

# Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Bodenbeschaffenheiten auf die Ausrichtung der distalen Zehenknochen des Pferdes

Jenny Hagen<sup>1</sup>, Michael Hüppler<sup>1</sup>, Florian Simon Häfner<sup>2</sup>, Sandra Marion Geiger<sup>1</sup> und Daniela Mäder<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Veterinär-Anatomisches Institut der Veterinärmedizinischen Fakultät, Universität Leipzig, Leipzig

<sup>2</sup> Department of Research and Development, Werkman Horseshoe Factory, Groningen, Niederlande

**Zusammenfassung:** Pferde werden in ihrem Arbeitsalltag in der Regel mit sehr unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten konfrontiert. Ziel dieser Studie war die Schaffung vergleichbarer Daten über den Einfluss verschiedener Bodenbeschaffenheiten auf die Ausrichtung der distalen Zehenknochen des Pferdes als Wissensgrundlage für Tiermediziner, Schmiede und Patientenbesitzer. Die jeweils linke Vordergliedmaße von 25 Warmblutpferden wurde nach der Hufzubereitung röntgenologisch untersucht (0°, 90°). Im Rahmen eines standardisierten Röntgenprotokolls, wurden alle Hufe zur optimalen Zentralstrahlrichtung nach den gleichen Richtpunkten markiert und die Einstellungen der Geräte, sowie der technische Aufbau konstant gehalten. Der verwendete Röntgenblock von Eponatech mit integrierten Kalibrationspunkten, wurde zusätzlich modifiziert, so dass ein Holzblock mit einem eigens angefertigten weichen Kissen ausgetauscht werden konnte, um festen und verformbaren Boden simulieren zu können. Die Analyse der Röntgenbilder wurde anschließend mit dem Programm Metron PX durchgeführt. Durch das individuelle Einsinken des Hufes auf weichem Boden, wurde die Ausrichtung der distalen Phalanx sowohl in der dorsopalmaren, als auch in der mediolateralen Ebene, am meisten beeinflusst. In der 90°-Projektion richtete sich das Hufbein im Mittel um  $1,39^\circ \pm 1,08^\circ$  steiler in der Hufkapsel aus, während sich die Ausrichtung in der 0°-Projektion um  $0,78^\circ \pm 1,01^\circ$  änderte. Die Stellungsänderung der mittleren und proximalen Phalanx, ebenso wie die Hufgelenkssymmetrie zeigten sehr heterogene Daten, aus denen sich keine verlässlichen Ableitungen ziehen lassen konnten. Unterschiedliche Bodenbeschaffenheiten können die Ausrichtung von Huf und Hufbein maßgeblich beeinflussen und damit auch die Belastung von assoziierten Strukturen wie Sehnen und Bändern verändern, was bei entsprechenden Erkrankungen dieser Strukturen zu berücksichtigen ist. Der Einfluss der Stellungsänderung der distalen Phalanx hinsichtlich der Auswirkung auf die oberen Zehenknochen bleibt unklar und bedarf weiterer Untersuchungen.

**Schlüsselwörter:** Pferd / Röntgen / Biomechanik / Bodenbeschaffenheit / Zehenknochenausrichtung

## An Examination of the influence of different ground properties on the alignment of the distal equine toe bones

Horses are confronted with a variety of different ground conditions in their everyday life. Therefore the aim of this study was to gather comparable data on the influence of different ground properties on the phalangeal alignment of the distal equine toe bones as basis for future studies and communication between veterinarians, farriers and patient owners. The left forelimbs of 25 warmblood horses underwent radiological examination directly after trimming. Following a standardized measurement protocol, which included the permanent marking of the hoof following predefined landmarks of the hoof capsule and a uniform setup for the radiologic examinations (60kV, 0.2 mAs/s, focus-film distance 75 cm), a 0° and a 90° projection of the toe region of the left forelimb was produced. The examined hoof was placed on a podoblock by Eponatech with imbedded reference points which allowed later calibration of the images. Additionally, the podoblock was further modified to enable the addition of a wooden block changeable with a penetrable pad to examine the effects of different ground properties. All images were transformed into JPEG files and imported to the Metron PX software for data analysis. Due to the individual sink in of the hoof on penetrable ground, the changes in the dorsopalmar and mediolateral alignment of the bones of the distal phalanx were most distinct. The 90° projection showed that the mean angle of the distal phalanx towards the ground was  $1,39^\circ \pm 1,08^\circ$  steeper compared to the situation on firm ground. The alignment of the distal phalanx in the mediolateral plane (0° projection) changed by  $0,78^\circ \pm 1,01^\circ$ . The orientation changes of the middle and proximal phalanx along with the distal interphalangeal joint space symmetry showed very heterogenic data, from which no reliable regularity could be drawn. The alignment of the hoof and the distal phalanx respectively can be significantly influenced by different ground properties. Thereby, we can alter the load of associated structures, such as the deep digital flexor tendon or the podotrochlear region. This knowledge can be helpful in the treatment and management of orthopedical patients suffering on disorders regarding to the distal limb. In how far changes of the alignment of the distal phalanx affect the orientation of the middle and proximal phalanx cannot yet be determined. Further examinations, using high-speed fluoroscopic kinematography are conducted to assess this issue.

**Keywords:** horse / X-ray / biomechanics / ground properties / phalangeal alignment

**Zitation:** Hagen J., Hüppler M., Häfner F. S., Geiger S. M., Mäder D. (2015) Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Bodenbeschaffenheiten auf die Ausrichtung der distalen Zehenknochen des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 31, 578-586

**Korrespondenz:** Michael Hüppler, Veterinär-Anatomisches Institut der Veterinärmedizinischen Fakultät, Universität Leipzig, 04103 Leipzig, An den Tierkliniken 43, E-Mail: michael-hueppler@web.de

## Einleitung

Pferde werden während ihrer täglichen Haltung, Nutzung oder Arbeit mit unterschiedlichen Bodenbeschaffenheiten konfrontiert, welche sich auf die Belastungen der distalen

Gliedmaße in verschiedener Weise auswirken (Burn und Usmar 2007, Gustas et al. 2007). Dabei können die Eigenschaften des Bodens nicht nur die Leistung des Pferdes beeinflussen (Clanton et al. 1991, Kai et al. 1999, Ratzlaff et al. 2005, Stover et al. 2008, Burn und Usmar 2007, Thomason

und Peterson 2008), sondern auch das Risikopotential für Verletzungen oder das Auftreten von Lahmheiten erhöhen bzw. senken (Cheney et al. 1973, Parkin et al. 2004, Perkins et al. 2005). Damit bedarf es, um eine optimale Leistung bei minimalem Verletzungsrisiko zu erzielen, genauer Kenntnis der Wirkung des Bodens auf die Biomechanik der distalen Gliedmaße des Pferdes. Zudem ist das Management des orthopädischen Patienten von entscheidender Bedeutung. Bei einigen Erkrankungen der distalen Gliedmaße des Pferdes, wie z.B. Hufrehe, Frakturen, akute Entzündungen bzw. Defekte der tiefen Beugesehne, ist es insbesondere in der akuten Phase ratsam, eine gewisse Zeit Boxenruhe einzuhalten (Scherer 2012). In dieser Rekonvaleszenzzeit ist die Beschaffenheit des Boxeneinstreus entscheidend, da ein weicher, verformbarer Untergrund die Belastung und Ausrichtung der distalen Gliedmaße des Pferdes beeinflusst (Chateau et al. 2013, Oosterlinck et al. 2014). Weicher, penetrierbarer Untergrund wie Sand oder Sägespäne bietet eine gleichmäßige Verteilung des einwirkenden Gewichts auf die tragende Fläche des Hufes, da sich der Boden der Sohlenwölbung anpasst. Zusätzlich können durch die veränderte Ausrichtung der distalen Gliedmaße spezifische Strukturen entlastet und der Komfort des erkrankten Pferdes erhöht werden (Parks 2003, Lawson et al. 2007, Reilly et al. 2010).

Daher kommt der Untersuchung des Effektes verschiedener Böden auf die Stellungsänderung der distalen Zehenknochen ein hoher Stellenwert zu. Dabei wird die Stellung der distalen Zehenknochen in der Statik zunehmend mit radiologischen Messungen evaluiert (Caudron et al. 1998, Kummer et al. 2006, Rocha et al. 2004). Diese werden meist unter akademischen Studienbedingungen, auf festen Röntgenblöcken durchgeführt und lassen damit verformbare Untergründe außer Acht, welche jedoch, je nach Haltung und Nutzung der Tiere, praktisch relevant sind (z.B. Sandböden in der Reithalle, Einstreu in der Box).

Generell sind die einzelnen Segmente bzw. Knochen der distalen Gliedmaße spezifisch ausgerichtet. Dabei befindet sich das Fesselgelenk in deutlicher Hyperextension und wird von dem Fesseltrageapparat stabilisiert (König und Liebich 2015). In den vorangegangenen Untersuchungen wurde zudem erhoben, dass der palmare Winkel des Hufbeins zwischen 3–6° liegt (Caudron et al. 1997, Cripps und Eustace 1999, Kummer et al. 2006). Weiterhin wird das Hufgelenk als Verbindung zum Kronbein, genau wie das Fesselgelenk, als „High Motion Joint“ bezeichnet, was sich auf die ausgeprägte Beweglichkeit dieser Gelenke in der sagittalen Ebene (Extension–Flexion) bezieht (Clayton 2010, Roach et al. 2014). Im Gegensatz dazu wird das Krongelenk als „Low Motion Joint“ bezeichnet (McIlwraith 1982, Roach et al. 2014). Es wird davon ausgegangen, dass eine Änderung des palmaren Winkels sich insbesondere auf den Winkel von Huf- und Fesselgelenk auswirkt. Andere Arbeitsgruppen untersuchten daher den Zusammenhang zwischen der Änderung des palmaren Winkels und der Ausrichtung von Kron- und Fesselbein (Roach et al. 2014). Es besteht die Annahme, dass die Zunahme des palmaren Winkels ein Absinken von Kron- und Fesselbein nach sich zieht (Denoix 1985, Denoix 1999, Chateau et al. 2004). Dieser Effekt geht zudem mit einer Zunahme der Streckung des Fesselgelenkes einher. Es wird davon ausgegangen, dass die Änderung des palmaren Winkels und des Fesselgelenkwinkels mit der Be- bzw. Entla-

stung assoziierter Strukturen – wie tiefe und oberflächliche Beugesehne, M. interosseus medius, Gleichbeinbänder, Hufrollenregion – einhergeht (Crevier-Denoix et al. 2013, Lawson et al. 2007).

Untersuchungen in der Dynamik bezüglich der Hufbewegung und des Fesselgelenkwinkels in der Hauptstützphase in Zusammenhang mit verschiedenen Untergründen werden häufig mit Hautmarker basierten Systemen durchgeführt (Scheffer und Back 2001). Aufgrund der Elastizität der Haut und der damit einhergehenden Verschieblichkeit, welche insbesondere bei höheren Geschwindigkeiten auch an der distalen Gliedmaße des Pferdes zunimmt, weisen diese Untersuchungen in der Regel Messfehler und Abweichungen bis zu mehreren Zentimetern auf, welche eine genaue Ableitung der biomechanischen Effekte erschweren (Reinschmidt et al. 1997, Benoit et al. 2006). Im Rahmen dieser Studie sollten deshalb mithilfe eines neuartig modifizierten Röntgenblocks genauere Erkenntnisse über den Einfluss der Bodenbeschaffenheit auf die Ausrichtung der drei Phalangen gewonnen werden. Folgende Hypothesen galt es zu bearbeiten:

- Auf weichem Untergrund sinkt die Hufspitze in den Boden ein, wodurch der palmare Winkel des Hufbeins signifikant zunimmt.
- Die Zunahme des palmaren Winkels auf weichem Boden bedingt ein palmares Absinken von Kron- und Fesselbein.
- Auf weichem Boden ändern Huf- bzw. Hufbein ihre mediolaterale Ausrichtung in dem Sinne, dass die stärker belastete Hufseite vermehrt in den Boden einsinkt, wodurch sich das Hufbein unilateral absenkt.
- Entsprechend der Änderung der mediolateralen Stellung des Hufbeins auf weichem Boden, verändert sich die Ausrichtung von Kron- und Fesselbein.
- Auf weichem Boden weitet sich der Hufgelenkspalt auf der Seite, wo der Huf in den Boden einsinkt und verengt sich auf der kontralateralen Seite.

Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als wissenschaftliche Basis für die Kommunikation zwischen Tierarzt, Hufbeschlagsschmied und Pferdebesitzer dienen, um ein optimales Management des orthopädischen Patienten zu gewährleisten.

## Material und Methoden

### Tiere

Für diese Studie standen 25 Warmblutpferde (durchschnittliche Widerristhöhe: 161 cm, Alter: 7–17 Jahre;) zur Verfügung. Alle Pferde wurden im selben Stall, unter einheitlichen Bedingungen gehalten und ca. zwei Stunden am Tag geritten. Die Tiere wurden vor den studienrelevanten Messungen von zwei Tierärzten und einem Schmied untersucht. Alle Pferde waren klinisch gesund, zeigten eine gute Hufgesundheit und keine subjektiv auffälligen Abnormitäten des Gangbildes.

### Hufzubereitung

Vor den Untersuchungen wurden die Hufe aller Pferde von einem erfahrenen und staatlich geprüften Hufbeschlagsschmied ausgeschnitten, um einen einheitlichen Status aller

Pferde zu gewährleisten. Bei der Zubereitung der Hufe wurde darauf geachtet, dass die dorsale Hufwand – von vorne und der Seite betrachtet – entsprechend der Zehen- und Fesselachse ausgerichtet ist.

#### Datenaufnahme

Alle vorgestellten Daten wurden am ausgeschnittenen Barhuf der linken Vordergliedmaße jedes Pferdes sowohl auf festem, als auch auf weichem Boden erhoben. Auf eine Sedierung der Tiere wurde in der gesamten Studie verzichtet.

Die Röntgenuntersuchungen wurden mit einem digitalen, transportablen System der Firma Gierth X-Ray international durchgeführt. Als Röntgenröhre wurde das Fabrikat Gierth HF 80/20 ML ultra light gewählt. Die Detektorplatte (CXDI 80C WIRELESS) war kabellose und übermittelte die Röntgenaufnahme direkt an die Software (Canon SCOPE-XXS). Alle Einstellungen für die radiologischen Untersuchungen folgten einem standardisiertem Protokoll (60kV, 0.2mAs/s, Fokus-Film Abstand 75 cm) und wurden für alle Tiere gleichermaßen angewendet (Caudron et al. 1998, Kummer et al. 2006). Hiermit wurden für jedes Pferd eine anterior-posteriore und eine latero-mediale Übersichtsaufnahme der distalen Zehenknochen angefertigt.

Für alle Röntgenaufnahmen wurden die Pferde in einer geraden Körperachse ausgerichtet und beide Vordergliedmaßen wurden parallel, auf derselben Höhe (9 cm) und in einer möglichst natürlichen Stellung positioniert. Die zu untersuchende linke Vordergliedmaße wurde auf einem Röntgenblock der Firma Epona Tech, USA (Metron Block-PX™) plat-

ziert, welcher sich durch spezielle integrierte Referenzpunkte auszeichnet, die eine spätere Kalibrierung der Bilder zur Auswertung mit der Software MetronPX zulassen. Dieser Röntgenblock (Höhe 6 cm) wurde zusätzlich modifiziert: durch eine angefertigte Begrenzung konnte ein Holzblock (Höhe 3 cm) mit einem speziell für diese Untersuchungen angefertigtem weichem Polster (Höhe 3 cm) ausgetauscht werden, um verformbare Bodenbeschaffenheiten zu simulieren (Abbildung 1). Das Polster bestand aus 2 cm Equi-Pak|Soft 180cc (flüssiges Polyurethan) und einer 1 cm dicken Sandschicht, um radiologisch relevante Knochenstrukturen nicht zu verdecken. Dieses Polster ließ das partielle Einsinken einzelner Hufabschnitte zu und bot für alle Untersuchungen und Pferde die gleiche Beschaffenheit. Für den Austausch von Holzblock und Polster musste lediglich die Gliedmaße kurz aufgehoben werden, die Position des Pferdes und die Anordnung der Untersuchungsgeräte wurden dabei nicht verändert.

Um darüber hinaus standardisierte Röntgenaufnahmen zu garantieren, wurden die untersuchten Hufe unmittelbar nach der Zubereitung entsprechend der Vorgaben anderer Arbeitsgruppen (Caudron et al. 1998, Kummer et al. 2006) permanent markiert. In diesem Fall wurden nach der Bearbeitung die Strahlmitte und die weiteste Stelle des Hufes als Referenz zur Anbringung der Markierungen verwendet und der Zentralstrahl wurde im Bereich der Markierung immer auf die gleiche Stelle auf Höhe des Tragrandes ausgerichtet.

#### Datenanalyse

Alle angefertigten Röntgenbilder wurden unmittelbar vor Ort auf ihre Qualität und eine korrekte Projektion hin überprüft. Nach-



**Abb. 1** Der in dieser Studie angewendete Röntgenblock erlaubt eine radiologische Untersuchung sowohl auf festem (Holzplatte, A) als auch auf einem standardisierten verformbaren Untergrund (2cm Polyurethankissen + 1cm Sand, B).

*The podoblock used in this study enabled a radiological examination on firm (wood plate, A) as well as on a standardized penetrable ground (2 cm polyurethane pad + 1 cm sand, B).*

folgend wurden die DICOM- Dateien in JPEG-Dateien umgewandelt und zur Kalibration und Vermessung in die Metron PX-Software importiert. Die für die Messungen relevanten Parameter und ihre entsprechenden Referenzpunkte (Kummer et al. 2006, Rocha et al. 2004) sind in Abbildung 2 dargestellt.

### Statistik

Zur statistischen Auswertung der Daten wurde das Computerprogramm SigmaPlot™ Version 11 verwendet. Neben der deskriptiven Analyse der Daten, wurden die erhobenen Werte auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk-Test). Zur Berechnung der Signifikanzen wurde dementsprechend der gepaarte T-Test verwendet. Weiterführende Korrelationen wurden mit der Pearson Korrelation untersucht.

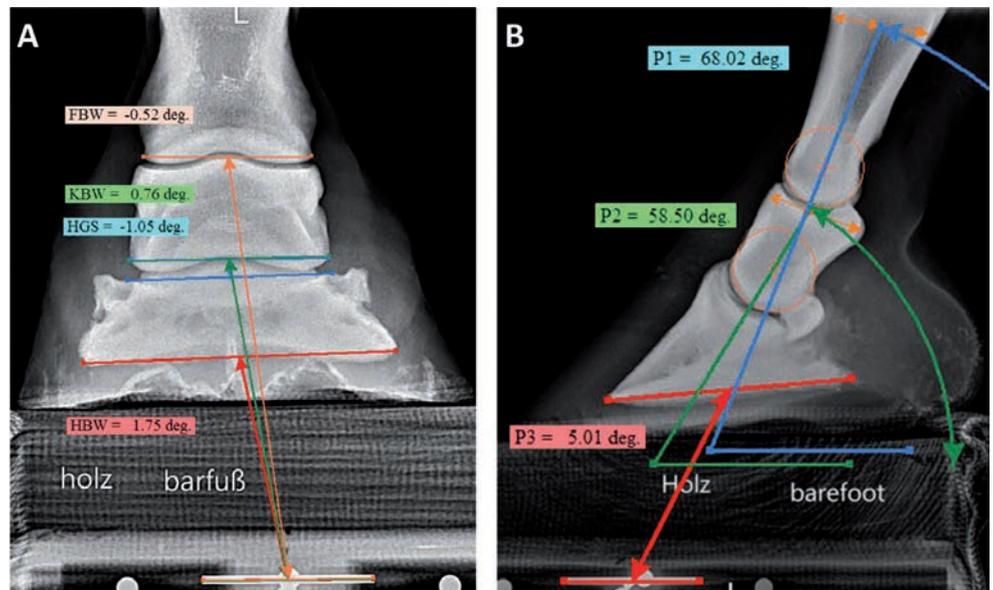
### Ergebnisse

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse dieser Studie in Tabelle 1 zusammengefasst. Die grundlegenden Untersu-

chungen auf hartem Boden zeigen, dass der palmare Winkel des Hufbeins (P3)  $5,22 \pm 2,65^\circ$  beträgt. Im Bezug zum Boden ergibt sich in der  $90^\circ$ -Projektion für das Kronbein (P2) ein Winkel von  $56,48 \pm 4,21^\circ$  und für das Fesselbein (P1) von  $66,95 \pm 5,61^\circ$ . Die Berechnung der Korrelationen zeigt, dass zwischen P3 und P2 eine mäßige negative Korrelation (RP3:P2 = -0,432, PP3:P2 = 0,03) besteht. Keine signifikante Korrelation kann zwischen P3 und P1 ermittelt werden (RP3:P1 = -0,167, PP3:P1 = 0,45). Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen P2 und P1 zeigt sich hingegen mit RP3:P2 = -0,722, PP3:P2 < 0,001 eine deutliche Korrelation.

Die Auswertung der  $0^\circ$  Projektion ergibt eine mediolaterale Hufbeinstellung (AP3) von  $1,04 \pm 0,61^\circ$ . Das Hufbein ist demnach bei den untersuchten Pferden im Durchschnitt leicht nach lateral gekippt. Die Ausrichtung des Kronbeins im Bezug zum Boden (AP2) beträgt  $2,25 \pm 1,74^\circ$ , während ein Fesselbeinwinkel (AP1) von  $2,47 \pm 2,07^\circ$  gezeigt wird. Für die Gelenkspaltsymmetrie des Hufgelenkes (DIPS) wird ein Wert von  $0,81 \pm 1,21^\circ$  ermittelt, woraus sich ergibt, dass der Huf-

**Abb. 2** Untersuchte Parameter und ihre Referenzpunkte der  $0^\circ$  (A) und  $90^\circ$  (B) Projektion. A) HBW = Winkel zwischen Margo solearis des Hufbeins und Boden; KBW = Winkel zwischen den Kondylen des Kronbeins und dem Boden; FBW = Winkel zwischen den Kondylen des Fesselbeins und dem Boden; HGS = Gelenksymmetrie des Hufgelenkes. B) P1 = Winkel zwischen den Kondylen des Fesselbeins und dem Boden; P2 = Winkel zwischen den Kondylen des Kronbeins und dem Boden; P3 = Winkel zwischen Margo solearis und Boden



Examined Parameters and their reference points in the  $0^\circ$  (A) and  $90^\circ$  (B) projection. A) HBW = Angle between Margo solearis of the distal phalanx and the ground; KBW = Angle between the condyles of the middle phalanx and the ground; FBW = Angle between the condyle of the proximal phalanx and the ground; HGS = distal interphalangeal joint space symmetry; B) P1 = Angle between the condyles of the proximal phalanx and the ground; P2 = Angle between the condyles of the middle phalanx and the ground; P3 = Angle between Margo solearis of the distal phalanx and the ground

Examined Parameters and their reference points in the  $0^\circ$  (A) and  $90^\circ$  (B) projection. A) HBW = Angle between Margo solearis of the distal phalanx and the ground; KBW = Angle between the condyles of the middle phalanx and the ground; FBW = Angle between the condyle of the proximal phalanx and the ground; HGS = distal interphalangeal joint space symmetry; B) P1 = Angle between the condyles of the proximal phalanx and the ground; P2 = Angle between the condyles of the middle phalanx and the ground; P3 = Angle between Margo solearis of the distal phalanx and the ground

**Tab. 1** Gemessene Winkel (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung) der distalen, mittleren und proximalen Phalanx in der  $0^\circ$  und  $90^\circ$  Projektion auf festem (Holzplatte) und weichem (Polyurethanpolster mit Sand) Boden. Alle P-Werte wurden für die Differenz zwischen festem und weichem Boden berechnet und als signifikant betrachtet wenn  $P < 0,05$ .

Measured angles (mean value  $\pm$  SD) of the distal, middle and proximal phalanx in the  $0^\circ$  and  $90^\circ$  projection on firm (wooden plate) and penetrable (polyurethane cushion with sand) ground. P-values were calculated for the differences between firm and penetrable ground and considered significant if  $P < 0,05$ .

	Bodenbeschaffenheit		P-Wert
	fest	weich	
P1	$66,95^\circ \pm 5,61^\circ$	$67,85^\circ \pm 4,57^\circ$	$P = 0,44$
P2	$56,48^\circ \pm 4,21^\circ$	$57,21^\circ \pm 5,15^\circ$	$P = 0,23$
P3	$5,22^\circ \pm 2,65^\circ$	$6,61^\circ \pm 3,16^\circ$	$P < 0,001$
AP1	$2,47^\circ \pm 2,07^\circ$	$2,68^\circ \pm 1,61^\circ$	$P = 0,58$
AP2	$2,25^\circ \pm 1,74^\circ$	$2,78^\circ \pm 1,89^\circ$	$P = 0,06$
AP3	$1,04^\circ \pm 0,61^\circ$	$1,81^\circ \pm 1,41^\circ$	$P < 0,001$
DIPS	$0,81^\circ \pm 1,21^\circ$	$0,88^\circ \pm 1,50^\circ$	$P = 0,67$

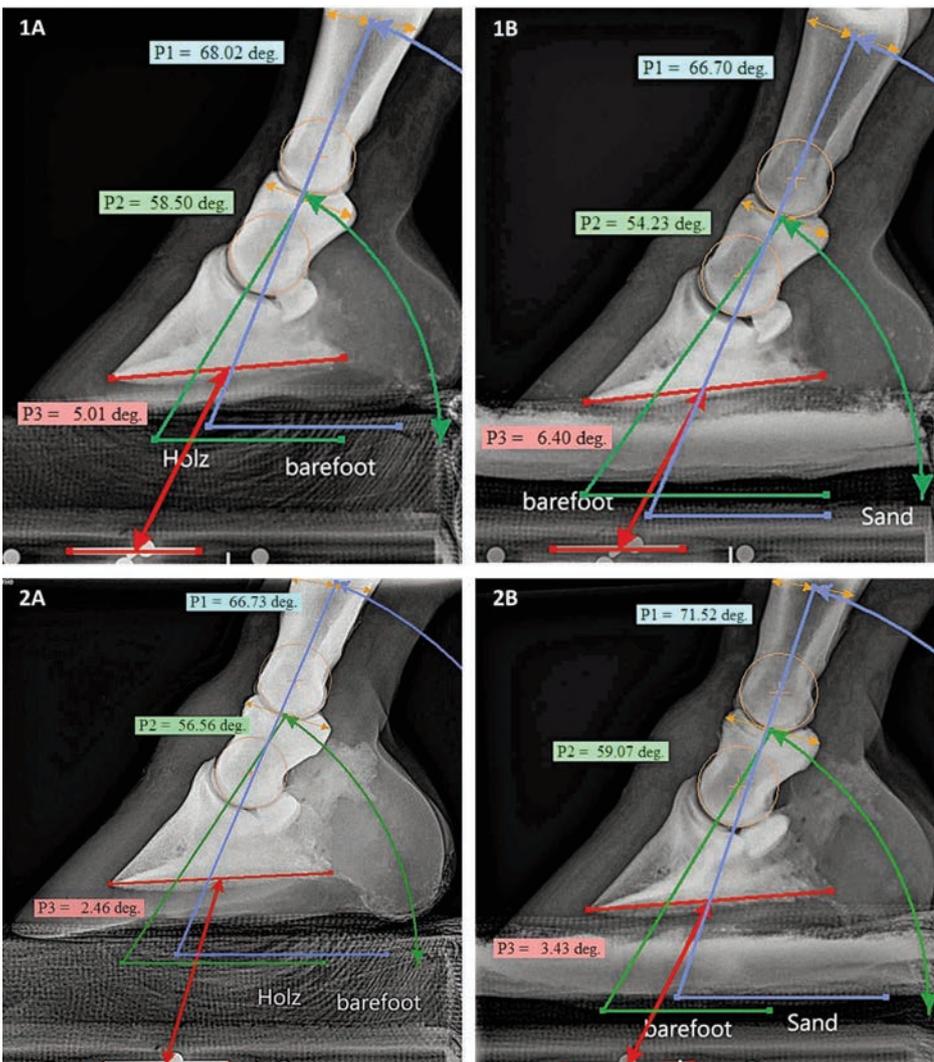
gelenkspalt der gemessenen Pferde leicht auf der lateralen Seite verengt ist. Dabei zeigen AP3 und AP2 eine signifikante Korrelation von  $RAP3:AP2 = -0,529$ ,  $PAP3:AP2 = 0,006$ . Bei der Analyse des Zusammenhangs zwischen AP3 und AP1 nimmt dieser Zusammenhang ab ( $RAP3:AP1 = -0,374$ ,  $PAP3:AP1 = 0,06$ ). Eine sehr starke Korrelation kann dahingegen für die Berechnung von AP2 zu AP1 ermittelt werden ( $RAP2:AP1 = -0,814$ ,  $PAP2:AP1 < 0,001$ ). Ein mäßiger negativer Zusammenhang kann zwischen AP3 und DIPS gezeigt werden ( $RAP3:DIPS = -0,418$ ,  $PAP3:DIPS = 0,04$ ), während die Korrelation zwischen AP2 bzw. AP1 und DIPS gering ausfällt ( $RAP2:DIPS = -0,234$ ,  $PAP2:DIPS = 0,26$ ;  $RAP1:DIPS = -0,334$ ,  $PAP1:DIPS = 0,1$ ).

Die deutlichsten Effekte beim Vergleich der zwei verschiedenen Bodenbeschaffenheiten konnten am Hufbein gemessen werden. Alle Pferde zeigten auf weichem Boden einen steileren palmaren Winkel des Hufbeins, im Mittel war dieser  $1,39^\circ \pm 1,08^\circ$  größer als auf festem Boden ( $P < 0,001$ ).

Die Werte der weiteren Parameter stellten sich deutlich heterogener dar. So änderte sich beispielsweise die dorsopalmarer Ausrichtung des Kronbeins (P2) von festen zu weichem Boden zwar im Mittel um  $0,73^\circ \pm 2,97^\circ$  ( $P = 0,23$ ), doch anhand der großen Standardabweichung wird bereits deutlich, dass es große, individuelle Unterschiede der Stellungsänderung zwischen den Pferden gab. Während bei 10 Pfer-

den P2 auf weichem Boden bis maximal  $4,36^\circ$  gegenüber festem Boden abnahm, zeigten die restlichen 15 Pferde ein bis zu  $7,26^\circ$  steiler gestelltes Kronbein. Ähnlich stellte sich die Situation für die dorsopalmarer Ausrichtung des Fesselbeins (P1) mit einem Mittelwert von  $0,82^\circ \pm 5,22^\circ$  dar ( $P = 0,44$ ), hier nahm die Winkelung auf weichem Boden ebenfalls bei zehn Tieren ab, wohingegen bei den restlichen 15 Tieren eine Zunahme des Winkels beobachtet wurde, wie die hohe Standardabweichung zeigt. Es ist zusätzlich erwähnenswert, dass nur sechs der zehn Pferde deren P2 abnahm gleichzeitig eine Abnahme von P1 zeigten, in den restlichen vier Fällen nahm die Winkelung des Kronbeins zwar ab, das Fesselbein wies allerdings eine steilere Winkelung auf. Ebenso zeigten vier Pferde bei einer Zunahme des Kronbeinwinkels eine Reduktion der Winkelung des Fesselbeins. Zur Veranschaulichung dieser Stellungsänderungen sind Beispiele in Tabelle 2 und Abbildung 3 gegeben.

Die Untersuchung der Korrelationen zwischen der Änderung des palmaren Winkels und der Ausrichtung von P1 und P2 zeigte Folgendes: Die Korrelation für die Änderung von P3 zwischen hartem und weichem Boden ergab keinen signifikanten Zusammenhang ( $RDiffP3:DiffP2 = -0,092$  mit  $PDiffP3:DiffP2 = 0,66$ ). Des Weiteren konnte kein Zusammenhang zwischen der Stellungsänderung von Kron- und Fesselbein ermittelt werden ( $RDiffP2:DiffP1 = -0,144$  mit  $PDiffP2:DiffP1 = 0,49$ ).



**Abb. 3** Beispiel für die unterschiedliche Ausrichtung von Kron- und Fesselbein auf hartem (A) und weichem (B) Boden. Pferd 1 zeigt bei steilerer Stellung des Hufbeins auf weichem Boden ein Absinken von Kron- und Fesselbein. Pferd 2 zeigt bei ebenfalls steilerer Ausrichtung des Hufbeins auf weichem Boden eine Aufrichtung von Kron- und Fesselbein.

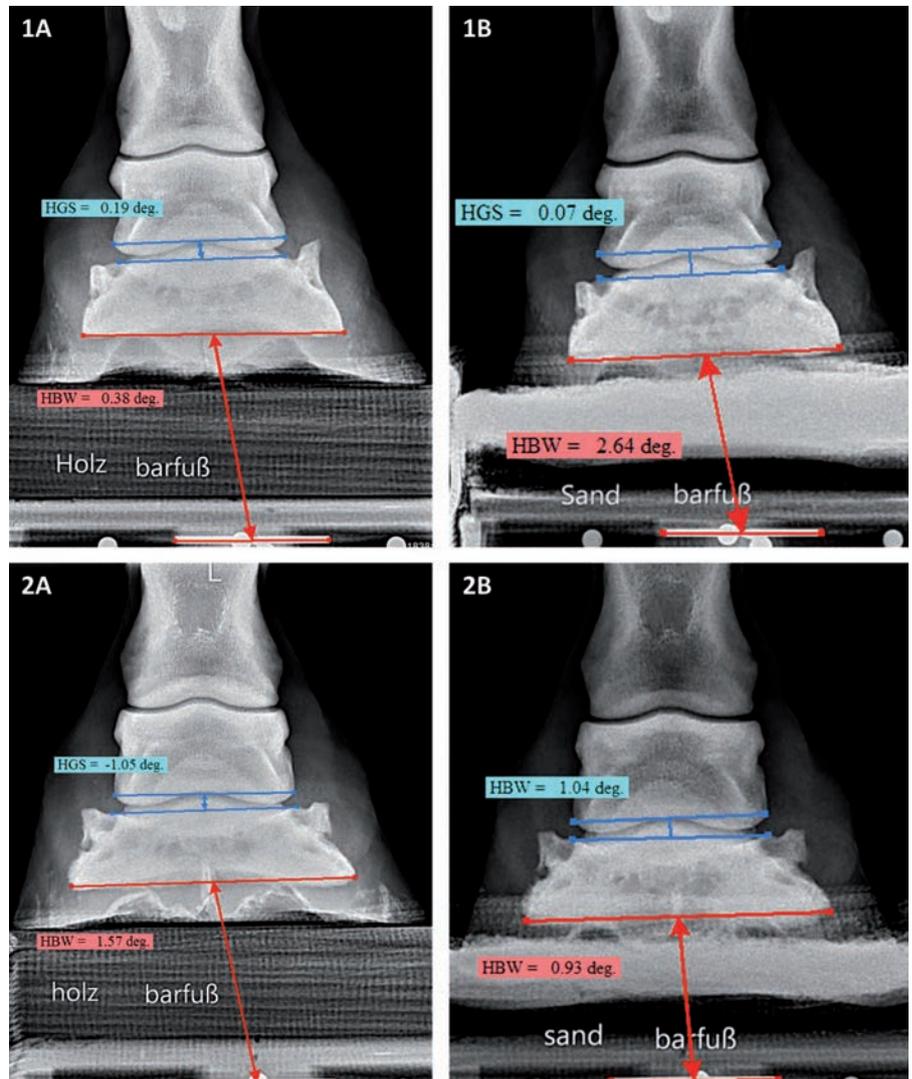
*Example for the different changes in the alignment of the 1st and 2nd phalanx between firm (A) and penetrable (B) ground. Horse 1 shows a steeper orientation of the distal phalanx on penetrable ground with a corresponding lowering of the 1st and 2nd phalanx. Horse 2 also shows a steeper orientation of the distal phalanx on penetrable ground, while the 1st and 2nd phalanx are slightly elevated.*

In der mediolateralen Ebene (AP3) stellte sich das Hufbein bei allen Pferden auf weichem Boden insgesamt  $0,78^\circ \pm 1,01^\circ$  schiefer im Vergleich zu festem Boden ( $P < 0,001$ ), wobei 3 der 25 Pferde beinahe keine Stellungsänderung der distalen Phalanx zeigten.

Betrachtet man die oberen Zehenknochen in der mediolateralen Ebene, zeigen sowohl das Kronbein (AP2) mit gemittelt  $0,54^\circ \pm 1,39^\circ$  ( $P = 0,06$ ) als auch das Fesselbein (AP1) mit  $0,21^\circ \pm 1,90^\circ$  ( $P = 0,58$ ) eine geringfügig schiefe Stellung auf weichem im Vergleich zu festem Boden. Jedoch stellte sich auch hier ein sehr heterogenes Bild der Stellungsänderungen dar. Während sich bei 18 Pferden AP2 und AP1 zwar

gleichsinnig verhielten, sanken die Knochen bei 13 Tieren auf der lateralen Seite und bei fünf Tieren auf der medialen Seite ab. Außerdem zeigten erneut drei Tiere, deren Kronbein auf der medialen Seite einsank, ein vermehrtes Einsinken des Fesselbeins auf der lateralen Seite und vier Tiere das entgegengesetzte Bild mit einem vermehrten Absinken des Kronbeins auf der lateralen Seite, während das Fesselbein medial mehr absank.

Bei der Betrachtung der Hufgelenkssymmetrie (DIPS) fällt auf, dass die Änderung der Bodenbeschaffenheit nur wenig Auswirkung zeigte. Im Mittel änderte sich dieser Parameter auf weichem Boden nur um  $0,08^\circ \pm 0,87^\circ$  im Vergleich zum har-



**Abb. 4** Beispiel für die Auswirkung von festem (A) und weichem (B) Boden auf die Hufgelenkssymmetrie. Pferd 1 zeigt den erwarteten Effekt: auf der medialen Seite ein unilaterales Einsinken auf weichem Boden mit einer vermehrten Anhebung des Hufbeins lateral und einer nahezu parallelen Hufgelenkssymmetrie. Pferd 2 zeigt das gleiche Verhalten des Hufbeins auf weichem Boden, während sich das Hufgelenk auf der lateralen Seite deutlich öffnet.

Example for the influence of firm (A) and penetrable (B) ground on the distal interphalangeal joint space symmetry. Horse 1 shows the expected effect: a unilateral sink in of the medial half of the hoof on penetrable ground with an enhanced elevation of the lateral aspect of the distal phalanx and almost parallel distal interphalangeal joint space symmetry. Horse 2 shows the same behavior of the distal phalanx on penetrable ground, while the distal interphalangeal joint space opens on the lateral side.

**Tab. 2** Beispiele für die unterschiedlichen Ausrichtungsvarianten der oberen Zehenknochen. Alle Pferde zeigen auf weichem Boden eine steilere Stellung des Hufbeins. Pferd 1: gleichmäßige Aufrichtung von Kron- und Fesselbein; Pferd 2: gleichmäßiges Absinken von Kron- und Fesselbein; Pferd 3: Während das Kronbein absinkt, richtet sich das Fesselbein auf; Pferd 4: Während sich das Kronbein aufrichtet, sinkt das Fesselbein ab.  
Examples for the different variations in the alignment of the upper toe bones. All horses show a steeper orientation of the distal phalanx on penetrable ground. Horse 1: evenly elevation of the middle and proximal phalanx; Horse 2: evenly lowering of the middle and proximal phalanx; Horse 3: The middle phalanx descends, while the proximal phalanx is elevated; Horse 4: The middle phalanx is elevated, while the proximal phalanx descends.

	Pferd 1		Pferd 2		Pferd 3		Pferd 4	
	fest	verformbar	fest	verformbar	fest	verformbar	fest	verformbar
P1	66,73	71,52	68,02	66,7	61,74	62,65	68,00	58,46
P2	56,56	59,07	58,50	54,23	55,74	54,81	57,23	57,93
P3	2,46	3,43	5,01	6,4	6,07	7,23	4,26	6,7

ten Boden ( $P = 0,67$ ). Prinzipiell kann ausgesagt werden, dass nur bei sieben Tieren eine Zunahme der Gelenkspaltsymmetrie nachzuweisen war (Abbildung 4).

Die Korrelation der Parameter in der mediolateralen Ebene zeigte, dass nur eine geringe Korrelation zwischen der der Hufbein- und Kronbeinstellung vorliegt (RDiffAP3:DiffAP2 =  $-0,375$ , PDiffAP3:DiffAP2 =  $0,06$ ). Im Gegensatz dazu zeigen die Ausrichtung von Kron- und Fesselbein einen deutlichen Zusammenhang (RDiffAP3:DiffAP1 =  $-0,638$ , PDiffAP3:DiffAP1 <  $0,0001$ ). Die Gelenkspaltsymmetrie des Hufgelenkes korreliert hingegen mit keiner Stellungsänderung der drei Phalangen (RDiffAP3:DiffDIPS =  $-0,156$ , PDiffAP3:DiffDIPS =  $0,46$ ; RDiffAP2:DiffDIPS =  $0,221$  mit PDiffAP2:DiffDIPS =  $0,29$ ; RDiffAP1:DiffDIPS =  $0,04$  mit PDiffAP1:DiffDIPS =  $0,84$ ).

## Diskussion

Die grundlegenden Ergebnisse zur Ausrichtung der drei Phalangen der distalen Pferdegliedmaße unterstreichen, wie bereits von zahlreichen anderen Arbeitsgruppen beschrieben, die deutliche Streckstellung des Fesselgelenkes (Quick und Rendano 1977, Shively 1977, Rendano und Grant 1978, Smallwood und Holladay 1987). Zudem konnte, wie bereits von Kummer et al. (2006) publiziert, gezeigt werden, dass das Hufbein in der dorsopalmaren Ebene leicht geneigt in der Hufkapsel positioniert ist. In der mediolateralen Ebene zeigt sich die distale Phalanx im Bezug zum Boden leicht nach lateral geneigt ( $1,04^\circ \pm 0,61^\circ$ ). Bezüglich der vorangegangenen Ergebnisse anderer Autoren (Caudron et al. 1998, Cripps und Eustace 1999, Kummer et al. 2006) und der vorliegenden Ergebnisse ist eine bodenparallele Ausrichtung des Hufbeins nicht als idealisierte Annahme vorzuziehen oder gar im Rahmen der Hufbearbeitung anzustreben.

In beiden Ebenen wird zudem deutlich, dass der stärkste Zusammenhang zwischen der Kron- und Fesselbeinstellung besteht. Dies ist dem Aufbau und den Eigenschaften des Krongelenks zuzuschreiben. Im Gegensatz zum Hufgelenk, hat die Verbindung der zweiten und ersten Phalanx deutlich weniger Spielraum (König und Liebich 2015). Kron- und Fesselbein sind über kurze Haltebänder (Ligg. collateralia, Ligg. palmaria) straff als Scharniergelenk miteinander verbunden (Denoix 2000). Somit wird die Stellung des Kronbeins zu weiten Teilen an das Fesselbein weiter gegeben.

Es ist davon auszugehen, dass die Belastung assoziierter Sehnen und Bänder sowie der Gelenke der distalen Gliedmaße von der veränderten Ausrichtung der Zehenknochen abhängt. Ein großer Fokus liegt dabei auf der Belastung der Tiefen und Oberflächlichen Beugesehne, dem M. interosseus medius, den Gleichbeinbändern und den Seitenbändern, da Erkrankungen der genannten Strukturen einen maßgeblichen Anteil als Lahmheitsursache und am Ausscheiden von Pferden aus der sportlichen Nutzung haben (Murray et al. 2010).

Wie in der vorliegenden Studie aufgezeigt wurde, hat die Bodenbeschaffenheit unterschiedlichen Einfluss auf die Ausrichtung der drei Phalangen. Einen konstanten Unterschied ergab der Vergleich des palmaren Winkels auf hartem und weichem Boden. Auf weichem Boden stellte sich der Huf bzw.

das Hufbein steiler – der palmare Winkel des Hufbeins nahm zu. Aus diesem Effekt ist eine Beeinflussung der Belastung der Tiefen Beugesehne und der Hufrollenregion abzuleiten. Durch die steilere Ausrichtung des Hufbeins wird die Tiefe Beugesehne entlastet und es wirkt weniger Druck auf das Strahlbein sowie die Hufrolle ein (Willemens et al. 1996, Crevier-Denoix et al. 2001, Scheffer und Back 2001). Der Huf befindet sich zudem in einer Position, die mit einem erleichterten Abrollen einhergeht, was ebenfalls die Tiefe Beugesehne gegen Ende der Stützphase entlastet (Clayton et al. 1990). Nach den Angaben anderer Arbeitsgruppen (Denoix 1985, Denoix 1999, Chateau et al. 2004) sollte die steilere Stellung des Hufbeins mit einem Absinken von Kron- und Fesselbein einhergehen. Der Winkel im Bezug zum Boden sollte abnehmen, so dass sich die Streckung des Fesselgelenkes verstärkt (Rooney 1984). Diese Stellungsänderung würde mit einer vermehrten Belastung des Fesseltrageapparates einhergehen (Lawson et al. 2007). Diese Wirkung konnte in der vorliegenden Studie nicht konsistent nachvollzogen werden. Die Korrelationen zwischen der Änderung des palmaren Winkels und der veränderten Ausrichtung von Kron- und Fesselbein waren äußerst gering und nicht mit den veränderten Bodenbeschaffenheiten in Zusammenhang zu bringen. Deutliche individuelle Schwankungen unabhängig von der veränderten Hufbeinstellung waren offensichtlich.

Dies gilt nicht nur für die Untersuchungen in der dorsopalmaren Ebene, sondern auch für die Erhebung der veränderten Ausrichtung der drei Phalangen in der mediolateralen Ebene. Von frontal betrachtet zeigt sich, dass im Vergleich zu hartem Boden auf weichem Untergrund die Seite des Hufes vermehrt in den Boden einsinkt, welche abhängig vom Körperbau des Pferdes am stärksten belastet wird (Chateau et al. 2001). Durch das Einsinken des Hufes verändert sich entsprechend die Ausrichtung des Hufbeins. In der vorliegenden Studie scheinen die untersuchten Pferde tendenziell etwas mehr mit der lateralen Hufseite einzusinken. Diese Veränderung des Hufbeinwinkels führte allerdings kaum zu einer einheitlichen bzw. signifikanten Beeinflussung der Kron- und Fesselbeinstellung, was sich an der Korrelationsberechnung der veränderten Ausrichtung auf hartem und weichem Boden zeigte. Die gleiche Inhomogenität zeigt die Untersuchung der Gelenkspaltsymmetrie des Hufgelenkes.

Aus den ermittelten Daten ergibt sich, dass die Hypothese 1 bestätigt werden kann – der palmare Hufbeinwinkel nimmt auf weichem Untergrund zu. Die Hypothese 2, die Änderung der Ausrichtung von Kron- und Fesselbein betreffend, konnte nicht bestätigt werden. Dass Huf und Hufbein entsprechend der vom Körperbau vorgegeben Belastung einseitig verstärkt in den Untergrund einsinken, konnte tendenziell wie in Hypothese 3 beschrieben, nachvollzogen werden. Allerdings ließ sich kein Zusammenhang zwischen der mediolateralen Hufbeinstellung und der Ausrichtung von Kron- und Fesselbein nachweisen (Hypothese 4). Auch die Korrelation der Hufbeinstellung mit der Gelenkspaltsymmetrie, wie in Hypothese 5 angenommen, ist nicht konsistent nachzuvollziehen.

Neben den aufgezeigten Ergebnissen soll an dieser Stelle auch der Einfluss des Studiendesigns und der Untersuchungstechnik auf die Resultate diskutiert werden. Es ist generell davon auszugehen, dass die Ergebnisse in Abhängigkeit von der Beschaffenheit der untersuchten Böden variieren werden. Konsistenz,

Homogenität, Menge, Elastizität und Körnung werden wahrscheinlich maßgeblich Einfluss auf die Ausrichtung von Huf und Hufbein nehmen. Sicher entspricht der in der vorliegenden Studie verwendete Untergrund nicht den für Reithallen oder Boxeneinstreu genutzten Böden, dennoch war durch die Kombination des weichen Polyurethanpolsters mit der Verbindung einer dünnen Sandschicht das partielle Einsinken verschiedener Hufbereiche gegeben und zudem eine Standardisierung des Untergrundes für jedes Pferd zu jeder Messung gewährleistet. Zudem erfolgte keine Überlagerung bzw. Verdeckung von für die Messung relevanten, knöchernen Strukturen.

Weiterhin ist festzuhalten, dass die radiologische Untersuchung technischen Limitierungen unterliegt. Obwohl in dieser Studie ein Untersuchungsprotokoll mit standardisierter Anordnung und Durchführung der Röntgenuntersuchung eingehalten wurde, gibt es zahlreiche Faktoren, welche die radiologischen Messungen beeinflussen (Caudron et al. 1998, Rocha et al. 2004, Kummer et al. 2006). Neben dem verwendeten Röntgensystem und der Aufnahmetechnik spielt die Positionierung des Pferdes eine große Rolle. Insbesondere die Ausrichtung der Gliedmaße in der sagittalen Ebene ist für die Untersuchung der beschriebenen Fragestellung von entscheidender Bedeutung.

Obwohl das Pferd zwischen den Messungen auf hartem und weichem Untergrund, abgesehen von dem Aufheben der zu röntgenden Gliedmaße, nicht bewegt werden musste, ist davon auszugehen, dass sich evtl. schon durch die veränderte Bodenbeschaffenheit ein Einfluss auf die Belastung der Gliedmaße ergibt. Dabei wirkt sich die Belastung der Gliedmaße zum Zeitpunkt der Aufnahme maßgeblich auf die Gelenkspaltsymmetrie und die Ausrichtung des Kron- und Fesselbeins aus (Rooney 1984, Lawson et al. 2007). Hinzu kommt, dass Röntgenbilder lediglich eine Momentaufnahme eines mehr oder weniger dynamischen Zustandes darstellen. Neben der Anfertigung der Röntgenbilder ist auch deren Auswertung und Vermessung von einigen Faktoren abhängig. Abhängig von der Knochenform und -kontur, sowie des Grades der Überlagerung und Verzerrung von Strukturen, erschwert sich die genaue Ausmessung von Längen und Winkeln. Von Vorteil ist, dass die Metron Software eine exakte Kalibrierung ermöglicht, so dass einige Fehler im Vorfeld beseitigt werden können. Weiterhin liegt der Messfehler für die Parameter nach eigenen Vorversuchen (N=70 Barhufe) und Erfahrungen unter einem Grad (AP3 = 0,3°, AP2 = 0,25°, AP1 = 0,18°, DIPS = 0,21°, P3 = 0,48°, P2 = 0,89°, P1 = 0,93°). Damit ist, wie auch bereits von anderen Autoren untersucht (Rocha et al. 2004), mit dem Metron Hoof System eine standardisierte, vergleichende Ausmessung von Röntgenbildern gewährleistet.

Aufgrund der aufgezeigten Limitierungen der Röntgenuntersuchung, wie die Belastungsabhängigkeit, der Momentaufnahmecharakter und die Eigenschaften eines zweidimensionalen Summationsbildes, sind weiterführende Untersuchungen mit Hochgeschwindigkeits-Fluoroskopischer Kinematographie in der Durchführung. Diese Technik ermöglicht eine Aufnahme bis zu sechs Sekunden in der Bewegung. Anschließend kann basierend auf den Daten vorangegangener CT-Messungen eine dreidimensionale Rekonstruktion der Knochensäule erfolgen. Daran kann die Ausrichtung der einzel-

nen Phalangen in allen drei Ebenen im Raum, beispielsweise in der Hauptstützphase, berechnet werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Bodenbeschaffenheit einen maßgeblichen Einfluss auf die Ausrichtung von Huf und Hufbein hat. Es ist daher davon auszugehen, dass die Veränderung des palmarer Winkels sich direkt auf die Belastung der tiefen Beugesehne und der Hufrollenregion auswirkt, was bei Pferden mit Erkrankungen dieser Strukturen in das Management des orthopädischen Patienten einbezogen werden sollte. Inwieweit sich die Beeinflussung des palmarer Hufbeinwinkels auf die Ausrichtung von Kron- und Fesselbein bzw. auf den Fesselgelenkwinkel und damit auf die Beanspruchung des Fesseltrageapparates auswirkt, ist nicht abschließend zu klären und bedarf weiterführender Untersuchungen. Mit Sicherheit sind im Rahmen der orthopädischen Behandlung entsprechender Schäden im Bereich der distalen Gliedmaße, bzw. bei der Ausprägung unerwünschter Nebenwirkungen, die Dauer der Umstellung und die Gliedmaßenkonformation mit in das Management einzubeziehen. Dies macht eine enge Zusammenarbeit zwischen Tierarzt und Hufbeschlagschmied unumgänglich, um eine optimale Versorgung des erkrankten Pferdes zu gewährleisten.

## Tierschutzerklärung

Die Studie wurde vom Ethik Komitee des sächsischen Staates als Tierversuch genehmigt (Landesdirektion Sachsen, Büro Leipzig, 15-102/12).

## Literatur

- Benoit D., Ramsejd D. K., Lamontagne M., Xuf L., Wretenberg P., Renström P. (2006) Effect of skin movement artifact on knee kinematics during gait and cutting motions measured in vivo. *Gait Posture* 24, 152-164
- Burn J. F. (2006) Time domain characteristics of hoof-ground interaction at the onset of stance phase. *Equine Vet. J.* 38, 657-663
- Burn J. F., Usmar S. J. (2007) Hoof landing velocity is related to track surface properties in trotting horses. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* 2, 37-41
- Caudron I., Grulke S., Farnir F., Aupaix R., Sertejn D. (1998) Radiographic Assessment of Equine Interphalangeal Joints Asymmetry: Articular Impact of Phalangeal Rotations (Part I). *J. Vet. Med.* 45, 319-325
- Caudron I., Grulke S., Farnir F., Aupaix R., Sertejn D. (1998) Radiographic Assessment of Equine Interphalangeal Joints Asymmetry: Articular Impact of Phalangeal Rotations (Part II). *J. Vet. Med.* 45, 327-335
- Chateau H., Degeurce C., Jerbi H., Crevier-Denoix N., Pourcelot P., Audigié F., Pasqui-Boutard V., Denoix J. M. (2001) Normal three-dimensional behaviour of the metacarpophalangeal joint and the effect of uneven foot bearing. *Equine Vet. J.* 33, 84-88
- Chateau H., Degueurce C., Denoix J. M. (2004) Effects of 6° elevation of the heels on 3D kinematics of the distal portion of the forelimb in the walking horse. *Equine Vet. J.* 36, 649-654
- Chateau H., Camus M., Holden-Douilly L., Falala S., Ravary B., Vergari C., Lepley J., Denoix J. M., Pourcelot P., Crevier-Denoix N. (2013) Kinetics of the forelimb in horses circling on different ground surfaces at the trot. *Vet. J.* 198, 20-26
- Cheney J. A., Shen C. K., Wheat J. D. (1973) Relationship of race-track surface to lameness in the thoroughbred racehorse. *Am. J. Vet. Res.* 34, 1285-1289

- Clanton C., Kobluk C., Robinson R. A., Gordon B. (1991) Monitoring surface conditions of a thoroughbred racetrack. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 198, 613-620
- Clayton H. M., Sigafoos R., Curle R. D. (1990) Effect of three shoe types on the duration of breakover in sound trotting horses. *J. Equine Vet. Sci.* 11, 129-132
- Clayton H. M. (2010) Biomechanics of the Distal Interphalangeal Joint. *J. Equine Vet. Sci.* 30, 401-405
- Crevier-Denoix N., Roosen C., Dardillat C., Pourcelot P., Jerbi H., Sanaa M., Denoix J. M. (2001) Effects of heel and toe elevation upon the digital joint angles in the standing horse. *Equine Vet. J.* 33, 74-78
- Crevier-Denoix N., Ravary-Plumioën B., Vergari C., Camus M., Holden-Douilly L., Falala S., Jerbi H., Desquilbet L., Chateau H., Denoix J. M., Pourcelot P. (2013) Comparison of superficial digital flexor tendon loading on asphalt and sand in horses at the walk and trot. *Vet. J.* 198, 130-136
- Cripps P. J., Eustace R. A. (1999) Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. *Equine Vet. J.* 31, 427-432
- Denoix J. M. (1985) Etude biomécanique de la région phalangienne chez le cheval In: Proceedings of the 11th Meeting of the Centre d'Etude et de Recherche sur l'Economie et l'Organisation des Productions Animales (CEREOPA), Paris pp 60-75
- Denoix J. M. (1999) Functional anatomy of the equine interphalangeal joints. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 45, 174-177
- Denoix J. M. (2000), *The Equine Distal Limb. An Atlas of Clinical Anatomy and Comperative Imaging.* 1st Edition, Manson Publishing, 35-341
- Gustas P., Johnston C., Drevemo S. (2007) Ground reaction force and hoof deceleration patterns on two different surfaces at the trot. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* 3, 209-216
- Kai M., Takahashi T., Aoki O., Oki H. (1999) Influence of rough track surfaces on components of vertical forces in cantering thoroughbred horses. *Equine Vet. J.* 30 (Suppl.), 214-217
- König H. E., Liebich H. G., Maierl J. (2015) Vorder- oder Schultergliedmaße (Membra thoracica). *Anatomie der Haussäugetiere – Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis.* Herausgegeben von König H. E., Liebich H. G., Schattauer GmbH, Stuttgart, 6. Auflage, 183-188
- Kummer M., Geyer H., Imboden I., Auer J. A., Lischer C. (2006) The effect of hoof trimming on radiographic measurements of the front feet of normal Warmblood horses. *Vet. J.* 172, 58-66
- Lawson S. E. M., Chateau H., Pourcelot P., Crevier-Denoix N., Denoix J. M. (2007) Effect of toe and heel elevation on calculated tendon strains in the horse and the influence of the proximal interphalangeal joint. *J. Anat.* 210, 583-591
- McIlwraith C. W. (1982) Current concepts in equine degenerative joint disease. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 180, 239-250
- Murray R. C., Walters J. M., Snart H., Dysom S. J., Parkin T. D. H. (2010) Identification of risk factors for lameness in dressage horses. *Vet. J.* 184, 27-36
- Oosterlinck M., Royaux E., Back W., Pille F. (2014) A preliminary study on pressure-plate evaluation of forelimb toe-heel and medio-lateral hoof balance on a hard vs. a soft surface in sound ponies at the walk and trot. *Equine Vet. J.* 46, 751-755
- Parks A. H. (2003) Treatment of acute Laminitis. *Equine Vet. Educ.* 15, 273-280
- Parkin T. D., Clegg P. D., French N. P., Proudman C. J., Riggs C. M., Singer E. R., Webbon P. M., Morgan K. L. (2004) Risk of fatal distal limb fractures among thoroughbreds involved in the five types of racing in the United Kingdom. *Vet. Rec.* 154, 493-497
- Perkins N. R., Reid S. W. J., Morris R. S. (2005) Risk factors for musculoskeletal injuries of the lower limbs in thoroughbred racehorses in New Zealand. *New Zeal. Vet. J.* 53, 171-183
- Quick C. B., Rendano V. T. (1977) Equine radiology; the pastern and foot. *Mod. vet. Pract.* 58, 1022-1027
- Ratzlaff M. H., Wilson P. D., Hutton D. V., Slinker B. K. (2005) Relationships between hoof-acceleration patterns of galloping horses and dynamic properties of the track. *Am. J. Vet. Res.* 66, 589-595
- Reilly P. T., Dean E. K., Orsini J. A. (2010) First Aid for the Laminitic Foot: Therapeutic and Mechanical Support. *Vet. Clin. Equine* 26, 451-458
- Reinschmidt C., van den Bogert A. J., Nigg B. M., Lundberg A., Murphy N. (1997) Effect of skin movement on the analysis of skeletal knee joint motion during running. *J. Biomech.* 30, 729-732
- Rendano V. T., Grant B. (1978) The equine third phalanx; its radiographic appearance. *J. Am. Vet. Radiol. Soc.* 19, 125-135
- Roach J. M., Pfau T., Bryars J., Unt V., Channon S. B., Weller R. (2014) Sagittal distal limb kinematics inside the hoof capsule captured using high-speed fluoroscopy in walking and trotting horses. *Vet. J.* 202, 94-98
- Rocha J. V., Lischer C. J., Kummer M., Hässig M., Auer J. A. (2004) Evaluating the measuring software package Metron-PX for morphometric description of equine hoof radiographs. *Equine Vet. Sci.* 24, 347-354
- Rooney J. R. (1984) The Angulation of the Forefoot and Pastern of the Horse. *Equine Vet. Sci.* 4, 138-143
- Scheffer C. J. W., Back W. (2001) Effects of 'navicular' shoeing on equine distal forelimb kinematics on different track surface. *Vet. Quart.* 23, 191-195
- Scherer M. (2012) Orthopädischer Beschlag bei Bewegungsstörungen. *Der Huf- Lehrbuch des Hufbeschlages.* Herausgegeben von Litzke L.F., Rau B., Enke Verlag, Stuttgart, 6. Auflage, 241-248
- Shively M. J. (1977) Normal radiographic anatomy of the equine digit. *Southwest Vet.* 30, 193-199
- Smallwood J. E., Holladay S. D. (1987) Xeroradiographic anatomy of the equine digit and metacarpophalangeal region. *Vet. Radiol.* 28, 166-173
- Stover S. M., Setterbo J. J., Garcia-Nolen T. C., Campbell P. I., Resse J. L., Wade J. M., Kim S. Y., Hubbard M. (2008) Hoof accelerations and ground reaction forces of thoroughbred racehorses measured on dirt, synthetic, and turf track surfaces. In: 6th International Conference on Equine Locomotion, Cabourg, France, p. 43
- Thomason J. J., Peterson M. L. (2008) Biomechanical and mechanical investigations of the hoof-track interface in racing horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Pract.* 24, 53-77
- Willemsen M. A., Jacobs M. W. H., Savelberg H. H. C. M., Barneveld A. (1996) Management of navicular disease: Biomechanical effects of different shoeing types. *Vet. Surg.* 25, 268-269