

Aus der Chirurgischen Tierklinik
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchung der
Hufregion des Pferdes im Niederfeld-MRT**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Thomas Stöckl
aus Mainz

Leipzig, 2014

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Manfred Coenen

Betreuer: Prof. Dr. Walter Brehm

Gutachter: Prof. Dr. Walter Brehm,
Chirurgische Tierklinik,
Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Leipzig

Dr. Renate Weller,
Structure & Motion Laboratory
Royal Veterinary College University of London

Tag der Verteidigung: 28.1.2014

Für meine Familie

I	Inhaltsverzeichnis	
II	Abkürzungsverzeichnis	
1	Einleitung	1
2	Ergebnisse	3
2.1	Publikation 1	3
2.2	Publikation 2	31
3	Diskussion	54
3.1	Ziele der Arbeit	54
3.2	Auswahl der Patienten	55
3.3	Auswertung der einzelnen Strukturen	57
3.3.1	Strahlbein	57
3.3.2	Strahlbein-Hufbeinband	59
3.3.3	Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder	59
3.3.4	Tiefe Beugesehne	60
3.3.5	Bursa podotrochlearis	60
3.3.6	Hufgelenk	61
3.3.7	Ausdehnung der synovialen Räume	61
3.3.8	Seitenbänder des Hufgelenks	62
3.4	Schlussfolgerungen	63
3.4.1	Grenzen der Darstellung und Bewertbarkeit bestimmter Strukturen	63
3.4.2	Einschätzung geringgradiger Signalveränderungen	63
3.4.3	Verteilung der Befunde bei ein- oder beidseitig lahmen Pferden	64
3.5	Ausblick	64
4	Zusammenfassung	65
5	Summary	67
6	Literaturverzeichnis	69
7	Danksagung	77
8	Lebenslauf	78

Abkürzungsverzeichnis

3D	dreidimensional
AAEP	American Association of Equine Practitioners
Abb	Abbildung
BEVA	British Equine Veterinary Association
BML	bone marrow lesions
CS	Canales sesamoidales
DR	distaler Rand Strahlbein
EPS	Equines palmares Fußsyndrom
FF	Facies Flexoria
Fig	figure
FOV	field of view
FRO	Frontal
FSE	fast spin echo
GB	Gesamtbewertung
Gldm	Gliedmaßen
GRE	Gradienten-Echo
HG	Hufgelenksfläche
HHR	high high resolution
L	lahm
LC HG	Ligamentum collaterale des Hufgelenks
LSC	Ligamenta sesamoidea collateralia
LSDI	Ligamentum sesamoideum distale impar
MRT	Magnetresonanztomograph
NL	nicht lahm
PDW	Protonendichte-Gewichtung
PR	proximaler Rand Strahlbein
SB	Strahlbein
SE	spin echo
STIR	Short-Tau inversion recovery

Abkürzungsverzeichnis

T1w	T1 gewichtete
T2w	T2 gewichtete
Tab.	Tabelle
TBS	Tiefe Beugesehne
TE	time to echo
TR	time to repeat
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Die magnetresonanztomographische Untersuchung der distalen Gliedmaße des Pferdes hat in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Insbesondere bei Lahmheiten aus dem Hufbereich, die mittlerweile unter dem Begriff des Equinen palmaren Fußsyndroms (EPS) zusammengefasst werden, lassen sich bestimmte Strukturen mittels dieser Methode erst genau darstellen. So konnten neue umfassende Erkenntnisse auf diesem Gebiet gewonnen werden (DABAREINER und CARTER 2003; SCHNEIDER et al. 2008; RIJKENHUIZEN 2006; RIJKENHUIZEN 2008). Damit entsteht ein besseres Verständnis des EPS und es können wichtige Schlussfolgerungen für die klinische Lahmheitsdiagnostik gezogen werden. Wie bei allen bildgebenden Verfahren müssen Befunde, die durch neue Techniken erhoben werden, erst bezüglich ihrer klinischen Relevanz eingeordnet werden. Hierzu wird eine breite Anzahl an Untersuchungsergebnissen benötigt, um statistisch aussagekräftige Studien zu erstellen. Die deutlich gestiegenen Fallzahlen wurden durch die Untersuchung am stehenden Pferd mit der erhöhten Akzeptanz bei den Besitzern im Vergleich zur Diagnostik in Narkose erreicht (SILL 2011).

Um Parameter der klinischen Untersuchung mit den bildgebenden Befunden statistisch zu vergleichen, sind Befundbeschreibungen mit Gradeinstufungen notwendig. Da im Niederfeld-MRT aber bestimmte Schwierigkeiten und Grenzen bei der Beurteilung einiger Strukturen auftraten, konnten die bestehenden Schemata aus Hochfeld-MRT-Studien nicht einfach übernommen werden. In der ersten Veröffentlichung wurde deshalb auf der Grundlage histologischer Vergleiche und existierender Schemata (MURRAY et al. 2006b; DYSON et al. 2004; OLIVE 2010; DYSON et al. 2012) eine angepasste Befundbeschreibung zur Einstufung in vier Grade beschrieben.

Der klassische Begriff der Podotrochlose beschreibt eine meist bilaterale Erkrankung der Hufrolle (JACOBI 2006), wobei im EPS sowohl einseitige, als auch beidseitige Lahmheiten unterschiedlicher Ursachen beschrieben wurden (DABAREINER und CARTER 2003).

Bei der MRT-Untersuchung der Hufregion werden meist beide Vordergliedmaßen vergleichend untersucht. Daher liegt mittlerweile eine große Anzahl bilateraler

Untersuchungen vor und es konnte eine breitflächige statistische Auswertung in der zweiten Veröffentlichung durchgeführt werden. Die Zusammenhänge zwischen Signal- und Konturveränderungen im MRT-Bild und dem Auftreten von Lahmheiten wurden untersucht sowie die Verteilung bei bilateralen Untersuchungen statistisch ausgewertet und interpretiert. Damit sollten Rückschlüsse auf die Verteilung bestimmter Veränderungen und deren klinischer Relevanz gezogen werden.

2 Ergebnisse

2.1 Publikation 1

Publiziert in Pferdeheilkunde 29, 2013, 2: 191-201.

Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion im Niederfeld-MRT.

Teil 1: Befunde und Entwicklung eines Befundschemas

Comparative bilateral magnetic resonance imaging of the foot in low-field MRI.

Part 1: Findings and development of a grading system.

Thomas Stöckl¹, Thorben Schulze², Walter Brehm³, Kerstin Gerlach⁴

¹Tierklinik Binger Wald, ²Klinik für Pferde und Radiologie aus dem Fachbereich Veterinärmedizin der FU Berlin, ³Chirurgische Tierklinik der Universität Leipzig¹

Zusammenfassung

Magnetresonanztomographische Untersuchungen jeweils beider Vordergliedmaßen der Hufregion von 120 Pferden und somit 240 Gliedmaßen wurden beurteilt und ausgewertet. Alle vorgefundenen veränderten Strukturen sind in vier Grade eingestuft worden. Um diese Kategorien möglichst objektiv und nachvollziehbar zu gestalten, wurden bestimmte Kriterien für die Einstufung entwickelt. Diese sind das Resultat umfassender Literaturrecherche und Anpassung bestehender Schemata an das vorliegende Spektrum der von der physiologischen Darstellung abweichenden magnetresonanztomographische Befunde. Alle Kriterien wurden bis zum Konsens diskutiert und entsprechend angepasst, um diese praktisch anwendbar und vergleichbar zu gestalten. So ist die Beurteilung sehr dünner Strukturen, wie die der Facies flexoria des Strahlbeins, nur im Zusammenhang mit dem umliegenden Gewebe durchführbar. Bei anderen Merkmalen, wie der Ausdehnung von Hufgelenk und Bursa podotrochlearis, erwies sich das Kriterium Größe für die Beschreibung pathologischer Veränderungen wenig sinnvoll. Ergebnis ist eine für die Untersuchung

am stehenden Pferd angepasste einheitliche Befundbeschreibung. Sie erleichtert eine standardisierte MRT-Untersuchung der Hufregion.

Schlüsselwörter: MRT, Huf, Pferd, Podotrochlose, Equines Palmares Fußsyndrom, Sehne, Hufrolle, Hufgelenk, Tiefe Beugesehne

Summary

MR-images of the foot region from 240 limbs were assessed and evaluated. All structures were graded from 1-4. Classification criteria based on the range of deviations from physiological findings in accordance to present literature. The results revealed that some of those criteria had to be adjusted in comparison to previous studies in high-field MRI. For all defined criteria authors consensus had to be achieved. In particular, the assessment of certain very thin structures such as the Facies flexoria of the navicular bone is only practicable when the surrounding tissue is also interpreted in this context. Furthermore, expansion of the coffin joint and navicular bursa is not considered to be of direct pathological significance. Finally a scheme specifically created for low-field standing MRI could be developed. A standardized scheme for MRI-evaluation of the equine foot subsumes pathological findings under defined criteria and supports future investigations.

Keywords: MRI, foot, horse, palmar foot syndrome, navicular bone, coffin joint, Deep digital flexor tendon

Einleitung

Die magnetresonanztomographische Untersuchung (MRT) der Hufregion des Pferdes hat in den letzten Jahren Eingang in die bildgebende Diagnostik des Pferdes gefunden und wird zunehmend akzeptiert. Aufgrund der besseren Weichteildiagnostik im Vergleich zu anderen bildgebenden Methoden werden weitere Erkenntnisse zur Ätiologie und Pathogenese, insbesondere des Equinen Palmares Fußsyndroms (EPS), erwartet. Aufgrund der Vielzahl der abgebildeten Knochen- und

Weichteilstrukturen sowie unterschiedlicher Schnittebenen und Wichtungen ist die Beurteilung und Einstufung von MRT-Bildern allerdings in hohem Maße komplex. Sie beruht derzeit vorwiegend auf den individuellen Erfahrungen der auswertenden Personen (*Martinelli et al. 1996*). Die Einschätzung bestimmter Veränderungen variiert wie auch bei anderen Methoden (*Dyson 2008, Busoni et al. 2005 und Dyson et al. 2011*) beträchtlich. Es ist zu erwarten, dass sich ohne eine Systematisierung eine bedeutsame inter- oder sogar intraindividuelle Variation der Beurteilungen entwickelt, welche Unsicherheit schafft und den Wert dieser Untersuchungsmethoden infrage stellen könnte.

Um MRT-Befunde zu wichten und deren klinische Bedeutung beurteilen zu können, ist ein Schema zur Graduierung der Befunde wünschenswert. Für einige Untersuchungen mit Hochfeldgeräten am liegenden Tier wurden bereits Vorschläge für derartige Graduierungsschemata erarbeitet (*Murray 2006*). Eine detaillierte Definition für verschiedene Strukturen im Hufbereich sowohl im Hochfeld- als auch im Niederfeld-MRT findet man nur bei wenigen Autoren (*Murray 2006, Dyson et al. 2004, Olive et al. 2010, Dyson et al. 2012*). Es liegen Studien über Signalabweichung mittels Hochfeld-MRT mit histologischen Untersuchungen von Kadavergliedmaßen vor. Diese wurden nach einem dreistufigen Graduierungsschema beschrieben (*Murray et al. 2006*). Ein ähnliches Schema existiert für die Seitenbänder des Hufgelenks (*Dyson et al. 2004*).

Im Gegensatz zu den vorangegangenen Arbeiten sind für Knorpelbeurteilungen von *Olive et al. (2010)* ausschließlich Niederfeld-MRT-Untersuchungen von stehenden Pferden herangezogen worden.

Für relevante Strukturen im Bereich des Hufes liegen Korrelationen zwischen MRT- und histologischen Befunden vor (*Blunden et al. 2006a, Blunden et al. 2006b, Blunden 2009, Murray et al. 2006, Busoni et al. 2005 und Dyson 2012*). Allerdings lassen sich nicht alle Kriterien der Hochfeld-MRT-Untersuchungen aufgrund der unterschiedlichen Gewichtsbelastungen zwangsläufig auf die Niederfeld-Untersuchungsergebnisse übertragen. Auch die unterschiedliche Auflösung spielt dabei eine Rolle.

Das Ziel dieser Arbeit ist eine Strukturierung von MRT-Befunden des Hufes im Niederfeld-MRT am stehenden Pferd und die Erstellung einer Befundsammlung mit

Beschreibung für häufig auftretende Veränderungen. Es wurde kein Bezug zwischen Signalveränderungen und klinischen Parametern hergestellt.

Tiere und Methoden

Insgesamt wurden die Bilder von 120 Pferden und somit 240 Gliedmaßen ausgewertet. 95 Pferde waren Warmblüter, drei Englische Vollblüter, acht Quarter Horses, vier Paint Horses, vier Haflinger, ein Deutsches Reitpony, ein Carmargue Pferd, ein Dülmener, ein Andalusier, ein Connemara Pony und ein Appaloosa. Das Alter der Pferde lag zwischen drei und 23 Jahren mit einem Mittelwert von zehn Jahren. Es wurden 51 Stuten, acht Hengste und 61 Wallache untersucht. Alle Pferde wurden von 2006 bis 2009 in der Pferdeklinik Burg Müggenhausen GmbH vorgestellt. Es lag eine Lahmheit einer oder beider Vordergliedmaßen vor, die in einer klinischen Untersuchung mittels diagnostischer Anästhesie des Nervus digitalis palmaris oberhalb der Hufballen oder unterhalb der Basis der proximalen Gleichbeine auf den Hufbereich eingegrenzt werden konnte.

Für die Einteilung der Lahmheit wurde ein Schema von 1-5 (*Stashak* 2008) verwendet, wobei keine Pferde mit einer Lahmheit vom Grad 5 eingeschlossen wurden.

Bei allen Pferden wurden klinische Untersuchungen durchgeführt und Röntgenbilder der Hufregion bzw. des Strahlbeines (Oxspring, 90°, evtl. Skyline) angefertigt. Pferde mit röntgenologisch erkennbaren Frakturen oder Hufbeinrotation wurden nicht aufgenommen.

Für die Untersuchung wurden die Hufeisen und alle Metallreste vom Huf entfernt. Die Pferde wurden initial mit Cepesedan® (Detomidin, 0,01- 0,04 mg/kg, CP-Pharma, Burgdorf) sediert. Je nach Sedationszustand der Pferde wurden diese mit Sedivet® (Romifidin, 0,04-0,1 mg/kg, Boehringer Ingelheim, Basel) und evtl. Turbogestic® (Butorphanol, 10 µg/kg) Fort Dodge Veterinär GmbH, Würselen) nachsediert.

Tab. 1 Verwendete MRT-Protokolle
Pulse sequence parameters

Sequenz Wichtung	TR	TE	Schichtdicke (mm)	Abstand (mm)	FOV (mm)	Matrix- größe
T1W 3D GRE	23	7	3,0	0	170	256x256
T2*W 3D GRE	34	13	3,0	0	170	340x130
PDW SE	1300	24	5,0	0,5	170	340x170
T1W 3D GRE	24	8	5,0	0,5	170	384 x192
T2 FSE	1920	84	5,0	1	170	340x175
STIR FSE	2910	27	5,0	1	170	336x165
T2*W GRE	140	13	3,5	0,7	170	384 x 192

TR Time to repeat, TE Time to echo, FOV Field of view

Die MRT-Untersuchung wurde mit dem Kernspintomographen „Hallmarq Veterinarian Limb Scanner“ (Unit 1K Merrow Business Centre, Guildford, Surrey, United Kingdom) mit einer Feldstärke von 0,27 Tesla durchgeführt. Von jeder Gliedmaße wurden sowohl T1- und T2-gewichtete als auch fettunterdrückte Sequenzen in Anlehnung an das Untersuchungsprotokoll der Firma Hallmarq in unterschiedlichen Ausrichtungen angefertigt (*Bolas et al. 2008*) (Tab. 1). Je nach festgestellten Veränderungen wurden weitere Sequenzen mit verschiedenen Schnittrichtungen hinzugefügt, um die betroffenen Strukturen detailliert darzustellen. So wurden z.B. bei Sehnenbefunden senkrechte Schnittebenen zu bestimmten Abschnitten der Sehne angefertigt (Tab.2). Die bestehende Literatur zur Darstellung und Bewertung von MRT Befunden im Hochfeld- und Niederfeld-MRT wurde recherchiert und erfasst.

Die MRT Bilder der 240 Gliedmaßen wurden in einem ersten Durchgang von zwei MRT erfahrenen bzw. spezialisierten Tierärzten (TS, TS) gesichtet und die einzelnen Strukturen nach Art und Stärke der Signalabweichungen in vier Grade eingestuft. Basis dafür stellte das in histopathologischen Vergleichen als physiologisch beschriebene MRT-Bild dar. Es wurden alle Gliedmaßen unabhängig vom Lahmheitsstatus nach dem gleichen Schema beurteilt. Als Grundlage für diese Graduierung dienten Einteilungen von *Murray et al. (2006)*, *Dyson et al. (2008)* und *Olive et al. (2010)*. Voneinander abweichende Einstufungen wurden diskutiert, bis hinsichtlich der Bewertung ein Konsens gefunden war. Alle sich daraus ergebenden neuen Einstufungskriterien wurden dokumentiert. Auf dieser Basis unterlagen die

Ergebnisse

MRT-Bilder einem zweiten Bewertungsdurchgang, dessen Ergebnisse tabellarisch zusammengefasst sind.

Tab. 2 Ausrichtung der Schnittebenen bei der MRT-Untersuchung der Hufregion; Bewertbarkeit der einzelnen Strukturen in den verschiedenen Schnittebenen.
Orientation of section planes in MRI-examination of the hoof region, measurability of the individual structures in the various planes.

	Sagittale Schnittebene	Frontale Schnittebene	Transversale Schnittebene
Ausrichtung		parallel zur Facies flexoria senkrecht zum Gelenkknorpel des Hufgelenks, (T1 GRE FRO HHR)	zuerst senkrecht zur TBS (sagittal) und senkrecht zur Gelenkfläche des Hufgelenks (frontal) parallel zum Boden gute Beurteilung der Seitenbänder
Strahlbein	Knochenstruktur mit Abgrenzung Kortex von Medulla Facies flexoria Proximales und distales Strahlbeinband Übersicht über die Ränder	Detaillierte Beurteilung des proximalen und distalen Randes Knochenstruktur über die gesamte Breite	Facies flexoria Knochenstruktur proximales Strahlbeinband. distales Strahlbeinband mit Insertion am Hufbein
TBS	Übersicht in den zentralen Schnittebenen Vorsicht Magic Angle Artefakt möglich.	Nur bedingt möglich	Sehnenbäuche mit Signalintensität und Abgrenzung zum umliegenden Gewebe Insertion am Hufbein
Bursa podotrochlearis	Ausweitung der Recessus(T2/STIR) Übersicht über signalreiche Linie im Bereich der Facies flexoria	Nur bedingt möglich	Ausdehnung in der Breite Signalabweichungen im Bereich der Facies flexoria (T2/STIR)
Hufgelenk	Hinweise auf Signalabweichungen im subchondralen Knochen Keine genaue Beurteilung möglich! Ausweitung der Recessus des Hufgelenks(T2/STIR)	Beurteilung der Gelenkflächen Subchondrale Knochenstruktur	Subchondrale Knochenstruktur bedingt
Seitenbänder	Nicht möglich	Struktur Symmetrie Insertion	Seitenbänder des Hufgelenks im Querschnitt

Einstufung der einzelnen Strukturen

Untersuchung des Strahlbeins

Für die Einstufung wurden folgende Lokalisationen betrachtet:

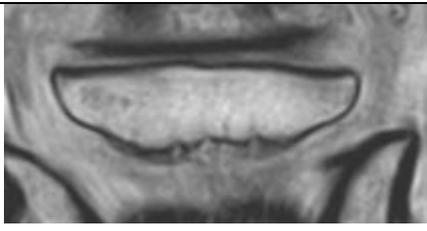
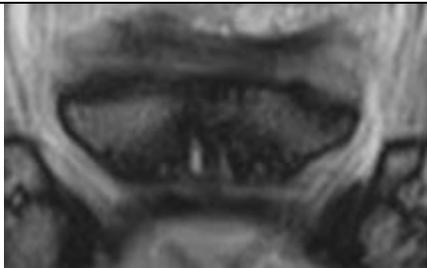
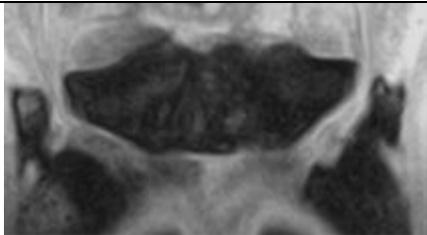
- Die Knochenstruktur mit der Medulla und der Kortex in den verschiedenen Sequenzen.
- Die Facies flexoria (FF) mit der Knorpelfläche und der subchondralen Knochenstruktur.
- Der distale Rand (DR) mit den Canales sesamoidales (CS) und evtl. Veränderungen der angrenzenden Kompakta und Spongiosa des Strahlbeins, sowie Ansatz des Strahlbein–Hufbein–Bandes (Ligamentum sesamoideum distale impar (LSDI)).
- Der proximale Rand (PR) mit Ansatz der Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinbänder (Ligamenta sesamoidea collateralia (LSC)).

Die dorsale Gelenkfläche wurde in die Bewertung nicht mit einbezogen, da sich diese bei keiner der Untersuchungen als erkennbar verändert zeigte (Abb. 1 a–d).

Ergebnisse

Abb.1a-d MRT-Bilder des Strahlbeins in T2*W 3D frontal von Grad 1 (Abb. 1a) bis Grad 4 (Abb. 1d)

T2 W 3D frontal section of the coffin bone, from grade 1 (Fig. 1a) to grade 4 (Fig. 1d)*

	<p>Abb.1a physiologische Darstellung des Strahlbeines Physiological appearance of navicular bone</p>
	<p>Abb. 1b Vergrößerte Canales sesamoidales mit synovialen Einbuchtungen und geringer Verdickung der Kortikalis Enlarged synovial <i>invaginations</i> with synovial recesses and slight thickening of the cortical bone.</p>
	<p>Abb. 1c Zystoide Canales sesamoidales mit Signalverlust der Medulla im zentralen Bereich. Cystoid synovial <i>invaginations</i> with signal loss in the central region of the medulla bone.</p>
	<p>Abb. 1d Signalverlust der Medulla über das gesamte Strahlbein, Kortex nicht mehr abgrenzbar. Signal loss over the entire medulla of the navicular bone, cortex no longer distinguishable</p>

Tiefe Beugesehne (TBS)

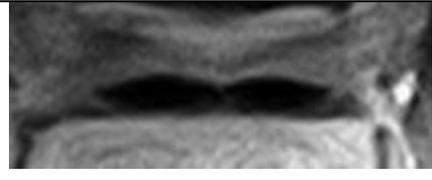
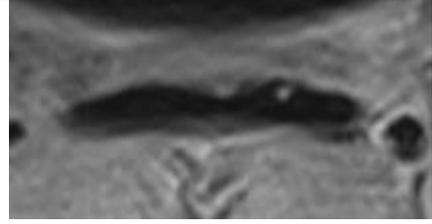
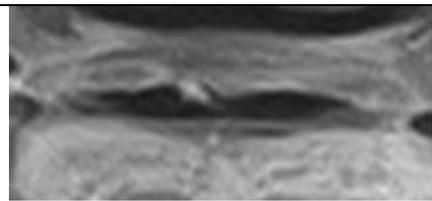
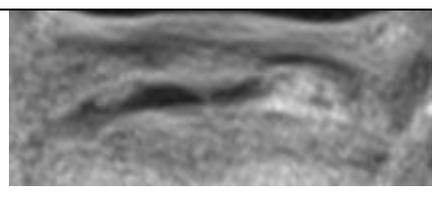
Die TBS zeigt aufgrund ihrer Ausdehnung über einen größeren Bereich vom Hufbein bis zum Fesselbein unterschiedliche Ausprägungen von Signalveränderungen.

Man unterscheidet drei Arten von Signalabweichungen je nach Lokalisation und Form:

- Longitudinale Splits: schmale, längliche Signalerhöhungen entlang des Sehnenverlaufes, vom dorsalen Rand ausgehend.
- Dorsale Veränderungen: Signalerhöhungen an der dorsalen Fläche der Sehne in Form von Unregelmäßigkeiten der Oberfläche.
- Zentrale Läsionen: Zentrale Signalerhöhungen unterschiedlicher Länge (Abb. 2 a–d).

Abb 2 a-d MRT Bilder der Sehne in T1w SE Transversal von Grad 1 (Abb. 2 a) bis Grad 4 (Abb. 2 d)

MRI images of the tendon in T1w SE transverse from grade 1 (Abb. 2a) – grade 4(Abb. 2d)

	<p>Abb. 2 a physiologische Darstellung Physiological appearance.</p>
	<p>Abb. 2 b Punktuelle Signalerhöhung in einem Sehnenchenkel mit geringer Beteiligung des dorsalen Randes. Punctual signal increase in one lobe of the tendon with little involvement of the dorsal margin.</p>
	<p>Abb. 2 c flächige Signalerhöhung mit deutlicher Veränderung des dorsalen Randes und Verdickung des Sehnenchenkels. Wide signal increase with a significant change in the dorsal rim and thickening of the tendon lobe.</p>
	<p>Abb. 2 d Deutliche Signalerhöhung über einen großen Bereich beider Sehnenchenkel, Sehnenkontur kaum noch erkennbar, Teilabriss Significant signal increase in a large area of the tendon lobes, contour barely recognizable, partial demolition</p>

Bursa podotrochlearis

Der Hufrollenschleimbeutel wurde in Hinsicht zweier Merkmale eingestuft:

- Signalabweichungen und Formveränderungen des Schleimbeutels und des synovialen Inhalts, der Oberfläche und der Interaktion zu umliegenden Strukturen.
- Relative Ausdehnung der Bursa podotrochlearis als subjektive Größenangabe entsprechend des vorgefundenen Spektrums.

Strahlbein-Hufbeinband (Ligamentum sesamoideum distale impar, LSDI)

Das distale Strahlbeinband verläuft als dünne Platte vom Strahlbein zur Facies flexoria des Hufbeins. Folgende Bereiche wurden bei der Einstufung besonders beachtet:

- Der Ursprungsbereich einschließlich der Signalintensität des Knochens am distalen Rand des Strahlbeins und der Ansatz am Hufbein
- Die Signalintensität innerhalb des Bandes im Verlauf (sagittal)
- Abgrenzung des Bandes gegenüber der Bursa podotrochlearis und der Sehne.

Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder (Ligamentum sesamoideum collaterale mediale et laterale, LSC)

Folgende Bereiche wurden bei der Einstufung besonders beachtet:

- Die Ansatzbereiche am proximalen Rand des Strahlbeins.
- Die Signalintensität innerhalb des Bandes im weiteren Verlauf
- Abgrenzung gegenüber dem umliegenden Gewebe.
- Symmetrie der medialen und lateralen Bandanteile zueinander.

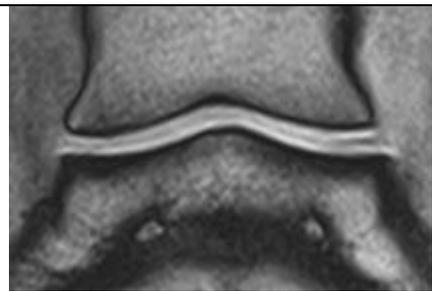
Hufgelenk

Hierbei wurden die Gelenkflächen mit der Knorpelschicht und dem subchondralen Knochen untersucht und bewertet (Abb. 3 a–d).

Weiterhin wurde der Füllungsgrad des Hufgelenkes anhand der größten Ausweitung des Recessus gemessen.

Abb. 3 a-d MRT Bilder des Hufgelenks in T1w GRE frontal von Grad 1 (Abb. 3 a) bis Grad 4 (Abb. 3 d)

MRI images of the distal interphalangeal joint in T1w GRE from grade 1 (Abb. 3 a) to grade 4 (Abb. 3 d)

	<p>Abb. 3 a Physiologische Darstellung Physiological appearance</p>
	<p>Abb. 3 b Kleinere Unterbrechungen der Knorpellinie auf der linken Seite der Gelenkflächen mit geringem subchondralen Signalverlust. Minor disruption of the cartilage line on the left side of the joint with slightly signal loss in the subchondral bone.</p>
	<p>Abb. 3 c Deutliche Verdünnung der Knorpellinie auf der rechten Gelenkhälfte mit subchondralem Signalverlust im Hufbein. Significant thinning of the cartilage line on the right half with marked signal loss in the distal phalanx</p>
	<p>Abb. 3 d Zystoide Läsion im Hufbein mit Unterbrechung der Knorpellinie und Signalverlust der Medulla im Hufbein. Pedal osseus cyst-like lesion with disruption of the articular cartilage line and loss of signal in the medulla bone.</p>

Seitenbänder des Hufgelenks (Ligamenta collateralia)

Die Seitenbänder des Hufgelenks wurden nach folgenden Kriterien bewertet:

- Ursprungsbereich am Kronbein und Ansatzbereich am Hufbein in den Bandgruben.
- Signalintensität in den verschiedenen Sequenzen.
- Dicke des Bandes und Symmetrie zur kontralateralen Seite.

Ergebnisse

Strahlbein

Die Untersuchung des Strahlbeins ließ sich mit den verwendeten Sequenzen gut durchführen. Die meisten Signalabweichungen konzentrierten sich in Häufigkeit und Intensität auf den distalen Rand sowie die Spongiosa.

Tab. 3 Kriterien zur Einstufung des Strahlbeins in die Grade 1–4
Criteria for the classification of the navicular bone in grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Medulla gleichmäßig hell, Kortex dunkel (T1/T2), Medulla dunkel, Kortex hell (STIR) FF mit gleichmäßiger Knorpelfläche, zentral max. 50 % verdünnt (Fossa nudata), geringe Signalerhöhung der Kortex als schmaler Streifen möglich. DR mit länglichen oder ggr. zystoiden CS, Medulla hell (T1/T2), dunkel (STIR), die CS sind synovial ausgekleidet und daher dunkel (T1) und hell (T2/STIR), keine kortikale Verdickung erkennbar, PR gleichmäßige Kortex mit weichen Einzackungen, weicher Übergang zur Medulla	1
Medulla mit ggr. Signalverlust (T1/T2) ohne oder mit ggr. Signalanstieg (STIR) FF mit ungleichmäßiger Knorpeloberfläche mit geringem Signalverlust und schlecht abgegrenztem Übergang zum Knochen. DR mit erweiterten evtl. ggr. zystoiden CS mit leichter Verdickung der Kortikalis ohne Veränderungen der Signalintensität der Medulla.	2
Medulla mit erkennbarem Signalverlust (T1/T2) und/oder Signalerhöhung (STIR) FF mit Unterbrechungen der Knorpellinie und fokalem Signalverlust der angrenzenden Medulla. DR mit erweiterten CS (>2mm) und Verdickung der Kortikalis, Signalverlust in der umliegenden Medulla und linearer Signalverlust nach proximal. Kleinere Fragmente am distalen Rand.	3
Medulla mit Signalverlust (T1/T2) über mehr als 50 % des Strahlbeins, meist in Zusammenhang mit Signalerhöhung (STIR) „edemalikelesions“ FF mit Knorpelverlust und starker fokaler Signalerhöhung im anliegenden Knochen; zystoide Veränderungen. DR mit großen zystoiden CS mit hgr. Signalveränderungen des umliegenden Knochens häufig im Zusammenhang mit „edemalikelesions“ im gesamten Knochen. Mittlere und größere distale Fragmente. PR Tiefe Einkerbungen (>2mm) mit Signalveränderungen weit in die Medulla reichend,	4

Tiefe Beugesehne

Signalabweichungen der Sehne ließen sich gut erkennen und abgrenzen.

Tab. 4 Kriterien zur Einstufung der Sehne in die Grade 1–4

Criteria for the classification of the deep digital flexor tendon in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Gleichmäßige signallose Darstellung (T1/T2/STIR). Scharfe klare Begrenzungen zum umliegenden Gewebe.	1
Kleinere Bereiche mittelgradig erhöhter Signalintensität (< 1mm Ausmaß, Ausdehnung Länge < 5 mm) Geringe Unregelmäßigkeiten der Sehnenoberfläche (transversal)	2
Deutlich erkennbare Signalerhöhungen über <1/3 eines Sehnenchenkels (transversale Schnitte) und meist < 1 cm Ausdehnung in der Länge Größere Unregelmäßigkeiten der Sehnenoberfläche (dorsale Fibrillation) mit Verklebungen zur Bursa,	3
Als hochgradig gelten Signalerhöhungen über mehr als 1/3 eines Sehnenchenkels und meist > 1 cm in der Länge. Großflächige Unterbrechungen der Sehnenoberfläche mit deutlicher Fibrillation des Sehngewebes.	4

Bursa podotrochlearis

Die Beurteilung des proximalen Recessus eignete sich zur Erkennung der synovialen Zusammensetzung. Der signalintensive Bereich zwischen Strahlbein und Sehne hingegen ließ sich im Niederfeld- MRT nur in der Gesamtheit bewerten.

Tab. 5 a Kriterien zur Einstufung der Bursa podotrochlearis in die Grade 1–4, Signalabweichungen und Formveränderungen.

Criteria for the classification of the navicular bursa in the grades 1-4, Signal deviation and changes in Shape

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
klar begrenzte Ränder gegenüber umliegenden Strukturen Homogen signalintensiv (T2/STIR) signalarm mit unregelmäßigen hyperintensiven Bereichen (T1). Im Bereich der FF erscheint die Bursa als ein einheitliches dünnes signalreiches Band.	1
Unterbrechungen der signalreichen Linie durch Adhäsionen im Bereich der FF auf weniger als 3mm der Fläche (transversal) Leichter linienförmiger Signalverlust innerhalb der Recessus (T2/STIR), Signalerhöhung (T1) durch Bildung von Weichteilgewebe (z.B. Fibrin)	2
Deutlich erkennbare linienförmige Signalunterbrechung durch Gewebeansammlung/Verklebungen (T2/T3) erkennbare diffuse Signalsteigerung (T1) Unterbrechung im Bereich der FF durch Adhäsionen auf >3mm (transversal)	3
Nur noch kleine Bereiche mit Flüssigkeitssignal erkennbar (T2/STIR), Lumen der Recessus fast vollständig mit Gewebe/Verklebungen gefüllt. Deutlicher Signalanstieg (T1) Deutliche Unterbrechungen der Linie im Bereich der FF, immer im Zusammenhang mit Veränderungen des Strahlbeins oder der Sehne.	4

Tab. 5 b Kriterien zur Einstufung der Bursa podotrochlearis in die Grade 1-4, Relative Ausdehnung.

Criteria for the classification of the navicular bursa in the grades 1-4, relative extension.

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
kaum gefüllt, flache längliche Ausdehnung des Recessus	1
leicht gefüllt, ovale Ausdehnung des Recessus	2
Deutlich gefüllt, blasenförmige Erweiterung, das Ligamentum sesamoideum collaterale (LSC) wird mgr. nach dorsal verdrängt.	3
starke Füllung, deutliche blasenförmige, rundliche Erweiterung	4

Strahlbein–Hufbeinband

Eine scharfe Abgrenzung der Veränderungen dieser sehr dünnen Struktur stellte sich als schwierig heraus. Grad 1 und 2 als auch Grad 3 und 4 liegen in der Bewertung sehr dicht beieinander. Für die weitere statistische Auswertung wurden die vier Gruppen aber bei allen Strukturen beibehalten.

Tab. 6 Kriterien zur Einstufung des Strahlbein–Hufbeinbandes (Ligamentum sesamoideum distale impar) in die Grade 1-4

Criteria for the classification of the distal sesamoidean impar ligament in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Dünnes Band, signalarme Darstellung (T1), leichte Signalerhöhungen möglich (T2) Ansatzbereiche am Knochen dunkel weiche Abgrenzung zur Sehne und Bursa podotrochlearis, geringe Signalerhöhungen im Insertionsbereich des Bandes werden regelmäßig auch bei klinisch unauffälligen Pferden gefunden	1
Ggr. Signalunterschiede im Band mit Verdickung Ggr. Signalveränderungen am Ansatz/Ursprung	2
Deutliche Signalunterschiede und Knochenveränderungen im Ursprung und Ansatz gut erkennbare Signalerhöhung im Band selbst Milde Verklebungen des Bandes zur Tiefen Beugesehne und dem umliegenden Gewebe	3
Deutlicher Signalverlust meist im Ansatzbereich am Hufbein (T1/T2), Signalanstieg (STIR). Deutliche Signalerhöhung mit Verlust der normalen Struktur des Bandes Die Abgrenzbarkeit zur Sehne geht verloren. Häufig mit deutlichen Adhäsionen zur Bursa oder Sehne..	4

Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinband

Für eine objektive Bewertung dieses Bandes erwies sich eine gute Ausrichtung der Schnitte als sehr entscheidend.

Tab. 7 Kriterien zur Einstufung der Fesselbein–Hufbein–Strahlbeinbänder (Ligamentum sesamoideum collaterale et mediale) in die Grade 1-4
Criteria for the classification of the collateral sesamoidean ligaments in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Knochen Signalarm im Ansatz am Strahlbein (T1/T2), niedrige Signalintensität auf der gesamten Länge symmetrische Form der beiden Bandanteile mit klar abgegrenzten Rändern	1
geringgradige Signalerhöhung ohne Knochenreaktion geringe Asymmetrie der Bandanteile	2
Deutlich erkennbare Signalerhöhung auf weniger als der Hälfte des Bandes und/oder Knochenreaktionen im Insertions- und/oder Ursprungsbereich, Verlust der klaren Abgrenzung zur Bursa/TBS.	3
deutliche Signalerhöhung auf mehr als der Hälfte des Bandes (transversal) häufig in Zusammenhang mit Signalerhöhungen am prox. SB (T1/T2), Verlust der normalen Struktur mit deutlichen Verklebungen zur Bursa und Sehne.	4

Hufgelenkflächen

Bei der Beurteilung der Hufgelenkflächen mit der dünnen Knorpellinie waren die speziellen Schnitte zur genauen Differenzierung wichtig.

Auffallend war eine häufig auftretende Verengung des Gelenkspalts auf der medialen Seite ohne Signalveränderungen des Knorpels oder des Knochens.

Tab. 8 Kriterien zur Einstufung der Hufgelenksflächen in die Grade 1-4
Criteria for the classification of the cartilage area of the coffin joint in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
Gleichmäßige Knorpellinie, signalintensiv in (T1/T2) subchondraleKortex dunkel, Medulla hell (T1/T2) Asymmetrie des Gelenkspalts durch ungleichmäßige Belastung während der Untersuchung möglich.	1
Deutliche Verengung des Gelenkzwischenraums mit verdünnter Knorpellinie, kleine Signalverluste. (bis etwa 5mm) ohne subchondrale Veränderungen.	2
Signalverlust in der Knorpellinie (>5mm) mit leichtem Signalverlust des subchondralen Knochens, mehrere kleinere Signalverluste auf der gesamten Knorpelfläche, kleine Linienförmige oder leicht zystoide Knochenveränderungen mit Signalerhöhung (T1/T2),	3
großflächige Signalverluste (>5mm) mit deutlichen subchondralen Reaktion weiter in Huf- oder Kronbein reichend, Zystenbildung und Einbrüche der Knorpelfläche erkennbar durch Signalerhöhung in (T2/STIR) im subchondralen Knochen.	4

Ausweitung des Hufgelenks

Die Füllung des Hufgelenks trat häufig an beiden Vorderbeinen und in Größe und Form individuell sehr unterschiedlich auf. Der dorsale Recessus ließ sich gut vergleichen.

Tab. 9 Kriterien zur Einstufung der Ausweitung des Hufgelenks in die Grade 1 - 4
Criteria for the classification of the extension of the joint capsule in the grades 1-4

Magnetresonanztomographischer Befund	Grad
wenig gefüllt; länglich flach ausgeformter Rec. dorsalis ohne besondere Vorwölbung	1
leicht gefüllt; länglich, oval, leicht erhaben	2
mittelgradig gefüllt; Rec. deutlich vorgewölbt aber noch oval (Verhältnis Höhe/Länge ca. 1:2)	3
Deutlich gefüllt; blasenförmige Vorwölbung des Rec., häufig nahezu runde Ausformung (Verhältnis Höhe/Länge >1/2)	4

Seitenbänder des Hufgelenks

Stellung und Schnittführung bildeten einen wesentlichen Aspekt bei der Beurteilung, insbesondere bei der Symmetrie der Bänder.

Tab. 10 Kriterien zur Einstufung der Seitenbänder des Hufgelenks in die Grade 1 - 4
Criteria for the classification of the collateral ligaments of the coffin joint in the grades 1-4

Weicher Übergang am Ursprung, bzw. Ansatz, Knochen signalarm signalarme Darstellung der Bandstruktur über die gesamte Länge. erkennbare Symmetrie zwischen medialem und lateralem Seitenband	1
geringgradige Signalerhöhung ohne Knochenreaktion oder Verdickung, erkennbare Asymmetrie ohne Signalerhöhung	2
Deutlich erkennbare Signalerhöhung auf weniger als der Hälfte des Bandes und/oder Knochenreaktionen im Insertions- und/oder Ursprungsbereich deutliche Asymmetrie mit leichten Signalerhöhungen (T1/T2)	3
deutliche Signalerhöhung auf mehr als der Hälfte der Länge deutliche Knochenreaktionen mit Signalverlust im Ansatz/Ursprung Strukturverlust mit deutlicher Verdickung eines Bandes	4

Diskussion

Die Einstufung von MRT-Befunden wurde bisher meist durch die bewertende Person subjektiv vorgenommen und konnte nicht mit einer definierten Graduierung versehen werden. Um die Daten vergleichbar zu gestalten, ist die Verwendung eines entsprechenden Schemas sinnvoll und notwendig. Bisher wurde dies in Studien mit Hochfeldmagneten von einigen Autoren angewandt (*Schramme et al. 2005, Dyson und Murray 2007*). Diese lassen sich nicht problemlos einfach auf Niederfeld-MRT übertragen, so dass dafür ein eigenes Schema für die wichtigsten Strukturen des Hufes entwickelt wurde.

Bei der Bewertung des **Strahlbeins** wurden die verschiedenen funktionellen Bereiche im Gegensatz zu anderen Studien (*Schramme et al. 2005*) zu einer Gesamteinstufung zusammengefasst.

Bei Signalabweichungen am Strahlbein sind meist mehrere Bereiche betroffen. Bei deutlich vergrößerten Canales sesamoidales tritt häufig eine Veränderung im Bereich der Kortex oder Medulla zusätzlich auf (*Dyson et al. 2012*). Daher ist eine Gesamteinstufung sinnvoll und für weitere Vergleiche notwendig. Dies erschwert allerdings die genaue Abgrenzung der einzelnen Grade. Milde Veränderungen der Facies flexoria wurden bereits in anatomischen und histologischen Arbeiten beschrieben und nicht als pathohistologisch verändert bewertet (*Blunden et al. 2006, Wissdorf et al. 2002*). Sie führten daher nicht zu einer schlechteren Einstufung. Zu bedenken ist, dass sich der Knorpel als dünne signalreiche Linie darstellt, die sich von der Bursa podotrochlearis im Niederfeld-MRT nicht genau abgrenzen lässt (*Busoni et al. 2004*). Eine genaue Zuordnung von Abweichungen an diesen Strukturen ist nur bedingt möglich.

Die Bedeutung des distalen Randes des Strahlbeins wird seit vielen Jahren im Krankheitsbild des Equinen Palmaren Hufsyndroms diskutiert. Bereits bei röntgenologischen Untersuchungen wurden Erweiterungen der Canales sesamoidales bei klinisch unauffälligen Pferden festgestellt (*Doige und Hoffer 1983, Branscheid 1977*) und auch in MRT-Untersuchungen in Frage gestellt (*Sill et al. 2011*). Dies wurde auch im vorliegenden Patientengut an lahmfreien Gliedmaßen beobachtet und entspricht Studien mit histologischen Vergleichen im Hochfeld-MRT (*Blunden et al. 2006a, Schramme et al. 2005, Murray et al. 2006*).

Das Auftreten von distalen Fragmenten am Strahlbein führte je nach Größe zu einer Einstufung in die Grade 3 oder 4 (Tab.3). Die Relevanz wird unterschiedlich diskutiert und muss noch endgültig geklärt werden (*Dyson et al. 2010, Gerhards et al. 2007*). Im vorliegenden Patientengut konnte das Auftreten von distalen Fragmenten am Strahlbein auch ohne deutliche Signalabweichungen an den umliegenden Strukturen festgestellt werden. Aussagen zur klinischen Relevanz lassen sich hieraus nicht ableiten.

Die Signalveränderungen innerhalb der Medulla in den verschiedenen Sequenzen werden als Knochenödem (Bone edema pattern) beschrieben. Dies ist auch in dem hier vorliegenden Schema als wichtiger Punkt der Einstufung bedacht worden. Diese Signalveränderungen im MRT-Bild lassen allerdings nur bedingt eine weitere Differenzierung auf chronische oder akute Ätiologie zu (*Schramme et al. 2005, Murray und Dyson 2007, Gäch 2002, Dyson et al. 2012*). Ähnliche Signalveränderungen in der Kortikalis und Spongiosa können unterschiedliche pathohistologische Veränderungen repräsentieren (*Murray et al. 2006, Dyson et al. 2012*).

Veränderungen an der dorsalen und proximalen Fläche führten im vorliegenden Spektrum selten zu einer schlechteren Einstufung des Strahlbeins im Vergleich zu Veränderungen anderer Bereiche. Hier wurde bereits von *Murray (2006)* festgestellt, dass kleinere Veränderungen nicht erkennbar sind und Signalunterschiede ansonsten häufig überinterpretiert wurden. Eine Unterbewertung ist denkbar und eine genauere Klärung der Bedeutung dieser Bereiche wäre wünschenswert.

Ein weiterer wichtiger Bereich, der erst durch die MRT-Untersuchungen genau dargestellt werden konnte, ist der distale Teil der **Tiefen Beugesehne** (*Steenbuck 2008, Mair und Kinns 2005*). Eine erhöhte Signalintensität im Sehngewebe wurde pathohistologisch durch zelluläre Infiltration, Hämorrhagien und Ödeme hervorgerufen. Auch nekrotische Areale und Chondrozyten in einer knorpeligen Matrix ließen sich nachweisen (*Steenbuck 2008*). Die verschiedenen Ausprägungen der Sehnenveränderungen, die Kombination von unterschiedlichen Arten und Lokalisationen erschweren hierbei eine Graduierung (*Vanel et al. 2012*). So lassen sich die Befunde der Tiefen Beugesehne am schwierigsten objektiv bewerten, der subjektive Einfluss ist hier am größten.

Die getrennte Bewertung der Ausweitung der **Bursa podotrochlearis** und erkennbarer Adhäsionen wurde aufgrund des Verdachts vorgenommen, dass die Ausweitung nicht unbedingt in Relation mit pathologischen Vorgängen steht. Möglicherweise werden sie durch weitere Faktoren, wie die Belastung der Gliedmaße, stark beeinflusst. Geht man davon aus, dass ein Zusammenhang zwischen Ausweitung und Druck besteht, widerspricht dies vorangegangenen Arbeiten (*Zuther 2005*), wobei der Druck in der Bursa als Hinweis auf pathologische Vorgänge angenommen wird. Eine genaue Auswertung in Zusammenhang mit klinischen Parametern ist notwendig, um die Bedeutung weiter zu klären. Die Bewertung im Bereich der Facies flexoria ist nur im Zusammenhang mit der Oberfläche der Sehne und der Knorpelfläche des Strahlbeins möglich. Hier liefert das Niederfeld-MRT keine ausreichende Auflösung, um diese Strukturen voneinander abzugrenzen.

Die Bewertbarkeit des **Strahlbein-Hufbeinbandes** wird in histologisch vergleichenden Studien in beiden Magnetfeldstärken als mäßig bezeichnet (*Murray et al. 2006*, *Schramme et al. 2005*, *Sill 2007*). Strukturverluste des palmaren Randes, Vaskularisation und die Einbettung von synovialen Ausbuchtungen sowie knorpelige Metaplasien konnten in histologischen Vergleichen bei Signalveränderungen erkannt werden. (*Murray et al. 2006*, *Dyson et al. 2010*) Durch die eingebetteten Nerven und Gefäße, wie auch durch kleine synoviale Aussackungen des Hufgelenks ist eine gewisse heterogene Darstellung allerdings als physiologisch anzusehen (*Dyson 2011*). Diese Tatsache und die sehr dünne Gestalt dieser Struktur machen erschweren eine detaillierte Beurteilung im Niederfeld-MRT. Die Abgrenzung der Grade 2 und 3 ist schwierig (*Dyson et al. 2010*; *Murray 2006*). Um die Daten in die statistische Auswertung aufzunehmen wurde die 4-stufige Graduierung beibehalten. Diese muss aber sehr kritisch betrachtet werden.

Die **Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinbänder** als paarig angelegte Bandstrukturen proximal des Strahlbeins werden in der Literatur in Untersuchungen mit dem Niederfeld-MRT seltener mit erkennbaren Signalveränderungen (*Sill 2007*) als in einigen Hochfeld-Studien beschrieben (*Sampson 2008*, *Dyson und Murray 2007*). Abweichungen von Signalintensität und Ausdehnung der Bänder wurden als synoviale Einbuchtungen und als Hyperplasien mit Einlagerung von Hämosiderin

erkannt (*Murray et al. 2006*). Die Sensitivität und Spezifität der verschiedenen Untersuchungsmethoden ist weiter zu klären.

Der diagnostische Wert des Niederfeld-MRT für die Erkennung von Schädigungen der Gelenkflächen des **Hufgelenks** wurde in einigen Arbeiten beschrieben (*Zubrod et al. 2004, Schulze und Weinberger 2008, Olive 2010*). Die Sensitivität und Spezifität der Niederfeld-MRT-Untersuchung zur Erkennung von Hufgelenkerkrankungen muss aber mit Hilfe von histologischen Vergleichsuntersuchungen größerer Fallzahlen noch weiter abgeklärt werden. Bisher konnten Signalverluste im Bereich der signalreichen Knorpellinie arthroskopisch oder durch pathologisch-anatomische Untersuchungen als Schädigungen erkannt werden. Die Auflösung des verwendeten Systems kann in „High Resolution Scans“ Strukturen bis zu einer Dicke von 0,88 mm darstellen. Die sehr dünne Knorpelschicht im Hufgelenk ist daher nicht in allen Bereichen darstellbar und kleinere Dickeunterschiede sind nicht zu differenzieren.

Eine vergleichbare Einstufung in die Grade 1-4 mit Hilfe von histologischen Untersuchungen liegt bisher nur für Hochfeld-Untersuchungen vor und ist daher zur weiteren Differenzierung auch für Niederfeld-Untersuchungen notwendig.

Die Füllung des Hufgelenks wurde wie bei der Bursa podotrochlearis getrennt bewertet. Dies ist als reine subjektive Größenangabe zu verstehen und muss in weiteren Arbeiten bezüglich der klinischen Bedeutung untersucht werden.

Die Veränderungen an den **Seitenbändern des Hufgelenks** sind im Hochfeld-MRT gut zu erkennen (*Dyson et al. 2008, Zubrod et al. 2004*). Pathohistologische Vergleiche stellen Verlust von Knochensubstanz mit Ersatz durch Bindegewebe als Ursache für Signalveränderungen dar. Im Band selbst wurden Risse der Kollagenstruktur mit Einlagerung von Chondrozyten und Chondronen festgestellt. (*Dyson et al. 2008*). Geringe Signalunterschiede und Asymmetrien können auch bei gesunden Pferden vorhanden sein (*Murray 2011*). Weiterhin ist das Auftreten eines Magic angle artefacts in bestimmten Sequenzen beschrieben. Hierbei zeigen Bänder und Sehnen eine erhöhte Signalintensität wenn sie in einem Winkel von 55 ° zum Magnetfeld angeordnet sind. Besonders bei den Seitenbändern des Hufgelenks ist dies aufgrund der anatomischen Gegebenheiten im Stehen möglich. Dies ist bei der Bewertung zu beachten und kann zu fehlerhaften Einstufungen von Signalerhöhungen im Hinblick auf ihre pathologische Bedeutung führen.

Die vorgestellten Pferde sind in gewisser Weise vorselektiert. Das Bildmaterial sollte sowohl gesunde als auch erkrankte Gliedmaßen widerspiegeln. Da aber alle hier untersuchten Pferde zumindest auf einer Gliedmaße eine Lahmheit aufwiesen, ist anzunehmen, dass an den nicht lahmen Gliedmaßen nicht in allen Fällen das Spektrum an Veränderungen, wie in einer Kontrollgruppe mit orthopädisch gesunden Pferden, festzustellen ist. Aufgrund der bilateralen biomechanischen Belastung der Vordergliedmaßen beim Reitpferd ist anzunehmen, dass einige Pferde auch auf der nicht lahmen Gliedmaße Prädispositionen oder Schädigungen im Hufbereich aufweisen, die bei gesunden Pferden nicht vorliegen.

Die Graduierung der verschiedenen Signalabweichungen aus der MRT-Untersuchung ist für klinische Vergleiche und statistische Auswertungen unerlässlich. In der Erforschung des Equinen Palmaren Fußsyndroms ist der Bezug zu klinischen Befunden wie z.B. Art und Grad der Lahmheit, zu dem Ausfall der Provokationsproben entscheidend, um die Bedeutung der bildgebenden Befunde zu evaluieren. Auch für die Verifizierung anderer bildgebender Verfahren wie z.B. der radiologischen Untersuchung des Strahlbeins ist eine vergleichbare Graduierung zur statistischen Auswertung notwendig. Dies wurde in der vorliegenden Studie nicht durchgeführt.

Das Ziel dieser Arbeit lag in der Erstellung eines Bewertungsschemas von kernspintomographischen Befunden aus Untersuchungen von stehenden Patienten. Sie dient als Basis für weitere wissenschaftliche Auswertungen retrospektiver Studien. Es ist zu betonen, dass die erhobenen Klassen keinerlei Rückschlüsse auf mögliche klinische Bedeutungen erlauben. Bereits die geringe Selektivität und Sensitivität diagnostischer Anästhesien im Hufbereich erlaubt keine Bestimmung der klinischen Signifikanz einzelner MRT-Befunde. Dementsprechend war dieser Aspekt von vornherein nicht Teil dieser Arbeit.

Die Einteilung der Befunde in verschiedene Grade erfolgte auf Basis vorhandener Literatur und den persönlichen Erfahrungen der Autoren. Damit erheben die Ergebnisse keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Im Gegenteil, weitere Untersuchung mit histopathologischen Vergleichen sowie lahmfreien Pferden sind zur Ausarbeitung der Klassifizierungen wünschenswert.

Thomas Stöckl
Tierklinik Binger Wald
Zum Bergwerk 1
55425 Waldalgesheim
Tel.: 01635942474
t.stoeckl@docvet.com

Literaturverzeichnis

Blunden A., Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2006a) Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 1: Navicular bone and related structures. Equine Vet. J. 38, 15-22

Blunden A., Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2006b) Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 2: The deep digital flexor tendon. Equine Vet. J. 38, 23–27

Blunden A., Murray R. und Dyson S. (2009) Lesions of the deep digital flexor tendon in the digit, A correlative MRI and post mortem study in control and lame horses. Equine Vet. J. 41, 25-33

Bolas N., Mair T.S., Martinelli M., Murray R., Powell S., Rantanen N. und Schulze T. (2008) Protocolbook, MRI Protocol for the standing sedated horse. Hallmarq Veterinary imaging

Bolen G., Audigie F., Spriet M., Vandenberghe F. und Busoni V. (2010) Qualitative Comparison of 0.27T, 1.5T, and 3T Magnetic Resonance Images of the Normal Equine Foot. J. Equine Vet. Sci. 30, 9–20

Branscheid J. (1977) Untersuchungen an der Hufrolle bei Pferden mit und ohne Hufrollenerkrankung (Podotrochlose). Dissertation, Stuttgart, Universität Hohenheim

Busoni V., Snaps F., Trenteseaux J. und Dondelinger R. (2004) Magnetic resonance imaging of the palmar aspect of the equine podotrochlear apparatus: normal appearance. *Vet. Radiol. Ultras.* 45, 198-204

Busoni V., Heimann M., Trenteseaux J., Snaps F. und Dondelinger R. F. (2005) Magnetic resonance imaging findings in the equine deep digital flexor tendon and distal sesamoid bone in advanced navicular disease-an ex vivo study. *Vet. Radiol. Ultras.* 46, 279–286

Doige C. E. und Hoffer M. A. (1983) Pathological changes in the navicular bone and associated structures of the horse. *Canadian J. Comp. Med. Revue canadienne de médecine comparée*, 47, 387–395

Dyson S. und Murray R. (2004) Collateral Desmitis of the Interphalangeal Joint in 62 Horse, 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, 2004, Denver, 1436-1204

Dyson S. und Murray R. (2007) Magnetic Resonance Imaging of the Equine Foot. *Clinical Techn. Equine Pract.*, 6, 46–61

Dyson S., Blunden T. und Murray R. (2008) The collateral ligaments of the distal interphalangeal joint: magnetic resonance imaging and post mortem observations in 25 lame and 12 control horses. *Equine Vet. J.* 40, 538–544

Dyson S. (2008) Radiological interpretation of the navicular bone. *Equine Vet. Educ.* 20, 268–280

Dyson S., Pool R., Blunden T. und Murray R. (2010) The distal sesamoidean impar ligament: comparison between its appearance on magnetic resonance imaging and histology of the axial third of the ligament. Equine Vet. J. 42, 332–339

Dyson S., Murray R., Schramme M. und Blunden T. (2011) Current concepts of navicular disease. Equine Vet. Educ. 23, 27-39

Dyson, S. (2011): The foot and pastern. In: Murray R. Equine MRI. Wiley-Blackwell, Chichester, 149-172

Dyson S., Blunden T. und Murray R. (2012) Comparison between magnetic resonance imaging and histological findings in the navicular bone of horses with foot pain. Equine Vet. J. 44, 692–698

Gäch A. (2002) Magnetresonanztomographische Untersuchung pathologischer Veränderungen an der Pferdezehe und Erstellung eines Untersuchungsprotokolls an einem offenen Niederfeldsystem. Dissertation, München

Gerhards H., Hertsch B., Jahn P. und G. Brunken (2007) Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes (Röntgenleitfaden RöLF 07). Gesellschaft für Pferdemedizin (Dortmund) und Bundestierärztekammer (Bonn)

Gutierrez-Nibeyro S., Werpy N., White N., McCutcheon J., Weng H.-Y. und Christopher J. (2011) Standing low-field magnetic resonance imaging appearance of normal collateral ligaments of the equine distal interphalangeal joint. Vet. Radiol. Ultras. 52, 521–533

Mair T. S., Kinns J., Jones R. und Bolas N. (2003) Magnetic Resonance Imaging of the Distal Limb of the Standing Horse, Technique and Review of 40 Cases of Foot

Lameness. 49th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners New Orleans, Louisiana

Mair T. S. und Kinns J. (2005) Deep digital flexor tendonitis in the equine foot diagnosed by low-field magnetic resonance imaging in the standing patient, 18 cases. Vet. Radiol. Ultras. 46, 458–466

Martinelli M., Baker G., Clarkson R., Eurell J., Pijanowski G. und Kuriashkin I. (1996) Magnetic resonance imaging of degenerative joint disease in a horse, a comparison to other diagnostic techniques. Equine Vet. J. 28, 410–415

McKnight A., Manduca A., Felmler J., Rossman P., McGee K. und Ehman R. (2004) Motion-correction techniques for standing equine MRI. Vet. Radiol. Ultras. 45, 513–519

Murray R. (2006) Magnetic resonance imaging characteristics of the foot in horses with palmar foot pain and control horses. Vet. Radiol. Ultras. 47, 1-16

Murray R., Blunden T. und Schramme M. und Dyson, S. (2006) How does magnetic resonance imaging represent histologic findings in the equine digit. Vet. Radiol. Ultras., 47, 17–31

Murray R. und Dyson S. (2007) Image Interpretation and Artifacts. Clinical Techn. in Equine Pract. 6, 16–25

Murray R., Mair T.S., Sherlock C.E., und Blunden A. (2009) Comparison of high-field and low-field magnetic resonance images of cadaver limbs of horses. Vet. Rec. 165, 281-288

Olivie J., D'anjou M., Laverty K.A. und Theoret C. (2010) Comparison of magnetic resonance imaging, computed tomography and radiography for assessment of

noncartilaginous changes in equine metacarpophalangeal osteoarthritis. *Vet. Radiol. Ultras.* 31, 267-279

Olive J. (2010) Distal interphalangeal articular cartilage assessment using low-field magnetic resonance imaging. *Vet Radiol Ultras.* 51, 259–266

Sampson S N, Schneider R.K., Tucker, R.L., Gavin, P.R., Zubrod, C.J. and Ho, C.P. (2007) Magnetic resonance imaging features of oblique and straight distal sesamoidean desmitis in 27 horses. *Vet. Radiol. Ultrasound* **48**, 303-311.

Schramme M., Murray R., Blunden A. und Dyson, S. (2005) A Comparison Between Magnetic Resonance Imaging, Pathology and Radiology in 34 Limbs With Navicular Syndrome and 25 Control Limbs. Proc. of the AAEP Convention, Seattle, 348-358

Schulze T. und Weinberger T. (2008) Der Wert einer "Low-Field" MRT-Untersuchung für die Diagnose von Knorpeldefekten im Hufgelenk des Pferdes. *Pferdeheilkunde*, 24, 406–410

Sherlock C., Kinns, J. und Mair, T. S. (2007) Evaluation of foot pain in the standing horse by magnetic resonance imaging. *Vet. Rec.*, 161, 739–744

Sill V. (2007) Kernspintomographische Untersuchungen in der Hufregion am stehenden Pferd. Dissertation. München.

Sill V., Skorka, A., Gerhards H. und Gerlach K. (2011) Magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion am stehenden Pferd. *Pferdeheilkunde* 27, 39–48

Stashak T. (2008): Lahmheitsdiagnostik. In: *Stashak T.* Adam's Lahmheit bei Pferden, 4. Aufl., Hannover, Schaper Verlag, 100-155

Steenbuck N. (2008) Verifizierung kernspintomographischer Befunde der tiefen Beugesehne im Hufbereich von Pferden durch histopathologische

Kontrolluntersuchungen. Dissertation, München

Vallance S., Bell, R., Spriet, M., Kass, P. und Puchalski, S. (2012), Comparisons of computed tomography, contrast enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. Part 1. Anatomic visualisation scores. Equine Vet. J. 44, 51-56

Vanel M., Olive J., Gold S., Mitchell R. und Walker L. (2012) Clinical Significance and prognosis of deep digital flexor tendinopathy assessed over time using MRI. Vet. Radiol. Ultras. 53, 621-627

Werpy N., Ho C. und McIlwraith C. (2008) Review on Magnetic Resonance Imaging Systems Available for Use in Equine Patients and the Implications of Field Strength on Clinical Imaging, Comparison of High- and Low-Field Systems. 53rd Annual convention of the American Association of Equine Practitioners-AAEP, 2007, Orlando, FL, Internet Publisher: International Veterinary Information Service, Ithaca, NY (www.ivis.org), Last updated: 5-Dec-2007; P8103.1207

Wissdorf H., Otto B., Hertsch B. und Keller H. (2002): Hufbereich In: Wissdorf H., Gerhards H., Huskamp B., Deegen E., Praxisorientierte Anatomie des Pferdes, 2. Aufl., Hannover, Schaper Verlag, 365-393

Wright I. M., Kidd L., und Thorp, B. (1998) Gross, histological and histomorphometric features of the navicular bone and related structures in the horse. Equine Vet. J. 30, 220–234

Zubrod C., Farnsworth K., Tucker R. und Ragle C. A. (2005) Injury of the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint diagnosed by magnetic resonance. Vet. Radiol. Ultras. 46, 11–16

Zubrod C., Schneider R., Tucker R., Gavin P., Ragle C. und Farnsworth K. (2004)

Use of magnetic resonance imaging for identifying subchondral bone damage in horses, 11 cases (1999-2003). J. Am. Vet. Med. Assoc. 224, 411–418

Zuther M. (2005) Die direkte Druckmessung in der Bursa podotrochlearis als diagnostisches Hilfsmittel zur Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms.

Dissertation, Berlin

2.2 Publikation 2

Publiziert in Pferdeheilkunde 29, 2013; 3: 303 – 311

Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion im Niederfeld-MRT.

Teil 2: Häufigkeit der Befunde und deren Verteilung

Distribution of findings of bilateral magnetic resonance examinations of lame and sound forelimb hoof regions

Thomas Stöckl¹, Thorben Schulze², Walter Brehm³, Kerstin Gerlach⁴

¹Tierklinik Binger Wald, ²Klinik für Pferde und Radiologie aus dem Fachbereich Veterinärmedizin der FU Berlin, ³Chirurgische Tierklinik der Universität Leipzig¹

Zusammenfassung

Im Niederfeld-Magnetresonanztomographen (MRT) wurden beide Vordergliedmaßen von 120 Pferden untersucht. In einer ersten Veröffentlichung wurden vorgefundene Veränderungen in vier Grade eingeteilt und beschrieben.

Diese Pferde wiesen 171 lahme und 69 nicht lahme Gliedmaßen auf. Die MRT-Befunde wurden hinsichtlich ihrer Häufigkeit, des Zusammenhangs zwischen Lahmheit und Lahmfreiheit sowie ihrer Verteilung bei einseitig oder beidseitig lahmen Pferden untersucht.

Strahlbeinbefunde traten insgesamt am häufigsten auf (69,2 %) und wurden signifikant vermehrt mit dem höchsten Ausprägungsgrad aller Befunde bei beidseitig lahmen Gliedmaßen festgestellt (39, 3 %). Läsionen der tiefen Beugesehne (TBS) traten etwas seltener (42,9 %) und vermehrt als stärkster Befund bei einseitig lahmen Gliedmaßen auf (22,2 %). Befunde an den Gelenkflächen des Hufgelenks waren ebenfalls häufig (47,5 %). Es ließ sich kein signifikant vermehrtes Auftreten bei ein- oder beidseitig lahmen Pferden feststellen.

Deutliche Veränderungen der Bursa podotrochlearis standen in den meisten Fällen in Zusammenhang mit Veränderungen der umliegenden Strukturen wie Sehne oder

Strahlbein. Deutlichere Veränderungen (Grad 3 und 4) korrelierten hierbei signifikant mit Lahmheit, wobei geringe Abweichungen in vielen Fällen auch bei lahmfreien Gliedmaßen zu finden waren. Die Ausweitung der Bursa podotrochlearis und des Hufgelenks ließen sich nicht signifikant mit den lahmen Gliedmaßen in Verbindung bringen. Weitere Strukturen wie das Strahlbein-Hufbeinband (Ligamentum sesamoideum distale impar LSDI) oder die Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder (Ligamentum sesamoideum collaterale mediale et laterale LSC) des Strahlbeins zeigten tendenziell vermehrt pathologische Veränderungen bei lahmen Pferden.

Die vorliegende Arbeit wies statistisch gesicherte Zusammenhänge zwischen den im Niederfeld-MRT erhobenen Befunden und dem Auftreten uni- oder bilateraler Lahmheiten nach. Signifikante Korrelationen können hierbei Hinweise auf die klinische Bedeutung geben. Einige Signalabweichungen hingegen zeigten eine geringe bis keine Korrelation und sollten daher vorsichtiger bewertet werden.

Schlüsselwörter: Huf, Pferd, Hufrollenerkrankung, Sehne, palmar foot pain, Magnetresonanztomographie, Equines Palmares Fußsyndrom

Summary

Both front limbs of 120 horses were investigated with a low-field-strength MRI unit. The findings were classified into grades 1-4. The examined limbs were sound or lame. In this study it was then considered how the distribution of the findings was, taking into account lameness and comparing this to the contralateral limb. Navicular bone findings occurred frequently (69.2 %) and were significantly more common in bilateral lameness. Tendon findings were less frequent (42.9 %), being significantly more common in unilaterally lame horses.

Findings of the articular surfaces of the distal interphalangeal joint were also frequently seen (47.5 %) but there was no significant relation to unilaterally or bilaterally lame horses. Adhesions of the navicular bursa were in most cases related to changes in the surrounding structure such as navicular bone or tendon. More acute changes correlated significantly with the lameness but small adhesions were also often found in non-lame limbs. The extension of the bursa as well as swelling of the interphalangeal joint were not significantly increased in lame limbs in this study.

Other structures such as the impar ligament or the collateral ligament of the navicular bone showed an increased incidence in lame horses, but due to the small sample size no significant correlations could be found. The comparative analysis of magnetic resonance imaging studies of the hoof region showed the distribution and severity of the findings in the different structures for low field magnetic resonance imaging. It also demonstrated the different distribution of the pathological findings depending on the clinical picture with only unilateral or bilateral lameness.

Keywords: Foot, Horse, navicular disease, tendon, palmar foot pain, magnetic resonance imaging

Einleitung

Erkrankungen des Hufbereichs sind seit langer Zeit als wichtige Ursache von Lahmheiten der Vordergliedmaße bekannt. Als häufigstes Krankheitsbild wurde hier die Podotrochlose mit einer meist bilateralen Lahmheit, einem typischen Gangbild und radiologischen Veränderungen des Strahlbeins angeführt (*Jacobi et al. 2006*). Krankheitsbilder mit zum Beispiel akut auftretenden einseitigen Lahmheiten oder das Auftreten von als pathologisch zu wertenden röntgenologischen Veränderungen ohne klinische Lahmheit, konnten mit dem klassischen Begriff der Podotrochlose kaum erklärt werden. (*Kaser-Hotz 1992, Branscheid 1977*).

Mittels Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT) sowie Studien zur Signifikanz von diagnostischen Anästhesien wurde der Begriff des Equinen Palmaren Fußsyndroms (EPS) als Sammelbegriff für verschiedene Pathologien im Hufbereich erarbeitet (*Dabareiner und Carter 2003, Schneider et al. 2004, Rijkenhuizen 2006*). Insbesondere die MRT-Untersuchung am stehenden Pferd hat sich als wichtiges Instrument bei der weiterführenden Untersuchung dieses Krankheitsbildes durchgesetzt (*Sill et al. 2011*). In verschiedenen Arbeiten wurden die Befunde von lahmen Pferden mit Kontrollgruppen verglichen und histologische Vergleiche im Hochfeld-MRT angestellt (*Blunden et al. 2006a, Blunden et al. 2006, Schramme et al. 2005, Murray et al. 2006*). Zur Verifizierung der Befunde im Niederfeld-MRT wird in vielen Fällen die kontralaterale Gliedmaße vergleichend untersucht. Statistische Auswertungen über die Verteilung und Symmetrie dieser

Befunde liegen hierbei nur für Pferde mit bilateraler Lahmheit und im Hochfeld-MRT vor (*Sampson 2008, Murray et al. 2006, Dyson et al. 2005, Sampson et al. 2009*). Dabei sind noch viele Fragen über die Relevanz und Verteilung auch bei lahmfreien Gliedmaßen offen. Ziel dieser Studie ist die statistische Auswertung der Verteilung von magnetresonanztomographischen Befunden bei lahmen und nicht lahmen Gliedmaßen.

Tiere und Methoden

Beide Vordergliedmaßen von 120 Pferden wurden mit einem Niederfeld-MRT („Hallmarq Veterinarian Limb Scanner“ Unit 1K Merrow Business Centre, Guildford, Surrey, United Kingdom) am stehenden Pferd untersucht. Somit lagen Bilder von 240 Gliedmaßen zur Beurteilung vor. Ein- und Ausschlusskriterien wurden im ersten Teil der Arbeit beschrieben. (*Stöckl et al. 2013a*)

Die MRT-Veränderungen wurden mit Hilfe eines vierstufigen Schemas nach *Stöckl et al. (2013a)* graduiert und deren Häufigkeit bei lahmen und nichtlahmen Gliedmaßen untersucht. Weiterhin wurde die Häufigkeit der am deutlichsten ausgeprägten Befunde einerseits für Gliedmaßen von einseitig lahmen und andererseits für die Gliedmaßen von beidseits lahmen Pferden ermittelt.

Der statistische Zusammenhang zwischen dem Auftreten der verschiedenen Befunde und einer Lahmheit wurde mittels eines Mann-Whitney-U-Tests (einseitige Monte Carlo Signifikanz) ausgewertet.

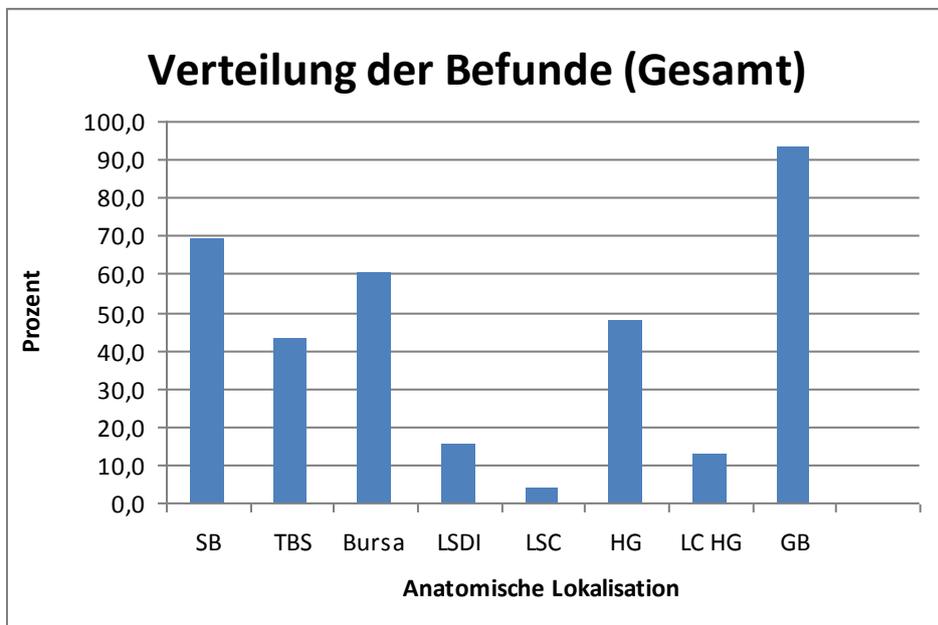
Die statistische Häufigkeit der Befunde an den verschiedenen Strukturen bei einseitig oder beidseitig Lahmen Pferden wurde mittels eines Chi² Tests analysiert.

Befunde des gleichen Grades an zwei Strukturen wurden festgehalten. Bei gleichem Ausprägungsgrad der Befunde von Bursa und Sehne oder Bursa und Strahlbein innerhalb einer Gliedmaße wurde diese Gliedmaßen mit dem höchsten Ausprägungsgrad an der Sehne bzw. dem Strahlbein zugeordnet.

Ergebnisse

Abb. 1 Häufigkeiten der MRT-Befunde (\geq Grad 2) bezogen auf alle Gliedmaßen (N=240)

Frequency of mri findings (\geq grade 2) based on all limbs (N=240)



SB = Strahlbein (navicular bone), TBS = Tiefe Beugesehne (deep digital flexor tendon), Bursa = Bursa podotrochlearis (navicular bursa), LSDI = Ligamentum sesamoideum distale impar (distal sesamoidean ligament), LSC = Ligamentum sesamoideum collaterale (collateral sesamoidean ligament), HG = Hufgelenkfläche (coffin joint surface), LC HG = Ligamentum collaterale Hufgelenk (collateral ligament coffin joint), GB = Gesamtbewertung (total classification)

Insgesamt wiesen 51 Pferde eine bilaterale und 69 Pferde eine unilaterale Lahmheit auf. Somit wurden insgesamt 171 lahme Gliedmaßen und 69 lahmfreie Gliedmaßen untersucht.

Das **Strahlbein** (SB) zeigte am häufigsten Signalabweichungen im MRT-Bild. Bei 69,2 % aller untersuchten Gliedmaßen wurden diese festgestellt (Abb. 1). Es wurden signifikant häufiger Signalabweichungen höherer Grade bei lahmen Gliedmaßen festgestellt (Tab.1). Befunde vom Grad 2 fanden sich mit 47,8 %, auch häufig bei nicht lahmen Gliedmaßen (Gruppe NL) (Abb. 2a).

Gliedmaßen von bilateral lahmen Pferden zeigten Befunde mit dem höchsten Ausprägungsgrad am Strahlbein von 34,3 % der Fälle. Dies ist signifikant häufiger im Vergleich zu Gliedmaßen mit einer einseitigen Lahmheit (Tab. 2). Zusätzlich traten

bei zwölf Pferden Veränderungen des gleichen Grades sowohl am Strahlbein als auch an der tiefen Beugesehne auf.

Das **Strahlbein–Hufbeinband** (Ligamentum sesamoideum distale impar, LSDI) war in 15,4 % der Gliedmaßen auffällig (Abb.1). 10,2 % der nicht lahmen und 17,6 % der lahmen Gliedmaßen wiesen Signalveränderungen auf, wobei nur in einem Fall ein Split (deutlich erkennbare längliche Signalveränderung) im Band selber festgestellt wurde. Als Befund mit dem höchsten Ausprägungsgrad einer Gliedmaße wurde eine Veränderung in diesem Band nur bei 3,9 % der beidseitig lahmen Pferde gewertet. Eine statistische Signifikanz ließ sich auf dieser Grundlage nicht berechnen (Tab.1+2).

Das **Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinband** (Ligamentum sesamoideum collaterale mediale et laterale, LSC) zeigte bei nicht lahmen keine und bei lahmen Gliedmaßen in 3,8 % der Fälle eine Signalabweichung (Abb. 1), (Tab. 1).

Bei der **tiefen Beugesehne** waren in 42,9 % der Gliedmaßen Abweichungen von der physiologischen Signaldarstellung feststellbar (Abb. 1) mit einer signifikanten Häufung bei lahmen Gliedmaßen (Tab. 1) (36,2 % Gruppe NL, 45,6 % Gruppe L). Dabei wiesen einseitig lahme Pferde signifikant häufiger Signalabweichungen mit höchstem Ausprägungsgrad der Sehne (22,2 %) als bilateral lahme Pferde (11,8 %) auf (Tab. 2).

Bei 60 % aller Gliedmaßen wurden Signalveränderungen an der **Bursa podotrochlearis** festgestellt. Diese stellten sich entweder als kompletter oder teilweiser Verlust des Flüssigkeitssignals zwischen der tiefen Beugesehne und der Facies flexoria dar oder als Veränderung im Flüssigkeitssignal im Recessus. Ein signifikanter Unterschied zwischen lahmen und nichtlahmen Gliedmaßen konnte nur für höhergradige Befunde (Grad 3 und 4) erkannt werden. Befunde dieser Ausprägung traten signifikant häufiger bei lahmen Gliedmaßen auf (8,8 % Gruppe NL, 19,9 % Gruppe L). Deutliche Signalveränderungen im Bereich der Bursa podotrochlearis wurden jedoch selten ohne Vergesellschaftung mit Veränderungen an der Sehne oder des Strahlbeins und nur bei beidseitig lahmen Pferden festgestellt (Tab. 2). Die relative Ausdehnung der Bursa podotrochlearis zeigte keinen Unterschied zwischen lahmen und nicht lahmen Gliedmaßen. Auch ließ sich keine signifikante Differenz in der Größe der Recessus der Bursa bei beidseitig oder einseitig lahmen Pferden feststellen (Tab. 2).

Tab. 1 Statistische Auswertung der Korrelation von Gruppe (lahm oder nicht lahm) und Einstufung der pathologischen MRT-Veränderungen. (Mann-Witney-U Test, 1 seitige Monte Carlo Signifikanz)

Statistical analysis of the correlation between group (lame or not lame) and the classification of the pathological mri features (Mann- Witney- U Test)

Struktur	Signifikanz P
SB	0.001
TBS	0,042
Bursa	0,302
LSDI	0,059
LSC	0,045
HG	0.029
LC HG	0,500
GB	>0,0001

SB = Strahlbein (navicular bone), TBS = Tiefe Beugesehne (deep digital flexor tendon), Bursa = Bursa podotrochlearis (navicular bursa), LSDI = Ligamentum sesamoideum distale impar (distal sesamoidean ligament), LSC = Ligamentum sesamoideum collaterale (collateral sesamoidean ligament), HG = Hufgelenkfläche (coffin joint surface), LC HG = Ligamentum collaterale Hufgelenk (collateral ligament coffin joint), GB = Gesamtbewertung (total classification)

Abb. 2a Häufigkeiten der Einstufungen der MRT-Befunde in die Grade 1 - 4 jeweils für die einzelnen Strukturen in die Gruppe NL = Nicht lahme Gliedmaßen in Prozent.
Frequency of the mri classification in grade 1-4 for the different structures of group NL= not lame limb (in percent)

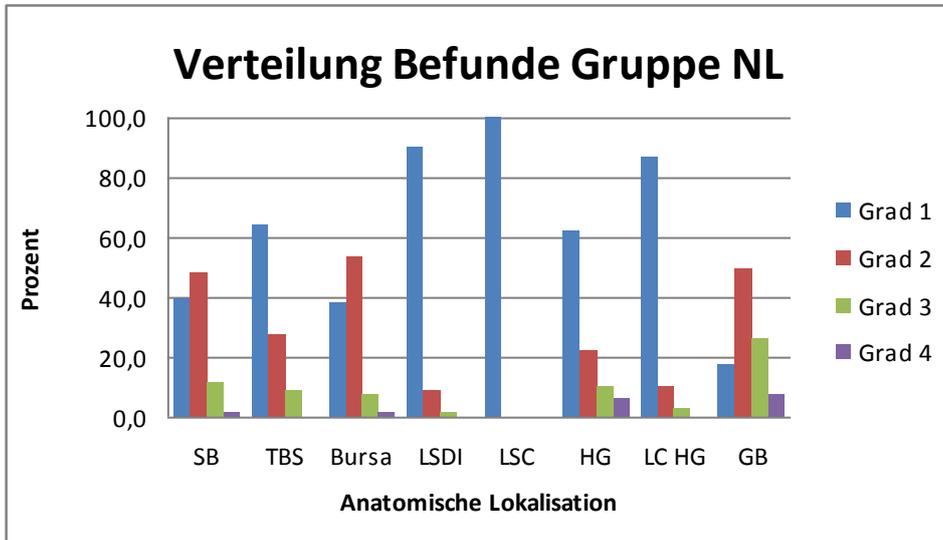
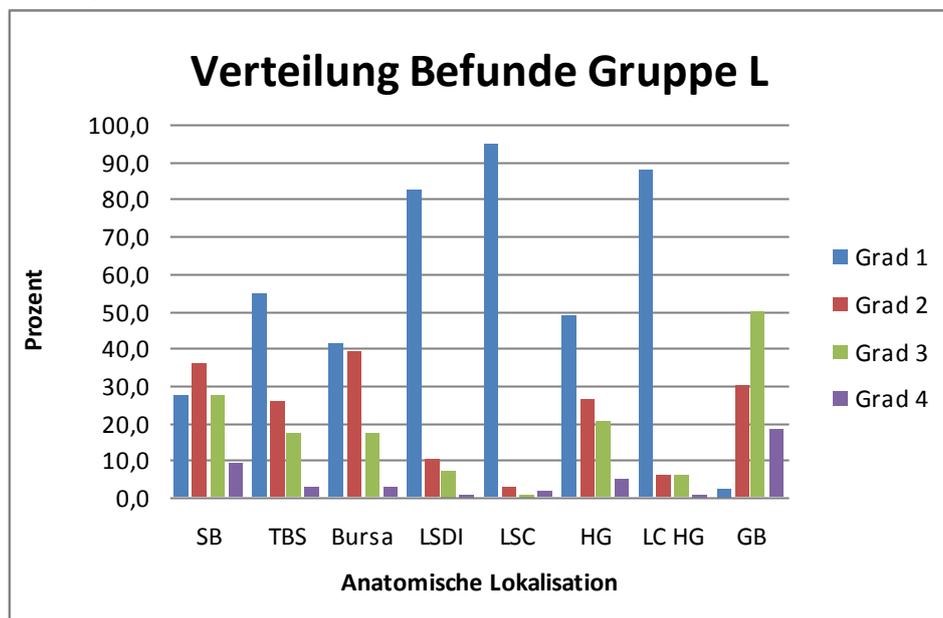


Abb. 2b Häufigkeiten der Einstufungen der MRT-Befunde in die Grade 1 - 4 jeweils für die einzelnen Strukturen in die Gruppe L = Lahme Gliedmaße in Prozent.
Frequency of the mri classification in grade 1-4 for the different structures of group L = lame limb (in percent)



SB = Strahlbein (navicular bone), TBS = Tiefe Beugesehne (deep digital flexor tendon), Bursa = Bursa podotrochlearis (navicular bursa), LSDI = Ligamentum sesamoideum distale impar (distal sesamoidean ligament), LSC = Ligamentum sesamoideum collaterale (collateral sesamoidean ligament), HG = Hufgelenkfläche (coffin joint surface), LC HG = Ligamentum collaterale Hufgelenk (collateral ligament coffin joint), GB = Gesamtbewertung (total classification)

Signalveränderungen an den **Gelenkflächen des Hufgelenks** fanden sich in 47,5 % aller Fälle (Abb. 1) mit einer signifikanten Häufung der Befunde bei lahmen Gliedmaßen (Tab. 1) (34,8 % Gruppe NL, 49,2 % Gruppe L). Hier zeigten sich bei drei Gliedmaßen hochgradige Knorpelschäden mit subchondralen Veränderungen bei lahmen Gliedmaßen und bei einer Gliedmaße ein zystoider Defekt im Kronbein ohne klinische Lahmheit.

Bei 30,6 % der Gliedmaßen von einseitig lahmen und bei 21,6 % der Gliedmaßen von beidseitig lahmen Pferden wurden im Hufgelenk die am deutlichsten ausgeprägten Abweichungen der kernspintomographischen Signale gefunden (Tab. 2).

Tab. 2 Statistische Auswertung der Häufigkeiten der Befunde mit höchstem Ausprägungsgrad in den Gruppen beidseits lahm (bds.) und einseitig lahm (eins.) mittels Chi²- Test

Statistical analysis by frequency of the marked findings at each limb in groups both limbs lame (bds.) and one limb lame (eins.) with Chi² test

Befund mit höchstem Grad	% Gldm bds.	% Gldm eins.	Chi ² - Test
	lahm	Lahm	
SB	34,3	15,3	p <0,001
TBS	11,8	22,2	p <0,05
HG	21,6	30,6	p>0,05
Bursa	5,9	0,0	p>0,05
LC HG	1,0	9,7	p>0,05
LSDI	3,9	0,0	p>0,05
Multiple Befunde	19,6	13,9	p>0,05
keine Befunde	2,0	8,3	p>0,05
Füllung Bursa			
Füllung gleich	63,8	76,5	p>0,05
Füllung ungleich (>=1 Grad Diff.)	36,2	23,5	p>0,05
Füllung Hufgelenk			
Füllung gleich	73,9	66,7	p>0,05
Füllung ungleich (>= 1 Grad Diff.)	26,1	33,3	p>0,05

SB = Strahlbein (navicular bone), TBS = Tiefe Beugesehne (deep digital flexor tendon), Bursa = Bursa podotrochlearis (navicular bursa), LSDI = Ligamentum sesamoideum distale impar (distal sesamoidean ligament), LSC = Ligamentum sesamoideum collaterale (collateral sesamoidean ligament), HG = Hufgelenkfläche (coffin joint surface), LC HG = Ligamentum collaterale Hufgelenk (collateral ligament coffin joint)

Die **Seitenbänder des Hufgelenkes** wichen bei 12,5 % der Gliedmaßen von der physiologischen Signalintensität ab und zeigten lediglich bei zwei Gliedmaßen die höchste Ausprägung des Befundes (Grad 4, Abb. 1) (13,1 % Gruppe NL, 12,3 % Gruppe L). Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen lahmen und nicht lahmen Gliedmaßen im Bezug auf die Häufigkeit von Signalabweichungen der Seitenbänder des Hufgelenkes festgestellt werden. Eine Häufung als Befund mit deutlichster Ausprägung ließ sich mit 9,7 % bei einseitig lahmen Gliedmaßen allerdings erkennen (Tab.2). Weitere 3 Pferde zeigten sowohl Veränderungen der Seitenbänder als auch des Hufgelenkes.

Die **Ausweitung des Hufgelenks** wurde getrennt bewertet. Es war keine signifikant verstärkte Ausweitung des Hufgelenks (Ausdehnung der Signale der Recessus in der MRT-Untersuchung) bei lahmen Gliedmaßen feststellbar (Tab. 2).

In der **Gesamtbewertung** aller Befunde zeigt sich ein signifikant stärkeres Auftreten von Veränderungen bei lahmen Gliedmaßen ($p < 0,0001$) (Tab. 1). Allerdings wiesen auch 49,3 % der nicht lahmen Gliedmaßen geringgradige Veränderungen auf (Abb. 2a).

Diskussion

Mittels vergleichender Niederfeld-MRT-Untersuchung der Hufregion beider Vordergliedmaßen der Pferde bestand die Möglichkeit, Art, Häufigkeit und Verteilung von MRT-Befunden zu vergleichen. Hierbei ließ sich auch das unterschiedliche Auftreten von Befunden an lahmen und nicht lahmen Gliedmaßen dokumentieren und auswerten.

Die Stärke der Veränderungen des **Strahlbeines** hängt, wie auch bereits in vorangegangenen Arbeiten festgestellt, signifikant mit der Lahmheit zusammen (Murray et al. 2006, Dyson et al. 2012, Rijkenhuizen 2006). Auffällig hierbei ist allerdings das vermehrte Auftreten geringgradiger Befunde (Grad 2) auch bei lahmfreien Gliedmaßen. Geringgradige ödemartige Läsionen wurden in vorangegangenen Studien sowohl bei klinisch gesunden Menschen als auch Pferden festgestellt (Zanetti et al. 2000, Busoni et al. 2004, Vande Berg et al. 1998). Es stellt sich die Frage, welche Bedeutung diesen Veränderungen damit zukommt. Erweiterte

Canales sesamoidales mit leichter Verdickung der Kortikalis wurden ebenfalls mit Grad 2 bezeichnet (Stöckl et al. 2013a) und stellen damit einen großen Teil der Veränderungen vom Grad 2 dar. Eine klinische Bedeutung solcher vergrößerter Canales, die sich auch im Röntgen erkennen lassen, wird aber seit längerem immer wieder kontrovers diskutiert (Doige und Hoffer 1983, Branscheid 1977, Blunden et al. 2006, Schramme et al. 2005).

Aufgrund der Auswahl von ausschließlich Pferden mit einer Lahmheit zumindest einer Gliedmaße ist es möglich, dass auch die lahmfreie Gliedmaße Vorschädigungen des Strahlbeins aufweist. Dies würde wieder klassische Theorien der bilateralen Erkrankung des Strahlbeins im Sinne einer Podotrochlose unterstützen (Dyson et al. 2006, Wilson et al. 2001, McGuigan und Wilson 2001). Hierfür spricht ebenso, dass Strahlbeinveränderungen signifikant häufiger bei beidseitig lahmen Pferden als Hauptbefund erhoben werden konnten. Für die klinische Untersuchung lässt sich festhalten, dass die erhöhte Wahrscheinlichkeit einer Beteiligung des Strahlbeins bei bilateralen Lahmheiten als Lahmheitsursache durch diese Studie unterstützt wird. Die Überbewertung von geringen Strahlbeinveränderungen im MRT sollte allerdings vermieden werden. Selten war das Signalmuster des **Strahlbein–Hufbeinbandes (LSDI)** verändert. Dies entspricht vorangegangenen Studien im Hochfeld-MRT. Histologische Vergleiche ergaben, dass die Spezifität und Sensitivität der MRT-Untersuchung für diese Struktur nicht besonders hoch sind (Murray et al. 2006, Blunden et al. 2006a). Die Schichtdicke und der Abstand der Schnitte zueinander kann die Erkennung von Läsionen im Niederfeld-MRT noch zusätzlich erschweren (Vallance et al. 2012b, Dyson et al. 2010). Die klinische Bedeutung dieser kernspintomografischen Befunde ist weiterhin unklar und weitere Untersuchungen diesbezüglich sind wünschenswert. Die **Fesselbein–Strahlbein–Hufbeinbänder (LSC)** waren ebenfalls selten verändert, was Ergebnisse von Sill (2007) unterstützt. Untersuchungen mit Hochfeld-Geräten fanden allerdings eine deutlich höhere Anzahl mit Signalabweichungen der Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder (Sampson et al. 2008, Dyson et al. 2007, Schramme et al. 2005).

Es stellt sich die Frage, ob die Struktur der Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder mit Niederfeldgeräten ausreichend erkannt werden kann. Vallance et al. (2011) gehen,

nach Untersuchung einer geringen Fallzahl lediglich von einer bedingten Darstellbarkeit aus.

In der vorliegenden Studie ließ sich eine signifikante Häufung der Befunde im Bereich des Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbandes bei den lahmen Gliedmaßen feststellen. Dieser Befund trat häufig in Vergesellschaftung mit weiteren deutlichen Strahlbeinveränderungen auf und scheint Ausdruck eines Krankheitsbildes des gesamten Strahlbeins mit seine Bandaufhängungen zu sein.

Die **tiefe Beugesehne (TBS)** ist nach dem Strahlbein die am häufigsten betroffene Struktur. Veränderungen treten signifikant häufiger bei lahmen Gliedmaßen auf. Damit wird ihre Bedeutung im Equinen Palmaren Fußsyndrom (EPFS) deutlich (*Steenbuck 2008, Mair und Kinns 2005*). Einseitig lahme Pferde weisen mit höherer Wahrscheinlichkeit einen Sehnenschaden als beidseitig lahme Pferde auf. Damit ist eine unterschiedliche Ätiologie von Sehnenschäden im Gesamtbild des EPFS wahrscheinlich. Eine Schädigung der Sehne im klassischen Sinne durch Zugüberlastung wie sie auch im proximalen Teil der Sehne bekannt ist, scheint hier in vielen Fällen möglich. Durch die anatomische Nähe der einzelnen Strukturen sind aber auch Schädigungen der Sehnenoberfläche durch Unregelmäßigkeiten der Facies flexoria denkbar.

Die Bewertbarkeit der **Gelenkflächen des Hufgelenks** im Niederfeld-MRT wird unterschiedlich und sehr kritisch diskutiert (*Zubrod et al. 2004, Tapprest et al. 2002, Olive et al. 2010*). Die Auflösung des Hallmarq Systems kann in „High Resolution Scans“ Strukturen bis zu einer Dicke von 0,88 mm darstellen und dünnere Objekte sind sehr anfällig für Schichtdickenartefakte. Zusätzlich verstärkt der große Kontrastunterschied zwischen dem Gelenkknorpel und dem subchondralen Knochen dieses Phänomen (*Werpy et al. 2007*). Um bei der konvexen Krümmung des Gelenkknorpels möglichst viele Schnitte mit einer senkrechten Ausrichtung zur Gelenkfläche zu erhalten, wurden spezielle Untersuchungsprotokolle erarbeitet. Dabei konnten die Artefakte minimiert werden (*Schulze und Weinberger 2008*), stellen aber trotzdem noch ein Problem bei der Bewertung dar. Demnach sind die Ergebnisse in Hinblick auf die genaue Differenzierung der unterschiedlichen Grade und damit auch die Zusammenhänge zur klinischen Lahmheit kritisch zu betrachten. Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen auf eine nicht unerhebliche Beteiligung des Hufgelenks an Lahmheiten aus der Region hin und bestätigen vorangegangene

Arbeiten mit deutlich geringeren Fallzahlen (*Dyson und Ross 2003, Schulze und Weinberger 2008, Zubrod et al. 2004*). Eine Zuordnung von Hufgelenkveränderungen zu einer einseitigen oder einer beidseitigen Lahmheit lässt sich nicht erkennen. Eine deutliche Beteiligung am Equinen Palmaren Fußsyndrom (EPFS) ist anzunehmen, wobei insbesondere bei gering- und mittelgradigen Veränderungen die Diagnose als primäre Schmerzursache mit Vorsicht zu stellen ist.

Weitere Strukturen, welche in diversen Studien als primäre Schmerzursache beschrieben werden, sind die **Seitenbänder des Hufgelenks** (*Dyson et al. 2008, Mair und Sherlock 2008, Zubrod et al. 2004*). Veränderungen traten in dieser Studie nur in geringer Fallzahl auf und verteilten sich sowohl auf lahme als auch lahmfreie Gliedmaßen. Ursächlich könnte eine Überbewertung von geringen und mittleren Signalveränderungen oder Magic angle Artefakte sein (*Smith et al. 2007, Spriet et al. 2008*). Als stärkster Befund waren Veränderungen der Bänder bis auf einen Fall nur bei einseitig lahmen Pferden feststellbar. Es ist zu vermuten, dass Schäden einseitigen Lahmheiten zuzuordnen sind. Einen Beleg hierfür liefern die Daten allerdings nicht.

Die hohe Anzahl an Befunden vom Grad 2 bei Adhäsionen der **Bursa podotrochlearis** bei lahmfreien Gliedmaßen stellt deren Bedeutung in Frage. Sie entspricht histologischen Vergleichen (*Murray et al. 2006, Wright et al. 1998, Blunden et al. 2006a, Dyson et al. 2011*) und sollte bei der MRT-Bewertung immer kritisch bedacht werden. Befunde wurden häufig im Zusammenhang mit Schädigungen der Sehne oder des Strahlbeins festgestellt und selten als stärkster Befund an einer Gliedmaße. Eine Bedeutung als alleinige Lahmheitsursache scheint daher eher selten zu sein.

Im Bezug auf die **Füllung des Hufgelenks oder der Bursa podotrochlearis** konnte kein signifikanter Unterschied im Füllungsgrad der synovialen Räume von lahmen zu nicht lahmen Gliedmaßen festgestellt werden. Auch einseitig lahme Pferde zeigten auf der lahmen Gliedmaße keinen signifikant vermehrten Füllungsgrad im Vergleich zur nicht lahmen Gliedmaße. Dies steht Aussagen gegenüber bei denen die Füllung oder der Druck in den synovialen Räumen direkt mit pathologischen Prozessen gebracht wurde (*Dietz und Huskamp 2006, Höppner 1993, Zuther 2005*). Da der Druck nicht direkt mit dem Füllungszustand korreliert sind weitere Studien notwendig,

um die Bedeutung des Drucks der synovialen Räume im Equinen Palmaren Fußsyndrom (EPS) zu klären.

In anderen Arbeiten mit Kontrollgruppe wurde eine generelle Ausdehnung des Hufgelenks bei lahmen Pferden hingegen als signifikant angesehen (*Murray et al. 2006*). Hier ist eine pathologische Veränderung der synovialen Funktionen auch bei der kontralateralen Gliedmaße ohne klinische Lahmheit denkbar. Eine Beeinflussung des Füllungsgrads durch den Untersuchungsaufbau beim stehenden Pferd muss bedacht werden. So kann eine gleichmäßige Lastverteilung beim sedierten Pferd nicht immer gewährleistet sein. Dennoch sollte die Ausdehnung der synovialen Räume aufgrund der Ergebnisse dieser Studie bezüglich der klinischen Relevanz kritisch betrachtet werden. Zu bedenken ist, dass die Erkennbarkeit des proximalen Rezessus der Bursa podotrochlearis in einigen Fällen schwierig war, da die direkt angrenzenden synovialen Strukturen des Hufgelenks und der Sehnenscheide nicht immer genau differenziert werden konnten.

Das Patientengut, welches einer MRT-Untersuchung zugeführt wird, ist durch den damit verbundenen hohen Aufwand und den Kosten in gewisser Weise vorselektiert. So wurden auch in dieser Studie hauptsächlich Pferde mit länger andauernden Lahmheiten, die durch die klassischen Untersuchungsmethoden nicht ausreichend ausdiagnostiziert werden konnten, aufgenommen. Akute Lahmheiten oder direkte Untersuchung ohne vorherigen Behandlungsversuch stellen nur einen sehr geringen Teil des Patientenguts dar.

Es ist davon auszugehen, dass die erkannten pathologischen Vorgänge insgesamt schwerwiegender, schwieriger zu therapieren und/oder langwieriger in der Abheilung sind. In der bei allen Pferden vorab durchgeführten röntgenologischen Untersuchung wurden deutliche Knochenveränderungen in einigen Fällen diagnostiziert und diese Pferde nicht mehr kernspintomografisch untersucht. Knochenbefunde sind daher unterrepräsentiert.

Der Vergleich zwischen lahmen und lahmfreien Gliedmaßen ist nicht vollständig mit einer Kontrollgruppe von gesunden Pferden zu vergleichen. Die kontralaterale Seite bei einseitig lahmen Pferden kann ebenfalls Schädigungen aufweisen, welche noch keine Lahmheit hervorgerufen haben. Vergleiche der MRT-Befunde mit

Kontrollgruppen von gänzlich lahmfreien Pferden sind aber mehrfach beschrieben (*Blunden et al. 2009, Murray et al. 2006, Sampson et al. 2008*).

In dieser Studie wurden die Befunde nicht histologisch verifiziert. Angaben zu Signalveränderungen in der MRT-Untersuchung, die aufgrund bestehender Vergleiche mit histologischen Untersuchungen als pathologisch eingestuft wurden (*Dyson et al. 2008, Vallance et al. 2012a, Murray et al. 2006, Steenbuck 2008*) beziehen sich größtenteils auf Untersuchungen im Hochfeld-MRT. Dadurch sind gewisse Unterschiede in den Ergebnissen erklärbar. Unterschiede in der Technik sowie im verwendeten Protokoll und der Bewertung können zur Über- oder Unterbewertung bestimmter Bereiche geführt haben (*Vallance 2012b*). Auch der subjektive Einfluss der bewertenden Person spielt hierbei eine große Rolle.

Die Symptome aller Pferde entsprachen dem heute häufig in der Literatur als EPFS entsprechendem Krankheitsbild (*Sampson et al. 2008*), da die Lokalisation der Schmerzursache durch diagnostische Anästhesien auf den Hufbereich eingegrenzt werden konnte. Die Sensitivität der Leitungs- und insbesondere auch der Hufgelenkanästhesie ist nach Ergebnissen mehrere Studien allerdings begrenzt und eine Diffusion in umliegende Bereiche ist nicht ausgeschlossen (*Easter 1997, Schumacher et al. 2001, Rijkenhuizen 2001*).

Viele Fragen bezüglich des EPS sind weiter offen (*Dyson et al. 2006, Dyson et al. 2011*). Insbesondere die Einschätzung von gering- bis mittelgradigen Befunden bestimmter Strukturen aus der MRT-Untersuchung als direkte Lahmheitsursache bleibt schwierig. Ergebnisse aus MRT-Untersuchungen wurden bisher nur in wenigen Studien verwendet, um z. B. Art der Lahmheit, Provokationsproben oder Anästhesien in ihrer Signifikanz für bestimmte pathologische Veränderungen der Hufregion zu belegen (*Sill et al. 2011*).

Die vorliegende Arbeit wies statistisch gesicherte Zusammenhänge zwischen den im Niederfeld-MRT erhobenen Befunden und dem Auftreten ein- oder beidseitiger Lahmheiten nach. Signifikante Korrelationen können hierbei Hinweise auf die klinische Bedeutung geben. Einige Signalabweichungen hingegen zeigten eine geringe Korrelation und sollten daher vorsichtiger bewertet werden. Der Vergleich mit der Verteilung der Befunde je nach ein- oder beidseitiger Lahmheit liefert Hinweise für die klinische Untersuchung.

Literaturverzeichnis

Blunden A., Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2006a) Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 1 Navicular bone and related structures. *Equine Vet. J.*, 38, 15-22

Blunden A., Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2006b) Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 2 The deep digital flexor tendon. *Equine Vet. J.*, 38, 23–27

Blunden A., Murray R. und Dyson S. (2009) Lesions of the deep digital flexor tendon in the digit: A correlative MRI and post mortem study in control and lame horses. *Equine Vet. J.*, 41, 25-33

Branscheid J. (1977) Untersuchungen an der Hufrolle bei Pferden mit und ohne Hufrollenerkrankung (Podotrochlose). Dissertation, Stuttgart, Universität Hohenheim

Busoni V., Snaps F., Trenteseaux J. und Dondelinger R.F. (2004) Magnetic resonance imaging of the palmar aspect of the equine podotrochlear apparatus, normal appearance. *Vet. Radiol. Ultras.*, 45, 198-204

Dabareiner R. und Carter G. (2003) Diagnosis, treatment, and farriery for horses with chronic heel pain. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.*, 19, 417–441

Doige C. E. und Hoffer M. A. (1983) Pathological changes in the navicular bone and associated structures of the horse. *Canadian J. Comp.Med.Revue canadienne de médecine comparée*, 47, 387–395

Dyson S., Blunden T. und Murray R. (2008) The collateral ligaments of the distal interphalangeal joint, magnetic resonance imaging and post mortem observations in 25 lame and 12 control horses. *Equine Vet. J.*, 40, 538–544

Dyson S., Murray R., Blunden T. und Schramme M. (2006) Current concepts of navicular disease. Equine Vet. Educ., 18, 45-56

Dyson S., Murray R., Schramme M. und Blunden T. (2011) Current concepts of navicular disease. Equine Vet. Educ., 23, 27-39

Dyson S., Pool R., Blunden T. und Murray R. (2010) The distal sesamoidean impar ligament: comparison between its appearance on magnetic resonance imaging and histology of the axial third of the ligament. Equine Vet. J., 42, 332–339

Dyson S., Murray R. und Schramme M. (2005) Lameness associated with foot pain: results of magnetic resonance imaging in 199 horses (January 2001--December 2003) and response to treatment. Equine Vet. J., 37, 113–121

Dyson S. und Murray R. (2007) Magnetic Resonance Imaging of the Equine Foot. Clinical, Techn. Equine Pract., 46–61

Easter J. (2000) Effects of Regional Anesthesia on experimentally induced Coffin Joint Synovitis, Proc. of the AAEP Convention, San Antonio, Texas

Gerhards, H., Hertsch, B., Jahn, P. und G. Brunken (2007) Leitfaden für die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes (Röntgenleitfaden RÖLF 07). Gesellschaft für Pferdemedizin (Dortmund) und Bundestierärztekammer (Bonn)

Höppner S. (1993) Vergleichende klinische Studie über die Hufgelenkanästhesie und die direkte Druckmessung im Hufgelenk als diagnostische Kriterien bei der Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms beim Pferd, Dissertation, Hannover

Jacobi R., Jaugstetter H., und Litzke L.F. (2006) Handbuch Pferdepraxis. 3. Aufl., Stuttgart, Enke Verlag Stuttgart, S. 987 - 992

Kaser-Hotz B. und Ueltschi G. (1992) Radiographic Appearance of the navicular bone in sound horses. Vet.Radiol.Ultras., 33, 9–17

Mair T. und Kinns J. (2005) Deep digital flexor tendonitis in the equine foot diagnosed by low-field magnetic resonance imaging in the standing patient 18 cases. Vet Radiol Ultras., 46, 458–466

Mair T. und Sherlock C. (2008) Collateral desmitis of the distal interphalangeal joint in conjunction with concurrent ossification of the cartilages of the foot in nine horses, Equine Vet. Educ., 20, 485-492

McGuigan M. und Wilson A. (2001) The effect of bilateral palmar digital nerve analgesia on the compressive force experienced by the navicular bone in horses with navicular disease. Equine Vet. J., 33, 166-171

Murray R., Schramme M. C., Dyson S. J., Branch M. V. und Blunden T.S. (2006a) Magnetic resonance imaging characteristics of the foot in horses with palmar foot pain and control horses. Vet. Radiol. Ultras., 47, 1-16

Murray R.C., Blunden T. S., Schramme M. C. und Dyson, S. (2006) How does magnetic resonance imaging represent histologic findings in the equine digit. Vet. Radiol. Ultras., 47, 17–31

Olivie J., D'anjou M., Laverty K.A. und Theoret C. (2010) Comparison of magnetic resonance imaging, computed tomography and radiography for assessment of noncartilaginous changes in equine metacarpophalangeal osteoarthritis. Vet. Radiol. Ultras. 31, 267-279

Rijkenhuizen A. (2006) Navicular disease: a review of what's new. Equine Vet. J., 38, 82-88

Rijkenhuizen A. (2001) Die diagnostischen Anästhesien an der Vordergliedmaße des Pferdes. *Pferdeheilkunde*, 17, 330–338

Schneider R. K., Gavin P. R. und Tucker R. L. (2004) What is MRI teaching us about Navicular Disease. Proc. of the Annual Convention of the AAEP, New Orleans

Dyson S. J. und Ross M. W. (2003) Diagnosis and Management of Lameness in the Horse. St. Louis, Missouri, Saunders

Sampson S.N. (2008) Magnetic Resonance Imaging Findings in Horses With Recent and Chronic Bilateral Forelimb Lameness Diagnosed as Navicular Syndrome. Proc. of the Annual Convention of the AAEP, San Diego

Sampson S., Schneider R., Gavin P., Ho C., Tucker R. und Charles E. (2009) Magnetic resonance imaging findings in horses with recent onset navicular syndrome but without radiographic abnormalities. *Vet Radiol., Ultras.*, 50, 339-346

Schramme M.C., Murray R.C., Blunden A.S. und Dyson, S.J. (2005) A Comparison Between Magnetic Resonance Imaging, Pathology and Radiology in 34 Limbs With Navicular Syndrome and 25 Control Limbs. Proc. Of the AAEP Convention, Seattle, 348-358

Schulze T. und Weinberger T. (2008) Der Wert einer "Low-Field" MRT-Untersuchung für die Diagnose von Knorpeldefekten im Hufgelenk des Pferdes. *Pferdeheilkunde*, 24, 406–410

Schumacher J., Graves F. de, Steiger R., Schramme M.C., Smith R. und Coker M. (2001) A comparison of the effects of two volumes of local analgesic solution in the distal interphalangeal joint of horses with lameness caused by solar toe or solar heel pain. *Equine Vet. J.*, 33, 265-268

Sill V. (2007) Kernspintomographische Untersuchungen in der Hufregion am stehenden Pferd. Dissertation. München.

Sill V., Skorka A., Gerhards H. und Gerlach K. (2011) Magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion am stehenden Pferd. *Pferdeheilkunde*, 27, 39–48

Smith M., Dyson S. und Murray R. (2008) Is a magic angle effect observed in the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint or the oblique sesamoidean ligaments during standing magnetic resonance imaging? *Vet. Radiol. Ultras.*, 9, 509–515

Spriet M., Mai W. und McKnight A. (2007) Asymmetric signal intensity in normal collateral ligaments of the distal interphalangeal joint in horses with a low-field MRI system due to the magic angle effect. *Vet. Radiol. Ultras.*, 48, 95–100

Stashak T. (2008) Adams Lahmheit bei Pferden. 4. Aufl., Hannover: Schaper

Steenbuck N. (2008) Verifizierung kernspintomographischer Befunde der tiefen Beugesehne im Hufbereich von Pferden durch histopathologische Kontrolluntersuchungen. Dissertation, München

Stöckl T., Schulze T., Brehm W. und Gerlach K. (2013a) Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion im Niederfeld-MRT. Teil 1: Befunde und Entwicklung eines Befundschemas, *Pferdeheilkunde*

Tapprest, J., Audigie, F. und Denoix J.M. (2002) Low field magnetic resonance imaging of articular cartilage und subchondral bone of interphalangeal joints in the horse: Preliminary Results. *Ecole Nationale Veterinaire d'Alfort, CIRALE*

Trotter G. W. (1999) Aspects of Palmar Heel Pain. Proc. of the AAEP Convention, Albuquerque, New Mexico

Vallance, S. A., Bell, R. J. W., Spriet, M., Kass, P. H. und Puchalski, S. M. (2012a) Comparisons of computed tomography, contrast enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. Part 1: Anatomic visualisation scores. *Equine Vet. J.* 44, 51-56

Vallance S., Bell R., Spriet M., Kass P. und Puchalski S. (2012b) Comparisons of computed tomography, contrast-enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot, Part 2, Lesion identification. *Equine Vet. J.* 44, 149-56

Van de Berg B., Malghem J., Lecouvet F. und Maldague B. (1998) Classification and detection of bone marrow lesions with magnetic resonance imaging, *Skeletal Radiol.*, 27, 529–545

Werpy N. M. (2007) Magnetic resonance imaging of the equine patient. A comparison of high- and low-field systems. *Clin. Tech. Equine Pract.* 6, 37-45

Wilson A., McGuigan M., Fouracre L. und MacMahon L. (2001) The force and contact stress on the navicular bone during trot locomotion in sound horses and horses with navicular disease. *Equine Vet. J.*, 33, 159-165(7)

Wright I., Kidd L. und Thorp B. (1998) Gross, histological and histomorphometric features of the navicular bone and related structures in the horse. *Equine Vet. J.*, 30, 220–234

Zanetti M., Bruder E., Romero J. und Hodler J. (2000) Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings. *Radiology*, 215, 835–840

Zubrod C., Farnsworth K., Tucker R. und Ragle C. (2005) Injury of the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint diagnosed by magnetic resonance. Vet. radiol. Ultras. 46, 11–16

Zubrod C. J., Schneider R. K., Tucker R. L., Gavin P. R., Ragle C. A. und Farnsworth K. D. (2004) Use of magnetic resonance imaging for identifying subchondral bone damage in horses, 11 cases (1999-2003). J. Am. Vet. Med. Assoc. 224, 411–418

Zuther M. (2005) Die direkte Druckmessung in der Bursa podotrochlearis als diagnostisches Hilfsmittel zur Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms. Dissertation, Berlin

Thomas Stöckl

Tierklinik Binger Wald

Zum Bergwerk 1

55425 Waldalgesheim

Tel.: 01635942474

t.stoeckl@docvet.com

3 Diskussion

3.1 Ziele der Arbeit

- Erhebung von MRT-Befunden aus einer größeren Anzahl von bilateralen Untersuchungen der Hufregion im Niederfeld-MRT am stehenden Pferd.
- Erstellung eines Schemas zur Befundeinstufung in Anpassung an die Gegebenheiten im Niederfeld-MRT.
- Auswertung dieser Befunde in Hinblick auf ihre Verteilung auf lahme und nicht lahme Gliedmaßen.
- Auswertung dieser Befunde in Hinblick auf ein unilaterales oder bilaterales Auftreten.

Die Untersuchung einer breiten Anzahl von Gliedmaßen im Niederfeld-MRT zeigt, dass bestimmte Befunde signifikant häufiger bei lahmen Gliedmaßen auftreten und damit als klinisch relevant bestätigt werden konnten. Leichte bis mittlere Abweichungen von der physiologischen Signalintensität wurden bei einigen Strukturen allerdings auch bei nicht lahmen Gliedmaßen festgestellt und müssen daher vorsichtig bewertet werden. Die einseitige oder beidseitige Verteilung von Befunden gibt Hinweise auf eine mögliche Pathogenese und kann bei der klinischen Untersuchung bedacht werden.

Es wurden Studien bereits angefertigt, die sich mit den Häufigkeiten von Befunden und ihrer Beziehung zueinander beschäftigten (DYSON et al. 2007; MURRAY et al. 2006b; MAIR und KINNS 2003). Viele dieser Arbeiten fanden allerdings am liegenden Pferd in Allgemeinanästhesie mittels einer Hochfeld-MRT-Untersuchung und mit geringen Fallzahlen statt. Vergleiche mit der kontralateralen Gliedmaße wurden bisher kaum mit einbezogen (SAMPSON et al. 2008).

Um Ergebnisse aus den MRT-Untersuchungen zu vergleichen und für statistische Auswertungen verwendbar zu machen ist es notwendig, möglichst objektive Kriterien zur Beschreibung und Einstufung der Signalabweichungen anzuwenden. Bei der Literaturrecherche und der Verwendung bestehender Befundschemata wurde klar,

dass diese für die Niederfeld-MRT-Untersuchung angepasst werden mussten, um sie vergleichbar und praktikabel für weitere Auswertungen zu gestalten.

Das beschriebene Einteilungsschema (Veröffentlichung 1) ermöglicht eine Einstufung in vier Grade. Die Einteilung erfolgte auf der Grundlage bestehender Untersuchungen im Hochfeld-MRT (MURRAY et al. 2006b, DYSON et al. 2008, OLIVE 2010).

Bei der Erstellung des Schemas wurde versucht, den veränderten Untersuchungsbedingungen am stehenden MRT mit der belasteten Gliedmaße und der unterschiedlichen Auflösung gerecht zu werden. Hierbei existieren allerdings einige Limitationen. Die Befunde wurden in dieser Studie nicht histologisch belegt. Als Grundlage konnte jedoch auf mittlerweile weitreichende bestehende Literatur zurückgegriffen werden. (BLUNDEN et al. 2006a, BLUNDEN et al. 2006b, BLUNDEN et al. 2009, MURRAY et al. 2006a, BUSONI et al. 2005, DYSON et al. 2012, STEENBUCK 2008, SCHULZE und WEINBERGER 2008, VALLANCE et al. 2011)

Wie bei vielen bildgebenden Verfahren variiert die Bewertung bestimmter Signalveränderungen zwischen den verschiedenen Untersuchern und wird in der Literatur teilweise noch kontrovers diskutiert (DYSON et al. 2011). Daher ist davon auszugehen, dass bestimmte Veränderungen je nach bewertender Person auch subjektiv unterschiedlich ausgelegt werden könnten, insbesondere da die MRT-Auswertungen nicht verblindet erfolgten.

Eine möglichst objektive Beschreibung und Einteilung der Befunde ist immer wünschenswert. Dies ist insbesondere im Bereich der MRT-Bildgebung mit einer dreidimensionalen Darstellung und unterschiedlichen Arten der Signalabweichungen schwierig. Daher konnten Abweichungen an Strukturen wie z.B. der Tiefen Beugesehne, nicht in Form von genauen Messungen, sondern durch relative Größenangaben oder Beschreibungen definiert werden.

3.2 Auswahl der Patienten

Das Bildmaterial dieser Studie entstammt dem durchschnittlichen Patientengut aus der unterstützenden Pferdeklinik. Es erfolgte keine Selektion hinsichtlich Rasse, Alter oder Verwendungszweck. Inwieweit die hier genutzten Graduierungen der Befunde Rückschlüsse auf die prognostische Bedeutung für das Pferd zulassen,

muss somit in weiteren Studien eruiert werden. Es wurden nur Pferde mit einer Lahmheit aus dem Hufbereich für diese Studie ausgewählt. Um dies abzugrenzen wurden Leitungsanästhesien der Nervi digitalis palmaris oberhalb der Hufballen oder unterhalb der proximalen Gleichbeine durchgeführt. Bei der Durchführung der diagnostischen Anästhesien konnten die Art und Menge der Injektion standardisiert festgelegt werden. Bei überwiesenen Patienten wurde der Vorbericht vom voruntersuchenden Tierarzt übermittelt und nicht in allen Fällen wurden die Leitungsanästhesien wiederholt. Hierbei handelte es sich um orthopädisch erfahrene Kollegen. Allerdings konnte die genaue Durchführung nicht überprüft werden, wodurch in Einzelfällen falsche Ergebnisse möglich waren. Bei unklarem Vorbericht wurde die Untersuchung komplett oder in Teilen wiederholt. Es wird daher angenommen, dass die Schmerzursache der eingeschlossenen Patienten im Hufbereich lokalisiert ist. Studien der letzten Jahre haben sich mit der Wirkung und der Bedeutung der unterschiedlichen Anästhesien befasst. Hierbei hat sich gezeigt, dass durch die anatomische Nähe der Strukturen im Hufbereich eine genaue Differenzierung der Schmerzursache nur bedingt möglich ist (TROTTER und GAYLE 1999, EASTER 1997, GOUGH et al. 2002, SCHUMACHER et al. 2004). Eine Beteiligung von proximaler gelegenen Bereichen ist daher nicht vollständig auszuschließen. Weitere Studien zur Klärung dieser Problematik sind notwendig und sehr wichtig für die Optimierung der klinischen Untersuchung.

Die Patienten sind in zweierlei Hinsicht vorselektiert:

Erstens kann aufgrund der hohen Kosten und der bedingten Verfügbarkeit einer MRT-Untersuchung nicht jedes Pferd mit einer Lahmheit aus dem Hufbereich direkt mittels dieser Methode untersucht werden. Unterschiedliche Therapien, z.B. in Form von eingeschränkter Bewegung über mehrere Wochen oder der Gabe von systemischen Antiphlogistika sowie Injektionen in die synovialen Strukturen sind häufig vorausgegangen.

Zweitens ist die klassische Untersuchung mittels diagnostischer Anästhesien und Röntgenbildern bei allen Patienten vorgenommen worden und Pferde mit eindeutigen röntgenologischen Befunden wurden in vielen Fällen nicht mehr weiter diagnostiziert. Deutlichere Röntgenbefunde am Strahlbein stellten allerdings kein direktes Ausschlusskriterium dar. Andere Ursachen, wie z.B. Sehnenschäden, können als

Lahmheitsursache nicht ausgeschlossen werden, so dass dennoch eine MRT-Untersuchung durchgeführt wurde (DYSON et al. 2006).

Insgesamt ergibt sich hieraus, dass die untersuchten Pferde häufig Lahmheiten längerer Dauer und massiverer Ursachen vorliegen hatten.

Es wurden auch Vergleiche zwischen lahmen und nicht lahmen Gliedmaßen durchgeführt. Dabei ist festzuhalten, dass dies nicht einer echten Kontrollgruppe mit lahmfreien Pferden gleichkommt. Man muss annehmen, dass einige Pferde auch auf der nicht lahmen Gliedmaße Prädispositionen oder Schädigungen im Hufbereich aufweisen, die keine Lahmheit hervorrufen oder dies eventuell in der Vergangenheit getan haben, zum Zeitpunkt der Untersuchung aber subklinisch vorlagen. Dies hat möglicherweise dazu geführt, dass insgesamt auch bei den nicht lahmen Gliedmaßen mehr Befunde entdeckt wurden als bei einer echten Kontrollgruppe.

3.3 Auswertung der einzelnen Strukturen

3.3.1 Strahlbein

Das **Os sesamoideum distale** als zentrale Struktur des Hufrollenapparates wurde in seiner Gesamtheit betrachtet und bewertet. Hierbei wirkten sich Veränderungen bestimmter Bereiche, wie z.B. des proximalen Randes, aufgrund vorangegangener histologischer Arbeiten weniger negativ aus als z.B. Veränderungen der Knochenzusammensetzung der Medulla des Strahlbeins, häufig in Form von ödemähnlichen Mustern „Bone edema pattern“ beschrieben (DYSON et al. 2010, SCHRAMME et al. 2005, GÄCH 2002, MURRAY et al. 2006a). Ödemähnliche Signalabweichungen wurden auch bei scheinbar klinisch gesunden Patienten bereits in humanmedizinischen Studien festgestellt und konnten in Untersuchungen an Pferden ähnlich bestätigt werden (ZANETTI et al. 2000, BUSONI et al. 2005, VANDE BERG et al. 1998). Hierbei werden diese teilweise mit unterschiedlicher Bedeutung und Definition beschrieben. Olive (2009) bezeichnet diese als „Knochenmarkläsionen“ (Bone Marrow Lesions BML) und fasst damit ein bestimmtes Signalbild in unterschiedlichen Sequenzen zusammen. Niedrige Signalintensität in T1 und T2* gewichteten GRE-Sequenzen, mittelgradige erhöhte Signalintensität in

T2 FSE-Sequenzen und hohe Signalintensität in fettunterdrückten Sequenzen. Der Begriff der BML wird synonym mit Begriffen wie „bone bruise“, „Knochenödem“, „Knochenprellung“ oder „okkulte Fraktur“ verwendet. Das Problem mit der Bezeichnung ödemähnlich besteht darin, dass das eigentliche Ödem nicht der Hauptbefund ist. Ursache für die Signalerhöhung ist eine Mischung aus verschiedenen histologischen Veränderungen, wie Nekrose, Fibrose, Ödemen und auch Blutungen (ZANETTI et al. 2000). DYSON et al. (2012) belegte dies für das Strahlbein bei Pferden mittels histologischen Vergleichsuntersuchungen. Mittlerweile hat sich dafür der Begriff „erhöhte Signalintensität in fettunterdrückten STIR Sequenzen“ durchgesetzt (BIGGI and DYSON 2013).

Die zentrale Bedeutung des Strahlbeins im EPS bestätigt sich durch die Häufigkeit an Veränderungen (69,2 % aller Gliedmaßen). Die Korrelation zwischen Ausprägung der Signalabweichungen und Lahmheit war signifikant, allerdings zeigten sich auch bei nicht lahmen Gliedmaßen in 47,8 % Veränderungen vom Grad 2. Dies lässt mehrere Schlüsse zu: Die Befunde stehen nicht unbedingt mit der Erkrankung des EPS in Verbindung und sind nur bedingt als pathologisch einzustufen. Da alle Patienten ein entsprechendes klinisches Krankheitsbild auf einer oder beiden Gliedmaßen zeigten ist dies eine Veränderung, die auf eine Fehlbelastung der Vordergliedmaßen schließen lässt. Dies würde eine biomechanische Ätiologie unterstützen (DYSON et al. 2006, WILSON et al. 2001, McGUIGAN und WILSON 2001). Weiterhin könnte diese Untersuchungsmethode insbesondere bei geringgradigen Signalunterschieden falsch positive Aussagen liefern. Weitere Studien mit größeren „echten“ Kontrollgruppen sind notwendig um eine genauere Einschätzung der klinischen Bedeutung zu erhalten.

Betrachtet man die Verteilung von Strahlbeinveränderungen bei der bilateralen Untersuchung zeigt sich ein signifikant vermehrtes Auftreten bei beidseitig lahmen Pferden. Dies unterstützt bestehende Theorien einer häufig bilateralen Erkrankung der Hufrolle (Dyson et al. 2006, WILSON et al. 2001).

3.3.2 Strahlbein-Hufbeinband

Das **Ligamentum sesamoideum distale impar** muss aufgrund der anatomischen Gegebenheiten und ihrer Darstellbarkeit generell in MRT-Untersuchungen vorsichtig bewertet werden. Dies wurde bereits bei mehreren Autoren festgestellt und kann in dieser Studie bestätigt werden (MURRAY et al. 2006b, SCHRAMME et al. 2005, SILL 2007). Insbesondere im Niederfeld-MRT ergeben sich durch die größere Schichtdicke Grenzen bei der Bewertung dieser Struktur (BOLEN et al. 2010). Statistisch signifikante Zusammenhänge zu klinischen Parametern konnten daher und aufgrund der geringen Anzahl an Gliedmaßen mit Veränderungen (15,4 %) nicht erkannt werden

3.3.3 Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder

Die **Ligamenta sesamoidea collateralia** lassen sich in der MRT-Untersuchung gut beurteilen, wobei Unterschiede zwischen Hochfeld- und Niederfeld-Untersuchungen in vorangegangenen Studien festgestellt wurden (SILL 2007, VALLANCE et al. 2011, SAMPSON et al. 2008, SCHRAMME et al. 2005).

Signalabweichungen dieses Bandes zeigten nur 3,8 % aller Gliedmaßen, wobei dennoch eine signifikante Häufung bei den lahmen Gliedmaßen feststellbar war. Diese standen allerdings meist in Zusammenhang mit starken Pathologien der gesamten Hufrolle. Daher lässt sich keine Bedeutung der LSC als alleinige Lahmheitsursache ableiten.

3.3.4 Tiefe Beugesehne

Die **Tiefe Beugesehne** wurde in dieser MRT-Untersuchung der Hufregion von der Insertion am Hufbein bis auf Höhe des Krongelenks untersucht. Insgesamt war die Erkennung der TBS-Befunde auch in dieser Arbeit sehr gut möglich. Die großen Variationen in Art und Ausprägung der Sehnenbefunde machten die Einstufung teilweise schwierig, da sowohl Länge, als auch Breite und Art der Signalveränderungen über den gesamten Bereich zu beachten waren (MURRAY et al. 2006b, STEENBUCK 2008). Die Häufigkeit der Befunde an der TBS belegt die Bedeutung im EPS und wurde vor der Einführung der MRT-Untersuchung sicherlich unterschätzt. Veränderungen vom Grad 2 auch bei nicht lahmen Gliedmaßen (27,5%) stellen auch bei dieser Struktur die klinische Relevanz solch geringer Signalabweichungen in Frage. Die signifikante Häufung bei einseitig lahmen Gliedmaßen ist ein wichtiger Hinweis auf eine unterschiedliche Ätiologie und sollte auch bei der klinischen Untersuchung Beachtung finden (STEENBUCK 2008, MAIR und KINNS 2005).

3.3.5 Bursa podotrochlearis

Bei der Auswertung der **Bursa podotrochlearis** im MRT-Bild wurde festgestellt, dass die relative Größe nicht in direkten Zusammenhang zu Signalabweichungen im Gewebe gebracht werden konnte. Daher wurde dies getrennt bewertet und wird später diskutiert.

Die anatomischen Gegebenheiten und ähnliche Signalintensitäten der benachbarten Strukturen im Bereich der Facies flexoria machen eine Bewertung im Niederfeld-MRT schwierig. Im proximalen Recessus lassen sich Veränderungen der physiologischen Signalintensität zwar gut erkennen, im Bereich der Facies Flexoria ist aber eine Differenzierung von Sehne, Bursa und Facies flexoria des Strahlbeins nicht möglich. Eine Gesamtbewertung unabhängig von Sehne und Strahlbein sollte daher vorsichtig durchgeführt werden (MURRAY et al. 2006b).

Der statistisch signifikante Zusammenhang zwischen Signalveränderungen und Lahmheit unterstreicht eine Beteiligung der Bursa podotrochlearis am Gesamtbild von Erkrankungen der Hufregion. Signalabweichungen dieser Struktur waren fast nur mit gleichzeitigen Veränderungen der Sehne oder dem Strahlbein zu finden. Dies lässt eine Bedeutung der Bursa podotrochlearis als alleinige Lahmheitsursache unwahrscheinlich erscheinen (SMITH und WRIGHT 2012).

Die hohe Anzahl an Befunden vom Grad 2 auch bei nicht lahmen Gliedmaßen sollte bei der Bewertung kritisch bedacht werden (DYSON et al. 2011, BLUNDEN et al. 2006, WRIGHT et al. 1998).

3.3.6 Hufgelenk

Veränderungen der **Gelenkflächen des Hufgelenks** waren ebenfalls häufige Befunde (47,5% aller Gliedmaßen) und traten signifikant verstärkt bei lahmen Gliedmaßen auf. Dies unterstreicht ihre Bedeutung im EPS (RIJKENHUIZEN 2006). Die Erkennbarkeit von deutlichen Knorpelveränderungen wurde in histologischen und arthroskopischen Vergleichen als gut beschrieben (SCHULZE und WEINBERGER 2008, OLIVE 2010), wobei geringe Knorpelläsionen nicht sicher erkannt werden konnten. Daher ist die klinische Bedeutung von Befunden vom Grad 2 vorsichtig zu bewerten. Dies wird auch durch das relativ häufige Auftreten von solchen Veränderungen (21,7 %) bei nicht lahmen Gliedmaßen unterstrichen.

Eine Assoziation zu unilateralen oder bilateralen Krankheitsbildern ließ sich nicht feststellen. Eine Beteiligung im Sinne einer bilateralen Hufgelenkarthrose, wie auch eine einseitige Problematik mit stärkeren Veränderungen z.B. in Form von Einbrüchen der Knorpelfläche mit zystoiden Veränderungen der subchondralen Knorpelfläche wurden hierbei beobachtet und sprechen für unterschiedliche Ätiologien dieser Veränderungen (JACOBI et al. 2006, DYSON 2011).

3.3.7 Ausdehnung der synovialen Räume

Eine signifikant vermehrte **Ausdehnung des proximalen Recessus der Bursa podotrochlearis und des Recessus dorsalis proximalis des Hufgelenks**, gemessen an der relativen Größe, konnte bei lahmen Gliedmaßen nicht erkannt

werden. Dies widerspricht einer besonderen Bedeutung dieses Symptoms bei Erkrankungen der Hufregion wie in anderen Studien beschrieben (JACOBI et al. 2006, HÖPPNER 1993, ZUTHER 2005). Auffällig war auch, dass einseitig lahme Pferde keine statistisch signifikant vermehrte Füllung der synovialen Räume auf der lahmen Seite aufwiesen, sondern die Füllung in einigen Fällen vermehrt aber symmetrisch war. Da keine echte Kontrollgruppe mit gesunden Pferden vorlag sind pathologische Veränderungen der synovialen Räume der kontralateralen Gliedmaße ohne klinische Lahmheit möglich. Allerdings muss auch eine anatomische Varianz in der Größe der Recessus bedacht werden. Der Untersuchungsaufbau der MRT-Untersuchung am stehenden Pferd muss ebenfalls mit einbezogen werden, da eine unterschiedliche Belastung einer Gliedmaße während der Bilderstellung zu Druckveränderungen führen kann. Studien mit MRT und Druckvergleich sind notwendig, um diese Fragestellung zu klären.

3.3.8 Seitenbänder des Hufgelenks

Die **Ligamenta collateralia des Hufgelenks** sind aufgrund der Hufwand nur begrenzt ultrasonografisch zu untersuchen und die MRT-Ergebnisse geben daher wichtige Aufschlüsse über Ausmaß und Bedeutung dieser Befunde (DYSON et al. 2004, LORENZ 2012, GUTIERREZ-NIBEYRO et al. 2009). Ihre Erkennbarkeit wurde durch histologische Arbeiten im Hoch- und Niederfeld-MRT bereits belegt (DYSON et al. 2004, ZUBROD et al. 2004, VALLANCE et al. 2012).

Die relativ hohe Anzahl von Befunden auch bei klinisch unauffälligen Gliedmaßen (10,1 %) lässt sich eventuell auf die schwierige Abgrenzung von pathologischen Veränderungen und natürlichen Asymmetrien, sowie Signalveränderungen durch das Magic angle artefact zurückführen. Hierbei handelt es sich um eine Signalerhöhung der kollagenen Fasern in Sequenzen mit kurzer TE (Echozeit), sobald diese in einem Winkel vom etwa 55° zum Magnetfeld ausgerichtet sind. (SMITH et al. 2007, SPRIET et al. 2008, GUTIERREZ-NIBEYRO et al. 2011). Eine vorsichtige Bewertung im Hinblick auf die klinische Einschätzung ist daher angebracht. Die meisten Pferde mit Befunden an den Seitenbändern des Hufgelenks wurden in Studien als einseitig lahm beschrieben (TURNER und SAGE 2002). Eine statistisch signifikante Aussage ist aufgrund der geringen Anzahl an Gliedmaßen mit Befunden (12,5 %) nicht

möglich. Eine überwiegende Bedeutung bei einseitigen Lahmheitsbildern lässt aufgrund der Ergebnisse dieser Studie aber vermuten, da Veränderungen vom Grad 3 und höher an dieser Struktur bis auf eine Ausnahme nur bei einseitig lahmen Pferden auftraten.

3.4 Schlussfolgerungen

3.4.1 Grenzen der Darstellung und Bewertbarkeit bestimmter Strukturen.

Bei einigen Strukturen wurden in dieser Untersuchung Grenzen der Bewertbarkeit im Niederfeld-MRT festgestellt. Insbesondere bei sehr dünnen Strukturen wie dem Strahlbein-Hufbeinband oder dem Bereich der Facies flexoria ist eine genaue Abgrenzung der benachbarten Strukturen schwierig (MURRAY et al. 2006b, SCHRAMME et al. 2005). Diese Bereiche wurden daher nur bedingt oder gar nicht in der statistischen Auswertung beachtet. In jüngster Zeit gab es immer wieder Verbesserungen der Sequenzen im Niederfeld-MRT. Hierbei konnte die Bildqualität weiter optimiert werden. Diese Techniken konnten noch nicht in dieser Studie beachtet werden, da das verwendete Bildmaterial noch nicht hiermit erstellt wurde. Eine genauere Betrachtung mittels neuer Methoden kann daher abweichende Ergebnisse bezüglich Häufigkeiten und Verteilung von Befunden an diesen Strukturen liefern.

3.4.2 Einschätzung geringgradiger Signalveränderungen.

Aufgrund umfassender Darstellungsmöglichkeiten der unterschiedlichen Strukturen im MRT werden natürlich noch mehr Details und mögliche Befunde dargestellt. Wie bei anderen bildgebenden Verfahren muss nicht jede Abweichung der Signalintensität ein pathologischer Befund und von klinischer Bedeutung sein. Studien mit histologischen Vergleichen geben hier Hinweise auf als pathologisch zu deutende Gewebsveränderungen (MURRAY et al. 2006a, SAMPSON et al. 2008, BLUNDEN et al. 2006). An eine klinische Einordnung dieser Befunde kann sich immer erst nach einer größeren Anzahl von Untersuchungen angenähert werden, unter Berücksichtigung klinischer Parameter und individueller Unterschiede. Hierzu

liefert diese breit angelegte Studie Anhaltspunkte. Signalabweichungen vom Grad 2 und Grad 3 wurden hierbei häufig auch bei nicht lahmen Gliedmaßen festgestellt. Dies bestätigt Beobachtungen aus Hochfeld-MRT Studien (MURRAY et al. 2006b) und sollte in der Bewertung der klinischen Relevanz kritisch bedacht werden.

3.4.3 Verteilung der Befunde bei ein- oder beidseitig lahmen Pferden.

Tendenzen, die aus der klinischen Erfahrung bereits angenommen wurden, konnten statistisch belegt werden. So treten deutliche Signalabweichungen am Strahlbein häufiger bei beidseitig lahmen Pferden auf. Dies entspricht am ehesten dem klassischen Bild der Podotrochlose (JACOBI et al. 2006). Deutliche Sehnenbefunde hingegen sind vermehrt bei einseitig lahmen Gliedmaßen feststellbar, was auf eine unterschiedliche Ätiologie schließen lässt. Bei Hufgelenkbefunden lässt sich in dieser Studie keine signifikante Tendenz zur Verteilung der Lahmheit feststellen.

Eine Auswertung von bilateralen Untersuchungen im Niederfeld-MRT mit einer statistisch auswertbaren Fallzahl wurde erstmalig in dieser Studie durchgeführt.

3.5 Ausblick

Mit Hilfe des vorliegenden Bewertungsschemas ist eine statistische Korrelation zwischen klinischen Ergebnissen und MRT-Befunden der einzelnen Strukturen möglich. Eine weitere Differenzierung dieses Schemas auf der Grundlage neuer Erkenntnisse ist wünschenswert und notwendig, um die Verwendbarkeit weiter zu verbessern. Neue Techniken im Bereich der Niederfeld-Untersuchung werden die Erkennbarkeit verbessern und eine Anpassung des Schemas wird daher möglich sein. Klinische Untersuchungsmethoden wie z.B. Leitungsanästhesien könnten auf ihre Korrelation zu MRT-Signalabweichungen statistisch ausgewertet werden.

Die durchgeführten Studien fassen erstmalig die wichtigsten Befunde im Hufbereich des Pferdes, welche mittels Niederfeld-MRT gewonnen werden können, zusammen und strukturieren diese. Die Auswertung der bilateralen Verteilung der Befunde wurde in diesem Umfang auch noch nicht durchgeführt und gibt Hinweise auf das klinische Gangbild. Dabei treten noch viele Probleme und weitere offene Fragen auf, die im Laufe der nächsten Jahre zielgerichtet weiter bearbeitet werden müssen.

4 Zusammenfassung

Thomas Stöckl

„Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchung der Hufregion im Niederfeld-MRT“

Chirurgische Tierklinik der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Eingereicht im Juli 2013

Bibliographische Angaben:	Anzahl der Seiten:	68
	Anzahl der Abbildungen:	15
	Anzahl der Tabellen:	12
	Literaturangaben:	53

Schlüsselwörter: Hufrollenerkrankung, Equines Palmares Fußsyndrom, Hufgelenk, Strahlbein, Niederfeld-MRT

Durch die Einführung der MRT-Untersuchung am stehenden sedierten Pferd ist deren Anzahl deutlich angestiegen. Hierbei stellen sich neue Fragen und Herausforderungen bezüglich der Einschätzung der Vielzahl an auftretenden Signalveränderungen. Es ergeben sich aber auch neue Möglichkeiten bezüglich der statistischen Auswertung von Befunden mit aussagekräftigen Fallzahlen.

In dieser Studie sollte daher untersucht werden, wie Signalveränderungen statistisch verwendbar beschrieben und eingestuft werden können. Weiterhin sollte die Verteilung der Befunde insgesamt und bei der bilateralen Untersuchung der Vordergliedmaßen bestimmt werden. Mögliche Rückschlüsse auf deren klinische Bedeutung sollten gezogen werden.

Hierzu wurden 120 bilaterale Niederfeld-MRT-Untersuchungen der Hufregion (240 Gliedmaßen) am stehenden Pferd durch zwei Tierärzte gesichtet und eine Befundbeschreibung mit einem Einstufungsschema (Grade 1-4) entsprechend dem vorgefundenen Spektrum an Signalveränderungen erstellt. Durch Anwendung und

wiederholte Diskussion der verschiedenen Kriterien im 1. Bewertungsdurchgang wurden die Beschreibungen und Grade auf Grundlage bestehender Literatur ausgearbeitet. In einem 2. Bewertungsdurchgang wurden die Strukturen eingestuft und die Ergebnisse statistisch ausgewertet. Hierbei wurden die generellen Häufigkeiten der Signalabweichungen erfasst und deren Zusammenhang zum Auftreten von unilateralen oder bilateralen Lahmheiten beachtet.

Signalabweichungen am Strahlbein, der Tiefen Beugesehne und dem Hufgelenk standen deutlich im Vordergrund. Hierbei waren Strahlbeinveränderungen signifikant häufiger bei beidseitig lahmen Pferden zu finden, während Sehnenveränderungen deutlich häufiger bei einseitig lahmen Pferden vorgefunden wurden. Hufgelenkveränderungen wurden hingegen nicht signifikant vermehrt bei bilateralen oder unilateralen Lahmheiten festgestellt.

Die Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinbänder zeigten eine Häufung von Signalabweichungen bei lahmen Gliedmaßen, wobei diese vermehrt in Zusammenhang mit starken Veränderungen des Strahlbeins zu beobachten waren. Bei den übrigen Strukturen ließ sich kein statistisch aussagekräftiger Zusammenhang feststellen, da die Fallzahlen mit dem deutlichsten Befund an diesen Strukturen zu gering für eine Auswertung waren.

Die entstandene Befundbeschreibung mit Einstufungsschema ermöglicht Vergleiche der MRT-Veränderungen z.B. mit klinischen Parametern. Signalabweichungen bestimmter Strukturen konnten statistisch eindeutig mit dem Auftreten und der Art der Lahmheit in Verbindung gebracht werden, während dies bei anderen Strukturen nicht möglich war. Hieraus ergeben sich Hinweise für die Einschätzung der Befunde und ihrer klinischen Relevanz. Insbesondere geringgradige Befunde sollten vorsichtig bewertet werden, da diese auch häufig bei nicht lahmen Gliedmaßen auftraten.

Weitere statistische Vergleiche mit klinischen Parametern sind möglich und notwendig um das Krankheitsbild des „Equinen palmaren Fußsyndroms“ weiter zu untersuchen.

5 Summary

Thomas Stöckl

“Comparative bilateral magnetic resonance imaging examination of the foot in low-field MRI”

Surgical Animal Clinic of the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Leipzig

Submitted in July 2013

Bibliographical information:	Number of pages:	68
	Number of illustrations:	15
	Number of tables:	12
	Bibliographical references:	53

Keywords: podotrochlosis, equine palmar foot syndrome, coffin joint, navicular bone, low-field MRI

As a result of adopting MRI examinations for standing sedated horses their number has increased significantly. In this respect there are new questions and challenges being faced regarding estimating the huge number of occurring signal changes. New possibilities also arise regarding the statistical analysis of findings with convincing number of examined cases.

In this study therefore it should be investigated how signal changes can be suitably described and classified statistically. Furthermore, the distribution of the findings as a whole and in the bilateral investigations of the forelimbs should be ascertained. Possible conclusions should be drawn regarding their clinical significance.

Concerning this, 120 bilateral low-field-MRI examinations of the foot (240 limbs) on a standing horse were looked at by two veterinarians and a description of the analysis with a classification scheme (grades 1-4) corresponding to the existing spectrum of signal changes was compiled. By applying and repeatedly discussing the various

criteria in the first evaluation round the descriptions and grades were worked out on the basis of existing literature. In a second evaluation round the structures were classified and the results statistically evaluated. In this regard the general frequency of signal deviations was recorded and its connection to the occurrence of unilateral or bilateral lameness was observed.

Signal deviations at the navicular bone, deep digital flexor tendon and the coffin joint noticeably prevailed. In this respect changes to the navicular bone were found significantly more frequently in bilaterally lame horses while changes in tendons were found significantly more often in unilaterally lame horses. In contrast, changes in the coffin joint were not significantly more in bilateral or unilateral lameness.

The collateral sesamoidean ligaments showed an accumulation of signal deviations at lame limbs, whereby this was observed more frequently in connection with pronounced changes of the navicular bone. In the remaining structures no statistically significant connection was found as the number of examined cases with the most significant results at these structures was too low for an evaluation.

The related description of the findings with a classification scheme enables comparisons of MRI changes e.g. with clinical parameters. Signal deviations of certain structures were found to be clearly statistically associated with the occurrence and type of lameness, while this was not possible at other structures. This provides useful information for evaluating findings and their clinical relevance. Low-grade findings should be interpreted with caution since these also occurred frequently at non-lame limbs

Further statistical comparisons with clinical parameters are possible and necessary in order to further examine the clinical picture of the equine palmar foot syndrome.

6 Literaturverzeichnis

Biggi M, Dyson SJ. Hind foot lameness: Results of magnetic resonance imaging in 38 horses (2001-2011). *Equine Vet. J.* 2013; 54 (4):427-434.

Blunden AS, Dyson SJ, Murray RC, Schramme MC. Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 1: Navicular bone and related structures. *Equine Vet. J.* 2006a; 38(1):15–22.

Blunden AS, Dyson SJ, Murray RC, Schramme MC. Histopathology in horses with chronic palmar foot pain and age-matched controls. Part 2: The deep digital flexor tendon. *Equine Vet. J.* 2006b; 38(1):23–27.

Blunden AS, Murray RC, Dyson SJ. Lesions of the deep digital flexor tendon in the digit: A correlative MRI and post mortem study in control and lame horses. *Equine Vet. J.* 2009; 41(1):25-33.

Bolen G., Audigie F., Spriet M., Vandenberghe F., Busoni V. Qualitative Comparison of 0.27T, 1.5T, and 3T Magnetic Resonance Images of the Normal Equine Foot. *J. Equine Vet. Sci.* 2010; 30:9-20

Busoni V, Heimann M, Trenteseaux J, Snaps F, Dondelinger RF. Magnetic resonance imaging findings in the equine deep digital flexor tendon and distal sesamoidean bone in advanced navicular disease – an ex vivo study. *Vet. Radiol. Ultras.* 2005; 46:279-286

Dabareiner RM, Carter GK. Diagnosis, treatment, and farriery for horses with chronic heel pain. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 2003; 19(2):417–441.

Dyson SJ, Murray RC, Schramme MC, Branch M. Collateral desmitis of the distal interphalangeal joint in 18 horses (2001–2002). *Equine Vet. J.* 2004; 36(2):160-166.

Dyson SJ, Murray RC, Blunden T, Schramme MC. Current concepts of navicular disease. *Equine Vet. Educ.* 2006; 18:45-56.

Dyson SJ, Murray RC, Lameness and Diagnostic Imaging in the Sports Horse: Recent Advances Related to the Digit; Proc. of the 53rd Annual Convention of the AAEP; 2007 Dec 1-5; Orlando, Florida, USA.

Dyson SJ, Blunden T, Murray RC. The collateral ligaments of the distal interphalangeal joint: magnetic resonance imaging and post mortem observations in 25 lame and 12 control horses. *Equine Vet. J.* 2008; 40(6):538–544.

Dyson SJ, Pool R, Blunden T, Murray RC. The distal sesamoidean impar ligament: comparison between its appearance on magnetic resonance imaging and histology of the axial third of the ligament. *Equine Vet. J.* 2010; 42(4):332–339.

Dyson SJ, Murray RC, Schramme MC, Blunden T. Current concepts of navicular disease. *Equine Vet. Educ.* 2011; 23(1):27-39.

Dyson SJ, The distal phalanx and distal interphalangeal joint. In: Ross MW, Dyson SJ, Hrsg. *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. 2. Aufl. St. Louis, Missouri: Elsevier Health Sciences; 2011. P. 349-366.

Dyson SJ, Blunden T, Murray RC. Comparison between magnetic resonance imaging and histological findings in the navicular bone of horses with foot pain. *Equine Vet. J.* 2012; 44(6):692–698.

Easter JP. Effects of Regional Anesthesia on Experimentally Induced Coffin Joint Synovitis. Proc. of the 46th Annual Convention of the AAEP, 2000 Nov 26-29, San Antonio, Texas, USA.

Gäch A. Magnetresonanztomographische Untersuchung pathologischer Veränderungen an der Pferdezehe und Erstellung eines Untersuchungsprotokolls an einem offenen Niedrigfeldsystem: [Dissertation med. vet.]. München: Ludwig-Maximilians-Universität München; 2002.

Gough MR, Munroe GA, Mayhew IG. Diffusion of mepivacaine between adjacent synovial structures in the horse. Part 2: tarsus and stifle. Equine Vet. J. 2002; 34:85-90.

Gutierrez-Nibeyro SD, Werpy NM, White NA, McCutcheon J, Weng H, Christopher JM. Standing low-field magnetic resonance imaging appearance of normal collateral ligaments of the equine distal interphalangeal joint. Vet Radiol. Ultras. 2011; 52(5):521–533.

Gutierrez-Nibeyro SD, White NA, Werpy NM, Tyrrell L, Allen KA, Sullins KE, Mitchell RD. Magnetic resonance imaging findings of desmopathy of the collateral ligaments of the equine distal interphalangeal joint. Vet Radiol. Ultras. 2009; 50(1):21–31.

Höppner S. Vergleichende klinische Studie über die Hufgelenkanästhesie und die direkte Druckmessung im Hufgelenk als diagnostische Kriterien bei der Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms beim Pferd. [Dissertation med. vet] Leibniz Universität Hannover; 1993.

Jacobi R, Jaugstetter H, und Litzke LF. Erkrankungen der Hufrolle. In: Dietz O, Huskamp B, Hrsg. Handbuch Pferdepraxis. 3. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2006. p. 987–992.

Lorenz I. Die Darstellung der Seitenbänder des Hufgelenkes und ihrer Erkrankungen mit Hilfe der Magnetresonanztomographie am stehenden Pferd. [Dissertation med. vet.] Universität Leipzig; 2012.

Mair T, Kinns J, Jones RD, Bolas N. Magnetic Resonance imaging of the distal limb of the standing horse : Technique and review of 40 cases of foot lameness. Proc. of the 49th Annual Convention of the AAEP, 2003, New Orleans, Louisiana, USA.

Mair T, Kinns J. Deep digital flexor tendonitis in the equine foot diagnosed by low-field magnetic resonance imaging in the standing patient: 18 cases. Vet. Radiol. Ultras. 2005; 46(6):458–466.

McGuigan MP, Wilson AM. The effect of bilateral palmar digital nerve analgesia on the compressive force experienced by the navicular bone in horses with navicular disease. Equine Vet. J. 2001; 33(2):166-71.

Murray RC, Blunden TS, Schramme MC, Dyson SJ. How does magnetic resonance imaging represent histologic findings in the equine digit? Vet. Radiol. Ultras, 2006a; 47(1):17–31.

Murray RC, Schramme MC, Dyson SJ, Branch MV, Blunden TS. Magnetic resonance imaging of the foot in horses with palmar foot pain and control horses. Vet. Radiol. Ultras. 2006b; 47(1):1-16.

Olive, J, Mair, TS, Charles B, Use of standing low-field magnetic resonance imaging to diagnose middle phalanx bone marrow lesions in horses. Equine Vet. Educ. 2009; 21(3):116-123.

Olive J, D'anjou M, Alexander K, Laverty S, Theoret C. Comparison of magnetic resonance imaging, computed tomography and radiography for assessment of noncartilaginous changes in equine metacarpophalangeal osteoarthritis. *Vet. Radiol. Ultras.* 2010; 51(3):267-279.

Olive J. Distal interphalangeal articular cartilage assessment using low-field magnetic resonance imaging. *Vet. Radiol. Ultras.* 2010; 51(3):259–266.

Rijkenhuizen AB. Navicular disease: A review of what's new. *Equine Vet. J.* 2006; 38(1):82-88.

Rijkenhuizen AB. Neue Erkenntnisse zum Equine-Palmar-Foot-Syndrom, Teil 1. *Pferdespiegel* 2008; 11(2):57-63.

Sampson SN, Schneider RK, Tucker RL, Gavin PR, Zubrod CJ, Ho CP. Magnetic resonance imaging features of oblique and straight distal sesamoidean desmitis in 27 horses. *Vet. Radiol. Ultras.* 2007; 48(4):303-311

Sampson SN, Schneider K, Gavin PR. Magnetic resonance imaging findings in horses with recent and chronic bilateral forelimb lameness diagnosed as navicular syndrome. *Proc. of the 54th Annual Convention of the AAEP, 2008 Dec 6-10 San Diego, CA, USA.*

Schneider RK, Gavin PR, Tucker RL. What MRI is teaching us about Navicular Disease; 2003. *Proc. of the 47th BEVA Congress, 2008 Sep. 10–13; Liverpool, UK.*

Schramme MC, Murray RC, Blunden AS, Dyson SJ. A comparison between magnetic resonance imaging, Pathology and Radiology in 34 Limbs with Navicular Syndrome and 25 Control Limbs. *Proc. of the 51st Annual Convention of the AAEP 2005, Seattle, Washington, USA.*

Schulze T, Weinberger T. Der Wert einer "Low-Field" MRT-Untersuchung für die Diagnose von Knorpeldefekten im Hufgelenk des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 2008; 24(3):406–410.

Schumacher J, Livesey L, DeGraves FJ, Schumacher J, Schramme MC, Hathcock J, Taintor J, Gomez J. Effect of anaesthesia of the palmar digital nerves on proximal interphalangeal joint pain in the horse. *Equine Vet. J.* 2004; 36(5):409–414.

Sill V. Kernspintomographische Untersuchungen in der Hufregion am stehenden Pferd [Dissertation med. vet.]. Ludwig-Maximilians-Universität München; 2007.

Sill V, Skorka A, Gerhards H, Gerlach Kerstin. Magnetresonanztomographische Untersuchungen der Hufregion am stehenden Pferd. *Pferdeheilkunde* 2011; 27:39–48.

Smith MR, Wright IM, Smith RK. Endoscopic assessment and treatment of lesions of the deep digital flexor tendon in the navicular bursae of 20 lame horses. *Equine Vet. J.* 2007; 39(1):18–24.

Smith MR, Wright IM. Endoscopic evaluation of the navicular bursa: Observations, treatment and outcome in 92 cases with identified pathology. *Equine Vet. J.* 2012; 44(3): 339-345.

Spriet M, Mai W, McKnight A. Asymmetric signal intensity in normal collateral ligaments of the distal interphalangeal joint in horses with a low-field MRI system due to the magic angle effect. *Vet. radiol. ultras.* 2007; 48(2):95–100.

Steenbuck N. Verifizierung kernspintomographischer Befunde der tiefen Beugesehne im Hufbereich von Pferden durch histopathologische Kontrolluntersuchungen.

[Dissertation med. vet]. München; 2008.

Trotter GW, Gayle W. Aspects of Palmar Heel Pain, Proc. of the 45th Annual Convention of the AAEP, 1999 Dec 5-8, Albuquerque, New Mexico, USA.

Turner TA, Sage AM. Desmitis of the Distal Interphalangeal Collateral Ligaments: 22 Cases. Proc. of the 48th Annual Convention of the AAEP; 2002 Dec 4-8; Orlando, Florida, USA.

Vallance SA, Bell RJ, Spriet M, Kass PH, Puchalski SM. Comparisons of computed tomography, contrast-enhanced computed tomography and standing low-field magnetic resonance imaging in horses with lameness localised to the foot. Part 2: Lesion identification. Equine Vet. J. 2012; 44(2):149–156.

Vande Berg BC, Malghem J, Lecouvet FE, Maldague B. Classification and detection of bone marrow lesions with magnetic resonance imaging. Skeletal Radiol. 1998; 27(10):529–545.

Wilson AM, McGuigan MP, Fouracre L, MacMahon L. The force and contact stress on the navicular bone during trot locomotion in sound horses and horses with navicular disease. Equine Vet. J. 2001; 33:159-165.

Wright IM, Kidd L, Thorp BH. Gross, histological and histomorphometric features of the navicular bone and related structures in the horse. Equine Vet. J. 1998; 30(3):220–234.

Zanetti M, Bruder E, Romero J, Hodler J. Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings. Radiology 2000; 215(3):835–40.

Zubrod CJ, Schneider RK, Tucker RL, Gavin PR, Ragle CA, Farnsworth KD. Use of magnetic resonance imaging for identifying subchondral bone damage in horses: 11 cases (1999-2003). J. Am. Vet. Med. Assoc. 2004; 224(3):411–418.

Zuther M. Die direkte Druckmessung in der Bursa podotrochlearis als diagnostisches Hilfsmittel zur Differenzierung des Podotrochlose-Syndroms. [Dissertation vet. med]. Berlin: Freie Universität Berlin; 2005.

7 Danksagung

Es waren viele Jahre der intensiven Arbeit. Aber jetzt ist es geschafft. Daher ist es an der Zeit mich bei denjenigen zu bedanken, die mich in dieser anstrengenden aber spannenden Zeit begleitet haben.

Ich möchte mich bedanken bei Herrn Professor Walter Brehm, der meine vielen Ideen zu einer Dissertation im Bereich der Magnetresonanztomographie beim Pferd wohlwollend aufgenommen hat und mich mit seinem Team bei der Erstellung dieser Dissertation begleitet hat. Insbesondere gilt mein Dank Frau Dr. Kerstin Gerlach für ihre ausdauernde und geduldige Unterstützung bei wissenschaftlichen und allen weiteren Fragen.

Ein weiterer Dank gilt dem gesamten Team der Pferdeklinik Burg Müggenhausen, die mich bei den Untersuchungen unterstützt haben und ein tolles Umfeld für meine Arbeit gegeben haben.

Hier möchte ich Dr. Thorben Schulze ganz besonders danken, da er mir alle Wege geebnet hat und jederzeit Erklärungen und Hilfestellung geben konnte.

Und ganz wichtig waren in dieser Zeit meine Eltern, meine Familie und meine Freunde, die mir den Rücken freigehalten haben und mich immer wieder ermuntert haben diese Dissertation zu vollenden

8 Lebenslauf

Persönliche Daten	Thomas Stöckl Geb. am 30.11.1981 in Mainz Katholisch, ledig, keine Kinder
Schulbildung	1988 – 1992 Martinus Grundschule, Mainz 1992 – 2001 Bischöfliche Willigisgymnasium, Mainz Abschluss mit der allg. Hochschulreife
Hochschulstudium	2002 – 2008 Studium der Veterinärmedizin an der Justus Liebig Universität Gießen. 27.März 2008 Dritter Abschnitt der tierärztlichen Prüfung Gesamtergebnis 2,5 24.4.2008 Approbation als Tierarzt
Berufliche Erfahrung	1.6.2008 – 31.12.2011 Tätigkeit als Tierarzt in der Pferdeklinik Burg Müggenhausen, Weilerswist 1.3.2012 – heute Tätigkeit als Tierarzt in der Tierklinik Binger Wald, Waldalgesheim
Veröffentlichungen	Pferde Spiegel 2009; 12(3): 106-110 Aktuelle Diagnostik und Therapie von Rückenproblemen beim Reitpferd. Pferdeheilkunde 2013; 29 (2): 191-201 Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchung der Hufregion im Niederfeld-MRT – Teil 1: Befunde und Entwicklung eines Befundschemas. Pferdeheilkunde 2013; 29 (3): 303-311 Vergleichende bilaterale magnetresonanztomographische Untersuchung der Hufregion im Niederfeld-MRT – Teil 2: Häufigkeit der Befunde und deren Verteilung.