

Morphometrische Messungen am Pferdehuf – eine Literaturübersicht

Katharina Thieme, Anna Ehrle und Christoph Lischer

Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie, Freie Universität Berlin

Zusammenfassung: Morphometrische Messungen am Pferdehuf dienen der Erfassung der normalen Hufform und der Quantifizierung von Abweichungen davon. Konformationsstörungen können dadurch erkannt, deren Korrektur geplant, umgesetzt und kontrolliert sowie Erkrankungen wie z.B. die Hufrehe diagnostiziert werden. Die Akkuranz und Wiederholbarkeit der Messungen wird beeinflusst durch die Röntgentechnik und die Durchführung der eigentlichen Messungen. Grundlage um Messungen am Röntgenbild des Pferdehufes durchzuführen ist eine gründliche Vorbereitung und präzise Röntgentechnik sowie genaue, konsequent am selben anatomischen Punkt durchgeführte Markierung und Messung. Bei der Beurteilung der Parameter müssen rassespezifische Unterschiede, die Größe des Tieres sowie die klinische Relevanz und Variabilität des Parameters beachtet werden. Je größer die Spannbreite an normalen Werten bei gesunden Hufen, desto schwieriger gestaltet sich die Abgrenzung zu pathologischen Zuständen. Die umfassende Beurteilung zusammenhängender Parameter erlaubt eine genaue Einschätzung des Zustandes der Hufe. Ziel dieser Literaturübersicht ist es, standardisierte Röntgentechniken des Hufs zu beschreiben, die wichtigsten morphometrischen Parameter im Hinblick auf Messgenauigkeit und klinische Relevanz zu beurteilen und eine Übersicht über publizierte Referenzwerte zu geben.

Schlüsselwörter: Hufparameter / Referenzwerte / Normwerte / Röntgentechnik / Relevanz / Orthopädie

Morphometric measurements of the horses hoof – A review of the literature

Healthy hooves with good quality horn and ideal hoof conformation form the basis for a healthy horse that can achieve high performance levels. Morphometric measurements of the hoof are used to survey normal hoof shape and to quantify deviations from it. They assist in identifying poor hoof conformation and in planning, implementing and controlling corrections as well as diagnosing hoof-related diseases such as laminitis. The accuracy and reproducibility of these measurements are influenced by the radiographic technique used and the procedure of taking the measurements themselves. The basis for taking measurements from radiographs of the horses hoof is a thorough preparation. Precise, consequently at the same anatomical landmark, placement of the markers and performing of the measurements is crucial. When interpreting the parameters it has to be kept in mind that they have unequal clinical relevance and statistical variability and that the breed and height of the animal significantly influence the measurements. The wider the range of normal values the more difficult it is to distinguish between normal and abnormal values. A comprehensive assessment of coherent measurements allows an accurate evaluation of the condition of the hoof. The aims of this review of literature are to describe standardised radiographic techniques, to evaluate the most important morphometric parameters regarding both their likely accuracy and clinical relevance and to give an overview of published reference values.

Keywords: hoof parameters / reference values / normal values / radiographic technique / relevance / orthopedics

Zitation: Thieme K., Ehrle A., Lischer C. (2015) Morphometrische Messungen am Pferdehuf – eine Literaturübersicht. *Pferdeheilkunde* 31, 108-118

Korrespondenz: Katharina Thieme, Freie Universität Berlin, Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie, Oertzenweg 19b, 14163 Berlin, E-Mail: katharina.thieme@fu-berlin.de

Einleitung

Eine wichtige Grundlage für die uneingeschränkte Nutzung eines Pferdes sind gesunde Hufe mit guter Hornqualität und idealer Hufkonformation. In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene morphometrische Parameter definiert, um die normale Hufform zu erfassen und Abweichungen davon zu quantifizieren. Die Vermessung der dreidimensionalen Hufkapsel erfolgte dabei direkt an der Hufkapsel (Kobluk et al. 1990, Moleman et al. 2005) oder auf digitalen Photographien (Kane et al. 1998, White et al. 2008, Dyson et al. 2011). Die bekannteste Methode bleibt jedoch die standardisierte röntgenologische Darstellung des Hufes, weil damit sowohl die Hufkapsel wie auch die darin enthaltenen knöchernen Strukturen und deren Beziehung zueinander morphometrisch erfasst werden können. Die objektive Dokumentation der Hufform dient als Grundlage, um den Zusammen-

hang zwischen bestimmten Hufkonformationen und orthopädischen Erkrankungen festzustellen (Baxter 2011). Durch regelmäßige röntgenologische Routineuntersuchungen im Rahmen präventiver Hufpflegeprogramme können Hufkonformationsstörungen frühzeitig erkannt und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden (Mansmann und vom Orde 2007). Mit Hilfe von morphometrischen Kenngrößen kann der Hufschmied erforderliche Korrekturmaßnahmen exakt planen, umsetzen und kontrollieren. Morphometrische Messungen werden auch zur Beschreibung pathologischer Zustände des Hufes verwendet. Das bekannteste Beispiel ist die Hufrehe, bei der eine Änderung der Position des Hufbeins in Relation zur Hufkapsel stattfindet. Durch die Messungen kann festgestellt werden, ob und in welchem Maße eine Lageveränderung stattgefunden hat, was die klinische Diagnose absichert und die Prognose und Therapie beeinflusst (Cripps und Eustace 1999b, Sherlock und Parks 2013).

Ziel dieser Literaturübersicht ist es, standardisierte Röntgentechniken des Hufes zu beschreiben, die wichtigsten morphometrischen Parameter im Hinblick auf Messgenauigkeit und klinische Relevanz zu beurteilen und eine Übersicht über publizierte Referenzwerte zu geben.

Röntgentechnik

Die Akkuranz und Wiederholbarkeit von morphometrischen Messungen am Huf wird einerseits beeinflusst durch die eigentliche Messung von Strecken und Winkeln auf dem Röntgenbild sowie der Röntgentechnik. Grundvoraussetzung für die Erstellung von qualitativ hochwertigen Röntgenbildern des Hufes ist die Vorbereitung des Hufes, die Verwendung von Markern, die Positionierung der Gliedmaße und die Orientierung des Zentralstrahls. Die allgemein geltenden Richtlinien zur Anfertigung eines korrekten lateromedialen und dorsopalmareren Röntgenbildes werden in den entsprechenden Fachbüchern detailliert ausgeführt (Butler et al. 2008, Ross und Dyson 2010, Baxter 2011). Bei der morphometrischen Beurteilung haben jedoch die nachfolgenden Punkte eine herausragende Bedeutung:

Vorbereitung des Hufs

Der Huf muss gründlich gesäubert werden. Falls notwendig sollten Sohle und Strahl nachgeschritten und loses Horn entfernt werden. Abhängig von der Fragestellung müssen auch die Hufeisen abgenommen werden.

Die Positionierung von Huf und Zentralstrahl

Zur vollständigen Abbildung des Hufes müssen beide Gliedmaßen bei gleichmäßiger Belastung und mit senkrechter Ausrichtung der Metacarpal- bzw. Metatarsalknochen auf einem Block positioniert werden. Meist werden Blöcke von ca. 7–9 cm Höhe verwendet (Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2004, Collins et al. 2011), die in dieser Form kommerziell erhältlich sind (z.B. Podoblock Flatplate, Höhe 7,5 cm, MXR Podoblock B. V., Midlaren, Niederlande). In Hufkonformationsstudien wurden auch 20 cm hohe Blöcke genutzt (Smith et al. 2004, Dyson et al. 2011), deren Verwendung wurde jedoch nicht begründet. Es ist anzunehmen, dass der Einfluss auf die Belastung und Winkelung der distalen Gliedmaße im Vergleich zu niedrigeren Blöcken größer ist.

In der lateromedialen (90°) Aufnahme liegt der Zentralstrahl auf einer Linie, die von der Mitte des Kronsaums (halbe Strecke zwischen dorsalsten und palmarsten/plantarsten Punkt des Kronsaums) in Richtung der Hornröhren zur Fußungsfläche verläuft. Zur Darstellung der proximal im Huf gelegenen Strukturen wie z. B. Strahlbein oder Hufgelenk wird empfohlen, den Zentralstrahl 1–2 cm distal des Kronsaums auf dieser Linie zu legen (Kummer et al. 2004, Smith et al. 2004, Dyson et al. 2011). Für die Vermessung von distal im Huf gelegenen Strukturen wie z. B. Hufbeinäste, Hufbeinspitze, oder Sohlendicke sollte der Zentralstrahl ca. 1,5–3 cm proximal der Fußungsfläche liegen (Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a, Parks und O'Grady 2003). Für Hufschmiedebelange wird der Zentralstrahl häufig weit distal zwischen Tragrand und Hufeisen zentriert. Es ist

darauf zu achten, dass der Zentralstrahl senkrecht zur Sagittalebene des Hufes verläuft, weil schon eine geringe Abweichung signifikante Unterschiede bei Winkelmessungen im Vergleich zu korrekten 90°-Aufnahmen verursacht (Tacchio et al. 2002). In der 0°-Aufnahme wird der Röntgenstrahl sagittal auf der dorsalen Hufwand zentriert, auf derselben Höhe wie in der 90°-Aufnahme (Parks und O'Grady 2003, Kummer et al. 2006).

Röntgendichte Marker

Röntgendichte Marker sind einerseits anatomische Orientierungspunkte und zum anderen sind sie als Referenzobjekte zum Kalibrieren von Längenmessungen erforderlich (Kummer et al. 2004). Zur Markierung anatomischer Orientierungspunkte können Drähte, Bariumpaste oder Kugeln verwendet werden (Collins 2004, Eliashar et al. 2004, Sherlock und Parks 2013, Thieme et al. in press). Drähte haben den Nachteil, sich nicht an die Kontur des Hufes anzupassen (Eggleston 2012). In der 90°-Aufnahme werden markiert: die dorsale Hufwand, die Fußungsfläche, die Sohle, der palmarste/plantarste Punkt des Tragrandes und der palmarste/plantarste Punkt des Kronsaums (Abb. 1). Die Markierung der dorsalen Wand erfolgt vom Kronsaum ausgehend nach distal. Entscheidend ist hierbei die Positionierung des proximalen Endes des Markers. Der Marker muss immer am gleichen, definierten Punkt angelegt werden, um die Reproduzierbarkeit der Messungen zu gewährleisten. Empfohlen wird die Behaarungsgrenze (Abb. 2), d.h. den Austritt des letzten Haares in der Sagittalebene dorsoproximal des Kronsaums (Kummer et

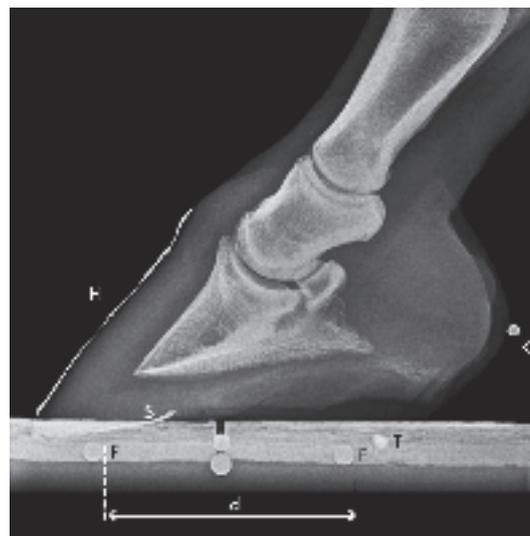


Abb. 1 Lateromediale Röntgenaufnahme des Hufes mit Markern. H=Markierung der dorsalen Hufwand mit Bariumpaste, S=Markierung der Sohle mit Bariumpaste, F=Markierung der Fußungsfläche mit im Block eingelassenen Kugeln, K=Markierung des palmaren/plantaren Kronsaums mit einer Kugel, T=Markierung des palmaren/plantaren Tragrandes mit Bariumpaste, d=Abstand zwischen den die Fußungsfläche markierenden Kugeln zu Kalibrierungszwecken.

Lateromedial radiographic view with radiopaque markers. H=highlighting the dorsal wall with barium paste, S=highlighting the sole with barium paste, F=highlighting the weightbearing surface with metal balls embedded in the block, K=highlighting the palmar/plantar coronary band with a metal ball, T=highlighting the palmar/plantar heel with barium paste, d=distance between the metal balls embedded in the block for calibration.

al. 2006). Alternativ kann der Punkt, an dem das Hufhorn bei moderatem Druck eindellbar ist, verwendet werden (Cripps und Eustace 1999a). Die subjektive Einschätzung des Untersuchers von moderatem Druck und die unterschiedliche Hornfestigkeit verschiedener Hufe sind mögliche Fehlerquellen der letzteren Methode. Die Fußungsfläche wird durch im Boden eingebettete Marker gekennzeichnet. Bei beschlagenen Pferden kann das Hufeisen als Markierung der Fußungsfläche dienen. Der Zentralstrahl muss hierfür auf die Fußungsfläche zentriert werden, da sich die Hufeisenschelkel sonst nicht überlagern. Die Sohle wird von der Hufspitze bis zur Strahlspitze markiert. Bariumpaste ist dafür am besten geeignet, weil sie einfach zu applizieren ist und auf der zum Teil unebenen Fläche des Sohlenhorns gut haftet (Kummer et al. 2004, Olivier-Carstens 2004). Tragrand und Kronsaum werden am palmarsten / plantarsten Punkt markiert, wobei meistens Bariumpaste verwendet wird (Kummer et al. 2004, Eggleston 2012). In der 0°-Aufnahme werden die mediale und laterale Hufwand, entlang der weitesten Stelle des Hufes vom Kronsaum ausgehend nach distal, gekennzeichnet (Kummer et al. 2006).

In der 90°-Aufnahme kann zur Kalibrierung ein Metallstab bekannter Länge an der dorsalen Hufwand angebracht werden. Nachteilig hierbei ist, dass eine seitliche Verkipfung des Markers zu einer relativen Kürzung auf dem zweidimensionalen Röntgenbild führt. Einen ähnlichen Schwachpunkt haben im Block eingebettete stabförmige Marker, wenn der Zentralstrahl nicht im 90°-Winkel auf den Block fällt. Eine gute Alternative bilden Kugeln, deren Durchmesser unabhängig von der Winkelung des Zentralstrahls abgebildet wird. Diese werden in den handelsüblichen Blöcken verwendet (z.B. Metron Block, EponaTech LLC, Creston, USA). Werden jeweils zwei Kugeln in der sagittalen Ebene beider Projektionsrichtungen (Abb. 1) im Block eingebettet, wird auch die Fußungsfläche markiert (Thieme et al. in press).

Messungen

Nur wenige Studien validierten die Messungen morphometrischer Hufparameter. Kummer et al. (2004) untersuchten die Reproduzierbarkeit einer standardisierten Röntgentechnik durch Wiederholunguntersuchungen sowohl an lebenden Tieren wie auch toten Beinen. Es zeigte sich, dass bei Verwendung einer standardisierten Röntgentechnik nur eine geringe intra- und interobserver Variabilität vorhanden ist. Auch die

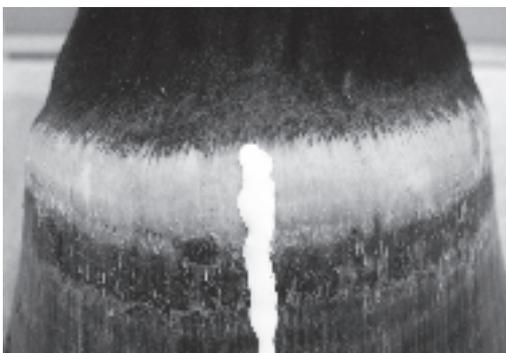


Abb. 2 Markierung der dorsalen Hufwand mit Bariumpaste von der Haargrenze ausgehend nach distal
Highlighting the dorsal hoof wall with barium paste bordering the hairline.

Überprüfung der radiologischen Messwerte mit anderen Messmethoden zeigte eine geringe Variabilität. So ergab der Vergleich der direkten Messung am Präparat mit der röntgenologischen Messung der Länge der palmaren Cortex an isolierten Hufbeinen keine signifikanten Unterschiede (Tocchio et al. 2002). Die röntgenologische, die direkte an Schnittpräparaten durch die sagittale Ebene des Hufes und die sonographische Messungen der Sohlendicke lieferte ebenfalls vergleichbare Resultate (Olivier-Carstens 2004). Es kann daraus geschlossen werden, dass die Messung morphometrischer Parameter an Röntgenbildern, insbesondere Streckenmessungen, eine gute Wiederholbarkeit und Genauigkeit aufweisen. In letzter Zeit werden vermehrt Messungen der Hufkonformation an 0°-Aufnahmen an der belasteten Gliedmaße im horizontalen Strahlengang durchgeführt. Kummer et al. (2004) untersuchten die Reproduzierbarkeit einiger Parameter in dieser Projektion und erhielten genau so gute Ergebnisse wie in der 90°-Aufnahme. Die Untersuchungen beschränkten sich jedoch auf Messungen der Dimensionen von Knochen und Hufkapsel. Messungen des Verhältnisses der Hufkapsel und der Zehenknochen zueinander (Thieme et al. in press) sowie der Inkongruenz der Gelenkspalten (Sherlock und Parks 2013) wurden, laut unserem Kenntnisstand, nicht validiert, daher wird in dieser Literaturübersicht nicht auf Messungen der 0°-Röntgenaufnahme eingegangen.

Messungen der Hufkonformation

Lateromediale Aufnahme (Abb. 3)

Winkel

Der Hufwinkel (Winkel zwischen der dorsalen Hufwand und der Fußungsfläche) ist der am häufigsten untersuchte Hufparameter. Ein kleiner Hufwinkel bewirkt eine Hyperextension in Hufgelenk und Krongelenk, wodurch eine rückwärts gebrochene Zehenachse entsteht (Bushe et al. 1987, Chateau et al. 2004) und der Zug auf die tiefe Beugesehne (TBS) und

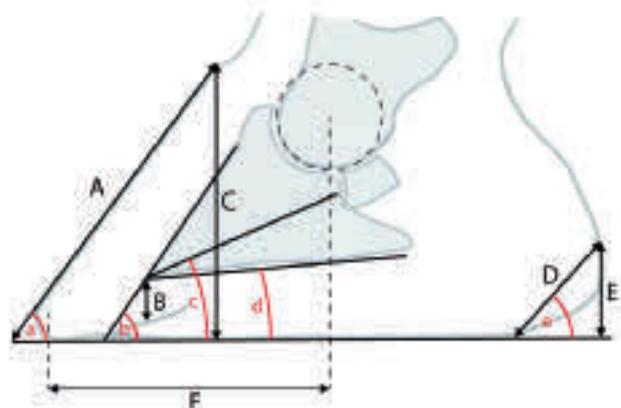


Abb. 3 Skizze der Konformationsmessungen der lateromedialen Aufnahme. Strecken: A = Zehenlänge, B = Sohlendicke, C = dorsale Kronsaumhöhe, D = Trachtenlänge, E = palmar/plantare Kronsaumhöhe, F = Hufbalance. Winkel: a = Hufwinkel, b = Hufbeinwinkel, c = Sohlenwinkel, d = Palmar-/Plantarwinkel, e = Trachtenwinkel
Conformational measurements of the lateromedial view. Distances: A = dorsal wall length, B = sole thickness, C = dorsal coronary band height, D = heel length, E = palmar/plantar coronary band height, F = hoof balance. Angles: a = hoof angle, b = distal phalanx angle, c = sole angle, d = palmar/plantar angle, e = heel angle.

deren Druck auf das Strahlbein vergrößert werden (*Eliashar et al. 2004, Moleman et al. 2006*). *Willemen et al. (1999)* zeigten, dass der Druck der TBS auf das Strahlbein durch Trachtenkeile, welche den Hufwinkel um 6° vergrößern, um 24% reduziert wird. Auch die Größe und Verteilung der Belastung in den Geweben des Hufes werden negativ beeinflusst (*Thomason et al. 2005*). Insbesondere der Hufbeinträger wird bei kleinen Hufwinkeln vermehrt im Zehenbereich beansprucht (*McClinchey et al. 2003*).

Die Referenzbereich für den Hufwinkel von normalen Vordergliedmaßen liegt zwischen 45° und 55° (*Linford et al. 1993, Ruohoniemi et al. 1997b, Kane et al. 1998, Cripps und Eustace 1999a, Eliashar et al. 2004, Cruz et al. 2006, Kummer et al. 2006, Faramarzi et al. 2009, Ross und Dyson 2010*). Für die Hintergliedmaßen wird häufig ein größerer Winkel angegeben (*Ross und Dyson 2010, Baxter 2011*). Der Hufwinkel der Hintergliedmaßen wurde allerdings bei Großpferden bisher nicht an größeren, definierten Populationen röntgenologisch bestimmt. Bei einer Untersuchung von Ponies war der Hufwinkel der Hintergliedmaßen durchschnittlich $3,3^\circ$ kleiner als an den Vordergliedmaßen (*Thieme et al. in press*).

Bei der Messung des Hufwinkels muss beachtet werden, dass die Größe des Winkels vor allem von der Position der Geraden entlang der Hufwand abhängt. Bei Hufen mit ungerader dorsaler Wand gibt es unterschiedliche Auffassungen, wie sie gelegt werden sollte. Einige Autoren orientierten sich hierzu am längsten geraden Abschnitt der dorsalen Hufwand (*Dyson et al. 2011, Dyson et al. 2011*) oder an der proximalen Hälfte der dorsalen Hufwand (*Smith et al. 2004*), andere wählten eine Ausgleichsgerade (*Kane et al. 1998*). Die verschiedenen Messmethoden zeigten für sich alle eine gute Wiederholbarkeit mit geringer Streubreite, so dass im Hinblick auf Akkuranz keine Methode eindeutig favorisiert werden kann. Es gibt käuflich erwerbliche Software (z.B. *Metron-PX, Epona-Tech LLC, Creston, USA*), welche dem Untersucher beim Anlegen der Geraden entlang der dorsalen Hufwand (und aller anderen Messparameter) assistiert (*Kummer et al. 2006, Collins et al. 2011*), womit eine gute Wiederholbarkeit der Parameter und Reproduzierbarkeit unter Untersuchern erreicht wird (*Rocha et al. 2004*).

Der Hufbeinwinkel beschreibt den Winkel zwischen der dorsalen Hufbeinkontur und der Fußungsfläche. Pferde mit Erkrankungen der TBS und Strahlbeinerkrankungen hatten in einer Studie kleinere Hufbeinwinkel als Pferde mit anderen Erkrankungen (*Dyson et al. 2011*). Der Hufbeinwinkel ist bei normalen Hufen grundsätzlich gleich dem Hufwinkel, da die dorsale Hufwand und die dorsale Hufbeinkontur bei gesunden Hufen parallel verlaufen. Durch die Hufzubereitung oder Messungenauigkeiten auf Grund der Formvariationen des Hufbeins und der Hufwand kommt es vor, dass ein kleinerer Hufbein- als Hufwinkel gemessen wird (*Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006, Dyson et al. 2011, Thieme et al. in press*).

Die dorsale Hufbeinkontur ist weniger variabel in ihrer Form als die dorsale Hufwand. Bei gekrümmter dorsaler Hufbeinkontur wird die Gerade durch folgende Punkte gelegt: 1) unmittelbar distal des Processus extensorius und 2) unmittelbar proximal der Hufbeinspitze (*Linford et al. 1993*).

Der Palmar-/Plantarwinkel ist der Winkel zwischen dem Margo solearis des Hufbeins und der Fußungsfläche. Liegt die Hufbeinspitze in Relation zur Fußungsfläche tiefer als die Hufbeinäste ist der Winkel positiv, im umgekehrten Fall negativ. Grundsätzlich sollte der Winkel positiv sein; bei Pferden mit langem Zehenteil und niedrigen Trachten strebt der Winkel gegen Null, z.T. wird er sogar negativ. Dies bewirkt eine Belastung der TBS und des Strahlbeins, da eine negative Korrelation zwischen dem Palmarwinkel und der Kraft, welche die TBS auf das Strahlbein ausübt, besteht (*Eliashar et al. 2004*).

Referenzwerte für den Palmarwinkel liegen zwischen 3° und 10° (*Eliashar et al. 2004, Kummer et al. 2006, Butler et al. 2008, Ross und Dyson 2010, Collins et al. 2011, Dyson et al. 2011*). Untersuchungen an australischen Wildpferden zeigten eine auffällige Vergleichbarkeit des Palmarwinkels ($5,7 \pm 1,6$) verschiedener Populationen, trotz deutlicher Unterschiede der meisten anderen Parameter (*Hampson et al. 2013*). Die Autoren schlussfolgerten daraus, dass der Palmarwinkel eine Schlüsselrolle in der Funktionalität des Hufes spielt.

Eine Messung des Palmar-/Plantarwinkels ist nur bei perfekter Überlagerung der Hufbeinäste zulässig. Gelingt dies trotz guter Röntgentechnik nicht, muss eine mediolaterale Imbalance des Hufbeins in Betracht gezogen werden, was mit einer 0° -Aufnahme der belasteten Gliedmaße mit horizontalem Strahlengang überprüft wird (*Turner 2006*).

Der Sohlenwinkel beschreibt den Winkel zwischen dem Planum cutaneum des Hufbeins und der Fußungsfläche. Die Ansatzstelle der TBS befindet sich zentral am Planum cutaneum (Sohlenfläche) des Hufbeins, wodurch in letzter Zeit vermehrt dieser Winkel anstelle des Palmar-/Plantarwinkels Beachtung fand. Auch bezüglich der Streuung der Ergebnisse ist der Sohlenwinkel dem Palmar-/Plantarwinkel vorzuziehen, da dessen Variationskoeffizient (VK) bei einer Studie (*Smith et al. 2004*) deutlich kleiner ausfiel (16% gegen 41%).

Es wurde gezeigt dass Pferde mit TBS-Schäden kleinere Sohlenwinkel ($12,8 \pm 4,9$) haben als Pferde ohne TBS-Schäden ($18,5 \pm 6,5$) (*Holroyd et al. 2013*). In einer lahmfreien Gruppe gemischter Rassen betrug dieser Winkel $17,4 \pm 2,76$ (*Smith et al. 2004*). Es fehlen allerdings rassespezifische Referenzwerte gesunder Tiere.

Der Trachtenwinkel (Winkel zwischen der palmaren/plantaren Hufwand und der Fußungsfläche) wird meist in Relation zum Hufwinkel beurteilt. Untergeschobene Trachten werden definiert als eine Divergenz zwischen Hufwinkel und Trachtenwinkel über 5° (*Turner 1986, Snow und Birdsall 1990, Kane et al. 1998, Balch et al. 2001*). Dies wird jedoch häufig beobachtet, auch bei nicht lahmen Pferden (*Kane et al. 1998, Balch et al. 2001, Eliashar et al. 2004, Cruz et al. 2006, Faramarzi et al. 2009, Dyson et al. 2011, Dyson et al. 2011*). Sind die Trachten stark untergeschoben biegen sich die Hornröhrchen nach innen und proximal (*Parks 2010*) oder verlaufen parallel zur Fußungsfläche (*Hunt 2012*) wodurch der Trachtenwinkel größer erscheint als er tatsächlich ist. Eine realistische Messung ist dadurch nicht möglich. Die Messung der Trachtenlänge (Länge der palmaren/plantaren Hufwand) ist ebenfalls wenig aufschlussreich, da anhand des Messwertes nicht festgestellt werden kann ob eine oder beide Trachten betroffen sind (*Ruohoniemi et al.*

1997b) oder ob es sich um lange, untergeschobene Trachten oder um lange, aufrechte Trachten handelt, wie sie bei chronisch lahmen Pferden vorkommen (Ross 2010). Eine klinische Beurteilung der Trachten ist aufschlussreicher. Kürzlich wurde vermehrt der Trachtenindex (Verhältnis der dorsalen zur palmaren/plantaren Kronsauhhöhe) in Studien ausgewertet. *Eliashar et al.* (2004) zeigten, dass eine starke Korrelation zwischen den im Huf wirkenden Kräften und dieser Ratio besteht. *Dyson et al.* (2011) fanden signifikante Unterschiede zwischen lahmen und nicht lahmen Pferden und bei beidseitig lahmen Pferden zwischen dem stärker und weniger stark lahmen Bein. Lahme Pferde mit Schäden der TBS hatten einen signifikant kleineren Trachtenindex als Pferde mit anderen Lahmheitsursachen (*Holroyd et al.* 2013).

Messungen an lahmfreien Pferden wurden bisher in zwei Studien durchgeführt (*Eliashar et al.* 2004, *Dyson et al.* 2011). Die Ergebnisse der beiden Studien sind nicht direkt vergleichbar, da *Eliashar et al.* (2004) die palmare durch die dorsale Höhe dividierten, und damit eine Ratio von $0,38 \pm 0,08$ errechneten. Das Reziprok dieser Ratio, was einen approximalen Wert für den Trachtenindex wie oben definiert darstellt, beträgt 2,63, was annähernd dem Wert der nicht lahmen Pferde der Studie von *Dyson et al.* (2011) entspricht (Ratio nicht lahme Pferde = $2,65 \pm 0,4$, lahme Pferde = $3,03 \pm 0,6$).

Die Ergebnisse aller Studien deuten darauf hin, dass das Verhältnis dieser beider Strecken wertvolle Hinweise auf die Hufkonformation gibt und dass diese Konformation Einfluss auf gewisse pathologische Zustände hat. Weitere Untersuchungen zum Trachtenindex sind notwendig, um die Bedeutung und Wiederholbarkeit der Ergebnisse zu bestätigen.

Strecken

Bei der Beurteilung von linearen Messungen ist zu beachten, dass sowohl die Größe als auch die Rasse der Tiere einen entscheidenden Einfluss auf die Messwerte hat (*Cripps und Eustace* 1999a). Vergleiche von Streckenmessungen unterschiedlicher Studien sind daher nur sinnvoll, wenn es sich um vergleichbare Versuchstiere handelt

Eine abnorm lange Zehenlänge (Länge der dorsalen Hufwand) verlängert den Hebelarm, über den der Huf rotiert, wodurch das Abrollen verzögert und die Sehnen und Bänder vermehrt belastet werden (*Clayton* 1990a). Besonders im Trabrennsport (*Balch et al.* 1991) hält sich der Irrglaube, dass dadurch Schrittlänge und Renngeschwindigkeit zunehmen, was nicht der Fall ist (*Clayton* 1990a, *Clayton* 1990b). Im Islandpferdesport werden die Zehen häufig unnatürlich lang belassen, da dadurch die Taktreinheit im Tölt und die Aktion der Vordergliedmaßen verbessert werden (*Waldern und Weisshaupt* 2013). Proportional zur Zehenlänge nimmt auch die Belastung des Hufbeinträgers zu (*Thomason* 1998). An der Hintergliedmaße führen lange Zehen zu Schmerzen im Bereich der Glutealmuskulatur (*Mansmann et al.* 2010). Eine kurze Zehe hingegen begünstigt Sohlenprellungen, insbesondere bei unbeschlagenen Pferden und solchen mit dünner Sohle.

Der Referenzbereich der Zehenlänge bei Warmblütern liegt zwischen 9 cm und 11 cm (Tab. 1), abhängig vom Zeitpunkt der Untersuchung relativ zur letzten Hufbearbeitung. *Kummer*

et al. (2006) ermittelten bei einer Population von 40 Warmblütern unmittelbar nach der Hufbearbeitung eine Zehenlänge von 9–10 cm, sechs Wochen später 10–11 cm. Bei der Hufbearbeitung in einem sechswöchigen Intervall wurde die Zehe durchschnittlich um einen Zentimeter gekürzt.

Der Anfangspunkt der Messung ist das proximale Ende des Markers der dorsalen Wand (s.o. röntgendichte Marker). Verschiedene Auffassungen gibt es in Bezug auf den Endpunkt der Messung: viele wählten den Punkt, an dem die Verlängerung der dorsalen Wand auf den Boden trifft (*Ruohoniemi et al.* 1997b, *Cruz et al.* 2006, *Kummer et al.* 2006, *Faramarzi et al.* 2009), andere den distalsten Punkt der dorsalen Hufwand (*Kane et al.* 1998, *Dyson et al.* 2011, *Dyson et al.* 2011). Der Einfluss der Hufbearbeitung auf die zweite Methode wurde nicht untersucht und ist wahrscheinlich größer und somit fehleranfälliger.

Die Sohlendicke beschreibt den vertikalen Abstand zwischen Hufbeinspitze und der distalen Fläche des Sohlenhorns. Es sollte auf eine ausreichende Sohlendicke geachtet werden, um eine gute Durchblutung der Sohle zu ermöglichen (*Redden* 2003a) und einen adäquaten Schutz der empfindlichen Gewebe durch den verhornten Teil der Sohle zu gewährleisten. Dünne Sohlen sind ein Risikofaktor für Sohlenprellungen, Steingallen und Abszessbildung (*Balch et al.* 1997, *O'Grady und Poupard* 2003, *Ross und Dyson* 2010).

Optimal wird eine Sohlendicke von >15 mm angesehen (*Redden* 2003, *Baxter* 2011), jedoch wurde bei den meisten Untersuchungen an gesunden Pferden eine geringere Sohlendicke festgestellt. Vollblüter sollten eine Sohlendicke von min. 9 mm aufweisen (*Linford et al.* 1993, *Hampson et al.* 2011), Warmblüter min. 10 mm (*Kummer et al.* 2006) und Ponies min. 8 mm (*Thieme et al.* in press).

Die dorsopalmar-/plantare Hufbalance wird bestimmt, indem ein Lot vom Rotationszentrum des Hufgelenks auf die Fußungsfläche gefällt wird, wodurch diese in einen dorsalen und einen palmaren/plantaren Abschnitt aufgeteilt wird. Der prozentuale Anteil des dorsalen Abschnittes zur gesamten Fußungsfläche wird als Hufbalance bezeichnet. Früher wurde angenommen, dass eine gleichmäßige Verteilung, also eine Hufbalance von 50%, optimal ist (*Colles* 1983, *O'Grady und Poupard* 2001), jedoch konnte diese These in Reihenuntersuchungen nicht bestätigt werden (*Craig und Craig* 2005, *Tacchio et al.* 2005, *Holroyd et al.* 2013, *Thieme et al.* in press). Heute wird angenommen, dass eine Hufbalance von 60% bis 69%, abhängig vom Zeitpunkt der Messung relativ zur letzten Hufbearbeitung, als normal anzusehen ist (*Kummer et al.* 2006, *Eggleston* 2012), bzw. dass das Lot vom Rotationszentrum des Hufgelenks in das mittlere Drittel der Fußungsfläche fallen sollte (*Ruohoniemi et al.* 1997b, *Weller* 2011). Bei Pferden mit langen Zehen und untergeschobenen Trachten verlagert sich das Rotationszentrum des Hufgelenks weiter nach palmar/plantar.

Der dorsale Anfangspunkt der Fußungsflächenmessung wird unterschiedlich definiert. In einem Artikel wurde der Punkt gewählt, an dem eine senkrechte Linie entlang des dorsalsten Punktes der dorsalen Hufwand auf die Fußungsfläche trifft (*Kummer et al.* 2006). In den meisten wurde der Bodenkontaktpunkt der dorsalen Wand gewählt (*Craig und Craig*

2005, Tacchio et al. 2005, Thieme et al. in press). Letzteres berücksichtigt den Einfluss der Hufbearbeitung bzw. des Hufbeschlags auf die Hufbalance, was z.B. bei zurückgesetzten Eisen, bei denen der Abrollpunkt nach caudal verlagert wird, von Bedeutung ist. Der palmare/plantare Punkt der Fußungsflächenmessung ist der Bodenkontaktpunkt der Trachte. Einige Studien wählten abweichende Formeln zur Berechnung der Hufbalance (Tacchio et al. 2005, Holroyd et al. 2013). Da es sich hierbei um Einzelfälle handelt, gehen wir auf diese Formeln nicht weiter ein. Die Streuung der Ergebnisse innerhalb der Studien war sehr gering, was sich in einem niedrigen VK widerspiegelt (Tab. 1). Zusätzlich liegen die Mittelwerte der Studien (Kummer et al. 2006, Thieme et al. in press) dicht beieinander, was darauf hinweist, dass die Hufbalance ein Parameter mit geringer interindividueller Variabilität ist.

Hufrehe

Lateromediale Aufnahme (Abb. 4)

Winkel

Der Rotationswinkel (Winkel zwischen der dorsalen Hufwand und der dorsalen Hufbeinkontur) charakterisiert die häufigste Form der Hufrehe, die Hufbeinrotation. Bei vernachlässigten Hufen und verlängerten Beschlagsperioden kann es auch zu der seltenen Hufkapselrotation kommen, die sich durch die Entstehung einer Rotation bei ungebrochener Zehenachse charakterisiert. Dabei hebt sich die Hufkapsel vom Hufbein über die Hebelwirkung der Zehe ab und es kann zur Ausbildung eines Knollhufes kommen (Mülling et al. 2014). Der Rotationswinkel wird außer zur Diagnose auch zur Prognose der Hufrehe eingesetzt. Stick et al. (1982) berichteten das Pferde mit einer Rotation von weniger als $5,5^\circ$ zu dem Leistungsniveau von vor der Erkrankung zurückkehren konnten, wobei Pferde mit mehr als $11,5^\circ$ Rotation nicht mehr als Reitpferde nutzbar waren. Ähnliche Ergebnisse erzielten Hunt et al. (1993). Bei deren Untersuchungen hatten Pferde, die wieder sportlich genutzt werden konnten, einen kleineren Rotationswinkel (ca. $6^\circ \pm 6^\circ$) als Pferde die intermittierend lahnten ($11^\circ \pm 8^\circ$) und als Pferde die dauerhaft lahm gingen ($14^\circ \pm 11^\circ$). Wie alle Hufparameter ist auch der Rotationswin-

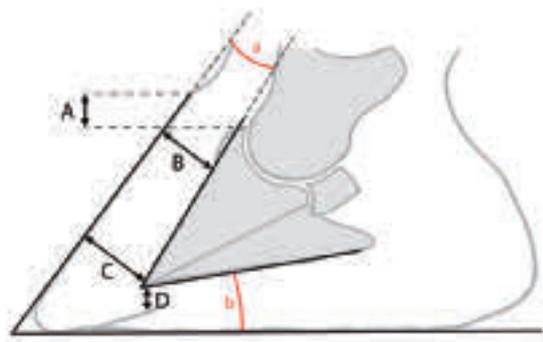


Abb. 4 Skizze der Hufrehemessungen der lateromedialen Aufnahme. Strecken: A = Rehestrecke, B = Wanddicke (proximal), C = Wanddicke (distal), D = Sohlendicke. Winkel: a = Rotationswinkel, b = Palmarwinkel.

Laminitis-relevant measurements, lateromedial view. Distances: A = founder distance, B = dorsal hoof wall thickness (proximal), C = dorsal hoof wall thickness (distal), D = sole thickness. Angles: a = rotation angle, b = palmar angle.

kel im Zusammenhang zu interpretieren – so haben Pferde mit einer Hufbeinsenkung kaum oder gar keine Rotation aber eine schlechtere Prognose (Baxter 1986, Morrison 2011, Orsini 2011).

Bei gesunden Pferden beträgt der Rotationswinkel 0° , da die dorsale Hufwand und die dorsale Hufbeinkontur grundsätzlich parallel verlaufen (Baxter 2011). Bei Eseln scheint eine geringe Rotation bis zu 2° normal zu sein (Collins et al. 2011). Hufrehepatienten mit einer Rotation $< 7^\circ$ haben eine günstige Prognose (Stick et al. 1982, Hunt 1993, Hemker und Hertsch 2002), sofern keine Hufbeinsenkung vorliegt.

Messungenauigkeiten des Rotationswinkels können auftreten durch eine ungerade dorsale Hufwand oder dorsale Hufbeinkontur, wodurch die Lage der Geraden entlang dieser Strukturen nicht eindeutig bestimmbar ist (s.o. Hufwinkel und Hufbeinwinkel). Linford et al. (1993) zog beide Linien durch die Punkte, die er bei der Messung der Wandstärke (s. u.) bestimmte, also unmittelbar distal des Processus extensorius und proximal der Hufbeinspitze. Das Abraspeln der dorsalen Wand kann eine Rotation künstlich verringern oder verschleiern, die Messung sollte daher vor der Hufbearbeitung stattfinden. Um diesen Problemen entgegenzutreten könnte zukünftig die Verbindungslinie vom Stratum medium zum Stratum internum der Hufwand (Denoux 2000) als Referenzlinie anstelle der Linie entlang der dorsalen Hufwand treten. Diese Linie ist bei guter röntgenologischer Technik, insbesondere auf digitalen Röntgenaufnahmen, leicht zu identifizieren (Linford et al. 1993).

Eine weitere Fehlerquelle stellen Abweichungen zur korrekten 90° -Aufnahme dar. Rotiert die Zehe nach innen oder außen werden signifikant unterschiedliche Winkel gemessen (Tacchio et al. 2002). Der Rotationswinkel wird, unabhängig ob der Winkel des Zentralstrahls nach dorsal oder palmar/plantar divergiert, kleiner gemessen, um zwar um durchschnittlich ca. 1° bei 5° Abweichung und ca. 3° bei 20° Abweichung (Koblik et al. 1988).

Die Wanddicke (gesamte Dicke des Weichteilgewebes (schließt Wandhorn und Hufbeinträger mit ein); kürzeste Distanz zwischen Hufbein und dorsaler Hufwand (Röntgenleitfaden 2007)) verändert sich beim Hufrehepatienten abhängig von der Art der Verlagerung des Hufbeins. Handelt es sich um eine Hufbeinrotation nimmt die Wanddicke im proximalen Bereich kaum zu im distalen Bereich dagegen deutlich. Bei einer Hufbeinsenkung nimmt die Wanddicke auf der ganzen Strecke gleichmäßig zu und bei einer Kombination aus Hufbeinsenkung und Rotation vergrößern sich die Abstände zwischen Hufbein und Hufwand proximal und distal, letzterer jedoch stärker. Die Entstehung von Narbenhorn in Fällen von chronischer Hufrehe bewirkt ebenfalls eine Zunahme der Wanddicke (Eustace 2010). Hampson et al. (2013) untersuchte wildlebende Pferde und bemerkte, dass Tiere die lange Distanzen auf hartem Untergrund bewältigen mussten größere Wanddicken aufwiesen. Histologisch konnten Veränderungen im Sinne einer Hufrehe nachgewiesen werden (Hampson et al. 2013). Wahrscheinlich führte die wiederholte Stoßwirkung bei der Fortbewegung über harten Boden zu Veränderungen ähnlich derer bei traumatischer Hufrehe. Eine große Wanddicke bei domestizierten Pferden kann daher einen Hinweis auf Haltungsfehler geben.

Tabelle 1 Rassespezifische Referenzwerte morphometrischer Messungen der lateromedialen Röntgenaufnahme des Pferdehufes unter Berücksichtigung des Variationskoeffizienten (gemittelt).

Morphometrische Messungen der lateromedialen Aufnahme – Konformationsmessungen (Vorderhufe)					
Parameter	Definition	Normalwerte (Mittelwerte)	VK	Referenzen	
Hufwinkel	Winkel zwischen der dorsalen Hufwand und der Fußungsfläche.	WB 52-55°	7%	<i>Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006</i>	
		VB 48-51°		<i>Linford et al. 1993, Kane et al. 1998, Cripps und Eustace 1999a</i>	
		HB 51°		<i>Verschooten et al. 1989</i>	
		Traber 52-53°		<i>Cruz et al. 2006, Faramarzi et al. 2009</i>	
		sWB 49-51°		<i>Ruohoniemi et al. 1997b, Eliashar et al. 2004</i>	
		Ponies 54°		<i>Cripps und Eustace 1999a, Thieme et al. in press</i>	
		Esel 62°		<i>Collins et al. 2011</i>	
Hufbeinwinkel	Winkel zwischen der dorsalen Hufbeinkontur und der Fußungsfläche.	WB 50-52°	7%	<i>Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006</i>	
		VB 48°		<i>Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a</i>	
		Ponies 52-53°		<i>Cripps und Eustace 1999a, Thieme et al. in press</i>	
		Esel 64°		<i>Collins et al. 2011</i>	
Palmarwinkel	Winkel zwischen dem Margo solearis des Hufbeins und der Fußungsfläche.	WB 5-6°	52%	<i>Kummer et al. 2006</i>	
		sWB 3°		<i>Eliashar et al. 2004</i>	
		Ponies 6°		<i>Thieme et al. in press</i>	
		Esel 8°		<i>Collins et al. 2011</i>	
Sohlenwinkel	Winkel zwischen dem Planum cutaneum des Hufbeins und der Fußungsfläche.	Mix 17,4°	16%	<i>Smith et al. 2004</i>	
Trachtenwinkel	Winkel zwischen der palmaren Hufwand und der Fußungsfläche.	VB 42°	12%	<i>Kane et al. 1998</i>	
		Traber 46-47°		<i>Cruz et al. 2006, Faramarzi et al. 2009</i>	
		sWB 39°		<i>Eliashar et al. 2004</i>	
Trachtenlänge	Länge der palmaren Hufwand.	Traber 3,7 cm	25%	<i>Cruz et al. 2006, Faramarzi et al. 2009</i>	
		sWB 2,4 cm		<i>Ruohoniemi et al. 1997b</i>	
Trachtenindex	Verhältnis der dorsalen zur palmaren Kronsaumhöhe.	Mix 2,65	15%	<i>Dyson et al. 2011</i>	
Zehenlänge	Länge der dorsalen Wand.	WB 9,6 cm	6%	<i>Kummer et al. 2006</i>	
		VB 8,9 cm		<i>Kane et al. 1998</i>	
		Traber 8,5 cm		<i>Cruz et al. 2006, Faramarzi et al. 2009</i>	
		sWB 10,1 cm		<i>Ruohoniemi et al. 1997b</i>	
		Ponies 7,6 cm		<i>Thieme et al. in press</i>	
Sohlendicke	Vertikale Distanz zwischen der Hufbeinspitze und der Sohle.	WB 13 mm	14%	<i>Kummer et al. 2006</i>	
		VB 10-11 mm		<i>Linford et al. 1993, Hampson et al. 2011</i>	
		Ponies 10 mm		<i>Thieme et al. in press</i>	
Hufbalance	Prozentualer Anteil der Fußungsfläche dorsal des Rotationszentrums des Hufgelenks zur gesamten Fußungsfläche.	WB 64%	7%	<i>Kummer et al. 2006</i>	
		Ponies 61-62%		<i>Thieme et al. in press</i>	
Morphometrische Messungen der lateromedialen Aufnahme – Hufrehemessungen (Vorderhufe)					
Rotationswinkel	Winkel zwischen der dorsalen Hufwand und der dorsalen Hufbeinkontur.	WB -(3-1)°	154%	<i>Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006</i>	
		VB - 1°		<i>Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a</i>	
		Ponies -(2-1)°		<i>Cripps und Eustace 1999a, Thieme et al. in press</i>	
		Esel 2,5°		<i>Collins et al. 2011</i>	
Wanddicke	Gesamte Dicke des Weichteilgewebes; kürzeste Distanz zwischen Hufbein und dorsaler Hufwand.	WB 18-19 mm	9%	<i>Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006</i>	
		VB 15-16 mm		<i>Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a</i>	
		HB 19 mm		<i>Verschooten et al. 1989</i>	
		Traber 16 mm		<i>Cruz et al. 2006, Faramarzi et al. 2009</i>	
		Ponies 13-14 mm		<i>Cripps und Eustace 1999a, Thieme et al. in press</i>	
		Esel 15 mm		<i>Collins et al. 2011</i>	
Rehestrecke	Vertikaler Abstand zwischen dem Kronsaum und dem proximalen Ende des Processus Extensorius.	WB 11 mm	40%	<i>Kummer et al. 2006</i>	
		VB 5 mm		<i>Cripps und Eustace 1999a</i>	
		Ponies 3-9 mm		<i>Cripps und Eustace 1999a, Thieme et al. in press</i>	
		Esel 10 mm		<i>Collins et al. 2011</i>	

Palmarwinkel und Sohlendicke s.o.

WB = Warmblut, VB = Vollblut, HB = Halbblut, sWB = schweres Warmblut, Mix = Gruppe gemischter Pferderassen

Bei Warmblütern wird die Wandstärke mit 18–19 mm angegeben (Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006, Eustace 2010). Vollblüter und Traber haben dünnere Wände mit etwa 15–16 mm (Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a, Famarzi et al. 2009) und Ponies etwa 14–15 mm (Thieme et al. in press).

Drei Messpunkte der Wanddicke wurden beschrieben: Ein proximaler unmittelbar distal des Processus extensorius (Linford et al. 1993, Kummer et al. 2006, Collins et al. 2011), ein distaler proximaler der Hufbeinspitze (Linford et al. 1993, Collins et al. 2011) und ein mittlerer auf halber Strecke der dorsalen Cortex (Verschooten et al. 1989, Linford et al. 1993, Cripps und Eustace 1999a, Collins et al. 2011). Von einer alleinigen Messung im distalen Bereich des Hufbeins ist abzuraten, da die Hufbearbeitung (Kummer et al. 2006) oder starke Abnutzung (Hampson et al. 2013) die Messung verfälschen kann. Im Röntgenleitfaden (2007) wird eine Messung von der Mitte des Hufbeins empfohlen.

Der VK der Wanddickenmessung ist mit 9% einer der niedrigsten aller Hufmessungen und der niedrigste unter den Hufreheparametern (Tab. 1). Die Wanddickenmessung ist daher eine verlässliche Messung.

Die Rehestrecke ist der vertikale Abstand zwischen dem Kronsaum und dem proximalen Ende des Processus extensorius. Ist der Kronsaum weiter distal als das Ende des Processus extensorius wird die Distanz in negativen Zahlen ausgedrückt. Die Rehestrecke gilt als absolutes Maß der Hufbeinsenkung und wird als wichtiger diagnostischer und prognostischer Parameter bei Hufrehe angesehen (Cripps und Eustace 1999b, Collins et al. 2011). Bei Pferden mit einer Rehestrecke >14 mm wurden weniger als 50% wieder auf gleichem Niveau einsatzfähig wogegen Pferde mit einer Rehestrecke <8 mm, ausgenommen Patienten mit chronischer Hufrehe, eine 90% Chance hatten wieder genutzt zu werden (Cripps und Eustace 1999b). In dieser Studie hatte nur eines von 15 Pferden, bei denen klinisch eine Hufbeinsenkung diagnostiziert wurde, eine Rehestrecke im Referenzbereich.

Außer in der Studie von Thieme et al. (in press) konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Widerristhöhe und der Rehestrecke festgestellt werden (Cripps und Eustace 1999a, Kummer et al. 2006). Der Referenzbereich wird mit -2 mm bis 10 mm angegeben (Cripps und Eustace 1999a, Baxter 2011), was eine große Spannbreite darstellt. Signifikante Unterschiede der Rehestrecke wurden zwischen einzelnen Pferden festgestellt, zwischen den Hufen eines Pferdes und zwischen Untersuchern. Nicht signifikant unterschieden sich die Wiederholungsmessungen desselben Hufes, trotzdem waren die maximalen Unterschiede groß mit 3,2 mm (Cripps und Eustace 1999a) bzw. 6,9 mm (Kummer et al. 2006). Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Messung (Kummer et al. 2004, Kummer et al. 2006) zeigten, dass die Unterschiede nicht ausschließlich auf Fehler in der Technik zurückzuführen sind. Bei toten Gliedmaßen war die Wiederholbarkeit der Messung besser als beim lebenden Pferd, woraus zu schließen ist, dass die Rehestrecke offensichtlich auch mit der Belastung der Gliedmaße zusammenhängt.

Das proximale Ende des dorsalen Markers markiert den Kronsaum und ist der Anfangspunkt der Messung der Rehe-

strecke. Unter den Studien gab es unterschiedliche Definitionen bezüglich der genauen Lage dieses Punktes (s. Röntgentechnik) was wahrscheinlich ursächlich für die deutlich größeren Werte in der Studie von Kummer (2006) im Vergleich zu Cripps und Eustace (1999a) ist. Trotz der akzeptablen Wiederholbarkeit der Messung in den einzelnen Studien ist die natürliche Variabilität sowohl unter den Pferden (VK = 46%), unter den Hufen eines Pferdes und sogar bei Wiederholungsmessungen desselben Hufes groß. Die Rehestrecke ist in frühen Phasen der Hufrehe bzw. leichten Veränderungen von geringem Nutzen (Kummer et al. 2006), nur Werte deutlich über der Norm können Bedeutung bezüglich der Prognose haben (Cripps und Eustace 1999b).

Der Palmar-/Plantarwinkel (Winkel zwischen dem Margo solearis des Hufbeins und der Fußungsfläche) sollte bei Pferde mit chronischer Hufrehe regelmäßige beurteilt werden, denn die Veränderung des Palmar-/Plantarwinkels stellt besonders bei Patienten mit deformierter Hufwand einen genaueren und wiederholbareren Parameter dar als der Rotationswinkel (Baxter 2011).

Die Sohlenstärke (vertikaler Abstand zwischen der Hufbeinspitze und der Sohle) verringert sich im Falle einer Rotation des Hufbeins. Die Lederhaut distal der Hufbeinspitze wird komprimiert und die Blutzirkulation gestört. Dies führt zu einem verlangsamten Hornwachstum, wodurch die Sohlenstärke weiter abnimmt (Redden 2003). In fortgeschrittenen Fällen kann es zum Durchbruch der Hufbeinspitze durch die Sohle führen. Eine Sohlenstärke <15 mm wird als pathologisch angesehen (Redden 2003), jedoch wurden mehrfach kleinere Werte bei gesunden Tieren festgestellt (s. o.).

Schlussfolgerungen

Grundlage um Messungen am Röntgenbild des Pferdehufes durchzuführen ist eine gründliche Vorbereitung und präzise Röntgentechnik. Anders als bei Winkelmessungen, die dimensionslos sind, ist bei Streckenmessungen eine Referenz zur Kalibrierung notwendig. Es gibt unterschiedliche Meinungen bezüglich der genauen Positionierung der röntgendichten Marker sowie der Anfangs- und Endpunkte der einzelnen Messungen. Unabhängig davon welche Methode gewählt wird, ausschlaggebend ist eine genaue, konsequent am selben anatomischen Punkt durchgeführte Markierung und Messung. Zur Steigerung der Genauigkeit und Wiederholbarkeit der Messungen, insbesondere wenn diese selten oder von mehreren Untersuchern durchgeführt werden, ist es sinnvoll, ein Softwareprogramm zur Hilfe zu nehmen (Rocha et al. 2004).

Bei der Auswertung der Parameter muss beachtet werden, dass diese von der Größe und Rasse des Tieres (Cripps und Eustace 1999a), der Hufbearbeitung (Kummer et al. 2006) und den Haltungs- und Trainingsbedingungen (Peel et al. 2006, Hampson et al. 2013) beeinflusst werden. Weiterhin muss die Aussagekraft des Parameters berücksichtigt werden. Je größer der VK, desto größer ist die Variabilität des Parameters, also die Spannbreite von normalen Werten bei gesunden Hufen, was eine Abgrenzung zu pathologischen Zuständen erschwert. Parameter mit besonders kleiner

Spannbreite sind der Hufwinkel, der Hufbeinwinkel, die Zehenlänge, die Hufbalance und die Wanddicke (Tab. 1). Der Sohlenwinkel, Trachtenwinkel, Trachtenindex und die Sohlendicke zeigen eine größere Spanne an Normalwerten, was bei der Beurteilung beachtet werden sollte. Der Palmar-/Plantarwinkel, die Trachtenlänge, der Rotationswinkel und die Rehestrecke zeichnen sich durch einen besonders hohen VK aus. Wichtig bei der Beurteilung des Palmar-/Plantarwinkels ist, ob dieser gegen null tendiert oder gar negativ ist. Eventuell kann die Messung des Palmar-/Plantarwinkels durch eine Messung des Sohlenwinkels ersetzt werden. Die Messung der Trachtenlänge kann durch die Messung des Trachtenindex ersetzt werden. Der hohe VK des Rotationswinkels kann durch die Größe des Winkels begründet werden. Da der Winkel sehr klein ist, im Normalfall 0° beträgt, verursachen bereits geringe Standardabweichungen einen sehr hohen VK. Die Genauigkeit der Messung hängt in hohem Maße von der Form der dorsalen Huf- und Hufbeinwand ab und sollte bei Patienten mit Deformationen dieser kritisch hinterfragt werden. Messungen der Rehestrecke können nur als Hinweis gewertet werden und sollten nicht als Grundlage zur Diagnosestellung herangezogen werden.

Bei der Beurteilung der Parameter sollte niemals ein Wert isoliert betrachtet werden. Es ist wichtig alle zusammenhängenden Parameter in die Beurteilung einfließen zu lassen. Collins et al. (2012) entwickelten ein multivariates statistisches Rechenmodell welches durch die Verwendung morphometrischer Messungen an lateromedialen Röntgenbildern von Eselhufen eine Einteilung in gesunde, hufrehegefährdete und hufreheerkrankte Tiere ermöglichte. Die Entwicklung eines Programmes, welches auf solch einem Rechenmodell basiert und in der Praxis nutzbar ist, könnte zukünftig die Beurteilung erleichtern.

Die Bedeutung der gründlichen klinischen Untersuchung kann nicht ausreichend betont werden. Sie stellt das wichtigste Werkzeug des praktizierenden Tierarztes dar. Wiederholt wurde gezeigt, dass die klinischen Symptome bei Hufrehe der entscheidendste prognostische Faktor sind (Colles und Jeffcott 1977, Stick et al. 1982, Hunt 1993, Cripps und Eustace 1999b, Eustace 2010, Orsini et al. 2010, Orsini 2011). Es ist jedoch nicht möglich, die genaue Lage der knöchernen Strukturen in der Hufkapsel anhand der äußeren Erscheinung des Hufes zu bestimmen (Dyson et al. 2011), daher stellt die röntgenologische Untersuchung des Pferdehufes eine sinnvolle Ergänzung zur vollständigen klinischen Untersuchung dar (Sherlock und Parks 2013).

Literatur

- Balch O., Helman R. G., Collier M. A. (2001) Underrun Heels and Toe-Grab Length as Possible Risk Factors for Catastrophic Musculoskeletal Injuries in Oklahoma Racehorses. AAEP Proceedings 47, 334-338
- Balch O., White K., Butler D. (1991) Factors involved in the balancing of equine hooves. J. Am. Vet. Med. Assoc. 198, 1980-1989
- Balch O. K., Butler D., Collier M. A. (1997) Balancing the normal foot: Hoof preparation, shoe fit and shoe modification in the performance horse. Equine Vet. Educ. 9, 143-154
- Baxter G. M. (1986) Equine laminitis caused by distal displacement of the distal phalanx – 12 cases (1976-1985). J. Am. Vet. Med. Assoc. 189, 326-329
- Baxter G. M. (2011) Adams and Stashak's Lameness in Horses. Chichester, West Sussex, UK: Blackwell Publishing, Ltd.
- Bushe T., Turner T. A., Poulos P. W., Harwell N. M. (1987) The effect of hoof angle on coffin, pastern and fetlock joint angles. AAEP Proceedings 33, 729-738
- Butler J. A., Colles C. M., Dyson S. J., Kold S. E., Poulos P. W. (2008) Foot, pastern and fetlock. In: Clinical radiology of the horse. Oxford, UK, Wiley Blackwell: 53-188
- Chateau H., Degueurce C., Denoix J. M. (2004) Effects of 6 degrees elevation of the heels on 3D kinematics of the distal portion of the forelimb in the walking horse. Equine Vet. J. 36, 649-654
- Clayton H. M. (1990a) The effect of an acute hoof wall angulation on the stride kinematics of trotting horses. Equine Vet. J. Suppl: 86-90
- Clayton H. M. (1990b) The effect of an acute angulation of the hind hooves on diagonal synchrony of trotting horses. Equine Vet. J. Suppl: 91-4
- Colles C. M. (1983) Interpreting radiographs 1: the foot. Equine Vet. J. 15, 297-303
- Colles C. M., Jeffcott L. B. (1977) Laminitis in the horse. Vet. Rec. 100, 262-264
- Collins S. N. (2004) A materials characterisation of laminitic donkey hoof horn. De Montfort University, PhD Thesis
- Collins S. N., Dyson S. J., Murray R. C., Burden F., Trawford A. (2011) Radiological anatomy of the donkey's foot: Objective characterisation of the normal and laminitic donkey foot. Equine Vet. J. 43, 478-486
- Collins S. N., Dyson S. J., Murray R. C., Newton J. R., Burden F., Trawford A. F. (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
- Craig J., Craig M. (2005) Measuring the horse's hoof. European Farrier's Journal, 8-24
- Cripps P. J., Eustace R. A. (1999a) Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. Equine Vet. J. 31, 427-432
- Cripps P. J., Eustace R. A. (1999b) Factors involved in the prognosis of equine laminitis in the UK. Equine Vet. J. 31, 433-442
- Cruz C. D., Thomason J. J., Faramarzi B., Bignell W. W., Sears W., Dobson H., Konyer N. B. (2006) Changes in shape of the Standardbred distal phalanx and hoof capsule in response to exercise. Equine Comp. Exerc. Physiol. 3, 199-208
- Denoix J. M. (2000) The equine distal limb: an atlas of clinical anatomy and comparative imaging. CRC Press.
- Dyson S. J., Tranquille C. A., Collins S. N., Parkin T. D. H., Murray R. C. (2011) External characteristics of the lateral aspect of the hoof differ between non-lame and lame horses. Vet. J. 190, 364-371
- Dyson S. J., Tranquille C. A., Collins S. N., Parkin T. D. H., Murray R. C. (2011) An investigation of the relationships between angles and shapes of the hoof capsule and the distal phalanx. Equine Vet. J. 43, 295-301
- Eggleston R. B. (2012) Equine Imaging The Framework for Applying Therapeutic Farriery. Vet. Clin. N. Am.-Equine 28, 293-xx
- Eliashar E., McGuigan M. P., Wilson A. M. (2004) Relationship of foot conformation and force applied to the navicular bone of sound horses at the trot. Equine Vet. J. 36, 431-435
- Eustace R. A. (2010) Clinical Presentation, Diagnosis, and Prognosis of Chronic Laminitis in Europe. Vet. Clin. N. Am.-Equine 26, 391
- Faramarzi B., Thomason J. J., Sears W. C. (2009) Changes in growth of the hoof wall and hoof morphology in response to regular periods of trotting exercise in Standardbreds. Am. J. Vet. Res. 70, 1354-1364
- Hampson B. A., Connelley A. D., de Laat M. A., Mills P. C., Pollitt C. C. (2011) Sole depth and weight-bearing characteristics of the palmar surface of the feet of feral horses and domestic Thoroughbreds. Am. J. Vet. Res. 72, 727-735
- Hampson B. A., de Laat M. A., Mills P. C., Pollitt C. C. (2013) The feral horse foot. Part A: observational study of the effect of environment on the morphometrics of the feet of 100 Australian feral horses. Aust. Vet. J. 91, 14-22

- Hampson, B. A., de Laat, M. A., Mills, P. C., Walsh, D. M., Pollitt, C. C. (2013). The feral horse foot. Part B: radiographic, gross visual and histopathological parameters of foot health in 100 Australian feral horses. *Aust. Vet. J.* 91, 23-30
- Hemker S., Hertsch B. (2002) Radiologic evaluation of chronic founders. *Prakt. Tierarzt* 83, 610-617
- Holroyd K., Dixon J. J., Mair T., Bolas N., Bolt D. M., David F., Weller R. (2013) Variation in foot conformation in lame horses with different foot lesions. *Vet. J.* 195, 361-365
- Hunt R. J. (1993) A retrospective evaluation of laminitis in horses. *Equine Vet. J.* 25, 61-64
- Hunt R. J. (2012) Farriery for the Hoof with Low or Underrun Heels. *Vet. Clin. N. Am.-Equine* 28, 351
- Kane A. J., Stover S. M., Gardner I. A., Bock K. B., Case J. T., Johnson B. J., Anderson M. L., Barr B. C., Daft B. M., Kinde H., Larochelle D., Moore J., Jagannatha M., Stoltz J., Woods L., Read D. H., Ardans A. A. (1998) Hoof size, shape, and balance as possible risk factors for catastrophic musculoskeletal injury of Thoroughbred racehorses. *Am. J. Vet. Res.* 59, 1545-1552
- Koblik P. D., O'Brien T. R., Coyne C. P. (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
- Kobluk C. N., Robinson R. A., Gordon B. J., Clanton C. J., Trent A. M., Ames T. R. (1990) The effect of conformation and shoeing: a cohort study of 95 Thoroughbred racehorses. *AAEP Proceedings* 36, 259-274
- Kummer M., Geyer H., Imboden I., Auer J., Lischer C. (2006) The effect of hoof trimming on radiographic measurements of the front feet of normal Warmblood horses. *Vet. J.* 172, 58-66
- Kummer M., Lischer C., Ohlerth S., Vargas J., Auer J. (2004) Evaluation of a standardised radiographic technique of the equine hoof. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 146, 507-514
- Linford R. L., O'Brien T. R., Trout D. R. (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
- Mansmann R. A., James S., Blikslager A. T., Orde K. V. (2010) Long Toes in the Hind Feet and Pain in the Gluteal Region: An Observational Study of 77 Horses. *J. Equine Vet. Sci.* 30, 720-726
- Mansmann R. A., vom Orde K. E. (2007) Preventive foot care programs. In: *Equine Podiatry*. A. Floyd and R. A. Mansmann. St. Louis, Missouri, Saunders Elsevier: 414-431.
- McClinchey H. L., Thomason J. J., Jofriet J. C. (2003) Isolating the effects of equine hoof shape measurements on capsule strain with finite element analysis. *Vet. Comp. Orthopaed.* 16, 67-75
- Moleman M., Van Heel M. C. V., Van den Belt A. J. M., Back W. (2005) Accuracy of hoof angle measurement devices in comparison with digitally analysed radiographs. *Equine Vet. Edu.* 17, 319-322
- Moleman M., Van Heel M. C. V., Van Weeren P. R., Back W. (2006) Hoof growth between two shoeing sessions leads to a substantial increase of the moment about the distal, but not the proximal, interphalangeal joint. *Equine Vet. J.* 38, 170-174
- Morrison S. (2011) Long-term Prognosis Using Deep Digital Flexor Tenotomy and Realignment Shoeing for Treatment of Chronic Laminitis. *J. Equine Vet. Sci.* 31, 89-96
- Mülling C., Pfarrer C., Reese S., Kölle S., Budras K.-D. (2014) *Atlas der Anatomie des Pferdes: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Company KG*
- O'Grady S. E., Poupard D. A. (2001) Physiological horseshoeing: an overview. *Equine Vet. Edu.* 13, 330-334
- O'Grady S. E., Poupard D. A. (2003) Proper physiologic horseshoeing. *Vet. Clin. N. Am.-Equine* 19, 333-351
- Olivier-Carstens A. (2004) Ultrasonography of the solar aspect of the distal phalanx in the horse. *Vet. Radiol. Ultrasound* 45, 449-457
- Orsini J. A. (2011) A Fresh Look at the Process of Arriving at a Clinical Prognosis Part 1: Laminitis. *J. Equine Vet. Sci.* 31, 194-201
- Orsini J. A., Parsons C. S., Capewell L., Smith G. (2010). Prognostic indicators of poor outcome in horses with laminitis at a tertiary care hospital. *Can. Vet. J.* 51, 623-628
- Parks A. (2010) The foot and shoeing. In: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. M. Ross and S. Dyson. St. Louis, W. B. Saunders: 250-271
- Parks A., O'Grady S. E. (2003) Chronic laminitis: Current treatment strategies. *Vet. Clin. N. Am.-Equine* 19, 393-416
- Peel J. A., Peel M. B., Davies H. M. S. (2006) The effect of gallop training on hoof angle in thoroughbred racehorses. *Equine Vet J Suppl.* 431-434
- Redden R. F. (2003) Hoof capsule distortion: understanding the mechanism as a basis for rational management. *Vet. Clin. N. Am.-Equine* 19, 443-462
- Redden R. F. (2003a) Clinical and radiographic examination of the equine foot. *AAEP Proceedings* 49
- Rocha J. V., Lischer C. J., 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
- Röntgenleitfaden (2007) Leitfaden über die röntgenologische Beurteilung bei der Kaufuntersuchung des Pferdes. Gesellschaft für Pferdemedizin e. V., www.g-p-m.org, Bundestierärztekammer e. V., www.bundestieraerztekammer.de
- Ross M. (2010) Observation: Symmetry and Posture. In: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. M. Ross and S. Dyson. St. Louis, W. B. Saunders: 31-41
- Ross M., Dyson S. (2010) *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*. St. Louis: W. B. Saunders.
- Ruohoniemi M., Raekallio M., Tulamo R. M., Salonius K. (1997b) Relationship between ossification of the cartilages of the foot and conformation and radiographic measurements of the front feet in Finn horses. *Equine Vet. J.* 29, 44-48
- Sherlock C., Parks A. (2013) *Radiographic and radiological assessment of laminitis*. *Equine Vet. Edu.* 25, 524-535
- Smith S. S., Dyson S. J., Murray R. C., Weekes J. (2004) Is there an association between distal phalanx angles and deep digital flexor tendon lesions? *AAEP Proceedings* 50
- Snow V. E., Birdsall D. P. (1990) Specific parameters used to evaluate hoof balance and support. *AAEP Proceeding* 36
- Stick J. A., Jann H. W., Scott E. A., Robinson N. E. (1982) Pedal bone rotation as a prognostic sign in laminitis of horses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 180, 251-253
- Tacchio G., Davies H., Morgante M., Bernardini D. (2005) Relationships between exercise capacity and front hoof longitudinal balance in horses. *Equine Comp. Exerc. Physiol.* 2, 27-36
- Tacchio G., Davies H. M. S., Morgante M., Bernardini D. (2002) A radiographic technique to assess the longitudinal balance in front hooves. *Equine Vet. J.* 34, 368-372
- Thieme K., Ehrle A., Lischer C. (in press) Radiographic measurements of the hooves of normal ponies.
- Thomason J. J. (1998). Variation in surface strain on the equine hoof wall at the midstep with shoeing, gait, substrate, direction of travel, and hoof shape. *Equine Vet. J.* 30, 86-95
- Thomason J. J., McClinchey H. L., Faramarzi B., Jofriet J. C. (2005) Mechanical behavior and quantitative morphology of the equine laminar junction. *Anat. Rec. A. Discov. Mol. Cell. Evol. Biol.* 283A, 366-379
- Turner T. A. (1986) Navicular disease management: shoeing principles. *AAEP Proceeding* 32
- Turner T. A. (2006) How to Subjectively and Objectively Examine the Equine Foot. *AAEP Proceeding* 52
- Verschooten F., Roels J., Lampo P., Desmet P., De Moor A., Picavet T. (1989) Radiographic measurement from the lateromedial projection of the equine foot with navicular disease. *Res. Vet. Sci.* 46, 15-21
- Waldern N., Weishaupt M. (2013) Welche Auswirkungen haben Beschlag und Beschlagsperiode auf die Gliedmassenbewegung und -belastung? Eine Studie an Islandpferden. 22. Hufbeschlagstagung
- Weller R. (2011) Radiography and radiology of the equine foot. *BEVA Proceedings* 50
- White J. M., Mellor D. J., Duz M., Lischer C. J., Voute L. C. (2008) Diagnostic accuracy of digital photography and image analysis for the measurement of foot conformation in the horse. *Equine Vet. J.* 40, 623-628
- Willemen M. A., Savelberg H. H. C. M., Barneveld A. (1999). The effect of orthopaedic shoeing on the force exerted by the deep digital flexor tendon on the navicular bone in horses. *Equine Vet. J.* 31, 25-30