

Fußung und Gliedmaßenführung der Vordergliedmaßen beim unregelmäßig gestellten Pferd: eine computergestützte kinematographische Analyse

Isabelle Martens, Beke Hoppe und P. Stadler

Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover

Zusammenfassung

Mit einem kinematographischen computergestützten Bewegungsanalysesystem wurden Bewegungsmuster der Vordergliedmaßen von Pferden mit unregelmäßiger Gliedmaßenstellung im Schritt auf dem Laufband aus frontaler Ansicht untersucht. Dafür wurden eine herkömmliche s-VHS-Kamera, eine Hochfrequenzvideokamera (KODAK motion corder analyzer SR 500, 250 Bilder/s) sowie Auswertungssoftware (WINanalyse®, Fa. Mikromak, Erlangen bzw. ProTrack®, Fa. Prophysics, Zürich und Microsoft Excel®) eingesetzt. Die Studie wurde an zwei Probanden Gruppen durchgeführt. In Studie A (n=15) wurden die Pferde vor, während und nach der schmidetechnischen Maßnahmen analysiert, um die Gliedmaßenstellung und Fußung zu ermitteln. In der Studie B (n=28) wurde zusätzlich die Gliedmaßenführung während der Hangbeinphase untersucht. Die visuelle Beurteilung der Videoaufnahmen wurde mit den Ergebnissen der computergestützten Bewegungsanalyse verglichen. Mit dem computergestützten Analysesystem konnten im Vergleich zu der konventionellen Zeitlupenanalyse die Fußung und die Gliedmaßenführungen der markierten Gliedmaßenabschnitte besser erkannt werden. Während der Fußungsphase wurde festgestellt, dass eine unplane Fußung hochsignifikant mit einer stärkeren horizontalen Beweglichkeit des Fesselgelenkes zu Beginn der Stützbeinphase korrelierte. Es traten überwiegend laterale Fußungen auf. Die Schmidetechnischen Maßnahmen, die nach Auswertung der Zeitlupenaufnahmen der s-VHS Kamera durchgeführt wurden, konnten die Fußungsart nur geringfügig verbessern. In der Hangbeinphase wurde bei allen Probanden eine unregelmäßige Gliedmaßenführung festgestellt. Dabei wurde der Gliedmaßenabschnitt des Vorderfußwurzelgelenkes vorwiegend in einem Bogen um die contralaterale stehende Gliedmaße geführt. Der Hufbereich und das Fesselgelenk zeigten mehrere Oszillationen, wobei der größte Bogen meistens gegen die stehende Gliedmaße geführt wurde. Die Gliedmaßenstellung hatte keinen Einfluss auf die Art der Fußung, aber tendenziell auf das Vorführen der Zehe. Besonders bei bodenenger Stellung lag ein Zusammenhang der Zehenstellung mit der Führungsrichtung des Hufbereiches vor. Pferde die eine Achsenknickung aufwiesen zeigten signifikant mehr und größere Vorführbögen als andere Pferde. Die Gliedmaßenführung des proximalen Gliedmaßenabschnittes beeinflusste die Fußungsart signifikant. In der hier vorgestellten kinematographische Untersuchung werden neue und komplexere Zusammenhänge zwischen Gliedmaßenstellung, -führung und Fußung dargestellt, als es bisher angenommen wurde.

Schlüsselwörter: Pferd, Kinematik, Bewegungsanalyse, Gliedmaßenstellung, Beschlag

Motion pattern of the forelimbs in horses with irregular conformation: a computer based kinematographic analysis

In this study an earlier developed tool, consisting of a high-speed video camera with appropriate analysis software, is used to analyse limb conformation and hoof landing characteristics as seen from the frontal plane in horses walking on a traedmill. Gait analysis was performed with an s-VHS camera and a high frequency videocamera (KODAK motion corder analyser SR 500, 250 fps) using an analysis software (WINanalyse®, Cie. Mikromak, Erlangen; ProTrack®, Cie. Prophysics, Zürich and Microsoft Excel®). The study is conducted in 2 study populations. Population A (n=15) was filmed before, during and after farrier treatment in order to assess limb conformation and hoof landing in a frontal view. In study B (n=28) the same was done, but in this population swing phase characteristics were measured as well. A comparison was made between visual and computer based analysis of the videos. Results were that the computer based cinematographic method allowed for more detailed judgement than visual observation, even if slow motion is used. During the stance phase, the correlation between an uneven first ground contact of the hoof and the horizontal movement of the fetlock joint at the beginning of the stance phase was highly significant. Most horses showed a lateral landing. Trimming and shoeing was performed on the basis of the slow-motion films recorded with the s-VHS camera but improved the type of landing only insignificantly. During the swing phase, all horses had an irregular limb motion in the front view. The segment near the carpus showed predominantly a monophasic movement, arching towards the outside, away from the contralateral limb. In contrast, the hoof and the fetlock joint showed several oscillations in their motion pattern with an overall movement arching inwards, towards the contralateral limb. The conformation of the forelimbs had no influence on the way of landing but tended to influence the movement of the toe during the swing phase. In particular in horses with a base-narrow conformation the anatomic variations of the digits affected the swing phase of the hoof. Horses with a broken limb-axis had significantly more and larger latero-medial out-of-plane movements than did other horses. The trajectory of the proximal part of the forelimb affected the way of landing significantly. In this kinematographic analysis we were able to demonstrate new and more complicated correlations between the conformation of horses, the limb motion during the swing phase and the way of landing of the hoof than we previously expected.

Keywords: horse, kinematic, gait analysis, conformation, horse shoeing

Einleitung

In der täglichen Betreuung von Sportpferden, insbesondere bei Pferden, mit unregelmäßiger Stellung, stellen Hufschmiede und Tierärzte fest, dass die Beurteilung der Bewegungs-

muster durch den Einsatz von Videoaufnahmen erleichtert wird (Clayton 1991). Die genaue Erfassung sowohl der Fußung als auch der Gliedmaßenführung ist für eine optimale orthopädische Versorgung unabdingbar (Back und Clayton 2001). Neben zuletzt aufwändige dreidimensionale Analysen

(u.a. Herring et al. 1992, van Weeren et al. 1993, Chateau et al. 2004) wurden schon sehr früh zweidimensionalen Untersuchungen durchgeführt wobei die meisten der Winkelung der Gliedmaßen bei der Betrachtung von lateral galten (Schmaltz 1922, Adrian 1977, Drevemo et al. 1980 a,b,c, , Barrey und Auvinet 1994, Back et al. 1995 a,b, Buchner 1995). Durch den Einsatz des Laufbandes wurden zweidimensionale Untersuchungen auch in der Frontalansicht möglich. In vorangegangenen Untersuchungen wurde die Methodik zur Bestimmung der Fußung und der Gliedmaßenführung der Vordergliedmaßen in der Frontalansicht erarbeitet (Hoppe 2002, Corbin 2004, Martens et al. 2006, 2007). Dabei zeigte sich das relativ preiswerte Kodak Motion Corder analyser SR 500® -System (Fa. Mikromak, Erlangen) einerseits mit der WINanalyse®- (Fa. Mikromak, Erlangen) und andererseits mit der ProTrack®-Software, (Fa. ProPhysics, Zürich) zur computergestützten Auswertung geeignet. Im Anschluss daran sollte in zwei Arbeitsschritten überprüft werden, welche Bewegungsmuster Pferde mit unregelmäßiger Stellung aufweisen und ob verschiedenartige unregelmäßige Gliedmaßenstellungen tatsächlich charakteristische Gliedmaßenführungen und Fußungen bedingen, so wie es bisher von den meisten Autoren (Hickmann 1983, Prietz 1985, Stashak 1989, Klotz 1991, Ruthe et al. 1997) angenommen und in der Praxis doch häufig anders beobachtet wird. Die Erkenntnisse der computergestützten Hochfrequenzvideoanalyse sollten mit Auswertungen der Zeitlupenbeobachtung konventioneller Videoaufnahmen verglichen werden. Außerdem sollte überprüft werden, ob ein Einfluss auf Fußung und Fesselwinkel, Fußung und Stellung, Gliedmaßenführung und Stellung, Fußung und Gliedmaßenführung mit Hufkorrektur und Beschlag erfolgt und dieser in der Ansicht von frontal erkennbar wird.

Material und Methode

Die Pferde die zu diesen Studien zugelassen wurden, wiesen deutliche Abweichungen von der regelmäßigen Gliedmaßenstellung auf und waren zur Zeit der Untersuchung lahmfrei. Die Pferde wurden zweimal in einem Intervall von 4 bis 8 Wochen (durchschnittlich 6,4 Wochen) untersucht. Die Beurteilung der Gliedmaßenstellung erfolgte adspektorisch (Ruthe et al. 1997) nach mehrfacher Musterung und mit Hilfe eines Lotes (Abb. 1). Drehungen und/oder Knickungen insbesondere im Bereich der Zehengelenke wurden protokolliert und die Zehenachse aufgrund der Haupttrichtung des Hufes beurteilt.

Es wurden Untersuchungen in der Fußungsphase (Studie A und B) und in der Hangbeinphase (Studie B) durchgeführt. Dazu wurde bei 15 lahmfreien Pferden (Tab.1A) mit unterschiedlicher Abweichung der Vordergliedmaßen von der regelmäßigen Stellung die Fußung und der Fesselwinkel α (Abb. 2) zu Beginn der Fußungsphase von frontal ermittelt (Studie A). Durch die Zeitdifferenz (Δt) zwischen dem Erreichen des tiefsten Punkt des lateralen (L) und des medialen (M) Hufmarkers ($\Delta t = L - M$) wurde das Aufsetzen der Trägeränder des Hufes nach lateraler, medialer und planer Fußung unterschieden. Innerhalb der gegebenen Zeitspanne (vom Aufsetzen bis zum Ende der Distalbewegung des Metakarpus) maß der Computer 20 bis 25 Mal den Fesselwinkel und ermittelte den größten und den kleinsten Winkel und

berechnete deren Differenz (FWD): $\Delta\alpha = \alpha_{\max} - \alpha_{\min}$ (Hoppe 2002).

In der Studie B wurden bei 28 Pferden (Tab.1B) sowohl die Fußung als auch die Gliedmaßenführung in der Hangbeinphase in der Frontalansicht analysiert. Hierbei wurde der Einfluss der Gliedmaßenstellung überprüft. Zur Ermittlung der latero-medialen Bewegungen der Gliedmaße während der Hangbeinphase wurde bei jeder Analyse eine gerade Linie

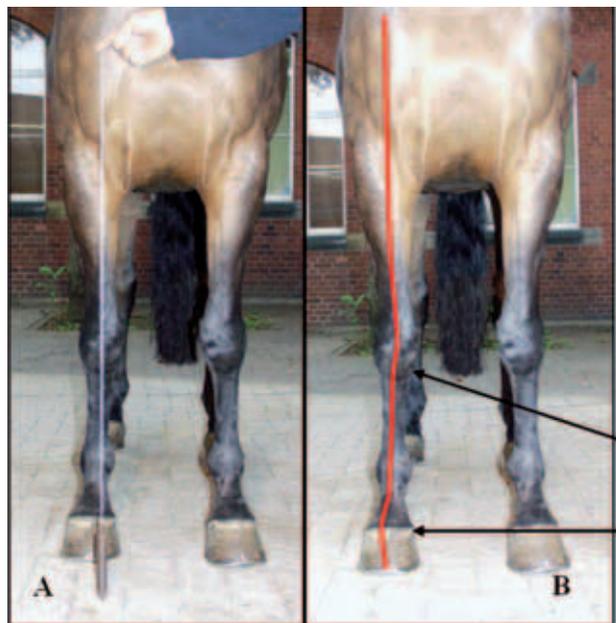


Abb 1 **A** : Anwendung des Lotes zur Beurteilung der Stellung der Vordergliedmaßen in der Frontalansicht. **B** : Eingezeichnete Hilfslinie zur Beurteilung der Stellung der Vordergliedmaßen in der Frontalansicht. oberer Pfeil: lateraler Versatz im Karpus, unterer Pfeil: zehengeng.

A: Using a plumb to evaluate the forelimb conformation in the frontal view. **B**: using a drawn line to evaluate the forelimb conformation in the frontal view- upper arrow: offset canon, lower arrow: toe in

Tab 1A Rasse, Geschlecht und Alter der Probanden der Studie A. Breed, sex and age of the horses in study A

Pferd Nr.	Rasse	Geschl.	Alter (J.)
1	Holsteiner	Wallach	13
2	Trakehner	Wallach	14
3	Andalusier	Hengst	13
4	Rheinländer	Wallach	7
5	Trakehner	Wallach	9
6	Friese	Hengst	4
7	Alt-Oldenburger	Wallach	8
8	Hannoveraner	Stute	11
9	Hannoveraner	Wallach	9
10	Trakehner	Stute	12
11	Hannoveraner	Wallach	8
12	Hannoveraner	Wallach	10
13	Araber	Hengst	1
14	Mecklenburger	Wallach	7
15	Camargue	Stute	6

(„Ideallinie“) mathematisch erstellt. Diese verbindet geradlinig jeden Marker von seinem Ausgangspunkt zu Beginn der Schwebephase bis zu seinem Endpunkt zu Beginn der Fußungsphase. Somit wurde für jeden Marker eine eigene Referenz erstellt, die eine theoretische regelmäßige Gliedmaßenführung widerspiegelt (Corbin 2004, Martens et al. 2007). Zusätzlich wurden die Gliedmaßenstellungen einer 100 Pferden große „Kontrollgruppe“ von Warmblütern der Region Hannover untersucht.

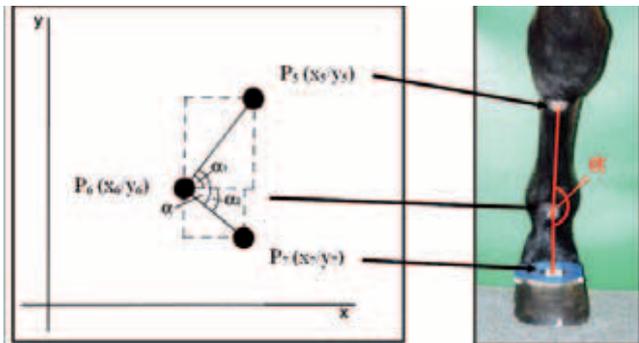


Abb 2 Schematische und photographische Darstellung des Fesselwinkels α zwischen Röhrbein und Zehenachse.

x_5 / y_5 = Koordinaten der Markierung P5

x_6 / y_6 = Koordinaten der Markierung P6

x_7 / y_7 = Koordinaten der Markierung P7

α_1 = 1. Teilwinkel des Fesselwinkels

α_2 = 2. Teilwinkel des Fesselwinkels

$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$

Der Fesselwinkel α lässt sich in die beiden Winkel α_1 und α_2 unterteilen, deren Größe aus den Koordinaten der Markierungen errechnet werden kann.

Schematic and photographic illustration of the fetlock angle α between the Metacarpus and the toe axis

x_5 / y_5 = Coordinates of P5

x_6 / y_6 = Coordinates P6

x_7 / y_7 = Coordinates P7

α_1 = first component of the fetlock angle

α_2 = second component of the fetlock angle

$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$

The fetlock angle α is composed of the partial angles α_1 and α_2 , the size of which can be calculated from the coordinates of the marked points.

Die Probanden beider Studien waren Klientel der Lehrschmiede der Tierärztlichen Hochschule Hannover und wurden zunächst bezüglich Ihrer Stellung im Stand und in der Bewegung untersucht. Anschließend wurden sie im Schritt auf dem Laufband (Mustang 2200®, Fa. Kagra, Fahrwangen) bei einer Geschwindigkeit von 1,6m/s nach einer Eingewöhnungsphase von vorne mit einer herkömmlichen s-VHS Kamera (25 Bilder/s) und mit einer Hochfrequenzkamera (Kodak Motion Corder analyser SR 500®, 250 Bilder/s) gefilmt. Die Aufnahmen wurden durch einen Hufbeschlagsschmiedemeister und eine Tierärztin subjektiv beurteilt und zusätzlich objektiv computertechnisch (Studie A: WINanalyse® Fa. Mikromak, Erlangen, bzw. Studie B: ProTrack® Fa. ProPhysics, Zürich und Excel®) analysiert. 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 palpatorisch erkennbaren anatomischen Strukturen

der Gliedmaßen (mittlere Sehnenrinne des distalen Radius, proximaler Metacarpus an der Tuberositas ossis metacarpalis III und dorsales Fesselgelenk am Gelenkspalt) sowie an der Mitte der Zehe auf Höhe des Kronsaumes und an der weitesten Stelle des Hufes (Martens et al. 2006, 2007). Die Videokameras standen in einer Entfernung von ca. 2m und einer Höhe von 40cm vor dem Pferd. Mit der Hochfrequenzkamera wurden Filmsequenzen von 4,4 Sekunden aufgenommen, auf der 3-4 Bewegungszyklen erfasst waren. Die minimale

Tab 1B Rasse, Geschlecht und Alter der Probanden der Studie B. *Breed, sex and age of the horses in study B*

Pferd Nr.	Rasse	Geschl.	Alter (J.)
1	Oldenburger	Stute	5
2	Westfale	Wallach	14
3	Hannoveraner	Wallach	6
4	Traber	Wallach	2
5	Traber	Wallach	2
6	Traber	Wallach	2
7	Traber	Wallach	2
8	Holländisches Kleinpferd	Stute	5
9	Hannoveraner	Stute	8
10	Oldenburger	Wallach	7
11	Hannoveraner	Wallach	7
12	Hannoveraner	Wallach	12
13	Sattelpferd	Wallach	14
14	Hannoveraner	Wallach	13
15	Hannoveraner	Wallach	16
16	Hannoveraner	Wallach	5
17	Hannoveraner	Wallach	12
18	Badenwürtemberger	Wallach	6
19	Hannoveraner	Stute	9
20	Friese	Hengst	4
21	Sachsen-Anhalt	Stute	10
22	Traber	Wallach	7
23	Westfale	Stute	7
24	Trakehner	Wallach	6
25	Westfale	Wallach	4
26	Haflinger	Stute	4
27	Oldenburger	Wallach	7
28	Hannoveraner	Wallach	11
29	Hannoveraner	Wallach	16

zeitliche Messdifferenz lag bei 0,004 Sekunden (bei 250 Bilder/sec) und die minimale örtliche Messdifferenz bei 1 mm. Reproduzierbarkeitsuntersuchungen ergaben für die Zeitparameter eine maximale Verschiebung um eine Bildfolge, d.h. 0,004 sec. und für die Raumparameter Standardabweichungen von unter 2,5 mm. Die Positionierung der Marker an den Gliedmaßen und die anschließenden Digitalisierung hatte somit keinen Einfluss auf die die Ergebnisse der hier dargestellten Studien (Corbin 2004, Martens et al. 2007).

Die Pferde wurden zunächst mit ihrem alten Beschlag, danach barhufig vor und nach der Hufkorrektur und schließ-

lich nach dem neuen Beschlag untersucht (Untersuchung T1). Nach einer Beschlagsperiode (6-8 Wochen) wurden die Pferde erneut den gleichen Untersuchungen unterzogen (Untersuchung T2). Das Zubereiten der Hufe erfolgte nach Zeitlupebetrachtung der zuvor erstellten s-VHS Videoaufnahmen. Es wurde nach der Fußungstheorie ausgeschnitten (Ruthe et al. 1997). Wenn die Zehenachse (in seitlicher Ansicht) gebrochen war, wurde zusätzlich im Zehen- oder im Trachtenbereich nach der Fesselstandtheorie korrigiert (Bauer 1964). Die Zehenrichtung wurde am Abrollpunkt, der mit Hilfe der Videoaufnahmen in Zeitlupe ermittelt wurde, angebracht. Die besonderen computertechnischen Berechnungen und Darstellungen wurden in früheren Publikationen vorgestellt (Martens et al. 2006, 2007) und werden in dieser Arbeit angewendet.

Statistisch erfolgte der Vergleich der beiden Auswertungsmethoden (visuell bzw. elektronisch) mit Hilfe des Konkordanzindex Kappa. Ob ein Zusammenhang zwischen zwei Parametern (z.B. „Fußung“ und „Fesselwinkeldifferenz“) besteht, wurde mit einer Logistischen Regression mit Hilfe der SAS-Software (Version 8.2) untersucht. Die Mittelwerte der Fesselwinkeldifferenzen unterlagen einer Normalverteilung. Ihre Veränderung von einem Hufzubereitungsstadium zum Folgenden, wurde mit Hilfe des t-Tests für gepaarte Beobachtungen (SAS-Software Version 8.2) untersucht. Dagegen unterlagen nicht alle quantitativen Werte der seitlichen Gliedmaßenabweichung einer Normalverteilung. Zur Überprüfung des Einflusses eines qualitativen Merkmals (Gliedmaßenstellung, Fußungsart, Gliedmaßenführung) auf die Verteilung der quantitativen Variablen (Zeitdifferenz beim Aufußern, maximale Bewegungsabweichung...) wurde einheitlich der nicht parametrische Wilcoxon Kruskal-Wallis Test (SAS-Software, Version 8.2) durchgeführt. Um den Einfluss eines quantitativen Merkmals auf einen ebenfalls quantitativen Parameter zu überprüfen wurde mit Hilfe der SAS-Software (Version 8.2) der Chi Quadrat Test durchgeführt. Für die Irrtumswahrscheinlichkeit p wurden folgende Signifikanzstufen festgelegt:

$p > 0,05$	nicht signifikant	-	NS
$0,01 < p \leq 0,05$	signifikant		*
$0,001 < p \leq 0,01$	hoch signifikant		**
$p \leq 0,001$	höchst signifikant		***

Ergebnisse

Stellung der Vordergliedmaßen

Die Tabellen 2 und 3 zeigen die beobachteten Gliedmaßenstellungen der Probanden bei der Erstvorstellung. In der Studie A wurden 15 Pferde, d.h. 30 Vordergliedmaßen beurteilt. Am häufigsten trat eine regelmäßig-zehenenge Gliedmaßenstellung ($n=15$, 50%) auf. Zusätzlich wurde die Stellung im Karpalgelenk beurteilt. Vier Gliedmaßen zeigten eine Valgusstellung (13%) und 6 Gliedmaßen (20%) einen Versatz der Röhre nach lateral. In der Studie B wurden 28 Pferde, d.h. 56 Vordergliedmaßen beurteilt. Am häufigsten trat ebenfalls die regelmäßig-zehenenge Stellung auf. Auch hier wurden Valgusstellungen ($n=8$, 14%) und häufiger ($n=31$, 55,5%) ein Versatz der Röhre nach lateral beobachtet. Die bewegungsanalytisch untersuchten Pferde zeigten hauptsächlich eine gleichartige Gliedmaßenkonformation wie die Kontroll-

Tab 2 Absolute und relative Häufigkeit der Gliedmaßenstellungen von 30 Gliedmaßen bei der ersten (T1) Untersuchung der Studie A, unter Berücksichtigung der Gliedmaßenachse und der Zehenachse. Absolute and relative frequency of the limb conformations of 30 limbs in the first examination (T1) of Study A, with special consideration of the limb and the toe axis.

Gliedmaßen-Achse	Zehen-Achse	Häufigkeit bei T1	
		n	%
regelmäßig	regelmäßig		
regelmäßig	zeheneng	15	50
regelmäßig	zehenweit	5	17
bodeneng	regelmäßig		
bodeneng	zeheneng		
bodeneng	zehenweit	4	13
bodenweit	zeheneng	2	7
bodenweit	zehenweit		
X-beinig	zehenweit	4	13
Total		30	100

Tab 3 Absolute und relative Häufigkeit der Gliedmaßenstellungen von 56 Gliedmaßen bei der ersten (T1) Untersuchung der Studie B, unter Berücksichtigung der Gliedmaßenachse und der Zehenachse. Absolute and relative frequency of the limb conformations of 56 limbs in the first examination (T1) of Study B, with special consideration of the limb and the toe axis.

Gliedmaßen-Achse	Zehen-Achse	Häufigkeit bei T1	
		n	%
regelmäßig	regelmäßig	1	1,5
regelmäßig	zeheneng	14	25
regelmäßig	zehenweit	5	9
bodeneng	regelmäßig	4	7
bodeneng	zeheneng	6	11
bodeneng	zehenweit	6	11
bodenweit	zeheneng	7	12,5
bodenweit	zehenweit	5	9
X-beinig	zehenweit	8	14
Total		56	100

gruppe (Tab.4). Es fiel auf, dass auch in der Kontrollgruppe kein Pferd eine regelmäßige Gliedmaßenstellung (von der Bugspitze bis zur Zehenachse) aufwies und auch hier die regelmäßig-zehenengen, bodenweit-zehenweite und bodeneng-zehenengen Stellungen vorherrschten.

Computergestützte Bewegungsanalyse

I. Die Stützbeinphase (Studien A und B) Fesselwinkeldifferenz und Fußung

Studie A

In der ersten Studie (A) wurden 15 Pferde bei der ersten Untersuchung (T1) und 12 Pferde (von den ursprünglichen 15) am Ende der Beschlagsperiode (Untersuchung T2) während der verschiedenen Stadien der Hufzubereitung analysiert. Von diesen 54 Vordergliedmaßen wurden 188 Bewegungsmuster erfasst und die Fußungsart und die Fesselwinkeldifferenz (FWD) bestimmt. Die computertechnische Aus-

Tab 4 Absolute und relative Häufigkeit der Gliedmaßenstellungen von 200 Gliedmaßen der Kontrollgruppe unter Berücksichtigung der Gliedmaßenachse und der Zehenachse.*Absolute and relative frequency of the limb conformations of 200 limbs in the control group, with special consideration of the limb and the toe axis.*

Gruppe	Gliedmaßen-Achse	Zehen-Achse	Häufigkeit	
			n	%
1	regelmäßig	regelmäßig	0	0
2	regelmäßig	zeheneng	36	18
3	regelmäßig	zehenweit	16	8
4	bodeneng	regelmäßig	0	0
5	bodeneng	zeheneng	35	17,5
6	bodeneng	zehenweit	17	8,5
7	bodenweit	regelmäßig	0	0
8	bodenweit	zeheneng	29	14,5
9	bodenweit	zehenweit	36	18
10	X-beinig	regelmäßig	0	0
11	X-beinig	zeheneng	22	11
12	X-beinig	zehenweit	9	4,5
	Summe		200	100

wertung erfolgte nach der bereits vorgestellten Methode (Martens et al. 2006).

Mit Hilfe der o.g. Methoden wurden intraindividuelle Veränderungen der Fesselwinkeldifferenz festgestellt und die Art der Fußung ermittelt. Der mittlere minimale Fesselwinkel (in der Fußungsphase) der rechten Gliedmaßen betrug 179,3° und der linken Vordergliedmaßen 178,4°. Der mittlere maximale Fesselwinkel lag vorne rechts bei 184° und vorne links bei 183,4°. Der größte Fesselwinkel betrug 200,7°, der kleinste 165,3°. Im Durchschnitt wurde vorne rechts eine Fesselwinkeldifferenz von 4,7° (SD 2,4) und vorne links von 5° (SD 1,8) gemessen. Die kleinste errechnete Fesselwinkeldifferenz (zwischen Beginn und Ende der Fußungsphase) lag bei 1° und die größte lag bei 16,3°.

Bei 188 Untersuchungen wurden 51 plane (27%) und 137 nicht plane (73%) Fußungen ermittelt, wovon 111 laterale (59%) und 26 mediale Fußungen (14%) auftraten. Die größte Zeitdifferenz zwischen der Bodenberührung des zuerst auf Fußenden lateralen Tragerandes und der planen Fußung (Δt) lag bei 0,028 Sekunden. Die größte Zeitdifferenz einer medialen bis zur planen Fußung (Δt) lag bei 0,016 Sekunden.

Beim Vergleich der unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung der Art der Fußung stellte sich heraus, dass eine starke Übereinstimmung ($\kappa = 0,633$) nur zwischen der mit der Hochfrequenzkamera beobachteten und der computeranalytisch errechneten Fußungsart vorlag. Der Vergleich zwischen der errechneten und der mit den Standardvideoaufnahmen visuell ermittelten Fußung zeigte dagegen nur eine schwache Übereinstimmung ($\kappa = 0,392$).

Studie B

In der zweiten Studie (B) wurden von 28 Pferden, d.h. 56 Vordergliedmaßen bei zwei Untersuchungsterminen (T1 und T2), in unterschiedlichen Stadien der Hufzubereitung, 1335 Fußungsphasen ausgewertet und 438 Fußungen ermittelt. Es

erfolgten 51 Fußungen plan (12%) und 387 (88%) nicht plan. Dabei traten 356 laterale (92%) und 31 mediale Fußungen (8%) auf. Die maximale Zeitdifferenz zwischen der Bodenberührung der lateralen bzw. medialen Tragerandseiten (Δt) betrug bei lateraler Fußung 0,032 Sekunden und bei medialer Fußung 0,016 Sekunden.

Zusammenhang zwischen planer Fußung und der Größe der Fesselwinkeldifferenz (Studie A)

Mit Hilfe der Logistischen Regression wurde ein hoch signifikanter Zusammenhang ($p < 0,001$) zwischen der Größe der Fesselwinkeldifferenz (Mittelwert der Fesselwinkeldifferenzen dreier Fußungsphasen einer Gliedmaße) und einer planen Fußung festgestellt. Bei einer während des Fußens auftretenden mittleren Fesselwinkeldifferenz von 1,4° fußt das Pferd mit einer Wahrscheinlichkeit von 65% plan, bei einer Fesselwinkeldifferenz von 2,5° bis 2,6° mit einer Wahrscheinlichkeit von 50%. Bei mittlerer Veränderung der Gliedmaßenwinkelung im Fesselgelenk um 4,5° während der Fußungsphase ist eine plane Fußung nur noch zu 25% wahrscheinlich. Bei einer Veränderung des Fesselwinkels um mehr als 12,9° fußt das Pferd mit 100%iger Wahrscheinlichkeit nicht plan. Insgesamt war bei 24 (12,8 %) von 188 Fußungen die Wahrscheinlichkeit einer planen Fußung über 50% (mittlere Fesselwinkeldifferenz $< 2,5^\circ$) und bei 160 (85,1 %) der 188 Fußungen unter 50% (mittlere Fesselwinkeldifferenz $> 2,6^\circ$).

Veränderung der Fesselwinkeldifferenz (Studie A) und Fußungsart (Studien A und B) zwischen verschiedenen Stadien der Hufzubereitung

Die Veränderung der Fußung und der Fesselwinkeldifferenzen nach Hufbeschlagsmaßnahmen wurde in der Studie A lediglich mit Hilfe der Filmclips ausgewertet, die eine eindeutige Fußung (mindestens 3 laterale, mediale oder plane Fußungen in einem Videoclip) aufwiesen. Dies war bei 112 von insgesamt 188 Fußungen der Fall. Dabei konnten nach verschiedenen schmiedetechnischen Maßnahmen keine signifikanten Veränderungen der Fesselwinkeldifferenz und Fußung festgestellt werden. In Studie B wurde bei allen Pferden der Einfluss der schmiedetechnischen Maßnahmen computertechnisch überprüft. Bei der ersten Untersuchung (T1) fußten 24 Gliedmaßen (43% von 56 Gliedmaßen) bei allen vier Bewegungsanalysen (mit dem alten Beschlag, ohne Beschlag, nach der Hufkorrektur und mit dem neuen Beschlag) immer lateral; zwei Gliedmaßen fußten ausschließlich medial. Bei der Nachuntersuchung (T2) fußten 34 Gliedmaßen (61% von 56 Gliedmaßen) bei allen vier Bewegungsanalysen lateral und nur noch eine Gliedmaße ausschließlich medial. Bei keiner der untersuchten Gliedmaßen konnte ausschließlich (bei T1 und T2) eine plane Fußung festgestellt werden. Bei sechs Pferden konnte durch den Beschlag entweder schon nach der ersten oder erst nach der zweiten Untersuchung eine plane Fußung erreicht werden. Der Einfluss der schmiedetechnischen Maßnahmen auf die Zeitdifferenz zwischen der Bodenberührung der lateralen und medialen Seite des Tragerandes (Δt) wurde zu jedem Untersuchungszeitpunkt überprüft. Bei der ersten Untersuchung (T1) wurde nach der Hufkorrektur die Zeitdifferenz des Auf Fußens der Trageränder medial und lateral nach dem Ausschneiden hochsignifikant kleiner ($p < 0,001$). Dage-

gen wurde die unplane Fußung nach Aufbringen der neuen Hufeisen wieder etwas deutlicher ($p \leq 0,05$). Bei der zweiten Untersuchung (T2) wurde zwar die unplane Fußung nach jeder schmiedetechnischen Maßnahme tendenziell undeutlicher, ein signifikanter Unterschied der Zeitdifferenz (Δt) der Fußung lag nach dem neuen Beschlag bei T2 jedoch nicht vor.

Am Ende jeder Beschlagsperiode wurden (mit alten Hufeisen bei T1 und T2) keine Unterschiede in der Art der Fußung (Δt) festgestellt. Auch der Vergleich zwischen den Beschlägen zu Beginn (T1 neue Hufeisen) und am Ende einer Beschlagsperiode (T2 alte Hufeisen) zeigte keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Fußungsart (Δt).

Bewegung des Fesselkopfes (Studie A)

Gliedmaßen, bei denen schon in der Standardvideoaufnahme eine Lateralbewegung des Fesselkopfes festgestellt werden konnte ($n=12$), erhielten eine Verbreiterung des äußeren Hufeisenschenkels. Diese Gliedmaßen zeigten beim Aufsetzen vor dieser Korrektur eine größere Änderung der Fesselwinkels (Mittelwert FWD = $5,2^\circ$) als Gliedmaßen ohne Lateralbewegung des Fesselkopfes (Mittelwert FWD = $4,4^\circ$). Die bereits im Standardvideo erkennbare horizontale Bewegung des Fesselkopfes konnte bei 9 von 12 Gliedmaßen durch den Beschlag mit Verbreiterung geringgradig verringert werden.

Einfluss der Gliedmaßenstellung auf die Fußungsart (Studie B)

Weder die Stellung einzelner Gliedmaßensegmente (Gliedmaßenachse, Zehenachse, Stellung im Karpus, Knickungen oder Drehungen), noch eine der vorliegenden Kombinationen der Stellungen (Tab. 3) zeigte eine Beziehung zur Art der Fußung (lateral, medial oder plan). Unabhängig von der Gliedmaßenstellung, der Hufzubereitung und des Untersuchungszeitpunktes waren 81% von insgesamt 438 Fußungsphasen laterale Fußungen. Deshalb konnte eine statistische Auswertung des Einflusses der Gliedmaßenstellung auf die Zeitdifferenz zwischen dem Aufsetzen des lateralen und medialen Tragerandes (Δt) nur für die laterale Fußung erfolgen. Dabei stellte sich heraus, dass sowohl die Zehenstellung als auch die Gliedmaßenstellung Δt beeinflussten. Die laterale Fußung war bei der bodenengen-zehenweiten Stellung in der ersten Untersuchung nach Abnahme der alten Hufeisen und in der zweiten Untersuchung nach dem neuen Beschlag signifikant stärker ausgeprägt ($p < 0,05$) als bei der bodenweiten-zehenweiten Stellung und deutlicher als bei bodeneng-zeheneng ausgerichtete Gliedmaßen ($p \leq 0,05$).

II. Die Hangbeinphase (Studie B)

Vergleich der visuellen und computergestützten Beurteilung der Gliedmaßenführung

Die Zeitlupenanalyse (s-VHS Videoaufnahmen) der Gliedmaßenführung ergab, dass das menschliche Auge die isolierten Bewegungen der verschiedenen Gliedmaßenabschnitte nur unzureichend erfassen kann. Meistens erkennt das Auge nur die Ortsveränderungen des distalen Abschnittes richtig. Hier treten die größten Bewegungsamplituden auf. Tabelle 5 zeigt,

Tab 5 Absolute und relative Häufigkeit der durch Zeitlupenanalyse beobachteten unterschiedlichen Gliedmaßenführungen von 56 Vordergliedmaßen während der ersten (T1) und der zweiten (T2) Untersuchung.

regelmäßig=geradlinige Gliedmaßenführung

um= Gliedmaßenführung um die stehende Gliedmaße,

gegen=Gliedmaßenführung gegen die stehende Gliedmaße

um- gegen=schnürende Gliedmaßenführung erst um, dann gegen die stehende Gliedmaße

+ eng=auffällig enger Gang

Absolute and relative frequency of limb motion patterns as seen from the front analysed by slow-motion films in 56 forelimbs in the first (T1) and in the second (T2) examination.

Regelmäßig = straight: trajectory of the limb is straight

um = outwards: limb moves away from the contralateral standing limb

gegen = inwards: limb moves toward the contralateral standing limb

um - gegen = outwards - inwards: limb moves first to and then away from the contralateral limb

+ eng = + close: markedly close gait

Gliedmaßenführung	Häufigkeit bei T1		Häufigkeit bei T2	
	n	%	n	%
regelmäßig	3	5	1	2
um	2	4	1	2
gegen	42	75	39	70
gegen + eng	2	4	4	7
um - gegen	1	2	3	5
um - gegen + eng	6	11	8	14
Total	56	100	56	100

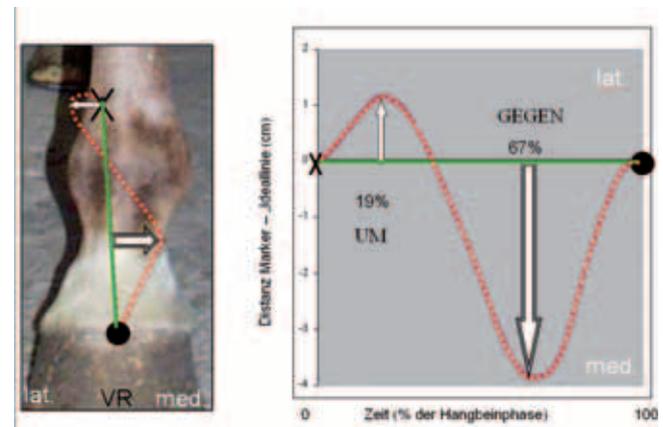


Abb 3 Darstellung einer biphasischen Führung der Markierung am Hufgelenk der rechten Vordergliedmaße eines Pferdes. Das Pferd führt die Zehe zunächst nach lateral, um die stehende Gliedmaße und danach nach medial, gegen die stehende Gliedmaße vor.

— Ideallinie $Y = a(X-X_0) + b$

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

dass sowohl bei der ersten (T1) als auch bei der zweiten Untersuchung (T2), unabhängig von der Stellung, hauptsächlich Gliedmaßenführungen gegen die contralaterale stehende Gliedmaße (75% bei T1, 70% bei T2) beobachtet wurden. Es konnten auch biphasische Bewegungsmuster (z.B. bügeln-der Gang: erst um und dann gegen die stehende Gliedma-

Tab 6 Absolute und relative Häufigkeit der monophasischen, biphasischen und polyphasischen Bewegungsmuster an den markierten Gliedmaßensegmenten in der Hangbeinphase. Monophasisch=Kurve mit einem Bogen, Biphasisch=Kurve mit zwei Bögen, Poliphasisch=Kurve mit drei und mehr Bögen.

Absolute and relative frequency of the monophasic, biphasic and polyphasic motion pattern of the marked limb segments in the swing phase
Bewegungsmuster: motion pattern, Fesselgelenk: fetlock joint, Hufgelenk: coffin joint, Monophasisch: monophasic=curve with one peak, Biphasisch: biphasic=curve with two peaks, Poliphasisch: polyphasic= curve with three and more peak

Bewegungsmuster	Radius		Metacarpus		Fesselgelenk		Hufgelenk	
	n	%	n	%	n	%	n	%
monophasisch	367	64	377	65	229	40	187	32
biphasisch	106	18	99	17	193	33	240	42
polyphasisch	104	18	101	18	155	27	150	26
Total	577	100	577	100	577	100	577	100

Tab 7 Vergleich der Anzahl der Bewegungsbögen in den Kurven der Gliedmaßenabschnitte in latero-medialer Richtung. ***=höchst signifikanter Unterschied zwischen: distalem Radius und Fesselgelenk ($p \leq 0,001$), distalem Radius und Hufgelenk ($p \leq 0,001$), proximalem Metacarpus und Fesselgelenk ($p \leq 0,001$). SD=Standardabweichung

Comparison of the number of peaks in the curves of the limb segments in latero-medial direction. ***=highly significant difference between: distal Radius and fetlock joint ($p \leq 0,001$), distal Radius and coffin joint ($p \leq 0,001$), proximal Metacarpus and fetlock joint ($p \leq 0,001$), proximal Metacarpus and coffin joint ($p \leq 0,001$). SD=standard deviation

Markierung	Mittelwert	SD	Median	Minimum	Maximum
Radius	1,6	0,93	1	1	5
Metacarpus	1,6	0,97	1	1	5
Fesselgelenk	1,9	0,91	2	1	5
Hufgelenk	2,0	0,89	2	1	5

ße) und auffällig enge Gliedmaßenführungen erkannt werden. Die Gliedmaßenführung war zwischen den unterschiedlichen Hufzubereitungen nicht unterschiedlich.

Die Bewegungsmuster

Die Berechnung und Darstellung der Gliedmaßenführung in der Hangbeinphase wurde in einer früheren Publikation (Martens et al. 2007) dargestellt. Dabei wurde mathematisch eine „Ideallinie“ erstellt, die die ideale, geradlinige Gliedmaßenführung als Referenz festlegt. Um das Bewegungsmuster jedes Gliedmaßenabschnittes (bzw. der Markierungen) erfassen zu können, wurden die Abweichungen von dieser Ideallinie, deren Richtung (um oder gegen die stehende Gliedmaße), Zeitpunkt und maximale Amplitude ermittelt. Es wurden insgesamt 208 Gliedmaßen der Probanden der Studie B während 577 Hangbeinphasen untersucht.

Intra-individuell waren die Gliedmaßenführungen während der drei Hangbeinphasen einer Filmsequenz relativ konstant. Es wurde bei keinem Pferd eine regelmäßige Gliedmaßenführung (geradlinige Bewegung) einer Gliedmaße festgestellt. Alle Gliedmaßensegmente wiesen im Verlauf der Hangbeinphase mindestens eine Abweichung zur „Ideallinie“ auf. Radius und Metacarpus zeigten vorwiegend monophasische Bewegungsmuster (64% bzw. 65%). Im Fesselgelenk und Hufgelenk gab es dagegen mehr Bewegungsbögen als im proximalen Gliedmaßenbereich Tab.6, Abb.3). Anatomisch benachbarte markierte Gliedmaßenabschnitte zeigten keine signifikanten Unterschiede des Bewegungsablaufes (Tab.7). Kein Gliedmaßenabschnitt wies bei dem Vergleich des Bewegungsmusters mit alten Eisen und nach Neubeschlag (sowohl bei T1 als auch bei T2) einen signifikanten Unterschied in der Anzahl der Führungsbögen (Abweichungen von der Ideallinie)

auf. Dagegen veränderte sich das Bewegungsmuster in der Beschlagsperiode von 6-8 Wochen im Bereich des Hufgelenkes signifikant ($p \leq 0,05$). Der Hufgelenksmarker zeigte am Ende der Beschlagsperiode signifikant mehr Oszillationen als zu Beginn.

Wenn mehr als ein Bogen während der Hangbeinphase auftrat (bi- oder polyphasische Bewegungsmuster), wurde der stärkste Bogen weitergehend untersucht. Die maximale seitliche Abweichung von der Ideallinie stellte sich im proximalen Gliedmaßenabschnitt überwiegend als eine Gliedmaßenführung um die stehende Gliedmaße dar. Dagegen erfolgte die Gliedmaßenführung im Hufbereich deutlich häufiger gegen die stehende Gliedmaße (Tab.8). In der Regel wurde die größte Abweichung im ersten Bogen der Hangbeinphase festgestellt, der sein Maximum im zweiten Drittel der Hangbeinphase erreichte. Durchschnittlich lagen die Abweichungen von der Ideallinie bei ca. 5 cm (Tab.9), wobei jedoch auch stärkere Abweichungen proximal bis zu 12 cm und distal bis zu 17cm vorkamen. Bei dieser computergestützten Auswertung wurden auch sehr geringgradige maximale Abweichungen der Gliedmaßenführung von der „Ideallinie“ erfasst. Deshalb wurde im Gegensatz zu der Auswertung der Zeitlupenaufnahmen mit Hilfe der Computeranalyse eine regelmäßige Gliedmaßenführung in keinem Gliedmaßenabschnitt gesehen. Die Untersuchung der maximalen Abweichungen der Gliedmaßenführung von der „Ideallinie“ zeigte, dass mit dem hier angewendeten System geringe Undulationen der pendelnden Gliedmaße in der Hangbeinphase bis zu 0,5 cm und weniger erfasst wurden (Abb. 4).

Einfluss der Gliedmaßenstellung auf die Gliedmaßenführung
Tendenziell wurde ein Einfluss der Gliedmaßenachse und der Zehenachse auf die Gliedmaßenführung im Hufbereich festgestellt. In den meisten Hangbeinphasen zeigte die Zehe eine

Tab 8 Richtung der maximalen lateralen/medialen Abweichung von der „Ideallinie“ im proximalen und distalen Gliedmaßenbereich bei 208 Pferdegliedmaßen. UM=Gliedmaßenführung um die stehende Gliedmaße, GEGEN=Gliedmaßenführung gegen die stehende Gliedmaße. *Direction of the biggest lateral/medial deviation from the „ideal“ limb trajectory („ideal line“) in the proximal and the distal parts of 208 horse limbs.* Richtung=direction, Fesselgelenk=fetlock joint, Hufgelenk=coffin joint, UM: outwards, around the contralateral standing leg, GEGEN=inwards, towards the contralateral standing leg

Richtung	Radius		Metacarpus		Fesselgelenk		Hufgelenk		Total	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
UM	186	89	177	85	117	56	54	26	534	64
GEGEN	22	11	31	15	91	44	154	74	298	36
Summe	208	100	208	100	208	100	208	100	832	100

Tab 9 Maximale Abweichungen der Bewegungskurven der markierten Gliedmaßensegmente von der „Ideallinie“ bei monophasischer Gliedmaßenführung. SD=Standardabweichung, M.A.=maximale Abweichung von der „Ideallinie“ *Maximal Deviation of the motion curves of the marked points from the „ideal line“ in monophasic motion pattern.* SD=standard deviation, M.A. =maximal deviation from the „ideal line“, größte=biggest, geringste=smallest, Fesselgelenk=fetlock joint, Hufgelenk=coffin joint

	geringste M.A. (cm)	größte M.A. (cm)	Mittelwert (cm)	SD
Radius	0,9	14,5	5,0	0,2
Metacarpus	0,5	14,6	4,4	0,2
Fesselgelenk	0,6	12,3	4,2	0,5
Hufgelenk	1,3	16,9	5,9	0,6

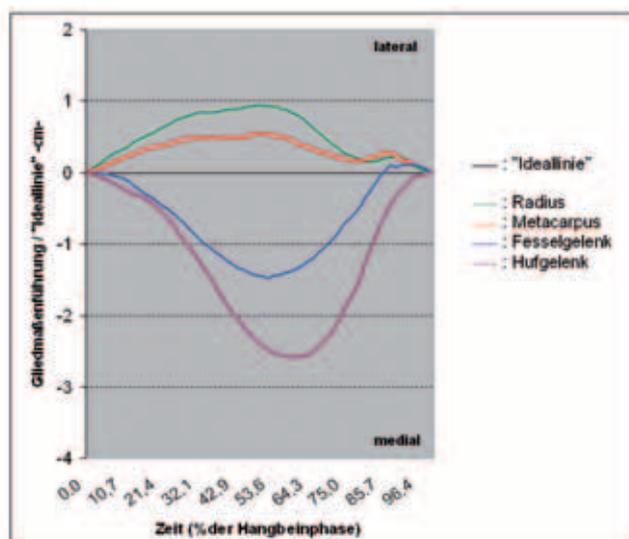


Abb 4 Bewegungskurven der rechten Vordergliedmaße eines Pferdes mit gegenläufige Bewegungen der proximalen (Radius und Metacarpus) und der distalen Gliedmaßenabschnitte (Fessel- und Hufgelenk). Radius (grün) und Metacarpus (rot) bewegen sich monophasisch um (0,9 bzw. 0,5 cm) die stehende Gliedmaße ; das Fesselgelenk (blau) bewegt sich biphasisch erst gegen und dann geringgradig um (-1,5 und 0,1 cm) die stehende Gliedmaße ; das Hufgelenk (lila) bewegt sich monophasisch gegen (-2,6 cm) die contralaterale Gliedmaße. lateral=lateral der „Ideallinie“, Bewegung um die stehende Gliedmaße, medial=medial der „Ideallinie“, Bewegung gegen die stehende Gliedmaße

Motion curves of the right forelimb of a horse with opposite trajectories in the proximal (Radius and Metacarpus) and the distal limb segment (fetlock joint and coffin joint). Radius (green) and Metacarpus (red) move monophasic outwards (0,9 resp. 0,5 cm), away from the contralateral standing limb; the fetlock joint (blue) moves biphasic first inwards, towards the standing limb and then moderately outwards (-1,5 and 0,1 cm); the coffin joint (purple) moves monophasic inwards (-2,6 cm), towards the contralateral standing limb. Lateral=lateral of the „ideal line“, i.e. away from the standing limb, Medial=medial of the „ideal line“, i.e. towards the standing limb

Führung gegen die stehende Gliedmaße (74%). Sowohl bei regelmäßiger, bodenweiter oder X-beiniger Gliedmaßenachse (Stellung zum Boden) wurde die Zehe fast ausschließlich gegen die stehende Gliedmaße geführt. Bei bodenenger Stellung wurde der distale Gliedmaßenabschnitt fast in gleicher Häufigkeit nach lateral bzw. nach medial geführt. Es fiel auf, dass bei einer bodenweiten Gliedmaßenachse die Stellung der Zehenachse fast keinen Einfluss auf die Gliedmaßenführung zeigte, dagegen hing die Gliedmaßenführung bei einer bodeneng gestellten Gliedmaßenachse von der Stellung der Zehenachse ab. Bodeneng-zeheneng gestellte Pferde führten den distalen Gliedmaßenabschnitt fast ausschließlich nach medial (gegen die stehende Gliedmaße) und bodeneng-zehenweit gestellte umgekehrt nach lateral (um die stehende Gliedmaße).

Ein signifikanter Einfluss ($p \leq 0,05$) auf die Anzahl der geführten Bögen und auf die Größe der maximalen seitlichen Abweichung wurde bei Achsenknickungen im Vorderfußwurzel- bzw. Fesselgelenk festgestellt. Im Bereich des Hufgelenkes wurden häufig biphasische Bewegungskurven bei bodeneng-zehenweit, X-beinig-zehenweit und bodenweit-zehenengen Gliedmaßenstellungen festgestellt. Die Gliedmaßen mit derartigen Achsenknicken (bodeneng-zehenweit und X-beinig-zehenweit) zeigten die größten Abweichungen von der „Ideallinie“ ($p \leq 0,05$).

Einfluss der Gliedmaßenführung auf die Fußung

Die Richtungen (um oder gegen die stehende Gliedmaße) der maximalen lateralen/medialen Abweichungen des distalen Radius, proximalen Metacarpus und Fesselgelenkes von der „Ideallinie“ beeinflussten signifikant bis höchst signifikant die Fußungsart der Pferde. Dagegen hatte die Bewegung im Bereich des Hufgelenkes keinen Einfluss auf die Fußung. Es wurde festgestellt, dass eine Bewegung von Radius, Metacarpus und Fesselgelenk um die stehende Gliedmaße signifikant bis höchst signifikant häufiger mit einer lateralen als mit einer

planen oder medialen Fußung einhergeht. Dagegen ist eine Gliedmaßenführung gegen die stehende Gliedmaße signifikant bis höchst signifikant häufiger mit einer medialen Fußung korreliert.

Diskussion

Die Bewegungsanalyse hat, insbesondere in den letzten zwei Jahrzehnten, sowohl für das gesunde als auch für das orthopädisch kranke Pferd zu einer besseren Kenntnis der Biomechanik beigetragen. Durch den Einsatz des Laufbandes wurden zweidimensionale Untersuchungen auch in der Frontal-betrachtung möglich. Ein solches relativ preiswertes kinematographisches Analysesystem wurde auf seine Anwendbarkeit zur Bestimmung der Fußung und der Gliedmaßenführung bereits getestet (Martens et al. 2006, 2007). Mit diesem System wurden die Ergebnisse dieser Studie erarbeitet.

Zur Untersuchung der Fragestellung dieser Arbeit wurde zunächst ermittelt, welche Konformationen der Vordergliedmaße am häufigsten bei den Pferden des Klientels der angeschlossenen Hufbeschlagsschmiede auftraten. Dabei konnten weder bei den hier bewegungsanalytisch untersuchten Probandengruppen noch bei einem deutlich größeren Kontingents von repräsentativen Warmblutpferden der Region, ein Pferd mit einer vollständig regelmäßigen Gliedmaßenstellung gefunden werden. Dieses war ein unerwartetes Ergebnis, insbesondere weil andere Autoren (Hickmann 1983, Priezt 1985, Stashak 1989, Klotz 1991, Ruthe et al. 1997) charakteristische regelmäßige Gliedmaßenführungen für Pferde mit regelmäßiger Ausrichtung der Gliedmaße vom Buggelenk bis zur Zehe beschreiben.

Es stellte sich heraus, dass die hier untersuchten Pferde unregelmäßige Gliedmaßenstellungen in ähnlicher Art und Häufigkeit aufwiesen wie die Kontrollgruppe. Dies entspricht den Beobachtungen von Holmström (1994) und steht in deutlichem Widerspruch zu Ergebnissen von Goodall (1966), die beim Warmblutpferd eine überwiegend regelmäßige Gliedmaßenstellung fand. Somit stellt sich die Frage, ob die in der Literatur beschriebenen „Ideale“ heute noch standhalten können und in wiefern das womöglich „Bessere“ dem Physiologischen untergeordnet werden sollte.

Aspektorisch wurde in der vorliegenden Arbeit häufig eine Abweichung der Gliedmaßenachse nach lateral oder medial (bodenweit bzw. bodeneng) festgestellt. Bei isolierter Betrachtung der Zehenachse trat die zehengeenge Stellung am häufigsten auf. Diese war, wie auch die zehenweite Stellung, häufiger mit gleichartig ausgerichteteter Gliedmaßenachse, als mit gegenläufiger Ausrichtung des proximalen Gliedmaßenabschnittes kombiniert. Diese Konformation der Gliedmaßen ist deshalb unerwartet, weil die meisten Autoren (Goubaux und Barrier 1884, Stashak 1989, Klotz 1991) davon ausgehen, dass eine Deviation der proximal der Zehe gelegenen Gliedmaßenabschnitte, durch zunehmende gegenläufige Ausrichtung der Zehenachse kompensiert wird. Dieses geschieht insbesondere dann, wenn im Fohlenalter nicht rechtzeitig Korrekturen durch orthopädische oder sogar chirurgische Maßnahmen (Moyer 1980, Auer et al. 1982, Müller 1986, Reinhard 1987, Stashak 1989, Klotz 1991, Back 1994, Hertsch et al. 1997) erfolgen.

Dem Fesselgelenk wird einerseits eine wichtige Funktion im Bewegungsablauf und andererseits eine besondere Anfälligkeit für pathologische Veränderungen aufgrund von Gliedmaßenfehlstellungen zugeschrieben (Rooney 1979, Stashak 1989, Clayton et al. 1998). Da sich besonders eine asymmetrische Belastung der Gelenkflächen negativ auf das Fesselgelenk und die dazu gehörigen Bänder auswirkt (Caudron et al. 1997, Williams und Deacon 2000), wurde die Fesselwinkeldifferenz ermittelt, die das Ausmaß der Bewegung des Fesselkopfes in der Horizontalen repräsentiert. Die Fesselwinkeldifferenz korrelierte hochsignifikant mit der Fußung, d.h. bei einer planen Fußung lag eine geringe, bei einer einseitigen Fußung eine starke Bewegung im Fesselgelenk vor. Somit hat die Fußungsart einen Einfluss auf die Belastungssymmetrie im Fesselgelenk. Bei langfristig bestehender einseitiger Fußung resultiert aus der asymmetrischen Gewichtsaufnahme im Bereich der Röhrbeinkondylen und der Gelenkfläche des Fesselbeins häufig eine Arthropathie (Williams und Deacon 2000). Derartigen vorzeitigen Verschleißerscheinungen kann einerseits durch eine plane Fußung und andererseits durch einen Spezialbeschlag (z.B. Verbreiterung der Hufeisenschonkel) entgegengewirkt werden (Emery et al. 1977, Moyer 1980, Ruthe et al. 1997). Allerdings kann bei bestimmten Konformationen der Vordergliedmaße eine plane Fußung nicht erreicht werden. Einige Autoren halten dagegen ein richtiges Verhältnis der Hufwände und des Hufes zum Fesselstand (Fesselstandstheorie) für bedeutsamer als das Erreichen einer planen Fußung (Bauer 1938, Habacher 1948, Ruthe et al. 1997). In der Praxis werden häufig beide Zubereitungsmethoden (nach der Fußung und nach dem Fesselstand) kombiniert (Peham et al. 2000) und somit bei unregelmäßig gestellten Pferden Kompromisse eingegangen (Butler 1985, Hickmann 1983).

Bei den meisten Probanden dieser Studie wurde einerseits zur Verbesserung der Fußung die laterale Hufwand gekürzt, und andererseits wurde zur Verbesserung der Gliedmaßenführung, um die Streichgefahr zu verringern, lateral am Hufeisen eine Verbreiterung angebracht (Emery et al. 1977, Moyer 1980, Ruthe et al. 1997). Das führt außerdem zu einer größeren Unterstützungsfläche. Hierbei wird deutlich, dass Hufbeschlag und -zubereitung nicht nur beim gesunden Pferd, sondern insbesondere bei Pferden mit unregelmäßigen Gliedmaßenstellungen oder orthopädischen Erkrankungen immer einen Kompromiss darstellen muss (Seehermann 1991, Peham et al. 2000). Das erklärt die häufig kontroverse Diskussion in Bezug auf Ziel und Durchführung des Hufbeschlags zur Prävention von Schäden im Gliedmaßenbereich einerseits und zur Behandlung von orthopädischen Erkrankungen andererseits. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob mit Hilfe der Messung der Fesselwinkeldifferenz sowohl die Seite als auch das Ausmaß einer Verbreiterung des Hufeisenschonkels exakter als bisher ermittelt werden können. In Bezug auf die Fesselwinkeldifferenz konnte in der hier beschriebenen Studie tendenziell gezeigt werden, dass sich diese Differenz nach einem Spezialbeschlag mit Verbreiterung innerhalb einer Beschlagperiode (ca. 6 Wochen) verringerte.

Mit Hilfe der Bewegungskurven konnte die Art der Fußung dargestellt und eine nicht plane Fußung bis auf vier Tausendstel Sekunden genau errechnet werden. Die visuelle Beurteilung der Standardvideoaufnahmen in Zeitlupe aber auch der Hochfrequenzkameraaufnahmen zeigte in Bezug auf die Fußung in einigen Fällen abweichende Ergebnisse zu denen

der Computeranalyse. Die Diskrepanz könnte in der Trägheit des menschlichen Auges begründet sein (Clayton 1991). Deshalb scheint eine exakte Analyse aus der Ansicht des bewegten Pferdebeines von frontal, insbesondere bei geringgradig asymmetrischer Fußung, nur mit Hilfe eines computergestützten Analysesystems möglich zu sein.

In den vorliegenden Arbeiten wurden computergestützt überwiegend laterale Fußungen ermittelt. Diese Fußungsart zeigte sich sowohl vor, während und nach schmiedetechnischen Maßnahmen am häufigsten. Dies bestätigt die Beobachtungen von Peham et al. (2000), die nach Korrektur mit dem Ziel einer planen Fußung nur eine begrenzte Wirkungszeit nachweisen konnten. Das heißt die Pferde fußten zunächst plan und am Ende der Beschlagsperiode wieder wie zuvor.

Nach der Hufzubereitung wurde auch in dieser Arbeit tendenziell eine Verbesserung der Fußung in die Richtung einer planen Fußung erreicht. Eine vollständige plane Fußung wurde mit der computergestützten Videoanalyse jedoch selten erkannt. Es erscheint diskussionswürdig, dass nach dem Aufbringen des neuen Beschlages die zuvor erreichte Verbesserung der Fußung teilweise wieder eingebüßt wurde. Bei einigen Pferden, die zuvor eine plane Fußung zeigten, wurde sogar nach dem Beschlag eine geringgradige laterale Fußung festgestellt, obwohl die Pferde nach der Fußung ausgeschnitten wurden. Die Auswahl und das Richten des Hufeisens erfolgten dabei nach der Hufform und somit indirekt nach der Gliedmaßenstellung. Die Hufform hat sich über einen langen Zeitraum, nicht zuletzt in Abhängigkeit von der Gliedmaßenstellung entwickelt und somit eventuell auch einen konstitutiven Effekt auf die Fußungsart. Die Gliedmaßenführung konnte für die Hufbeschlagsmaßnahme lediglich nach visueller Analyse in Echtzeit und im Zeitlupenmodus berücksichtigt werden. In der vorliegenden Arbeit konnte der Hufbeschlag noch nicht auf der Basis der computergestützten Bewegungsanalyse erfolgen, da die Beschleunigung des Auswertevorganges erst im Verlauf dieser Arbeit erreicht werden konnte.

Immerhin erscheinen die Hufzubereitung und der Beschlag, lediglich auf der Basis der Beobachtung der Zeitlupenaufnahmen, auch durch einen erfahrenen Hufbeschlagsmeister, noch keine vollständig befriedigende Lösung, insbesondere in problematischen Fällen zu bieten. Dabei sollte in Zukunft als Ergebnis dieser Arbeit entgegengesetzt zu bisherigen Erkenntnissen und Berichten in der Literatur, berücksichtigt werden, dass häufig Gliedmaßenführungen gegen die kontralaterale stehende Gliedmaße beobachtet wurden und dennoch eine laterale Fußung vorlag (Klotz 1991, Ruthe et al. 1997).

Ein Zusammenhang zwischen Konformation der Gliedmaße und Fußungsart, wie sie von anderen Autoren (Stashak 1989, Klotz 1991) beschrieben wird, konnte in der vorliegenden Arbeit nicht nachgewiesen werden. Dagegen konnte mit Hilfe der computergestützten Analyse immerhin ein Zusammenhang zwischen der Dauer einer einseitigen Belastung des Hufes bei unplaner Fußung und der Gliedmaßenstellung aufgedeckt werden. Gegenläufige Stellungen der Gliedmaßen und Zehenachse zeigten eine deutliche Verstärkung der Zeitdifferenz (Δt) der Bodenberührung zwischen dem Aufsetzen des lateralen und des medialen Tragerandes (laterale Fußung) und tendenziell wurde eine Beeinflussung der Fußungszeit von der Stellung der Zehen-

achse gesehen. Das bedeutet, dass über die Analyse der Fußungsart hinaus in Zukunft die Bestimmung der Zeitdifferenz (Δt zwischen der Bodenberührung beider Trageränder des Hufes) evtl. auch eine diagnostische Bedeutung für die Beurteilung des Bewegungsbildes orthopädisch erkrankter Pferde haben könnte.

In der Hangbeinphase scheint das Auge des Betrachters (Schmied und Tierarzt) bei der konventionellen Beurteilung der Bewegung in Echtzeit, vorrangig auf die distalen Gliedmaßenabschnitte gerichtet zu sein, da bei ca. 75% der konventionell beurteilten Gliedmaßenführungen eine Bewegung der Gliedmaße gegen die kontralaterale, stehende Gliedmaße auffiel. Mit Hilfe der computergestützten Bewegungsanalyse wurde gezeigt, dass nahezu 75% der analysierten Vordergliedmaßen diese Bewegung gegen die kontralaterale Gliedmaße lediglich im distalen Abschnitt, d.h. insbesondere im Bereich des Hufgelenkes zeigten. Umso bemerkenswerter erscheint es, dass bei der isolierten Betrachtung der Bewegung im proximalen Gliedmaßenbereich die meisten Gliedmaßenführungen um die kontralaterale, stehende Gliedmaße stattfanden. Das könnte bedeuten, dass je stärker die Unregelmäßigkeit der Gliedmaßenstellung ausfällt, nicht unerhebliche gegenläufige Kräfte auch in der Hangbeinphase wirken und so auch in dieser Phase des Bewegungszyklus Schäden an der Gliedmaße entstehen können. Wie sich diese Erkenntnis allerdings auf Hufbeschlagsmaßnahmen auswirken könnte, kann mit Hilfe dieser Arbeit nicht abgeklärt werden.

Die computergestützte Bewegungsanalyse zeigte außerdem, dass am Huf mehr Undulationen und größere Amplituden als im proximalen Bereich auftraten. Die Ursache dafür kann in der Formation der Gelenke vom Ellbogengelenk über das Karpal- bis zum Fesselgelenk liegen. Hiervon sind zwei Gelenke (Ellbogen- und Fesselgelenk) Scharniergelenke und somit primär in dorsopalmarer Richtung beweglich und auch das Karpalgelenk erlaubt als straffes, zusammengesetztes Gelenk mit einem stark ausgeprägtem Bandapparat hauptsächlich Bewegungen in dieser Richtung. Dagegen erlauben Kron- und Hufgelenk als Sattelgelenke neben größeren Rotations- auch deutlichere lateromediale Bewegungen als die proximalen Gelenke (Nickel et al. 1992, Houliez 1995, Chateau 2000). Diese erhöhte Beweglichkeit dient zwar hauptsächlich einem Ausgleich von Unebenheiten des Bodens in der Stützbeinphase (Houliez 1995), dafür muss jedoch auch in der Hangbeinphase eine größere Mobilität in Kauf genommen werden. Diese könnte sich bei deutlicher Abweichung von der regelmäßigen Gliedmaßenführung evtl. bis zu „schleudertraumaähnlicher“ Beeinflussung bzw. Schädigung der Gelenke und Bänder steigern. Außerdem ist der Huf weiter vom Rumpf entfernt als die proximalen Gliedmaßenanteile. Deshalb lässt ein höherer „Freiheitsgrad“ zusätzlich mehr und größere Bewegungen zu. Eventuell hat die Hangbeinphase eine größere Bedeutung für die Entstehung von orthopädischen Erkrankungen als bisher angenommen, wenn sie einer exakteren Untersuchung z. B. auf der Basis dieser Studie zugänglich wird.

Anders als im proximalen Gliedmaßenbereich, in dem meistens gleichförmige Bewegungsabläufe zwischen nahegelegenen Markierungen registriert wurden, lag durch die stärkere Mobilität des Hufes eine Gleichrichtung mit den Bewegungsabläufen im Fesselgelenk nicht vor. Im Fesselgelenk

wurden dennoch die geringsten Variationen der maximalen seitlichen Bewegungsamplituden festgestellt. Das Fesselgelenk passt sich den Seitwärtsbewegungen der darunter gelegenen Gliedmaßenabschnitte nicht an. Dadurch dient es einerseits als „Stabilisator“ der Gliedmaße, könnte andererseits jedoch bei erheblichen Undulationen der distalen Zehenabschnitte auch in der Hangbeinphase Schaden nehmen. In der Stützbeinphase ist eine schädigende Wirkung einer dauerhaft asymmetrischen Fußung auf das Fesselgelenk unstrittig.

Bevor eine Bewegungskurve im Detail analysiert wurde, mussten die „Haupttrichtung“, die Größe der Amplitude und die Zeit innerhalb der Hangbeinphase erfasst werden. Der größte Bewegungsbogen war fast immer die erste Abweichung der Bewegungskurve von der Ideallinie und trat in der Regel im ersten bis zum zweiten Drittel der Hangbeinphase auf. Das bedeutet insbesondere im Hufbereich, dass bei der Führung gegen die stehende Gliedmaße (diese Gliedmaßenführung trat am häufigsten auf) fast immer eine Streichgefahr bestand. Die Aufdeckung dieser Bewegungsanomalie ist klinisch bedeutsam, da sie in ausgeprägter Erscheinungsform mit Traumatisierung der contralateralen Gliedmaße im Bereich zwischen Kronsaum und proximalem Metacarpus verbunden sein kann (Stashak 1989, Kobluk et al. 1990, Denoix 1995). Solche Verletzungen kamen in diesen Probandengut nicht vor zumal die Pferde im Schritt in gerader Linie auf dem Laufband liefen. Dies könnte in einer anderen Gangart, unterm Sattel und bei engen Volten durchaus vorkommen. Eine Weiterentwicklung des hier verwendeten computergestützten Bewegungsanalysesystems könnte helfen, die exakte Gangweite zu ermitteln und somit rechtzeitig Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

In der vorliegenden Arbeit konnte eine andersartige Zuordnung charakteristischer Bewegungslinien zu bestimmten Stellungen der Gliedmaßen- bzw. Zehenachse festgestellt werden als früher beschrieben wurde (Adams 1980). Es war auffällig, dass bodeneng gestellte Pferde die distale Gliedmaße – im Gegensatz zu Erkenntnissen anderer Autoren (Prietz 1985, Ruthe et al. 1997, Riegel und Hakola 1999) – meist gegen die stehende Gliedmaße führten. Allerdings konnte eine Gliedmaßenführung um die stehende Gliedmaße dann beobachtet werden, wenn bei bodenenger Gliedmaßenachse die Zehenachse weit stand. Die Führung gegen die stehende Gliedmaße war bei bodenenger Stellung hauptsächlich mit einer engen Zehenstellung verbunden. Somit scheint die Gliedmaßenführung besonderes von der Zehenstellung abhängig zu sein. Auch unter Berücksichtigung der Zehenachse sehen die meisten Autoren (Stashak 1989, Klotz 1981, Pollitt 1999, Riegel und Hakola 1999) bei bodenenger-zehenenger Stellung im Gegensatz zu den Ergebnissen dieser Arbeit, eine Gliedmaßenführung um die stehende Gliedmaße. Diese Ergebnisse zeigen, dass offensichtlich alte Beurteilungsschemata den Zusammenhang zwischen Gliedmaßenstellung und Gliedmaßenführung stark vereinfachen und zumindest in Bezug auf das vorliegende Patientenmaterial nicht zutreffen. Dabei wurde in der vorliegenden Arbeit nicht weiter auf die verschiedenen Altersklassen eingegangen und somit der Unterschied zwischen adulten und wachsenden Pferden nicht weitergehend untersucht. Die Vielfalt von möglichen Bewegungsmustern bei bestimmten Gliedmaßenstellungen erklärt die bis heute oft kontroversen Ergebnisse und Ansichten der Literatur und sollte zu einer Untersuchung der Bewegungsabläufe mit moderner Analysetechnik veranlassen. Wenn einerseits für bestimmte

Konformationen typische Bewegungslinien in Bezug auf die Richtung der Gliedmaßenführung nur tendenziell vorhanden waren, so war andererseits ein Zusammenhang zwischen der Stellung einzelner Gliedmaßenabschnitte und der Ausprägung von Abweichungen der Gliedmaße in lateraler oder medialer Richtung von der „Ideallinie“ erkennbar. Oberhalb des Fesselgelenkes nach medial gestellte Gliedmaßenachsen (bodenenge, bzw. x-beinige Stellung) und/oder nach lateral abweichende Zehenachsen (zehenweite Stellung) zeigten eine deutlich größere maximale Abweichung von der „Ideallinie“ nach lateral oder medial als andere Konformationen. Somit zeigten Vordergliedmaßen mit deutlicher Brechung der Zehenachse im Karpal- oder Fesselgelenk eine Verstärkung der seitlichen Bewegungen im Vergleich zu den Gliedmaßen mit anderen Stellungen.

Bei gleichzeitiger Betrachtung der Fußungsart und der Gliedmaßenführung wurde festgestellt, dass die seitliche Bewegung des Hufes keinen Einfluss auf seine Art der Bodenberührung hat, dass jedoch die Fußung von der Gliedmaßenführung oberhalb des Hufes geprägt wird. Insgesamt wird also der Zusammenhang zwischen Gliedmaßenstellung und Gliedmaßenführung aufgrund der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit anders und in hohem Maße komplexer gesehen als früher. Zusätzlich besteht zwischen der Gliedmaßenführung und der Fußung ein Zusammenhang der zuvor empirisch beschrieben (Ruthe et al. 1997) und durch die vorliegende Arbeit jetzt z.T. wissenschaftlich belegt ist.

Literatur

- Adams O. R. (1980) Lahmheit bei Pferden. Verlag M&H Schaper, Hannover, 1-34, 427-448
- 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
- Auer J. A., Martens R. J. und Morris E. L. (1982) Angular limb deformities in foals. Part 1 : congenital factors. Compend. Cont. Educ. Pract. Vet. 4, 330-339
- Back W. (1994) Developpement of equine locomotion from foal to adult. Vet. Med. Diss., Universität Utrecht
- Back W., Schamhardt H. C., Savelberg H. H. C. M., Bogert A. J. van den, Bruin G., Hartman W. und Barneveld A. (1995a) How the horse moves : 1. Significance of graphical representations of equine forelimb kinematics. Equine Vet. J., 27, 31-38
- 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 : 2. Significance of graphical representations of equine hind limb kinematics. Equine Vet. J., 27, 39-45
- Back W. und Clayton H. M. (2001) Equine Locomotion. Verlag W.B: Saunders, Philadelphia, London
- Barrey E. und Auvinet B. (1994) Analyse de la locomotion du trotteur par une ceinture accélérométrique. In : CEREOPA, journée de la recherche chevaline, 20e journée d'étude, Paris le 2 Mars 1994, 191-199
- Bauer T. (1938) Handbuch des Hufbeschlages. Verlag von E.S. Mittler & Sohn, Berlin, 29-35
- Bauer T. (1964) Handbuch des Hufbeschlages, 6. Aufl. Verlag E.S. Mittler & Sohn GmbH, Darmstadt, 16-62, 94-117
- Buchner H. H. F. (1995) Lameness management in horses, a kinematic study. Vet. Med. Diss. Universität Utrecht
- Butler D. (1985): The principles of horseshoeing. 2. Auflage, Doug Butler Publisher, New York
- Caudron I., Miesen M., Grulke S., Vanschepdaele P., Leroy P. und Serteyn D. (1997) Radiological assesment of the effects of a full rolling motion shoe during asymmetrical bearing. Equine Vet. J. Suppl. 23, 20-22

- Chateau H. (2000) Etude cinématique des articulations digitales du cheval : quantification des mouvements articulaires de rotation et de collatémotion. Thèse de Doctorat Vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Maison Alfort
- Chateau H., Degueurce C. und Denoix J. M. (2004) Evaluation of three-dimensional kinematics of the distal portion of the forelimb in horses walking in a straight line. *Am. J. Vet. Res.* 65, 447-455
- Clayton H. M. (1991) Gait Evaluation: making the most of your home video System. *Proc. Am. Ass. Equine Pract.* 36, 447-455
- Clayton H. M., Lanovaz J. L., Schamhardt H. C., Willemen M. A. und Colborne G. R. (1998): Net joint moments and joint powers in the equine fore limb during the stance phase of the trot. *Equine Vet. J.* 30, 384-389
- Corbin I. (2004) Intérêt de l'analyse cinématique des allures du cheval pour le vétérinaire et le maréchal-ferrant : étude bibliographique. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 130pp
- Denoix J. M. (1995): Médecine sportive et affections locomotrices chez le cheval. *Point Vét.* 27, 619-626
- 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
- Emery L., Miller J. und van Hoosen N. (1977) Horseshoeing theory and hoof care. Lea & Febiger, Philadelphia.
- Goodall (1966) Pferde der Welt. Erich Hoffmann Verlag, Heidenheim.
- Goubaux A. und Barrier G. (1884) De l'extérieur du cheval. Asselin & Cie, Paris
- Habacher F. (1948) Der Huf- und Klauenbeschlag, 8. Aufl. Urban & Schwarzenberg, Wien
- Herring L., Thompson K. N. und Jarret S. (1992) Defining normal three-dimensional kinematics of the lower forelimb in horses. *Eq. vet. Sc.* 12, 172-176
- Hertsch B., Höppner S. und Dallmer H. (1997) Der Huf und sein nagelloser Hufschutz. 2. Auflage, FN Verlag, Warendorf
- Hickmann J. (1983) Der richtige Hufbeschlag. BLV- Verlagsgesellschaft, München – Wien – Zürich
- Holmström M. (1994) Quantitative studies on conformation and trotting gaits in the Swedish Warmblood Riding Horse. *Vet. Med. Diss.* Universität Uppsala
- Hoppe B. (2002) Die Überprüfung des KODAK motion corder analyzer SR 500 zur Anwendung als Bewegungsanalysesystem beim Pferd. *Vet. Med. Diss.* Hannover
- Houlliez D. P. (1995) Anatomie et biomécanique du pied du cheval. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Maison Alfort
- Klotz S. (1991) Gliedmaßenfehlstellungen beim Pferd – Nomenklatur, klinische Bedeutung und Behandlungsmöglichkeiten. *Vet. Med. Diss.*, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Berlin.
- Kobluk C. N., Robinson R. A., Gordon B. J., Clanton C. J., Trent A. M. und Ames R. A. (1990) The Effect of Conformation and Shoeing : A Cohort Study of 95 Thoroughbred Racehorses. *Proc. Am. Ass. Equine Pract.* 35, 259-274
- 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
- Martens I., Carstensen V. und Stadler P. (2007) Computergestützte Kinematographische Darstellung der Gliedmaßenführung der Vordergliedmaßen beim Pferd. *Pferdeheilkunde* 23, 220-227
- Moyer W. (1980) Corrective shoeing. *Vet. Clin. North Am. Large Anim. Pract.* 2, 3-24
- Müller H. (1986) Lehrbuch der speziellen Chirurgie, 16. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Nickel R., Schummer A. und Seiferle E. (1992) Statik und Dynamik des Bewegungsapparates. In : Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I, 6. Auflage. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 555-585
- Peham C., Müller M., Girtler D. und Scheidl M. (2000) Einfluß der Hufkorrektur auf die Fußungskräfte des Pferdes im Schritt – Untersuchung auf der Mehrkomponenten-Kraftmeßplatte. *Wien. tierärztl. Mschr.* 87, 77-83
- Pollitt C. (1999) Farbatlas Huf. Schlüterscher Verlag, Hannover.
- Prietz G. (1985) Huf- und Klauenkunde mit Hufbeschlagslehre. S. Karger, Basel
- Reinhard F. (1987) Hufkorrektur beim Fohlen. *Tierärztl. Prax.* 15, 43-45
- Riegel R. J. und Hakola S. E. (1999) Bild-Text-Atlas zur Anatomie und Klinik des Pferdes. Bewegungsapparat und Lahmheit. Schlüterscher Verlag, Hannover
- Rooney J. R. (1979) Biomechanics of lameness in horses. The Williams & Wilkins Company, Baltimore
- Ruthe H., Müller H. und Reinhard F. (1997) Der Huf, 5. überarbeitete 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
- Stashak T. S. (1989) Adams' Lahmheit bei Pferden, 4. Auflage. M&H Shaper Verlag, Hannover
- Weeren P. R. van, Bogert A. J. van den, Back W., Bruin G. und Barneveld A. (1993) Kinematics of the standardbred trotter measured at 6, 7, 8 and 9 m/s on a treadmill, before and after 5 months of prerace training. *Acta Anat* 146, 154-161
- Williams G. und Deacon M. (2000) Hufbalance. Cadmos Verlag, Völkern

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