

Zusammenhang zwischen anatomischem Verlauf des Kronsaums und röntgenologisch gemessenem Plantarwinkel am Hinterhuf des Pferdes

Luisa Grotzke¹, Katharina C. Jensen², Christoph Lischer³ und Anna Ehrle³

¹ Tierarztpraxis Knopp, Lemnitz

² Institut für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie, Freie Universität Berlin

³ Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie, Freie Universität Berlin

Zusammenfassung: Der Plantarwinkel bezeichnet die Position des knöchernen Hufbeins in Relation zur Hufsohle am Hinterhuf des Pferdes. Ein negativer Plantarwinkel ist unerwünscht und wird häufig mit Lahmheiten der entsprechenden Gliedmaße in Verbindung gebracht. Der Winkel kann anhand einer latero-medialen Röntgenaufnahme des Hufes bestimmt werden. Da die Röntgendiagnostik in der Praxis allerdings nicht immer zur Verfügung steht, gibt es eine weitere gängige Methode, mit der ein negativer Plantarwinkel am Hinterhuf ohne Röntgenaufnahme identifiziert werden soll. Bei dieser Methode wird überprüft, wo die nach vorne verlängerte Linie des Kronsaums des Hinterhufs das jeweils gleichseitige Vorderbein kreuzt. Trifft die verlängerte Kronsaumlinie das Vorderbein oberhalb des Carpus bzw. des Ellenbogens, so wird von einem negativen Plantarwinkel ausgegangen. Um die Genauigkeit dieser Methode zu überprüfen, wurden in dieser Studie seitliche Ganzkörper-Profilbilder sowie latero-mediale Röntgenaufnahmen der Zehe hinten rechts von 140 Pferden unterschiedlicher Rasse und Größe sowie unterschiedlichen Alters und Geschlechtes angefertigt. Neben der Wiederholbarkeit und Validität der Methode wurde anhand eines mehrfaktoriellen linearen Regressionsmodells untersucht, ob eine Korrelation des Plantarwinkels mit dem Alter oder Geschlecht, der Rasse bzw. Größe des Pferdes oder dem Kronsaumwinkel des Hufes besteht. Siebenundzwanzig der 140 untersuchten Pferde wiesen radiologisch einen negativen Plantarwinkel auf. Für den Kreuzungspunkt der Kronsaumlinie mit dem Carpus oder dem Unterarm konnte kein Zusammenhang mit einem negativen Plantarwinkel hergestellt werden. Pferde, bei denen die verlängerte Linie des Kronsaums das Vorderbein auf oder über dem Ellbogengelenk kreuzte, zeigten eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen negativen Plantarwinkel. Diese Beobachtung traf allerdings nur für eine sehr geringe Anzahl der untersuchten Pferde zu (3 von 140 Pferden). Geschlecht und Alter hatten keinen Einfluss auf den Plantarwinkel, wobei die Größe des Pferdes und der Kronsaumwinkel negativ mit dem Plantarwinkel korrelierten. Je größer das Pferd oder der Kronsaumwinkel des Pferdes, desto kleiner der Plantarwinkel. Über die Größe des Pferdes korreliert indirekt auch die Rasse mit dem Plantarwinkel. Die Methode des Kreuzungspunktes der verlängerten Kronsaumlinie mit dem gleichseitigen Vorderbein erwies sich in dieser Studie zusammenfassend nicht als wiederholbar oder zuverlässig. Die Anfertigung einer latero-medialen Röntgenaufnahme der Zehe des Pferdes bleibt daher zur Diagnose eines negativen Plantarwinkels unumgänglich.

Schlüsselwörter: Huf, Kronsaumwinkel, Plantarwinkel, Messung, Röntgen

Correlation between the anatomical characteristics of the coronary band and the radiographically determined plantar angle of the third phalanx in the equine hind foot

The plantar angle describes how the position of the third phalanx relates to the solar surface of the hind foot. A negative plantar angle has been linked to pathological conditions causing lameness in the hindlimb and is therefore undesirable in horses. The plantar angle is commonly determined based on latero-medial radiographs of the toe. However, as radiography is not always available in practice an additional method is frequently utilized by veterinarians and farriers in order to estimate whether a horse might present with a negative plantar angle. Using this method, a line is drawn along the coronary band of the hindlimb and extended cranially towards the forelimb on the same side of the horse. In case this line crosses the corresponding forelimb at the level or above the carpus or at the level or above the elbow, a negative plantar angle is suspected. For this study, lateral-view photographs of 140 horses of different age, height, sex and breed as well as latero-medial radiographs of their right hind foot were obtained. To test the repeatability and viability of the described method, three blinded observers determined the plantar angle of the right hind foot based on the radiographs as well as the photographs where the extended coronary line was inserted. Multifactorial regression analysis was additionally performed to identify correlations between the horses' age, sex, breed and height at the withers as well as the coronet angle and the plantar angle in the studied horse population. A negative plantar angle was detected radiographically in 27 of the 140 horses examined. It was not possible to establish a correlation between the intersection of the extended coronary line with the carpus or the forearm and a negative plantar angle in the hind foot. Horses where the extended coronary line crossed the corresponding forelimb at the level or above the elbow joint were more likely to have a negative plantar angle. However, as this was only the case in 3 out of 140 horses, the association remains questionable. There was no influence of gender and age, but the size of the horse and the coronet angle, both showed a negative correlation with the plantar angle. The larger the horse or the horse's coronet angle, the smaller was the plantar angle. Due to the size of the horse, the breed correlated indirectly with the plantar angle. The method of using the crossing point of the extended coronary line with the ipsilateral forelimb did not prove to be sufficiently repeatable or reliable for the detection of a negative plantar angle in the hind feet of horses in this study. Taking latero-medial radiographs of the horse's toes remains the only way to accurately assess the position of the third phalanx within the horn capsule to date.

Keywords: hoof, coronary line, plantar angle, measurement, radiography

Zitation: Grotzke L., Jensen K. C., Lischer C., Ehrle A. (2022) Zusammenhang zwischen anatomischem Verlauf des Kronsaums und röntgenologisch gemessenem Plantarwinkel am Hinterhuf des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 38, 246–251; DOI 10.21836/PEM20220305

Korrespondenz: Luisa Grotzke, Tierarztpraxis Knopp, Auf dem Terlich 2, 07819 Lemnitz; luisa.grotzke@t-online.de

Eingereicht: 24. Januar 2022 | **Angenommen:** 22. Februar 2022

Einleitung

Der Palmar- (Vorderbein) bzw. Plantarwinkel (Hinterbein) definiert den Winkel zwischen dem Margo solearis des Hufbeins und der tragenden Fläche der Hornkapsel bzw. des Bodens (Floyd und Mansmann 2009, Thieme et al. 2015a und b, Clements et al. 2020). Gemessen wird der Winkel in der Regel anhand einer latero-medialen Röntgenaufnahme der Zehe (Litzke und Rau 2012, Thieme et al. 2015a und b, Clements 2021). Man unterscheidet zwischen einem positiven oder negativen Palmar-/Plantarwinkel. Befindet sich die Hufbeinspitze näher an der Sohle bzw. am Boden als die Hufbeinäste, so handelt es sich um einen positiven Palmar-/Plantarwinkel. Von einem negativen Winkel spricht man folglich, wenn sich die Hufbeinäste näher am Boden befinden als die Hufbeinspitze (Floyd und Mansmann 2009, Thieme et al. 2015a und b, Clements et al. 2020). Die physiologischen Referenzwerte für die Palmar-/Plantarwinkel liegen im geringgradig positiven Bereich zwischen 2° und 10° (Parks 2003, Eliashar et al. 2004, Kummer et al. 2006, Dyson et al. 2011, Kauffmann und Cline 2017, Pezzanite et al. 2019) und sind rassespezifisch (Linford et al. 1993, Thomason et al. 2008, Floyd und Mansmann 2009), wobei der Plantarwinkel beim Pferd in der Regel kleiner ist als der Palmarwinkel (Thieme et al. 2015b).

Während negative Palmarwinkel am Vorderbein in erster Linie mit 'palmar foot pain', Strahlbeinschäden oder Defekten der tiefen Beugesehne in Verbindung gebracht werden und dieser Zusammenhang schon länger bekannt ist (Dyson et al. 2003, Eliashar et al. 2004, Floyd 2010, Dyson et al. 2011, Thieme et al. 2015a), erfährt der negative Plantarwinkel am Hinterbein erst seit kürzerer Zeit intensivere Beachtung. Ein negativer Plantarwinkel wird mit Gangabnormalitäten (Floyd 2010) und pathologischen Veränderungen wie zum Beispiel subchondrale Knochenschäden der Condylen des Metatarsus III (Walmsley et al. 2019), Lahmheiten der proximalen Metatarsal- und distalen Tarsalregion (Pezzanite et al. 2019), Knielahmheiten (Clements et al. 2020) oder glutealen Muskelschmerzen (Mansman et al. 2010) in Zusammenhang gebracht. In Bezug auf Lahmheiten der Hinterhand bleibt jedoch weiterhin unklar, ob der negative Plantarwinkel die Entstehung einer Lahmheit begünstigt oder als Folgeerscheinung einer assoziierten muskuloskeletalen Pathologie zu betrachten ist (Pezzanite et al. 2019).

Im Fokus der regelmäßigen Hufbearbeitung steht daher das Ziel einen negativen Palmar-/Plantarwinkel, wenn nötig mit Hilfe von Beschlagstechnik, zu korrigieren (Floyd 2010, Vibe 2020, Clements 2021). Besonders unter Hufschmieden gilt es als gängige Methode, den Kronsaumverlauf des Hinterhufes als Indikator für den Plantarwinkel zu nutzen, da die röntgenologische Untersuchung im Rahmen einer Schmiedebearbeitung nicht regulär zur Verfügung steht. Steht das Pferd geschlossen, so wird angenommen, dass ein negativer Plantarwinkel vorliegt, wenn die verlängerte Linie des Kron-

saums am Hinterhuf das gleichseitige Vorderbein auf Höhe oder oberhalb des Carpalgelenks (Schumacher et al. 2012, Rosenthal 2013, Kauffmann und Cline 2017) oder auf Höhe bzw. oberhalb des Ellbogens trifft (Schumacher et al. 2012).

Ziel dieser Studie ist es daher zu überprüfen, ob Pferde, bei denen die verlängerte Linie des Kronsaums des Hinterhufes das gleichseitige Vorderbein (a) auf Höhe bzw. oberhalb des Carpus oder (b) auf Höhe bzw. oberhalb des Ellenbogens kreuzt, einen negativen Plantarwinkel aufweisen. Zudem wurde untersucht, ob Rasse, Alter, Größe oder Geschlecht des Pferdes einen Einfluss auf den Plantarwinkel haben. Die Autoren stellten die Hypothese auf, dass der Plantarwinkel ohne röntgenologische Untersuchung nicht zuverlässig bestimmt werden kann.

Material und Methoden

Pferde

Es wurden 140 Pferde unterschiedlichen Geschlechts sowie Größe, Rasse und Nutzungsform ab einem Alter von 3 Jahren in die Studie einbezogen. Alter, Rasse, Geschlecht und das Stockmaß wurden dokumentiert.

Bilddokumentation

Zunächst wurde von allen untersuchten Pferden eine Fotografie im Profil der rechten Seite angefertigt (iSight-Kamera, iPhone 7, 2016, Apple, Cupertino, Kalifornien) (Abb. 1). Die Pferde wurden dazu auf ebenem, festem Untergrund platziert und standen geschlossen. Von einem geschlossenen Stand wurde ausgegangen, wenn sich die Röhrbeine des Pferdes senkrecht zum Untergrund und parallel zueinander befanden. Die Position der Kamera wurde mittels eines Stativs auf eine Höhe von 95 cm und einen Abstand von 200 cm zum Pferd standardisiert.

Röntgenologische Untersuchung

Die rechte hinteren Zehe wurde auf einen Holzblock mit einer Stärke von 3,5 cm gestellt und der Kronsaum wurde mit einem dorsalen und einem plantaren röntgendichten Marker (Knopfzelle, Durchmesser 6,8 mm, Höhe 2,6 mm) kenntlich gemacht. Der dorsale Marker wurde am proximalsten Punkt des Kronsaums und der plantare Marker am distalsten Punkt des Kronsaums zwischen den Ballen angebracht. Alle Röntgenaufnahmen wurden mit einem Projektionswinkel von 90° angefertigt (60 kV und 10 mAs), wobei der Zentralstrahl mittig auf den Huf und ca. 1,5 cm oberhalb des Tragrandes positioniert wurde (Gierth TR 90–20 Battery Modell: R-300V, Type: B02, Juni 2012, Tokyo, Japan).

Messungen

Die randomisierte und verblindete Bildauswertung wurde von drei Tierärztinnen unabhängig voneinander durchgeführt. Auf jedem Profilbild sollte eine gerade Linie entlang des Kronsaumes des rechten Hinterhufes eingezeichnet und nach kranial verlängert werden (Markierungsfunktion der iOS-App „Fotos“ auf dem iPad Air (Apple, Cupertino, Kalifornien); (Abb. 1). Die Untersucherinnen legten anschließend fest, ob diese Linie das gleichseitige Vorderbein 1. unterhalb des Carpalgelenks, 2. auf Höhe bzw. oberhalb des Carpalgelenks oder 3. auf Höhe bzw. oberhalb des Ellbogengelenks kreuzte.

Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte mit der Winkel-funktion des Röntgenbildbetrachtungsprogramms dicomPACS vet (Version 8.9.5., Oehm und Rehbein GmbH, 2018). Der Plantarwinkel ergab sich aus einer Linie entlang des Margo solearis des Hufbeins und einer Linie, die auf Höhe der Hufsohle parallel zum Boden angelegt wurde (Abb. 2). Der Kronsaumwinkel war durch die Verbindungslinie der beiden röntgendichten Markierungen am Kronsaum und einer Linie parallel zum Boden definiert (Abb. 2).

Statistische Auswertung

Alle erhobenen Daten und Messungen wurden in Excel (Microsoft Excel, Office 16) zusammengeführt. Für die Übereinstimmung der drei Untersucherinnen hinsichtlich der Messung des Plantar- und des Kronsaumwinkels wurde jeweils der Intraklassen-Korrelations-Koeffizient (IKK2: zweiseitige Betrachtung, Pferd und Beobachter als zufällige Effekte) bestimmt. Die Wiederholbarkeit der Messungen für den Kreuzungspunkt der verlängerten Linie des Kronsaums mit dem Vorderbein (eingeteilt in drei Kategorien) wurde mittels Fleiss' Kappa Koeffizienten berechnet (Landis und Koch 1977).



Abb. 1 Fotografie eines Pferdes im Profil mit eingezeichneter Linie (roter Pfeil) in Verlängerung des Kronsaums am rechten Hinterhuf, die das gleichseitigen Vorderbein oberhalb des Carpus kreuzt. | Profile picture of a horse with an extended line (red arrow) drawn at the level of the coronary band of the right hind hoof. The line crosses the right forelimb above the carpus.

Des Weiteren wurde untersucht, inwieweit Pferde, bei denen die verlängerte Linie des Kronsaums durch bzw. oberhalb des Carpus (a) oder durch bzw. oberhalb des Ellenbogens (b) verläuft, röntgenologisch einen negativen Plantarwinkel des Hufbeins aufweisen. Dazu wurde jeweils eine Kreuztabelle erstellt und der Cohens Kappa Koeffizient als Maß für die Übereinstimmung errechnet.

Um die wichtigsten Faktoren zu identifizieren, die einen Einfluss auf den Plantarwinkel haben bzw. mit diesem in Zusammenhang stehen, wurde dann ein mehrfaktorielles lineares Regressionsmodell berechnet. In dieses Modell wurden zunächst alle unabhängigen Variablen (Rasse, Größe und Geschlecht des Pferdes, sowie Kreuzungspunkt der verlängerten Linie des Kronsaums mit dem Vorderbein und der Kronsaumwinkel) aufgenommen. Anschließend erfolgte eine Rückwärtsselektion. Dazu wurde der Faktor mit dem höchsten P-Wert entfernt und betrachtet, ob sich das adjustierte Bestimmtheitsmaß änderte. Dieses Vorgehen wurde weitergeführt, bis keine Verbesserung des adjustierten Bestimmtheitsmaßes mehr erfolgte. Die Residuen der Modelle wurden auf Normalverteilung geprüft. Zur Prüfung auf Multikollinearität wurden die Varianzinflationsfaktoren des finalen Modells berechnet. Ein P-Wert $< 0,05$ wurde als statistisch signifikant angesehen.

Die Deskription und die Berechnung des Fleiss' Kappa wurden mittels SPSS (Version 27) durchgeführt. Für die Berechnung des IKK2 und die Modellierung wurde R (Version 4.0.3.) genutzt.

Ergebnisse

Die Geschlechtsverteilung der 140 Pferde war gleichmäßig (70 männliche und 70 weibliche Tiere). Der Altersdurchschnitt lag bei 13,4 (3–31) Jahren. Die durchschnittliche Größe der Pferde lag bei einem Stockmaß von 156,7 (116–182) cm. Folgende Rassen waren vertreten: Warmblut (58), Reitpony (24), Haflinger (17), Quarter Horse (15), Schweres Warmblut (14), Appaloosa (3), Mix (3), Vollblut (2), Kaltblut (1), Friese



Abb. 2 Latero-mediale Röntgenaufnahme der Zehe hinten rechts mit eingezeichnetem Plantarwinkel (grün) und Kronsaumwinkel (rot). | Latero-medial radiograph of the right hind foot with the plantar angle indicated with green lines and the coronet angle indicated with red lines.

(1), Fjordpferd (1) und Shetlandpony (1). Für das lineare Regressionsmodell wurden die Rassen in die folgenden 5 Kategorien zusammengefasst: 1. Warmblut (Warmblut, Schweres Warmblut), 2. Reitpony, 3. Quarter Horse, 4. Haflinger und 5. Andere (Appaloosa, Mix, Vollblut, Kaltblut, Friese, Fjordpferd, Shetlandpony).

Übereinstimmung der Untersucher

Die Messungen der einzelnen Untersucher hinsichtlich des Plantar- und des Kronsaumwinkels, die anhand der Röntgenaufnahmen bestimmt wurden, wiesen eine gute bis sehr gute Reliabilität auf. Der Intraklassen-Korrelations-Koeffizient (IKK) lag bei 0,87 (0,75–0,90 = gut) für die Messung des Plantarwinkels und bei 0,98 (> 0,90 = exzellent) für die Messung

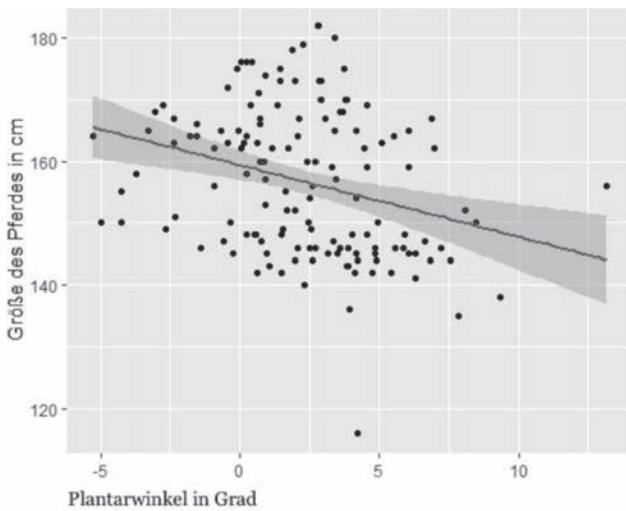


Abb. 3 Dieses Streudiagramm zeigt den negativen Zusammenhang zwischen der Körpergröße des Pferdes und dem Plantarwinkel, gemessen anhand einer latero-medialen Röntgenaufnahme des rechten Hinterhufes. Je größer das Pferd ist, um so kleiner ist statistisch gesehen der Plantarwinkel. | This scatter plot illustrates the negative relationship between the height of the horse and the plantar angle, as determined based on a latero-medial radiograph of the right hind foot. With increasing size of the horse, the plantar angle becomes smaller.

des Kronsaumwinkels. Für die eingezeichneten Linien auf dem Kronsaum des Hinterbeins und deren Verlängerung in Richtung Vorderbein ergab sich lediglich ein als mäßig einzustufender Fleiss' Kappa Koeffizient von 0,39 (0,21–0,40 = durchschnittlich).

Zusammenhang zwischen der verlängerten Linie des Kronsaums und dem röntgenologisch ermittelten Plantarwinkel

Von den 109 Pferden, bei denen die verlängerte Linie des Kronsaums durch bzw. oberhalb des Karpalgelenks verlief, hatten 22 Pferde ein negativen Plantarwinkel. Zusätzlich wurde bei 5 Pferden röntgenologisch ein negativer Plantarwinkel festgestellt, obwohl die Linie das Vorderbein unterhalb des Karpalgelenks schnitt (Tab. 1). Daraus ergibt sich ein Cohens' Kappa Koeffizient (a) von 0,021, der eine unzureichende Übereinstimmung der untersuchten Messungen bestätigt (Landis und Koch 1977). Den Ellbogen traf die verlängerte Kronsaumlinie bei 6 von 140 Pferden, wovon 3 Pferde über einen negativen Plantarwinkel verfügten. Hingegen zeigten 24 Pferde einen negativen Plantarwinkel, bei denen die Linie das Vorderbein unterhalb des Ellbogens erreichte (Tab. 2). Der daraus errechnete Cohens' Kappa Koeffizient (b) lag bei 0,12.

Zusammenhang zwischen dem Plantarwinkel und weiteren Faktoren

Ein negativer Plantarwinkel war bei 19% (27/140) der untersuchten Pferde röntgenologisch nachweisbar. Zwischen den verschiedenen Rassen konnte kein signifikanter Unterschied im Hinblick auf den Plantarwinkel gezeigt werden. Es wurde aber ein Zusammenhang zwischen der Größe des Pferdes und dem Plantarwinkel festgestellt (Abb. 3). So fielen große Pferde (Stockmaß 145–175 cm) häufiger mit einem negativen Plantarwinkel auf als kleine Pferde (Stockmaß 116 bis 144 cm) (P = 0,01). Hinsichtlich des Geschlechts war die Verteilung recht gleichmäßig. Es verfügten 12 männliche Tiere und 15 Stuten über einen negativen Plantarwinkel.

Tab. 1 Kreuztabelle für Cohens' Kappa Koeffizient als Maß für die Übereinstimmung zwischen dem Verlauf der verlängerten Kronsaumlinie in Bezug auf das Carpalgelenk und den Plantarwinkel, gemessen anhand einer latero-medialen Röntgenaufnahme. | Cross table for Cohens' Kappa coefficient as a measure of the correlation between the course of the extended coronary line in relation to the carpal joint and the plantar angle, measured on latero-medial radiographs.

| Plantarwinkel | | Linie auf/ oberhalb des Carpus | Linie unterhalb des Carpus |
|---------------|--|--------------------------------|----------------------------|
| negativ | Anzahl | 22 | 5 |
| | Plantarwinkel positiv oder negativ in % | 81,5 % | 18,5 % |
| | Linie auf/oberhalb des Carpus bzw. unterhalb des Carpus in % | 20,2 % | 16,1 % |
| Positiv | Anzahl | 87 | 26 |
| | Plantarwinkel positiv oder negativ in % | 77,0 % | 23,0 % |
| | Linie auf/oberhalb des Carpus bzw. unterhalb des Carpus in % | 79,8 % | 83,9 % |
| gesamt | Anzahl | 109 | 31 |
| | Plantarwinkel positiv oder negativ in % | 77,9 % | 22,1 % |
| | Linie auf/oberhalb des Carpus bzw. unterhalb des Carpus in % | 100,0 % | 100,0 % |

In der mehrfaktoriellen Betrachtung (Tab. 3) zeigten das Geschlecht sowie die Rasse des Pferdes keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Plantarwinkel des Hinterhufs und sind entsprechend nicht enthalten. Dagegen wurden signifikante Zusammenhänge zwischen dem Kronsaumwinkel sowie der Größe des Pferdes und dem Plantarwinkel ersichtlich. Mit jedem Grad mehr im Kronsaumwinkel sinkt der Plantarwinkel rechnerisch um 0,3 Grad. Die Pferde mit einem negativen Plantarwinkel besaßen einen Kronsaumwinkel zwischen 23,77° und 39,17° (im Mittel 28,77°) und die Pferde mit einem positiven Plantarwinkel einen Kronsaumwinkel zwischen 18,27° und 35,63° (im Mittel 26,95°). Größere Pferde zeigten eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen negativen Plantarwinkel (P = 0,01). Nimmt die Stockmaßhöhe um 10 cm zu, so sinkt rechnerisch der Plantarwinkel um etwa 1 Grad. Tatsächlich ergab das mehrfaktorielle Modell auch, dass Pferde, bei denen die verlängerte Linie des Kronsaums über dem Ellenbogen des Vorderbeins endet (3 von 6 Pferden), eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen negativen Plantar-

winkel aufweisen (P = 0,001). Ob die verlängerte Linie des Kronsaums das Vorderbein auf Höhe des Carpus oder zwischen Carpus und Ellenbogen kreuzte, konnte nicht mit der Messung eines negativen Plantarwinkels in Zusammenhang gebracht werden.

Diskussion

Die optische Verlängerung der Kronsaumlinie des Hinterbeins und die Beurteilung ihres Kreuzungspunktes mit dem gleichseitigen Vorderbein ist eine gängige Methode, die in der Praxis verwendet wird, um ohne röntgenologische Untersuchung Rückschlüsse auf den Plantarwinkel am Hinterhuf ziehen zu können (Schumacher et al. 2012, Rosenthal 2013, Kauffmann und Cline 2017). Dieser Zusammenhang wurde in dieser Studie an einer erheblichen Anzahl an Pferden untersucht und die Methode erwies sich als nicht zuverlässig wiederholbar oder valide.

Obwohl die verlängerte Kronsaumlinie von den Untersucherinnen an den gleichen, standardisiert aufgenommenen Profifotos eingezeichnet wurde, konnte keine adäquate Wiederholbarkeit festgestellt werden. Die Position der Linie ist unter anderem vom Ermessen der genauen Lokalisation des Kronsaums sowie vom Stand des Pferdes abhängig. Befindet sich die Röhre des Hinterbeins nur geringgradig vor oder hinter der Senkrechten, so verändert sich der Verlauf der Linie und demnach auch der Kreuzungspunkt mit dem Vorderbein. Da das Anlegen der Linie schon im Rahmen der Bildbeurteilung unzuverlässig erscheint, bleibt zu schließen, dass die Methode am Pferd ohne Standardisierung noch weniger Genauigkeit aufweist.

Von den Pferden, bei denen das strengere Kriterium erfüllt war, also die verlängerte Kronsaumlinie den Ellenbogen kreuzte (6 Pferde), konnte tatsächlich nur bei der Hälfte der Pferde auch röntgenologisch ein negativer Plantarwinkel festgestellt werden (bei 3 von 140 Pferden). Basierend auf dieser sehr geringen Anzahl an Pferden kann hier kaum eine allgemeingültige Aussage abgeleitet werden. Auch wenn das Kriterium

Tab. 3 Zusammenhang verschiedener Faktoren mit dem röntgenologisch festgestellten Plantarwinkel des Hinterhufes bei 140 Pferden – Ergebnisse der mehrfaktoriellen linearen Regression. | *Correlation of various factors with the plantar angle as determined on latero-medial radiographs of the hind hoof in 140 horses – results of the multifactorial linear regression.*

| Faktor | Schätzer | Konfidenzintervall | P-Wert |
|--|----------|--------------------|--------------|
| Intercept | 26,29 | | < 0,0001 |
| Größe des Pferdes (cm) | -0,1 | -0,14 – -0,06 | |
| Kronsaumwinkel (°) | -0,29 | -0,42 – -0,15 | < 0,0001 |
| Kreuzungspunkt der verlängerten Kronsaumlinie mit dem Vorderbein | | | global 0,004 |
| auf Carpus | Referenz | | |
| zwischen Carpus und Ellenbogen | -0,50 | -1,6–0,6 | 0,3646 |
| über Ellenbogen | -4,06 | -6,4 – -1,7 | 0,0010 |

Tab. 2 Kreuztabelle für Cohens' Kappa Koeffizient als Maß für die Übereinstimmung zwischen dem Verlauf der verlängerten Kronsaumlinie in Bezug auf das Ellbogengelenk und den Plantarwinkel, gemessen anhand einer latero-medialen Röntgenaufnahme. | *Cross table for Cohens Kappa coefficient as a measure of the correlation between the course of the extended coronary line in relation to the elbow joint and the plantar angle, measured on latero-medial radiographs.*

| Plantarwinkel | | Linie auf/oberhalb des Ellenbogens | Linie unterhalb des Ellenbogens |
|---------------|--|------------------------------------|---------------------------------|
| negativ | Anzahl | 3 | 24 |
| | Plantarwinkel positiv oder negativ in % | 11,1 % | 88,9 % |
| | Linie auf/oberhalb des Ellenbogens bzw. unterhalb des Ellenbogens in % | 50,0 % | 17,9 % |
| positiv | Anzahl | 3 | 110 |
| | Plantarwinkel positiv oder negativ in % | 2,7 % | 97,3 % |
| | Linie auf/oberhalb des Ellenbogens bzw. unterhalb des Ellenbogens in % | 50,0 % | 82,1 % |
| gesamt | Anzahl | 6 | 134 |
| | Plantarwinkel positiv oder negativ in % | 4,3 % | 95,7 % |
| | Linie auf/oberhalb des Ellenbogens bzw. unterhalb des Ellenbogens in % | 100,0 % | 100,0 % |

angewandt wurde, dass die Kronsaumlinie das gleichseitige Vorderbein auf oder oberhalb des Karpalgelenks kreuzt, zeigte sich nur eine mäßige Übereinstimmung, so dass die Methode weder wiederholbar noch valide erscheint.

Basierend auf den röntgenologischen Messungen konnte jedoch bestätigt werden, dass der Plantarwinkel mit dem Kronsaumwinkel an sich korreliert. Je größer der röntgenologisch gemessene Kronsaumwinkel ist und demnach je steiler der Kronsaum verläuft, desto kleiner wird der Plantarwinkel. Ein physiologischer Kronsaumwinkel sollte zwischen 20 und 25° liegen (Rosenthal 2013). Beträgt der Kronsaumwinkel über 30–45°, ist dieses anatomische Merkmal häufig mit einem negativen Plantarwinkel assoziiert (Schumacher et al. 2012; Rosenthal 2013). Pferde mit großem Kronsaumwinkel haben oftmals lange Zehen und niedrige oder sogar untergeschoebene Trachten (Floyd 2010, Clements 2021), wodurch die Huf-Fessel-Achse nach hinten gebrochen erscheinen kann (Kauffmann und Cline 2017, Clements 2021). Im Gegensatz zu einem solchen aspektorischen Befund erlangt man Gewissheit über den Plantarwinkel letzten Endes jedoch nur durch die Anfertigung einer latero-medialen Röntgenaufnahme des Hufes.

Mit der Größe des Pferdes steigt die Wahrscheinlichkeit, einen negativen Plantarwinkel vorzufinden. So erklärt sich, dass sich die negativen Plantarwinkel bei größeren Rassen im Vergleich zu Rassen mit kleinerer Körpergröße (beispielsweise Reitpony oder Shetlandpony) häufen. Somit hat die Rasse nicht an sich, aber indirekt über die Größe des Pferdes einen Einfluss auf den Plantarwinkel.

Zu den Limitationen der Studie zählt die Vernachlässigung der Bearbeitung der untersuchten Pferdehufe. Sowohl der Plantarwinkel als auch der Kronsaumwinkel sind in geringem Maße davon abhängig, wann und mit welcher Qualität die letzte Hufbearbeitung stattgefunden hat (Kummer et al. 2006, Thieme et al. 2015a und b). Ob die Hufe unbeschlagen oder beschlagen waren spielte in dieser Studie keine Rolle, da der Kronsaumwinkel zwischen dem Kronsaum und der Tragfläche des Hufes und nicht in Relation zum Boden gemessen wurde. Zusammenfassend zeigt diese Studie, dass der Kreuzungspunkt der verlängerten Kronsaumlinie des Hinterhufes mit dem gleichseitigen Vorderbein keinen Rückschluss auf den Plantarwinkel zulässt, da diese Methode weder wiederholbar noch valide ist. Um den Plantarwinkel zuverlässig bestimmen zu können, ist die Anfertigung eines Röntgenbildes unumgänglich.

Literatur

- Clements P. (2021) Therapeutic farriery of the hind feet for horses with hindlimb orthopaedic injuries. *UK Vet Equine* 5, 1; DOI 10.12968/ukve.2021.5.1.6
- Clements P. E., Handel I., McKane S. A., Coomer R. P. (2020) An investigation into the association between plantar distal phalanx angle and hindlimb lameness in a UK population of horses. *Equine Vet. Educ.* 32 (Suppl. 10) 52–59; DOI 10.1111/eve.13186
- Dyson S., Murray R., Schramme M., Branch M. (2003) Lameness in 46 horses associated with deep digital flexor tendonitis in the digit: diagnosis confirmed with magnetic resonance imaging. *Equine Vet. J.* 35, 681–690; DOI 10.2746/042516403775696294
- 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; DOI 10.1111/j.2042-3306.2010.00162.x
- 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, 432–435; DOI 10.2746/0425164044868378
- Floyd A., Mansmann R. (2009) *Hufkrankheiten Diagnostik – Therapie – Orthopädischer Beschlag*. München, Urban & Fischer Verlag: 126 f., 183 f.
- Floyd A. (2010) Use of a grading system to facilitate treatment and prognosis in horses with negative palmar angle syndrome (heel collapse): 107 cases. *J. Equine Vet. Sci.* 30, 666–675; DOI 10.1016/j.jevs.2010.10.002
- Kauffmann S., Cline C. (2017) *The Essential Hoof Book. The Complete Modern Guide to Horse Feet - Anatomy, Care and Health, Disease Diagnosis and Treatment*. Trafalgar Square Books: 25 f., 69 f., 111 f., 251 f.
- 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; DOI 10.1016/j.tvjl.2005.03.008
- Landis J. R., Koch G. G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33, 159–174, PMID: 843571
- 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
- Litzke L.-F., Rau B. (2012) *Der Huf – Lehrbuch des Hufbeschlages*. Stuttgart, Enke Verlag: 75–119
- Mansman R. A., James S., Bilkslager A. T., vom Orde K. (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; DOI 10.1016/j.jevs.2010.11.007
- Parks A. (2003) The foot and shoeing. In: *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*, Ross M. W., Dyson S. J., Elsevier Health Sciences: 252–275
- Pezzanite L., Bass L., Kawcak C., Goodrich L., Moorman V. (2019) The relationship between sagittal hoof conformation and hindlimb lameness in the horse. *Equine Vet. J.* 51, 464–469; DOI 10.1111/evj.13050
- Rosenthal M. (2013) How to examine the foot. In: *Modern Equine Vet*, February 2013
- Schumacher J., Taylor D. R., Schramme M. C., Schumacher J. (2012) Localization of pain in the equine foot emphasizing the physical examination and analgesic techniques. *American Association of Equine Practitioners Convention Proceedings Vol. 58*, 138–156
- Thieme K., Ehrle A., Lischer C. (2015a) Morphometrische Messungen am Pferdehuf – eine Literaturübersicht. *Pferdeheilkunde* 31, 108–118; DOI 10.21836/PEM20150201
- Thieme K., Ehrle A., Lischer C. (2015b) Radiographic measurements of the hooves of normal ponies. *Vet. J.* 206, 332–337; DOI 10.1016/j.tvjl.2015.10.005
- Thomason J. J., Faramarzi B., Revill A., Sears W. (2008) Quantitative morphology of the equine laminar junction in relation to capsule shape in the forehoof of Standardbreds and Thoroughbreds. *Equine Vet. J.* 40, 473–480; DOI 10.2746/042516408X313652
- Vibe A. (2020) Shoeing the hind limb. In: *The Farriers Journal* 203, May-June 2020
- Walmsley E. A., Jackson M., Wells-Smith L., Whitton R. C. (2019) Solar angle of the distal phalanx is associated with scintigraphic evidence of subchondral bone injury in the palmar/plantar aspect of the third metacarpal/tarsal condyles in Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. J.* 51, 720–726; DOI 10.1111/evj.13086