

Relationen der Huf- und Kronbeinlänge zur Dicke der dorsalen Hufwand bei Pferden in unterschiedlichen Röntgenprojektionen

Johannes Walliser¹, Ulrich Walliser², Sören Blaß, Julia Offhaus¹, Karsten Winter³ und Kerstin Gerlach¹

¹ Universität Leipzig, Klinik für Pferde, Leipzig

² Pferdeklinik in Kirchheim, Kirchheim unter Teck

³ Sächsischer Inkubator für klinische Translation (SIKT), Leipzig

Zusammenfassung: Die chronische Hufrehe ist durch die Verlagerung des Hufbeins in der Hornkapsel und einer damit einhergehenden Verdickung der dorsalen Hufwand verbunden. Die Lage des Hufbeins kann lediglich mittels bildgebender Verfahren kontrolliert werden. Empfehlungen des Röntgenleitfadens werden als Absolutwert angegeben. Dieser bezieht sich auf Deutsche Warmblutpferde und damit nur indirekt auf die Größe des Hufes. Die Dicke der dorsalen Hufwand ist jedoch von der individuellen Hufgröße und der Länge des Hufbeins abhängig. Ziel der Studie war die Ermittlung eines praxistauglichen Quotienten aus Huf- oder Kronbein und dorsaler Hufwanddicke, welcher bei der Beurteilung der Dicke der dorsalen Hufwand unterschiedlich große Hufe berücksichtigt. In einem Vorversuch sollte getestet werden, ob verschiedene Film-Fokus-Abstände und zwei unterschiedliche Fokuslokalisationen Einfluss auf die ermittelten Quotienten besitzen. Weiterhin sollte der Einfluss unterschiedlich hoher Gliedmaßenpositionierung bei der Röntgenaufnahme sowie Altersunterschiede einbezogen werden. Für den Vorversuch wurden standardisierte Röntgenaufnahmen von 19 isolierten Gliedmaßen mit jeweils einem Fokus auf das Huf- und auf das Krongelenk sowie zwei Film-Fokus-Abständen (75 cm oder 100 cm) angefertigt. Auf den entstandenen Röntgenaufnahmen wurden die Länge des Hufbeins und des Kronbeins sowie die Dicke der dorsalen Hufwand proximal (HW_p), mittig (HW_m) und distal (HW_d) gemessen und deren Quotienten gebildet. Im Hauptversuch sind retrospektiv 152 Röntgenaufnahmen von Kaufuntersuchungen von 76 Warmblutpferden untersucht worden. Diese Bilder wurden anhand der gebildeten Quotienten ausgewertet. Einerseits wurde getestet, ob eine einseitige Gliedmaßenerhöhung beim röntgen unterschiedliche Werte ergibt. Weiterhin wurde der Einfluss des Alters des Pferdes und der Zusammenhang zwischen Huf- bzw. Kronbeinlänge sowie dorsaler Hufwanddicke mittels der Quotienten ermittelt. Mittels Kolmogorow-Smirnow-Test bzw. Shapiro-Wilk-Test wurde auf Normalverteilung getestet. Gruppenunterschiede wurden mittels t-Test bzw. Mann-Whitney-Test, sowie mittels ANOVA bei multiplen Gruppenvergleichen untersucht. Das Signifikanzniveau lag bei $p \leq 0,05$. Für Hufbein und Kronbein und die dorsalen Hufwanddicken wurden Korrelationskoeffizienten (Pearson oder Spearman) ermittelt ($p \leq 0,01$). Im Ergebnis ergaben weder die Ausrichtung des Fokus auf das Huf- oder Krongelenk, noch die Wahl des Film-Fokus-Abstandes von 75 cm oder 100 und auch die Erhöhung ein oder beider Gliedmaßen um 2,5 cm signifikante Unterschiede bei den Messungen. Zwischen den Altersgruppen der jüngeren (≤ 5 -jährig) und den älteren Warmblütern (6- bis 15-jährig) wurden bei den Quotienten aus Hufbein und distaler Hornkapsel signifikante Unterschiede festgestellt ($p \leq 0,001$). Die gemessene Länge des Hufbeins korrelierte am besten mit den proximalen Messungen der dorsalen Hufwanddicke ($r = 0,5$; $p \leq 0,001$). Die Dicke der dorsalen Hufwand betrug proximal durchschnittlich $17,47 \pm 1,6$ mm bei Pferden bis 5 Jahre, für ältere Pferde betrug diese $18,1 \text{ mm} \pm 1,1$. Als Quotient für gesunde Warmblutpferde wurde am proximalen Messpunkt $3,4 \pm 0,3$ ermittelt. Weder die Fokussierung auf Huf- oder Krongelenk noch ein Film-Fokus-Abstand von 75 cm oder 100 cm ergibt unterschiedliche Quotienten bei der Ermittlung der dorsalen Hufwanddicke auf seitlichen Röntgenaufnahmen. Dies trifft auch für die ein- oder beidseitige Erhöhung der kontralateralen Gliedmaße um 2,5 cm beim Anfertigen des Röntgenbildes zu. Die Quotienten Hufbein zu proximaler Hufwanddicke sind bei der Beurteilung auf seitlichen Röntgenaufnahmen besser geeignet als der Absolutwert der Dicke der dorsalen Hufwand. Unterschiedlich große Hufe und Hufbeine und auch bearbeitete Hufe werden so besser berücksichtigt.

Schlüsselwörter: Huf, Hufrehe, Röntgendiagnostik, Kaufuntersuchung, Orthopädie

Relation of coffin bone and pastern bone length to thickness of dorsal hoof wall in horses with respect to radiographic projection

Laminitis is a highly painful disease in its acute stage. The chronic stage often proceeds pain-free after a certain period of time. The transition from the acute to chronic stage is characterised by a shifting of the coffin bone in the hoof capsule and the associated thickening of the dorsal hoof wall. The position of the coffin bone can be monitored only by means of imaging techniques. The previous radiology guidelines present a detailed compilation of radiological findings which should enable a neutral diagnosis in pre-purchase examinations of horses. The thickness of the dorsal hoof wall ranging from <1.5 –2 cm was ideal to normal up until 2017. As from 2018 a value up until 22 mm is considered to be normal, values exceeding this presenting no risk. This figure refers to the Warmblood breed (WB) and therefore only indirectly to the size of the hoof. The thickness of the dorsal hoof wall is, however, dependent on the individual hoof conformation and length of the coffin bone. The study aimed to create a practicable ratio that could consider the thickness of the dorsal hoof wall in different sized hooves. In a pre-examination it should be tested whether the film-focus distance (FFA) and two differing foci affected the developed ratio. Furthermore, the influence of different positioning of the limbs regarding the height, differences regarding the age of the horses, the connection between the length of the coffin bone and of the pastern bone, as well as the thickness of the dorsal hoof wall should be tested in three different measuring heights. In a pre-examination, standardised radiographs of 19 isolated limbs with two different foci and two film-focus distances (FFA) were taken. One focus concentrated on the pastern joint or coffin joint (KG and HG). Thereby, FFD of 75 cm or 100 cm, respectively were chosen. The length of the coffin bone (HB) and the pastern bone (KB) were measured on these radiographs as well as the dorsal hoof wall thickness proximally (HW_p), in the middle (HW_m) and distally (HW_d) and their ratios were obtained. In the main examination, 152 radiographic images from pre-purchase examinations of 76 Warmblood horses were evaluated retrospectively. The influence of the contralateral limb positioning was examined, the radiographs being assigned to two groups. In group 1 the contralateral limb was positioned 2.5 cm lower ($n = 109$), whereas in group 2 both limbs stood at the same height ($n = 43$) raised. The evaluation was made regarding the influence of age and association between the length of the coffin box or pastern bone as well as the dorsal hoof wall

thickness. The normal distribution was tested by means of the Kolmogorow Smirnow test or Shapiro Will test. Group differences were examined using the t-test or Mann Whitney test, in the case of multiple group comparisons using ANOVA or Kruskal-Wallis test. The statistical significance was set at $p \leq 0.05$. For HB or KB and the dorsal hoof wall thickness, the correlation co-efficients (Pearson or Spearman) were ascertained ($p \leq 0.01$). Altering the focus on KG and HG, the choice of the FFD of 75 cm or 100 cm and also raising one or both limbs by 2.5 cm resulted in no significant differences in the measurements. Between the age group of younger Warmbloods (\leq five years old) and the older ones (six-15 years old) significant differences were ascertained in the distal measurements of the dorsal hoof wall ($p \leq 0.001$). The measured length of the coffin bone correlated best with the proximal measurements of the dorsal hoof wall thickness ($r = 0.5$; $p \leq 0.001$). As a ratio for healthy Warmblood horses proximally a value of 3.4 ± 0.3 was ascertained (HWp). The dorsal hoof wall thickness amounted proximally to an average of 17.47 ± 1.6 mm for horses up to five years; for older horses it amounted to 18.1 ± 1.1 mm. In conclusion neither the focussing on the KG or HG nor an FFD of 75 cm or 100 cm resulted in different ratios when ascertaining the dorsal hoof wall thickness on lateromedial hoof radiographs. This also applies to raising the contralateral limb on one or both sides by 2.5 cm when preparing the radiograph. The proximal ratios of the coffin bone and hoof wall thickness are more suited than the absolute thickness value of the dorsal hoof wall when evaluating the lateromedial radiographs. Different sized hooves and coffin bones as well as trimmed hooves can therefore be taken better into account. In order to be able to distinguish between a physiological hoof wall and a pathologically thickened dorsal hoof wall by means of the presented ratios, an additional study is recommended on radiographs of horses suffering from laminitis.

Keywords: hoof, laminitis, radiology, pre-purchase examination, orthopedics

Zitation: Walliser J., Walliser U., Blaß S., Offhaus J., Winter K., Gerlach K. (2018) Relationen der Huf- und Kronbeinlänge zur Dicke der dorsalen Hufwand bei Pferden in unterschiedlichen Röntgenprojektionen. *Pferdeheilkunde* 34, 419-424; DOI 10.21836/PEM20180502

Korrespondenz: PD Dr. Kerstin Gerlach, Klinik für Pferde der Universität Leipzig, Germany. 04103 Leipzig, An den Tierkliniken 21; gerlach@vetmed.uni-leipzig.de

Einleitung

Die Kaufuntersuchung des Pferdes wird bereits seit mehr als zwei Jahrhunderten als Teil des Pferdekaufs vollzogen, wobei neben der klinischen auch eine röntgenologische Untersuchung durchgeführt wird (Bladon et al. 2003, RölF 2007). Die korrekte Befundung der Aufnahmen setzt qualitativ hochwertige Röntgenaufnahmen voraus (Butler et al. 2011). Der Röntgenleitfaden (RölF) stellt eine Zusammenstellung der im deutschen Sprachraum üblichen Standardprojektionen bei Kaufuntersuchungen des Pferdes dar. Nach dem RölF wurde der Huf bis 2017 auf einer Übersichtsaufnahme „Zehe seitlich“ 90° beurteilt. Der Zentralstrahl wird auf die Mitte der Zehe gerichtet und erlaubt keine orthograde Abbildung aller Zehengelenke gleichzeitig. Auf dieser Aufnahme wird auch die dorsale Hufwanddicke bestimmt.

Diese Wanddicke ist bereits beim gesunden Pferd von verschiedenen Faktoren, wie der Rasse, der Hufbearbeitung und der Hufform abhängig. Bei der Diagnosestellung sind diese Faktoren zu berücksichtigen (Kummer et al. 2006). In der Literatur sind zudem verschiedene Werte für die dorsale Hufwanddicke bei Warmblutpferden (WB) und bei anderen Rassen beschrieben. Diese unterscheiden sich teilweise erheblich voneinander (Cripps und Eustace 1999, Dik und Gunsser 2002, Hemker und Hertsch 2002, Allmers et al. 2006, Kummer et al. 2006). Die dorsale Hufwanddicke hängt unter anderem von der Hufbeinlänge ab (Kummer et al. 2006). Die Relation zwischen Hufbeinlänge und dorsaler Hufwanddicke wurde noch nicht an einer größeren Anzahl lahmfreier WB untersucht. Außerdem wird eine gleichmäßige Gewichtsverteilung empfohlen (Kummer et al. 2004, Kummer et al. 2006, Butler et al. 2011, Tacchio et al. 2002), die bei einseitig hochgestellter Gliedmaße zur vollständigen Abbildung der Hornkapsel meist nicht gegeben ist. Um den Huf vollständig im Fokus der Röntgenröhre abbilden zu können, ist meist eine Erhöhung der Gliedmaße nötig.

Ziel dieser Studie war die Prüfung vergleichender Messungen im Bereich des Hufes hinsichtlich der dorsalen Hornkapseldicke unter verschiedenen Bedingungen. Die relativen Messun-

gen wurden als Quotienten mit ein- oder beidseitiger Erhöhung der Hufe und mit zwei verschiedenen praxisüblichen Film-Fokusabständen bei Warmblütern untersucht.

Tiere, Material und Methoden

Die Studien erfolgten in 2 Abschnitten. Für den Vorversuch wurden 76 Röntgenaufnahmen von 19 abgesetzten distalen Gliedmaßen unterschiedlichen Alters und Geschlechts angefertigt. Die Pferde wurden aufgrund unterschiedlicher Erkrankungen, die nicht mit dieser Studie im Zusammenhang standen, euthanasiert. Verwendet wurden sowohl Vorder- als auch Hintergliedmaßen, die im Bereich der distalen Karpal – beziehungsweise Tarsalgelenkreihe abgesetzt wurden. Diese sind in einer speziellen Vorrichtung geröntgt worden, welche eine physiologisch belastete Gliedmaßenhaltung simuliert. Es wurden nur Hufe einbezogen, die regelmäßig geformt waren.

Von jeder Gliedmaße wurden vier Röntgenaufnahmen auf einem Holzklötz von 2,5 cm Stärke angefertigt. Der Holzklötz war mit 19 gleich langen Nägeln senkrecht zur Oberfläche im Abstand von einem Zentimeter versehen. Bei zwei Röntgenaufnahmen wurde der Zentralstrahl auf das Hufgelenk gerichtet (Kummer et al. 2004), bei zwei weiteren proximal auf den lateralen Bandhöcker des Kronbeins (RölF 2007). Beide Varianten wurden mit 100 cm und mit 75 cm Film-Fokusabstand (FFA) geröntgt.

Als Röntgengerät diente ein Polydor 100 (Siemens AG, München, Deutschland) (20 mAs und 70 kV). Die Röntgenaufnahmen wurden mit einem Speicherfoliensystem (Fuji Film FCR 5000, Fuji Film IP Typ c (24 × 30 cm) ausgelesen. Die im Hauptversuch verwendeten Röntgenaufnahmen wurden im Rahmen von Kauf- und zucht-hygienischen Untersuchungen in den Jahren 2005–2015 in der Pferdeklinik in Kirchheim unter Teck angefertigt. 152 orthograde Röntgenaufnahmen von 76 Deutschen Warmblütern (WB) wurden ausgewertet. Alle Pferde wurden zuvor klinisch untersucht und waren lahmfrei. Die Sedierung erfolgte mit Detomidinhydrochlorid (Domosedan® 0,01–0,02 mg/kg i.v.) Vêtoquinol GmbH,

Ravensburg, Deutschland) und Butorphanoltartrat (Butomidor® 0,03–0,07mg/kg i.v., Pharma-Partner-Vertriebs GmbH beziehungsweise Zoetis Deutschland GmbH) sediert.

Die Hufe wurden auf demselben Holzklötz, der auch in den Vorversuchen verwendet wurde, positioniert und dorsal mit Kontrastmittel (Bariumsulfat, BaSO₄) markiert und geröntgt. Hufe und Röntgenkassette wurden mittig und parallel zum Rand des Holzklötzes ausgerichtet. Als Film-Fokus-Abstand wurden 75 cm gewählt, der Zentralstrahl wurde immer auf den lateralen Bandhöcker des Kronbeins direkt distal des Krongelenks gelegt. Alle Röntgenaufnahmen wurden mit einem lateromedialen Projektionswinkel (90°) angefertigt.

Als Röntgengerät diente bis 2014 ein Gerät der Marke Gamma 2000 (Physia GmbH, Medison Acoma Co., Lt., Japan) mit den Einstellungen 62kV und 1,6mAs. Die verwendeten Röntgenkassetten in den Jahren 2004 bis 2008 waren von der Firma FUJI Film (IP Cassette Typ CC, Pb, 24×30cm, FUJI Photo Film Co. Ltd., Japan). Entwickelt wurden die Röntgenaufnahmen in einem Gerät der Marke FUJI-FILM mit der Bezeichnung FCR XG-1. Die Röntgenaufnahmen ab August 2015 wurden mit einem Flachbilddetektor 24×30cm (D-EVO C24i GoFlex, FUJIFILM, Düsseldorf, Deutschland) geröntgt (64kV und 1,6mAs). Die Pferde standen jeweils mit beiden Beinen erhöht auf dem Holzklötz. Unter diesem war aufgrund der dicken Schutzhülle des Detektors (DR Protection Box für C 24i) ein weiterer 2cm dicker Holzklötz befestigt.

Alle Messungen in beiden Teilen der Studie wurden auf dieselbe Art und Weise mittels DICOM-Viewer SynedraViewPersonal (Synedra Deutschland GmbH) ausgewertet. Zuerst erfolgte eine Kalibrierung mit jeweils 10 Nägeln. Danach erfolgte die Messung des Abstandes von Hufbein und dorsaler Hufwand (Dicke der dorsalen Hufwand) an drei Stellen (Abb. 1). Die erste Messung wurde distal des Prozessus exten-

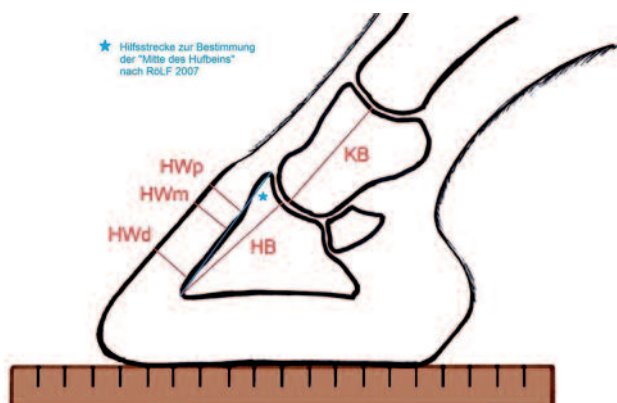


Abb. 1 Schematische Darstellung des Hufes auf einem Holzklötz mit eingezeichneten Messstrecken HW_p =Dicke der dorsalen Hufwand proximaler Messpunkt, HW_m =Dicke der dorsalen Hufwand mittlerer Messpunkt, HW_d =Dicke der dorsalen Hufwand distaler Messpunkt, KB =Länge des Kronbeins, HB =Länge des Hufbeins, blauer Stern: Hilfsstrecke zur Bestimmung der Mitte des Hufbeins.

Schematic representation of the hoof standing on wooden block and marked measuring lines. HW_p =thickness of the dorsal hoof wall proximal measuring point, HW_m =thickness of the dorsal hoof wall middle measuring point, HW_d =thickness of the dorsal hoof wall distal measuring point, KB =length of the middle phalanx, HB =length of the distal phalanx. Blue asterisk = holing for determination of the middle of the distal phalanx

sorius des Hufbeins (HW_p) durchgeführt, die zweite Messung (HW_m) erfolgte in der Mitte und die dritte Messung distal proximal der Hufbeinspitze (HW_d). Die Länge des Hufbeins wurde von der Spitze bis zu der Stelle der Gelenkfläche, die der Hufbeinspitze am nächsten war, gemessen. Als Kronbeinlänge der Abstand zwischen den Mitten der konvexen distalen und der konkaven proximalen Gelenkfläche bestimmt. Jede Messung wurde fünfmal durchgeführt.

Folgende Quotienten wurden in Vor- und Hauptversuch aus den ermittelten Messungen gebildet: HB/HW_p , HB/HW_m , HB/HW_d , KB/HW_p , KB/HW_m , KB/HW_d .

Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit der Statistik-Software SPSS® Statistics 22 (IBM, Ehningen, Germany) sowie mit Mathematica 10.1.0.0 (Wolfram Research, Inc., Champaign, IL, USA).

Alle Daten wurden in einem ersten Schritt auf ihre Normalverteilung überprüft. Gruppen mit 50 und mehr Röntgenaufnahmen wurden hierzu mittels Kolmogorow-Smirnow-Test (K-S-Test), Gruppen mit weniger als 50 Röntgenaufnahmen wurden mittels Shapiro-Wilk-Test (S-W-Test) getestet. Das Signifikanzniveau lag bei $p \leq 0,05$.

Abhängig vom Verteilungsmuster der Daten wurden Tests auf Gruppenunterschiede angewandt. Normalverteilte Daten wurden, sofern zwei Gruppen vorlagen, mittels 2-seitigem T-Test überprüft. Verteilungsfreie Daten sowie Daten, bei denen nur eine Gruppe normalverteilt war, wurden mittels Mann-Whitney-Test (U-Test) auf Gruppenunterschiede getestet. Bei mehr als zwei Gruppen wurde bei normalverteilten, unverbundenen Daten eine Varianzanalyse (ANOVA), bei verteilungsfreien sowie nur teilweise normalverteilten Daten ein Kruskal-Wallis-Test (H-Test) durchgeführt. Bei verbundenen Daten zweier Gruppen wurden im Falle der Normalverteilung der T-Test für verbundene Stichproben durchgeführt, bei nicht normalverteilten Daten entsprechend der Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest. Bei mehr als zwei Gruppen wurde bei normalverteilten, verbundenen Daten eine Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholung, bei verteilungsfreien sowie nur teilweise normalverteilten Daten ein Friedman-Test zur Detektion von Gruppenunterschieden durchgeführt und das Signifikanzniveau mittels Bonferroni-Korrektur entsprechend angepasst.

Das Signifikanzniveau lag bei allen durchgeführten Tests bei $p \leq 0,05$. HW_p , HW_m sowie HW_d wurden jeweils mit HB und KB korreliert. Für normalverteilte Daten wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient, für nicht normalverteilte Daten wurde ein Spearman-Rho-Rangkorrelationskoeffizient, jeweils mit 2-seitiger Signifikanz ($p \leq 0,01$), berechnet.

Ergebnisse

Alle im Vorversuch ermittelten Quotienten unterlagen einer Normalverteilung. Es konnten keine signifikanten Unterschiede

de nach Lokalisation des Zentralstrahls, nach FFA von 75cm oder 100cm festgestellt werden (Tab. 1).

In den Hauptversuch wurden 152 orthograde Röntgenaufnahmen einbezogen, ein Pferd wurde nur für den Hufvergleich verwendet und aufgrund des Alters und der kleinen Gruppengröße für die weiteren Berechnungen selektiert. Der Altersdurchschnitt betrug 3,4 (2–25) Jahre. Es wurden sowohl Vorder- als auch Hintergliedmaßen in die Studie einbezogen.

Positionierung

152 Röntgenaufnahmen der WB wurden hinsichtlich Positionierung in zwei Gruppen eingeteilt. So wurden n1 = 109 Rönt-

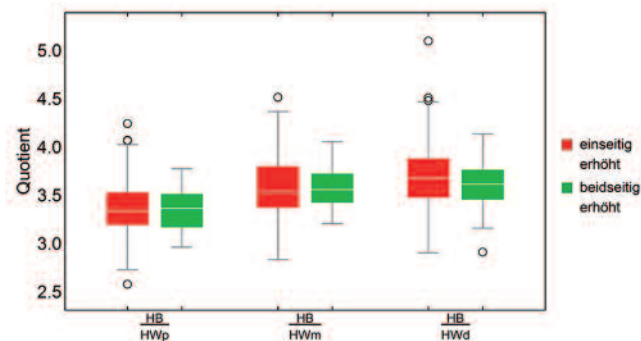


Abb. 2 Box-Whisker-Plots der Quotienten Hufbeinlänge im Vergleich „einseitig“ oder „beidseitig erhöht“ in Abhängigkeit der Messstelle proximale dorsale Hufwanddicke (HB/HW_p), mittige dorsale Hufwanddicke (HB/HW_m) und distale dorsale Hufwanddicke (HB/HW_d), „O“ markiert Ausreißer.

Box-and-whisker plots of the quotients of the distal phalanx lengths in comparison of a raised one limb (red) or raised both limbs (green) depending on the three measuring points proximal (HB/HW_p), middle (HB/HW_m) and distal hoof wall (HB/HW_d) quotients. Each box represents the values from the 25th to 75th percentiles, the horizontal line in each box represents the median, whiskers represent the minimum to maximum values (excluding outliers). Circles are extreme values.

genaufnahmen der Gruppe „einseitig erhöht“ zugeordnet, bei denen lediglich die zu röntgende Gliedmaße auf dem Holzklotz 2,5cm erhöht stand. In der zweiten Gruppe waren beide Gliedmaßen auf einem Holzklotz positioniert, sie bestand aus n2 = 43 Röntgenaufnahmen. Beim Vergleich zwischen „einseitiger Erhöhung“ und „beidseitiger Erhöhung“ des Hufes konnte für den Parameter Hufbein und dessen Quotienten mit den drei Messstellen dorsal kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Für den Parameter Kronbein und dessen Quotienten konnte ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. Aus diesem Grund wurde lediglich die Hufbeinlänge für die Quotienten in den Hauptuntersuchungen verwendet (Abb. 2).

Altersabhängigkeit

In die Gruppe der 2- bis 5-jährigen (WB 1) konnten 139 Röntgenaufnahmen eingeordnet werden, in die Gruppe der älteren Warmblüter (WB 2) 13 Röntgenaufnahmen. Die Messwerte der dorsalen Hufwanddicke ergaben unter Berücksichtigung der drei Lokalisationen proximal, mittig und distal folgende Ergebnisse (Abb. 3; Tab. 2). Die distale Hufwanddicke unterschied sich signifikant zwischen den beiden Altersgruppen (Tab. 2). Für den Quotienten aus Hufbeinlänge und der proximalen Hufwanddicke wurde $3,38 \pm 0,26$ ermittelt. Es bestand kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Altersgruppen.

Korrelation aus Hufbein- bzw. Kronbeinlänge und dorsaler Hufwanddicke

In dieser Kategorie wurden die Korrelationen zwischen Huf- und Kronbein und der Dicke der dorsalen Hufwand an den drei Messstellen (HW_p, HW_m, HW_d) untersucht. Die ermittelten Quotienten aus der dorsalen Hufwanddicke und Hufbeinlänge sowie der Kronbeinlänge waren alle signifikant, aber gering ausgeprägt. Der Quotient aus proximaler Hufwanddicke korrelierte am stärksten mit der Hufbeinlänge ($r = 0,50$, $p \leq 0,001$). Der Quotient aus dorsaler Hufwanddicke in der

Tab. 1 P-Werte zur Überprüfung auf Gruppenunterschiede der ermittelten Quotienten aus zwei unterschiedlichen Film-Fokus-Abständen jeweils auf Fokus Hufgelenk oder Krongelenk (Signifikanzniveau $p \leq 0,05$)

P-values testing group differences of the ratio with two different foci to film distances and two foci on coffin and pastern joint ($P \leq 0.05$)

Quotient	Fokus KG FFA 75 cm vs. Fokus KG FFA 100 cm	Fokus KG FFA 75 cm vs. Fokus HG FFA 75 cm	Fokus KG FFA 75 cm vs. Fokus HG FFA 100 cm	Fokus KG FFA 100 cm vs. Fokus HG FFA 75 cm	Fokus KG FFA 75 cm vs. Fokus HG FFA 100 cm	Fokus HG FFA 75 cm vs. Fokus HG FFA 100 cm
	HB/HWp	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000
HB/HWm	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000
HB/HWd	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000
KB/HWp	p = 1,000	p = 0,997	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000
KB/HWm	p = 1,000	p = 0,482	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000
KB/HWd	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000	p = 1,000

FFA = Filmfokusabstand; HB = Hufbeinlänge; KB = Kronbeinlänge; HWp = Dicke der dorsalen Hufwand, proximaler Messpunkt; HWm = Dicke der dorsalen Hufwand, mittlerer Messpunkt; HWd = Dicke der dorsalen Hufwand, distaler Messpunkt; KG = Krongelenk; HG = Hufgelenk.
 FFA = focus to film distance; HB = length of the distal phalanx; KB = length of the middle phalanx; HWp = thickness of the dorsal hoof wall, proximal measuring point; HWm = thickness of the dorsal hoof wall, middle measuring point; HWd = thickness of the dorsal hoof wall, distal measuring point; KG = pastern joint; HG = coffin joint.

Tab. 1 Dicke der dorsalen Hufwand in drei verschiedenen Messhöhen und zwei Altersklassen ≤ 5-jährig (WB1) und 6- bis 15-jährig (WB2)
Thickness of the dorsal hoof wall on three different measuring points in two age groups (≤5 years WB1; 6-15 years WB2)

Gruppe (Anzahl Röntgenaufnahmen)	Parameter	Mittelwert (in mm)	Median (mm)	SD (mm)	IQR (mm)
WB1	HWp	17,41	17,48	1,6	2,24
	HWm	16,31	16,56	1,51	2,12
	HWd*	15,85	15,92	1,4	1,86
WB2	HWp	18,14	18,24	1,14	1,61
	HWm	17	16,64	1,04	1,39
	HWd*	17,42	17,28	0,73	0,70

WB1 = Warmblut ≤ 5-jährig; WB2 = Warmblut 6- bis 15-jährig; HWp = Dicke der dorsalen Hufwand proximaler Messpunkt; HWm = Dicke der dorsalen Hufwand mittlerer Messpunkt; HWd = Dicke der dorsalen Hufwand distaler Messpunkt; SD = Standardabweichung (SD); IQR = Interquartilabstand (IQR), mm: Millimeter, * signifikant $p < 0,001$

WB1 = Warmblood ≤ 5 years; WB2 = Warmblood 6 - 15 years; HWp = thickness of the the dorsal hoof wall, proximal measuring point (HB/HWp), middle measuring point (HB/HWm) and distal measuring point (HB/HWd); SD = Standard Deviation; IQR = Interquartile range (IQR), mm: Millimeter, * level of significance $P < 0.001$

Mitte bzw. distal am Hufbein (HW_m bzw. HW_d) korrelierte weniger stark mit der Hufbeinlänge ($r = 0,45$ bzw. $r = 0,30$; beide $p \leq 0,001$). Die Quotienten zwischen Kronbein und den drei verschiedenen Hufwanddicken erreichten an keiner der drei gemessenen Stellen eine akzeptable Korrelation. Der Quotient aus Hufbein und distalem Messwert ergab $3,36 \pm 0,27$. Mittig wurde ein Quotient von $3,55 \pm 0,38$ und distal $3,68 \pm 0,38$ ermittelt

Diskussion

Die Erstellung von Röntgenbildern mit Fokus auf Huf- oder Krongelenk ergibt keine wesentlichen Unterschiede in der Auswertung der Dicke der dorsalen Hornkapsel. Praktisch interessant wäre die Überprüfung des Einflusses auf die Messergebnisse für die Fokussierung auf das Fesselgelenk. Durch

die Änderung des Röntgenleifadens wurde dieses Problem jedoch etwas entschärft. Ab sofort werden zwei getrennte Röntgenaufnahmen für die distale Zehe empfohlen, um die geometrische Verzeichnung zu minimieren. Der unterschiedliche Film-Fokus-Abstand spielt bei der Nutzung unterschiedlicher Röntgengeräte eine Rolle, er ist bei tragbaren Röntgengeräten meist kürzer.

Die einseitig oder beidseitige Erhöhung des Hufes bis zu 2,5cm beim Röntgen kann vernachlässigt werden. Dies spielt dann eine Rolle, wenn der Fokus in Höhe des Hufbeins liegt oder auf das Strahlbein projiziert werden muss. Die meisten Röntgengeräte schaffen das selbst bei tiefer Absenkung nicht, so dass die Gliedmaße erhöht werden muss. Dies ist jedoch nicht immer einfach und häufig bei einer beidseitigen Gliedmaßenerhöhung mit einem erheblichen Zeifaktor verbunden. Daraus resultiert die Fragestellung nach der Notwendigkeit einer beidseitigen Gliedmaßenerhöhung. Verschiedene Autoren erachten eine Hochstellung auch der kontralateralen Gliedmaße als notwendig (Allmers et al. 2006, Kummer et al. 2006, Butler et al. 2011, Thieme et al. 2015, Joostens 2016), andere hingegen nicht (Grundmann et al. 2015). Ob

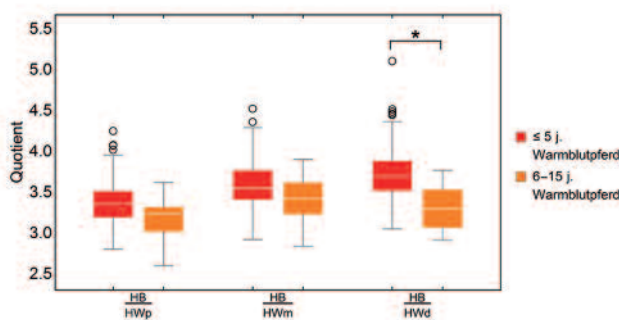


Abb. 3 Box-Whisker-Plots der Quotienten Hufbein im Vergleich der Altersgruppen zwischen jungen (≤5-jährigen) und alten (6- bis 15-jährigen) Warmblütern in Abhängigkeit der Meßstelle proximale dorsale Hufwanddicke (HB/HW_p), mittige dorsale Hufwanddicke (HB/HW_m) und distale dorsale Hufwanddicke (HB/HW_d); „O“ markiert Ausreißer; Klammer und „*“ kennzeichnen Gruppen, die sich signifikant voneinander unterscheiden ($p \leq 0,05$).

Box-and-whisker plots of the quotients of the distal phalanx lengths in comparison of younger (up to five years, red) and older horses (from 6 to 15 years, orange) depending on the three measuring points proximal (HB/HW_p), middle (HB/HW_m) and distal hoof wall (HB/HW_d) quotients. Each box represents the values from the 25th to 75th percentiles, the horizontal line in each box represents the median, whiskers represent the minimum to maximum values (excluding outliers). Circles are extreme values. Asterisk represents a significant difference between younger and older horses on the distal measuring point ($P \leq 0.05$).

Tab. 3 Korrelationskoeffizienten r zwischen Hufbein- bzw. Kronbeinlänge sowie Dicke der dorsalen Hufwand, gemessen an drei verschiedenen Stellen auf Röntgenaufnahmen von Warmblütpferden (≤ 16-jährig), Signifikanzniveau ($p \leq 0,01$)
Correlation coefficient r between the bone length of P1 and P2 and the thickness of the dorsal hoof wall on three different measuring points in Warmbloods (≤ 16 years), level of significance ($P \leq 0.01$)

Hufwanddicke	Hufbeinlänge (HB)	Kronbeinlänge (KB)
proximal (HWp)	$r = 0,50^*$	$r = 0,44^*$
mittig (HWm)	$r = 0,45^*$	$r = 0,45^*$
distal (HWd)	$r = 0,30^*$	$r = 0,48^*$

HWp = Dicke der dorsalen Hufwand proximaler Messpunkt; HWm = Dicke der dorsalen Hufwand mittlerer messpunkt; HWd = Dicke der dorsalen Hufwand distaler Messpunkt, * signifikant ($p \leq 0,001$).

HWp = Thickness of the dorsal hoof wall proximal measuring point; HWm = Thickness of the dorsal hoof wall middle measuring point; HWd = Thickness of the dorsal hoof wall distal measuring point, * level of significance ($P \leq 0.001$). HWp = Thickness of the dorsal hoof wall proximal; HWm = Thickness of the dorsal hoof wall middle; HWd = Thickness of the dorsal hoof wall distal, * significant ($P \leq 0.001$).

ein dickerer Klotz eine stärkere Ungleichbelastung der Gliedmaßen mit daraus resultierenden Messungenauigkeiten ergibt, wurde nicht untersucht.

Diese Arbeit stellt nach dem vorliegenden Kenntnisstand die erste Untersuchung dar, die die angegebenen Quotienten zwischen Hufbein- bzw. Kronbeinlänge mit den drei dorsalen Dickenmessungen der Hufkapsel zwischen den verwendeten Röntgenprojektionen miteinander vergleicht. Die Ergebnisse decken sich mit der angewendeten Praxis, die dorsale Hufwanddicke bei lahmfreien Warmblütern auf Röntgenaufnahmen der Projektion Übersichtsaufnahme „Zehe seitlich“ 90° im Rahmen von Kaufuntersuchungen zu bestimmen (RöLF 2007, Thieme et al. 2015).

Die Auswahl der verwendeten Messstrecken erfolgte auf Basis der vorhandenen Literatur (Kummer et al. 2004, Vargas-Rocha et al. 2004, Kummer et al. 2006, Drumm 2015, Thieme et al. 2015). Kummer et al. (2006) postulierten eine milde Korrelation zwischen der dorsalen Hufwanddicke und der Hufbein- sowie der Kronbeinlänge. Allerdings werden in der Literatur bei der Bildung von Quotienten oft keine näheren Details zur Studie angegeben (Allmers et al. 2006) oder es handelte sich um andere Rassen und Quotienten (Linford et al. 1993, Grundmann et al. 2015, Vali 2014, Drumm 2015).

Der Vorteil der Bildung eines Quotienten besteht darin, dass eine dimensionslose Größe verwendet werden kann, welche unabhängig von eventuellen technischen Vergrößerungseffekten ist. Die Quotienten mit den mittleren und distalen Messwerten der Hornkapsel sind in den eigenen Untersuchungen weniger gut geeignet. Beobachtete Knochenreaktionen in diesem Bereich des dorsalen Hufbeins können die Messwerte verfälschen (Linford et al. 1993). Der Quotient mit dem distalen Messwert weist die größten Unregelmäßigkeiten auf. Diese Unterschiede decken sich mit den von Kummer et al. (2006) beschriebenen Beobachtungen.

Es besteht kein signifikanter Unterschied der Quotienten mit dem distalen Messwert der Hornkapsel zwischen den beiden Altersgruppen. Distal ist die Hornkapsel bei älteren Pferden dicker als bei jüngeren. Dieser Wert kann durch die Hufbearbeitung verändert werden und stellt daher einen variablen Parameter dar (Kummer et al. 2006, Drumm 2015, Thieme et al. 2015). Die Hufe der Pferde in dieser Altersklasse wurden vor der röntgenologischen Untersuchung von Hufbeschlagschmieden ausgeschnitten. Möglicherweise stellen bei älteren Pferden andere Faktoren, wie beispielsweise die Nutzung als Reitpferd und die Hufzubereitung vor dem Beschlag, weitere, nicht zwangsläufig krankheitsassoziierte Ursachen für die Variabilität der distalen Hufwanddicke dar. Für die Quotienten mit Huf- und Kronbein konnte kein signifikanter Unterschied zwischen jungen und älteren Warmblütern nachgewiesen werden. Nach Hois (2004) gibt es kaum wesentliche Änderungen im Längenwachstum dieser Bereiche.

Die einheitlichen Werte in den Messungen zwischen jungen und älteren Warmblütern bestätigen die Praxis, die dorsale Hufwanddicke beim Warmblutpferd ab dem Alter von 2–3 Jahren als relativ konstant anzuerkennen. In der Literatur sind, nach Kenntnis des Autors der vorliegenden Arbeit, keine Untersuchungen beschrieben, welche die dorsale Hufwand-

dicke zwischen den beiden beschriebenen Altersstufen vergleichen. Die Unterscheidung zwischen beiden Altersstufen erschien in der vorliegenden Studie jedoch als sinnvoll, da die meisten Pferde mit 6 Jahren ausgewachsen (Hois 2004) und angeritten sind. Aus diesem Grund wäre eine Studie, die lediglich an einer großen Zahl von an Hufrehe erkrankter Warmblüter durchgeführt wird, sinnvoll. Hierdurch könnte die Abgrenzung mittels Quotienten insbesondere bei einer schwer zu diagnostizierenden Hufbein senkung rassespezifisch verfeinert werden.

Literatur

- Bladon B., Main J. (2003) Clinical evidence in the evaluation of pre-sale radiography: Are we in a desert on a horse with no name? *Equine Vet. J.* 35, 341-342
- Butler J., Colles C., Dyson S., Kold S., Poulos P. (2011) *Clinical Radiology of the Horse*. 3. Aufl.. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Cripps P., Eustace R. (1999) Factors involved in the prognosis of equine laminitis in the UK. *Equine Vet. J.* 31, 433-442
- Dik K., Gunsser I. (2002) Hufrehe. In: Dik K.J., Gunsser I., Hrsg. *Atlas der Röntgendiagnostik beim Pferd*. Hannover: Schlütersche, 34-37
- Drumm I. (2015) *Quantitative Assessment of the Equine Hoof Using Digital Radiography and Magnetic Resonance Imaging*. Diss. Med. Vet. München
- Goulet C., Olive J., Rossier Y., Beauchamp G. (2015) Radiographic and anatomic characteristics of dorsal hoof wall layers in nonlaminitic horses. *Vet. Radiol. Ultrasound* 56, 589-594
- Grundmann I, Drost W, Zekas L, Belknap J, Garabed R, Weisbrode S., Parks A. H., Knopp M. V., Maierl J. (2015) Quantitative assessment of the equine hoof using digital radiography and magnetic resonance imaging. *Equine Vet J.* 47, 542-547
- Hemker S., Hertsch B. (2002) Zur röntgenologischen Auswertung bei chronischer Hufrehe. *Prakt Tierarzt* 83, 610-17
- Hois C. (2004) *Feldstudie zur Gewichtsentwicklung und Gewichtsschätzung beim wachsenden Pferd*. Diss. Med. Vet. München.
- Joosten Z., Evrard L., Busoni V. (2016) Effect of unipodal vs bipodal stance on radiographic evaluation of forefeet in horses. *ECVDI 2016 Annual Congress*, Wroclaw, Poland. <http://hdl.handle.net/2268/219908>
- Kummer M., Geyer H., Imboden I., Auer J., Lischer C. (2006) The effect of hooftrimming on radiographic measurements of the front feet of normal Warmblood horses. *Vet J.* 172, 58-66
- 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
- Linford R., O'Brien T., Trout D. (1993) Qualitative and morphometric radiographic findings in the distal phalanx and soft tissues of sound Thoroughbred racehorses. *Am J. Vet. Res.* 54, 38-51
- Röntgen-Leitfaden (RöLf) (2018). GPM-Fachinformation. Röntgenkommission der Gesellschaft für Pferdemedizin (GPM)
- Röntgenleitfaden (RöLf) (2007) GPM-Fachinformation. Röntgenkommission der Gesellschaft für Pferdemedizin (GPM)
- Tacchio G., Davies H., Morgante M., Bernardini D. (2002) A radiographic technique to assess the longitudinal balance in front hooves. *Equine Vet. J. Suppl.* 34, 368-372
- Thieme K., Ehrle A., Lischer C. (2015) Morphometrische Messungen am Pferdehuf – eine Literaturübersicht. *Pferdeheilkunde* 31, 108-118; DOI 10.21836/PEM20150201
- Vali R. (2014) *Some Radiological Measurements from the Front Feet of Sound Dareh-Shori Horses with Relevance to Laminitis and Founder*. *Sci. J.* 3, 238-243
- Vargas-Rocha J., Lischer C., Kummer M., Hassig M., Auer J. A. (2004) Evaluating the measuring software package Metron-PX for Morphometric Description of equine hoof radiographs. *J. Equine Vet. Sci.* 24, 347-354