

# Ist die mobile Dual-Röntgen-Absorptiometrie (DEXA) zur Knochendichtemessung der Röhreibe beim Pferd geeignet?

Janine Junge, William Martin-Rosset, Manfred Coenen und Ingrid Vervuert

Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig

## Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit war es, die duale Röntgen-Absorptionsmetrie (DEXA) für die Untersuchung der Knochendichte am Pferd zu validieren. Hierfür wurden Röhreibe von 103 Schlachtpferden mittels des Osteodensitometers PIXI LUNAR<sup>®</sup> untersucht und die densitometrische Knochendichte (BMD) sowie der kalkulierte densitometrische Knochenmineralstoffgehalt (BMC) bestimmt. Im Anschluss an die densitometrische Messung wurde an der gewählten Messlokalisation der Knochenasche- sowie der Calcium (Ca)-, Phosphor (P)-, und Magnesiumgehalt (Mg) im Knochen analysiert. Mit der DEXA-Methode konnte die geringste mittlere Knochendichte (BMD) mit 2,96 g/cm<sup>2</sup> in der linken Vordergliedmaße beobachtet werden, die höchste mittlere BMD wurde mit 4,26 g/cm<sup>2</sup> in der rechten Hintergliedmaße analysiert. Gleiches gilt für den kalkulierten Knochenmineralstoffgehalt, der in einem Bereich von 23,8 g/cm<sup>3</sup> (linke Vordergliedmaße) und 34,1 g/cm<sup>3</sup> (rechten Hintergliedmaße) liegt. Messungen zur Reproduzierbarkeit zeigten, dass ohne Reposition der Gliedmaßen Abweichungen in einem Bereich von 1,06-1,85 % und mit Reposition der Gliedmaßen Abweichungen in einem Bereich von 3,51-4,48 % gefunden wurden. Bei dem Vergleich der analysierten Knochenasche-, Ca-, P- und Mg-Gehalte konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen ermittelt werden. Bei der DEXA-Methode wird ein Knochenabschnitt mit einem sehr hohen Kortikalisanteil erfasst, welcher auf Einflüsse wie beispielsweise Training oder Ruhigstellung mit einer Veränderung des Knochenumfanges bei gleichbleibenden Mineralstoffkonzentrationen reagiert. Diese Eigenschaft führt zu einer schlechten Korrelation zwischen der DEXA-Methode und der chemischen Analyse, so dass sich die Ergebnisse der beiden Messverfahren zwar gut in den Kontext anderer Studien einfügen, der direkte Vergleich der beiden Methoden jedoch nicht möglich ist.

**Schlüsselwörter:** DEXA, Knochendichte, Röhreibe, Pferd

## Assessment of cannon bone mineral density by dual X-ray absorptiometry (DXA) in horses?

DXA (dual energy X-ray absorptiometry) is an established method for the measurement of bone mineral density (BMD), calculated bone mineral content (BMC) and whole body composition in human and partly in veterinary medicine. However, there are only a small number of studies that examine optical bone density in horses using DXA. All these studies are based on small sample sizes. Therefore, the objective of this study was to validate the use of DXA for the measurement of BMD and the calculated BMC in the horse. In total the cannons of 103 horses were scanned *ex vivo*, using the PIXI LUNAR<sup>®</sup> densitometer. The measuring point was the standardized midpoint between basis and caput of the third metacarpal/metatarsal bone. In a second step the DXA measurements were complemented by chemical analysis, using the respective bone slices. In these bone slices bone ash as well as calcium (Ca), phosphorus (P) and magnesium (Mg) content were determined. The average ash content of the cannon bones was 698±33.2 g/kg dry matter (DM). The average mineral content was measured in the following order: Ca 268±21.1 g/kg DM, P 124±8.36 g/kg DM und Mg 2.42±0.305 g/kg DM. The ratio of Ca to P ranged from 2.14 to 2.18. The DXA results are influenced not only by the bone's mineral content, but also by its diameter. Based on this, the results are separated into the results of the forelimb (fl) and the hindlimb (hl) which generated the following results: BMD: fl 3.20 g/cm<sup>2</sup>, hl 4.11 g/cm<sup>2</sup>; BMC: fl 25.95 g/cm<sup>3</sup>, hl 32.75 g/cm<sup>3</sup>. Several robustness checks of the measurements were conducted. For the BMD measurements, the range varied by 3.51-4.48 % for measurements with limb repositioning, and by 1.06-1.85 % for measurements without limb repositioning. For the calculated BMC measurements, the range varied from 3.38-3.94 % for measurements with limb repositioning, and by 1.28-2.79 for measurements without limb repositioning. To determine the importance of the exact bone position for follow-up investigations, measurements in a distance of one, two and three centimeters proximal and distal of the original measuring point were performed. The results of these measurements deviated from the result of the central measuring point at the centre of the diaphysis in a range of 5.19 to 11.8 %. Overall, the results of this study indicate that DXA is suitable for determining BMD and calculated BMC at the third metacarpal/metatarsal bone of the horse. The high reproducibility of the results and the distance measurements suggest that DXA is suitable for measurements at the standing, tranquilized horse. However, the cannon bone is a tissue with a high content of cortical bone. This means that the diameter of the bone changes as a result of training or immobilization, while the bone ash content remains unchanged by such influence. This leads to a weak correlation between the results from the DXA and chemical analyses like bone ash or Ca, P and Mg. Thus, while these two types of analysis fit well into the context of prior studies, a direct comparison between these measurements is not possible.

**Keywords:** DXA, bone mineral density, cannon bone, horse

## Einleitung

Erkrankungen des Bewegungsapparates sind die häufigsten Erkrankungen des arbeitenden Pferdes (Ramzan et al. 2011). Diese zeigen sich insbesondere bei jungen Rennpferden in einem Alter von 18-24 Monaten (Price et al. 1995, Nielsen

et al. 1997, Jackson et al. 2009). Zu diesem Zeitpunkt sind die Tiere noch nicht vollständig ausgewachsen und ihre Knochen haben ihre endgültige Dichtigkeit noch nicht erreicht (El Shorafa et al. 1979, Vervuert et al. 2007). Der Knochen reagiert mit einer Anpassung der Knochenmasse

und der -architektur auf das Training (Price et al. 1995, Veruert et al. 2002), wird die Anpassungsfähigkeit des Knochens allerdings überschritten, führt dies zu Lahmheiten bis hin zu Frakturen (Nielsen et al. 1997, Jackson et al. 2009). So sind Lahmheiten der Hauptgrund für das Ausscheiden eines Pferdes während eines Rennens und die häufigste Ursache für die Euthanasie von Rennpferden (Boden et al. 2006). Die Prävention sowie eine Minimierung des Ausfalles bei Sportpferden aufgrund von Lahmheiten spielen deshalb eine wichtige Rolle. Bei der Diagnostik von Lahmheiten sind somit auch solche Verfahren von Interesse, die Veränderungen des Knochengewebes möglichst frühzeitig erkennen lassen. In der Humanmedizin wird hierfür die DEXA-Methode (dual energy X-ray absorptiometry) eingesetzt (Lewicki et al. 2008), die auf dem Gebiet der Osteoporosediagnostik nach der WHO (World Health Organization) als Goldstandard gilt. Aber auch bei zahlreichen Tierspezies wie z.B. dem Schwein (Mitchell et al. 2000) oder dem Rind (Becker et al. 2001) wird das DEXA Verfahren zur Bestimmung der Knochendichte und des -mineralstoffgehaltes genutzt. Vorteile dieses Verfahrens gegenüber anderen zur Knochendichtebestimmung eingesetzten Methoden sind die Non-Invasivität der Methode, die Mobilität des Gerätes sowie die Möglichkeit, die densitometrische Untersuchung am stehenden Pferd durchzuführen. Für die Anwendung der DEXA-Methode beim Pferd liegen vereinzelte Studien vor (Firth et al. 1999, Carstanjen et al. 2003, Donabedian et al. 2005, Toth et al. 2010), die jedoch allesamt auf sehr geringen Tierzahlen beruhen. Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die DEXA-Methode zur Knochendichtebestimmung am Röhrbein des Pferdes zu validieren.

## Material und Methoden

### Röhrbeine

Es wurden die Röhrbeine von 103 Schlachtpferden untersucht. Insgesamt wurden 52 Stuten, 32 Wallache und 7 Hengste untersucht. Bei 12 Tieren war auf Grund des fehlenden Equidenpasses das Geschlecht unklar. Das Alter der Tiere variierte zwischen einem und 28 Jahren, es erfolgte eine Einteilung in Warmblutpferde, Vollblüter, Kleinpferde und Ponys (Tab. 1a+b).

### Densitometrie

Für die Messungen der Knochendichte des Röhrbeines des Pferdes wurde das Densitometer Lunar, Modell PIXI (Fa. GE Healthcare, Fairfield, USA) eingesetzt. Vor jedem Messtag wurde eine Qualitätskontrolle durchgeführt werden. Hierzu wurden fünf Messungen mit einem Phantom, das den menschlichen Unterarm simuliert und einen BMD von 0,425

g/cm<sup>2</sup> aufweist, durchgeführt. Für diese Messungen wird eine Abweichung von zwei Prozent toleriert. Als Messpunkt bei den Röhrbeinen wurde die Mitte zwischen der Basis und dem Caput des Os metacarpale tertium bzw. des Os metatarsale tertium gewählt. Das Röhrbein wurde mit der lateralen Seite des Beines nach oben im Densitometer positioniert, so dass der Strahlengang in dorsopalmare bzw. -plantare Richtung erfolgte.

Für jedes Röhrbein wurden 18 Messungen durchgeführt. Zunächst wurden drei Messungen am Mittelpunkt des Röhrbeines nacheinander wiederholt, ohne das Bein in seiner Lage zu verändern. Dann wurde das Röhrbein aus dem Gerät entnommen und erneut in der gleichen Position in dem Gerät positioniert. Es wurden wiederum drei Messungen ohne Positionsänderung durchgeführt. Dieser Vorgang wurde insgesamt dreimal durchgeführt. Die anschließenden Messungen fanden im Abstand von ein, zwei und drei Zentimetern proximal und distal des Ausgangsmesspunktes statt.

### Chemische Knochenanalyse

Die Knochenscheiben im Bereich des Areal der durchgeführten densitometrischen Untersuchungen wurden 48 Stunden in der Gefriertrocknung vorgetrocknet. Anschließend wurden die Knochenscheiben zurückgewogen, manuell entfettet und zermahlen (Schleifenmühle Typ LV 157M, Hanau, Deutschland). Das Knochenschrot wurde anschließend im Soxtec (Avanti 2050, Hamburg) entfettet.

Die chemischen Untersuchungen der Knochenasche, des Calcium- (Ca), Phosphor- (P) und Magnesiumgehaltes (Mg) in der Knochenasche wurden in Anlehnung an das Methodenbuch der VDLUFA-Vorschriften (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten) durchgeführt.

### Statistik

Die Ergebnisse der chemischen Analyse beziehen sich jeweils auf die fettfreie Knochenasche, angegeben pro kg Trockensubstanz (TS). Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm STATISTICA 8 (Fa. StatSoft, Tulsa, USA). Die Daten wurden auf Normalverteilung mittels Lilliefors-Test überprüft. Bei Vorliegen der Normalverteilung (Daten BMD) erfolgte die Auswertung des Gliedmaßenvergleichs mittels einfaktorierter Varianzanalyse, bei dem Vorliegen nicht normal verteilter Daten (Parameter der chemischen Analyse) wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Des Weiteren erfolgten Regressionsanalysen zur Überprüfung von Zusammenhängen zwischen der chemischen Analyse und der Densito-

**Tab. 1a:** Altersverteilung der Versuchspferde

Alter (Jahre)	1-7	8-15	16-20	21-28
N	19	35	21	21

**Tab. 1b** Rassenaufteilung der Versuchspferde

Rasse	Warmblut	Vollblut	Kleinpferd	Pony
N	78	5	5	9

metrie. Die Daten werden als Mittelwert  $\pm$  SD angegeben, das Signifikanzniveau liegt bei  $p < 0,05$ .

## Ergebnisse

### BMD und BMC

Beim Gliedmaßenvergleich ist die geringste Knochendichte mit  $2,96 \text{ g/cm}^2$  in der linken Vordergliedmaße zu finden, die höchste BMD mit  $4,26 \text{ g/cm}^2$  in der rechten Hintergliedmaße (s. Tab. 2). Gleiches gilt für den kalkulierten BMC, der in einem Bereich von  $23,8 \text{ g/cm}^3$  (linke Vordergliedmaße) und  $34,1 \text{ g/cm}^3$  (rechte Hintergliedmaße) liegt. Eine signifikant höhere BMD und ein signifikant höherer BMC werden in den Hintergliedmaßen beobachtet. Es konnten weder für die BMD noch für den BMC signifikante Effekte zwischen den Altersgruppen und dem Geschlecht dargestellt werden. Im Gegensatz dazu konnten die niedrigsten BMD und BMC Werte für Ponys im Vergleich zu Warmblutpferden analysiert werden (Tab. 3).

Für die Reproduzierbarkeit ohne Reposition wurden jeweils drei Messungen am zentralen Messpunkt des Röhreibes

durchgeführt, hierbei wurde für die Knochendichte eine Abweichung von 1,06-1,85 % gefunden. Für die Reproduzierbarkeit des BMDs mit Reposition wurde eine Abweichung von 3,51-4,48 % gefunden.

Für die Abweichungen vom zentralen Messpunkt wurden Messungen im Abstand von ein, zwei und drei Zentimetern proximal und distal durchgeführt (Tab. 4). Bei der linken Vordergliedmaße konnten Abweichungen im Bereich von 5,37-8,39 %, bei der rechten Vordergliedmaße von 6,15-10,1 %, bei der linken Hintergliedmaße von 5,19-11,8 % und bei der rechten Hintergliedmaße von 5,42-10,3 % zum zentralen Messpunkt ermittelt werden.

### Chemische Knochenanalyse

Bei dem Vergleich der Knochenasche- sowie den Ca-, P- und Mg-Gehalten konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gliedmaßen ermittelt werden (s. Tab. 5). Für den Knochenaschegehalt schwankten die Ergebnisse zwischen 696-700 g/kg TS. Der mittlere Ca Gehalt variierte zwischen 265-270 g/kg TS, der mittlere P Gehalt lag zwischen 123 und 124 g/kg TS und der mittlere Mg Gehalt schwankte

**Tab. 2** BMD ( $\text{g/cm}^2$ ) und BMC ( $\text{g/cm}^3$ ) bei den verschiedenen Gliedmaßen (MW  $\pm$  SD)

Gliedmaße	Alle (N = 412)	VL (N = 103)	VR (N = 103)	HL (N = 103)	HR (N = 103)
BMD	$3,59 \pm 0,14$	$2,96 \pm 0,10^a$	$3,44 \pm 0,14^b$	$3,96 \pm 0,14^b$	$4,26 \pm 0,19^c$
BMC	$28,9 \pm 1,35$	$23,8 \pm 0,86^a$	$28,1 \pm 1,27^b$	$31,4 \pm 1,38^{bc}$	$34,1 \pm 2,16^c$

Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Effekte innerhalb einer Zeile

**Tab. 3** BMD ( $\text{g/cm}^2$ ) und BMC ( $\text{g/cm}^3$ ) für die verschiedenen Rassen (MW  $\pm$  SD)

Parameter	GM	Warmblut (N = 78)	Vollblüter (N = 5)	Kleinpferd (N = 5)	Pony (N = 9)
BMD	VL	$3,02 \pm 0,49^{a*}$	$3,13 \pm 0,73^{ab*}$	$2,80 \pm 0,40^{a* \#}$	$2,17 \pm 0,51^{a \#}$
	VR	$3,58 \pm 0,53^{b*}$	$3,39 \pm 0,20^{ac*}$	$3,39 \pm 0,41^{a*}$	$2,11 \pm 0,55^{a \#}$
	HL	$4,09 \pm 0,63^{c*}$	$3,96 \pm 0,33^{b* \#}$	$4,36 \pm 0,21^{b*}$	$3,14 \pm 0,51^{ab \#}$
	HR	$4,34 \pm 0,44^{c* \#}$	$4,41 \pm 0,20^{c* \#}$	$5,48 \pm 0,11^{b*}$	$3,57 \pm 0,72^{b \#}$
BMC	VL	$24,2 \pm 4,0^{a*}$	$26,8 \pm 7,6^{a* \#}$	$24,3 \pm 5,6^{a* \#}$	$16,4 \pm 5,3^{a \#}$
	VR	$28,8 \pm 4,2^{b*}$	$30,7 \pm 5,2^{a* \#}$	$29,3 \pm 4,4^{ab* \#}$	$18,9 \pm 6,3^{a \#}$
	HL	$32,1 \pm 5,6^{c*}$	$32,9 \pm 1,5^{a* \#}$	$36,7 \pm 8,8^{ab*}$	$21,0 \pm 5,9^{a \#}$
	HR	$35,3 \pm 4,7^{c*}$	$36,2 \pm 2,4^{a* \#}$	$45,1 \pm 9,8^{b*}$	$24,5 \pm 7,7^{a \#}$

Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Effekte innerhalb einer Spalte; unterschiedliche Symbole kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile

**Tab. 3** BMD ( $\text{g/cm}^2$ ) und BMC ( $\text{g/cm}^3$ ) für die verschiedenen Rassen (MW  $\pm$  SD)

Parameter	GM	Warmblut (N = 78)	Vollblüter (N = 5)	Kleinpferd (N = 5)	Pony (N = 9)
BMD	VL	$3,02 \pm 0,49^{a*}$	$3,13 \pm 0,73^{ab*}$	$2,80 \pm 0,40^{a* \#}$	$2,17 \pm 0,51^{a \#}$
	VR	$3,58 \pm 0,53^{b*}$	$3,39 \pm 0,20^{ac*}$	$3,39 \pm 0,41^{a*}$	$2,11 \pm 0,55^{a \#}$
	HL	$4,09 \pm 0,63^{c*}$	$3,96 \pm 0,33^{b* \#}$	$4,36 \pm 0,21^{b*}$	$3,14 \pm 0,51^{ab \#}$
	HR	$4,34 \pm 0,44^{c* \#}$	$4,41 \pm 0,20^{c* \#}$	$5,48 \pm 0,11^{b*}$	$3,57 \pm 0,72^{b \#}$
BMC	VL	$24,2 \pm 4,0^{a*}$	$26,8 \pm 7,6^{a* \#}$	$24,3 \pm 5,6^{a* \#}$	$16,4 \pm 5,3^{a \#}$
	VR	$28,8 \pm 4,2^{b*}$	$30,7 \pm 5,2^{a* \#}$	$29,3 \pm 4,4^{ab* \#}$	$18,9 \pm 6,3^{a \#}$
	HL	$32,1 \pm 5,6^{c*}$	$32,9 \pm 1,5^{a* \#}$	$36,7 \pm 8,8^{ab*}$	$21,0 \pm 5,9^{a \#}$
	HR	$35,3 \pm 4,7^{c*}$	$36,2 \pm 2,4^{a* \#}$	$45,1 \pm 9,8^{b*}$	$24,5 \pm 7,7^{a \#}$

Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Effekte innerhalb einer Spalte; unterschiedliche Symbole kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile

über den Bereich von 2,41 bis 2,44 g/kg TS. Beim Vergleich zwischen den Altersgruppen wiesen die 1-7 jährigen Pferde im Vergleich zu den älteren Pferden (>7 Jahre) einen Trend für niedrigere Knochenasche- und Ca Gehalte auf, diese Unterschiede ließen sich aber nicht für alle Gliedmaßen signifikant mit  $p < 0,05$  absichern. Weitere signifikante Alterseffekte für die P und Mg Gehalte in der Knochenasche konnten nicht nachgewiesen werden. Es konnten keine signifikanten Effekte zwischen dem Geschlecht und der Rasse dargestellt werden.

#### Beziehung zwischen BMD, BMC und Knochenmineralstoffgehalte

Beim Vergleich der Ergebnisse der Untersuchungen mittels DEXA (Parameter: BMD, BMC) und der chemischen Analyse (Parameter: Knochenasche, Ca, Mg, P) konnten keine straffen Beziehungen festgestellt werden, die Korrelationskoeffizienten variieren in einem Bereich von  $r: -0,238$  bis  $0,331$ .

## Diskussion

Die in der eigenen Studie überprüften Ca-, P- und Mg-Gehalte in den Vorder- und Hinterröhrlbeinen bestätigen die Ergebnisse vorangegangener Studien bei Pferden (Schryver et al. 1974, El Shorafa et al. 1979, Voges Jun. 1988). Pferde mit einer Körpermasse von rund 500 kg besitzen in der Regel ein Ca Reservoir von rund 7 kg, von diesem Bestand werden rund 99 % im Knochen gespeichert (Schryver et al. 1974). Neben Ca besitzt P eine zentrale Bedeutung für die Stabilität und Funktionalität des Knochens, von den körpereigenen P-Beständen werden rund 80 % im Knochen gespeichert. Das in der eigenen Studie vorgefundene Verhältnis von Ca zu P ist mit 2,14-2,18 zu 1 relativ eng und bewegt sich im unteren Bereich der Ergebnisse anderer Studien, die das Ca zu P Verhältnis im Knochen im Bereich von 2,1 bis 2,9 zu 1 beschreiben (Schryver et al. 1974, El Shorafa et al. 1979, Voges Jun. 1988, Cooper et al. 2001).

Die Ergebnisse der Knochendichtemessungen lassen sich ebenfalls in den Kontext der Literatur einbetten (McClure et al. 2001, Carstanjen et al. 2003). Im Unterschied zu der eigenen Studie waren die Tierzahlen aber mit 12 bzw. 11 Pferden allerdings sehr gering, so dass die vorliegende Studie einen Beitrag zur Referenzwertfestlegung liefert. Aufgrund der guten Reproduzierbarkeit, auch bei Abweichungen von bis zu 3 cm proximal oder distal vom zentralen Messpunkt bietet die mobile DEXA-Methode eine Möglichkeit, die Knochendichte auch am stehenden Pferd durchzuführen, welches bereits von Donabedian et al. (2005) beschrieben worden ist, allerdings kamen in der genannten Studie nur zwei Pferde zum Einsatz. Einsatzgebiete für die DEXA-Methode sind beispielsweise die Überprüfung des Einflusses von Haltung, Training, Fütterung oder Wachstum auf die Knochendichte (Price et al. 1995, Jackson et al. 2009). Weisrock et al. (2011) berichten beispielsweise über Veränderungen in der Knochendichte (Messlokalisierung Calcaneus) bei Warmblutpferden in Abhängigkeit der Haltung auf der Weide, bei dieser Studie kam ebenfalls das mobile DEXA-Gerät zum Einsatz. Bei dem Vergleich der chemischen Untersuchung mit der Bestimmung der densitometrischen Knochendichte fällt auf, dass bei den Ergebnissen zur Knochenasche und den Gehalten von Ca, P und Mg keine Unterschiede zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen bestehen, während bei der DEXA-Methode signifikante Unterschiede zwischen den Lokalisationen beobachtet werden konnten.

Die Unterschiede zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen sind vermutlich auf den größeren Umfang der Röhre der Hintergliedmaße im Vergleich zur Vordergliedmaße zurückzuführen. Der größere Durchmesser führt zu einer vermehrten Absorption der Röntgenstrahlung im Knochen und damit zur Berechnung von höheren Werten für die BMD und BMC. Dieser Größenunterschied führt auch zu einer größeren Festigkeit der Röhrlbeine der Hintergliedmaße (Hanson et al. 1995).

Der Einfluss des Knochendurchmessers auf die Ergebnisse der densitometrischen Messungen zeigt sich auch beim Vergleich der Rassetypen. Für die Knochenasche und die Mineralstoffe

**Tab. 4** Einfluss der Messlokalisierung auf den BMD Wert (Angabe MW  $\pm$  SD, g/cm<sup>2</sup>)

	VL	VR	HL	HR
Zentral	2,96 $\pm$ 0,10	3,44 $\pm$ 0,14	3,96 $\pm$ 0,14	4,26 $\pm$ 0,19
1 cm proximal	2,95 $\pm$ 0,50 (5,37 $\pm$ 4,56)	3,52 $\pm$ 0,54 (6,15 $\pm$ 7,02)	3,91 $\pm$ 0,77 (5,19 $\pm$ 5,57)	4,30 $\pm$ 0,81 (5,42 $\pm$ 4,64)
1 cm distal	2,97 $\pm$ 0,43 (5,93 $\pm$ 5,05)	3,46 $\pm$ 0,58 (7,70 $\pm$ 8,28)	3,90 $\pm$ 0,83 (7,10 $\pm$ 6,20)	4,37 $\pm$ 0,82 (7,64 $\pm$ 8,49)
2 cm proximal	2,91 $\pm$ 0,43 (5,60 $\pm$ 4,52)	3,39 $\pm$ 0,50 (8,17 $\pm$ 7,31)	3,82 $\pm$ 0,65 (8,75 $\pm$ 6,53)	4,33 $\pm$ 0,53 (6,08 $\pm$ 3,91)
2 cm distal	2,98 $\pm$ 0,46 (7,04 $\pm$ 6,00)	3,47 $\pm$ 0,60 (8,67 $\pm$ 8,10)	4,02 $\pm$ 0,74 (9,24 $\pm$ 7,46)	4,17 $\pm$ 0,83 (7,87 $\pm$ 7,19)
3 cm proximal	2,77 $\pm$ 0,42 (8,39 $\pm$ 6,32)	3,24 $\pm$ 0,46 (10,1 $\pm$ 7,97)	3,79 $\pm$ 0,67 (9,06 $\pm$ 6,75)	4,34 $\pm$ 0,57 (8,32 $\pm$ 6,65)
3 cm distal	3,03 $\pm$ 0,42 (8,18 $\pm$ 6,51)	3,55 $\pm$ 0,61 (8,99 $\pm$ 9,06)	3,96 $\pm$ 0,71 (11,8 $\pm$ 9,69)	4,51 $\pm$ 0,67 (10,3 $\pm$ 9,11)

Angabe in Klammern: Prozentuale Abweichung vom zentralen Messpunkt (MW  $\pm$  SD)

**Tab. 5** Knochenasche-, Calcium-, Phosphor- und Magnesiumgehalte (g/kg TS) bei den verschiedenen Gliedmaßen (MW  $\pm$  SD)

Gliedmaße	Ra	Ca	P	Mg
VL	697 $\pm$ 8,2 <sup>a</sup>	269 $\pm$ 31,9 <sup>a</sup>	123 $\pm$ 12,9 <sup>a</sup>	2,41 $\pm$ 0,370 <sup>a</sup>
VR	697 $\pm$ 7,9 <sup>a</sup>	265 $\pm$ 11,8 <sup>a</sup>	124 $\pm$ 5,10 <sup>a</sup>	2,44 $\pm$ 0,260 <sup>a</sup>
HL	700 $\pm$ 34,4 <sup>a</sup>	269 $\pm$ 21,7 <sup>a</sup>	124 $\pm$ 8,08 <sup>a</sup>	2,43 $\pm$ 0,300 <sup>a</sup>
HR	696 $\pm$ 82,3 <sup>a</sup>	270 $\pm$ 19,0 <sup>a</sup>	124 $\pm$ 7,35 <sup>a</sup>	2,41 $\pm$ 0,290 <sup>a</sup>

Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Effekte innerhalb einer Spalte

konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Rassetypen ermittelt werden. Bei den Ergebnissen der Untersuchung mittels DEXA konnten allerdings signifikante Unterschiede in der Knochendichte zwischen Ponys und Warmblutpferden gefunden werden, was vermutlich auf den Größenunterschied der Röhrlbeine dieser beiden Rassetypen zurückzuführen ist.

Die sehr geringe Beziehung zwischen der chemischen Analyse und den Ergebnissen zur Osteodensitometrie sind vermutlich durch die sehr geringe Variation der Ca, P und Mg Gehalte in der Knochenasche in der vorliegenden Untersuchung geschuldet, wohingegen die Röhrlbeindurchmesser zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen deutlich unterschiedlich sind. In Anlehnung an die eigenen Ergebnisse weisen Schryver et al. (1974) nach, dass die prozentualen Anteile von Ca, P und Mg in der Knochenasche sowie das Verhältnis dieser Mineralstoffe zueinander geschlechts-, alters- und rasseunabhängig sind.

Eine kritische Betrachtung ist auch die Wahl der Messlokalisierung geschuldet. Die Diaphyse des Röhrlbeins besteht zu erheblichen Anteilen aus kompakten Kortikalisstrukturen, die eine relativ geringe Metabolisierungsrate aufweisen, wohingegen spongiöse Knochenstrukturen wie z.B. das Hufbein oder der Calcaneus wesentlich stoffwechselaktiver sind, und aufgrund der Dynamik trainings-, haltungs- oder fütterungsbedingte Veränderungen sehr viel schneller zu detektieren sind (Weisrock et al. 2011). Das spongiöse Hufbein ist für die Untersuchung mittels der mobilen DEXA-Methode nicht zugänglich, Untersuchungen am spongiösen Calcaneus sind auf Grund der Lagerung nur am narkotisierten Pferd durchführbar (Weisrock et al. 2011). Zukünftigen Studien bleibt es vorbehalten, inwieweit trainings-, haltungs- und fütterungsbedingte Einflüsse durch die mobile DEXA Methode an den kortikalen Strukturen des Röhrlbeins detektiert werden können.

## Literatur

- Becker C., Baltzer A.W., Schneppenheim M., Becker A., Assheuer J., Merk H. R. und Krauspe R. (2001) Experimental validation of DXA and MRI-based bone density measurement by ash-method. Zentralbl. Chir. 126, 402-406
- Boden L. A., Anderson G. A., Charles J. A., Morgan K. L., Morton J. M., Parkin T. D., Slocombe R. F. und Clarke A. F. (2006) Risk of fatality and causes of death of Thoroughbred horses associated with racing in Victoria, Australia: 1989-2004. Equine Vet. J. 8, 312-318
- Carstanjen B., Duboeuf F., Detilleux J. und Lepage O. M. (2003) Equine Third Metacarpal Bone Assessment by Quantitative Ultrasound and Dual Energy X-Ray Absorptiometry: An Ex vivo Study. J. Vet. Med. 50, 42-47
- Cooper S. R., Topliff D. R., Freeman D. W., Collier M. A. und Balch O. K. (2001) Evaluation of bone mineral content in equine cadavers and pregnant mares. J Equine Vet. Sci. 21, 450-453
- Donabedian M., Delguste C., Perona G., Lebecque P., Duboeuf F. und Lepage O. (2005) Third metacarpal bone mineral density assessment in the standing horse by dual X-ray absorptiometry. Vet. Comp. Orthop. Traumatol. 18, 26-30
- El Shorafa W. M., Feaster J. P. und Ott E. A. (1979) Horse Metacarpal Bone: Age, Ash Content, Cortical Area and Failure Stress Interrelationships. J. Anim. Sci. 49, 979-982
- Firth E. C., Delahunty J., Wichtel J. W., Birch H. L. und Goodship A. E. (1999) Galloping exercise induces regional changes in bone density within the third and radial carpal bones of Thoroughbred horses. Equine Vet. J. 31, 111-115
- Hanson P. D., Markel M. D. und Vanderby R. (1995) Diaphyseal structural properties of equine long bones. Am. J. Vet. Res. 56, 233-240
- Jackson B. F., Dyson P. K., Lonnell C., Verheyen K. L., Pfeiffer D. U. und Price J. S. (2009) Bone biomarkers and risk of fracture in two- and three-year-old Thoroughbreds. Equine Vet. J. 41, 410-413
- Lewiecki E. M., Gordon C. M., Baim S., Leonard M. B., Bishop N. J., Bianchi M. L., Kalkwarf H. J., Langman C. B., Plotkin H., Rauch F., Zemel B. S., Binkley N., Bilezikian J. P., Kendler D. L., Hans D. B. und Silverman S. (2008) International Society for Clinical Densitometry 2007 Adult and Pediatric Official Positions. Bone 43, 1115-1121
- McClure S. C. (2001) Evaluation for DXA for in situ measurement of BMD of equine metacarpal. Am. J. Vet. Res. 62, 752-756
- Mitchell A. D., Scholz A. M. und Pursell V. G. (2000) Dual-energy X-ray absorptiometry measurements of the body composition of pigs of 90- to 130-kilograms body weight. Ann. N. Y. Acad. 904, 85-93
- Nielsen B. D. und Spooner H. S. (2007) Small changes in exercise, not nutrition, often result in measurable changes in bone. Comp. Exercise Physiol. 5, 15-20
- Price J. S., Jackson B., Eastell R., Wilson A. M., Russell R. G., Lanyon L. E. und Goodship A. E. (1995) The response of the skeleton to physical training: a biochemical study in horses. Bone 17, 221-227
- Ramzan P. H. und Palmer L. (2011) Musculoskeletal injuries in Thoroughbred racehorses: a study of three large training yards in Newmarket, UK (2005-2007). Vet. J. 187, 325-329
- Schryver H. F., Hintz H. F., Lowe J. E., Hintz R. L., Harper R. B. und Reid J. T. (1974) Mineral Composition of the Whole Body, Liver and Bone of Young Horses. J. Nutr. 104, 126-132
- Toth P., Horvath C., Ferencz V., Nagy K., Gligor N., Szenci O. und Bodo G. (2010) Assessment of the mineral density and mineral content of the equine third metacarpal and first phalanx bone by dual energy x-ray absorptiometry. Acta Vet. Hung. 8, 317-329
- Vervuert I., Coenen M., Wedemeyer U. und Harmeyer J. (2002) Biochemical markers of bone activity in young standardbred horses during different types of exercise and training. J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med. 49, 396-402
- Vervuert I., Winkelsett S., Christmann L., Bruns E., Hoppen H. O., Distl O., Hertsch B. und Coenen M. (2007) Evaluation of the influences of exercise, birth date, and osteochondrosis on plasma bone marker concentrations in Hanoverian Warmblood foals. Am J Vet Res. 68, 1319-1323
- Voges jun. F. (1988) Untersuchungen über die Zusammensetzung von Pferdeknochen. Diss. Med. Vet. Hannover
- Weisrock K. U., Winkelsett S., Martin-Rosset W., Forssmann W. G., Parvizi N., Coenen M. und Vervuert I. (2011) Long-term effects of intermittent equine parathyroid hormone fragment (ePTH-1-37) administration on bone metabolism in healthy horses. Vet J., epub

PD Dr. Ingrid Vervuert

Prof. Dr. Manfred Coenen

Institut für Tierernährung, Ernährungsschäden und Diätetik

Veterinärmedizinische Fakultät

Universität Leipzig

Gustav-Kühn-Str. 8

04159 Leipzig

Ingrid.Vervuert@vetmed.uni-leipzig.de