrgang 1991 wurde nach einer HD-Statistik des Vereins für Deutsche Schäferhunde (2000) wie folgt beurteilt:

normal (HD-frei) 52,89%, fast normal (Übergangsform) 26,71%, noch zugelassen (leichte HD) 13,65%, mittlere HD 5,78% und schwere HD 0,97%.

Tab. 25 gibt die Verteilung der HD-Grade in Abhängigkeit zum Auftreten eines LÜW wieder. 54,66 % aller untersuchten Hunde sind HD-frei. 52,20% der Hunde mit einem LÜW und 55,67% ohne LÜW sind HD-frei. Der Anteil von HD-Übergangsform, HD-leicht und HD-mittel ist in der Gruppe mit LÜW um jeweils etwa einen Prozentpunkt größer als in der Gruppe ohne LÜW. HD-schwer tritt in beiden Gruppen etwa gleich häufig auf. Die geringfügigen Unterschiede in den einzelnen Gruppen erweisen sich als nicht signifikant ($p > 0,25$).

HD-Grad	LÜW	Kein LÜW	Gesamt
HD-frei	663 (52,20%)	1735 (55,67%)	2398 (54,66%)
HD-Übergangsform	331 (26,06%)	767 (24,62%)	1098 (25,04%)
HD-leicht	181 (14,26%)	415 (13,32%)	596 (13,59%)
HD-mittel	85 (6,69%)	173 (5,56%)	258 (5,88%)
HD-schwer	10 (0,79%)	26 (0,83%)	36 (0,83%)
Summe	1270 (100,00%)	3115 (100,00%)	4386 (100,00%)

Tab. 25: Lumbosakrale Übergangswirbel und Hüftgelenksdysplasie

Tab. 26 zeigt die Aufteilung der HD-Grade auf die einzelnen LÜW-Formen.

58,60% der Hunde mit einem ausgeprägten symmetrischen LÜW sind HD-frei, im Vergleich zu 51,51% der Hunde mit einem isolierten PS S1 bzw. 49,59% der Hunde mit einem asymmetrischen Übergangswirbel. Statistisch erweist sich diese Differenz als nicht signifikant ($p > 0,25$). Die HD-Übergangsform tritt am zweithäufigsten bei 26,11% der Tiere mit isolierten PS S1, 26,75% mit ausgeprägten symmetrischen und 24,79% mit asymmetrischen LÜW auf. 14,42% der Hunde mit einem isolierten PS S1, 10,19% mit einem ausgeprägten symmetrischen LÜW und 18,18% mit einem asymmetrischen LÜW werden mit leichter HD befundet. Mittlere HD zeigen 6,95% der Tiere mit einem isolierten PS S1, 4,46% mit einem ausgeprägten symmetrischen LÜW und 7,53% mit einem asymmetrischen LÜW. In die Gruppe schwere HD werden 1,01% der Hunde mit einem isolierten PS S1 eingestuft, aus den anderen beiden Gruppen wird keiner mit schwerer HD beurteilt. Auch die Unterschiede in den Häufigkeiten der leichten, mittleren und schweren HD zeigen keine statistische Signifikanz ($p > 0,3$).

HD-Grad	Isolierter PS S1	Ausgeprägter Symmetrischer LÜW	Asymmetrischer LÜW	Gesamt
HD-frei	511 (51,51%)	92 (58,60%)	60 (49,59%)	663 (52,20%)
HD-Übergangsform	259 (26,11%)	42 (26,75%)	30 (24,79%)	331 (26,06%)
HD-leicht	143 (14,42%)	16 (10,19%)	22 (18,18%)	181 (14,26%)
HD-mittel	69 (6,95%)	7 (4,46%)	9 (7,43%)	85 (6,69%)
HD-schwer	10 (1,01%)	0 (0,00%)	0 (0,00%)	10 (0,79%)
Summe	992 (100,00%)	157 (100,00%)	121 (100,00%)	1270 (100,00%)

Tab. 26: LÜW-Typ und HD-Befunde

An insgesamt 4186 Röntgenaufnahmen wird der HD-Befund nach dem Schweizer Punkteschema (siehe 3.2.7.) erhoben. Bei 639 Hunden liegt ein asymmetrischer HD-Befund vor, wobei 46 mangels Kennzeichnung nicht einer Seite zugeordnet werden können. 309 (52,11%) mal zeigte die linke Hüfte eine größere Punktzahl und in 284 (47,89%) Fällen die rechte (Tab. 27).

HD-Befund nach Schweizer Punkteschema	Anzahl
Schlechtere Hüfte links	309 (7,38%)
Schlechtere Hüfte rechts	284 (6,78%)
Beide Hüften gleich	3547 (84,73%)
Fehlende Kennzeichnung	46 (1,11%)
Gesamt	4186 (100%)

Tab. 27: Symmetrie der HD

Tab. 28 stellt den Zusammenhang zwischen der Symmetrie der Hüftgelenke und dem Vorliegen von LÜW her. Die Häufigkeit von asymmetrischen Hüftbefunden liegt in der Gruppe der Tiere ohne LÜW bei 409 (13,89%) und in der Gruppe mit symmetrischen LÜW bei 162 (14,97%). Die linke und rechte Hüfte sind etwa gleichhäufig als schlechteres Gelenk zu benennen. Die geringen Unterschiede in den Häufigkeiten sind ohne statistische Relevanz ($p > 0,5$). 22 (19,30%) der Tiere mit einem asymmetrischen LÜW zeigen einen asymmetrischen Hüftbefund. Beide Hüftgelenke sind auch hier etwa gleich oft betroffen.

HD-Befund	Sym. LÜW	Asym. LÜW	Kein LÜW	Gesamt
Schlechtere Hüfte links	84 (7,76%)	12 (10,53%)	213 (7,23%)	309 (7,46%)
Schlechtere Hüfte rechts	78 (7,21%)	10 (8,77%)	196 (6,66%)	284 (6,86%)
Beide Hüften gleich	920 (85,03%)	92 (80,70%)	2535 (86,11%)	3547 (85,68%)
Gesamt	1082 (100%)	114 (100,00%)	2944 (100,%)	4140 (100%)

Tab. 28: Symmetrie der HD-Befunde und LÜW

Tab. 29 stellt die Hüftgelenkbefunde den asymmetrischen LÜW gegenüber. Die asymmetrischen LÜW werden in zwei Gruppen unterteilt. Tiere der Gruppe eins zeigen auf der linken Seite eine größere Kontaktfläche bzw. Annäherung (Kontakt li) des Querfortsatzes zum Darmbein, bei Gruppe zwei ist die Kreuzbeinkontaktfläche bzw. Annäherung zur Darmbeinschaukel rechts größer (Kontakt re). Die asymmetrischen LÜW nahmen bei 59 Hunden mit der linken Darmbeinschaukel mehr Kontakt auf und bei 55 mit der rechten.

Bei 80,70% der Hunde mit asymmetrischem LÜW sind beide Hüftgelenke trotz unterschiedlicher Kreuzbeinkontaktflächen des LÜW gleich ausgebildet. In den restlichen Fällen zeichnet sich die Tendenz ab, dass das Hüftgelenk auf der Seite, auf welcher der LÜW die größere Kontaktfläche zum Darmbein hat, einen schlechteren Formationsreiz bekommt. Die Menge der Datensätze ist jedoch nicht groß genug, um dies statistisch abzusichern.

HD-Befund	Kontakt links	Kontakt rechts	Summe
Schlechtere Hüfte links	8 (13,56%)	4 (7,27%)	12 (10,53%)
Schlechtere Hüfte rechts	2 (3,39%)	8 (14,55%)	10 (8,77%)
Beide Hüften gleich	49 (83,05%)	43 (78,18%)	92 (80,70%)
Gesamt	59 (100%)	55 (100%)	114 (100%)

Tab. 29: Kreuzbeinkontakt der asymmetrischen LÜW und Symmetrie der HD-Befunde

4.8. Heritabilitätsschätzung

Es werden 872 Vatertiere und 2361 Muttertiere zu 4119 der vorliegenden 5000 DSH ermittelt. Die durchschnittliche Gruppengröße liegt bei 4,72 DSH in den Vatertiergruppen bzw. 1,74 DSH in den Muttertiergruppen (Tab. 30).

	Vatertiere	Muttertiere
Anzahl	872	2361
∅ Gruppengröße	4,72	1,74

Tab. 30: Vatertiere und Muttertiere

Es zeigen sich hoch signifikante ($p < 0,0001$) Unterschiede zwischen den einzelnen Vatertieren (Tab. 31). Der Vergleich mit der Vererblichkeit des HD-Grades (Tab. 32) zeigt einen ähnlich großen F-Wert und lässt auf eine Heritabilität in der Größenordnung der HD von etwa 20-30% schließen.

Unter Einbeziehung der einzelnen LÜW-Formen zeigt sich sogar noch eine Steigerung des F-Wertes (Tab. 33).

	Quadrate- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	233,728	872	0,268	1,405	<0,0001
Innerhalb der Gruppen	619,254	3247	0,191		
Gesamt	852,982	4119			

Tab. 31: Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA), gruppiert nach Vätern, LÜW ja/nein

	Quadrate- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	985,337	872	1,130	1,357	<0,0001
Innerhalb der Gruppen	2704,340	3247	0,833		
Gesamt	3689,677	4119			

Tab. 32: Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA), gruppiert nach Vätern, HD-Befunde

	Quadrate- summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	584,536	872	0,670	1,432	<0,0001
Innerhalb der Gruppen	1520,045	3247	0,468		
Gesamt	2104,582	4119			

Tab. 33: Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA), gruppiert nach Vätern, LÜW-Formen

5. Diskussion

5.1. Literatur

Die Wirbelsäule des Hundes (NICKEL et al., 1992; VOLLMERHAUS et al. 1994), wie auch die des Menschen (JUNGHANNS, 1939), zeigt häufig Variationen sowohl der Wirbelgesamtzahl als auch der Anzahl der Wirbel in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten. Ein Drittel der menschlichen Wirbelsäulen haben nach JUNGHANNS (1939) eine von der Norm abweichende Einteilung oder Anzahl der Wirbel.

Diese Befunde entsprechen weniger pathologischen Prozessen als Veränderungen, die ein Ausdruck für die Anpassungs- und Entwicklungsfähigkeit von Mensch und Tier sind. Teilweise werden diese zufällig auftretenden Verschiebungen der Wirbelsäulenabschnittsgrenzen auch wirtschaftlich genutzt. Beim Hausschwein ist es gelungen auf ein zusätzliches Rippenpaar bei Mastschweinen zu selektieren. Die kleinen Variationen dienen in der Natur dazu die „ideale“ Wirbelsäulenform zu eruieren. Dieses Ziel wird jedoch nie erreicht werden, da sich die äußeren Einflüsse ständig ändern und so fließend eine Anpassung stattfindet. Beim Menschen kann man als Beispiel die stetige Gewichts- und Größenzunahme der Gesamtpopulation in den letzten Jahrhunderten durch verbesserte Hygiene und Ernährung, beim Hund die unterschiedlichen Rassestandards und Zuchtziele ansehen. Wolf, Coyote, Fuchs und Bär, als nahe Verwandte des Hundes, entwickelten sich in Jahrtausenden zu ihrem jetzigen Erscheinungsbild und der Mensch hat innerhalb von ein paar Jahrzehnten Rassen geschaffen, die zwar alle vom Wolf abstammen, aber äußerlich nur noch wenig Ähnlichkeit mit ihm oder auch untereinander besitzen. Dies ist ein Indiz für die genetische Vielfalt, die zur Verfügung steht. Phänotypische Varianten lassen sich nicht einfach auf genotypische Varianten übertragen, aber dennoch kann von den weit gestreuten äußerlichen Erscheinungsbildern von Hunden und Menschen auch auf eine weite Variationsmöglichkeit von inneren Organen, wie auch der Wirbelsäule, geschlossen werden.

Der Ursprung zusätzlicher präsakraler Wirbel oder eine Verminderung der präsakralen Wirbelanzahl läßt sich beim Hund nicht genau klären. Autoren wie BLUMENSAAT und CLASING (1932) und SCHULTZ und WATSON (1995) geben Übergangswirbel als Ursache an. Im Gegensatz dazu verweisen MORGAN (1968),

LARSEN (1977) und SIMOENS et al. (1983) auf zusätzliche Wirbelanlagen bzw. auf das Verschmelzen von Wirbelanlagen.

STARCK (1979) diskutiert mit dem Nonius-Prinzip und der Verschiebung des Beckenrings in der Embryonalphase noch weitere Möglichkeiten.

Eine genaue endgültige Klärung, wie es zu den veränderten Wirbelanzahlen und Wirbelsäulenformeln kommt, steht zur Zeit noch aus. Eine Untersuchung an juvenilen Tieren und Föten kann zu weiteren Erkenntnissen führen.

Ist nicht nur die Anzahl der Wirbel in einem Segment erhöht, sondern zeigt auch ein Wirbel an der Segmentgrenze Eigenschaften beider Segmente auf, so spricht man von Übergangswirbeln (GEGENBAUR, 1873; ROSENBERG, 1907; JUNGHANNS, 1939). Die Veränderungen sind bilateral symmetrisch oder auch asymmetrisch angelegt (JUNGHANNS, 1939; MORGAN, 1968). Übergangswirbel sind kaudal häufiger als kranial (MORGAN, 1968; BARONE 1976). Im Gegensatz dazu findet ZIEGLER (1989) in ihrer Studie mehr thorakolumbale Übergangswirbel als LÜW.

In der vorliegenden Arbeit sind mehr SÜW als LÜW aufgetreten, was die Aussage von MORGAN (1968) und BARONE (1976) bestätigt.

Die Folgeerscheinungen, die das Auftreten einer Wirbelvariation nach sich zieht, sind von der Lokalisation und der Ausprägung der Variation abhängig. Durch Übergangswirbel im Bereich des Okziput und der ersten beiden Halswirbel können erhebliche klinische Symptome durch Kompression des Rückenmarks auf dieser Höhe auftreten. Der LÜW wird als mögliche Ursache für das CES aufgeführt (MORGAN, 1999 b). Die Übergangswirbel an den restlichen Wirbelsäulenabschnitten scheinen keine klinischen Beschwerden zu verursachen (ZIEGLER, 1989).

Die Wirbelsäule zeigt beim Hund die größte Beweglichkeit im Halsbereich und daher können morphologisch veränderte Wirbel entsprechend stark den Bewegungsablauf stören. Im thorakolumbalen und lumbosakralen Übergang ist die Stabilität deutlich größer bedingt durch starke Bänder, Sehnen und Muskelstränge, die Scherkräften entgegen wirken können. SÜW dürften ohne klinischen Symptome sein. Der Zuchtausschluss aufgrund einer Knickrute beim Teckel ist nicht mit dem Auftreten von klinischen Symptomen begründet, sondern der Wahrscheinlichkeit weiterer Wirbelsäulenveränderungen.

Die LÜW werden in der Literatur in Lumbalisationen und Sakralisationen unterteilt. Eine genaue Einstufung ist nicht immer möglich und die einzelnen Autoren verwenden unterschiedliche Definitionen von Lumbalisation und Sakralisation.

LARSEN (1977) ordnet die meisten LÜW den Sakralisationen (73%) zu, da dies der häufigste Fall bei vollständig vorliegender Lendenwirbelsäule war. In seiner Arbeit werden jedoch nur HD-Begleitschreiben als Material angegeben und so bleibt offen auf welche Röntgenbilder sich diese Aussage bezieht.

WINKLER (1985) teilt die Übergangswirbel anhand ihrer Morphologie in Lumbalisation und Sakralisation ein. Er nimmt Bezug auf FRENKEL (1873) und GEGENBAUR (1873), welche die Veränderungen durch das Vorhandensein bzw. Fehlen eines „ventralen Seitenteils“ an den Querfortsätzen des letzten Lendenwirbels bzw. ersten Kreuzbeinwirbels charakterisieren. Die ventralen Seitenteile entsprechen in der angegebenen Definition denen von JUNGHANNS und SCHMORL (1957) beschriebenen Rippenanaloga an den Querfortsätzen der Lendenwirbel.

WINKLER (1985) übernimmt die Definition für die Sakralisation in seine Untersuchungen, sieht aber die Lumbalisation nicht als Umkehrung der Sakralisation. In seinen Studien findet er immer beide „ventralen Seitenteile“ an den ersten Kreuzbeinwirbeln. Sie waren teilweise sogar vergrößert.

Er stellt eine allgemeinere Definition der Lumbalisation: Annahme von Eigenschaften, die normalerweise den Lendenwirbeln eigen sind. Er findet nach seiner Einteilung 73% Lumbalisationen und 27% Sakralisationen.

Als weiteres Merkmal zur Unterscheidung zwischen Lumbalisation und Sakralisation führen WINKLER und LÖFFLER (1986) wie auch BREIT und KÜNZEL (1998) die Stellung und Winkelung der kranialen Gelenkfortsätze des LÜW auf. Solche Untersuchungen lassen sich jedoch nur am anatomischen Präparat durchführen, da die Veränderungen im Röntgenbild nicht zu erkennen sind.

ZIEGLER (1989) verwendet als Überbegriff für alle lumbosakralen Übergangswirbel den Ausdruck lumbosakrale Assimilationsstörung.

Wie auch JUNGHANNS und SCHMORL (1957) ordnet sie die Wirbel rein nach ihrer Wirbelzahl zu. Wenn nicht die gesamte Wirbelsäule vorliegt, werden die Assimilationsstörungen mit lumbosakralem Übergangswirbel bezeichnet. ZIEGLER (1989) findet 58% Lumbalisationen (28. Wirbel) und 42% Sakralisationen (27. Wirbel). In 190 von 568 Fällen kann eine numerische Zuordnung durchgeführt werden, die restlichen Assimilationsstörungen werden den lumbosakralen Übergangswirbeln zugeordnet.

JUNGHANNS und SCHMORL (1957) zeigen, dass bei nur etwa 2/3 aller Menschen die Wirbelsäule der Normalform (Zervikal 1-7, Thorakal 8-19, Lumbal 20-24, Sakral 25-30, Kaudal 30-33) entspricht und bei über 30% der Fälle Variationen in Anzahl der Wirbel, Einteilung in die einzelnen Segmente und morphologische Aberrationen vorkommen.

Auch BREIT und KÜNZEL (1998) finden bei einer Studie an 228 Wirbelsäulen 16,2% numerische Abweichungen in den einzelnen Wirbelsäulensegmenten.

So stellt sich die Frage, ob ein zusätzlicher Lendenwirbel von typischer Morphologie vor einem unauffälligen Kreuzbein einer kompletten Lumbalisation des ersten Kreuzbeinwirbels mit gleichzeitiger kompletter Sakralisation des ersten Schwanzwirbels entspricht, oder ob es sich um eine numerische Aberration des Lendenwirbelsegmentes handelt. Da den Übergangswirbeln meist eine Tendenz in Richtung kopf- oder steißwärts (JUNGHANNS und SCHMORL, 1957) eigen ist, kann man anhand anderer Übergangswirbel, falls vorhanden, eine leichtere Unterscheidung vornehmen.

Eine genaue Unterteilung in Sakralisation und Lumbalisation ohne Übersicht über die gesamte Wirbelsäule zu haben erscheint schwer. Die Wirbelsäule ist in ihrer Morphologie und Einteilung nicht so starr definiert wie andere Abschnitte des Körpers. Vor allem die asymmetrischen Übergangswirbel lassen sich sehr schwer zuordnen, da sie teilweise einseitig Lendenwirbel- und auf der gegenüberliegenden Seite Kreuzbeinwirbelmorphologie aufweisen.

Nach rein morphologischen Kriterien wäre die Form des isolierten PS S1 am ehesten den Lumbalisationen zuzusprechen. Der Weg zu einer fast kompletten Sakralisation ist weiter, als nur diese geringen Anzeichen der Lumbalisation aufzuweisen. Somit ist eine Lumbalisation wahrscheinlicher.

Auf eine Unterscheidung zwischen Lumbalisationen und Sakralisationen wurde in der vorliegenden Arbeit verzichtet. Die Wirbelzahl konnte an den HD-Aufnahmen, die nur einen kleinen Ausschnitt der Wirbelsäule zeigen, nicht bestimmt werden.

Eine rein morphologische Unterscheidung erscheint nicht sinnvoll, da die Veränderungen nicht immer eine eindeutige Zuordnung zulassen und es nicht geklärt ist, ob eine rein morphologische Zuordnung überhaupt möglich ist. Zur genauen Beurteilung der Morphologie der LÜW sollten Röntgenbilder in beiden Ebenen, noch besser anatomische Präparate, vorliegen.

Das CES ist eine typische Erkrankung von großrahmigen Arbeitshunden, vor allem dem DSH. Als mögliche Ursache eines CES und durch sein überproportional häufiges Auftreten beim DSH wird der LÜW in mehreren Arbeiten untersucht.

LARSEN (1977) erkennt bei den Rassen Britischer Spaniel, Rhodesian Ridgeback, Dobermann und DSH einen signifikant höheren Anteil an LÜW als bei den restlichen von ihm untersuchten 54 Rassen. Nach LARSEN (1977) haben diese vier Rassen einen engen Rassestandard und werden auch auf äußeres Erscheinungsbild selektiert. Beim Dobermann und DSH ist es vor allem die weit nach kaudal gestreckte Hintergliedmaße, die dem Hund eine leicht abfallende Rückenlinie gibt und das Rassebild prägt. Diese Zuchtanforderungen könnten bei diesen Rassen mit verantwortlich sein für das vermehrte Auftreten von LÜW. Gleichzeitig führt diese Körperhaltung aber auch zu einer Überlastung des Lumbosakralgelenks und der Ileosakralgelenke, da die Hinterhand im Stand nicht unter dem kaudalen Körperschwerpunkt steht. Diese Überbelastung im Stand erhöht sich noch in der Bewegung und kann Ursache für ein CES sein.

Alle Hunderassen werden auf ein gewisses äußeres Ideal gezüchtet und ob genau diese genannten Merkmale beim DSH, Britischen Spaniel, Dobermann und Rhodesian Ridgeback das Auftreten von LÜW begünstigen ist unwahrscheinlich. Bei den nach kaudal gestellten Hinterbeinen der DSH handelt es sich um eine provozierte Schaustellung, die im unbeeinflusstem Stand nicht auftritt. Züchterisch gewollt ist eine im Vergleich zu anderen Rassen stärkere Winkelung der Nachhand, die auch zu einem Absinken der Kruppe führt. Es ist nicht geklärt, ob das zu einer höheren Belastung des lumbosakralen Übergangs führt.

OLIVER et al. (1978) sieht in der lumbosakralen Malartikulation und Malformation eine Ursache für das CES, spricht aber nicht explizit den LÜW an. Da jedoch vor allem die asymmetrischen LÜW zu einer Malartikulation und Malformation des LSG führen können, sind sie demnach als eine potentielle Ursache für das CES anzusehen.

WRIGHT (1989) und WATT (1991) finden nur wenige LÜW bei ihren Untersuchungen des lumbosakralen Übergangs. Die Befunde werden zwar aufgezeichnet, aber nicht als Ursache für Spondylosen oder CES angeführt.

MORGAN und BAILEY (1990) entdecken in ihrer Arbeit zur Erstellung eines Röntgenprotokolls überproportional viele LÜW bei Hunderassen, wie dem DSH, die für CES anfällig sind. Eine Prädisposition von Hunden mit LÜW für CES wird vermutet. MORGAN et al. (1993) sichern diese These in einer weiteren Studie an DSH ab und führen sowohl den LÜW als auch die DLSS als Prädisposition für CES auf. MATTOON und KOBLIK (1993) und LANG (1993) bestätigen ebenfalls mit ihren Untersuchungen diese Ergebnisse.

KIM und SUK (1997) erkennen, dass bei an Spondylolisthese erkrankten Menschen ein LÜW stabilisierend wirken kann. Liegt die Einengung des Rückenmarks auf Höhe des 4. Lendenwirbels, so zeigt sich ein stärkeres Wirbelgleiten, liegt sie jedoch auf Höhe des letzten Lendenwirbels, so ist der Bewegungsspielraum bei Patienten mit LÜW geringer und die Wirbelsäule somit stabiler.

Die Ergebnisse lassen sich nur schwer auf den Hund übertragen, da die Biomechanik des lumbosakralen Übergangs beim Menschen als aufrecht gehender Zweibeiner sich grundlegend von der des vierbeinigen Hundes unterscheidet.

Dem LÜW kommt bei Erkrankungen im Bereich des lumbosakralen Übergangs eine wichtige Bedeutung zu. Das überproportional häufige Auftreten von LÜW und CES beim DSH, zusammen mit den Ergebnissen von MORGAN et al. (1993) sprechen dafür und geben Anlass für weitere Untersuchungen.

Die lumbosakrale Verbindung (LANG, 1992), bestehend aus LSG und ISG, steht im Mittelpunkt der Kraftübertragung von der Hinterhand zum Rumpf.

Die Form der kleinen Wirbelgelenke bestimmt zu einem großen Teil die Bewegungsart im Lumbosakralgelenk (GEMBARDT, 1974; BÜRGER und LANG, 1992 und 1993).

Die Gelenkform ändert sich im kaudalen Lendenwirbelsäulenabschnitt von gerade und sagittal zu bogenförmig leicht geneigt (HENNINGER und WERNER, 2002; LANG, 2003). Der Übergang erfolgt beim DSH sehr abrupt und bündelt die gesamte Längsrotation der kaudalen Wirbelsäule auf einen kleinen Abschnitt der LWS.

Auch BREIT und KÜNZEL (2001) untersuchen die kleinen Wirbelgelenke auf Form und Größe. Bei großen Rassen und speziell beim DSH zeigen sich sehr große Gelenkflächen, die weit über den Gelenkspalt reichen. Die steile Stellung der Gelenkflächen beim DSH und das Fehlen eines Hilfsfortsatzes am letzten Lendenwirbel (GRUSSENDORF, 1991) ermöglichen eine Translationsbewegung und erhöhen dadurch die Belastung des Bandapparates und der Bandscheibe.

Ein weiterer Gesichtspunkt ist der lumbosakrale Winkel (LANG, 1972; WALLA, 1986; BÜRGER und LANG, 1993) und der Bewegungsspielraum zwischen maximaler Extension und Flexion.

WALLA (1986) sieht in einer großen Beweglichkeit und kleinem lumbosakralem Winkel in Extension eine Erkrankungsursache für CES. Nach LANG und BÜRGER (1993) zeigen Hündinnen den größeren Bewegungsspielraum als Rüden, aber die Rüden erkranken häufiger an CES.

Ein LÜW kann zu veränderten kleinen Wirbelgelenken führen und so den physiologischen Bewegungsablauf stark beeinträchtigen.

Das ISG formt sich erst mit 12 Monaten vollständig aus. Die Gelenkflächen beim großen Hund stehen steiler als bei kleinen Rassen und sind leicht gewölbt, um eine größere Kontaktfläche zu ermöglichen (BREIT und KÜNZEL, 2001). Chronische Überbelastung des ISG führt zu Blockierung des ISG oder später zu einer Ankylose (GEMBARDT, 1974; ZOHMANN und FUCHS, 2000; BREIT und KÜNZEL, 2001).

ZIEGLER (1989) stellt bei über 87% der asymmetrischen LÜW eine Wirbelsäulenachsenabweichung fest. Die Achsenabweichungen können zu einer Rotation/Schiefstellung des Beckenrings und somit zu einer einseitigen Überlastung und Lahmheiten führen (LANG und JAGGY, 1989).

Der LÜW ist an der Bildung des LSG beteiligt und falls er Kontakt zum Darmbein aufnimmt, beeinflusst er auch die ISG. So ist der LÜW im Zentrum der Kraftübertragung der Hinterhand auf den Rumpf. Besonders asymmetrische LÜW können zu einer einseitig stärkeren Impulsübertragung führen und so die Gelenkanteile dieser Seite überlasten und Ankylosen des Bandapparates nach sich ziehen.

Die Literatur zeigt, dass LÜW in vieler Hinsicht die biomechanischen Verhältnisse am lumbosakralen Übergang beeinflussen können. Ein sicherer Beweis für den Zusammenhang zwischen Vorliegen eines LÜW und dem Auftreten von CES liegt aber noch nicht vor. Hier scheint es auch Rasseunterschiede zu geben. Entscheidend für das Entstehen eines CES ist eine Erkrankung der lumbosakralen Bandscheibe. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten von LÜW und dem Vorliegen degenerativer Veränderungen der lumbosakralen Bandscheibe lässt sich am lebenden Tier nur mit Hilfe der MRT feststellen. Sie sollte ein Schwerpunkt künftiger Forschung zu den Ursachen des CES sein.

5.2. Material und Methoden

Für die einzelnen Studien am lumbosakralen Übergang wurden unterschiedliche Untersuchungsmaterialien und -methoden verwendet.

Das gesamte Datenmaterial der vorliegenden Untersuchung entstammt aus dem Röntgenarchiv des Vereins für Deutsche Schäferhunde e.V.(SV). Alle Aufnahmen wurden im Rahmen der routinemäßigen HD-Erfassung im Jahr 1991 angefertigt. 5000 Datensätze werden zufällig ausgewählt und die Identität der Tiere anhand von Name, Zuchtbuchnummer und Geburtsdatum im Abgleich mit der Zuchtdatenbank des SV gesichert.

Im Vergleich zur vorliegenden Studie, die nur DSH umfasst, sind die anderen Untersuchungen meist rasseübergreifend.

Nur MORGAN et al. (1993 DSH und 1999 Labrador Retriever) beschäftigt sich auch mit einzelnen Rassen.

LARSEN (1977) verwendet für seine Arbeit HD-Begleitschreiben. Die als Nebenbefund aufgeführten LÜW werden statistisch erfasst und ausgewertet.

Ob diese Befunde vom Gutachter der einzelnen Rassen oder vom Tierarzt, der die Röntgenaufnahme angefertigt hat, stammen, geht nicht klar hervor. Auch anhand welcher Aufnahmen das häufigere Auftreten von Lumbalisationen festgestellt wird, lässt sich nicht erkennen.

Diese Auswahl erscheint sehr ungenau, da mehrere Personen mit unterschiedlichen Untersuchungsschwerpunkten die Befundung vorgenommen haben, und der lumbosakrale Übergang für die HD-Diagnostik von untergeordneter Bedeutung ist, und deshalb oft nicht sorgfältig betrachtet wird.

MORGAN (1968, 1999 b) untersucht wie auch WINKLER (1985) sowohl anatomische Wirbelsäulenpräparate als auch Röntgenbilder des lumbosakralen Übergangs. Zum Teil liegen Aufnahmen in mehreren Ebenen vor, aber es werden auch viele HD-Aufnahmen verwendet.

ZIEGLER (1989), MATTOON und KOBLIK (1993), JONES und INZANA (2000) und LINN et al. (2003) untersuchen den lumbosakralen Übergang anhand von Röntgenaufnahmen, die teilweise in mehreren Ebenen vorhanden sind.

BREIT und KÜNZEL (1998) fertigen eine anatomische Studie mit 228 Wirbelsäulenpräparaten an.

CT-Untersuchungen des lumbosakralen Übergangs führen FEENEY et al. (1995), RAMIREZ und THRALL (1998), JONES und INZANA (2000) und HENNINGER und WERNER (2002) durch sowie RAMIREZ und THRALL (1998) und MAYHEW et al. (2002) MRT-Studien.

Die Wirbelsäulenpräparate sind gut geeignet, um eine genaue anatomische Beschreibung eines LÜW zu liefern. Für eine genetische Studie sind sie weniger geeignet, da sie sehr aufwendig herzustellen und eine genügend große Anzahl Rassehunde mit Zuchtbuchnummern schwer zu finden sind. Eine in vivo Diagnostik zur späteren Zuchtselektion ist nicht möglich.

CT- und MRT-Untersuchungen geben ebenfalls ein sehr genaues Bild wieder, sind aber für eine breit angelegte Studie zu aufwendig und teuer.

Röntgenbilder sind in großer Anzahl recht einfach zu bekommen und die Kennzeichnungspflicht, vor allem bei HD-Aufnahmen, ermöglicht eine gute Identifikation des Tieres. Da die genetische Komponente ein wichtiger Teil dieser Arbeit ist und die LÜW sehr häufig beim DSH auftreten, wird als Material auf die offiziellen HD-Aufnahmen des SV zurückgegriffen.

In der vorliegenden Arbeit werden drei Formen von Übergangswirbeln unterschieden: die ausgeprägten symmetrischen und asymmetrischen Übergangswirbel und jene die nur einen isolierten PS S1 mit einem erweiterten Abstand zum Proc. spinosus des zweiten Sakralsegmentes zeigen.

MORGAN (1968) teilt die LÜW in unilaterale und bilaterale auf. Diese Begriffe sind wohl weitgehend mit den asymmetrischen bzw. symmetrischen LÜW zu vergleichen. Er führt den isolierten PS S1 jedoch nicht gesondert auf.

In der Arbeit von LARSEN (1977) wurde keine Unterscheidung der morphologischen Formen vorgenommen.

WINKLER (1985) teilt die Übergangswirbel wie vorher beschrieben in die drei unterschiedlichen Lumbalisationsformen und Sakralisationen ein. Weiterhin wird zwischen symmetrischen und asymmetrischen LÜW unterschieden. Genaue Zahlen zu den einzelnen Gruppen nennt er nicht, aber Lumbalisationen vom Typ A, die der Form des isolierten PS S1 weitgehend entsprechen, sind am häufigsten vertreten.

Zusätzlich zum isolierten Dornfortsatz beinhaltet die Definition der Lumbalisation Typ A auch noch eine bogenförmige Linie, welche die Trennung zwischen Proc. articularis cranialis und Proc. transversus andeutet. Dieses zusätzliche Kriterium schließt einige LÜW der Form isolierter PS S1 dieser Arbeit aus.

ZIEGLER (1989) definiert ausgehend von morphologischen Gesichtspunkten insgesamt 23 verschiedene Formen von LÜW. Die Form alleine unterscheidet nicht zwischen Lumbalisation oder Sakralisation. Die asymmetrischen Übergangswirbel überwiegen (58%).

Eine Einteilung in symmetrische und asymmetrische Übergangswirbel erscheint sinnvoll, da vor allem die asymmetrischen Übergangswirbel mit einer teilweise erheblichen Achsenabweichung der Wirbelsäule auftreten können. Dies führt zu einer ungleichen Belastung des LSG, der beiden ISG und Hüftgelenke und kann ein Auslöser für das Auftreten von CES, Lahmheiten und Koxarthrosen sein.

Der isolierte PS S1, als Sonderform des symmetrischen Übergangswirbels, wird getrennt untersucht, da der Einfluss eines isolierten PS S1 sowohl statisch als auch dynamisch den Bewegungsablauf des Hundes kaum oder gar nicht beeinflussen sollte. Die Form ist sehr häufig und leicht auf dem Röntgenbild zu übersehen.

Eine weitere Einteilung der Formen findet nicht statt, da besonders die asymmetrischen Übergangswirbel bei genauer Betrachtung alle unterschiedlich sind. Um einen möglichen Einfluss von asymmetrischen LÜW auf die Entwicklung von asymmetrischer HD darstellen zu können, werden beide Hüftgelenke zusätzlich nach dem Züricher Punkteschema beurteilt. Bei der routinemäßigen HD-Untersuchung nach FCI-Standard bestimmt das schlechtere Hüftgelenk den HD-Grad. Es wird aber kein Unterschied zwischen den beiden Gelenken vermerkt. Das Züricher Punkteschema wird verwendet, da die Punktsummen der Hüftgelenke leichter zu vergleichen sind und eine feinere Einstufung vorgenommen werden kann. Erst ab einem Unterschied von drei Punkten wird eine Asymmetrie festgelegt, um geringe Messfehler oder Lagerungsartefakte auszugrenzen.

Als statistisches Verfahren zur Heritabilitätsschätzung wird eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Die durchschnittliche Gruppengröße bei den Muttertieren ist mit 1,74 relativ klein und eine Auswertung findet nur über die Vatertiere statt. Um einen Bezugspunkt zu haben wird als Vergleichswert eine Heritabilitätsschätzung des HD-Grades durchgeführt. Die Differenzierung nach LÜW-Formen soll aufzeigen, ob diese zusätzliche Information eine genauere Schätzung erlaubt.

5.3. Ergebnisse

Die Altersverteilung zeigt einen großen Anteil an Hunden unter 15 Monaten. Dies ist nicht weiter verwunderlich, da die Hunde für ihren weiteren Ausbildungsgang und auch zur Zuchterlaubnis eine offizielle HD-Beurteilung benötigen. Um möglichst schnell mit der Ausbildung und Zucht beginnen zu können, nutzen die meisten Besitzer den frühesten Termin zur HD-Untersuchung (beim DSH im Alter von 12 Monaten).

Die Auswertbarkeit der Röntgenbilder liegt mit 87,72% in der Größenordnung der Untersuchung von WINKLER (84,1%, 1985). Der hohe Anteil von nicht auswertbaren Rüdenaufnahmen lässt sich jedoch schwer erklären. Es gibt zwar einige wenige (11) Überlagerungsprobleme mit dem Penisknochen, aber dies begründet nicht diesen Unterschied. Rüden sind in der Regel größer als Hündinnen, was eine Erklärung für den großen Anteil an Lagerungsmängeln (252) beim Rüden sein kann. Es ist bei der HD-Untersuchung wichtig die Kniegelenke und das Becken abzubilden, was bei sehr großen Rüden nicht immer auf einem 30 cm x 40 cm Röntgenfilm möglich ist. Da die Kniegelenke ein wichtiges Indiz für die Innenrotation und Streckung der Hintergliedmaßen bei der Lagerung der Tiere sind, wird eher ein Stück des Beckens nicht abgebildet, als dass die Kniegelenke nicht vollständig erkennbar sind. Es zeigen auch sehr viele Aufnahmen von Rüden (169) technische Mängel (Fehlbelichtung, Entwicklungsfehler usw.), wogegen bei Hündinnen nur wenige (29) auftraten. Diese Differenz lässt sich nicht durch das unterschiedliche Geschlecht oder Gewicht und Größe begründen. Aus anderen vorangegangenen Studien sind keine Zahlen zur Auswertbarkeit bekannt.

Geschlecht und Alter des Tieres sind in dieser Studie ohne Einfluss auf die Veränderungen im Lumbosakralbereich. Weder die Geschlechtsprädisposition für Rüden dargestellt von ZIEGLER (1989) noch das vermehrte Auftreten von LÜW bei weiblichen Labrador Retrievern (MORGAN et al., 1999) lässt sich in dieser Studie nachvollziehen.

Ein Einfluss des Alters ist nicht zu erwarten, da die Anlage der einzelnen Wirbel schon pränatal abgeschlossen ist. Die späte Fusion des Kreuzbeins beim Hund und der frühe Arbeitseinsatz vom DSH könnte durchaus zu Fusionsstörungen und somit Übergangswirbeln führen.

Um diese Vermutung zu bestätigen, benötigt man jedoch Röntgenaufnahmen bzw. Wirbelsäulenpräparate von Hunden, die jünger sind als ein Jahr und Verlaufsstudien.

Die Untersuchung ergibt einen weit höheren Anteil an LÜW (28,96%) als in den meisten vergleichbaren Arbeiten (MORGAN, 1968; LARSEN, 1977; WINKLER, 1985; ZIEGLER, 1989; MORGAN, 1999 b).

Der DSH zeigt bei allen Autoren ein überproportional hohes Auftreten von LÜW. Dies alleine erklärt jedoch nicht den großen Unterschied der Ergebnisse.

MORGAN et al. (1993) finden in einer Veröffentlichung bei DSH mit CES einen Anteil von 38% lumbosakraler Übergangswirbel, wogegen bei DSH ohne CES nur in 11% der Fälle ein lumbosakraler Übergangswirbel vorliegt.

Die Arbeit von LARSEN (1977) ist vom Umfang des Datenmaterials mit 24463 untersuchten Röntgenaufnahmen zwar sehr breit angelegt, aber ihm liegen nur die HD-Befundbögen vor, die er mittels Computeranalyse auf Nebenbefunde überprüft. Bei der HD-Untersuchung ist der wichtigste Gesichtspunkt die Form der Hüftgelenke und so achtet nicht jeder Gutachter auf den lumbosakralen Übergang. Veränderungen im Sinne eines isolierten PS S1 sind unter diesen Umständen leicht zu übersehen.

Für den Unterschied zu den anderen Studien gibt es keine eindeutige Erklärung.

WINKLER (1985) findet beim DSH 11,1% LÜW. Er definiert verschiedene Formen der Lumbalisation und Sakralisation. Die Form der Lumbalisation A entspricht weitgehend der Form des isolierten PS S1 und ist am häufigsten vertreten. Genaue Zahlen werden nicht angegeben. Das zusätzliche Kriterium der deutlichen Unterteilung der kranialen Kreuzbeinkontur in Gelenk- und Querfortsatzanteil schränkt diese Gruppe jedoch weiter ein als die Definition des isolierten PS S1. Ob diese Einschränkung ausreicht den Unterschied von fast 18 Prozentpunkten zu erklären, lässt sich ohne genaue Zahlenangaben nicht nachvollziehen.

Das Datenmaterial stammt aus dem Jahrgang 1976 und liegt somit ca. 15-18 Zuchtdurchläufe vor dem hier verwandten Material, aber ein so starker Anstieg der LÜW ist in der kurzen Zeit nicht zu erwarten.

Ähnlich verhält es sich mit der Arbeit von ZIEGLER (1989). Sie arbeitet die einzelnen Formen des LÜW akribisch auf. Sie findet beim DSH insgesamt 16% LÜW. Die Form des isolierten PS S1 wird nicht speziell benannt. Das von ZIEGLER (1989) verwendete Material stammt aus den Jahren 1985-1988 und ist somit nur wenige Jahrgänge älter als das in diesen Untersuchungen genutzte. Auch hier lässt sich keine klare Erklärung für den deutlichen Unterschied in der Häufigkeit angeben.

Bei asymmetrischen Übergangswirbeln werden in dieser Arbeit als Ursache der Asymmetrie etwa zu gleichen Teilen Veränderungen der Querfortsätze (56,2%) und der ventralen Seitenteile (43,8%) gefunden. Vergleichbare Angaben fehlen bei anderen Autoren.

Über ein Drittel (36,64%) der Röntgenbilder zeigt einen SÜW. Der Anteil liegt bei Tieren ohne LÜW bei 28,61% und bei Hunden mit LÜW bei 56,40%.

BREIT und KÜNZEL (1998) haben bei 37 von 228 Wirbelsäulenpräparaten eine von der Norm abweichende Wirbelanzahl in den einzelnen Segmenten festgestellt. Vier (57,14%) der Hunde mit LÜW zeigen eine Sakralisation des ersten Schwanzwirbels. Bei 19 Tieren ohne LÜW wird jeweils ein Kreuzbein bestehend aus 4 Wirbeln, entstanden durch die Fusion mit dem ersten Schwanzwirbel, gefunden.

MORGAN (1999 b) findet in einer Studie bei 60,8% der Tiere mit LÜW gleichzeitig auch einen SÜW.

Der große Anteil an SÜW bestätigt die These, dass die Häufigkeit von Übergangswirbeln nach kaudal zunimmt.

Ohne die gesamte Ansicht der Wirbelsäule lässt sich eine kopf- oder steißwärts gerichtete Tendenz nicht ablesen.

Das häufige gemeinsame Auftreten von LÜW und SÜW zeigt dennoch, dass es sich bei Übergangswirbeln nicht nur um ein auf einen Wirbel lokalisiertes Phänomen handelt, sondern die Übergangswirbel auch als Merkmal einer Verschiebung der einzelnen Wirbelsäulenabschnitte anzusehen sind.

Bei 11,26 % der Wirbelsäulen mit LÜW ist die Anzahl der Kreuzbeinwirbel reduziert (8,5%) oder erhöht (2,76%). Im Vergleich dazu zeigen in der Studie von BREIT und KÜNZEL (1998) 20 Tiere (8,7%) vier Kreuzbeinwirbel und ein Tier (0,4%) zwei Kreuzbeinwirbel. Als zusätzlicher vierter Kreuzbeinwirbel werden in der vorliegenden Arbeit nur jene angesehen, die komplett mit dem Kreuzbein verschmolzen sind.

Sobald die Querfortsätze des ersten Schwanzwirbels isoliert sichtbar sind oder eine Aufhellungslinie die Grenze zwischen den Wirbelkörpern markiert, werden die Wirbel als allein stehender Übergangswirbel definiert.

Aber auch hier ist ohne Kenntnis der gesamten Wirbelsäule nicht zu unterscheiden, ob ein Lenden- oder ein Schwanzwirbel zum Kreuzbein hinzugetreten ist oder sich der erste oder letzte Kreuzbeinwirbel gelöst hat.

Als Beispiel kann man eine Wirbelsäule mit LÜW und SÜW und einem aus zwei Wirbeln bestehenden Kreuzbein nehmen. Es kann eine steißwärts gerichtete Verschiebung, bestehend aus einer inkompletten Sakralisation des letzten Lendenwirbels und einer kompletten Herauslösung des letzten Kreuzbeinwirbels, sein oder die Verschiebung ist kopfwärts gerichtet und es liegt eine komplette Lumbalisation des ersten Kreuzbeinwirbels mit unvollständiger Annäherung des ersten Schwanzwirbels an das Kreuzbein vor.

In einigen Arbeiten wird untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen HD und LÜW besteht (LARSEN, 1977; WINKLER, 1985; ZIEGLER, 1989; TELLHELM und BRASS, 1994).

LARSEN (1977) kann in seiner Computeranalyse von 24643 HD-Befundbögen von 57 verschiedenen Hunderassen kein vermehrtes Auftreten von HD bei Hunden mit LÜW feststellen. Er weist jedoch darauf hin, dass einseitige Übergangswirbel mit Kontaktaufnahme zum Becken eine orthograde Lagerung zur HD-Diagnostik erschweren und für die Einstufung eines Gelenkes als dysplastisch verantwortlich sein könnten.

WINKLER (1985) unterteilt sein Datenmaterial nach Rassen. Neben dem DSH sind noch Boxer, Cocker Spaniel, Bobtail, Leonberger, sibirischer Husky, Airedale Terrier und in kleinerer Anzahl Alaskan Malamute, Samojede und Rhodesian Ridgeback vertreten. Mittels Chi²-Test wird eine Beziehung zwischen HD und LÜW überprüft.

Als HD-frei bezeichnet WINKLER (1985) alle Tiere, die als HD-frei oder HD-Übergangsform eingestuft werden. Er wählt diese Einteilung, da eine Abstufung zwischen HD-frei und HD-Übergangsform unter Umständen recht schwierig ist, jedoch seiner Meinung nach ein deutlicher Unterschied zwischen HD-Übergangsform und leichter HD besteht. Lediglich beim Boxer kann ein signifikantes Ansteigen des HD-Grades bei vorliegendem LÜW festgestellt werden.

Als Ursache dieses Zusammenhangs sieht er die veränderten Druckverhältnisse im Bereich der Kreuzdarmbeingelenke, die durch das Vorkommen eines LÜW entstehen. Durch ihre „ventralen“ Seitenteile verändern insbesondere asymmetrische LÜW die statischen Verhältnisse im Bereich des Beckenrings und in Folge dessen auch in den Hüftgelenken. Dies kann sich sekundär zu einer stärker ausgeprägten Koxarthrose entwickeln. Diese arthrotischen Veränderungen führen wiederum zu einer schlechteren Einstufung bei der HD-Beurteilung.

ZIEGLER (1989) beurteilt bei allen Hunden und Katzen mit LÜW die Hüftgelenke. Besonders wird nach Koxarthrosen auf der Röntgenaufnahme des Beckens im ventrodorsalen Strahlengang gesucht. Sie entwickelt zur objektiveren Einschätzung ein eigenes Koxarthrosebewertungssystem.

Die Auswertung wird für Hunde jünger als ein Jahr und älter als ein Jahr getrennt durchgeführt. 73% der Hunde mit LÜW zeigen eine Koxarthrose. Aufgeteilt nach Alter sind es jedoch nur 27% der Hunde unter einem Jahr und 82% der Tiere über einem Jahr. Es ist fraglich, ob sich die Koxarthrosen in diesem Fall auf den LÜW zurückführen lassen oder doch mehr altersbedingt sind. Eine weitere Aufschlüsselung nach symmetrischen und asymmetrischen LÜW zeigt beim jungen Hund ein etwa zweifach höheres Auftreten von Koxarthrosen bei asymmetrischen LÜW. Beim älteren Hund sind die Koxarthrosen bei beiden Formen des LÜW gleich häufig. Bei der symmetrischen Form des LÜW sind die Arthrosen in 71% der Fälle beiderseits gleich stark ausgeprägt, wogegen bei asymmetrischen LÜW die Arthrosegrade in 60% der Fälle in beiden Hüftgelenken unterschiedlich waren. Einen Seitenbezug zwischen asymmetrischem LÜW und Koxarthrose wird nicht genannt.

In einem Fallbeispiel zeigen TELLHELM und BRASS (1994) einen zweijährigen DSH mit einem asymmetrischen LÜW zusammen mit einer einseitig ausgeprägten Koxarthrose.

Die Koxarthrose zeigt sich auf der Seite mit der durch den Seitenanteil des LÜW vergrößerten Ileosakralgelenksfläche. Ein direkter Zusammenhang zwischen der Arthrose und dem Vorliegen eines LÜW kann nicht bewiesen werden.

OWENS (1989) sieht das der größeren Ileosakralgelenksfläche gegenüber liegende Hüftgelenk als arthrosegefährdeter an.

In der vorliegenden Arbeit werden ebenfalls die HD-Befunde mit ausgewertet und auch bei unterschiedlichen HD-Graden der beiden Hüftgelenke die Seite mit dem schlechteren HD-Grad aufgezeichnet.

Die geringen Unterschiede der HD-Grade in den Gruppen der Tiere mit LÜW und ohne LÜW zeigen sich als nicht signifikant. Auch eine Unterscheidung in die einzelnen LÜW-Formen ergibt keine signifikanten Unterschiede in den HD-Graden der Tiere. Bei asymmetrischen LÜW wird im Vergleich zu den Tieren ohne LÜW oder mit symmetrischen LÜW kein signifikant höheres Auftreten von einseitiger HD nachgewiesen. Liegen einseitige HD-Befunde zusammen mit asymmetrischen Übergangswirbeln vor, so zeigt sich eine Tendenz, dass das Hüftgelenk auf der Seite der größeren Kontaktfläche zwischen Kreuzbein und Übergangswirbel das schlechtere ist. Statistisch lässt sich diese Tendenz aufgrund der geringen Anzahl der Tiere (22) nicht absichern.

Die Unterschiede der einzelnen Untersuchungen im Hinblick auf einen Zusammenhang des LÜW und der HD lassen sich vielleicht dadurch erklären, dass in manchen Studien das Datenmaterial hauptsächlich aus Aufnahmen zur HD-Diagnostik und somit aus Bildern von sehr jungen Tieren besteht und in anderen Studien Tiere jeden Alters gleich vertreten sind. Koxarthrosen durch Fehlbelastung der Hüftgelenke in Folge einer Schrägstellung durch asymmetrische LÜW treten wahrscheinlich erst später im Leben des Hundes auf. Im Wachstum kann er diese Asymmetrie vor allem durch sein leichteres Gewicht und den geschmeidigeren Bänder- und Sehnenapparat sowie die gut ausgebildete Muskulatur kompensieren. LÜW beeinflussen direkt weniger die Hüftgelenke als die Kreuzdarmbeingelenke und das Lendenkreuzbeingelenk.

Die Heritabilitätsberechnung findet mittels einer einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) statt. Zu beachten gilt, dass die Studie an einem vorselektierten Datenmaterial stattfindet. Hunde, die schon in früher Jugend Probleme in der Hinterhand aufweisen oder bei einem durchgeführten Vorröntgen mit sechs bis neun Monaten schon deutliche Hinweise auf eine HD gezeigt haben, erscheinen oft nicht zu offiziellen HD-Untersuchungen. Ebenso werden nicht alle Aufnahmen von Tieren mit schlechten Hüftgelenken zur Beurteilung eingesandt.

Die durchschnittliche Gruppengröße der Muttertiere ist mit etwa 1,7 Nachkommen sehr klein. Nur sehr wenige Muttertiere haben mehr als drei Welpen. Der weitaus größte Teil hatte sogar nur einen Welpen, was die Information des Muttertieres gleich dem des Welpen stellt. Durch Einbeziehung der Muttertiere findet somit nur scheinbar eine weitere Streuung des Datenmaterials statt. Aus diesem Grund wird auf ein hierarchisches Modell verzichtet.

Bei den Vatertieren ist die durchschnittliche Gruppengröße mit 4,7 Nachkommen weitaus höher und lässt sich besser zu statistischen Analysen heranziehen. Im Vergleich zur Heritabilität des HD-Grades im gleichen Datenmaterial, lässt sich belegen, dass der genotypische Anteil an der Variation LÜW in der Größenordnung von dem der HD liegt (20-30%). Die weitere Aufteilung in die drei LÜW-Formen ergibt sogar noch eine höhere Heritabilität.

Der etwa gleich hohe genotypische Anteil bei HD und LÜW, zeigt, dass auch beim LÜW zuchthygienische Maßnahmen zu einer Verringerung der Inzidenz führen können. Wie mehrfach in der Literatur erwähnt, ist der LÜW als mögliche Ursache für CES, Lahmheiten der Hinterhand und Koxarthrosen anzusehen. Ein vermindertes Auftreten der LÜW könnte so auch zu einer Reduktion dieser Krankheitsbilder führen.

6. Zusammenfassung

Thema dieser Arbeit ist es die lumbosakralen Übergangswirbel (LÜW) beim Deutschen Schäferhund (DSH) in Formen einzuteilen und ihre Häufigkeit zu bestimmen. Über die Vätertiere wird die Heritabilität für das Merkmal LÜW geschätzt. Der Literaturteil gibt einen Überblick über die Biomechanik des lumbosakralen Übergangs und das Schrifttum zum LÜW. Besondere Beachtung finden hierbei die Häufigkeit des LÜW bei den einzelnen Rassen, die Untersuchungsmethoden der Autoren und der Einfluß des LÜW auf die Hüftgelenksdysplasie (HD) und das Cauda equina Kompressionssyndrom (CES).

An 5000 HD-Röntgenaufnahmen von DSH mit Zuchtbuchnachweis wird die Häufigkeit von LÜW bestimmt. Das Vorliegen eines LÜW wird in Korrelation zum HD-Grad gebracht, mit besonderer Beachtung der asymmetrischen LÜW.

Die Auswertung von HD-Aufnahmen ermöglicht es LÜW beim Hund zu diagnostizieren. Technische, Lagerungs- oder Überlagerungsfehler lassen bei einem Teil der Aufnahmen (12,28%) keine klare Beurteilung der lumbosakralen Region zu.

Es wird ein höherer Anteil an LÜW (28,96%) festgestellt als in der Literatur bisher angegeben wurde. Den Großteil der LÜW bildet die Form des isolierten PS S1 (78% der LÜW), ausgeprägte symmetrische (12%) und asymmetrische (10%) LÜW sind etwa gleich häufig vertreten.

Weder Alter noch Geschlecht haben einen Einfluß auf das Auftreten eines LÜW.

Das Vorliegen eines LÜW ist keine Prädisposition für HD. Es zeigte sich aber eine Tendenz, dass bei einem asymmetrischen LÜW das Hüftgelenk der Seite mit dem geringeren Kontakt zwischen dem LÜW und dem Becken häufiger das schlechtere ist. Statistisch ist die Anzahl der Fälle jedoch zu gering, um eine Signifikanz zu erarbeiten.

Mit Hilfe der Vätertiere konnte eine Heritabilitätsschätzung für das Merkmal LÜW durchgeführt werden. Das Ergebnis wurde mit einer Schätzung des HD-Grades im gleichen Datenmaterial verglichen. Die F-Werte der einfaktoriellen Varianzanalyse (ANOVA) lagen bei beiden Merkmalen etwa gleich (LÜW: 1,405; HD: 1,357), was auf einen Anteil der genotypischen Varianz von etwa 20-30% schließen lässt.

Dieses Ergebnis ermöglicht zuchthygienische Maßnahmen zur Reduzierung von LÜW beim DSH, was vor allem im Hinblick auf eine mögliche Korrelation zwischen LÜW und CES von Bedeutung sein kann. Diese Korrelation muss aber noch durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

7. Summary

The aim of this thesis is the description of different types of lumbosacral transitional vertebral segments (LTVS) and their frequency in German Shepherd Dogs (GSD) whereby the heritability of the criterium LTVS is estimated by referring to the pedigree.

The frequency of LTVS in different breeds, the research methods of other authors and the influence of LTVS on canine hip dysplasia (CHD) and cauda equina syndrom (CES) are reflected.

On 5000 ventrodorsal hip-radiographs of GSD with complete pedigree the frequency of LTVS is determined. The correlation between LTVS and the degree of CHD is taken into special consideration.

It is possible to use hip-radiographs to diagnose LTVS in dogs. Technical and positioning failures or artifacts by faeces make it difficult to judge the lumbosacral region in some radiographs (12,28%)

In this study a greater amount of LTVS (28,96%) is found compared to other authors. The isolated spinous process of the first sacral segment (78%) represents the largest amount of LTVS. The amount of symmetrical (12%) and asymmetrical (10%) LTVS is compareable.

Age and gender have no influence on LTVS.

There is no positive relationship between LTVS und CHD. Nevertheless, looking at dogs with asymmetrical LTVS one can see a tendency for a higher score of CHD on the side of the smaller contact between LTVS and the hip. But the number of cases is to small to have a statistical significance.

The estimation of heritability for the criterium LTVS can be evaluated by using the pedigree (sires). The result is compared to the estimated heritability CHD in the same population.

The one-factor-analysis of variance (anova) shows almost the same numbers for both criteriums (LTVS and CHD). The range of the genotypic variance is between 20%-30%.

The results of this study present a basis for a selected breeding to reduce the frequency of LTVS in GSD. This may be important, if a correlation between LTVS an CES will be approved in further studies.

8. Literaturverzeichnis

Bailey, C.S. (1975)

An embryological approach to the clinical significance of congenital vertebral and spinal cord abnormalities

J. Am. Anim. Hosp. Assoc., 11, 426-434

Bailey, C.S.; Morgan. J.P. (1983)

Diseases of the spinal cord, 2nd edition, 532-607

Textbook of veterinary internal medicine, Ettinger

W.B. Saunders Company, Philadelphia and London

Barone, R. (1976)

Anatomie comparée des Mammifères domestiques

Tomme I: Osteologie Texte et Atlas

Vigor Edition, Paris

Barthez, P.Y.; Morgan, J.P.; Lipsitz, D. (1993)

Discography and epidurography for evaluation of the lumbosacral junction in dogs with cauda equina syndrome

Vet. Radiol. Ultrasound 35 (3), 152-157

Blumensaat, C.; Clasing, C. (1932)

Anatomie und Klinik der lumbosakralen Übergangswirbel (Sakralisation und Lumbalisation)

Ergeb. Chir. Orthop. 25,1, 1-59

Bolk, L.; Göppert, E.; Kallius, E.; Lubosch, W. (1967)

Handbuch der vergleichenden Anatomie der Wirbeltiere. Vierter Band, 1-144.

A. Asher & Co, Amsterdam

Breit, S.; Künzel, W. (1998)

Osteologische Besonderheiten an Wirbelsäulen von Rassehunden: eine röntgenologische und morphologische Studie
Wien. Tierärztl. Mschr. 85, 340-350

Breit, S.; Künzel, W. (2001)

Breed specific osteological features of the canine lumbosacral junction
Ann. Anat. 183, 151-157

Breit, S.; Knaus, I.; Künzel, W. (2002)

Use of routine ventrodorsal radiographic views of the pelvis to assess inclination of the wings of the sacrum
AVJR 3 (9), 1220-1225

Breit, S.; Künzel, W. (2002)

The diameter of the vertebral canal in dogs in cases of lumbosacral transitional vertebrae or numerical vertebral variations
Anat. Embryol. 205, 123-133

Breit, S.; Knaus, I.; Künzel, W. (2003)

The gross radiographic appearance of sacroiliac ankylosis capsularis ossea in the dog.
Res. Vet. Sci. 74, 85-92

Bürger, R.; Lang, J. (1992)

Kinetische Studie über die Lendenwirbelsäule und den lumbosakralen Übergang beim Deutschen Schäferhund
Teil 1: Funktionelle Anatomie und kinetische Grundlagen
Schweiz. Arch. Tierheilk. 134, 411-416

Bürger, R.; Lang, J. (1993)

Kinetische Studie über die Lendenwirbelsäule und den lumbosakralen Übergang beim Deutschen Schäferhund

Teil 2: Eigene Untersuchungen

Schweiz. Arch. Tierheilk. 135, 35-43

Clara, M. (1966)

Entwicklungsgeschichte des Menschen 6. Aufl.

Thieme, Leipzig, 37

Dämmrich, K. (1981)

Zur Pathologie der degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule bei Hunden

Kleintierpraxis 26, 467-476

Danielsson, F.; Sjöström, L. (1999)

Surgical treatment of degenerative lumbosacral stenosis in dogs

Vet. Surg. 28, 91-98

Dyce, K.M.; Sack, W.O.; Wensing, C.J.G. (1991)

Kapitel 12: Hals, Rücken und Wirbelsäule der Fleischfresser

In: Dyce, K.M.; Sack, W.O.; Wensing, C.J.G.: Anatomie der Haustiere, 434-440

Enke Verlag, Stuttgart

Feeney, D.A.; Evers, P.; Fletcher, T.F.; Hardy, R.M.; Wallace, L.J. (1996)

Computed tomography of the normal canine lumbosacral spine: a morphologic perspective

Vet. Radiol. Ultrasound 37, 399-411

Flückiger M. (1993)

Radiologische Kriterien zur HD-Klassifizierung beim Hund, leicht modifiziert, Stand 12/03

Kleintierpraxis 38, 693-702

Frenkel, F. (1873)

Beiträge zur anatomischen Kenntnis des Kreuzbeines der Säugethiere

Jena. Zschr. Med. Naturw. 7, 391-437

Gegenbaur, C. (1873)

Zur Bildungsgeschichte lumbosakraler Übergangswirbel

Zschr. Med. Naturw. 7, 438-440

Gembardt, C. (1974)

Spondylarthropathia deformans der Kreuzdarmbeingelenke und ihre Beziehung zur Spondylopathia deformans des Lumbosakralgelenkes

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 87, 432-437

Grussendorf, H. (1991)

Therapie der lumbosakralen Malartikulation durch Arthrodese der kleinen Wirbelgelenke

Kleintierpraxis 36, 501-504

Hanna, F.Y. (2001)

Lumbosacral osteochondrosis: radiological features and surgical management in 34 dogs

J. Small Anim. Pract. 42, 272-278

Henninger, W.; Werner, G. (2002 a)

CT-Untersuchung des lumbosakralen Übergangs von Hunden in Extension und Flexion; Teil I: Knochenfenster

Wien. Tierärztl. Mschr. 89, 142-151

Henninger, W.; Werner, G. (2002 b)

CT-Untersuchung des lumbosakralen Übergangs von Hunden in Extension und Flexion; Teil II: Weichteilfenster

Wien. Tierärztl. Mschr. 89, 220-226

Herling, A. (1996)

Beckenring-Anomalie am kaudalen Ende des Kreuzdarmbeingelenkes (Articulatio sacroiliaca) bei den Rassen Boxer, Berner Sennenhund und Bernhardiner
Inaugural-Dissertation, Gießen

Jaggy, A.; Lang, J.; Schawalder, P. (1987)

Cauda equina-Syndrom beim Hund
Schweiz. Arch. Tierheilk. 129, 171-192

Janssens, L.A.A.; Moens, Y.; Coppens, P. ; Peremans, K. ; Vinck, H. (2000)

Lumbosacral degenerative stenosis in the dog
Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 13, 97-103

Jones, J.C.; Inzana, K.D. (2000)

Subclinical CT abnormalities in the lumbosacral spine of older large-breed dogs
Vet. Radiol. Ultrasound 41, 19-26

Jones, J.C.; Banfield, C.M.; Ward, D.L. (2000)

Association between postoperative outcome and results of magnetic resonance imaging and computed tomography in working dogs with degenerative lumbosacral stenosis
J. Am. Vet. Med. Assoc. 216, 1769-1774

Junghanns, H. (1939)

Die Pathologie der Wirbelsäule, 270-279
In: Lubarsch, O. und Henke, F.: Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie und Histologie
Springer Verlag, Berlin

Junghanns, H.; Schmorl, G. (1957)

Die gesunde und die kranke Wirbelsäule in Röntgenbild und Klinik
Thieme Verlag, Stuttgart

Kealy, J.K. (1991)

Röntgendiagnostik bei Hund und Katze, 2. Aufl., 435-473

Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Kim, N.H.; Suk, K.S. (1997)

The role of transitional vertebrae in spondylosis and spondylolytic spondylolisthesis

Bull. Hosp. Joint Diseases 56, 161-166

König, H.E.; Liebich, H.-G. (1999)

Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis

Band I Bewegungsapparat, 29-98

Schattauer Verlag, Stuttgart und New York

Köppel, E.; Rein, D. (1992)

Die lumbosakrale Instabilität: Ein Beitrag zum Cauda equina-Kompressionssyndrom des Hundes

Tierärztl. Prax. 20, 637-645

Kusch, H. (1983)

Das Achsenskelett des Dackels (Dachshundes, Teckels)

Inaugural-Dissertation, München

Lang, B. (1972)

Bewegungsmessungen an der Wirbelsäule von Hund und Katze

Inaugural-Dissertation, Gießen

Lang, J. (1989)

Flexion-extension myelography of the canine cauda equina

Schweiz. Arch. Tierheilk. 131, 287-298

Lang, J. ; Jaggy, A. (1989)

Die Röntgenuntersuchung der Cauda equina des Hundes

Schweiz. Arch. Tierheilk. 131, 299-309

Lang, J. (1993)

Die Kauda equina Kompression des Hundes. Ein Beitrag zur Röntgenuntersuchung und Pathogenese
Habilitationsschrift, Bern

Lang, J. (2003)

Tropismus der kleinen Wirbelgelenke beim Deutschen Schäferhund
Vortrag Röntgenfachtagung, Freudenstadt 2003

Larsen, J.S. (1977)

Lumbosacral transitional vertebrae in the dog
J. Am. Vet. Radiol. Soc. 18, 76-79

Linn, L.L.; Bartels, K.E.; Rochat, M.C.; Payton, M.E.; Moore, G.E. (2003)

Lumbosacral stenosis in 29 military working dogs: epidemiologic findings and outcome after surgical intervention (1990-1999)
Vet Surg. 32, 21-29

Mattoon, J.S.; Koblik, P.D. (1993)

Quantitative survey radiographic evaluation of the lumbosacral spine of normal dogs and dogs with degenerative lumbosacral stenosis
Vet. Radiol. Ultrasound 34, 194-206

Mayhew, P.D.; Kapatkin, A.S.; Wortman, J.A.; Vite, C.H. (2002)

Association of cauda equina compression on magnetic resonance images and clinical signs in dogs with degenerative stenosis
J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 38, 555-562

Michel, G. (1983)

Kompendium der Embryologie der Haustiere, 3. Aufl., 274-281
Gustav Fischer Verlag, Stuttgart

Morgan, J.P. (1968)

Congenital anomalies of the vertebral column of the dog: a study of the incidence and significance based on a radiographic and morphologic study
J. Am. Vet. Radiol. Soc. 9, 21-29

Morgan, J.P.; Bailey, C.S. (1990)

Cauda equina syndrom in the dog: radiographic evaluation

J. Small Anim. Pract. 31, 69-77

Morgan, J.P.; Bahr, A.; Franti, C.E.; Bailey, C.S. (1993)

Lumbosacral transitional vertebrae as a predisposing cause of cauda equina syndrom in German Shepherd Dogs: 161 cases (1987-1990)

J. Am. Vet. Med. Assoc. 202, 1877-1882

Morgan, J.P. (1999 a)

Radiology of veterinary orthopedics: features of diagnosis

Chapter IV: Radiographic diagnosis of disease in the spine, second edition, 237-270

Venture Press, Napa, California, USA

Morgan, J.P. (1999 b)

Transitional lumbosacral vertebral anomaly in the dog: a radiographic study

J. Small Anim. Pract. 40, 167-172

Morgan J.P.; Wind, A.; Davidson, A.P. (1999)

Bone dysplasias in the Labrador Retriever: a radiographic study

J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 35, 332-340

Morgan, J.P.; Wind, A.; Davidson, A.P. (2000)

Hereditary bone and joint diseases in the dog: osteochondrosis, hip dysplasia, elbow dysplasia

Chapter 6: Lumbosacral disease, 209-229

Schlüttersche Verlag, Hannover

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

Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band I, 6. Auflage

Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg, 28-53, 221-228, 257-260, 555-585

Oliver, J.E.; Selcer, R.R.; Simpson, S. (1978)

Cauda equina compression from lumbosacral malarticulation and malformation in the dog

J. Am. Vet. Med. Assoc. 173, 207-214

Owens, J.M. (1989)

Röntgenbildinterpretation für den Kleintierpraktiker, 67-84

Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

Ramirez, O.; Thrall, D. (1998)

A review of imaging techniques for canine cauda equina syndrom

Vet. Radiol. Ultrasound 39, 283-296

Rosenberg, E. (1907)

Bemerkungen über den Modus des Zustandekommens der Regionen an der Wirbelsäule des Menschen

Morph. Jahrbuch 36, 609-659

Schmid, V.; Lang, J. (1993)

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

J. Small Anim. Pract. 34, 437-442

Schnorr, B. (1989)

Embryologie der Haustiere, 2. Auflage, 202-210

Ferdinand Enke Verlag Stuttgart

Schultz, V.A.; Watson, A.G. (1995)

Lumbosacral transitional vertebra and thoracic limb malformations in a Chihuahua puppy

J. Am. Anim. Hosp. Assoc. 31, 101-105

Simoens, P.; DeVos, N.R.; Nauwers, H.; Nicaise, M. (1983)

Numerical vertebral variations and transitional vertebrae in the goat

Anat. Histol. Embryol. 12, 97-103

Sinowatz, F. (1991)

Die Wirbelsäule, 383-385

In: Rüsse, I. und Sinowatz, F.: Lehrbuch der Embryologie der Haustiere

Paul Parey Verlag, Berlin und Hamburg

Slijper, E.J. (1946)

Comperative Biological-Anatomical Investigations on the Vertebral Column and Spinal Musculature of Mammals

Ver. kon. ned. Anat. Wet. 42/5, 1-128

Slocum, B.; Devine, T. (1986)

L7/S1 fixation-fusion for treatment of cauda equina compression in the dog

J. Am. Vet. Med. Assoc. 188, 31-35

Starck, D. (1979)

Die Wirbelsäule

In: Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere auf evolutionsbiologischer Grundlage.

Das Skelettsystem (2), 44-98

Springer, Berlin

Stieve, H. (1921)

Bilaterale Asymmetrien im Bau des menschlichen Rumpfskelettes

Z. Anat. Entwicklungsgesch. 60, 307-409

Tacke, S.; Schimke, E.; Kramer, M.; Gerwing, M.; Farag, K.; Tellhelm, B. (1997)

Klinische, röntgenologische, operative und postoperative Befunde beim Cauda equina-Kompressionssyndrom des Hundes

Kleintierpraxis 42, 387-405

Tarvin, G.; Prata, R.G. (1980)

Lumbosacral stenosis in dogs

J. Am. Vet. Med. Assoc. 177, 154-159

Tellhelm, B.; Brass, W. (1994)

Fallbeispiele zur HD-Beurteilung-Sakralisation

Kleintierpraxis 39, 281-282

Vollmerhaus, B.; Frewein, J.; Roos, H.; Knospe, C. (1994)

Kapitel 2 : Skelett, 4-52

In: Frewein, J. und Vollmerhaus, B.: Anatomie von Hund und Katze

Blackwell Wissenschaftsverlag, Berlin

Walla jun., L. (1986)

Die Kompression der Cauda equina beim Hund

Kleintierpraxis 31, 315-322

Watt, P.R. (1991)

Degenerative lumbosacral stenosis in 18 dogs

J. Small Anim. Pract. 32, 125-134

Winkler, W. (1985)

Lumbosakrale Übergangswirbel beim Hund

Inaugural-Dissertation, Berlin

Winkler, W.; Löffler, K. (1986)

Lumbosakrale Übergangswirbel beim Hund

Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. 99, 343-346

Wright, J.A. (1980)

Spondylosis deformans of the lumbo-sacral joint in dogs

J. Small. Anim. Pract. 21, 45-58

Ziegler, G. (1989)

Assimilationsstörungen im lumbosakralen Übergangsbereich der Wirbelsäule bei Hund und Katze

Inaugural-Dissertation, München

Zohmann, A.; Fuchs, S. (2000)

Blockierung des Ileosakralgelenk; Ursachen, Klinik, Diagnose, Therapie

Kleintier Konkret 6, 11-15

Danksagung:

Herrn Prof. Dr. E. Schimke danke ich für die Überlassung des Themas und Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. M. Kramer danke ich für die weitere Betreuung und Korrektur der Dissertation.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. B. Tellhelm und Frau Dr. S. Schleich für die fachliche Betreuung der Arbeit und Ausbildung im Bereich der Radiologie.

Für die Hilfe bei der Heritabilitätsschätzung bedanke ich mich bei Dr. R. Beuing.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr. K. Failing von der Arbeitsgruppe Biomathematik und Datenverarbeitung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen für die Hilfe bei der statistischen Auswertungen dieser Arbeit bedanken.

Meiner Frau Anja danke ich für ihr Verständnis und ihre liebevolle Unterstützung und meinen Eltern dafür, dass sie mir dies alles ermöglicht haben.