

# Radiologische Veränderungen des Hufbeins beim Esel unter Berücksichtigung des Alters

Juliana Wacker<sup>1</sup>, Kyra Schaus<sup>1</sup>, Kathrin Büttner<sup>2</sup>, Michael Röcken<sup>1</sup> und Claus P. Bartmann<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Pferde – Chirurgie und Orthopädie mit Lehrschmiede, Justus-Liebig-Universität, Gießen

<sup>2</sup> Institut für Biomathematik und Datenverarbeitung, Justus-Liebig-Universität, Gießen

**Zusammenfassung:** Ziel dieser Studie ist es, die röntgenologische Normalanatomie des Hufbeins beim Esel zu beschreiben und das Auftreten von pathologischen Abweichungen insbesondere unter Berücksichtigung des Alters des Tieres zu untersuchen. Es wurden lateromediale Röntgenaufnahmen der distalen Zehe aller 4 Gliedmaßen von 42 klinisch gesunden und im Schritt lahmfreien Eseln europäischer Rassen angefertigt. Anschließend wurden das Auftreten und die Schwere von radiologischen Veränderungen des Hufbeins mithilfe eines Punktesystems erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit besonderem Augenmerk auf die Abhängigkeit der Veränderungen vom Alter des Tieres. Insgesamt konnten Aufnahmen von 160 Hufbeinen ausgewertet werden. Die Hufbeinspitze war in einer großen Mehrzahl der Fälle nicht entsprechend der Norm winkelig und scharf konturiert, während nur ein geringer Prozentsatz der Probanden Veränderungen im Bereich des Processus extensorius aufwies. Während die Parietalflächen bei den meisten untersuchten Gliedmaßen glatt und scharf konturiert waren, wiesen die Sohlenflächen der meisten Hufbeine milde bis moderate Unregelmäßigkeiten auf. Mittel- bis hochgradige röntgenologische Auffälligkeiten der Parietal- sowie der Sohlenfläche traten ebenso wie schwerwiegendere Veränderungen der Hufbeinspitze in Form lytisch-atrophischer Veränderungen oder Hufkrempebildungen deutlich häufiger an der Vorder- als an der Hintergliedmaße auf. In Bezug auf das Alter der Tiere konnte lediglich mit den Veränderungen an der Hufbeinspitze ein signifikanter, negativer Zusammenhang nachgewiesen werden ( $p < 0,05$ ). Im Hinblick auf Veränderungen des Processus extensorius, der Parietal- sowie der Sohlenfläche konnte keine signifikante Korrelation mit dem Alter nachgewiesen werden (Processus extensorius  $p = 0,3863$ , Parietalfläche  $p = 0,2958$ , Sohlenfläche  $p = 0,1712$ ). Das Gewicht der Tiere beeinflusste alle Parameter hingegen signifikant, der Zusammenhang war in jedem Fall positiv ( $p < 0,05$ ). Insgesamt zeigten fast alle Tiere (41/42 Tiere, 97,6%) an mindestens einer Gliedmaße Veränderungen von mindestens einem Parameter. Röntgenologische Veränderungen des Hufbeins beim Esel sind in einer Population klinisch gesunder Esel ein sehr häufiger Befund, deren Auftreten und Schwere nicht mit dem Alter, aber mit dem Gewicht der Tiere signifikant im Zusammenhang zu stehen scheinen ( $p < 0,05$ ). Ein Grund dafür, dass keine eindeutige Korrelation mit dem Alter der Tiere festgestellt werden konnte, ist vermutlich die Tatsache, dass ältere Tiere mit deutlichen Veränderungen entweder nicht mehr die Einschlusskriterien der vorliegenden Studie im Sinne von klinischer Allgemeingesundheit und Lahmfreiheit im Schritt erfüllen oder aber infolge der den Veränderungen zugrunde liegenden Erkrankungen gar kein entsprechend hohes Alter erreichen. Die erhobenen Befunde scheinen also keinesfalls kausal mit dem Alter der Esel im Zusammenhang zu stehen. Sie sind vermutlich vielmehr die Folge verschiedener Formen der Huflederhautentzündung, vor allem der chronischen Hufrehe.

**Schlüsselwörter:** Equiden, degenerativ, Röntgen, Zehe, Radiometrie, P3

## Incidence of radiological changes of the coffin bone in donkeys in consideration of the age

To date, only a few studies have dealt with the radiological changes of the coffin bone in all equids in terms of roughness of the bone edges, bone resorption as well as remodeling processes and bone deformation. It seems to be an empiric finding that remodeling processes, the associated deformation and new bone formation on the coffin bone are a normal sign of ageing in donkeys. So far, there are no profound studies or publications on corresponding changes in donkeys and their dependence on the age of the animal. The objective of this study is to describe the normal radiographic anatomy of the donkey's coffin bone and to investigate the occurrence of pathological abnormalities, particularly in relation to the age of the animal. Furthermore, the study aims to prove that the changes mentioned above are not a normal sign of ageing in donkeys, but rather pathological conditions, for example as a result of chronic laminitis. Lateromedial radiographs of the distal toe of all limbs of 42 clinically healthy and lameness-free donkeys of European breeds were taken. The occurrence and severity of radiographic changes in the coffin bone were assessed using a scoring system. The tip as well as the extensory process of the coffin bone were each assessed with regard to the presence of a sharply defined contour. The parietal and sole surfaces were also assessed for the presence of a smooth contour, slight irregularities through to moderate and severe changes and exostoses. The statistical evaluation was carried out with particular attention to the dependence of the changes on the age of the animal. A total of 160 limbs were examined. 28.1% of the coffin bones showed a sharply contoured coffin bone tip, whereas 71.9% showed deviations from the described norm in the sense of a blurred or rounded contour of the coffin bone tip, atrophic and lytic processes in the area of the coffin bone tip or the formation of a cap. The majority of these changes (69.5%) were minor deviations in the sense of a blurred or rounded contour of the coffin bone tip. In the present study, severe changes to the tip of the coffin bone, i.e. atrophy and cap formation, occurred more frequently on the forelimbs than on the hindlimbs. The age as well as the weight of the donkeys had a significant influence on the occurrence of changes of the coffin bone tip ( $p < 0.05$ ). While age showed a negative correlation with the changes in the tip of the coffin bone, a positive correlation was found in relation to weight. 10.7% of the coffin bones showed a blurred contour in the area of the extensory process. With regard to changes in extensory process no significant correlation with age ( $p = 0.3864$ ) or limb ( $p = 0.0962$ ), but a positive correlation with the weight of the donkeys was found ( $p < 0.05$ ). The parietal surface was smooth in the majority of the cases (65%), 28.1% showed slight roughness of the parietal surface and only 6.9% showed moderate to severe changes, mainly on the front limbs. Age had no significant influence on changes in parietal surface ( $p = 0.2958$ ). However, weight was positively correlated with changes in parietal area and the forelimbs showed significantly more changes than the hindlimbs ( $p < 0.05$ ). In contrast to the parietal surface, the sole surface was sharply contoured in only 28.7% of all cases. The majority (62.5%) showed

mild irregularities of the sole surface, moderate changes occurred in 8.8% of the cases and mainly on front limbs. The only parameter that influenced the occurrence of changes in the sole surface significantly was the weight of the specimens, whereas the age ( $p = 0.1712$ ) and the limb ( $p = 0.1432$ ) showed no significant correlation. Overall, almost all (41 of 42 subjects) donkeys showed changes in the coffin bone on at least one limb. The anatomical appearance of the coffin bone of the donkey is similar to that of the horse. Ideally, the tip of the coffin bone should be angular and sharply contoured, whereby a slightly rounded or somewhat unclear contour should not be regarded as pathological. The extensor process should be sharply contoured. The parietal surface should be as smooth as possible, whereas a slightly irregular contour of the sole surface can still be considered normal. In summary, it can be said that radiologically detectable changes in the coffin bone are common even in a clinically healthy donkey population and that, contrary to empirical claims, their occurrence and severity correlate less with the age of the animals and more with their weight.

**Keywords:** X-Rays, equids, degenerative, radiometry, phalanx

**Zitation:** Wacker J, Schaus K, Büttner K, Röcken M, Bartmann CP (2024) Radiologische Veränderungen des Hufbeins beim Esel unter Berücksichtigung des Alters. *Pferdeheilk Equine Med* 40,375–386, DOI 10.21836/PEM20240411

**Korrespondenz:** PD Dr. med. vet. habil. Claus P. Bartmann, Klinik für Pferde – Chirurgie und Orthopädie mit Lehrschmiede der JLU Gießen, Frankfurter Straße 108, 35392 Gießen; claus.bartmann@vetmed.uni-giessen.de

**Eingereicht:** 6. April 2024 | **Angenommen:** 25. April 2024

## Einleitung

Die Zehe ist die am häufigsten röntgenologisch untersuchte anatomische Region beim Pferd.<sup>[1,2]</sup> Die in der Hufkapsel eingeschlossenen anatomischen Strukturen, insbesondere das Hufbein, sind einer klinischen Untersuchung nur sehr eingeschränkt und einer palpatorischen Untersuchung überhaupt nicht zugänglich.<sup>[3]</sup> Demnach ist die radiologische Untersuchung eine der wichtigsten und am weitesten verbreiteten Untersuchungsmethoden, um Lahmheiten im Bereich des Hufes zu evaluieren<sup>[4,5]</sup> sowie Pathologien des Hufbeins zu diagnostizieren und zu bewerten.<sup>[3]</sup>

Grundsätzlich ist die Kenntnis über die Normalbefunde stets unerlässlich, um abweichende Befunde erkennen und quantifizieren zu können.<sup>[3,6–9]</sup> Radiologische Veränderungen am Hufbein sind sowohl bei klinisch gesunden als auch bei lahmen Pferden ein häufiger Befund.<sup>[10]</sup> In der Literatur finden sich nur wenige Studien, die sich explizit auf die radiologische Anatomie des Hufbeins beim Pferd<sup>[3]</sup> beziehungsweise pathologische Veränderungen des Hufbeins im Sinne von Ostitis, Knochenauf- und -umbauprozessen sowie Deformation des Hufbeins beziehen.

Noch deutlich weniger wissenschaftliche Untersuchungen gibt es im Hinblick auf die Physiologie und Pathologie des Hufbeins beim Esel. Obwohl es unumstritten ist, dass die Normalanatomie der distalen Gliedmaße von Pferd und Esel sich in diversen Punkten nennenswert unterscheiden,<sup>[7,11–14]</sup> wurde bislang keine Studie zum Thema der radiologischen Veränderungen des Hufbeins beim Esel publiziert.

Um die pathologischen Veränderungen des Hufbeins auch beim Esel besser erkennen und beurteilen zu können, ist die Kenntnis über den Normalzustand bei diesen Equiden unumgänglich. Das Ziel dieser Studie ist es, die röntgenologische Normalanatomie des Hufbeins beim Esel zu beschreiben und das Auftreten von pathologischen Abweichungen, insbesondere in Abhängigkeit vom Alter des Tieres, zu untersuchen.

## Material und Methoden

### Probanden

In die Studie wurden in Deutschland gehaltene Esel unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Rasse einbezogen, davon waren insgesamt 23 Stuten, zehn Wallache und neun Hengste. Das Alter der Esel lag zwischen 3 Wochen und 40 Jahren, das Gewicht zwischen 20 kg und 408 kg. Bei den hauptsächlich vertretenen Rassen handelte es sich um europäische Hausesel inklusive Zwergesel, Poitouesel sowie Kreuzungen aus den genannten Rassen.

Zu den Einschlusskriterien der Probanden gehörte, dass sie am Untersuchungstag allgemeinesund und ohne Nachweis einer klinisch im Schritt erkennbaren Lahmheit waren. Eine aktuelle Behandlung mit analgetisch-antiphlogistischen Wirkstoffen führte zum Ausschluss. Alle Esel waren barhufig und der Zustand ihrer Hufe erforderte eine reguläre Hufbearbeitung.

### Vorbereitung

Alle relevanten Daten wie Rasse, Alter, Geschlecht und Lebensbedingungen der Esel sowie etwaige Besonderheiten des einzelnen Tieres, beispielsweise frühere und aktuelle Begleiterkrankungen, wurden erfasst und dokumentiert. Um die Abhängigkeit der röntgenologischen Auffälligkeiten am Hufbein vom Alter der Probanden später besser auswerten zu können, wurden die Probanden in verschiedene Altersgruppen eingeteilt. Tiere mit einem Alter von bis zu 10 Jahren wurden als junge Esel (J) gewertet. Esel zwischen 10 und 20 Jahren wurden der Gruppe der mittelalten Esel (M) zugeordnet. Tiere mit einem Alter ab 20 Jahren hingegen wurden als alte Esel (A) angesprochen. Vor der Anfertigung der Röntgenbilder wurden die Tiere klinisch untersucht und gewogen. Unmittelbar vor der Röntgenuntersuchung erhielten alle Tiere eine Hufzubereitung entsprechend der Fesselstandstheorie durch die Hufschmiede der Klinik für Pferde – Chirurgie und Orthopädie mit Lehrschmiede der JLU Gießen.

## Röntgentechnik

Um vergleichbare und damit aussagekräftige Röntgenbilder erzielen zu können, wurde die radiologische Untersuchung nach einem standardisierten Verfahren durchgeführt. Eine 90°-Röntgenaufnahme der distalen Zehe aller vier Gliedmaßen wurde so angefertigt, wie es bereits durch andere Autoren umfassend beschrieben wurde.<sup>[2,15]</sup> Um den Tragrand auf eine Ebene mit dem Zentralstrahl zu bringen und die Röntgenkassette distal des Tragrandes platzieren zu können, ist es notwendig, je beide Vorder- beziehungsweise Hinterhufe des Probanden auf Blöcke zu stellen.<sup>[15]</sup> In diesem Fall wurden speziell hierfür angefertigten Holzblöcke (23 × 18 × 8 cm) verwendet. Es wurde darauf geachtet, dass eine möglichst vertikale Ausrichtung der Gliedmaßenachse und eine gleichmäßige Lastaufnahme der beiden Hufe erreicht wurde. In die Holzblöcke wurde vorab kranial sowie lateral eine 2 cm tiefe Kerbe eingefräst, in die eine 82 cm lange Holzleiste eingelegt wurde. Am Ende dieser Holzleiste wurde dann die Röntgenröhre positioniert, wodurch ein immer gleicher Objekt-Fokus-Abstand von 80 cm sowie eine exakt rechtwinkelige Ausrichtung des Zentralstrahls garantiert werden konnten. (Abb. 1) Die Einstellungen der Röntgenanlage (kV und mAs) mussten entsprechend der unterschiedlichen Größen und Gewichte der Probanden variiert werden.

## Beurteilung der Röntgenbilder

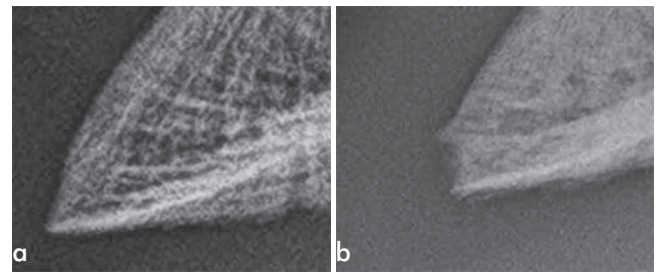
Die Röntgenbilder wurden im Rahmen dieser Studie ausschließlich im Hinblick auf Veränderungen des Hufbeins beurteilt. Eine weitere Auswertung der Bilder im Rahmen von



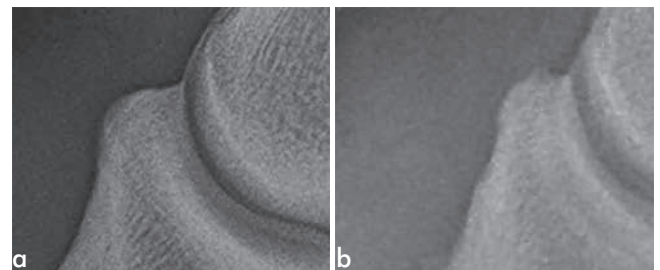
**Abb. 1** Der frisch zubereitete Huf wird zentral auf dem eigens angefertigten Holzblock platziert. Die in die Kerbe eingelegte Holzlatte garantiert einen immer gleichen Objekt-Fokus-Abstand von 80 cm sowie eine korrekte 90° Ausrichtung des Zentralstrahls. Am Ende der Latte wird dann die Röntgenröhre positioniert, die Röntgenkassette wird auf den Boden aufgestellt und an den Block angelehnt, um sie so nah wie möglich an der Gliedmaße zu platzieren. | *The freshly prepared hoof is placed centrally on the wooden block made for this purpose. The batten inserted in the notch guarantees a distance of 80 cm. The X-ray tube is placed at the end of the batten in order to take the 90°-radiograph. The X-ray plate will be placed directly medial to the wooden block and is thus as close as possible to the limb.*

morphometrischen Messungen wird im Rahmen einer zusätzlichen Studie erfolgen.

Für die Auswertung im Hinblick auf Hufbeinveränderungen wurde angelehnt an eine Studie, die sich mit dem radiologischen Erscheinungsbild des Hufbeins beim Pferd beschäftigt,<sup>[3]</sup> ein Punktesystem angewandt. Auf jeder lateromedialen Röntgenaufnahme wurde das Hufbein nach vier verschiedenen Kriterien beurteilt und es wurden für jedes Kriterium Punkte vergeben. (Tab. 1) Zunächst einmal wurde die Hufbeinspitze im Hinblick auf eine scharfe Kontur beurteilt. 0 Punkte wurden in diesem Fall für eine glatte Oberfläche bei winkelliger Ausrichtung und ohne Hutkrempebildung (Abb. 2a) vergeben, wohingegen 1 Punkt bei Veränderungen der Hufbeinspitze im Sinne von unscharfer beziehungsweise abgerundeter Kontur der Hufbeinspitze, atrophischen und lytischen Prozessen in diesem Bereich oder Hutkrempebildung (Abb. 2b) vergeben wurde. Ebenso wurde der Processus extensorius im Hinblick auf das Vorliegen einer scharfen Kontur beurteilt, wobei 0 Punkte eine scharfe Begrenzung (Abb. 3a) und 1 Punkt eine unregelmäßige Kontur (Abb. 3b) bedeutete. Darüber hinaus wurden die Parietal- und die Sohlenfläche des Hufbeins im Hinblick auf ihre Kontur beurteilt: 0 Punkte wurden für eine glatte und scharfe Kontur vergeben (Abb. 4a bzw. 5a), 1 Punkt erhielten Hufbeine mit geringgradigen Veränderungen im Sinne einer rauen Knochenkante (Abb. 4b bzw. 5b), 2 Punkte wurden für mittelgradige Veränderungen mit Exostosen von bis zu 2 mm vergeben (Abb. 4c bzw. 5c) und 3 Punkte erhielten jene Hufbeine, die durch Exostosen von 3 mm oder mehr einen Verlust der normalen Kontur zeigten (Abb. 4d).



**Abb. 2** **a** Diese Hufbeinspitze zeigt eine klar umschriebene, spitze Kontur – Bewertung mit 0 Punkten. **b** Die Hufbeinspitze dieses Esels ist nicht klar umschrieben. Die Kontur in diesem Bereich wirkt unregelmäßig – Bewertung mit 1 Punkt. | *a This coffin bone tip shows a clearly circumscribed, pointed contour – scored 0 points. b The points of the coffin bone of this donkey is not clearly defined. The contour in this area appears irregular – rating 1 point.*



**Abb. 3** **a** Der Processus extensorius dieses Hufbeins ist klar umschrieben – Bewertung mit 0 Punkten. **b** Dieses Hufbein zeigt einen unklar umschriebenen Processus extensorius. – Bewertung mit 1 Punkt. | *a The extensory process of this coffin bone is clearly contoured – scored 0 points. b This coffin bone shows an unclearly circumscribed extensor process – scored 1 point.*

Statistische Auswertung

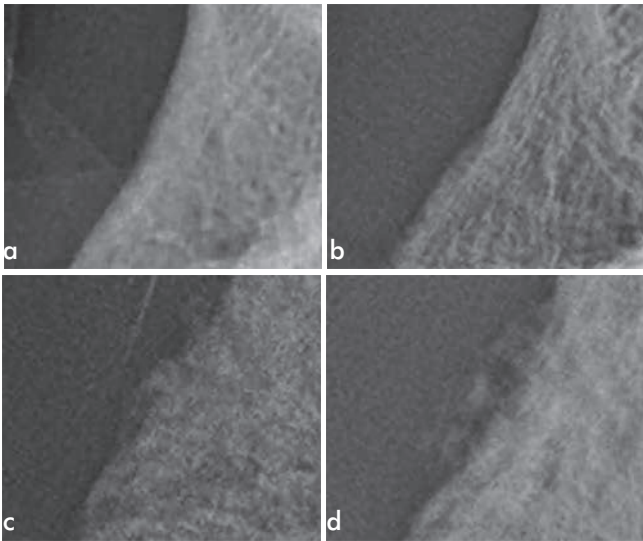
Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit besonderem Augenmerk auf eine mögliche Altersabhängigkeit der Veränderungen. Im Anschluss an eine rein deskriptive Auswertung einschließlich des Mittelwertes und der Standardabweichung ( $\bar{x} \pm sd$ ) der Veränderungen des Hufbeins wurde die Abhängigkeit der Befunde von Alter und vom Gewicht der Probanden mittels generalisierter Schätzgleichungen (Generalized Esti-

mation Equations/GEE-Modell) untersucht. Für die Kriterien a und b, für die es jeweils nur zwei Ausprägungen gab, wurde die binäre und für die Kriterien c und d mit mehreren Ausprägungen wurde die ordinale logistische Regression mit Messwiederholung gewählt. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgelegt. Die Auswertung wurde mithilfe SAS® 9,4 berechnet.

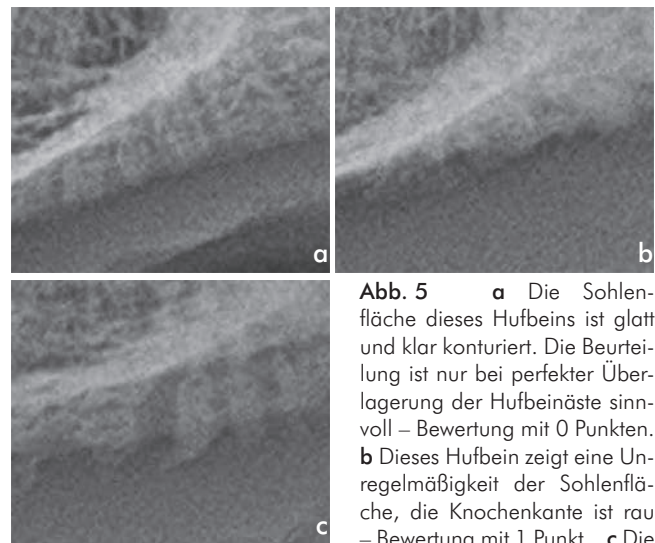
Ergebnisse

Insgesamt wurden 160 Gliedmaßen von 42 Eseln untersucht. Von acht Hintergliedmaßen konnten aufgrund mangelnder Kooperationsbereitschaft der Probanden keine oder keine verwertbaren Röntgenaufnahmen angefertigt werden.

Die genaue Altersverteilung der Probanden ist in Abb. 6 dargestellt. Zu der Gruppe der unter zehn Jahre alten Esel wur-



**Abb. 4** **a** Die Parietalfläche dieses Hufbeins ist glatt und scharf konturiert. Sie weist keinerlei Unregelmäßigkeiten auf – Bewertung mit 0 Punkten. **b** Dieser Esel zeigt eine leicht irreguläre Kontur der Parietalfläche des Hufbeins im Sinne einer rauen Knochenkante – Bewertung mit 1 Punkt. **c** Die Parietalfläche dieses Hufbeins zeigt deutliche Auffälligkeiten mit Exostosenbildung bis zu 2 mm – Bewertung mit 2 Punkten. **d** Dieser Esel zeigt eine hochgradige Ostitis ossificans der Dorsalfläche des Hufbeins mit Exostosen von über 2 mm und einem Verlust der normalen Kontur des Hufbeins – Bewertung mit 3 Punkten. | **a** The parietal surface of this coffin bone is smooth and sharply contoured. It shows no irregularities – score 0 points. **b** This donkey shows a slightly irregular contour of the parietal surface of the coffin bone in the sense of a rough bony edge – evaluation with 1 point. **c** The parietal surface of this coffin bone shows clear abnormalities with exostosis formation up to 2 mm – rated with 2 points. **d** This donkey shows severe osteitis ossificans of the dorsal surface of the coffin bone with exostoses of more than 2 mm and a loss of the normal contour of the coffin bone – score 3.



**Abb. 5** **a** Die Sohlenfläche dieses Hufbeins ist glatt und klar konturiert. Die Beurteilung ist nur bei perfekter Überlagerung der Hufbeinäste sinnvoll – Bewertung mit 0 Punkten. **b** Dieses Hufbein zeigt eine Unregelmäßigkeit der Sohlenfläche, die Knochenkante ist rau – Bewertung mit 1 Punkt. **c** Die Sohlenfläche dieses Hufbeins zeigt deutliche Abweichungen im Sinne von Ab- und Umbauprozessen am Knochen. Die Unregelmäßigkeiten sind > 2 mm. – Bewertung mit 2 Punkten. | **a** The sole surface of this coffin bone is smooth and clearly contoured. The assessment is only meaningful if the coffin bone branches are perfectly superimposed – score 0 points. **b** This coffin bone shows an irregularity of the sole surface, the bone edge is rough – rating 1 point. **c** The sole surface of this coffin bone shows clear deviations in the sense of degradation and remodeling processes on the bone. The irregularities are > 2 mm. – Rating with 2 points.

**Tab. 1** Punktesystem für die Bewertung der Hufbeinveränderungen. Die Bewertung erfolgte nach 4 Kriterien: Kriterium a – Hufbeinspitze, Kriterium b – Processus extensorius, Kriterium c – Parietalfläche, Kriterium d – Sohlenfläche. | Scoring system for the evaluation of coffin bone changes. The evaluation was based on 4 criteria: Criterion a – coffin bone tip, criterion b – processus extensorius, criterion c – parietal surface, criterion d – sole surface.

	0 Punkte	1 Punkt	2 Punkte	3 Punkte
Kriterium a – Hufbeinspitze	Winkelig und scharf konturiert, keine Hutkrempebildung	Abgerundet oder unsharp konturiert, Atrophie, Osteolyse oder Hutkrempebildung		
Kriterium b – Processus extensorius	Scharfe Kontur	Unscharfe Kontur		
Kriterium c – Parietalfläche	Glatte und scharfe Kontur	Rauhe, etwas unregelmäßige Kontur	Exostosen bis 2 mm	Exostosen > 2 mm bis Konturverlust
Kriterium d – Sohlenfläche	Glatte und scharfe Kontur	Rauhe, etwas unregelmäßige Kontur	Unregelmäßigkeiten bis 2 mm	Unregelmäßigkeiten > 2 mm, Konturverlust

den 16 Tiere zugeordnet (J - Jung), 22 Esel waren von zehn bis 20 Jahre alt (M - Mittelalt) und vier Esel waren über 20 Jahre alt (A - Alt) und wurden dementsprechend den verschiedenen Altersgruppen zugeordnet. Wie im Teil „Material und Methoden“ beschrieben, wurden die Hufbeine der Probanden anhand von vier verschiedenen Kriterien (Hufbeinspitze, Processus extensorius, Parietalfläche und Sohlenfläche) nach einem Punktesystem bewertet. Die hierfür vergebenen Punktzahlen sind in Tab. 2 bzw. Abb. 7 dargestellt.

Insgesamt zeigten 41 von 42 Probanden, also 97,6% röntgenologische Auffälligkeiten des Hufbeins an mindestens einer Gliedmaße und in Bezug auf mindestens eines der vier erhobenen Kriterien.

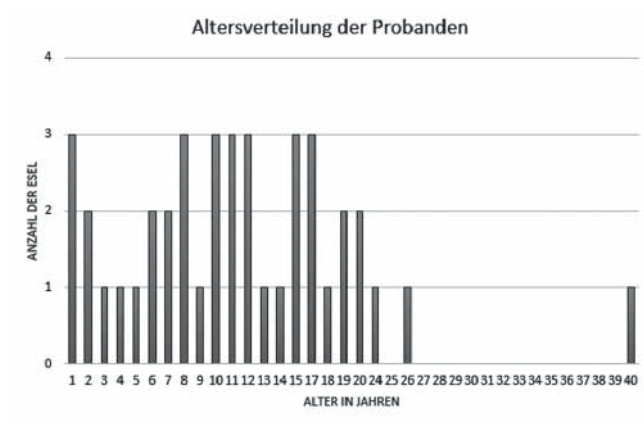
Sehr häufig waren Veränderungen der Hufbeinspitze. Insgesamt wiesen 95,2% der 42 Tiere an mindestens einer Gliedmaße Veränderungen der Hufbeinspitze auf. Nur 45 der 160 und damit 28,1% der Hufbeine wiesen eine scharf konturierte Hufbeinspitze auf. Davon waren 24 Vordergliedmaßen und 21 Hintergliedmaßen. Die restlichen 115 Hufbeine, also 71,9%, wiesen Abweichungen von der beschriebenen Norm im Sinne von unscharfer beziehungsweise abgerundeter Kontur der Hufbeinspitze, atrophischen und lytischen Prozessen im Bereich der Hufbeinspitze oder Hutkrepfenbildung auf. Bei der Mehrheit dieser Veränderungen, nämlich bei 80 Gliedmaßen und damit 50% handelte es sich um geringgradige Abweichungen im Sinne von unscharfer oder runder Konturierung der Hufbeinspitze. Bei 31 Gliedmaßen und damit bei 19,4% konnten osteolytische Prozesse und eine Atrophie der Hufbeinspitze festgestellt werden. An vier Gliedmaßen und damit bei 2,5% zeigte sich eine Hutkrepfenbildung.

Schwerwiegende Veränderungen der Hufbeinspitze, also Atrophie und Hutkrepfenbildung traten in der vorliegenden Studie häufiger an den Vordergliedmaßen als an den Hintergliedmaßen auf. Ein Tier zeigte außerdem an einer Vordergliedmaße bei scharfer Konturierung der Hufbeinspitze einen deutlichen zystoiden Defekt in diesem Bereich. Insgesamt zeigten sowohl das Alter als auch das Gewicht einen signifikanten Einfluss auf das Vorliegen von Veränderungen der Hufbeinspitze ( $p < 0,05$ ). Mit dem Alter der Probanden be-

steht in der vorliegenden Studie eine negative Korrelation, das bedeutet, wenn das Alter um 1 Jahr steigt, sinkt die Chance für den Nachweis einer Veränderung der Hufbeinspitze um den Faktor 0,92. Das mittlere Alter der Tiere mit Veränderungen der Hufbeinspitze an mindestens einer Gliedmaße betrug  $11,9 \pm 7,8$  Jahre, wohingegen das Durchschnittsalter derer ohne Veränderungen der Hufbeinspitze  $13 \pm 2,8$  Jahre betrug. Die Inzidenz der röntgenologischen Veränderungen des Hufbeins im Bereich der Hufbeinspitze in den verschiedenen Altersgruppen ist in Tab. 3 dargestellt.

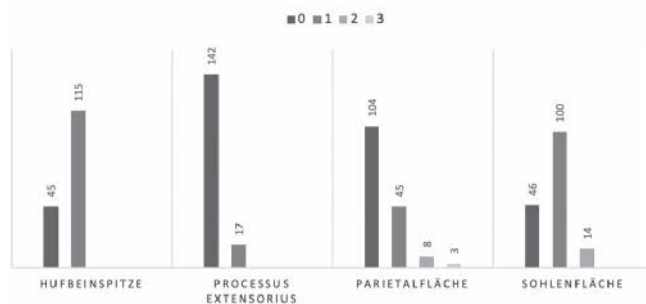
Mit dem Gewicht hingegen besteht eine positive Korrelation, was mit steigendem Gewicht um 1 kg auch eine steigende Wahrscheinlichkeit auf eine Veränderung der Hufbeinspitze um den Faktor 1,02 bedeutet. Das mittlere Gewicht der Tiere mit Veränderungen der Hufbeinspitze an mindestens einer Gliedmaße betrug  $194,1 \pm 83,1$  kg, wohingegen das Gewicht der Tiere ohne Auffälligkeiten an der Hufbeinspitze im Mittel  $138,5 \pm 24,7$  kg betrug.

Seltener konnten Veränderungen des Processus extensorius nachgewiesen werden. Veränderungen im Bereich des Processus extensorius konnten bei 28,6% der Probanden an mindestens einer Gliedmaße nachgewiesen werden. Eine unscharfe Kontur im Bereich des Processus extensorius zeigten nur 10,7% der Hufbeine. Bei den restlichen 89,3% war der Processus extensorius klar abgegrenzt und wies eine scharfe Kontur auf. Auch auf diese Veränderung hatte das Gewicht der Probanden einen signifikanten Einfluss ( $p < 0,05$ ). Mit dem Anstieg des Gewichts um 1 kg steigt die Wahrscheinlichkeit auf eine Veränderung des Processus extensorius um den Faktor 1,009. Das mittlere Gewicht der Tiere ohne Veränderungen betrug  $166,4 \pm 47,7$  kg, wohingegen die Tiere mit röntgenologischen Veränderungen des Processus extensorius an mindestens einer Gliedmaße im Mittel  $254,2 \pm 114,2$  kg wogen. Für das Alter der Tiere konnte kein signifikanter Einfluss auf das Vorliegen von radiologischen Veränderungen im Bereich des Processus extensorius des Hufbeins nachgewiesen werden ( $p = 0,3864$ ). Die Häufigkeit der radiologischen Veränderungen des Hufbeins im Bereich des Processus



**Abb. 6** Altersverteilung der 41 Probanden mit röntgenologischen Veränderungen des Hufbeins. | Age distribution of the 41 donkeys with radiological changes of the coffin bone.

**VERGEBENE PUNKTZAHLEN FÜR DIE VERSCHIEDENEN BEWERTUNGSKRITERIEN**



**Abb. 7** Verteilung der vergebenen Punktzahlen für die verschiedenen Bewertungskriterien bei 160 Hufbeinen. Veränderungen der Hufbeinspitze sowie der Sohlenfläche waren sehr häufig, Veränderungen des Processus extensorius und der Parietalfläche seltener. | Distribution of the scores awarded for the various assessment criteria of 160 coffin bones. Changes to the tip of the coffin bone and the sole surface were very common, while changes to the extensor process and the parietal surface were less common.

extensorius in den verschiedenen Altersgruppen ist in Tab. 3 dargestellt.

Ebenso konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den genannten Veränderungen und der Tatsache, welche Gliedmaße untersucht wurde, festgestellt werden ( $p = 0,0962$ ).

Etwas häufiger wurden Auffälligkeiten im Bereich der Parietalfläche dokumentiert. Insgesamt zeigten 59,5% der Tiere an mindestens einer Gliedmaße Veränderungen an der Parietalfläche. Eine glatte Kontur zeigten 104 Hufbeine (65%). Bei 45 Hufbeinen (28,1%) war die Dorsalfläche rau. Mittelgradige Veränderungen mit Exostosen bis 2 mm waren bei 8 Hufbeinen (5%) festzustellen und 3 Hufbeine (1,9%) zeigten hochgradige Veränderungen mit Exostosen von mehr als 3 mm bis hin zum Konturverlust. Auch für dieses Kriterium konnte kein signifikanter Zusammenhang mit dem Alter nachgewiesen werden ( $p = 0,2958$ ). Die Verteilung der vergebenen Punktzahlen für die entsprechenden Veränderungen des Hufbeins

im Bereich der Parietalfläche in den verschiedenen Altersgruppen ist in Tab. 3 dargestellt.

Mit dem Gewicht der Probanden bestand hingegen ein signifikanter Zusammenhang ( $p < 0,05$ ). Bei einem Anstieg des Gewichts um 1 kg steigt auch die Wahrscheinlichkeit einer Veränderung an der Parietalfläche um den Faktor 1,017. Während das mittlere Gewicht der Tiere ohne Auffälligkeiten an der Parietalfläche  $142 \pm 49,5$  kg betrug, wogen die Tiere mit Veränderungen der Parietalfläche an mindestens einer Gliedmaße im Mittel  $225,1 \pm 83,3$  kg. Ebenso wie das Gewicht hatte auch die Gliedmaße einen deutlichen Einfluss, denn die Vordergliedmaßen wiesen signifikant mehr Veränderungen auf als die Hintergliedmaßen ( $p < 0,05$ ). Vor allem die mittel- und hochgradigen Veränderungen traten überwiegend an den Hufbeinen der Vordergliedmaße auf (81,8%).

In Bezug auf die Beurteilung der Sohlenfläche konnten zahlreiche Veränderungen festgestellt werden, 88,1% der Tiere wiesen an mindestens einer Gliedmaße röntgenologische

**Tab. 2** Ergebnisse der Bewertung der Hufbeinveränderungen nach dem Punktesystem. Für jede Veränderung sind Anzahl und der prozentuale Anteil an der Gesamtpopulation von 160 Hufbeinen dargestellt. | Results of the evaluation of coffin bone changes according to the scoring system. The number and percentage of the total population of 160 coffin bones are shown for each change.

Bewertung der Hufbeinspitze			
Definition	Punkte	Anzahl	Prozent
Winkelige, scharf konturierte Hufbeinspitze	0	45	28,1%
Abgerundete oder unscharf konturierte Hufbeinspitze	1	80	50,0%
Osteolyse/Atrophie der Hufbeinspitze	1	31	19,4%
Hutkrempebildung	1	4	2,5%
		160	100%
Bewertung des Processus extensorius			
Definition	Punkte	Anzahl	Prozent
Scharf konturierter Processus extensorius	0	142	89,3%
Unschärf definierter Processus extensorius	1	17	10,7%
		159	100%
Bewertung der Parietalfläche			
Definition	Punkte	Anzahl	Prozent
Glatt und scharf konturierte Parietalfläche	0	104	65%
Rau, etwas unregelmäßige Parietalfläche	1	45	28,1%
Exostosen bis max. 2 mm	2	8	5%
Exostosen > 2 mm, Konturverlust	3	3	1,9%
		160	100%
Bewertung der Sohlenfläche			
Definition	Punkte	Anzahl	Prozent
Glatt und scharf konturierte Sohlenfläche	0	46	28,7%
Rau, etwas unregelmäßige Sohlenfläche	1	100	62,5%
Unregelmäßigkeiten bis max. 2 mm	2	14	8,8%
Unregelmäßigkeiten > 2 mm, Konturverlust	3	0	0%
		160	100%

Auffälligkeiten an der Sohlenfläche auf. Nur 46 Hufbeine (28,8%) zeigten eine wirklich scharfe Kontur der Sohlenfläche. Eine leicht unregelmäßige Sohlenfläche hatten 100 Hufbeine (62,5%). Im Bereich der Sohlenfläche konnten bei 14 Gliedmaßen (8,8%, 10 Vorder- und 4 Hintergliedmaßen) mittelgradige Veränderungen mit Unregelmäßigkeiten bis 2 mm festgestellt werden. Hochgradige Veränderungen der Kontur der Sohlenfläche konnten im vorliegenden Probandengut nicht festgestellt werden. In Bezug auf dieses Kriterium konnte ebenso wie für alle anderen ein signifikanter Einfluss des Gewichts festgestellt werden ( $p < 0,05$ ). Bei einem Anstieg des Gewichts um 1 kg steigt auch die Wahrscheinlichkeit auf Veränderungen an der Sohlenfläche um den Faktor 1,011. Die Tiere ohne Veränderungen an der Sohlenfläche wogen im Mittel  $123 \pm 61,9$  kg, die Probanden mit Veränderungen der Sohlenfläche an mindestens einer Gliedmaße hingegen wo-

gen durchschnittlich  $200,7 \pm 80,6$  kg. Im Gegensatz zum Gewicht, konnte ein signifikanter Einfluss auf Auffälligkeiten der Sohlenfläche des Hufbeins weder für das Alter ( $p = 0,1712$ ) der Esel noch für die Gliedmaße ( $p = 0,1432$ ) festgestellt werden. Die Häufigkeit der vergebenen Punktzahlen für die Auffälligkeiten des Hufbeins im Bereich der Sohlenfläche in den verschiedenen Altersgruppen ist in Tab. 3 dargestellt.

**Diskussion**

Das Ziel dieser Studie war es, die röntgenologische Normalanatomie des Hufbeins beim Esel zu beschreiben und das Auftreten von pathologischen Abweichungen, insbesondere in Abhängigkeit vom Alter des Tieres, zu untersuchen. In Ermangelung spezifischer auf den Esel bezogener Studien, wird die

**Tab. 3** Häufigkeit der vergebenen Punktzahlen für die Hufbeinveränderungen in den verschiedenen Altersgruppen bei 160 Hufbeinen von 42 Eseln – Angaben in Anzahl der Hufbeine sowie in Prozent. | Frequency of the scores awarded for the coffin bone changes in the various age groups for 160 coffin bones of 42 donkeys - figures in number of coffin bones and as a percentage.

Verteilung der Esel in den Altersgruppen								
	Anzahl der Tiere				Anzahl der Gliedmaßen			
Jung	16				59			
Mittel	22				85			
Alt	4				16			

Veränderungen der Hufbeinspitze				
	0 Punkte		1 Punkt	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Jung	17	28,8%	42	71,2%
Mittel	22	25,9%	63	74,1%
Alt	6	37,5%	10	62,5%

Veränderungen des Processus Extensorius				
	0 Punkte		1 Punkt	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Jung	56	96,6%	2	3,4%
Mittel	72	84,7%	13	15,3%
Alt	14	87,5%	2	12,5%

Veränderungen der Parietalfläche								
	0 Punkte		1 Punkt		2 Punkte		3 Punkte	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Jung	45	76,3%	12	20,3%	2	3,4%	0	0%
Mittel	51	60,0%	25	29,4%	6	7,1%	3	3,5%
Alt	8	50,0%	8	50,0%	0	0%	0	0%

Veränderungen der Sohlenfläche								
	0 Punkte		1 Punkt		2 Punkte		3 Punkte	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Jung	26	44,1%	32	54,2%	1	1,7%	0	0%
Mittel	15	17,6%	62	72,9%	8	9,4%	0	0%
Alt	5	31,3%	6	37,5%	5	31,3%	0	0%

folgende Diskussion sich auch auf wissenschaftliche Arbeiten zum eng verwandten Equiden Pferd beziehen.

Im Gegensatz zum Hufbein des Esels, wurde das Erscheinungsbild eines gesunden Hufbeins des Pferdes und dessen Lage innerhalb der Hornkapsel bereits in der einschlägigen Fachliteratur ausführlich beschrieben.<sup>[15]</sup> Die dorsale Kontur des Hufbeins sollte glatt<sup>[9,15]</sup> und röntgendicht sein. Eine eventuell auftretende leichte Konkavität der dorsalen Hufbeinkontur ist nicht zwingend als klinisch relevant anzusehen.<sup>[15]</sup> Manche Autoren beschreiben die physiologische Kontur des Hufbeins auch als elliptisch.<sup>[16]</sup> Die Hufbeinspitze sollte eine klare Kante beschreiben.<sup>[9,15]</sup> Die dorsale Hufwand und die dorsale Kontur des Hufbeins sollten beim gesunden Pferd ebenso wie beim Esel annähernd parallel zueinander sein, auch wenn ein etwas größerer Hufbeinwinkel dabei beim Esel nicht ungewöhnlich ist.<sup>[15]</sup> Die Sohlenfläche des Hufbeins sollte glatt sein und einen leicht positiven Winkel im Verhältnis zur Fußungsfläche beschreiben.<sup>[15]</sup> Die Angaben für diesen Palmarwinkel variieren zwischen 3–10°.<sup>[1,8,15,17,18]</sup> Da keine spezifisch auf den Esel bezogenen Arbeiten bezüglich des physiologischen radiologischen Bildes des Hufbeins existieren, wurden diese Eckdaten des Pferdes trotz der teilweise deutlichen Unterschiede in der Anatomie dieser beiden Equiden bislang auch auf den Esel angewandt.

Die korrekte lateromediale Röntgenaufnahme wird als Goldstandard für die Beurteilung anatomischer Veränderungen innerhalb der Hornkapsel angesehen.<sup>[19]</sup> Eine sorgfältige und einheitliche Röntgentechnik ist jedoch unerlässlich, um korrekte, auswertbare und vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.<sup>[15,20]</sup> Bei der Beurteilung der Sohlenfläche des Hufbeins muss beispielsweise berücksichtigt werden, dass eine akzidentiell leicht schräge Projektion zu einer inkompletten Überlagerung der Hufbeinäste und damit zu einer eingeschränkten Beurteilbarkeit führen kann.<sup>[3]</sup> Um möglichst korrekte und vergleichbare Röntgenbilder zu erzielen, wurden im Rahmen der eigenen Untersuchungen die Aufnahmen folglich nach einem standardisierten Verfahren angefertigt, welches sich bereits in den Arbeiten anderer Autoren bewährt hatte.<sup>[2,7,8,17–19]</sup> Aufgrund möglicher Abweichungen der Gliedmaßenachse und einer nicht ganz mittigen und geraden Platzierung der Hufe auf dem Holzblock, kann auch hiermit nicht immer eine exakte 90°-Projektion gewährleistet werden. Minimale Messabweichungen können entsprechend nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Die hier gewählte Auswertung mithilfe verschiedener Kriterien und eines Punktesystems bringt sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich. Die Bepunktung wurde an ein System angelehnt an ein System, das von anderen Autoren zumindest in Teilen verwendet wurde.<sup>[3]</sup> Dennoch unterliegt auch diese Form der Beurteilung einer gewissen Subjektivität. Die Einteilung in Kategorien war jedoch sinnvoll und notwendig, um die Abhängigkeit der Veränderungen von Alter und Gewicht nachvollziehbar analysieren zu können. Darüber hinaus war die Auswertung in der vorliegenden Studie auf eine Standard-Röntgenprojektion, die lateromediale Aufnahme, beschränkt. Durch die Anfertigung und Auswertung weiterer Projektionen wie beispielsweise die Oxspringaufnahme, könnten unter Umständen zusätzliche Erkenntnisse im Hinblick auf die röntgenologische Anatomie des Hufbeins beim Esel gewonnen werden.

Als erstes Kriterium wurde die Kontur der Hufbeinspitze bewertet (Kriterium a). Mit 115 von 160 Hufbeinen (71,9%) zeigte ein Großteil der beurteilten Hufbeine keine scharf konturierte, winkelige Hufbeinspitze ohne Hutkrempebildung sondern zumindest geringgradige Auffälligkeiten im Sinne einer abgerundeten oder unscharf konturierten Hufbeinspitze. In einer vergleichbaren Arbeit beim Pferd hingegen wiesen nur 27,4% der Hufbeine eine raue Kontur der Hufbeinspitze auf.<sup>[3]</sup> Dies entspricht in etwa dem Prozentsatz, der in der vorliegenden Studie deutliche Veränderungen der Hufbeinspitze, also atrophisch-lytische Veränderungen oder Hutkrempebildung zeigte (35 von 160 Hufbeinen/21,9%). Entsprechend der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit, muss beim Esel in Bezug auf die Beurteilung der Hufbeinspitze unbedingt zwischen geringgradigen Veränderungen im Sinne einer abgerundeten oder etwas unscharf konturierten Hufbeinspitze und schwerwiegenderen Veränderungen im Sinne von Atrophie und Lyse oder Hutkrempebildung unterschieden werden. Veränderungen der Kontur der Hufbeinspitze wurden entsprechend im Vergleich zum Pferd in der untersuchten Eselpopulation vergleichsweise häufig vorgefunden.

Mit 142 Hufbeinen, und damit 89,3%, zeigte die überwiegende Mehrzahl der Hufbeine einen scharf konturierten Processus extensorius (Kriterium b). Unregelmäßigkeiten in diesem Bereich waren ein eher seltener Befund (17 Hufbeine, 10,7%). Diese Ergebnisse stimmen mit denen anderer Autoren überein, *Rendano* und *Grant* beispielsweise fanden beim Pferd ebenfalls nur in 9,67% der Fälle einen rauen Processus extensorius.<sup>[3]</sup> Aus wissenschaftlichen Arbeiten beim Pferd ist bekannt, dass der Processus extensorius eine variable Form, beispielsweise im Sinne von einer abgerundeten oder doppelspitzigen Kontur aufweisen kann.<sup>[3]</sup> Anhand der eigenen Auswertungen stellte sich die Form des Processus extensorius beim Esel als weniger variabel dar. Unter Einbeziehung der bereits vorliegenden Literatur und der Ergebnisse der aktuellen Studie kann die scharfe Konturierung des Processus extensorius des Hufbeins beim Esel als anatomischer Normalbefund angesehen werden.

Selten zeigten sich in der vorliegenden Studie Veränderungen an der Parietalfläche des Hufbeins (Kriterium c). Eine glatte Parietalfläche zeigten 104 von 160 Hufbeinen und damit 65%. Gering- bis hochgradige Veränderungen der Dorsalfläche zeigten 56 Hufbeine und damit 35%. Generell kann eine irreguläre, raue Oberfläche der Dorsalfläche auf Entzündungsprozesse hinweisen.<sup>[9]</sup> Ein häufiger Befund ist beispielsweise eine verstärkte Mineralisierung mittig auf der Dorsalfläche des Hufbeins, die in geringgradiger Ausprägung als Zufallsbefund auftritt, bei einer stärkeren Ausprägung jedoch durchaus als Lahmheitsursache in Betracht gezogen werden muss.<sup>[10]</sup> Entsprechend der Ergebnisse der vorliegenden Studie und nach Betrachtung der Ergebnisse anderer Arbeiten, ist beim Esel eine glatte Dorsalfläche des Hufbeins als physiologisch anzusehen, während Rauheiten und Exostosen im Bereich der Parietalfläche als pathologisch zu werten sind und als mögliche Ursache klinischer Symptome in Betracht gezogen werden müssen.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie decken sich im Hinblick auf Kriterium d – Rauheit der Sohlenfläche – mit diesen Ergebnissen anderer Autoren,<sup>[3]</sup> die in Studien an Pferden



ebenfalls überwiegend milde Rauheiten an der Sohlenfläche des Hufbeins feststellen konnten. In einer Studie an klinisch gesunden und an chronischer Hufrehe erkrankten Mammuteseln hatten ebenfalls fast alle Probanden eine unregelmäßige Sohlenfläche des Hufbeins.<sup>[21]</sup> In der vorliegenden Studie zeigten 100 von 160 und damit 62,5% eine geringgradig raue Sohlenfläche. Nach Betrachtung dieser Befunde und unter Einbeziehung der Ergebnisse anderer Autoren ergeben sich Hinweise darauf, dass eine milde Rauheit an der Sohlenfläche des Hufbeins ähnlich des Pferdes auch beim Esel als normaler und klinisch in der Regel nicht relevanter röntgenologischer Befund anzusehen ist.

Die statistische Auswertung ergab in Bezug auf alle Kriterien einen positiven Zusammenhang zwischen dem Auftreten von radiologischen Veränderungen des Hufbeins und dem Gewicht der Probanden. Eine mögliche Erklärung hierfür ist sicher die aus einem höheren Gewicht resultierende einwirkende Kraft auf die Hufbeinspitze. Das Phänomen von druckbedingten Umbauprozessen ist bei verschiedenen Erkrankungen wie beispielsweise auch bei der chronischen Hufrehe beschrieben.

Zudem zeigte die statistische Auswertung, dass Veränderungen an der Parietalfläche signifikant häufiger an der Vordergliedmaße auftreten ( $p < 0,05$ ). Auch wenn kein statistisch signifikanter Zusammenhang mit Veränderungen der Hufbeinspitze im Allgemeinen nachgewiesen werden konnte, so traten schwerwiegendere Veränderungen der Hufbeinspitze im Sinne von Atrophie, Lyse oder Hutkrempebildung ebenfalls überwiegend an der Vordergliedmaße auf (23/35 Gliedmaßen, 65,7%). Aufgrund der Anatomie und Biomechanik des Pferdes, besteht eine Verschiebung des Schwerpunktes nach kranial, wodurch die Vordergliedmaßen bei geringerer Bemuskulung einen höheren Anteil des Körpergewichts tragen, nämlich ca. 58%.<sup>[22]</sup> Es ist bereits statistisch nachgewiesen worden, dass die Vordergliedmaßen insgesamt häufiger von Sehnen-, Muskel- und Gelenkerkrankungen betroffen sind.<sup>[22]</sup>

In der Praxis wird die Hypothese vertreten, dass röntgenologisch darstellbare Veränderungen des Hufbeins alleine altersassoziiert entstehen und mit steigendem Alter des Esels zunehmen.

In der aktuellen Studie konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den röntgenologischen Auffälligkeiten des Hufbeins und dem Alter des Tieres festgestellt werden. Obwohl mittel- und hochgradige Veränderungen des Hufbeins überwiegend bei mittelalten und alten Eseln festgestellt wurden, ergab sich nicht durchgängig eine Zunahme der Häufigkeit von Befunden von jung nach alt. Statistisch zeigte sich in der vorliegenden Studie sogar insofern eine negative Korrelation, dass bei Anstieg des Alters um ein Jahr die Chance für den Nachweis einer Veränderung der Hufbeinspitze um den Faktor 0,92 absank.

Es besteht dementsprechend kein alleiniger kausaler Zusammenhang der Veränderungen mit dem Alter der Tiere. Im Gegenteil fällt sogar auf, dass einzelne röntgenologische Befunde im Vergleich zu den alten Tieren gehäuft in der Gruppe der jungen oder mittelalten Esel beobachtet werden konnten. Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Tiere mit deutlichen

röntgenologischen Veränderungen entweder im Alter nicht mehr klinisch gesund und im Schritt lahmfrei sind – demzufolge also auch nicht den Einschlusskriterien der vorliegenden Studie entsprechen – oder aber auch krankheitsbedingt kein so hohes Alter erreichen. Von einer Studie am nahe verwandten Equiden Pferd ist bekannt, dass bis zu 50% der Abgänge durch Lahmheiten bzw. orthopädische Probleme verursacht werden.<sup>[23]</sup> Obwohl keine vergleichbare Studie an Eseln existiert, ist davon auszugehen, dass auch bei dieser Tierart orthopädische Probleme einen nicht unerheblichen Anteil an allen Todesursachen haben. Auf die wesentliche klinische Relevanz von Hufproblemen beim Esel, besonders auch der Hufrehe, wurde ohnehin bereits hingewiesen.<sup>[12,14,24]</sup> Entsprechend besitzt ein älterer Esel auch eine höhere Wahrscheinlichkeit, eine Huferkrankung zu erleiden, die mit röntgenologisch nachweisbaren Veränderungen des Hufbeins einhergeht.

Grundsätzlich werden röntgenologisch darstellbare Veränderungen am Hufbein durch verschiedene Pathologien des Hufes oder in deren Verlauf auffällig. Dazu zählen Zusammenhangstrennungen im Sinne von Frakturen, Folgen aseptischer oder septischer Entzündungen der anliegenden Lederhäute, raumfordernde Prozesse oder Insertionstendinopathien.<sup>[25]</sup> Dies gilt neben dem Pferd grundsätzlich auch für den Esel.<sup>[12,14,24]</sup> Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Hufbeine klinisch gesunder Esel radiologisch untersucht. Trotz der Tatsache, dass ausschließlich klinisch gesunde und im Schritt lahmfreie Tiere in die Untersuchung einbezogen wurden, konnten zahlreiche röntgenologische Veränderungen festgestellt werden. Aus früheren Untersuchungen bei Pferden ist bekannt, dass gewisse Abweichungen von der beschriebenen normalen Form des Hufbeins als Variation auftreten können und nicht zwingend als klinisch relevant anzusehen sind.<sup>[15]</sup> Am Hufbein können sowohl bei klinisch gesunden als auch bei lahmen Pferden relativ häufig pathologische Abweichungen festgestellt werden.<sup>[10]</sup> Als Ursache für Veränderungen kommen Fehlstellungen ebenso wie krankhafte Prozesse infrage.

Im Hinblick auf das Auftreten radiologischer Auffälligkeiten des Hufbeins scheinen auch die Hufform und -stellung eine wichtige Rolle zu spielen. Von Untersuchungen beim Pferd ist bekannt, dass insbesondere Tiere mit Bockhuf oftmals radiologische Veränderungen des Hufbeins aufweisen.<sup>[10]</sup> Bei betroffenen Pferden ist das Auftreten von Knochenabbauprozessen an der Sohlenfläche des Hufbeins im Bereich der Zehenspitze und damit einhergehend Knochenneubildung an der Dorsalfläche des Hufbeins beschrieben.<sup>[10]</sup> Der Bockhuf des Pferdes ist definiert als stumpf gewinkelter Huf mit einem Vorderwandwinkel von mindestens 60°, in Extremfällen von bis zu 90°,<sup>[25-27]</sup> sowie einer charakteristisch im Hufgelenk nach vorne gebrochenen Zehenachse.<sup>[26]</sup> Darüber hinaus zeigen Bockhufe typischerweise verhältnismäßig hohe Trachten sowie eine stark gewölbte Sohle ohne eine Belastung des Strahls.<sup>[25,27]</sup> Weiterhin kann ein Bockhuf mit einer konkaven Form der dorsalen Hufwand assoziiert sein.<sup>[25]</sup> Vom Bockhuf abgegrenzt werden müssen die verschiedenen Formen des Stelzfußes, der durch eine angeborene oder erworbene Verkürzung der Beugesehnen entsteht und in dessen Konsequenz sich ein Bockhuf entwickeln kann.<sup>[25,27]</sup>

Im Vergleich zum Pferd weisen Esel einen deutlich steiler gewinkelten Huf auf. Beim Esel ist die dorsale Hufwand 5–10°

steiler als beim regelmäßigen Huf des Pferdes,<sup>[13]</sup> wengleich von verschiedenen Autoren Hufwandwinkel an der Vordergliedmaße zwischen 41 und 78° gemessen wurden.<sup>[7,24,28]</sup> Ein durchschnittlicher Zehenwandwinkel von 59–62° wird als normalanatomisch beschrieben.<sup>[24,28]</sup>

Der Grenzwert für den Zehenwandwinkel für den Bockhuf beim Pferd liegt mit 60° mindestens 5–15° über dem für den Vorderhuf des Pferdes beschriebenen Normwert von 45–55°.<sup>[27]</sup> Die Referenzwerte des Pferdes können aufgrund der speziesbedingten anatomischen Abweichung nicht uneingeschränkt auf den Esel übertragen werden, sodass die Definition des Bockhufes beim Esel folglich entsprechend angepasst werden muss.

Überträgt man die genannten Kriterien des Bockhufes auf die Normalwerte beim Esel, so müsste beim Esel ein Zehenwandwinkel von mindestens 70° in Kombination mit einer nach vorne gebrochenen Zehenachse vorliegen.

Eine nach vorne gebrochene Zehenachse wird von manchen Autoren beim Esel als normal angesehen.<sup>[12,13]</sup> Ein stumpf gewinkelter Huf kombiniert mit einer Hyperflexion im Hufgelenk sollte aber auch beim Esel nicht als physiologisch, sondern als angeborene oder erworbene pathologische Abweichung im Sinne eines Bockhufes betrachtet werden.<sup>[24]</sup>

Neben einer abweichenden Hufform und dadurch veränderten Druckverhältnissen, kommen auch weitere pathologische Zustände des Hufes als Ursache radiologischer Auffälligkeiten des Hufbeins infrage. Die Hufbeine von Patienten mit Hufbeinostitiden zeigen bekanntermaßen ein sehr deutlich von der beschriebenen Norm abweichendes radiologisches Bild. Diese Erkrankung führt zu einer aufgerauten Sohlenfläche, erweiterten Gefäßkanälen<sup>[3,10]</sup> sowie dem generellen Verlust von Röntgendichte. Hufbeinostitis kann möglicherweise, muss aber nicht zwingend, mit weiteren klinischen Symptomen einhergehen.<sup>[3]</sup> Ein typisches klinisches Symptom bei Hufbeinostitis ist eine Lahmheit, die insbesondere auf hartem und unebenem Boden deutlich wird.<sup>[29]</sup> Hufbeinostitiden sind überwiegend die Folge primärer aseptischer oder septischer Entzündungen der Lederhäute und können mit Knochenappositionen oder auch Substanzverlusten im Sinne von Osteolyse einhergehen. Auch im Rahmen einer chronischen Hufrehe können röntgenologisch darstellbare Veränderungen des Hufbeins entstehen.<sup>[30–32]</sup> Etwa 80% der Pferde mit klinisch sichtbarer Hufrehe zeigen radiologische Veränderungen bezüglich der Form und Struktur des Hufbeins.<sup>[33]</sup> Grund dafür ist, dass es bei chronischer Hufrehe nicht nur zu Veränderungen der Verhältnisse zwischen den knöchernen Strukturen untereinander und zur Hornkapsel im Sinne einer Hufbeinrotation und -absenkung mit vergrößerter Rehestrecke, einer verdickten dorsalen Hufwand und einer verminderten Sohlendicke kommt,<sup>[15]</sup> sondern auch zu morphologischen Veränderungen des Hufbeins selbst,<sup>[19]</sup> dem sogenannten „Digital Phalanx Remodelling“. <sup>[30]</sup> Die Lageveränderung des Hufbeins ist abhängig von Ausmaß und Lokalisation des Funktionsverlustes des Aufhängeapparates. Bei einer Schwächung im distalen Bereich kommt es zu einer Hufbeinrotation, während durch einen Funktionsverlust auf der gesamten Parietalfläche eine Hufbeinabsenkung entsteht.<sup>[33]</sup> Durch die daraus resultierenden, erhöhten einwirkenden Kräfte, kann es zu Umbauprozessen

am Knochen<sup>[34]</sup> mit Knochenresorption und Knochenneubildung kommen.<sup>[10]</sup> Typisch ist eine Demineralisierung der Sohlenfläche des Hufbeins und die sogenannte „Hutkrempebildung“<sup>[15,30,31]</sup> die durch dauerhaft erhöhten Druck im Bereich der Hufbeinspitze und eine damit einhergehende verminderte Sohlenhornproduktion entsteht.<sup>[15,30,33]</sup> Die morphologischen Veränderungen entstehen durch eine chronische Ostitis, die auf der Parietalfläche als sogenannte Ostitis ossificans zu Knochenneubildung und auf der Sohlenfläche als sogenannte Ostitis rarefaciens zu Knochenabbau führt.<sup>[31,33]</sup> Bei der Ostitis ossificans lässt das radiologische Bild Rückschlüsse auf den zeitlichen Ablauf zu, da aktive Prozesse sich durch unregelmäßige, raue Hyperostosen kennzeichnen, die bei weniger aktiven Prozessen oftmals bereits glatter geworden sind.<sup>[33]</sup> Die Ostitis rarefaciens der Sohlenfläche wird sichtbar als zerklüfteter und aufgelockerter Sohlenrand mit Aufhellungen in der Peripherie.<sup>[33]</sup> Umbauprozesse und Lyse am Knochen, die im Rahmen einer chronischen Hufrehe entstehen können<sup>[34]</sup> führen dazu, dass sich unwiderruflich eine refraktäre Phase der Erkrankung entwickelt.<sup>[7]</sup> Die Veränderungen, die röntgenologisch am Knochen sichtbar sind, sind irreversibel und jede anatomische Veränderung beeinflusst Motorik und Funktion.<sup>[19]</sup> Nichtsdestotrotz korreliert die Schwere der radiologischen Befunde nicht zwingend mit der Ausprägung der klinischen Symptome.<sup>[35]</sup> Durch den Substanzverlust am Knochen reduziert sich jedoch auch die Ansatzfläche für den Hufbeinträger<sup>[30,34]</sup> und führt zu einem weiter voranschreitenden Verlust der Stabilität der Verankerung des Hufbeins. Das Ausmaß der so entstehenden Instabilität zwischen Hufbein und Hornkapsel ist der wichtigste Faktor bei der chronischen Hufrehe.<sup>[35]</sup> Es ist wichtig, septisch bedingte Veränderungen des Hufbeins von denen, die durch veränderte Druckverhältnisse im Rahmen einer chronischen Hufrehe entstanden sind, abzugrenzen.<sup>[30]</sup> Bei der Beurteilung der radiologischen Veränderungen muss der Untersuchende immer bedenken, dass eine röntgenologische Auffälligkeit nicht zwingend mit einem aktiven Entzündungsprozess einhergeht. <sup>[10]</sup>

In der vorliegenden Studie konnte festgestellt werden, dass in einer Population klinisch gesunder und im Schritt lahmfreier Esel durchaus röntgenologische Veränderungen des Hufbeins dargestellt werden können und dass diese Veränderungen mit steigendem Gewicht zunehmen. Auch beim Pferd können sowohl bei klinisch gesunden als auch bei lahmen Individuen relativ häufig pathologische Abweichungen des radiologischen Bildes des Hufbeins festgestellt werden.<sup>[10]</sup> Beim Esel kommt hinzu, dass aufgrund des stoischen Naturells der Tiere und der hohen Schmerztoleranz,<sup>[14]</sup> orthopädische Erkrankungen oft lange keine sichtbare Lahmheit verursachen. Esel werden hierzulande überwiegend als Freizeittiere genutzt und im Gegensatz zum Pferd in der Regel überwiegend im Schritt bewegt. Somit wäre von auszugehen, dass beim Esel mindestens eine mittelgradige Lahmheit vorliegen muss, um klinisch erkannt zu werden. Dementsprechend werden krankhafte Zustände beim Esel oft erst verhältnismäßig spät diagnostiziert und therapiert. Umso wichtiger sind die Erkenntnisse dieser Arbeit, die die röntgenologischen Normalbefunde des Hufbeins beim Esel beschreiben und damit auch die Erkennung und Beurteilung pathologischer Abweichungen erleichtern.

Das Ziel dieser Studie war es, die röntgenologische Normalanatomie des Hufbeins beim Esel zu beschreiben und das

Auftreten von pathologischen Abweichungen, insbesondere in Abhängigkeit vom Alter des Tieres, zu untersuchen. Das Hufbein des Esels ähnelt dem des Pferdes, wobei eine abgerundete oder unscharf konturierte Hufbeinspitze ebenso wie eine etwas raue Sohlenfläche als physiologisch angesehen werden können. Die Dorsalfläche und der Processus extensorius hingegen sollten glatt und scharf konturiert sein.

Es konnte keine Abhängigkeit zwischen der Häufigkeit von Röntgenbefunden am Hufbein und dem zunehmenden Alter der Tiere nachgewiesen werden. Vielmehr sind die Veränderungen mit einem steigenden Körpergewicht positiv korreliert. Schwerwiegende Veränderungen und Veränderungen an der Parietalfläche treten signifikant häufiger an der Vorder- als an der Hintergliedmaße auf ( $p < 0,05$ ).

Entsprechend der hier vorliegenden abweichenden Befunde muss davon ausgegangen werden, dass ursächlich Pathologien des Hufes beteiligt waren. Die Befunde waren dabei überwiegend typisch für die Auswirkungen verschiedener Formen von Lederhautentzündungen, in erster Linie im Sinne der chronischen Hufrehe.

Die vorliegenden Erkenntnisse können bei der orthopädischen Untersuchung von Eseln unterstützend verwertet werden und gerade auch die Auswertung der bildgebenden Untersuchung des Hufes erleichtern.

## Danksagung

Unser Dank gilt allen Einrichtungen sowie Privatpersonen, die uns Ihre Esel als Probanden zur Verfügung gestellt haben und die uns auch bei der Anfertigung der Röntgenbilder so tatkräftig unterstützt haben: Dr. Barbara Bach und der Zoo Heidelberg, Anne-Marie Bank-Lauer und der Deutsche Eselzuchtverband, Dr. Anabell Jandowsky und der Tierpark Arche Warder, Dr. Hermann Will und Dr. Kathrin Baumgärtner aus dem Tiergarten Nürnberg sowie Dr. Uta Westerhüs und der Opel-Zoo Kronberg im Taunus. Ein ebenso großer Dank geht selbstverständlich an unsere Kollegen aus der Lehrschmiede für die fachkundige Hufzubereitung unserer Probanden, insbesondere an Melanie Striebinger, Xavier Palancares und Kai Wörtge.

## Literatur

- Colles CM (1983) Interpreting radiographs 1: the foot. *Equine Vet J* 15, 297–303; DOI 10.1111/j.2042-3306.1983.tb01804.x
- Kummer M, Lischer C, Ohlert S, Vargas J, Auer J (2004) Evaluation of a standardised radiographic technique of the equine hoof. *Schweiz Arch Tierheilkd* 146, 507–514; DOI 10.1024/0036-7281.146.11.507
- Rendano CR, Grant B (1978) The Equine Third Phalanx: Its Radiographic Appearance 1. *Vet Radiol* 19, 125–135; DOI 10.1111/j.1740-8261.1978.tb01152.x
- El-Shafaey EA, Salem MG, Mosbah E, Zaghoul AE (2018) Morphometric evaluation of relevant radiographic parameters of the forefeet of clinically normal donkeys (*Equus asinus*). *Hellenic Vet Med Soc* 68, 467–478; DOI 10.12681/jhvms.15543
- White JM, Mellor DJ, Duz M, Lischer CJ, Voute LV (2008) Diagnostic accuracy of digital photography and image analysis for the measurement of foot conformation in the horse. *Equine Vet J* 40, 623–628; DOI 10.2746/042516408X313625
- Linford RL, O'Brien TR, Trout DR (1993) Qualitative and morphometric radiographic findings in the distal phalanx and digital soft tissues of sound thoroughbred racehorses. *Am J Vet Res* 54, 38–51, PMID 8427471
- Collins SN, SJ, Murray RC, Burden F, Trawford A (2011) Radiological anatomy of the donkey's foot: objective characterization of the normal and laminitic donkey foot. *Equine Vet J* 43, 478–86; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00312.x
- Masoudifard M, Vajhi A, Mansouri S, Molazem M, Bahonar A, Zehtabvar O (2014) Radiographic measurements of front feet of the sound Akhal-Teke horses. *Irani J Vet Med* 8, 21–25; DOI 10.22059/IJVM.2014.50559
- Park RD (1989) Radiographic examination of the equine foot. *Vet Clin North Am Equine Pract* 5,47–66; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30603-x
- Dyson S (2011) Nonseptic osteitis of the distal phalanx and its palmar processes. *Equine Vet Educ* 23, 472–485; DOI 10.1111/j.2042-3292.2011.00261.x
- Burnham SL (2002) In Depth: Anatomical Differences of the Donkey and Mule, *Am Assoc Equine Pract Ann Conv* 48, 102–109
- Crane M (2007) Hoof Disorders of the Donkey. In: 10<sup>th</sup> Geneva Congress of Equine Medicine and Surgery, 11.-13.12.2007, Geneva, Switzerland
- Crane M, Evans L (2018) The clinical companion of the donkey. The donkey sanctuary, Sidmouth
- Thiemann A, Rickards K (2013) Donkey hoof disorders and their treatment. *In Pract* 35, 134–140; DOI 10.1136/inp.f1074
- Butler JA, Colles CM, Dyson SJ, Kold SE, Poulos PW (2017) The foot. In: *Clinical Radiology of the Horse*, 4<sup>th</sup> Ed., Butler JA (Ed.) John Wiley & Sons, Chichester, 67–160
- Koblik PD, O'Brien TR, Coyne CP (1988) Effect of dorsopalmar projection obliquity on radiographic measurement of distal phalangeal rotation angle in horses with laminitis. *J Am Vet Med Assoc* 192, 346–349
- Dyson SJ, Tranquille CA, Collins SN, Parkin TDH, Murray RC (2011) An investigation of the relationships between angles and shapes of the hoof capsule and the distal phalanx. *Equine Vet J* 43, 295–301; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00162.x
- Cripps PJ, Eustace RA (1999) Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. *Equine Vet J* 31, 427–432; DOI 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03844.x
- Collins SN, Dyson SJ, Murray RC, Newton JR, Burden F, Trawford AF (2012) Development of a quantitative multivariable radiographic method to evaluate anatomic changes associated with laminitis in the forefeet of donkeys. *Am J Vet Res* 73, 1207–1218; DOI 10.2460/ajvr.73.8.1207
- Craig J, Craig M, Weltner TN (2001) Quantifying conformation of the equine digit from lateromedial radiographs. *Proceed Assoc Equine Sports Med* 21, 20–25
- Walker M, Taylor T, Slater M, Hood D, Weir V, Elslander J (1995) Radiographic appearance of the feet of mammoth donkeys and the finding of subclinical laminitis. *Vet Radiol Ultrasound* 36, 32–37; DOI 10.1111/j.1740-8261.1995.tb00210.x
- Wieland M, Schebsdat C, Rentsch J (2021) Gewichtsverteilung und Belastung. In: Wieland M, Schebsdat C, Rentsch J (Hrsg) *Bewegungsapparat Pferd*. 3. Aufl., Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 65
- Von Butler I, Armbruster B (1984) Population structure and reasons for slaughter of horses. *Dtsch Tierarzt Wschr* 91 (330–331)
- Bartmann CP, Pietta D (2020) Hufpflege und Hufbeschlag bei Esel und Maultier. In: Litzke LF (Hrsg.) *Der Huf. Lehrbuch des Hufbeschlags*, 7. Aufl., Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 358–365

- 25 Brehm W, Hagen J, Litzke LF (2017) Krankheiten der distalen Gliedmaße. In: Brehm W, Gehlen H, Ohnesorge B, Wehrend A (Hrsg.) Handbuch Pferdepraxis, 4. Aufl., Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 1002–1099
- 26 Baxter GM (2020) Examination for Lameness: History, Visual exam and conformation. In: Adams and Stashak's Lameness in Horses, 7<sup>th</sup> Ed., Baxter GM (Ed.), John Wiley & Sons, Chichester, 67–188
- 27 Wissdorf H, Otto B, Geburek F, Fürst A, Hertsch B, Keller H (2010) Hufbereich. In: Wissdorf H, Gerhards H, Huskamp B, Deegen E (Hrsg.) Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes, 3. Aufl., Verlag M. & H. Schaper, Hannover, 375–407
- 28 Vilsmaier A (2005) Untersuchungen zur Hufform und zum Hornwachstum beim Esel (*Equus asinus*). Diss Med Vet Leipzig.
- 29 Röcken M, Stadtbäumer G, Becker M (2018) Differentialdiagnostische Aufarbeitung der Gliedmaßenabschnitte anhand der Klinik und diagnostischen Anästhesien. In: Röcken M, Stadtbäumer G, Becker M (Hrsg.) Lahmheitsuntersuchung beim Pferd, 1. Aufl., Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 99–171
- 30 Herthel D, Hood DM (1999) Clinical presentation, diagnosis, and prognosis of chronic laminitis. *Vet Clin North Am Equine Pract* 15,375–394; DOI 10.1016/s0749-0739(17)30151-7
- 31 Berndt A, Brehm W, Litzke LF, Rau B, Striebinger M (2020) Hufbeschlag beim erwachsenen Pferd inkl. orthopädischer Beschläge. In: Litzke LF (Hrsg.) Der Huf. Lehrbuch des Hufbeschlags, 7. Aufl., Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 196–311
- 32 Sherlock C, Parks A (2013) Radiographic and radiological assessment of laminitis. *Equine Vet Educ* 25, 524–535; DOI 10.1111/eve.12065
- 33 Hemker S, Hertsch B (2002) Radiologic evaluation of chronic founders. *Prakt Tierarzt* 83, 610–617
- 34 Collins SN, van Eps AW, Pollitt CC, Kuwano A (2010) The lamellar wedge. *Vet Clin North Am Equine Pract* 26, 179–195; DOI 10.1016/j.cveq.2010.01.004
- 35 Hunt RJ, Wharton RE (2010) Clinical presentation, diagnosis, and prognosis of chronic laminitis in North America. *Vet Clin North Am Equine Pract* 26, 141–153; DOI 10.1016/j.cveq.2009.12.006