

# Validierung von Speicherquotienten für das Interessensareal Strahlbein und Insertion der Tiefen Beugesehne bei der Auswertung von Szintigrammen von Pferden mit „Palmar foot pain“

Marco-Maximilian Schwan<sup>1</sup>, Werner Jahn<sup>2</sup> und Kerstin Gerlach<sup>3</sup>

Tierärztliche Praxis, Norderstedt<sup>1</sup>, Pferdekl. Bargteheide<sup>2</sup> und Universität Leipzig, Chirurgische Tierklinik<sup>3</sup>

## Zusammenfassung

In szintigraphischen Untersuchungen wurden mittels Region of Interest (ROI) Technik objektive Zahlen als Speicherquotienten für die Einordnung strahlbeinlahmer und nicht in diesem Bereich erkrankter Pferde ermittelt. Zusätzlich wurde der Fokus auf den Insertionsbereich der Tiefen Beugesehne (TBS) am Hufbein gelegt. Untersucht wurden 53 Pferde mit nachgewiesener Lahmheit im Strahlbeinbereich sowie 33 Pferde in einer Kontrollgruppe. Zur Bildung von Speicherquotienten wurde das Interessensareal Strahlbein und/oder Insertion der TBS in das Verhältnis zu einem Referenzareal im umliegenden Bereich gesetzt. Referenzareale stellten auf der solearen Projektion die „Hufbeinspitze“, die „seitlichen Bereiche des Hufbeins“ und der Bereich „palmar des Strahlbeins“ dar. Als Ergebnis der Untersuchungen erwies sich das Referenzareal „seitliches Hufbein“ als tauglich zur Errechnung von Speicherquotienten. Es war sowohl für fokale Speicherungen im Strahlbein als auch für diffuse Anreicherungen im Strahlbein und Insertionsbereich der TBS geeignet. Hier zeigte sich die größte Diskriminanz zur Kontrollgruppe. Die obere Grenze des Normalbereichs betrug sowohl für das Interessensareal „Strahlbein“ als auch für das Interessensareal „Insertion TBS am Hufbein“ gerundet 1,6. Fokale Speicherungen im Insertionsbereich der TBS ohne vermehrte Anreicherung im Strahlbein fanden sich in nur 13 % der untersuchten Pferde. Bei der Bildung der entsprechenden Speicherquotienten empfiehlt sich die Anwendung des Referenzareals „Bereich palmar des Strahlbeins“. Die obere Grenze des Normalbereichs betrug 2,0. Die quantitative Auswertung stellt eine wichtige diagnostische Methode bei der Objektivierung szintigraphischer Befunde an Strahlbein und Insertion der TBS am Hufbein dar. Es bestehen zum Teil deutliche Überschneidungsbereiche zwischen gesunden und erkrankten Tieren. Die Verwendung der vorgeschlagenen Referenzareale helfen Fehlklassifizierungen zu minimieren.

**Schlüsselwörter:** Szintigraphie, Pferd, Strahlbein, Lahmheit, Region of interest

## Evaluation of scintigraphic quotients concerning regions of interest at the sesamoid bone and the insertion of the deep digital flexor tendon in horses with palmar foot pain

Scintigraphic examinations were evaluated with the regions of interest technique (ROI) using an objective, numeral uptake ratio to classify horses with and without lameness due to navicular syndrome. In particular the insertion of the deep digital flexor tendon at the pedal bone was another focus of this study. There were 53 horses with already detected lameness at the navicular area examined. The control group included 33 sound horses. To create an uptake ratio the area of interest at the navicular bone and /or the area at the insertion of the deep digital flexor tendon in proportion to an surrounding reference area were evaluated. The references were the tip of the pedal bone at solar projection, the lateral aspect of the pedal bone and the area palmar of the navicular bone. The results showed that the reference area lateral aspect of the pedal bone is capable to calculate the memory ratio for focal uptakes in the navicular bone as well as diffuse uptake in the navicular bone and insertion of the Deep Digital Flexor tendon (DDFT) demonstrating the most significant deviation to the control group. The upper normal range for the area of interest „navicular“ and „insertion of the DDFT“ was approximated 1.6. In 13% of all examined horses focal uptake at the insertion of the DDFT without increased uptake at the area of the navicular bone were visible. According to the memory ratio it is advisable to use the reference area „palmar of the navicular bone“. The upper normal range is 2.0. The quantitative analysis is of diagnostic importance to evaluate scintigraphic findings at the navicular bone and insertion of the DDFT at the pedal bone. In some parts a large interference between sound horses and lame horses due to navicular disease is noticeable. Using the suggested reference areas will help to minimize wrong classifications.

**Keywords:** scintigraphy, horse, navicular bone, lameness, region of interest

## Einleitung

Die Skelettszintigraphie ist in der Lage, durch Anlagerung eines osteotropen Radiopharmakons den Knochenstoffwechsel bildlich darzustellen (Ueltschi 1975, Bares 1999). Beim Pferd hat sich die Knochenszintigraphie seit Einführung vor fast 35 Jahren (Ueltschi 1975, 1977) in der Lahmheitsdiagnostik etabliert und über das letzte Jahrzehnt hinweg einen enormen Aufschwung erfahren (Hoskinson 2001). Auch in heutiger Zeit zunehmender MRT-Studien hat die Szintigraphie

als funktionell-anatomische Untersuchung nicht an diagnostischer Bedeutung verloren (Dyson und Murray 2007a). Die Aussagekraft der szintigraphischen Untersuchung bei der Diagnose von Strahlbeinerkrankungen wurde häufig diskutiert (Ueltschi 1977, 1980, 1990, 1999, Trout et al. 1991, Pütz 1992, Keegan et al. 1996). Über die Auswertung von Szintigrammen im Insertionsbereich der TBS am Hufbein liegt erst eine Studie von Dyson (2002) vor. Neben der visuellen Auswertung der Szintigramme erweisen sich quantitative Metho-

den als sehr hilfreich (Ueltschi 1996, 1999). Aufgrund des häufigen Auftretens von Strahlbeinerkrankungen als bilaterale Lahmheit wird der visuelle Vergleich der erkrankten mit der kontralateralen Gliedmaße deutlich erschwert. Daher konzentriert sich die Auswertung auf den Vergleich mit benachbarten Bereichen im Hufbein (Dyson 2002) oder der gesamten Hufsohle (Lauk und Wanschura 2007). Anhand der klinischen Anwendersoftware ist es möglich, interessierende Bildbereiche (engl.: „Region of interest“; kurz „ROI“) abzugrenzen und die Impulsinhalte verschiedener Areale zu vergleichen (Martinelli 2001). Auf diese Weise können Speicherquotienten aus dem Strahlbeinareal im Verhältnis zu einem Referenzareal im Hufbein gebildet werden. Je größer der Quotient, desto höher die Anreicherung im Bereich des Strahlbeins. In der Literatur erfolgt die Auswahl der Referenzareale zur Errechnung der Speicherquotienten allerdings nicht einheitlich (Ueltschi 1980, 1990, 1999, Pütz 1992, Keegan et al. 1996b, Dyson 2002).

Ziel der Arbeit war eine Ermittlung von Speicherquotienten mittels quantitativer Auswertung von Skelettszintigrammen von Pferden mit Erkrankungen im Bereich des Strahlbeins und/oder der Insertion der TBS am Hufbein. Es sollte getestet werden, inwieweit sich in diesem Bereich erkrankte und nicht erkrankte Pferde unterscheiden und welche Bereiche des Hufes am besten als Referenzareale herangezogen werden können.

## Tiere und Methoden

Es wurden insgesamt 86 Pferde ausgewählt, die von Januar 1998 bis März 2002 mit einem „Equine Scanner Mobile“ und einem „Equine Scanner H.R.“ (MIE Deutschland) untersucht worden sind. Dabei wurde ein Low Energy High Resolution Kollimator verwendet. Die Akquisition der Aufnahmen erfolgte zwei Stunden post injectionem des Radiopharmakons in einer 256 x 256 Matrix bis zu einer Countzahl von 300 kcounts. Die Auswertung und Dokumentation erfolgte über das SCINTRON-Programmsystem, Betriebssystem OS-9 von Microware. Als Knochenkit wurde Hydroxymethylennatriumbisphosphonat (TCK-21 der Firma CIS bio international – Filiale DE Schering SA) verwendet. Es wurde 1 GBq/100 kg Körpergewicht  $^{99m}\text{Tc}$ -HMDP appliziert.

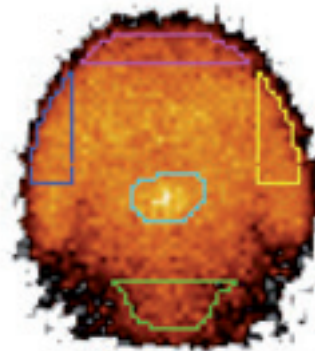
Die Versuchsgruppe bestand aus 53 lahmen Pferden (ein Hengst, 25 Stuten, 27 Wallache) mit einer Altersverteilung von vier bis 23 Jahren (Durchschnitt 9,7 Jahre). Es waren Springpferde zu einem Anteil von 26 %, Reit- und Freizeitpferde zu 23 % und Dressurpferde zu 15 % und 21 % unbekannt vertreten. Die Rasse Deutsches Warmblut nahm mit 33 Pferden den überwiegenden Anteil ein. Bei drei Pferden war keine Rasse dokumentiert. Der restliche Anteil bestand aus zwei Englischen Vollblütern, zwei Trabern, zwei Arabischen Vollblütern, einem Quarter Horse, einem New Forest Pony, fünf Trakehnern, einem Hunter, einem Island-Pony und einem Deutschen Reitpony.

Einschlusskriterien stellten Lahmheit einer Vordergliedmaße, eine positive Tiefe Palmarnerven-anästhesie 1 (TPA) sowie ein Mindest-Anreicherungs-niveau von 80 % im jeweiligen Interessensareal dar. Im Falle einer bilateralen Lahmheit (positiv mit Umkehr) wurde die kontralaterale Gliedmaße nicht in die Studie mit einbezogen.

Ausschlusskriterien waren klinische und/oder röntgenologische Befunde, die sich nicht dem Podotrochlose-Syndrom oder einer Insertionstendopathie der TBS zuordnen ließen. Zur Vermeidung von Extremwerten wurden Pferde mit Lahmheiten fünften Grades ausgeschlossen.

Die Kontrollgruppe setzte sich aus 33 Pferden zusammen (vier Hengste, neun Stuten, 20 Wallache). Das Alter lag zwischen fünf und 17 Jahren (Durchschnitt 8,64 Jahre). Es waren 25 Warmblüter, zwei Trakehner, zwei Traber, ein Andalusier, ein Islandpferd und zwei deutsche Reitponies vertreten. Einschlusskriterien für diese Pferde waren maximal geringgradig deutliche und nicht im Bereich der Zehe lokalisierte Lahmheiten. Dies wurde durch negative Tiefe und Mittlere Palmarnerven-anästhesien und röntgenologischer Beurteilungen des Strahlbeines mit maximal Röntgenklasse 1 oder 2 (Dik et al. 1993) ausgeschlossen. Ausgewertet wurde nur die kontralaterale, nichtlahme Gliedmaße.

In den vorliegenden Untersuchungen erfolgt eine quantitative Auswertung von Szintigrammen der Knochenphase mittels ROI. Es wurden Speicherquotienten jeweils für das Strahlbein und die Insertion der TBS mit gleichem Interessensareal, aber unterschiedlichen Referenzarealen gebildet. Als Referenzareale dienten der palmar des Strahlbeins liegenden Bereich, die seitlichen Areale des Hufbeins (Durchschnittswert) und der Bereich der Hufbeinspitze (Abb.1). Damit lassen sich folgende Speicherquotienten (SQ) bilden:



**Abb.1** Referenzareale auf der palmaren Aufnahme des Hufes. Rosa Referenzareal Hufbeinspitze, blau und gelb Referenzareal seitliches Hufbein, türkis Interessensareal Strahlbein, grün Referenzareal palmar des Strahlbeines.

*Solear scan of hoof with reference areas. Pink reference area tip of pedal bone, blue and yellow reference area lateral pedal bone, turquoise interesting area navicular bone, green reference area palmar of navicular bone.*

Für das Strahlbein (ROI SBp)

- $SQ1\ SBp = ROI\ SBp / \text{Referenzareal palmar des Strahlbeins}$
- $SQ2\ SBp = ROI\ SBp / \text{Referenzareale seitliches Hufbein (Durchschnittswert)}$
- $SQ3\ SBp = ROI\ SBp / \text{Referenzareal Hufbeinspitze}$

Für die Insertion der TBS am Hufbein (ROI HBp)

- $SQ1\ HBp = ROI\ HBp / \text{Referenzareal palmar des Strahlbeins}$
- $SQ2\ HBp = ROI\ HBp / \text{Referenzareale seitliches Hufbein (Durchschnittswert)}$

- $SQ3\ HBp = ROI\ HBp / \text{Referenzareal Hufbeinspitze}$

Entsprechend der szintigraphischen Anreicherung erfolgte die Einteilung des Patientenmaterials in drei Gruppen:

**Strahlbein-Gruppe (SB-Gruppe)**

- Pferde mit vermehrter Speicherung im Bereich des Strahlbeins.

**Strahlbein-Hufbein-Gruppe (SB-HB-Gruppe)**

- Pferde mit vermehrter Speicherung im Bereich des Strahlbeins und dem Insertionsbereich der TBS an der Facies flexoria des Hufbeins.

**Hufbein-Gruppe (HB-Gruppe)**

- Pferde mit vermehrter Speicherung im Insertionsbereich der TBS an der Facies flexoria des Hufbeins.

Die Zuordnung zu den Gruppen wurde durch die Anwendung von sogenannten Isokontur-ROIs entschieden. Hierzu wurde im Interessenbereich ein Anreicherungs-niveau von 80 % des mittleren Pixelinhalts in Counts/min/cm<sup>2</sup> festgelegt. Die Angabe der Bildflächeneinheit cm<sup>2</sup> erfolgt in der Gegenstandsebene. Die Referenz-ROIs ließen sich nicht mit Isokontur bestimmen und wurden frei eingezeichnet. Bei der Kontrollgruppe erfolgte die Festlegung der Interessenareale im Bereich des Strahlbeins und des Hufbeins im Insertionsbereich der TBS anhand von rechteckig begrenzten ROIs. Referenzareale wurden ebenfalls frei eingezeichnet. Die ermittelten Daten wurden mit dem Shapiro-Wilks-Test auf Normalverteilung geprüft. Zur Feststellung von Unterschieden zwischen den einzelnen Gruppen wurde eine auf Rängen basierende, nichtparametrische einfaktorische Varianzanalyse nach Kruskal-Wallis durchgeführt. Das Signifikanzniveau wurde auf 5 % festgelegt. Um die Speicherquotienten zu ermitteln, die sich am deutlichsten von der Kontrollgruppe unterscheiden, wurde eine lineare Diskriminanzanalyse nach Fisher durchgeführt. Die Ergebnisse wurden in Diskriminanzwert und Fehlerwahrscheinlichkeit ausgedrückt. Angegebene Normalbereiche bezogen sich auf einen 95 %-Referenzbereich basierend auf der Normalverteilungsannahme.

**Ergebnisse**

*Verteilung der Gruppen*

Die 53 ausgewerteten Szintigramme der palmaren Projektion konnten zu 58 % der „Strahlbein-Gruppe“, zu 28 % der Strahlbein-Hufbein-Gruppe und zu 13 % der „Hufbein-Gruppe“ zugeordnet werden (Tab.1).

**Tab. 1** Anteilsmäßige Verteilung der Pferde innerhalb der Gruppen in der seitlichen und der palmaren Projektion der „Hufbein“ (HB) sowie der „Strahlbein-Hufbeingruppe“ (SB-HB)  
 Number of horses in the groups of solear and lateral scans of the „pedal bone“ (HB) and „navicular-pedal bone group“ (SB-HB)

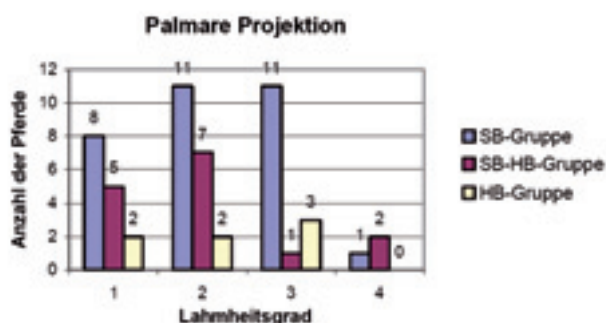
	Anzahl (N)		Palmare Projektion			
	Kontrollgruppe	SB-Gruppe	SB-HB-Gruppe	HB-Gruppe	Gesamt	
<b>Seitliche Projektion</b>	Kontrollgruppe	33				33
	SB-Gruppe		9			9
	SB-HB-Gruppe		9	11		20
	HB-Gruppe		8	4	7	19
	Nicht auswertbar		5			5
<b>Gesamt</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>15</b>	<b>7</b>	<b>86</b>	

*Verteilung nach dem Lahmheitsgrad*

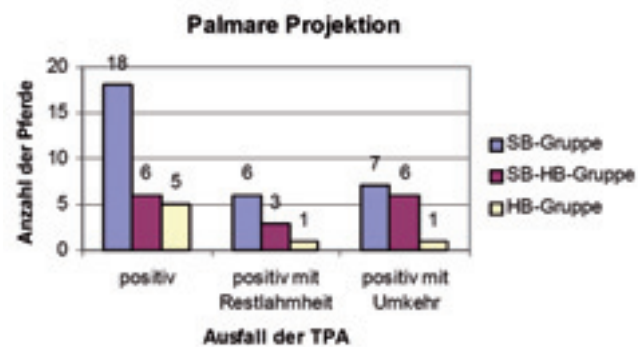
Insgesamt zeigte der größte Anteil der Pferde (94 %) eine gering- bis mittelgradige Lahmheit. 28 % der Tiere konnten dem Lahmheitsgrad 1, 38 % dem Lahmheitsgrad 2 und 28 % dem Lahmheitsgrad 3 zugeordnet werden. Nur drei der Pferde (6 %) zeigten eine Lahmheit vierten Grades (Abb. 2).

*Verteilung nach dem Ergebnis der TPA*

Das zur Patientenauswahl geforderte Kriterium einer positiven Anästhesie der tiefen Palmarnerven erfüllten 55 % der Pferde ohne Restlahmheit, 26 % zeigten ein Umspringen der Lahmheit auf die kontralaterale Gliedmaße. Bei 19 % der Pferde mit positiver TPA blieb eine Restlahmheit bestehen (Abb.3).



**Abb 2** Verteilung der Gruppen (SB Strahlbein, HB Hufbein) nach dem Lahmheitsgrad in der palmaren Projektion  
 Distribution of groups (SB navicular bone, HB pedal bone) in regard to the lameness grade in the solear scan.



**Abb. 3** Verteilung der Gruppen (SB Strahlbein, HB Hufbein) nach dem Ergebnis der Tiefen Palmarnerven-anästhesie (TPA) in der palmaren Projektion  
 Distribution of groups (SB navicular bone, HB pedal bone) in regard to palmar digital nerve block (TPA) in the solear scan.

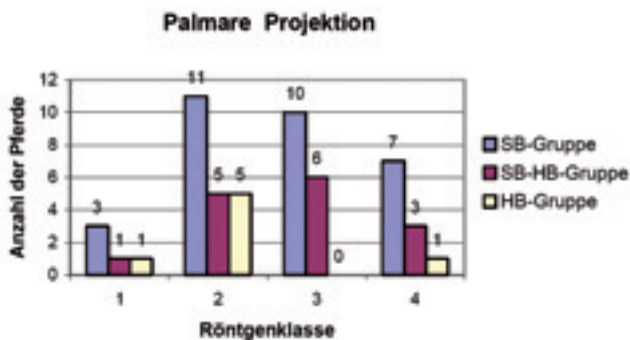
Verteilung nach der Röntgenklasse

Gemäß „Röntgenprotokoll“ waren Pferde der Röntgenklasse 1 mit einem Anteil von 9 % und der Röntgenklasse 2 mit 40 % vertreten. 30 % bzw. 21 % der Pferde verteilten sich auf die Röntgenklassen 3 und 4 (Abb. 4).

Quantitative Auswertung der Szintigramme

Speicherquotienten mit dem Interessensareal „Strahlbein“

Pferde mit vermehrter Speicherung im Bereich des Strahlbeins finden sich sowohl in der Strahlbein- als auch in der Strahlbein-Hufbein-Gruppe. Im Median liegen die Speicherquotienten der Strahlbein- und der Strahlbein-Hufbein-Gruppe über denen



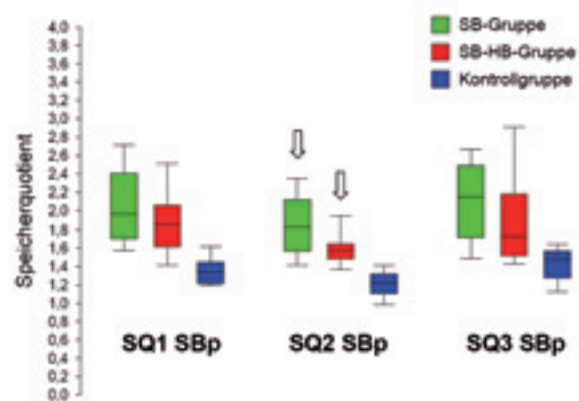
**Abb. 4** Verteilung der Gruppen (SB Strahlbein, HB Hufbein) nach Röntgenklassen in der palmaren Projektion.  
Distribution of groups (SB navicular bone, HB pedal bone) in regard to radiographic classification in the solear scan.

der entsprechenden Kontrollgruppe. Die Strahlbein-Hufbein-Gruppe zeigt durchweg niedrigere Medianwerte als die Strahlbein-Gruppe. Bei Betrachtung der Quartilabstände zeigt der Wert mit dem Referenzareal „seitliches Hufbein“ jeweils die geringste Streuung. Hier besteht auch der größte signifikante

Unterschied zwischen Patienten- und Kontrollgruppe. Die höchste Wahrscheinlichkeit für eine Fehlklassifikation besitzen die Speicherquotienten mit dem Referenzareal „Hufbeinspitze“ (Abb. 5, Tab. 2 und 3). Für alle Angaben gilt  $p < 0,001$ .

Speicherquotienten mit dem Interessensareal „Hufbein“ (Facies flexoria, Insertion TBS)

Pferde mit vermehrter Speicherung im Bereich der Facies flexoria des Hufbeins finden sich sowohl in der Hufbein- als auch in der Strahlbein-Hufbein-Gruppe. Im Median liegen die Speicherquotienten der Strahlbein-Hufbein- und der Hufbein-Gruppe über denen der jeweiligen Kontrollgruppe. Bis



**Abb. 5** Speicherquotienten für das Interessensareal „Strahlbein“. Für jede Patientengruppe ist derjenige Speicherquotient mit einem Pfeil markiert, der sich aufgrund seines Referenzareals am deutlichsten von der Kontrollgruppe diskriminiert. (SQ1 mit Referenzareal „palmar des Strahlbeins“/ SQ2 mit Referenzareal „seitliches Hufbein“/ SQ3 mit Referenzareal „Hufbeinspitze“)  
Uptake ratio for the interesting area „navicular bone“. Every patient group with the highest difference to the control group is denoted by arrow (SQ1 with reference area „palmar of the navicular bone“/ SQ2 with reference area „lateral pedal bone“/ SQ3 with reference area „tip of the pedal bone“)

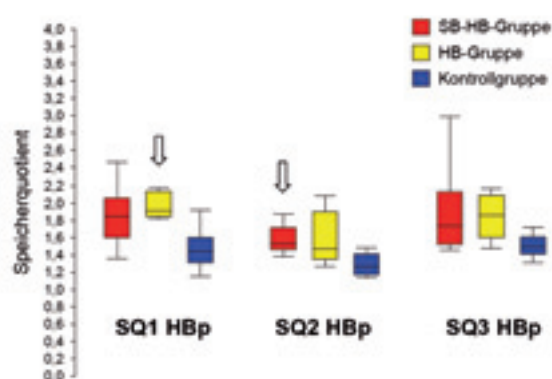
**Tab. 2** Ergebnisse der Diskriminanzanalyse für die Speicherquotienten (SQ) mit dem Interessensareal „Strahlbein“ der „Strahlbein-“ (SB) und der „Strahlbein-Hufbein-Gruppe“ (SB-HB) (FW Fehlerwahrscheinlichkeit, DW Diskriminanzwert)  
Results of the discriminant analysis of uptake ratios (SQ) with area of interest „navicular bone“ of the the „pedal bone“ (HB) and „navicular-pedal bone group“ (SB-HB)(FW error rate, DW discriminant value)

	SQ	FW (%)	DW	P-Wert
SB-Gruppe	SQ1SBp	12,5	1,65	$P < 0,001$
	SQ2SBp	10,9	1,48	$P < 0,001$
	SQ3SBp	14,1	1,73	$P < 0,001$
SB-HB-Gruppe	SQ1SBp	16,7	1,59	$P < 0,001$
	SQ2SBp	14,6	1,13	$P < 0,001$
	SQ3SBp	18,7	1,64	$P < 0,001$

**Tab. 3** Normalbereiche der Speicherquotienten (SQ) für das Interessensareal „Strahlbein“ der Kontrollgruppe für die drei unterschiedlichen Referenzareale 1 palmar des Strahlbeines, 2 seitliches Hufbein und 3 Hufbeinspitze  
Standard range of the uptake ratios (SQ) with area of interests „navicular bone“ (SB) and the different areas of reference 1 palmar of the navicular bone, 2 lateral pedal bone and 3 tip of the pedal bone

Kontrolle	Untere Grenze	Obere Grenze	Mittelwert
SQ1SBp	1,05	1,74	1,35
SQ2SBp	0,93	1,57	1,21
SQ3SBp	1,08	1,90	1,43

auf SQ2 (Referenzareal seitliches Hufbein) zeigt die „Strahlbein-Hufbein-Gruppe“ niedrigere Medianwerte als die Hufbein-Gruppe. Die Strahlbein-Hufbein-Gruppe und die Kontrollgruppe zeigen die geringste Streuung für SQ2. Abweichend verhalten sich die Speicherquotienten der Hufbein-Gruppe. Hier besitzt SQ1 die geringste Streuung. Die größte Diskriminanz zur Kontrollgruppe zeigt SQ2 für die Strahlbein-Hufbein-Gruppe und SQ1 für die Hufbein-Gruppe. Dagegen besitzen Speicherquotienten mit dem Referenzareal „Hufbeinspitze“ (SQ3) hohe Wahrscheinlichkeiten für eine Fehlklassifikation. Am deutlichsten wird dies für die Strahlbein-Hufbein-Gruppe (Abb. 6, Tab. 4 und 5).



**Abb. 6** Speicherquotienten für das Interessensareal „Facies flexoria des Hufbeins“ (SB Strahlbein, HB Hufbein). Für jede Patientengruppe ist derjenige Speicherquotient mit einem Pfeil markiert, der sich aufgrund seines Referenzareals am deutlichsten von der Kontrollgruppe diskriminiert.

*Uptake ratio for the interesting area „Facies flexoria of pedal bone“ (SB navicular bone, HB pedal bone). Every patient group with the highest difference to the control group is denoted by a arrow (SQ1 with reference area „palmar of the navicular bone“/ SQ2 with reference area „lateral pedal bone“/ SQ3 with reference area „tip of the pedal bone“)*

**Tab. 4** Ergebnisse der Diskriminanzanalyse für die Speicherquotienten mit dem Interessensareal „Hufbein“ (Facies flexoria) der „Strahlbein-“ (SB) und der „Strahlbein-Hufbein-Gruppe“ (SB-HB) (FW Fehlerwahrscheinlichkeit, DW Diskriminanzwert)

*Results of the discriminant analysis of uptake ratios (SQ) with area of interest „pedal bone“ (Facies flexoria) of the the „pedal bone“ (HB) and „navicular-pedal bone group“ (SB-HB) (FW error rate, DW discriminant value)*

	SQ	FW (%)	DW	P-Wert
SB-Gruppe	SQ1HBp	22,9	1,62	P < 0,001
	SQ2HBp	20,8	1,42	P < 0,001
	SQ3HBp	37,8	1,59	P < 0,001
SB-HB-Gruppe	SQ1HBp	12,5	1,68	P < 0,001
	SQ2HBp	15	1,5	P < 0,001
	SQ3HBp	20	1,67	P < 0,001

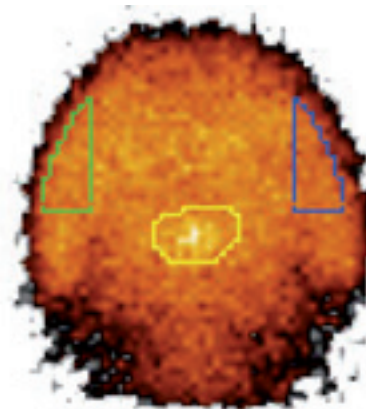
**Tab. 5** Normalbereiche der Speicherquotienten für das Interessensareal „Hufbein“ (Facies flexoria) für die drei unterschiedlichen Referenzareale 1 palmar des Strahlbeines, 2 seitliches Hufbein und 3 Hufbeinspitze

*Standard range of uptake ratios (SQ) for the area of interests „pedal bone“ (SB) and the different areas of reference 1 palmar of the navicular bone, 2 lateral pedal bone and 3 tip of the pedal bone*

Kontrolle	Untere Grenze	Obere Grenze	Mittelwert
SQ1HBp	1,02	2,00	1,43
SQ2HBp	1,03	1,59	1,28
SQ3HBp	1,22	3,21	1,51

## Zusammenfassung der Ergebnisse

Pferde mit vermehrter Speicherung ausschließlich im Strahlbein und Pferde mit vermehrter Speicherung in Strahlbein und Hufbein (Facies flexoria) unterscheiden sich am deutlichsten von der Kontrollgruppe bei der Bildung eines Speicherquotienten mit dem Referenzareal „seitliches Hufbein“. Die obere Grenze des Normalbereichs beträgt sowohl für das Interessensareal „Strahlbein“ als auch für das Interessensareal „Hufbein“ gerundet 1,6 (Abb. 7 und 8). Pferde mit vermehrter Speicherung ausschließlich im Bereich des Hufbeins (Facies flexoria) unterscheiden sich am deutlichsten von der Kontrollgruppe bei der Bildung eines Speicherquotienten mit dem Referenzareal „Bereich palmar des Strahlbeins“. Die obere Grenze des Normalbereichs beträgt 2,0 (Abb. 9).



**Abb. 7** Palmare Aufnahme mit erhöhter fokaler Speicherung im Bereich des zentralen Strahlbeins mit Speicherquotienten lahmfreier Pferde (0,93-1,57) und mit positiver Tiefer Palmarnervenästhesie (TPA)(1,57-1,12). Referenzareale liegen im seitlichen Hufbein.

*Solear scan with focal increased radiopharmaceutical uptake (IRU) in the region of the central navicular bone with uptake ratios of clinically normal horses (0,93-1,57) and those with lameness associated with pain in the region (positive palmar digital nerve block TPA)(1,57-1,12) of the navicular bone (SB) and pedal bone (HB) groups. Reference areas are in the lateral pedal bone.*

## Diskussion

Mithilfe der angewendeten quantitativen Analyse konnten Referenzwerte für Erkrankungen im Strahlbein- und Insertionsbereich der TBS für Pferde mit dem „palmar foot syndrom“ erarbeitet werden. Subjektive Einflüsse wurden weitgehend ausgeschlossen. Zum Teil traten allerdings deutliche Überschneidungsbereiche zwischen gesunden und erkrankten Tieren auf.

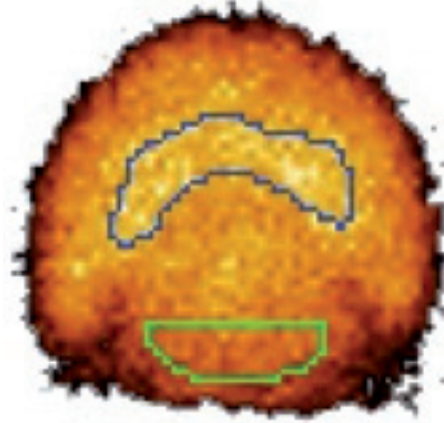


**Abb. 8** Palmare Aufnahme mit erhöhter Speicherung im Bereich des Strahlbeines und der Insertion der TBS mit Speicherquotienten lahmfreier (SB: 0,93-1,57, HB: 1,03-1,59) und TPA positiver Pferde (SB: 1,48-1,65, HB: 1,47-1,72) der Strahlbein- (SB) und Hufbein-Gruppe (HB). Referenzareale liegen im seitlichen Hufbein. Solear scan with increased IRU in the region of navicular bone and the insertion of the deep digital flexor tendon (DDFT) with uptake ratios of clinically normal horses (SB: 0,93-1,57, HB: 1,03-1,59) and those with lameness associated with pain in the region (positive palmar digital nerve block TPA) (SB: 1,48-1,65, HB: 1,47-1,72) in the navicular bone (SB) and pedal bone group (HB). Reference areas are in the lateral pedal bone.

Bei der Anwendung der Region of interest- (ROI) Technik unterscheiden sich die meisten Studien in der Auswahl der Referenzareale. Die ROI- Technik erlaubt es dem Betrachter, verschiedene Bereiche innerhalb einer Aufnahme zu vergleichen. Allerdings ist das Festlegen der ROIs subjektiven Einflüssen unterworfen. Im Gegensatz zur unregelmäßig begrenzten (freien) und regelmäßig begrenzten ROI (Autoskope Funktion) ermöglicht die Anwendung von Isokontur-ROIs eine weitere Objektivierung und bessere Vergleichbarkeit der ausgewerteten Szintigramme. Damit kann ein bestimmtes Anreicherungs-niveau zur Festlegung einer ROI vorgegeben werden. Somit unterscheidet sich die Festlegung der ROIs dieser Studie grundlegend von anderen szintigraphischen Studien in der Tiermedizin.

Eine weitere wesentliche Bedeutung bei der Berechnung der Speicherquotienten kommt der Auswahl der Referenzareale zu. Diese sollten einerseits groß genug gewählt werden, um repräsentative Werte zu erhalten, andererseits möglichst unbeeinflusst bleiben von benachbarten Arealen mit hoher metabolischer Aktivität, wie zum Beispiel dem Gelenk. Zu beachten ist, dass sich die Referenzareale abhängig vom Autor im Nenner oder im Zähler befinden können.

Bei erhöhter Speicherung im Bereich der Insertion der TBS an der Facies flexoria des Hufbeines ergeben sich Schwierigkeiten bei der Abgrenzung benachbarter anatomischer Strukturen. Gemeint ist die Insertion des Lig. sesamoideum distale impar und das Hufgelenk. Dyson (2002) sieht ein vermehrtes Auftreten falsch positiver Ergebnisse bei Speicherungen im Insertionsbereich der TBS und führt dieses unter anderem auf ein erhöhtes Remodelling im Bereich des subchondralen Knochens des Hufgelenks zurück. In vorliegender Arbeit wurde



**Abb. 9** Palmare Aufnahme mit erhöhter Speicherung im Bereich der Facies flexoria des Hufbeines mit Speicherquotienten lahmfreier (1,02-2,00) und Pferde mit positiver Tiefer Palmarnerven-anästhesie (TPA) (1,85-2,14). Das Referenzareal liegt palmar des Strahlbeines. Solear scan with focal IRU in the region of insertion of the DDFT with uptake ratios of clinically normal horses (1,02-2,00) and those with lameness associated with pain in the region (positive palmar digital nerve block TPA) (1,85-2,14). Reference area is the palmar pedal bone.

versucht, dieser Fehlerquelle durch Betrachtung beider Aufnahme-richtungen und durch Hinzuziehung zusätzlicher klinischer Informationen entgegenzuwirken. Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Osteoblastenaktivität und damit eines vermehrten Einbaus des Radiopharmakons in den Knochen kann bei vermehrten oder veränderten Belastungsbedingungen beobachtet werden. Dazu gehört zum einen eine vermehrte Lastaufnahme bei Schmerzen, die in der kontralateralen Gliedmaßen-seite lokalisiert sind (Ueltschi 1999). Solche Überlastungen können hier allerdings nahezu ausgeschlossen werden, da stets die eher entlastete, lahmheitsverursachende Gliedmaße ausgewertet wurde. Zum anderen muss an den Einfluss von Stellungsfehlern, ungleichmäßigem Beschneiden des Hufes (Ueltschi 1980) und niedrigen, untergeschobenen Trachten (Lauk und Wanschura 1998) gedacht werden. In vorliegender Arbeit wurden Speicherquotienten zur Quantifizierung des Strahlbeinbereichs und des Insertionsbereichs der TBS am Hufbein bestimmt.

### Speicherquotienten der Strahlbein-Gruppe

Bei Pferden mit vermehrter Speicherung ausschließlich im Bereich des Strahlbeins stellt sich das Referenzareal „seitliches Hufbein“ als geeignet zur Errechnung von Speicherquotienten dar. Der Überschneidungsbereich mit der Kontrollgruppe ist hier am geringsten. Der Vergleich mit Werten anderer Autoren gestaltet sich schwierig, da die Speicherquotienten nicht

einheitlich gebildet werden und häufig ungenaue oder keine Angaben über die deskriptive Statistik gemacht werden. Der hier ermittelte Normalbereich (SQ = 0,93-1,57) liegt entgegen der Angaben anderer Autoren deutlich höher. *Ueltschi* (1999) beschreibt, dass bei gesunden Pferden die Aktivität im Bereich des Strahlbeins etwa gleich ist wie in den Hufbeinästen. Als obere Grenze gibt er eine Mehranreicherung des Strahlbeins im Verhältnis zum Durchschnitt der Hufbeinäste von 25 % an (SQ = 0,66-1,25). *Dyson* (2002) veröffentlicht Werte von *Eksell* (als persönliche Mitteilung), die dem von *Ueltschi* (1999) angegebenen Normalbereich in etwa entsprechen (SQ = 0,77-1,28). Hier werden die Speicherquotienten allerdings als das Verhältnis von Strahlbein zu Hufbein, unterteilt in radiale Segmente, angegeben. Eine Arbeit von *Lauk* und *Wanschura* (2007) bezieht die gesamte Sohlenfläche in die Berechnungen ein. Der daraus resultierende sogenannte „Strahlbein-Sohle-Quotient (SSQ)“ liegt bei Pferden, die frei von Podotrochlose sind, im Mittel bei 0,151. Im Vergleich zur Patientengruppe (SSQ von 0,156) lag kein signifikanter Unterschied vor. Sie weisen aber daraufhin, dass der überwiegende Anteil der an Podotrochlose erkrankten Pferde einen Wert über 0,140 aufweist.

Die errechneten Werte sind aufgrund des gewählten Referenzareals (gesamte Sohle) mit dieser Studie nicht vergleichbar. *Keegan* et al. (1996), der Strahlbeine TPA positiver Pferde in der palmaren Projektion anhand der ROI-Technik quantifiziert hat, gibt für die Speicherquotienten der Kontrollgruppe einen Mittelwert von 0,97 und für die Patientengruppe von 1,77 an. Der Mittelwert der Patientengruppe entspricht in etwa dem Medianwert (1,83) der vorliegenden Arbeit. Der Zahlenwert der Kontrollgruppe liegt im Vergleich mit dem Mittelwert von 1,21 aus dieser Studie deutlich darunter. Allerdings errechnen sich die Referenzwerte in den Untersuchungen von *Keegan* et al. (1996) jeweils aus dem Durchschnitt der Hufbeinäste und einem Areal in der Hufbein Spitze. Das Referenzareal in der Hufbein Spitze erweist sich allerdings in dieser Arbeit als ungeeignet für die Bildung von Speicherquotienten. Die Wahrscheinlichkeit für eine Fehlklassifikation ist hier am höchsten. Entsprechend der Beobachtung von *Ueltschi* (1999) zeigt sich auch in dieser Studie ein deutlicher Überschneidungsbereich zwischen kranken und gesunden Pferden.

Die Fragestellung, ab welchem Zahlenwert ein bestimmter Speicherquotient als Frühsymptomatik des Podotrochlose-Syndroms zu werten ist, kann damit nicht beantwortet werden. Vielmehr stellt die quantitative Auswertung eine weitere Informationsquelle im diagnostischen Gefüge dar und bietet die Möglichkeit, subjektive Einflüsse möglichst gering zu halten. *Ueltschi* (1999) beschreibt Speicherungen im Strahlbein, welche die Aktivität im Hufbeinast um mehr als das Doppelte übersteigen, als verdächtig oder pathologisch. Diese Angabe, die einem Speicherquotienten von über 2,0 entspricht, erscheint im Vergleich mit dieser Arbeit als sehr hoch. Dies zeigt sich sowohl bei der Betrachtung der Kontroll-, als auch der Patientengruppe. Keines der 33 Kontrollpferde zeigt hier eine Mehranreicherung des Strahlbeins gegenüber dem seitlichen Hufbein von mehr als 75 % (SQ = 1,75). Alle anderen Tiere liegen deutlich unter diesem Wert.

Auch bei Betrachtung der kranken Gruppe in vorliegender Arbeit, erscheint der von *Ueltschi* (1999) angegebene Wert als sehr hoch. Nur vier von 14 röntgenologisch unauffälligen

Pferden (Röntgenklasse 1 und 2) zeigen Speicherquotienten über einem Wert von 2,0. Die restlichen zehn Pferde liegen unter diesem Wert, zeigen aber alle aufgrund der gemeinsamen Eigenschaft einer positiven TPA deutliche Hinweise auf Veränderungen im Sinne eines Podotrochlose-Syndroms. Der von *Ueltschi* (1999) angegebene Wert beinhaltet wahrscheinlich eine Sicherheitsspanne, welche aufgrund des hohen Überschneidungsbereiches zwischen kranken und gesunden Tieren gerechtfertigt ist. Allerdings ist damit im Vergleich mit Werten dieser Studie auch ein hoher Anteil an falsch negativen Ergebnissen verbunden. Anzumerken ist, dass hier gegenüber den mehrjährigen Untersuchungen von *Ueltschi* (1977, 1980, 1999) keine Verlaufsstudien vorgenommen wurden und es sich um ein vergleichsweise kleines Patientenmaterial handelt. Allerdings zeigen sich deutliche Unterschiede bezüglich der Einschlusskriterien. Während in vorliegender Arbeit das Patientenmaterial aufgrund der Prämisse einer positiven TPA deutlich eingegrenzt wurde, konnte bei *Ueltschi* (1999) das Vorliegen einer Erkrankung im Sinne des Podotrochlose-Syndroms nur aufgrund der röntgenologischen Befunde gesichert werden.

#### Speicherquotienten der Strahlbein-Hufbein-Gruppe

Bei Pferden mit vermehrter Speicherung im Bereich des Strahlbeins und der Insertion der TBS am Hufbein stellt sich das Referenzareal „seitliches Hufbein“ als geeigneter Wert dar, um Speicherquotienten zu erhalten, die eine möglichst große Unterscheidung zur Kontrollgruppe aufweisen. Dies gilt sowohl für das Strahlbein als auch für die Insertion der TBS.

#### Speicherquotienten der Hufbein-Gruppe (Insertion TBS)

Bei Pferden mit vermehrter Speicherung ausschließlich im Bereich der Facies flexoria, stellt sich der Speicherquotient mit dem Referenzareal „Bereich palmar des Strahlbeins“ als geeigneter Wert dar, um Speicherquotienten zu erhalten, die einen möglichst großen Abstand zur Kontrollgruppe aufweisen. Dieser Bereich ist dem Referenzareal „seitliches Hufbein“ vorzuziehen, da er einen größeren Abstand zur Facies flexoria besitzt. Fokale Speicherungen im Insertionsbereich der TBS ohne vermehrte Anreicherung im Strahlbeinareal fanden sich in nur 13 % der Fälle. Dies korreliert in etwa mit Studien von *Dyson* und *Murray* (2007a), die das Vorkommen mit 14,3 % (n=264) beschreiben.

In der Literatur finden sich Speicherquotienten für das Interessenareal „Hufbein (Facies flexoria)“ nur in der Studie von *Dyson* (2002). Allerdings hat die Studie nicht die Validierung von Speicherquotienten zum Ziel. Vielmehr wird die Beziehung zwischen „Hufschmerz“ und szintigraphischer Anreicherung untersucht. Die in vorliegender Arbeit für die Insertion der TBS angegebenen Wertebereiche sind nicht mit der Studie von *Dyson* (2002) vergleichbar. Zum einen verwendet sie zur Bildung von Speicherquotienten zwar ähnliche, aber nicht gleiche Referenzwerte. Zum anderen unterscheidet sie nicht zwischen Pferden, die isolierte Speicherungen im Bereich der Insertion der TBS aufweisen und solchen, die sowohl im Bereich der Insertion als auch im Strahlbeinbereich anreichern. Auch unterliegt die Patientengruppe grundlegend anderen Auswahlkriterien.

Der in vorliegender Arbeit ermittelte Normalbereich ist im diagnostischen Wert ähnlich einzuschätzen wie derjenige für das Strahlbein. Auf eine Akquisition der Weichteilphase in der seitlichen Projektion sollte nicht verzichtet werden (Dyson 2002). Letztendlich bieten ohne Vorhandensein von Röntgenzeichen nur zusätzliche aufwendige Untersuchungsmethoden wie CT und MRT (Dyson und Murray 2007b) weiteren Aufschluss über die morphologischen Veränderungen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die quantitative Auswertung eine wichtige diagnostische Methode bei der Objektivierung szintigraphischer Befunde am Strahlbein und an der Insertion der TBS darstellt. Die Festlegung von Arealen anhand von Isokontur-ROIs hat sich dabei bewährt. Die Akquisition der palmaren (solearen) Aufnahme stellt ein sensitives Verfahren sowohl für das Strahlbein als auch für den Insertionsbereich der TBS dar. Bei Anreicherungen im Insertionsgebiet handelt es sich mehrheitlich um diffuse Speicherungen in Verbindung mit dem Strahlbeinareal. Die Speicherquotienten beider Bereiche zeigen dementsprechend ähnliche Werte.

Isolierte Anreicherungen im Insertionsgebiet sind dagegen eher selten. Bei der Errechnung von Speicherquotienten für den Ansatzbereich der TBS stellt sich die Verwendung eines Referenzareals „palmar des Strahlbeins“ als geeignet dar. Zur Bestimmung von Speicherquotienten sowohl fokaler Strahlbeinanreicherungen als auch diffuser Speicherungen im Strahlbein- und Insertionsbereich der TBS eignet sich als Referenzareal insbesondere das „seitliche Hufbein“. Dabei wird der Durchschnittswert von zwei gleich großen Arealen im lateralen und medialen seitlichen Hufbein bestimmt.

Es ist darauf zu achten, dass häufiger beobachtete physiologische Speicherungen im Bereich der Hufbeinäste und des verknöcherten Hufknorpels nicht mit einbezogen werden. Sollte dies nicht möglich sein, kann alternativ auch der Bereich palmar des Strahlbeins als Referenzareal verwendet werden. Dagegen ist von der Auswahl von Referenzarealen im Bereich der Hufbeinspitze abzuraten. Das Vorkommen fehlklassifizierter Pferde ist hier deutlich höher.

Die Grenzen zwischen belastungsinduzierter Anreicherung und der Manifestation einer Erkrankung sind fließend und lassen sich nur schwer durch die Festlegung „kritischer Werte“ definieren. Die Interpretation ist daher nur in Verbindung mit weiteren klinischen Informationen möglich. Die Durchführung von Verlaufsuntersuchungen und Vergleiche der Speicherquotienten sind zu empfehlen. Es ist anzunehmen, dass es in Zukunft vor allem durch die Kombination von Skelettszintigraphie und MRT (Dyson und Murray 2007a) möglich sein wird, deutlich präzisere Aussagen bezüglich der Prognose von Erkrankungen im Bereich des Strahlbeins und der TBS zu erhalten.

## Literatur

Bares R. (1999) Leitlinie für die Skelettszintigraphie. Nuklearmedizin 38, 251-253  
Dyson S. J. (2002) Subjektive and quantitative scintigraphic assessment of the equine foot and its relationship with foot pain. Equine Vet. J. 34, 164-170

Dyson S. J. (2003) Primary lesions of the deep digital flexor tendon within the hoof capsule. In: Ross M. W. und S. J. Dyson, Hrsg. Diagnosis and management of lameness in the horse. Philadelphia: Saunders WB, 305-309  
Dyson S. und R. Murray (2007a) Use of current scintigraphy and magnetic resonance imaging evaluation to improve understanding of the pathogenesis of injury of the podotrochlear apparatus. Equine Vet. J. 39, 365-369  
Dyson S. und R. Murray (2007b) Verification of scintigraphic imaging for injury diagnosis in 264 horses with foot pain. Equine Vet. J. 39, 350-355  
Hoskinson J. J. (2001) Equine nuclear scintigraphy Indications, Uses, and Techniques. Vet. Clin. North Am. 17, 63-74  
Keegan K. G., D. A. Wilson, J. C. Lattimer, A. R. Twardock und M. R. Ellersiek (1996) Scintigraphic evaluation of  $^{99m}\text{Tc}$ -methylene diphosphonate uptake in the navicular area of horses with lameness isolated to the foot by anesthesia of the palmar digital nerves. Am. J. Vet. Res. 57, 415-421  
Lauk H. D. und C. Wanschura (1999) Scintigraphic evaluation of the navicular bone compared to distal toe joint angulation, hoof geometry, clinical and radiographic findings of navicular disease in 105 horses. abstr. Vet. Radiol. Ultras. 40, 202-203  
Lauk H. D. und C. Wanschura (2007) Zur rechnerischen Nachbearbeitung solearer szintigraphischer Aufnahmen des Strahlbeins beim Pferd. Pferdeheilkunde 23, 228-236  
Martinelli M. (2001) Digital imaging advances and the future. Vet. Clin. North Am. 17, 275-282  
Nagy A., S. J. Dyson und R. M. Murray (2008) Radiographic, scintigraphic and magnetic resonance imaging findings in the palmar processes of the distal phalanx. Equine Vet. J. 40, 57-63  
Pütz C. (1992) Vergleich der szintigraphischen und radiologischen Untersuchung am Strahlbein des Pferdes. Dissertation, Bern: Univ. Bern  
Trout D.R., W. J. Hornof und T. R. O'Brien (1991) Soft tissue- and bone-phase scintigraphy for diagnosis of navicular disease in horses. J. Am. Vet. Med. Assoc. 198, 73-77  
Ueltschi G. (1975) Erste Ergebnisse von szintigraphischen Skelettuntersuchungen bei Pferden mit  $^{99m}\text{Tc}$ -Phosphatverbindungen. Schweiz. Arch. Tierheilk. 117, 383-92  
Ueltschi G. (1977) Bone and joint imaging with  $^{99m}\text{Tc}$  labelled phosphates as a new diagnostic aid in veterinary orthopedics. J. Am. Vet. Rad. Assoc. 18, 80-84  
Ueltschi G. (1980) Die Skelettszintigraphie beim Pferd. Habilschr. med. vet. Univ. Bern  
Ueltschi G. (1990) Hinweise in der szintigraphischen Untersuchung auf das Strahlbeinsyndrom. In: Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft, 11. Arbeitstagung; 8./9. März 1990; Wiesbaden, 223-228  
Ueltschi G. (1996) Nuclear scintigraphy. Pferdeheilkunde 12, 688  
Ueltschi G. (1999) Stellenwert der Knochenszintigraphie und der Röntgenuntersuchung beim Problemkreis der Podotrochlose. Pferdeheilkunde 2, 122-128  
Dik K. J., G. Ueltschi und B. Hertsch (1993) Ergebnisprotokoll des 1. und 2. Treffens der Röntgenkommission am 14.04. in Utrecht und am 01.07.1993 in Zürich. Dtsch. Tierärztebl. 7, 634  
Widmer W. R., K. A. Buckwalter, J. F. Fessler, M. A. Hill, D. C. VanSickle und S. Ivancevich (2000) Use of radiography, computed tomography and magnetic resonance imaging for evaluation of navicular syndrome in the horse. Vet. Radiol. Ultras. 41, 108-116

Dr. Kerstin Gerlach  
Chirurgische Tierklinik  
Universität Leipzig  
An den Tierkliniken 21  
04103 Leipzig  
gerlach@vetmed.uni-leipzig.de