

Die Kunst des Hufbeschlags – zwischen Empirie und Wissenschaft

M.A. Weishaupt¹, B. Musterle¹, R. Bertolla¹, S. Wehrli², H. Geyer³, B. Wampfler⁴, P. Jordan¹, M. Kummer¹, J.A. Auer¹, A. Fürst¹

¹Pferdeklinik und ³Veterinär-Anatomisches Institut der Universität Zürich, ²Stefan Wehrli, Heldswil TG, ⁴Nationales Pferdezentrum, Bern

Zusammenfassung

Die korrekte Ausführung eines funktionellen Beschlags setzt Kenntnisse des Hufschmieds über Stellungsanomalien und Bewegungsmuster des Pferdes sowie über die verschiedenen Beschlagskonzepte voraus und verlangt von ihm die Fähigkeit, diese für jedes Pferd individuell umzusetzen. Beschlagstechnische Interventionen werden unter Fachleuten oft kontrovers diskutiert und sollten mittels ganganalytischer Untersuchungen erhärtet werden. In der vorliegenden Fallstudie wurden die Einflüsse verschiedener Beschlagszustände anhand von ausgewählten Ganganalyseparametern untersucht. Die Messungen wurden an einer Warmblutstute durchgeführt: (A) beschlagen mit langer Zehe, (B) aus-geschnitten, unbeschlagen, (C) konventionell beschlagen mit Zehenrichtung und (D) beschlagen nach der 4-Punkt-Methode. Kraft-, Zeit- und Längenparameter wurden mit Hilfe eines instrumentierten Laufbands erhoben. Das Auffussen und Abrollen wurde mit Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen festgehalten. Es zeigte sich, dass eine lange Zehe zu einer Verlängerung der Abrollzeit und somit zu einer Verlängerung der hinteren Schrittpartie führt und die längere Stützbeinzeit bei gleich bleibendem Impuls in niedrigeren Kraftspitzen resultiert. Es bestanden quantifizierbare Unterschiede zwischen dem unbeschlagenen Huf, dem Beschlag mit langer Zehe und den Beschlägen mit optimaler Zehenrichtung. Die Differenzen zwischen den beiden Beschlagsformen waren hingegen minimal. Die Ganganalyse unter standardisierten Bedingungen eignet sich zur objektiven Beurteilung von Beschlägen.

Schlüsselwörter: Hufbeschlagn, Ganganalyse, Hochgeschwindigkeitsvideografie, Kinetik, lange dorsale Hufwand

The art of horseshoeing – between empiricism and science

To correctly shoe a horse requires the farriers to have a good working knowledge of postural anomalies and movement patterns, as well as of the different concepts of horseshoeing and to be able to apply the appropriate technique to every individual horse they shoe. The correct technique for specific problem cases is frequently a subject of debate amongst specialists and many theories would benefit from objective gait analyses. The case study presented examines the influence of different shoeing conditions on selected gait analysis parameters. The measurements were conducted on a Warmblood mare: (A) shod with long toes, (B) properly trimmed without shoes, (C) conventionally shod with rolled toes and finally (D) shod using the 4-point technique. Data on force-, time- and distance parameters were recorded using an instrumented treadmill. First contact and breakover of the hooves were documented using high-speed videography. A long toe resulted in a prolongation of the breakover time and, therefore, in a prolongation of the second half of the stance phase. Additionally, the prolonged stance duration associated with an unaltered force impulse, led to decreased force peaks. It was possible to objectively record differences between the trimmed, unshod foot, the shod long-toe and the shod rolled toe configurations. The differences between the rolled toe and the 4 point shoe however, were minimal. Gait analysis is a technique well suited for objective evaluation of different shoeing techniques under standardised conditions.

Keywords: horseshoeing, gait analysis, highspeed videography, kinetics, long toe, breakover

Einleitung

Das Beschlagen eines Pferdes erfordert hohes handwerkliches Können und die Fähigkeit durch scharfes Beobachten und Memorisieren des Huf- und Beschlagszustandes über Beschlagsperioden die allgemeinen Grundkonzepte des Vorgehens individuell und situativ-flexibel zu interpretieren. Variablen, die beim Beschlagen miteinbezogen werden müssen, sind das Exterieur des Pferdes, die individuelle Gliedmassenkonformation und -bewegung, die Hufform und Hornqualität, die Nutzungsansprüche, aber auch externe Faktoren wie Bodenbeschaffenheit und Jahreszeit. Die korrekte Wahrnehmung und Interpretation dieser Einflussfaktoren erfordert viel Übung. Dem Wahrnehmungsvermögen auch eines geübten Beobachters sind jedoch natürliche Grenzen gesetzt. So können wir zum Beispiel mit unseren Sinnen die Bodenreaktionskräfte entlang des Tragrandes gar nicht direkt erfahren, geschweige denn die internen Kräfte, die in Gelenken oder Sehnen entstehen. Das limitierte zeitliche Auflösungsvermögen des menschlichen Auges erlaubt nur die grobsinnliche Erfassung subtiler Bewegungen wie das Auffussen des Hufes (Abb. 1). In vielen Lehrbüchern wird die Flugbahn des Hufes immer noch als eine symmetrische Parabel idealisiert mit dem höchsten Punkt in der Mitte der Vorführphase. Ebenfalls wird landläufig immer noch geglaubt, dass die Form des Vorführbogens von der Hufform abhängig ist: ein Flachhuf den höchsten Punkt der Flugbahn im ersten Drittel und ein steiler Huf und Fesselstand im letzten Drittel der Vorführphase erreicht (Leisering et al., 1893; Stashak, 1987;

Ruthe, 1988). Kinematische Untersuchungen dokumentieren, dass die Flugbahn sowohl des Vorderals auch Hinterhufes unabhängig vom Hufwinkel steil ansteigt und immer im ersten Drittel der Hangbeinphase den höchsten Punkt erreicht um dann bis unmittelbar vor dem Auffussen flach abzufallen (Clayton, 1990; Balch et al., 1991a; Back et al., 1995; Girtler et al., 1995; Balch et al., 1997). Fusst das Pferd plan oder über die Trachten wird der Huf nochmals leicht angehoben (Clayton, 1990). Der Vorderhuf wird jeweils höher angehoben als der Hinterhuf, wobei der höchste Punkt auch beim Vorderhuf mit 18 cm überraschend niedrig ist (Girtler et al., 1995).

Ein funktioneller Beschlag ist entscheidend für die Gesunderhaltung von Huf und Bewegungsapparat und soll das Pferd unterstützen, seine individuellen lokomotorischen Kapazitäten zu entfalten. Dabei spielt die kranio-kaudale und medio-laterale Balance des Hufes eine zentrale Rolle. Unbalancierte Hufe, das heisst Hufe mit einer zu langen dorsalen Hufwand («lange Zehe»), mit nach vorne oder hinten gebrochener Zehenachse, bzw. Hufe, die nicht plan fussen (kippen), prädisponieren für Lahmheiten und beeinflussen deshalb massgeblich die Leistungsfähigkeit des Athleten (Swanson, 1988; Balch et al., 1995; Wilson et al., 1998). Um diese Hufbalance zu erreichen, orientiert man sich je nach Ausbildung an 3 verschiedenen Konzepten: an der geometrischen Balance, der dynamischen Balance und am «Natural Balance» Konzept. Bei der geometrischen Balance soll, von vorne betrachtet, die Bein- und Zehenachse senkrecht zur Sohlenfläche des Hufes stehen und die mediale und laterale Hufwand gleich hoch sein. Nicht

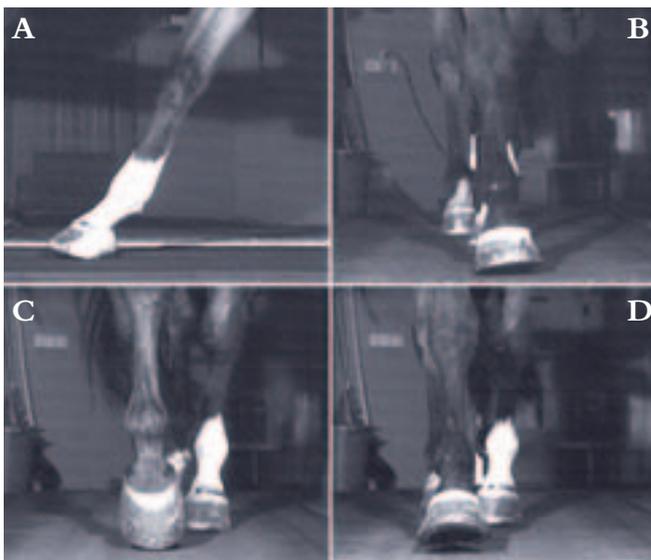


Abbildung 1: Standbilder aus Hochgeschwindigkeitsfilmen. (A) Trachtenfussen, (B) medio-laterale Imbalance (Kippen) unmittelbar bei Bodenkontakt, (C) Huf in der Hangbeinphase und Eintauchen der Zehenspitze unmittelbar vor dem terminalen Anheben des Hufes, (D) Zehenschleudern.

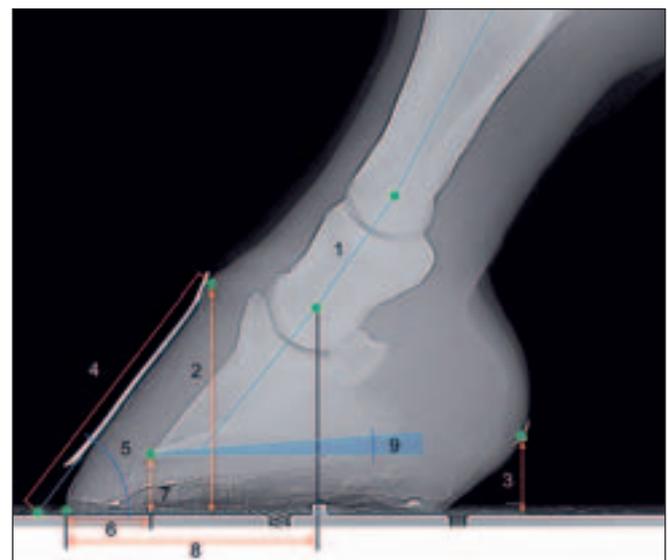


Abbildung 2: Biomechanisch relevante Hufdimensionen: (1) Zehenachse, (2) Hufhöhe, (3) Trachtenhöhe, (4) Länge der Zehenwand, (5) Winkel der dorsalen Hufwand in Relation zum Boden (Hufwinkel) und (6) Abstand Zehenspitze zur Hufbeinspitze, (7) Abstand der Hufbeinspitze zum Boden, (8) Relation Abrollpunkt zu Hufgelenksdrehpunkt, (9) Winkel der Hufbeinsohle zum Boden.

berücksichtigt werden hier die Gliedmassenkonformation und die Fussung des Pferdes. Bei der dynamischen Balance wird das Hauptaugenmerk auf das plane Auffussen gelegt. Beim «Natural Balancing» wird versucht, den Huf des domestizierten Pferdes nach dem Vorbild der Wildpferde zu formen (Ovniček et al., 2003). Balch und Mitarbeiter (1991a) haben in ihren Untersuchungen festgestellt, dass das Ausbalancieren des Hufes alleine nach dem einen (geometrischen) oder anderen (dynamischen) Prinzip keine ausgeglichene Belastungsverteilung innerhalb des Hufes garantiert. Es empfiehlt sich beim Ausschneiden des Hufes, alle 3 Konzepte mit einzubeziehen und dabei folgende grundlegende Kriterien zu beachten: Länge der Zehenwand, Höhe des Hufes, Zehenachse, Winkel der dorsalen Hufwand in Relation zum Boden (Hufwinkel) und der Abrollpunkt in Relation zum Hufgelenksdrehpunkt (Balch et al., 1995; Abb. 2).

Immer mehr wird der Beschlag eines Sportpferdes auch im Kontext von Leistungsverbesserung diskutiert. Manipulationen an der Zehenlänge, am Hufwinkel oder durch Anbringen von zusätzlichen Gewichten werden oft rein subjektiv durchgeführt mit der Idee, die Gliedmassenbewegung zu beeinflussen oder Interferenzen zwischen den Gliedmassen (Schmieden) entgegenzuwirken. Ganganalytische Untersuchungen haben gezeigt, dass viele dieser Interventionen nicht den angestrebten Effekt erzielen. Unzählige Beobachtungen und empirische Schlussfolgerungen haben zur Abwendung vom traditionellen Vorgehen und zur Entwicklung von neuartigen Beschlagstechniken und -materialien geführt. Die Effekte all dieser neuen Ideen und Konzepte werden unter Fachleuten aus Mangel an harten Fakten meist kontrovers diskutiert. Bei solchen Debatten werden sehr oft die Rahmenbedingungen wie individuelle Gliedmassenkonformation des Pferdes (Hufform und Beinstellung), Geschwindigkeit bzw. Gangart, Gebrauch des Pferdes oder die Beschaffenheit der Unterlage, auf welcher sich das Pferd zu bewegen hat, zu ungenau definiert oder ignoriert. Dies führt gezwungenermassen zu Missverständnissen und kann der eigentlichen Sache – der Gesunderhaltung und Leistungsverbesserung des Pferdes – kaum wirklich dienen. Die objektive Beurteilung solcher Effekte mit Hilfe von geeigneten Ganganalysemethoden hat sich in den letzten Jahren auf dem Gebiet des Hufbeschlages etabliert und der Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis fasst allmählich Fuss.

Hufeisengewicht/Gewicht an der distalen Gliedmasse

Das Gewicht des Hufeisens verstärkt, im Vergleich zum unbeschlagenen Huf, die vertikale Amplitude der Vorfuhrbewegung durch vermehrte Beugung in

Karpus, Fessel- und Hufgelenk (Willemen et al., 1997). Das Verhältnis zwischen Stütz- und Hangbeinphase verschiebt sich zu Gunsten der Hangbeinphase. Die Verkürzung der Stützbeinphase relativ zum Bewegungszyklus erhöht die maximalen vertikalen Bodenreaktionskräfte und führt unweigerlich zur Mehrbelastung der Gliedmasse (Roepstorff et al., 1999). Bei Rennpferden spielt das Hufeisengewicht aus energetischen Überlegungen (erhöhtes Trägheitsmoment der distalen Gliedmasse) eine entscheidende Rolle, weshalb in der Regel leichte Aluminiumeisen verwendet werden. Bei Trabern soll das Anbringen von Gewichten jungen Pferden helfen, schneller die Gliedmassenkoordination und Balance bei höheren Geschwindigkeiten zu finden. Fälschlicherweise wird die verstärkte Animation der Vorfuhrbewegung als grössere Trittlänge interpretiert. Das Anbringen von Zehengewichten (88 Gramm) hatte weder einen Einfluss auf die Trittlänge und Trittfrequenz noch auf die relative Stützbeinzeit (Willemen et al., 1994).

Bodenreaktionskräfte

Der Angriffspunkt des Kraftvektors bewegt sich vom Ort des Erstkontakts zur Strahlspitze und verbleibt dort während des grössten Teils der Stützbeinphase, um am Schluss beim Abstossen in Richtung Zehenspitze zu wandern. Ob der Kraftangriffspunkt sich mehr auf der medialen oder lateralen Seite des Hufes befindet, hängt von der individuellen Gliedmassenkonformation ab (Balch et al., 1991b). Bei normaler Gliedmassenstellung, im Stehen, Schritt und Trab ist in der Regel die innere Seite des Hufes mehr belastet; bei bodenger Stellung greift die Kraft tendenziell aussen an. Bei spitzwinkligen Hufen ($\approx 40^\circ$) verschiebt sich der Kraftangriffspunkt in Richtung der Trachten (Barrey, 1990). Dies kann um 20% reduziert werden, wenn der Hufwinkel auf 55° korrigiert wird (Barrey, 1990). Die medio-laterale Imbalance erhöht die Bodenreaktionskräfte auf der Seite der höheren Hufwand (Balch et al., 1991b). Eine sowohl nach vorne als auch nach hinten gebrochene Zehenachse manifestiert sich interessanterweise immer in einer Mehrbelastung des medialen Trachtenbereichs (Balch et al., 1991b). Im Vergleich zum Barhuf, hat der beschlagene Huf wesentlich höhere Aufprallkräfte (impact forces) zu ertragen (Balch et al., 1991b; Benoit et al., 1993; Dyhre-Poulsen et al., 1994). Die maximale Abbremsbeschleunigung beim unbeschlagenen Huf beträgt ca. 450 m/s^2 und kann mit Hufeisen auf knapp das Doppelte (bis gegen 800 m/s^2) ansteigen (Hertsch et al., 1996). Polyurethan-Einlagen sind in der Lage, den Aufprallstoss bis auf 200 m/s^2 herunterzudämpfen (Benoit et al., 1993).

Länge und Winkel der dorsalen Hufwand

Die Hufkonformation hat einen signifikanten Einfluss auf die Zugspannung der tiefen Beugesehne und den Hufmechanismus. Änderungen in der Hufwandspannung im Zehenbereich sind sehr viel ausgeprägter bei einem flachen Huf mit langer dorsaler Hufwand, während ein Bockhuf steifer ist (Thomason, 1998). Die lange dorsale Hufwand, häufig mit niedrigen, untergeschobenen Trachten kombiniert, erweist sich als eine ungünstige Konstellation für die Belastung der tiefen Beugesehne, des Unterstützungsbandes des tiefen Zehenbeugers, des Strahlbeins und seiner Annexstrukturen (Eliashar et al., 2004). Diese Belastung ist akzentuiert auf hartem Untergrund, wo die Zehenspitze während der Stützbeinphase nicht einsinken kann. Das Einsinken der Zehenspitze und die leichte Flexion im Hufgelenk führen v. a. am Ende der Stützbeinphase zu einer Spannungsreduktion in den Strahlbeinbändern und im Unterstützungsband. Auch eine kurze dorsale Hufwand, das heisst ein kurzer Fesselbein-Kronbein-Hufbein-Hebel, entlastet diese Strukturen vor allem im letzten Drittel der Stützbeinphase und begünstigt das Abrollen. Das Abrollen (Breakover) ist definiert als der terminale Teil der Stützbeinphase zwischen Abheben der Trachten bis zum Abheben der Zehe vom Boden. Diese Rotation des Hufes wird hauptsächlich durch den Spannungsaufbau in der tiefen Beugesehne, im Unterstützungsband des tiefen Zehenbeugers und im Fesselbein-Strahlbein-Hufbeinband eingeleitet. Die Zehenspitze dient als Hebelansatzpunkt oder Abrollpunkt. Ein Flachhuf mit langer Zehenwand verlängert die Abrollzeit (Clayton, 1990; Balch et al., 1991b). Das Kürzen der Zehe und das Zurücksetzen des Abrollpunktes des Eisens relativ zur Hufbeinspitze kann die Abrollzeit massgeblich verkürzen (Clayton, 1990) und die Hebelkräfte reduzieren (Eliashar et al., 2002). Ein solch positiver Effekt konnte mit Beschlagsvarianten, die gewöhnlich im europäischen Raum angewendet werden um das Abrollen zu unterstützen [Hufeisen mit Zehenrichtung (rolled toe), Hufeisen mit abgeschliffenem Schuss (rocker toe), zurückgesetztes Eisen mit geradem Schuss (squared toe)] nicht eindeutig kinematisch nachgewiesen werden (Clayton et al., 1991; Willemen et al., 1996). Hingegen konnte experimentell die Abrollzeit mit einer 4 Grad Trachtenkeilung verkürzt und mit einem 4 Grad Zehenkeil verlängert werden (Balch et al., 1991b). Auch überproportionales Zurückschneiden der Trachten führt zur Erhöhung der Zugspannung in der tiefen Beugesehne (Lochner et al., 1980). Das Anheben der Trachten mittels Keil vermindert zwar die Spannung in der tiefen Beugesehne und im Unterstützungsband des tiefen Zehenbeugers (Leach, 1983; Bushe et al., 1987; Thompson et al., 1993; Riemersma et al., 1996), erhöht jedoch die Spannung

in der oberflächlichen Beugesehne und im Fesselträger durch die deutlichere Extension im Fesselgelenk (Willemen et al., 1999). Dies ist noch ausgeprägter im Trab (Stephens et al., 1989). Ein 6 Grad Keil reduzierte den Druck auf das Strahlbein um 24% und wird deshalb für die Rekonvaleszenz von Zerrungen der tiefen Beugesehne und des Unterstützungsbandes des tiefen Zehenbeugers sowie zur Entlastung des Strahlbeinapparates empfohlen (Willemen et al., 1999).

Bei Rennpferden werden immer wieder flache Hufe mit langen Zehen und niedrigen Trachten beobachtet. Häufig wird diese Hufform bewusst erzeugt, um die Bewegungsaktion des Pferdes zu verbessern. Entgegen den Erwartungen verlängert weder eine lange Zehe noch eine spitzwinklige Hufstellung die Schritt-, Tritt- oder Galopplänge und hat auch keinen Einfluss auf die Form des Vorführbogens oder die Dauer der Hangbeinphase (Clayton, 1990; Balch et al., 1991a; Girtler et al., 1995). Eine verlängerte Abrollzeit limitiert hingegen das Verkürzen der Stützbeindauer, was bei Renngeschwindigkeiten entscheidend ist, um sehr hohe Tritt- und Galoppfrequenzen zu erreichen. Die maximale Bewegungsfrequenz definiert die Maximalgeschwindigkeit (Leach und Drevemo, 1991). Die verlängerte hintere Schrittpartie der Vordergliedmasse führt zudem zu Interferenzen mit der Hintergliedmasse (Schmieden). Spitzwinklige Hufe prädisponieren für Stolpern und führen zu häufigerem Zehenspitzenfassen (Clayton, 1990).

Die biomechanischen Konsequenzen von in der Praxis häufig eingesetzten Spezialeisen (z.B. Spateisen, Beschlagn zur Korrektur der habituellen Patella-fixation) sind heute nur ansatzweise wenn überhaupt untersucht (Back et al., 2003). Viele Beschlagnkonzepte und Beschlagnmaterialien gilt es unter Einbezug aller heute verfügbaren biomechanischen Analyse-möglichkeiten (Wilson et al., 1992) auf verschiedenen Böden und in allen Gangarten zu validieren (Pardoe et al., 2001).

Das Ziel der folgenden Fallstudie war es, mit Hilfe einiger ausgewählter Ganganalyse-Parameter, Unterschiede zwischen einem alten Beschlagn mit lang gewachsener dorsaler Hufwand, einem ausgeschnittenen Barhuf sowie einem konventionellen und einem 4-Punkt Beschlagn aufzuzeigen. Eine lange dorsale Hufwand sollte im Vergleich zu den anderen Konditionen zu einer Verlängerung der Abrollzeit führen, was sich erwiesenermassen negativ auf die palmaren Strukturen der distalen Gliedmassen auswirkt.

Material und Methoden

Für diese Studie stand uns eine CH-Warmblutstute (7-jährig, Körpergewicht 590 kg, Stockmass 171 cm,

Abstammung Lysander) aus dem Nationalen Pferdezentrum Bern zur Verfügung. Die Stute war dressurmässig ausgebildet worden und wurde für Springen bis RII genutzt. In den 2 vorhergegangenen Beschlagsperioden wie auch während der Untersuchungen war das Pferd lahmheitsfrei. Die Hufform war normal bei langer Fesselung. Hingegen war bekannt, dass jeweils gegen Ende der Beschlagsperiode die dorsale Zehenwand, vor allem der Vorderhufe, zu langem Wachstum neigte. Auffällig am Gang der Stute waren die grosszügigen Bewegungen und die Tendenz am Ende der Hangbeinphase die Zehe vorwärts zu schleudern und über die Trachten zu fussen.

Die Stute wurde vorerst während 2 Tagen an das Laufband gewöhnt. Die Ganganalyse wurde in 4 Situationen durchgeführt:

(A) mit altem Beschlag und deutlich lang gewachsener dorsaler Zehenwand (Ausgangssituation; Abb. 3A und 4A), (B) nach Ausschneiden, ohne Beschlag (Abb. 3B), (C) nach Anbringen eines konventionellen Beschlags mit Zehenkappe und optimaler Zehenrichtung durch Aufbiegen des Schusses (Abb. 3C und 4B), (D) 10 Wochen später, beschlagen nach der 4-Punkt-Methode (2 Seitenkappen, Eisen deutlich zurückgesetzt) (Abb. 3D und 4C).

Alle Untersuchungen wurden auf dem Laufband bei immer den gleichen Schritt- (1.8 m/s) und Trabgeschwindigkeiten (3.6 m/s) durchgeführt. Kraft- (Kraftspitze, Impuls), Zeit- (Schrittfrequenz, Stützbeinzeit, Hangbeinzeit) und Längenparameter (Distanz des Übertretens) wurden mit Hilfe eines instrumentierten Laufbands von allen vier Beinen gleichzeitig gemessen (Weishaupt et al., 2002). Das Bewegungsmuster wurde mit seitlichen und frontalen Videoaufnahmen festgehalten. Die Abrollzeit wurde anhand von Hochgeschwindigkeitsvideoaufnahmen bestimmt; die Aufnahmen wurden mit 500 Bildern pro Sekunde gemacht. Weiter wurde anhand dieser

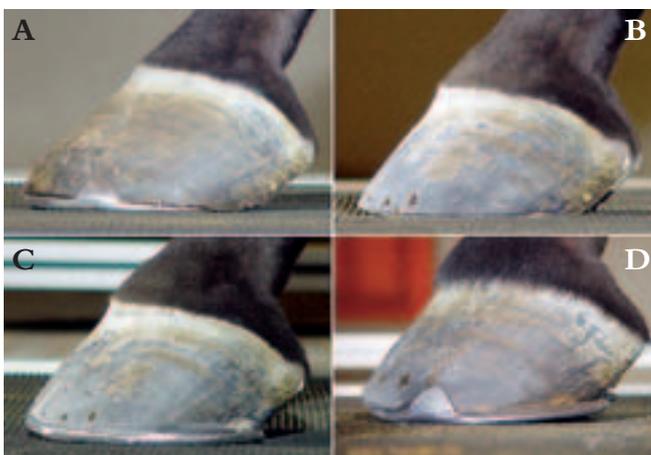


Abbildung 3: Die 4 untersuchten Beschlagszustände: (A) Ausgangssituation, beschlagen, mit langer dorsaler Hufwand, (B) nach Ausschneiden, unbeschlagen, (C) nach Anbringen eines konventionellen Beschlags mit Zehenrichtung, (D) nach Anbringen des 4-Punkt-Beschlages.

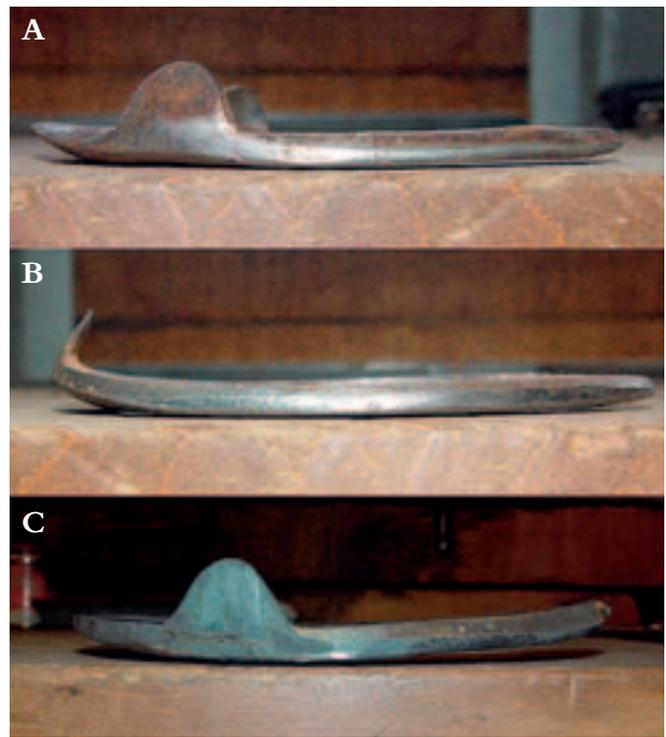


Abbildung 4: Die 3 Hufeisen: (A) Hufeisen der Ausgangssituation mit abgelaufenem Schuss, (B) konventionelles 1-Kappen-Eisen mit Zehenrichtung, (C) Natural Balanced Shoe mit 2 Seitenkappen und leicht aufgebogenen Ruten.

Bilder die Flugbahn des Hufes unmittelbar vor dem Auffussen (Abb. 5A) bzw. beim Abfussen und Vorwärtsbeschleunigen zu Beginn der Hangbeinphase studiert (Abb. 5B).

Ergebnisse

Da die beiden Beschläge hauptsächlich die Vorderhufe betreffen, werden im Weiteren ausschliesslich die Resultate der Vordergliedmassen diskutiert. Die Änderungen werden mit Referenz zur Ausgangssituation (lang gewachsene dorsale Hufwand) besprochen.

Schrittfrequenz (SF)

Im Schritt und im Trab erhöhte sich die SF sowohl in der unbeschlagenen Situation als auch bei beiden Beschlägen; die Zunahme war am deutlichsten in der unbeschlagenen Situation.

Stützbeinzeit (SBZ)

Im Schritt verkürzte sich die SBZ sowohl beim unbeschlagenen Huf als auch bei beiden Beschlägen deutlich. Es konnte kein Unterschied zwischen den beiden Beschlägen erkannt werden (Abb. 6A). Auch im Trab verkürzte sich die SBZ bei beiden Beschlägen in gleichem Ausmass, blieb hingegen unverändert beim unbeschlagenen Huf (Abb. 6B).

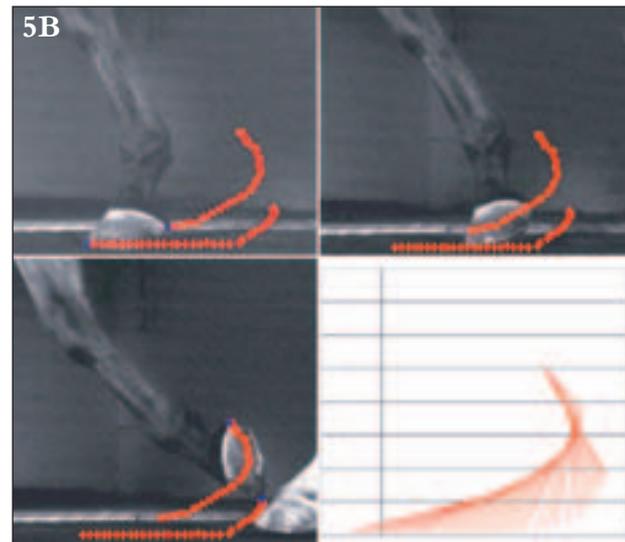
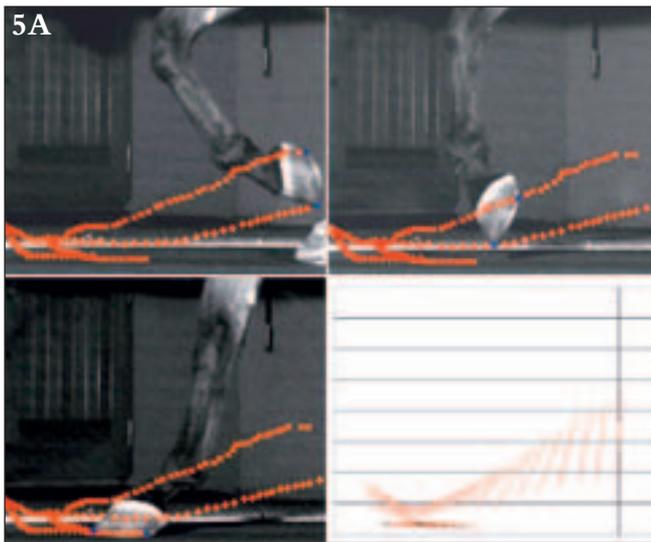


Abbildung 5: (A) Flugbahn des Zehen- und Rutenmarkers vor und während des Aufstehens, (B) Flugbahn des Zehen- und Ballenmarkers während des Abrollvorgangs.

Hangbeinzeit (HBZ)

Im Schritt verkürzte sich die HBZ beim unbeschlagenen Huf, blieb jedoch unverändert bei beiden Beschlägen. Im Trab verkürzte sich die HBZ beim unbeschlagenen Huf, verlängerte sich jedoch leicht beim konventionellen Beschlag und etwas deutlicher beim 4-Punkt-Beschlag.

Abrollzeit (ARZ)

Im Schritt verkürzte sich die ARZ am deutlichsten beim unbeschlagenen Huf (im Mittel 25 ms) und etwas weniger deutlich mit dem konventionellen Beschlag. Mit dem 4-Punkt-Beschlag blieb die ARZ unverändert. Im Trab verkürzte sich die ARZ am deutlichsten in der unbeschlagenen Situation und mit dem konventionellen Beschlag (bis zu 15 ms). Weniger deutlich verkürzte sich die ARZ mit dem 4-Punkt-Beschlag (Abb. 7).

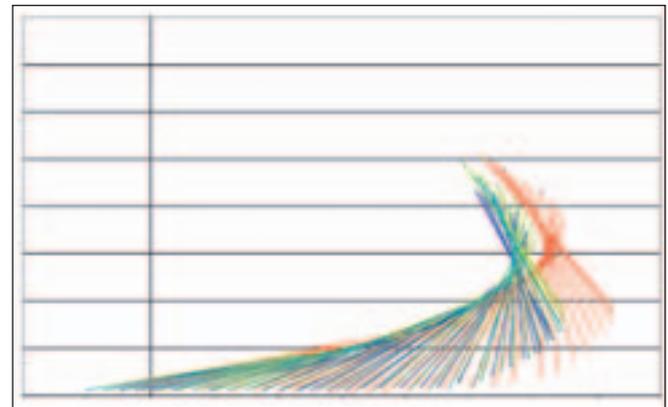


Abb. 7: Abrollvorgang in den verschiedenen Beschlagsituationen. Die rot gekennzeichnete Abrollbewegung (Ausgangssituation mit der lang gewachsenen Zehenwand) unterscheidet sich deutlich von den anderen durch eine Verlängerung der hinteren Schrittpartie.

Impuls

Sowohl im Schritt als auch im Trab blieben die Impulse in allen untersuchten Situationen unverändert, was auf Grund der standardisierten Untersuchungsgeschwindigkeiten zu erwarten war.

Spitzenkräfte ($F_{z_{peak}}$)

Im Schritt waren sowohl beim unbeschlagenen Huf als auch bei beiden Beschlägen höhere $F_{z_{peak}}$ -Werte zu verzeichnen (Abb. 6A). Im Trab erhöhte sich die $F_{z_{peak}}$ bei beiden Beschlägen, blieb jedoch unverändert beim unbeschlagenen Huf (Abb. 6B).

Distanz des Übertretens (ÜT)

Sowohl im Schritt als auch im Trab verkürzte sich die ÜT sowohl beim unbeschlagenen Huf als auch bei beiden Beschlägen.

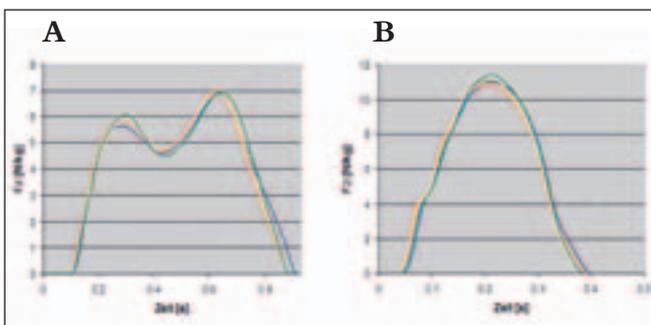


Abbildung 6: Vertikale Kraftkurven (A) im Schritt, (B) im Trab. Blau, lang gewachsene Zehenwand; orange, ausgeschnitten, unbeschlagen; beige, konventionell beschlagen mit Zehenrichtung; grün, beschlagen nach der 4-Punkt-Methode. Jede Kurve stellt eine Mittelwertkurve aus 30 Bewegungszyklen dar.

Zehenschleudern der Hufe

Sowohl im Schritt als auch im Trab konnte Zehenschleudern beobachtet werden. Die Highspeed-Aufnahmen zeigten unverkennbar, dass diese Bewegung beim unbeschlagnen Huf am wenigsten ausgeprägt war. Im Trab ohne Hufeisen war die Schleuderbewegung bis zu 2.5 cm kürzer als im beschlagnen Zustand (Abb. 8). Kein Unterschied konnte zwischen der Situation mit der lang gewachsenen dorsalen Hufwand und den beiden Beschlagnvarianten beobachtet werden. Das Ausmass dieses Phänomens wird dem Gewicht des Hufeisens zugeschrieben. Die Bodenfreiheit der Zehe kurz vor dem Zehenschleudern war mit dem konventionellen Beschlagn am deutlichsten. Am tiefsten tauchte die Zehe in der Ausgangssituation mit der lang gewachsenen Zehenwand und mit dem 4-Punkt-Beschlagn.

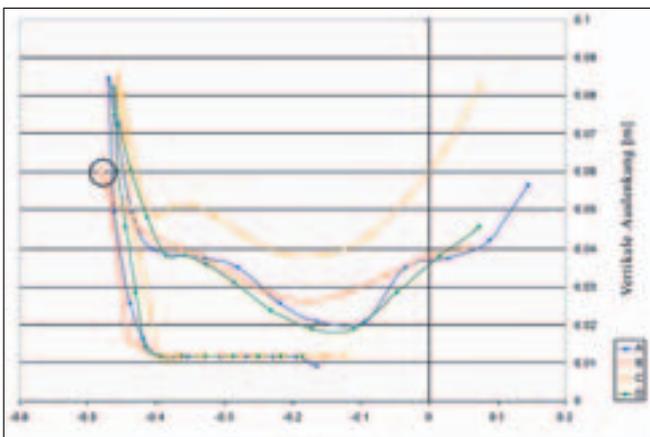


Abbildung 8: Flugbahn des Vorderhufes kurz vor dem Aufsetzen im Trab. Die einzelnen Kurven zeigen die Bewegung des Markerpunktes an der Zehenspitze des Hufes für die jeweilige Beschlagnsituation: (A) lang gewachsene Zehenwand, (B) ausgeschnitten, unbeschlagn, (C) konventionell beschlagn mit Zehenrichtung und (D) beschlagn nach der 4-Punkt-Methode. Der Kreis zeigt ganz deutlich das weniger ausgeprägte Zehenschleudern in der unbeschlagnen Situation.

Hufposition beim Auffussen

Im Schritt fusste die Stute in allen Situationen über die Trachten. Im Trab wurde die Hufunterseite bereits in der Luft parallel zum Boden gerichtet um dann plan aufzutreffen.

Diskussion

Ein überfälliger Beschlagn mit lang gewachsener Zehenwand verlängert die Abrollzeit deutlich, eine

Beobachtung, die bereits von Clayton (1990) und Balch et al. (1991) gemacht wurde. Die verlängerte Abrollzeit hat eine Verlängerung der Stützbeinzeit und eine Verlangsamung der Schrittfrequenz zur Folge. Die grösseren Schritte führen ebenfalls dazu, dass das Übertreten der Hintergliedmasse deutlicher wird und zum Eindruck von mehr Raumgriff der Nachhand führt. Die Verlängerung der hinteren Stützbeinpartie der Vordergliedmasse kann jedoch auch zu Schmieden führen (Clayton 1990). Eine verlängerte Stützbeinzeit erlaubt es aber auch, den Impuls, der von Körpergewicht, Fortbewegungsgeschwindigkeit und individuellem Bewegungsmuster vorgegeben ist, auf einen längeren Zeitraum zu verteilen, was, in diesem Fall, zu niedrigeren Kraftspitzen führte. Beschlagninterventionen, welche die zeitliche Abstimmung zwischen Stützbein- und Hangbeinphase beeinflussen und die relative Stützbeinzeit verkürzen, führen unweigerlich zu höheren Belastungen. Wie hoch und unterschiedlich die inneren Kräfte in Gelenken oder Sehnen vor allem während des letzten Drittels der Stützbeinphase tatsächlich sind, kann abschliessend mit den vorliegenden Daten nicht geklärt werden. Die Studie zeigt, dass Unterschiede im Bewegungsmuster zwischen der Ausgangssituation mit der lang gewachsenen dorsalen Hufwand und der unbeschlagnen Situation respektive den beiden Beschlagnen quantifizierbar sind. Im vorliegenden Beispiel fielen die Unterschiede zwischen den beiden untersuchten Beschlagnvarianten sehr subtil aus. Ob diese feinen Unterschiede zuverlässig mit Auge und Ohr erfasst werden können, wenn es darum geht, Vor- oder Nachteile eines bestimmten Beschlagnes zu beurteilen, ist deshalb kritisch zu hinterfragen. Um solche Fragen sachlich beantworten zu können, empfiehlt es sich ausgewählte Ganganalyseparameter, die unter standardisierten Rahmenbedingungen erhoben werden, und Vermessungsdaten von Huf und Beinen mit einzubeziehen. Nur so wird es gelingen, verschiedene Beschlagnformen wissenschaftlich objektiv im Hinblick auf ihre tatsächlichen Eigenschaften und Auswirkungen auf die Gesundheit des Bewegungsapparates zu evaluieren.

Dank

Unser herzlicher Dank geht an Herrn Prof. Heinz Inglin, welcher uns die Highspeed-Videoanlage zur Verfügung gestellt hat.

L'art de la maréchalerie – entre empirisme et science

L'exécution correcte d'une ferrure fonctionnelle présuppose de la part du maréchal une connaissance des anomalies d'aplomb et de la locomotion du cheval de même que des divers concepts de ferrage et exige de lui la capacité de les mettre en œuvre pour chaque cheval individuellement. Les interventions techniques sont souvent l'objet de discussions controversées entre spécialistes et doivent être confortées par des études des allures. Dans le cas clinique présenté, l'influence de diverses situations de ferrures est étudiée au moyen de divers paramètres choisis. Les mesures ont été effectuées sur une jument demi-sang: (A) ferrée avec une pince longue, (B) parée et non-ferrée, (C) ferrée conventionnellement avec relevé de pince et (D) ferrée avec la méthode «4-Point». Les paramètres de force, de temps et de distance ont été relevés au moyen d'un tapis roulant muni d'instruments. Les phases de réception et de démarrage ont été enregistrées au moyen d'une caméra à haute vitesse. On a constaté qu'une pince longue augmentait le temps du démarrage et causait ainsi un allongement de la partie postérieure de la foulée et qu'il en résulte, par l'allongement du pas avec une impulsion identique, des pics de force plus bas. Des différences quantitatives existent entre le sabot non ferré, le sabot ferré avec une pince longue et les ferrures avec un relevé de pince optimal. Les différences entre les deux types de ferrures étaient par contre minimes. L'analyse des allures en conditions standardisées se prête à un jugement objectif des ferrures.

L'arte del maniscalco – tra scienza e empirismo

La corretta esecuzione di una ferratura funzionale presuppone che il maniscalco abbia conoscenze della anomalia di posizione e del tipo di movimento del cavallo. Da lui si pretende inoltre la capacità di applicarle individualmente ad ogni cavallo. Interventi tecnici di ferratura sono spesso motivi di controversie tra gli specialisti e dovrebbero essere consolidati tramite un'analisi analitica dell'andatura. In questo studio sono stati analizzati gli influssi di vari modi di ferratura in base a parametri analitici scelti dell'andatura del cavallo. Le misurazioni sono state effettuate su una giumenta a sangue caldo: (A) con ferratura con unghia lunga, (B) scavata, senza ferri, (C) ferratura ordinaria con direzione dell'unghia e (D) ferratura secondo il metodo a «4-Point». Parametri di forza, tempo e lunghezza sono stati misurati con l'aiuto di un nastro trasportatore strumentale. L'appoggio e l'alzata sono stati ripresi con una registrazione video ad alta velocità. Si denota che un'unghia lunga porta ad un prolungamento del tempo di alzata, a un prolungamento delle parti del passo posteriori e quindi ad un lungo periodo di appoggio, dall'impulso costante risulta una minor forza sulla punta. Si sono rilevate differenze quantificabili tra lo zoccolo senza ferri, la ferratura con unghia lunga e la ferratura con una direzione del piede ottimale. La differenza tra le due forme di ferratura era invece minima. L'analisi dell'andatura sotto condizioni standardizzate è idonea per una valutazione obiettiva delle ferrature.

Literatur

Back W., Schamhardt H.C., Hartman W., Barneveld A.: Kinematic differences between the distal portions of the forelimbs and hind limbs of horses at the trot. *Am. J. Vet. Res.* 1995, 56: 1522–1528.

Back W., Remmen J.L., Knaap J., de Koning J.J.: Effect of lateral heel wedges on sagittal and transverse plane kinematics of trotting Shetland ponies and the influence of feeding and training regimes. *Equine Vet. J.* 2003, 35: 606–612.

Balch O., White K., Butler D.: Factors involved in the balancing of equine hooves. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1991a, 198: 1980–1989.

Balch O., Ratzlaff M.H., Hyde M.L., White K.: Locomotor effects of hoof angle and mediolateral balance of horses exercising on a high-speed treadmill: preliminary results. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 1991b: 687–705.

Balch O., Butler D., White K., Metcalf S.: Hoof Balance and Lameness – Improper Toe Length, Hoof Angle, and mediolateral balance. *Comp. Cont. Educ. Pract.* 1995, 17: 1275–1283.

Balch O.K., Butler D., Collier M.A.: Balancing the normal foot: Hoof preparation, shoe fit and shoe modification in the performance horse. *Equine Vet. Educ.* 1997, 9: 143–154.

Barrey E.: Investigation of the vertical hoof force distribution in the equine forelimb with an instrumented horseboot. *Equine Vet. J. Suppl.* 1990, 9: 35–38.

Benoit P., Barrey E., Regnault J.C., Brochet J.L.: Comparison of the damping effect of different shoeing by the measurement of hoof acceleration. *Acta Anatom.* 1993, 146: 109–113.

Bushe T., Turner T.A., Poulos P.W., Harvell N.M.: The effect of hoof angle on coffin, pastern and fetlock joint angles. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 1987, 729–738.

Clayton H.M.: The effect of an acute hoof wall angulation on the stride kinematics of trotting horses. *Equine Vet. J. Suppl.* 1990, 9: 86–90.

- Clayton H.M., Sigafos R., Curle R.D.: Effect of 3 shoe types on the duration of breakover in sound trotting horses. *J. Equine Vet. Sci.* 1991, 11: 129–132.
- Dyhre-Poulsen P., Smedegaard H.H., Roed J., Korsgaard E.: Equine hoof function investigated by pressure transducers inside the hoof. *Equine Vet. J.* 1994, 26: 362–366.
- Eliashar E., McGuigan M.P., Rogers K.A., Wilson A.M.: A comparison of three horseshoeing styles on the kinetics of breakover in sound horses. *Equine Vet. J.* 2002, 34: 184–190.
- Eliashar E., McGuigan M.P., Wilson A.M.: Relationship of foot conformation and force applied to the navicular bone of sound horses at the trot. *Equine Vet. J.* 2004, 36: 431–435.
- Girtler D., Kübber P., Kastner J., Peham C., Scheidl M.: Kinetische Untersuchung des Vorführbogens bei Pferden mit unterschiedlichem Dorsalwandwinkel des Hufes. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 1995, 82: 145–151.
- Hertsch B., Höppner S., Dallmer H.: Der Huf und sein nagel- loser Hufschutz. Hrsg. H. Dallmer, FN-Verlag, Warendorf, 1996, 1–148.
- Leach D.: Biomechanical considerations in raising and lowering the heel: *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 1983: 333–342.
- Leach D.H., Drevemo S.: Velocity-dependent changes in stride frequency and stride length of trotters on a treadmill. *Equine Exerc. Physiol.* 1991, 3: 136–140.
- Leisering A.G.T., Hartmann H.M., Lungwitz A.: Führung der Hufe im Gange. In: *Der Fuss des Pferdes*. 8 edn., S. Schönfeld's Verlagsbuchhandlung, Schönfeld, Dresden, 1893, 212–215.
- Lochner F.K., Milne D.W., Mills E.J., Groom J.J.: In vivo and in vitro measurement of tendon strain in the horse. *Am. J. Vet. Res.* 1980, 41: 1929–1937.
- Ovnicek G.D., Page B.T., Trotter G.W.: Natural balance trimming and shoeing: its theory and application. *Vet. Clin. North. Am. Equine Pract.* 2003, 19: 353–377.
- Pardoe C.H., McGuigan M.P., Rogers K.M., Rowe L.L. und Wilson A.M.: The effect of shoe material on the kinetics and kinematics of foot slip at impact on concrete. *Equine Vet. J. Suppl.* 2001, 33: 70–73.
- Riemersma D.J., van den Bogert A.J., Jansen M.O. und Schamhardt H.C.: Influence of shoeing on ground reaction forces and tendon strains in the forelimbs of ponies. *Equine Vet. J.* 1996, 28: 126–132.
- Roepstorff L., Johnston C., Drevemo S.: The effect of shoeing on kinetics and kinematics during the stance phase. *Equine Vet. J. Suppl.* 1999, 30: 279–285.
- Ruthe H.: Das Verhalten der Gliedmassen während der Bewegung. In: *Der Huf – Lehrbuch des Hufbeschlagns*. 4 edn., Hrsg. H. Müller und F. Reinhard, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1988, 43–52.
- Stashak T.S.: Effect of foot conformation on stride and way of going. In: *Adams' lameness in horses*. Lea & Febiger, Philadelphia, 1987, 93–94.
- Stephens P.R., Nunamaker D.M., Butterweck D.M.: Application of a Hall-effect transducer for measurement of tendon strains in horses. *Am. J. Vet. Res.* 1989, 50: 1089–1095.
- Swanson T.D.: Degenerative disease of the metacarpophalangeal (fetlock) joint in performance horses. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract.* 1988, 399–402.
- Thomason J.J.: 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. Suppl.* 1998, 26: 86–95.
- Thompson K.H., Cheung T.K., Silverman M.: The effect of toe angle on tendon, ligament, band and hoofwall strains. *J. Equine Vet. Sci.* 1993, 13: 651–654.
- Weishaupt M.A., Hogg H.P., Wiestner T., Denoth J., Stuessi E., Auer J.A.: Instrumented treadmill for measuring vertical ground reaction forces in horses. *Am. J. Vet. Res.* 2002, 63: 520–527.
- Willemen M.A., Savelberg H.H., Barneveld A.: The effect of orthopaedic shoeing on the force exerted by the deep digital flexor tendon on the navicular bone in horses. *Equine Vet. J.* 1999, 31: 25–30.
- Willemen M.A., Savelberg H.H., Bruin G., Barneveld A.: The effect of toe weights on linear and temporal stride characteristics of standardbred trotters. *Vet. Q. Suppl.* 2 1994, 16: 97–100.
- Willemen M.A., Savelberg H.H., Jacobs M.W., Barneveld A.: Biomechanical effects of rocker-toed shoes in sound horses. *Vet. Q. Suppl.* 2 1996, 18: 75–78.
- Willemen M.A., Savelberg H.H.C.M., Barneveld A.: The improvement of the gait quality of sound trotting Warmblood horses by normal shoeing and its effect on the load on the lower forelimb. *Livestock Prod. Sci.* 1997, 52: 145–153.
- Wilson P.D., Ratzlaff M.H., Grant B.D., Hyde M.L., Balch O.K.: The Effects of a Compressible Plastic Shoe the Seattle Shoe(R) on the Kinematics of the Strides of Galloping Thoroughbred Horses. *J. Equine Vet. Sci.* 1992, 12: 374–381.
- Wilson A.M., Seelig T.J., Shield R.A., Silverman B.W.: The effect of foot imbalance on point of force application in the horse. *Equine Vet. J.* 1998, 30: 540–545.

Korrespondenzadresse

Michael A. Weishaupt, Dr.med.vet., PhD, Pferdeklunik, Sportmedizinisches Leistungszentrum für Pferde
Vetsuisse Fakultät Universität Zürich, Winterthurerstrasse 260, CH-8057 Zürich, Tel.: +41 44 635 84 01
Fax: +41 44 313 03 84, E-Mail: mweishaupt@vetclinics.unizh.ch

Manuskripteingang: 30. November 2005
Angenommen: 1. Dezember 2005