

Computergestützte kinematographische Darstellung der Gliedmaßenführung der Vordergliedmaßen beim Pferd

Isabelle Martens, Volkert Carstensen und Peter Stadler

Klinik für Pferde, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

Zusammenfassung

Um eine bessere Beurteilung des Bewegungsablaufes der Vordergliedmaßen der Pferde aus der frontalen Ansicht zu ermöglichen, wurde in dieser Arbeit eine zwei dimensionale Methode zur computergestützten kinematographische Analyse der Gliedmaßenführung getestet. Dazu wurden 28 lahmfreie Pferde mit dem KODAK motion corder analyzer SR 500 (250 Bilder/s) im Schritt auf dem Laufband gefilmt. Die Filmclips wurden mit der PROTrack[®]-Software und in Microsoft Excel[®] computeranalytisch ausgewertet. Es wurden für das Pferd charakteristische Diagramme der Bewegung markierter Lokalisationen der Gliedmaße erstellt. Es konnte mit dieser Methode die Dauer und die Länge des Bewegungszyklus, sowie der Stützbein- und Hangbeinphase ermittelt werden. Mit Hilfe der Bewegungsdiagramme erfolgte die Feststellung der Gliedmaßenführung gegen oder um die stehende contralaterale Gliedmaße. Damit zeigte sich das hier angewendete zweidimensionale System als geeignet, um die Gliedmaßenführung der Vorderhand des Pferdes in der Hangbeinphase zu analysieren und kann in Zukunft zur exakten Beschreibung des Bewegungsablaufes z.B. fehlgestellter Pferde eingesetzt werden.

Schlüsselwörter: Pferd, Bewegungsanalyse, Laufband, Kinematographie, Orthopädie

Kinematographic analysis and illustration of forelimb movement of the horse

In orthopaedic patients, optimizing limb movement by hoof trimming or shoeing is very important. To do this, exact assessment of the forelimb movements is essential. Since the human eye cannot distinguish all motions of the limbs, a two dimensional horse gait kinematographic analysis method using the frontal view has been tested in this study. For this purpose 28 sound horses were recorded at a walk on the treadmill using a high frequency video camera (KODAK motion corder analyzer SR 500, 250 fps). The video clips were analysed using the PROTrack[®]-Software and Microsoft Excel[®]. Characteristic motion curves of markers placed on the limbs were established. Using this method we could determine the duration and the length of the stride, of the stance and of the swing phase. Based on the motion curves it could be determined whether the limb is being led toward or around the contralateral limb during the swing phase. In conclusion the two dimensional system used in this study was able to illustrate the forelimb movements during the swing phase precisely. This system should be clinically useful for the characterisation of limb movements in horses with irregular forelimb conformation.

Keywords: horse, gait analysis, treadmill, kinematic

Einleitung

Eine Optimierung des Bewegungsablaufes mit Hilfe der Hufkorrektur und/oder der Beschlagstechnik wird insbesondere bei orthopädischen Patienten oder bei Pferden mit einer unregelmäßigen Gliedmaßenstellung angestrebt. Dafür ist eine exakte Beurteilung des Bewegungsablaufes (Girtler 1987, Aoki 1999, Back und Clayton 2001) bedeutsam. Das menschliche Auge ist jedoch zur Beurteilung der Gliedmaßenführung und der Fußung begrenzt (Hoppe 2002). Deshalb werden dazu, vereinzelt auch in der Praxis, videographische Zeitlupenaufnahmen eingesetzt (Clayton 1991b). Aber erst mit der computergestützten Analyse wird eine detaillierte qualitative und quantitative Erfassung der Bewegung einzelner Gliedmaßenabschnitte möglich.

In zweidimensionalen Analysen wurde bisher hauptsächlich die Winkelung der Gliedmaßen in verschiedenen Bewegungsphasen während der Betrachtung von lateral untersucht (Schmaltz 1922, Adrian 1977, Drevemo et al. 1980 a,b und c, Barrey und Auvinet 1994, van Weeren et al. 1988, Back et

al. 1995a und b, Buchner 1995). Dagegen liegen Untersuchungen aus der Frontalebene (Ansicht von kranial) nur vereinzelt vor (Seehermann 1991, Hoppe 2002, Corbin 2004). Zur Beurteilung der Vordergliedmaßen bei Fragestellungen zum Hufbeschlag ist die Betrachtung aus der Frontalebene jedoch häufig von größerer klinischen Relevanz als die Untersuchungen von lateral. Deshalb sollte das Analysesystem mit der Hochfrequenzkamera KODAK Motion Corder Analyser SR 500[®] (Fa. Mikromak, Erlangen, Deutschland) und der Software ProTrack[®] (Fa. Prophysics, Zürich – Schweiz) - ein im Vergleich zu anderen Systemen relativ kostengünstiges und anschauliches Untersuchungsverfahren - auf seine Anwendbarkeit beim Pferd überprüft werden.

Material und Methode

Untersuchungsaufbau

Zur Bewegungsanalyse wurden 28 Pferde des Klientels der Lehrschieme der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover

ambulant auf dem Laufband analysiert. Es handelte sich um 21 Warmblutpferde, 5 Traber, 1 Ponys und 1 Kaltblutpferd im Alter von 2 bis 16 Jahren. Alle Pferde wurden nach einer kurzen Gewöhnungsphase auf dem Hochgeschwindigkeitslaufband Mustang 2200® der Fa. Kagra, Fahrwangen, Schweiz im Schritt bei einer Geschwindigkeit von 1,6 m/s untersucht. Für die kinematischen Untersuchungen wurden die zu analysierenden Gliedmaßenabschnitte bzw. -lokalisationen mit Holzkugeln, die mit Aluminiumfolie beschichtet waren, markiert. Diese wurden auf der Haut des Pferdes an beiden Vordergliedmaßen mittels NOPI-Doppelklebeband fixiert. Die Positionierung der Marker erfolgte an deutlich erkennbaren anatomischen Strukturen der Gliedmaßen sowie an der Mitte



Abb 1 Lokalisation der Marker an einer rechten Vordergliedmaße eines Pferdes, Frontalansicht (Nummerierung: rechte / linke Gliedmaße).

- | | |
|--------|------------------------------------|
| 1 / 7 | Mittlere Sehnenrinne des Radius |
| 2 / 8 | Tuberositas ossis metacarpalis III |
| 3 / 9 | Fesselgelenk dorsal |
| 4 / 10 | Hufgelenk dorsal |
| 5 / 11 | weiteste Stelle lateral |
| 6 / 12 | weiteste Stelle medial |

Position of the markers on the left forelimb of a horse, frontal view (numeration: right / left forelimb).

- | | |
|--------|-------------------------------------|
| 1 / 7 | middle tendon groove of the radius |
| 2 / 8 | Tuberositas ossis metacarpalis III |
| 3 / 9 | fetlock joint dorsal |
| 4 / 10 | distal interphalangeal joint dorsal |
| 5 / 11 | coronary band, widest point lateral |
| 6 / 12 | coronary band, widest point medial |

der Zehe auf Höhe des Kronsaumes (Abb. 1). Zusätzlich wurden zwei Marker an der weitesten Stelle des Hufes aufgeklebt. Die Bewegung der durch Marker gekennzeichneten Gliedmaßenanteile wurde von einer analogen Hochfrequenzkamera (KODAK Motion Corder Analyser SR 500®, Fa. Mikromak, Erlangen, Deutschland) von frontal aufgezeichnet (Abb. 2) und simultan auf einem Monitor (512 x 480 Pixels) betrachtet. Die Hochfrequenzkamera erstellte 250 Bilder in der Sekunde. Während des Filmens erfolgte die Beleuchtung mit Hilfe eines, 500 Watt starken Düwi-Halogenstrahlers auf

einem 110 cm hohen Stativ. Die Pferdebeine wurden tangential von oben angestrahlt (Abb. 2). Die Marker reflektierten das Licht und wurden als leuchtende Punkte vom Computer erkannt. Die Digitalisierung erfolgte nach der Videoaufnahme am Computer.

Computergestützte Bearbeitung

Für die computergestützte Analyse wurden die Marker mit der Software PROTrack (Fa. Prophysics, Zürich – Schweiz) farbig gekennzeichnet, von Bild zu Bild digitalisiert („tracking“, Abb.3) und in Microsoft Excel® computanalytisch ausgewertet.



Abb 2 Untersuchungsaufbau zur Bewegungsanalyse der Vordergliedmaßen von Pferden, in Frontalansicht im Schritt auf dem Laufband.

Setup for motion analysis of the frontlimbs in horses, frontal view on the treadmill.

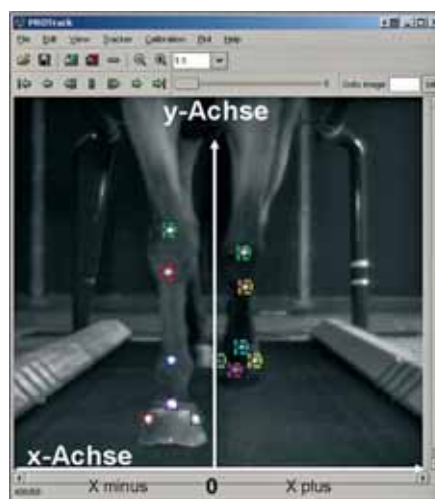


Abb 3 Digitale Markierung der Marker und Darstellung der Untersuchungsebenen im Koordinatensystem mit dem Programm PROTrack®, Fa. Prophysics, Zürich. y-Achse zur Bestimmung der Fußung und des Abrollens. x-Achse zur Bestimmung der Gliedmaßenführung 0 : virtuelle Mitte zwischen beide Vordergliedmaßen in der x Achse. *Digital identification of the markers and imaging of the examination planes in the coordinate system with the software PROTrack®, Fa. Prophysics, Zürich. y-axis for determination of footing and breakover x-axis for determination of lateral limb motion, 0: virtual middle between both forelimbs on x plane.*

Um die Reproduzierbarkeit des Analysesystems überprüfen zu können, wurde ein Hochfrequenzvideofilm fünf Mal wiederholt „getrackt“ und untersucht. Es wurde der Einfluss möglicher Ortsverschiebungen der Markierungen auf die Zeitpunkte des Auftretens und des Abrollens sowie auf die seitlichen Bewegungen überprüft.

Es wurden Kurvendiagramme des Bewegungsablaufs im x-t-Diagramm und im y-t-Diagramm erstellt. Dabei wurde auf der Abszisse die Zeit (t in Sec.) und auf der Ordinate die horizontale Bewegung (x-t-Diagramm) oder die vertikale Bewegung (y-t-Diagramm) des jeweiligen Gliedmaßenanteils (in cm) dargestellt. Die horizontale Bewegung der Marker 1, 2, 3 und 4 bzw. 7, 8, 9 und 10 wurde während der Hangbeinphase untersucht. Die vertikale Bewegung der Marker 4, 5 und 6 bzw. 10, 11 und 12 wurde am Anfang (Fußung) und am Ende (Abrollen) der Stützbeinphase im y-t-Diagramm analysiert (Abb. 1 und 3).

Die Fußungsart und der Fußungszeitpunkt wurden nach Hoppe (2002), Corbin (2004) und Martens et al. (2006) definiert. Der Zeitpunkt des Fußens stellt das Ende der Hangbeinphase dar. Die Fußung beginnt, wenn der Tragerand vollständig (plane Fußung) oder partiell (laterale oder mediale Fußung) das Laufband berührt. Im y-t-Diagramm stellt sich bei unplaner Fußung dieser Zeitpunkt am Minimum der Bewegungskurve der zuerst fußenden Hufseite dar (Abb. 4).

Das Abrollen beginnt mit dem Abheben der Trachten, danach der weitesten Stelle und schließlich der gesamten Zehe. Während dieses Vorgangs kippt der Huf über die Zehenspitze und die Markierungen der weitesten Stelle des Hufes erheben sich bis über die Markierung des Hufgelenkes. Im y-t-Diagramm steigen die Bewegungskurven dieser Marker an und kreuzen die Kurve des Hufgelenkmarkers. Zu diesem Zeitpunkt befinden sich die Marker der weitesten Stelle des Hufes auf der Höhe des Hufgelenkes. Dieser Zeitpunkt des Bewegungszyklus wurde als Beginn der Schwebephase angenommen. Es kam allerdings häufig vor, dass die Kurven der Marker an der lateralen und medialen wei-

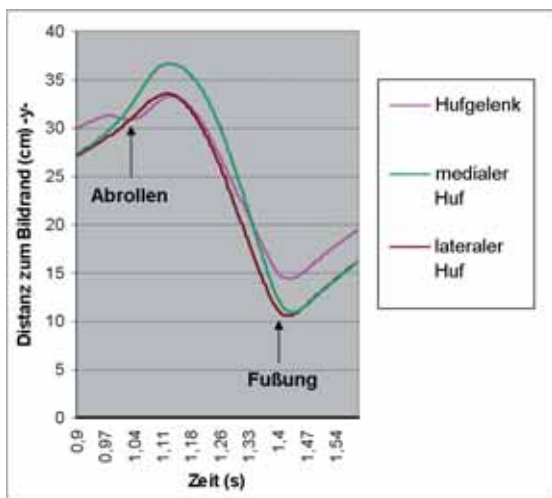


Abb 4 Bewegungskurven der Marker des Hufes eines Pferdes im y-t-Diagramm. Beispiel einer lateralen Fußung.
Motion curves of the coffin joint marker of a horse in the y-t-Diagram. Example of a lateral footing.
 Hufgelenk = coffin joint, medialer Huf = medial side of the hoof, lateraler Huf = lateral side of the hoof, Abrollen = breakover, Fußung = landing, y-Distanz zum Bildrand = distance to the side of the computer image

testen Stelle des Hufes die Kurve des Hufgelenkes nicht gleichzeitig kreuzten. Deshalb wurde für die mathematische Bearbeitung das Ende der Abrollphase zu dem Zeitpunkt festgelegt, an dem der letzte Marker der weitesten Stelle deckungsgleich mit dem Hufgelenkmarker abgebildet wurde (Abb. 4).

Zur Ermittlung der horizontalen Bewegungen wurde ein Koordinatensystem mit dem Nullpunkt in der Mitte zwischen den Vordergliedmaßen am unteren Rand des Analysefensters (Abb. 3) positioniert und als „virtuelle Mitte“ bezeichnet. Diese virtuelle Mitte dient als Bezugspunkt zur Ortsbestimmung (Koordinaten) der Markierungen für jedes einzelne Bild der mit der Hochfrequenzkamera aufgenommenen Bildfolge. Durch die Bestimmung des Abroll- und Fußungszeitpunktes wurden die Koordinaten der Markierungen am Anfang und am Ende der Hangbeinphase erkannt (Abb. 5). Die regelmäßige Gliedmaßenführung wurde in der Literatur als geradlinig (Ruthe et al. 1997) und hier durch folgende lineare Gleichung beschrieben (Hermann 2004):

$$Y = a(X - X_0) + b$$

$$a = (Y_{Fußung} - Y_{Abrollen}) / (X_{Fußung} - X_{Abrollen});$$

$$b = Y_{Abrollen}; X_0 = X_{Abrollen}$$

Um den Einfluss der Seitwärtsbewegungen des Pferdes auf die Gliedmaßenführung herauszufiltern, wurden die seitlichen Bewegungen der Markierungen weder im Bezug zur kontralateralen Gliedmaße, noch zur „virtuellen Mitte“, sondern im Bezug zu dieser mathematisch erstellten „Ideallinie“ dargestellt (Abb. 6). Bei einer regelmäßig gestellten Gliedmaße sollte demnach

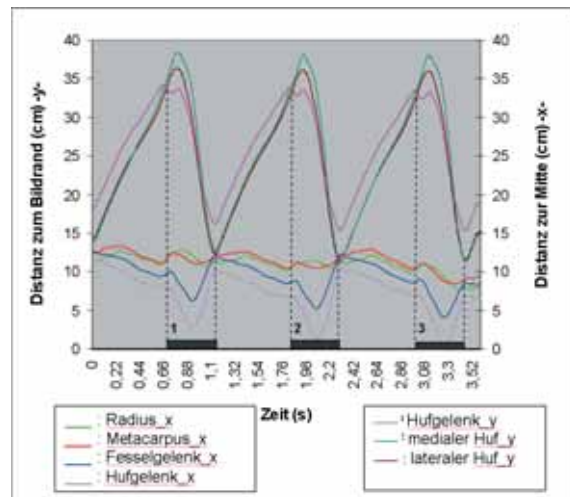


Abb 5 Darstellung von drei Hangbeinphasen der rechten Gliedmaße eines Pferdes. Während der Hangbeinphase werden die Bewegungen der Markierungen Radius, Metacarpus, Fesselgelenk und Hufgelenk in der x-Achse untersucht (die 4 unteren Kurven). Die Hangbeinphase wird vom Abrollen und von der Fußung begrenzt. Diese werden durch die Bewegungen des Hufbereiches in der y-Achse festgestellt (die 3 oberen Kurven). Die Hangbeinphasen (1-3) = ■
Illustration of three swing phases of the right forelimb in a horse. The motions of the radius, metacarpus, fetlock joint and coffin joint markers in the x plane are analysed during the swing phase (the 4 lower curves). The duration of the swing phase is limited by the breakover and the footing of the hoof. These are determined using the motion of the hoof in the y plane (the 3 upper curves). The swing phases are identified in the graph as 1-3 (1-3) = ■
 Fesselgelenk = fetlock joint, Hufgelenk = coffin joint, medialer Huf = medial side of the hoof, lateraler Huf = lateral side of the hoof, y-Distanz zum Bildrand = distance to the side of the computer image, x-Distanz zur Mitte = distance to the virtual middle line

keine Abweichung und bei einer unregelmäßigen Stellung mindestens eine Abweichung von dieser Ideallinie erfolgen (Abb. 7).

Mit dieser Analysetechnik konnten die Bewegungskurven bei der Vordergliedmaßen eines Pferdes gleichzeitig, phasenverschoben untersucht werden. Um mögliche Artefakte, die durch die sensible Aufnahmetechnik entstehen können, zu eliminieren, wurden die Daten geglättet. Die Glättung erfolgte aufgrund von Ergebnissen aus Vorversuchen mit dem Faktor 20. Dabei wurde für einen Messwert a (z.B. Abstand der Markierung von der Nulllinie in cm), der Mittelwert von $a-10$ bis $a+10$ errechnet (Abb. 8). Die Daten aus den geglätteten Kurven wurden mit Microsoft Excel® ausgewertet.

Ergebnisse

Computergestützte Kinematographie

Die angewandte Software (ProTrack® Fa. Prophysics, Zürich – Schweiz) war in der Lage auch bei weniger guter Bildqualität des Videofilmes die Marker zu erkennen und zu digitalisieren (gute „tracking-Fähigkeit“). Die Marker konnten auch in weniger gut beleuchteten Bereichen bei einer größeren Entfernung von der Kamera oder wenn sie nah bei einander lagen digitalisiert werden. Dafür wurden ggf. die Zoomfunktion und das manuelle „tracking“ (Verfolgen der Marker von Bild zu Bild) eingesetzt. Die

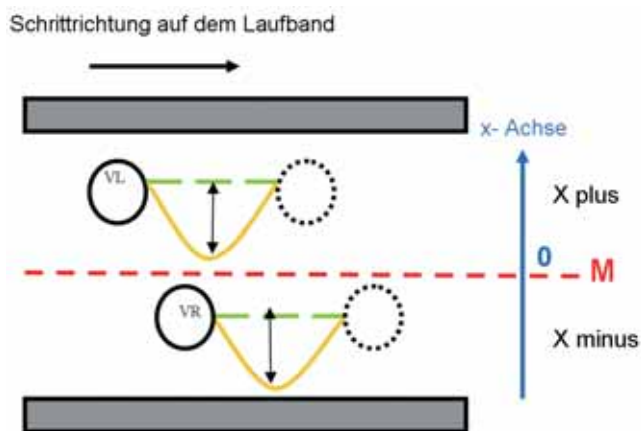


Abb 6 Schematische Darstellung der möglichen Gliedmaßenführung eines Pferdes auf dem Laufband, von oben gesehen. Die vordere linke Gliedmaße (VL) nähert sich der mittleren Linie (M) und somit der Nulllinie: sie geht gegen die contralaterale stehende Gliedmaße. Die vordere rechte Gliedmaße (VR) entfernt sich von der Nulllinie und geht somit um die contralaterale stehende Gliedmaße.

- - - - : „virtuelle“Mitte (Nulllinie)
- — — — : mögliche Gliedmaßenführung eines Pferdes
- - - - : theoretische ideale geradlinige Gliedmaßenführung bei regelmäßiger Gliedmaßenstellung = „Ideallinie“
- : folgende Fußung

Schematic illustration of potential limb motions of a horse on the treadmill in an upper view. The left forelimb (VL) approaches the middle line (M) which is the zero line: it is moving towards the contralateral standing limb. The right forelimb (VR) moves away from the zero line and swings around the contralateral standing limb.

- - - - : “virtual” middle (zero line)
- — — — : potential limb motion of a horse during the swing phase
- - - - : theoretical ideal straight motion in a horse with straight conformation = “ideal line”
- : next footing

Vorbereitung und das „tracken“ eines Filmes dauerten insgesamt ca. 20 Minuten. Je besser der Kontrast zwischen Marker und Gliedmaße und je größer die Entfernung zwischen den einzelnen Markern war, desto besser konnte das Programm automatisch „tracken“. Bei Pferden mit enger Gliedmaßenführung, bei denen die Marker sich stark der Mittellinie annäherten oder sie sogar überschritten, musste die Platzierung der Markierungen z.T. mehrfach korrigiert werden. Nach dem „tracking“ wurden die zugehörigen Daten gespeichert und in Excel® exportiert.

Um diese Daten als Bewegungskurven automatisch zu bearbeiten und sie anschließend zu interpretieren, wurde ein spezielles Programm (Makro) entwickelt. Dieses sortierte zunächst die zur jeder Auswertung (Fußung oder Gliedmaßenführung) benötigten Daten, glättete die Werte, erfasste die Bewegungskurven und errechnete:

- die Zeitdifferenz beim Aufsetzen des lateralen und medialen Tragerandes,
- die Fußungsart,
- den Zeitpunkt des Abrollens,
- die Dauer der Hangbein- und Stützbeinphase,
- die „Ideallinie“,
- die Maximalen Abweichungen der Markierungen von dieser „Ideallinie“
- den Zeitpunkt relativ zur Dauer der Hangbeinphase an dem die Maxima jedes Bewegungsbogens erreicht werden.

Die Entwicklung dieses Makros erwies sich als hilfreich um die Datenbänke schnell und equivalent zu bearbeiten. In den Hauptversuchen hat sich bestätigt, dass der in den Vorversuchen ermittelte Glättungsfaktor von 20 zu einer geringen Anzahl von Artefakten und dadurch zu einer diagnostisch verwertbaren Reduktion der Messungenauigkeit führte (Abb. 8).

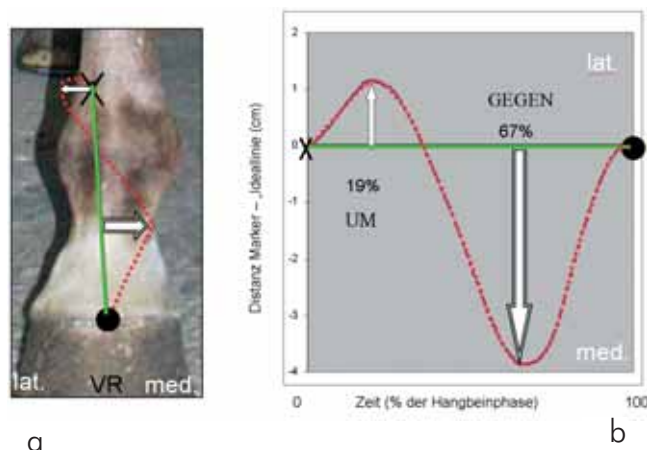


Abb 7a Bildliche Darstellung, **b** Zeitraumdigramm Darstellung einer biphasischen Führung der Markierung am Hufgelenk der rechten Vordergliedmaße eines Pferdes. Das Pferd führt die Zehe zunächst nach lateral, um die stehende Gliedmaße und danach nach medial, gegen die stehende Gliedmaße vor.

- — — — Ideallinie $Y = a(X-X_0) + b$
- a** Photographic illustration, **b** time-distance diagram
- Illustration of a biphasic motion of the coffin joint marker of the right forelimb in a horse. This horse leads the digit first in a lateral direction, outwards and then in a medial direction, inwards towards the contralateral standing limb. VR= right forelimb, UM= around the contralateral limb, GEGEN= towards the contralateral limb.
- — — — Ideal line $Y = a(X-X_0) + b$

Computeranalytisch erfassbare Parameter

Mit Hilfe der hier verwendeten Untersuchungsmethode wurde mit Bestimmung des Abrollens und der Fußung die Dauer der Hangbeinphase, der Stützbeinphase und des gesamten Bewegungszyklus errechnet. Bei den hier untersuchten Pferden (n=28) dauerte der gesamte Bewegungszyklus im Durchschnitt 1,148 Sekunden (Standardabweichung: SD = 0,065), die Hangbeinphase 0,427 s (SD = 0,032) entsprechend 37% der Dauer eines Schrittes und die Stützbeinphase 0,721 s (SD = 0,05) entsprechend 63% der Dauer eines Schrittes. Bei einer Laufbandgeschwindigkeit von 1,6m/s resultierte eine durchschnittliche Schrittlänge von 1,84m.

Zusätzlich wurden die Richtung, die Amplitude und der Zeitpunkt der Abweichungen von der geradlinigen Gliedmaßenführung ermittelt und grafisch dargestellt (Abb.7). Die Bewegungen in der horizontalen Ebene (Ebene der x-Achse) zeigten häufig inter-individuelle Variationen. Es wurde jedoch bei allen Probanden mindestens eine Abweichung von der „Ideallinie“ beobachtet: die Bewegungskurven jeden Markers zeigten je nach individueller Führung eine (monophasische Bewegung) oder mehrere (polyphasische Bewegung) Abweichung/en von der Ideallinie.

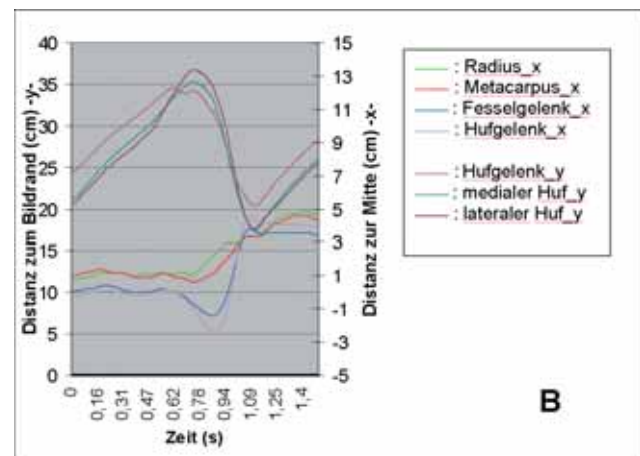
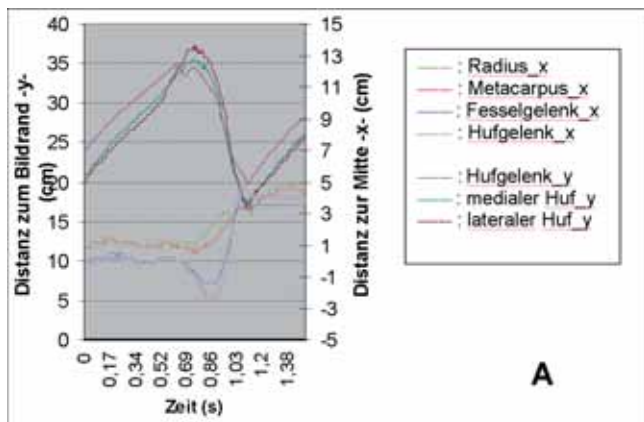


Abb 8 Bewegungskurven der rechten Gliedmaße eines Pferdes. A: vor der Glättung, B: nach der Glättung mit dem Faktor 20
 Motion curves of the right limb in a horse. A: before smoothing of the curve, B: after smoothing with factor 20
 Fesselgelenk = fetlock joint, Hufgelenk = coffin joint, medialer Huf = medial side of the hoof, lateraler Huf = lateral side of the hoof

Darstellung der Gliedmaßenführung

Es entstanden Kurvendiagramme, welche die Bewegungen der Markierungen relativ zur „idealen Vorführlinie“ jeder einzelnen Gliedmaße bzw. jedes markierten Segmentes darstellte. Es wurden Raumzeitdiagramme (x-t-Diagramm) erstellt, in denen die Bewegungskurve relativ zur Dauer der Hangbeinphase dargestellt wurde. Bewegungen unter 1 mm wurden vernachlässigt. Es wurden Bewegungen nach medial (gegen die stehende Gliedmaße) und nach lateral (um die stehende Gliedmaße) dargestellt (Abb.7). Je nach Gliedmaßenabschnitt wurden die stärksten Abweichungen der Bewegungskurven zwischen 0,5 cm und 16,9 cm gemessen.

Reproduzierbarkeit der Computeranalyse

Die Fußungsart

Mit Hilfe von 5 Fußungsphasen wurde überprüft, ob im Einzelfall erhebliche Abweichungen der Zeitdifferenzen zwischen dem Aufußen der lateralen und medialen Trageränder auftreten. Geringe computertechnisch bedingte Ortsverschiebungen der Markierungen (Erfassung der Marker zu Beginn des Videofilms) verursachten geringe Zeitverschiebungen (0,004 sec. = 1 Bild), hatten jedoch keinen Einfluss auf die Bestimmung der Fußungsarten.

Die Gliedmaßenführung

Die Positionierung der Markierungen auf dem Bildschirm mit Hilfe des Softwareprogramms zeigte nach 5-facher Überprüfung der Ortsverschiebungen keinen Einfluss auf die Amplitude, die Anzahl und das Maximum der seitlichen Abweichungen der Gliedmaßen von der Ideallinie.

Untersuchungszeit für eine Computeranalyse

Die Bearbeitungszeit von der Videoaufnahme bis zur Erstellung der Bewegungskurven betrug anfangs 5-6 Stunden. Dieser Zeitraum konnte im Verlauf der Untersuchungen sowohl mit einer leistungsstarken Digitalisierungssoftware als auch durch die Entwicklung eines speziellen Makros mit Microsoft Excel auf 45-60 min deutlich reduziert werden.

Diskussion

Das menschliche Auge kann lediglich deutliche Abweichungen von der regelmäßigen Gliedmaßenführung und der planenen Fußung richtig erfassen. Deshalb sind inzwischen kinematische Methoden entwickelt worden, mit denen die Bewegungsdynamik der Pferdegliedmaßen subtiler analysiert werden kann (Leach 1983a und b, Clayton 1991a). Diese Methoden sollen beim orthopädischen Patienten aber auch beim gesunden Hochleistungspferd zu einer Optimierung der schmiedetechnischen Maßnahmen beitragen (Barrey 1990, Seehermann 1991, Willemen 1997, Keegan et al. 1998, Aoki 1999, Williams und Deacon 2000). Die meisten dieser

Untersuchungen wurden zur Evaluation von Fußung und Abrollvorgang aus der lateralen Ansicht oder mit kostenaufwändigen Analysesystemen mit bis zu 12 Hochfrequenzkameras durchgeführt (Schmaltz 1922, Adrian 1977, Drevemo et al. 1980 a,b und c, van Weeren et al. 1988, Barrey und Auvinet 1994, Back et al. 1995a,b, Buchner 1995). Dagegen wurde die Gliedmaßenführung in dieser Arbeit von frontal mit nur einer Kamera gefilmt und analysiert. Es sollte überprüft werden, ob auch mit einem derartigen relativ kostengünstigen Analysesystem Aussagen zur Gliedmaßenführung des Pferdes möglich sind. Die computergestützte Auswertung der hochfrequenzkinematischen Videofilme (250 Bilder/sec. KODAK Motion Corder Analyser SR 500® Fa. Mikromak Deutschland, 35.000 DM im Jahr 1998) sollte dazu mit einer kommerziell erhältlichen Software (Protrack® Fa. Prophysics, Zürich-Schweiz, 2.200 Euro als Beta-Version im Jahr 2003) in Kombination mit einem angepassten Makro in Microsoft Excel® erfolgen. Durch die computertechnische Unterstützung wird die Bewegung der unterschiedlichen Segmente einer Gliedmaße objektiv erfasst. Diese ist unverzichtbar, da die direkte visuelle Bearbeitung des Filmmaterials, auch in Zeitlupe keine detaillierten Aussagen zulässt (Corbin 2004). Somit ist die hier gewählte kinematische Analytik mit einem relativ geringen Kostenaufwand im Vergleich zu sonst üblichen Systemen anwendbar. Allerdings kann auf das Laufband nicht verzichtet werden.

Die Bewegungsanalyse auf dem Laufband wird derzeit Untersuchungen auf natürlichem Boden vorgezogen, da eine bessere Standardisierung möglich ist. Bei Untersuchungen auf dem Laufband muss jedoch in Kauf genommen werden, dass geringgradige Abweichungen der Biomechanik im Vergleich zur Bewegung auf natürlichem Boden vorliegen (Barrey et al. 1993, Buchner et al. 1994). Für die Untersuchungen mit dem hier verwendeten System ist dagegen ausschließlich die Bewegung auf dem Laufband geeignet, da die Kamera in einem kurzen Abstand (einige Meter) zu den Markern in der Frontallinie des Pferdes positioniert werden muss.

Für kinematische Untersuchungen müssen die zu analysierenden Gliedmaßenabschnitte markiert und die Marker von dem System erkannt werden. In dieser Studie wurden aluminiumfolienbeschichtete Holzkugeln verschiedener Größe an gut palpierbaren und intra- sowie interindividuell reproduzierbaren anatomischen Lokalisationen als Marker eingesetzt. Mehrere Autoren halten die Fixation der Marker auf der Pferdehaut für problematisch (Back und Clayton 2001, Halvorsen 2003). Insbesondere der Verlust eines Markers behindert den Analysevorgang erheblich. In der vorliegenden Studie wurden die Positionen vor der Applikation der Marker mit Filzstiften gekennzeichnet. Somit konnte bei Verlust eines Markers nach erneuter Fixierung an der zuvor genutzten Lokalisation die Analyse fortgesetzt werden. Der Verlust eines Markers trat allerdings nur selten auf.

Außerdem ist zur Erstellung auswertbarer Aufnahmen mit einer Hochfrequenzkamera eine ausreichende homogene Beleuchtung der Gliedmaßen notwendig. Diese Anforderung konnte mit der hier gewählten frontalen/tangentialen Anordnung der Lichtquelle erfüllt werden.

Die Digitalisierung („tracking“) der Marker erfolgte mit der Software ProTrack® (Fa. Prophysics, Zürich-Schweiz). Dieses

Programm zeigte auch dann eine gute „Trackingfähigkeit“, wenn die Marker auf dem Monitor (1280 x 1024 Pixel) nicht deutlich erkannt werden konnten. Damit konnte allerdings mit einem zusätzlichen Zeitaufwand und einem speziellen „Trackingmodus“ („step by step“-Auswertung) auch bei reduzierter Bildqualität oder Annäherung von Markern (bei enger Gangart) auswertbare Bewegungskurven erstellt werden.

Mit Hilfe der Datenbearbeitung in Microsoft Excel® war mit dem hier erarbeiteten zusätzlichen Programm sowohl die Fußungsart als auch die Gliedmaßenführung grafisch darstellbar. Dieses Analysesystem erfasst auch minimale, jedoch zu vernachlässigende Ortsveränderungen der Marker, die sich bei der Veranschaulichung der realen Bewegung als störend erwiesen und deshalb mit Hilfe einer sog. Kurvenglättung (Clayton und Schamhardt 2001) eliminiert wurden. Es wurde empirisch ein Glättungsfaktor von 20 ermittelt. Durch die Glättung wurde die Auswertung der gewonnenen Daten möglich und somit das kommerziell erhältliche Programm auch für die Bewegungsanalyse beim Pferd auf dem Laufband anwendbar. Folgende Untersuchungen müssen zeigen, ob eine weitergehende Glättung der Kurven möglich ist und ab welcher Amplitudengröße eine Abweichung von der „Ideallinie“ klinisch nicht mehr relevant ist.

Die Fußung und das Abrollen sind kritische Momente des Bewegungsablaufes, da sie für die Gliedmaße besonders starke Belastungen zur Folge haben. Für die Untersuchungen des Bewegungsablaufes ist die genaue Erfassung dieser Vorgänge bedeutsam, da sie die Hangbeinphase von der Stützbeinphase trennen. Auf Grund der Schnelligkeit dieser Bewegungen insbesondere in Echtzeit aber auch in Zeitlupe und sogar bei Betrachtung der Hochfrequenzaufnahmen (250 Bilder pro Sekunde), ist eine visuelle Bestimmung des exakten Fußungs- und Abrollmomentes nicht sicher möglich. Nach Weiterentwicklung der zuvor erarbeiteten Untersuchungsmethode (Hoppe 2002) konnten diese Ereignisse in der zweidimensionalen Untersuchung von frontal in dieser Studie zeitlich erfasst werden. Die hier errechneten Zeit- und Raumparаметer (Dauer und Länge des Bewegungszyklus, der Stützbeinphase und der Hangbeinphase) sind im Vergleich zu Referenzwerten die auf dem Laufband bei 1,6 m/s erarbeitet wurden (Back et al. 1996) in der vorliegenden Arbeit geringgradig verlängert. Relativ zum gesamten Bewegungszyklus stimmten sie jedoch mit den Werten der Literatur nahezu überein (Clayton 1995, Back et al. 1996, Back und Clayton 2001). Der hier definierte Zeitpunkt des Abrollens ist zwar inter- als auch intra-individuell reproduzierbar, findet jedoch eventuell kurzzeitig vor dem vollständigen Abheben des Hufes vom Boden statt. Das würde allerdings bedeuten, dass die Stützbeinphase im Vergleich zu den Untersuchungen anderer Autoren verkürzt sein müsste. Da das in den hier durchgeführten Bewegungsanalysen nicht der Fall war, erscheint die hier angewendete Bestimmung von Beginn und Ende der Hangbeinphase zur Untersuchung der Gliedmaßenführung richtig. Somit scheint es möglich mit der hier angewendeten Auswertung der Kurvendiagramme und der Videos den Abrollzeitpunkt annähernd richtig zu erfassen (gleiche Höhe der Markierungen der weitesten Stelle und der Hufgelenkes). Mit der Ermittlung des Abrollens und des Auf Fußens wurde die Analyse der Lateralbewegung der Gliedmaße in der Hangbeinphase auch aus der Frontalansicht auf dem Laufband möglich.

Die Gliedmaßenführung in der Hangbeinphase wurde im Gegensatz zu den Vorgängen in der Fußungsphase wissenschaftlich bis jetzt wenig untersucht. Das mag darin begründet sein, dass die stärksten und orthopädisch relevanten Belastungen in der Fußungsphase vermutet werden (Barrey 1990, Ratzlaff et al. 1993, Caudron et al. 1998a,b). Da jedoch in der Hangbeinphase einerseits die Fußung vorbereitet wird und andererseits latero-mediale Belastungen i. S. geringgradiger „Schleudertraumen“ auftreten können, könnte der Beobachtung der Hangbeinphase eine größere Bedeutung zukommen als bisher angenommen. Dazu muss die Gliedmaßenführung im Zusammenhang mit der Stellung der Gliedmaßen und der Fußung sowie der Hufform untersucht werden.

Bei ausgeprägten Störungen in der Hangbeinphase ist anzunehmen, dass über ästhetische Gesichtspunkte (insbesondere im Dressursport) hinaus, weitergehende Dysfunktionen und Störanfälligkeiten abgeleitet werden können. Im Dressursport und somit auch in der Zucht wird eine regelmäßige Gliedmaßenführung in der Ansicht von frontal heutzutage angestrebt. Bevor jedoch ermittelt werden kann, ob und ab welcher Ausprägung die latero-medialen Bewegungen der distalen Gliedmaßensegmente in der Hangbeinphase eine Auswirkung auf die Gelenke oder Weichteilstrukturen (z. B. die Kollateralländer) haben, sollte bekannt sein, wie die Gliedmaßenführungen im Vergleich zu den visuell erfassbaren Bewegungskurven tatsächlich ablaufen.

Es besteht ein bedeutsamer Unterschied zwischen den konventionellen, subjektiven Untersuchungsmethoden und der Kinematik mit Hilfe der computergestützten Bewegungsanalyse. Während bei der letztgenannten Methode die „Ideallinie“ und somit die zu analysierende Gliedmaße selbst die Referenz vorgibt, wird bei der konventionellen visuellen Beobachtung des Pferdes von vorne eher die kontralaterale Gliedmaße als Bezug für die Änderung der Bewegungsrichtung der untersuchten Gliedmaße in der Hangbeinphase gesehen. Das bedeutet, dass sich bei routinemäßiger kinematischer Analyse der Gliedmaßenführung evtl. abweichende Erkenntnisse von dem bisherigen Wissensstand ergeben können (Corbin 2004).

Neben der exakten Erfassung der Gliedmaßenführung konnte nicht zuletzt die Bearbeitungszeit zur digitalen Erfassung einer Bewegungskurve im Vergleich zur vorhergehenden Version dieses Programmes mit dem die Fußung (Hoppe 2002, Martens et al. 2006) untersucht wurde, in hohem Maße verkürzt und somit praxisnäher gestaltet werden. Zunächst war die Interpretation der Bewegungskurve (Art der Gliedmaßenführung) nach dem Export der gewonnenen Daten in Microsoft Excel® noch in hohem Maße zeitaufwändig bzw. mit der kommerziell erhältlichen Software unmöglich. Deshalb musste im Rahmen dieser Arbeit ein spezielles Programm in Excel (Makro) erstellt werden, um die Kurve in angemessener Zeit interpretieren zu können. Dieses ist gelungen. Das bedeutet, dass mit Vervollständigung der vom Hersteller gelieferten Software der Zeitaufwand für die Analyse von Interpretation der Bewegungskurven von 5-6 Stunden pro Hochfrequenzfilm (Hoppe 2002) inzwischen auf einen Zeitraum von ca. 45-60 min reduziert werden konnte. Damit ist dieses System dem klinischen Alltag zwar näher gekommen aber noch nicht ganz praxistauglich. Es

können einzelne Ganganalysen (z. B. im Rahmen der Hufkorrektur) durchgeführt werden. Wenn jedoch eine Serie von Untersuchungen geplant ist (Analyse vor Abnehmen der Eisen, vor und nach Hufkorrektur, nach erneutem Beschlag) ist es derzeit noch notwendig die Pferde stationär aufzunehmen.

Das hier verwendete System hat nicht nur im Rahmen der praktischen Patientenbetreuung und der Hufschmiedearbeit, sondern auch in Bezug auf die Lehre einen großen Vorteil im Vergleich zu anderen kinematischen Analysesystemen. Die grafischen Elemente können dabei nämlich parallel zu dem sich bewegenden Pferd auf die Oberfläche der Gliedmaßen projiziert werden. Dieses veranschaulicht die Bewegungskurven in hohem Maße. Eine Weiterentwicklung dieses, im Vergleich zu anderen Verfahren, kostengünstigen Systems zu einer zwei- oder dreidimensionalen Darstellung würde weitere, notwendige Untersuchungen sowohl der Gliedmaßen unter Einbeziehung der latero-medialen und dorso-palmar-/plantaren Bewegungsabläufe als auch des Rückens ermöglichen. Der dazu erforderliche finanzielle Aufwand und eine weitergehende Entwicklung der Software erscheinen allerdings durch die deutlich sinkenden Preise für leistungsfähige Hochfrequenzkameras in näherer Zukunft für den Klinikalltag realisierbar.

Literatur

- Adrian M., Grant B., Ratzlaff M., Ray J. und Boulton C. (1977): Electrogoniometric analysis of equine metacarpophalangeal joint lameness. *Am. J. Vet. Res.* 38, 431-435
- Aoki O. (1999): Biomechanical analysis of horse shoeing. *Equine Vet. J. Suppl.* 30, 629-630
- Back W., Schamhardt H. C., Hartman W. und Barneveld A. (1995a): Kinematic differences between the distal portions of the forelimbs and the hind limbs of horses at trot. *Am. J. Vet. Res.* 56, 1522-1528
- Back W., Schamhardt H. C., Savelberg H. H. C. M., Bogert A. J. van den, Bruin G., Hartman W. und Barneveld A. (1995b): How the horse moves: 1. Significance of graphical representations of equine forelimb kinematics. *Equine Vet. J.* 27, 31-38
- Back W., Schamhardt H. C. und Barneveld A. (1996): Are kinematics of the walk related to the locomotion of a warmblood horse at the trot? *Vet. Q.* 18, 79-84
- Back W. und Clayton H. M. (2001): *Equine Locomotion*. Verlag W.B. Saunders, Philadelphia, London
- Barrey E. (1990): Contribution à l'optimisation de la locomotion chez le cheval athlète: analyse expérimentale et statistique des interactions biodynamiques pied-ferrure-piste. Thèse de Doctorat en biomécanique, E.N.S.A.M., Paris
- Barrey E. und Auvinet B. (1994): Analyse de la locomotion du trotteur par une ceinture accélérométrique. In: CEREOA, journée de la recherche chevaline, 20e journée d'étude, Paris le 2 Mars 1994, 191-199
- Barrey E., Galloux P., Valette J. P., Auvinet B. und Wolter R. (1993): Stride characteristics of overground versus treadmill locomotion. *Acta Anat. Suppl.* 146, 90-94
- Buchner H. H. F. (1995): Lameness management in horses, a kinematic study. *Vet. Med. Diss.*, Utrecht
- Buchner H. H. F., Savelberg H. H. C., Schamhardt H. C., Merckens H. W. und Barneveld A. (1994): Kinematics of treadmill versus overground locomotion. *Vet. Quart.* 16, 87-90
- Caudron I., Grulke S., Fanir F., Aupaix R. und Serteyn D. (1998a) : Radiographic assessment of equine interphalangeal joints asymmetry: articular impact of phalangeal rotations (Part I). *J. Vet. Med.* 45, 319-325

- Caudron I., Grulke S., Fanir F., Aupaix R. und Serteyn D. (1998b): Radiographic assessment of equine interphalangeal joints asymmetry : articular impact of asymmetric bearings (Part II). J. Vet. Med. 45, 327-335
- Clayton H. M. (1991a): Advances in motion analysis. Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 7, 365-382.
- Clayton H. M. (1991b): Gait Evaluation : making the most of your home video System. Proc. Am. Ass. Equine Pract. 36, 447-455
- Clayton H. M. (1995): Comparison of the stride kinematics of the collected, medium and extended walks in horses. Am. J. Vet. Res. 56, 849-852.
- Clayton H. M. und Schamhardt H. C. (2001): Measurement techniques for gait analysis. In: Back W. und Clayton H. M. (2001): Equine Locomotion. Verlag W.B: Saunders, Philadelphia, London, 55-76
- Corbin I. (2004): Kinematische Analyse des Bewegungsablaufes bei Pferden mit Gliedmaßenfehlstellungen und deren Behandlung durch Beschlagskorrekturen. Vet. Med. Diss. Hannover
- Drevemo S., Dalin G., Fredricson I. und Hjerten G. (1980a): Equine locomotion : 1. The analysis of linear and temporal stride characteristics of trotting Standardbreds. Equine Vet. J. 12, 60-65
- Drevemo S., Dalin G., Fredricson I. und Hjerten G. (1980b): Equine locomotion: 2. The analysis of coordination between limbs of trotting Standardbreds. Equine Vet. J. 12, 66-70
- Drevemo S., Dalin G., Fredricson I. und Hjerten G. (1980c): Equine locomotion: 3. The reproductivity of gait in Standardbred trotters. Equine vet. J. 12, 71-73
- Girtler D. (1987): Untersuchung über die Dauer des Bewegungszyklus –Stützbeinphase, Hangbeinphase, Phasenverschiebung- bei lahmen und bewegungsgestörten Pferden im Schritt und Trab sowie kinematische Beurteilungen zu deren Bewegungsmustern. Vet. Med. Habil. Wien
- Halvorsen K. (2003): User manual for the QHorse plugins Distal Limb and Backkin. Uppsala
- Hermann N. (2004): pers. Mitteilung
- Hoppe B. (2002): Die Überprüfung des KODAK motion corder analyzer SR 500 zur Anwendung als Bewegungsanalyse-system beim Pferd. Vet. Med. Diss. Hannover
- Keegan K., Wilson D. J., Wilson D. A., Barnett C. D. und Smith B. (1998): Effects of balancing and shoeing of the forelimb feet on kinematic gait analysis in five horses with navicular disease. J. Equine Vet. Sci. 18, 522-527
- Leach D. H. (1983a): A review of research on equine locomotion and biomechanics. Equine Vet. J. 15, 93-102
- Leach D. H. (1983b): Guidelines for the future of equine locomotion research. Equine Vet. J. 15, 103-110
- Martens I., Hoppe B., Carstensen V., Kampmann C. und Stadler P. (2006): Computergestützte kinematographische Darstellung der Fußung der Vordergliedmaßen beim Pferd. Pferdeheilkunde 22, 187-192
- Ratzlaff M. H., Wilson P. D., Hyde M. L., Balch O. K. und Grant B. D. (1993): Relationship between locomotor forces, hoof position and joint motion during the support phase of the stride of galloping horses. Acta Anat. 146, 200-204
- Ruthe H., Müller H. und Reinhard F. (1997): Der Huf. 5. überarb. Auflage, Ferdinand Enke-Verlag, Stuttgart
- Schmaltz R. (1922): Die Analyse der Gangarten des Pferdes durch den Film. Berl. tierärztl. Wochenschr. 38, 523-527
- Seehermann H. J. (1991): The use of high speed treadmill for lameness and hoof balance evaluations in the horse. Vet. Clin. North Am. Equine Pract. 7, 271-309
- Weeren P. R. van, Bogert A. J. van den, Back W., Bruin G. und Borneveld A. (1988): Kinematics of the standardbred trotter measured at 6, 7, 8 and 9 m/s on a treadmill, before and after 5 months of pre-race training. Acta Anat 146, 154-161
- Willemsen M. A. (1997): Horseshoeing, a biomechanical analysis. Med. Vet. Diss., Utrecht
- Williams G. und Deacon M. (2000): Hufbalance. Cadmos Verlag, Völkersen

Dr. Isabelle Martens
Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Klinik für Pferde
Bischofsholer Damm 15, 30173 Hannover
isabelle.martens@tiho-hannover.de



Jetzt Infos anfordern! 0711-7070749-0

Jetzt Infos anfordern und Sie erhalten eine coronal®-Herzdose* mit süßem Inhalt gratis.



coronal® – für das Herz!

coronal® ist ein völlig einzigartiges und außerordentlich wirksames Phyto- und Nährstoffpräparat zur ergänzenden Verabreichung bei Herzinsuffizienzen von Pferden.

In coronal® sind für den Herzstoffwechsel notwendige und häufig im Mangel befindliche Mikronährstoffe enthalten. Einige Nährstoffe und weitere bioaktive Substanzen sind weiterhin kardioprotektiv und stark antioxidativ. Die in coronal® enthaltenen Kräuter (Crataegus folium cum flore, u. a.) wirken zusätzlich tonisierend.

coronal® kann zur Therapiebegleitung bei Herzinsuffizienzen und in der Prophylaxe (z. B. alte Pferde) wie auch in besonderen Stress- und Belastungssituation zur Harmonisierung des inneren Milieus eingesetzt werden.

Alle unsere Präparate werden durch grundlegende Forschung entwickelt und sind durch zahlreiche Praxiserfahrungen bestens bewährt.

Innovation und Erfahrung bewähren sich – Nutriologische Strategien für unsere Tiere!

*Nur solange Vorrat reicht.



NAVALIS Nutraceuticals GmbH
Rosenstraße 72 70794 Filderstadt
Tel.: +49-(0)711-7070749-0
Fax: +49-(0)711-7070749-50
E-Mail: info@navalis-vet.de
www.navalis-vet.de