

Vorstellung eines neuartigen Meßsystems zur dynamographischen Untersuchung der Bewegung des Pferdes

W. Dohne¹, K.-H. Werner², B. Hertsch¹, H. Dallmer³
und H. Wöhrmann²

¹ Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover

² Fachhochschule Osnabrück, Fachbereich Maschinenbau

³ Fa. Dallmer GmbH, Arnsberg

Einleitung

Der wohl aufgabenreichste und sicher auch ursprünglichste Teilbereich der Pferdepraxis – die Diagnose und Therapie von Bewegungsanomalien des Pferdes – wird heute wie noch vor über 2400 Jahren zur Zeit der ersten schriftlichen Bearbeitung dieses Themas durch Aristoteles (384 bis 322 v. Chr.) (Leach und Daag, 1983 b) fast ausschließlich durch subjektive Eindrücke des untersuchenden Tierarztes bestritten.

Die Kinetik als wichtiger Teilaspekt der equinen Biomechanik wird seit gut hundert Jahren näher untersucht, ohne daß jedoch für den regelmäßigen praktischen Einsatz taugliche Systeme entwickelt werden konnten.

In den letzten zwei Jahren hat Helmuth Dallmer, Putensen, in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich Maschinenbau der Fachhochschule Osnabrück ein Meßsystem entwickelt, das zur Zeit an der Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover im praktischen Einsatz erprobt wird.

An dieser Stelle soll das Meßsystem vorgestellt, seine diagnostischen Möglichkeiten sollen beleuchtet und denkbare Einsatzfelder kritisch betrachtet werden.

Schrifttum

Die ersten kinetischen Untersuchungen am Pferd wurden 1874 von Marey (Leach und Daag, 1983 b; Knezevic, 1985) durchgeführt. Hierbei wurden mit Roßhaar gefüllte Gummibälle unter allen vier Hufen angebracht und deren Verformung wurde im Augenblick der Fußung über ein pneumatisches System registriert.

Im Zeitalter der elektrischen Datenübertragung dominierten dann insbesondere drei verschiedene Methoden, die qualitativ zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führten und zum Teil mit ganz erheblichem organisatorischem Aufwand verbunden waren.

Kraftmeßplatten, die vorwiegend in der industriellen Materialprüfung eingesetzt werden, sind in der Lage, die unterschiedlichen resultierenden Kräfte während der Fußung zu

Zusammenfassung

Als noch im Versuchsstadium befindliches Diagnostikum der equinen Biodynamik wird das System des Dallmer-Diagnose-Hufschuhs vorgestellt. Das System besteht aus zwei Kraftmeßschuhen, die mit jeweils drei Kraftmeßzellen (Dehnungsmeißstreifenprinzip) ausgestattet sind. Meßwerte der vertikalen Kräfte unter dem Huf des Pferdes werden über Meßverstärker und einen AD-Wandler in einem Kleincomputer gespeichert und mittels eines umfangreichen Diagnoseprogramms verarbeitet. Das System ist in der Lage, die vertikalen Kräfte, die absolute und relative Fußungszeit sowie die Kraftverteilung unter dem Huf und den Verlauf von Kraftangriffspunkten während jeder einzelnen Fußung zu registrieren. Die zur Zeit laufende Erprobung des Systems wird geschildert, und die Vor- und Nachteile sowie denkbare Einsatzmöglichkeiten werden kritisch beleuchtet.

Introduction of a new measurement system for dynamographic examinations of the motion of horses

The Dallmer diagnostic forceshoe system as a diagnostic tool for equine biodynamics is presented. The system consists of two force-shoes which are equipped with three preloaded transducers (strain gauge principle) each. Measurements of the vertical forces under the hoof of the horse pass preamplifiers and a AD-converter and are finally stored on discette in a personal computer. By using the extensive diagnostic software, the system is able to register the minimal, maximal and average vertical force, the absolute and relative stance duration, and the distribution of force under the hoof as well as the course of the force working-points of each step of the horse during a measurement period. Currently running tests of the system are described and the advantages and disadvantages as well as the various possibilities of clinical use are discussed.

registrieren (Prentice und Wright, 1971; Pratt und O'Connor, 1976). Als Sensoren werden Dehnungsmeißstreifen oder piezoelektrische Elemente verwendet. Die Kraftmeßplatten sind nur stationär einsetzbar und registrieren im Idealfall nur eine einfache Fußung zweier ipsilateraler Gliedmaßen. Für eine zentrale Platzierung des Hufes auf der Platte sind im Schritt zwei bis drei und im Trab bis zu zwanzig Versuche notwendig (Quddus et al., 1978; Merkens et al., 1985). Ein weiterer Nachteil liegt in dem häufigen Scheuen der Pferde im Augenblick des Kontaktes mit der Platte auf Grund des ungewohnten Klanges (Merkens et al., 1985; Ratzlaff, 1988). Dennoch sind bisher mit Kraftmeßplatten die umfangreichsten Messungen durchgeführt (Koch, 1973; Gingerich et al., 1979; Kogler, 1982; Hartman et al., 1985; Leach, 1987 b; Merkens, 1987) und zum Teil bereits Standardwerte (Merkens et al., 1985 sowie 1988) aufgestellt worden.

Kraftmeßschuhe wurden zuerst von Björck (1958) entwickelt und beschrieben. Auch hier finden vorwiegend Dehnungsmeißstreifen und piezoelektrische Elemente Verwendung (Björck, 1958; Frederick und Henderson, 1970; Hugelschofer, 1982; Ratzlaff, 1988). Kraftmeßschuhe sind in der Lage, insbesondere die vertikale Kraftkomponente der Fußung von zum Teil beliebig vielen aufeinanderfolgenden Schritten zu registrieren. Die Datenübertragung erfolgt über Kabel (Björck, 1958; Frederick und Henderson, 1970) oder telemetrisch (Hugelschofer, 1982). Für die Speicherung werden Magnetbänder oder Kleincomputer verwendet.



Abb. 1: Kraftmeßschuh (Dallmer-Diagnose-Hufschuh).

Für gewöhnlich ist die Anbringung der Kraftmeßschuhe mit einem speziellen Beschlagen der Pferde mit Teilelementen (Björck, 1958; Frederick und Henderson, 1970) oder den kompletten Kraftmeßschuhen (Ratzlaff et al., 1985) notwendig. Auch das oft sehr hohe Gewicht der Schuhe (bis zu 2,3 kg) beeinflusst die Physiologie der Bewegung erheblich (Clayton, 1986; Leach, 1987 b) und machte bis jetzt diese Methode für eine umfangreichere diagnostische Nutzung untauglich. Die eingehendsten Untersuchungen auf diesem Gebiet wurden von Ratzlaff et al. (1990) an der Washington State University durchgeführt.

Das Kaegi-Equine-Gait-Analysis-System besteht aus einer Meßstraße, in der in einem ca. 4 m langen Areal 160 Sensoren aus hochkomplexen hydrostatischen Elastomermembranen eingelassen sind. Im Falle einer mechanischen Belastung geben sie die resultierenden Druckerhöhungen in den einzelnen Elementen über mit Flüssigkeit gefüllte Rohre an am Rand befindliche piezoelektrische Elemente ab (Auer und Butler, 1985; Nowak, 1985; Leach, 1987). Die mittels Kabel übertragenen Daten werden von einem umfangreichen Computerprogramm verarbeitet. Das Kaegi-Equine-Gait-Analysis-System erlaubt die Messung von aufeinanderfolgenden Schritten in unterschiedlichen



Abb. 2: Vollständiges Meßdatenerfassungssystem –
a: Kraftmeßschuhe (Dallmer-Diagnose-Hufschuhe),
b: Meßdatenerfassungsbox,
c: transportabler netzunabhängiger Kleincomputer.



Abb. 3: Komplettes Meßdatenerfassungssystem am Pferd.

Gangarten, zeigt aber Fehlmessungen bei gleichzeitiger Fußung zweier Gliedmaßen auf demselben Meßelement (Auer und Butler, 1985). Es ist nicht in der Lage, eine genaue Bestimmung des Angriffspunktes der Gesamtkraft unter dem Huf durchzuführen, und zeigt eine nicht unerhebliche Beeinflussung der zu messenden vertikalen Kraftkomponenten durch horizontale Kräfte (Leach, 1987 a). Einige Autoren empfanden zudem die zugehörige Software als zu umständlich und zum Teil nicht sehr praxisnah (Leach, 1987 a).

Eine weitere Möglichkeit der Messung statischer und dynamischer Belastungszustände unter der jeweils fußenden Gliedmaße besteht in Kraftmeßplatten und Kraftmeßschuhen, die eine nach dem kapazitiven Meßprinzip aufgebaute Fühlermatrix besitzen. Messungen mit diesen Systemen sind in der Humanmedizin weit verbreitet und wurden bisher im veterinärmedizinischen Bereich vorwiegend zur Druckverteilungsmessung unter Rinderklauen eingesetzt (Diebschlag et al., 1986; Mair et al., 1988).

Das Meßdatenerfassungssystem

Die Kraftmeßschuhe (Dallmer-Diagnose-Hufschuhe)

Die Kraftmeßschuhe bestehen jeweils aus einem Dallmer-Clog¹ (Größe 3), der dem Huf nur für die Dauer der Messung übergezogen und zusätzlich mit einem Sicherungsriemen befestigt werden kann (Abb. 1 und Abb. 2). Unter dem Hufschuh finden sich drei Meßzellen (Druckaufnehmer nach dem Dehnungsmeißstreifen-Prinzip, Typ 8402²), eine davon unter der Zehe sowie jeweils eine im Bereich der medialen bzw. lateralen Tracht (Abb. 1 und Abb. 6).

Die Druckkraftaufnehmer sind zwischen zwei Stahlplatten befestigt und unterliegen einer Vorspannung von 450 N pro Aufnehmer. Die drei Meßelemente bilden in der Aufsicht ein gleichseitiges Dreieck. Die Platten sind durch ein Federelement aus Aluminium verbunden. Die Federkonstante dieses Elementes liegt unter 2,2 kN/mm in vertikaler Kraftrichtung und über 12,2 kN/mm in horizontaler

¹ Fa. Dallmer.

² Fa. Burster.

Kraftrichtung. Die beiden unter den Trachten gelagerten Druckkraftaufnehmer messen Kräfte von bis zu 3 kN, die Meßzelle unter der Zehe ist mit bis zu 5 kN zu belasten. Die Aufnehmer können bis zu 50 Prozent überlastet werden. Die Kraftmeßschuhe sind über seitlich aus den Schuhen austretende Kabel mit der übrigen Meßapparatur verbunden. Der systematische Meßfehler liegt, vorrangig bedingt durch den Kraftnebenschluß über das Federelement, bei ca. -10 %, wobei der zufällige Fehler im Hauptmeßbereich von 1,5 bis 7 kN Gesamtkraft um $\pm 2\%$ schwankt.

Die Meßdatenerfassungsbox

Die in der rechten Sattellage an einem Brustgurt befestigte Meßdatenerfassungsbox (Abb. 3) enthält als wichtigste Bestandteile:

- sechs Meßverstärker
- einen Analog-Digital-Wandler
- zwei voneinander unabhängige Spannungsquellen
- ein robustes Aluminiumgehäuse

Als Meßverstärker werden 5B38-05-Signalaufbereitungs-Module³ verwendet. Jeweils zwei Module werden auf einer 5B04-Platine betrieben. Die von den Druckkraftaufnehmern eingehenden Spannungen im mV-Bereich werden hier in ± 5 -V-Signale verstärkt. Die Module besitzen eine Empfindlichkeit von 2 m V/V und sind bis zu 240 V eff eingangsgeschützt. Zur Eigenversorgung benötigen die Module eine Spannung von +5 V bei einem Leistungsbedarf von 150 mW.

Zur Wandlung der analogen, von den Meßverstärkern kommenden Signale in digitale Meßwerte wird ein Analog-Input-Board, Typ PCI-20089W-1⁴ verwendet. Es besitzt 16 (single-ended) / 3 (differential) analoge Eingänge, über die die zulaufenden Spannungen zunächst einen Multiplexer sowie einen programmierbaren Verstärker passieren, ehe sie über eine Sample-and-Hold-Einheit zu dem eigentlichen 12-bit-AD-Wandler gelangen. Die Abtastrate beträgt 4096 Messungen pro Sekunde. Der komplette Wandler ist über die verwendeten Treiberprogramme softwaregesteuert.

Die Spannungsversorgung wird von zwei voneinander unabhängigen Spannungsquellen gewährleistet. Diese sind erforderlich, da für den Betrieb des Meßsystems sowohl positive als auch negative Spannungen benötigt werden. Spannungsquelle 1 liefert aus zwölf Akkumulatoren à 1,5 Ah eine positive Spannung von 14,4 V, die an zwei Festspannungsreglern auf 12 bzw. endlich auf 5 V heruntergeregelt wird. Es entsteht hierbei eine Verlustleistung von 18,8 W, die in Form von Wärme an das Gehäuse abgegeben wird. Spannungsquelle 2 besitzt zwölf 0,5-Ah-Akkumulatoren, die eine negative Spannung von -14,4 V liefern, die ebenfalls durch einen Festspannungsregler auf -12 V konstant gehalten wird. Die Spannungsquellen werden mit einem externen Ladegerät mit einem Ladestrom von 150 mA auf-

geladen und gewährleisten eine maximale Betriebsdauer von 45 Minuten.

Die beschriebene Meßdatenerfassungs-Hardware ist zum Schutz gegen Beschädigungen und Verschmutzungen von einem robusten Aluminiumgehäuse umgeben.

Datenerfassung und Dokumentation

Die nunmehr gequantelten Eingangssignale gelangen über ein kurzes Verbindungskabel in einen in der linken Sattellage gelagerten Rechner, in dem eine Verarbeitung und Speicherung der Meßsignale erfolgt. Hierfür findet ein transportabler und netzunabhängiger Kleincomputer⁵ (Abb. 2), der mit einer 20-MB-Festplatte und einem monochromen Bildschirm ausgestattet ist, Verwendung, wobei allerdings zur Schonung der Festplatte die Meßdatenerfassung vorzugsweise über das Diskettenlaufwerk erfolgen sollte. Das Laptop besitzt eine maximale externe Einsatzbereitschaft von ca. 1 1/2 Stunden. Der Meßfehler des übrigen Systems liegt unter 1 %.

Das Diagnoseprogramm DiagH V 3,0

Die in Turbo Pascal geschriebene Software ist vollständig menügesteuert und ermöglicht so eine bedienerfreundliche Meßwertaufnahme und anschließende Aufbereitung der Meßergebnisse.

Auf dem Pfad der Meßwertaufnahme werden zunächst die Art der Messung (Einzel- oder Doppelmessung von Gliedmaßenwerten), der Name des Pferdes, die Gangart (Stand, Trab, Galopp), die Meßdauer (2, 5, 10 oder 20 Sekunden), die zu untersuchenden Gliedmaßen sowie der jeweilige Dateiname eingegeben (Abb. 4). Anschließend erfolgt vor jeder Messung ein Nullabgleich der Meßzellen durch Aufheben der zu untersuchenden Gliedmaßen.

Nach einer durchgeführten Messung bietet das Programm auf einem zweiten Pfad folgende Möglichkeiten der Meßdatenauswertung:

Zeitlicher Kraftverlauf (Abb. 5)

Hier werden die maximale, die minimale und die durchschnittliche Spitzenhufkraft, d. h. die höchsten unter dem Huf aufgetretenen vertikalen Gesamtkräfte, aufgeführt. Weiter werden die relative (Anteil der Stützbeinphase an der Schrittdauer der betreffenden Gliedmaße) sowie die absolute Fußungszeit (in Sekunden) angegeben. Außerdem ist die Anzahl der in die Messung eingehenden Fußungen vermerkt. Über eine weitere Funktionstaste läßt sich auch der genaue Verlauf der Hufkräfte in Form von vier Kraft-Zeit-Diagrammen (Abb. 4), d. h. die Darstellung der Kräfte unter jedem einzelnen Aufnehmer und der Verlauf der Gesamtkraft, grafisch darstellen.

Kraftangriffspunktverlauf

Wie bereits eingangs erwähnt, bilden die drei im Hufschuh gelagerten Meßzellen ein gleichseitiges Dreieck, in dessen

³ Fa. Analog Devices.

⁴ Fa. Burr-Brown.

⁵ Fa. Toshiba, Modell 1600 T.

Mitte auch der Mittelpunkt des Aluminium-Federelementes liegt. Dieser Punkt bildet den Nullpunkt eines Koordinatensystems, dessen Ordinate in kaudokranieler Richtung, parallel zur Körperachse und dessen Abszisse in mediolateraler bzw. lateromedialer Richtung in einem Winkel von 90 Grad zur Körperachse verläuft. Abweichungen aller Kraftangriffspunkte von diesem Mittelpunkt werden während jeder Messung registriert und gemittelt und beschreiben in Form von Koordinaten den Ort des Kraftangriffspunktes unter dem Huf. Entsprechend bedeuten positive Y-Koordinaten eine vermehrte Belastung des Zehenbereiches, negative Y-Koordinaten eine verstärkte Kraftverteilung im Bereich der Trachten. Die jeweiligen X-Koordinaten beschreiben vermehrte mediale bzw. laterale Fußungen.

Optional ist auch hier eine übersichtliche Darstellung in Form von drei verschiedenen Grafiken möglich:

- Die erste Grafik zeigt den zeitlichen Verlauf des Kraftangriffspunktes, wobei der genaue Verlauf der Kraftangriffspunkte während jedes Augenblickes der Messung separat in kaudokranieler wie auch in mediolateraler bzw. lateromedialer Richtung demonstriert wird (Abb. 4).
- Eine zweite Grafik zeigt den genauen Verlauf des Kraftangriffes unter dem Huf für den Zeitraum jeder einzelnen Fußung. Der zeitliche und räumliche Kraftangriff kann so sehr deutlich rekonstruiert werden.
- Eine dritte Grafik (Abb. 6) lagert alle Kraftangriffspunkte einer Messung übereinander und stellt schließlich den bereits numerisch ermittelten Ort des mittleren Kraftangriffspunktes grafisch dar.

Vergleich zweier Hufe (Abb. 6)

Hier besteht die Möglichkeit, die kompletten numerischen Meßwerte einer Gliedmaße denen einer anderen Messung (z. B. einer früheren) einer anderen Gliedmaße (vorzugsweise denen der kontralateralen Extremität) oder denen eines anderen Pferdes gegenüberzustellen.

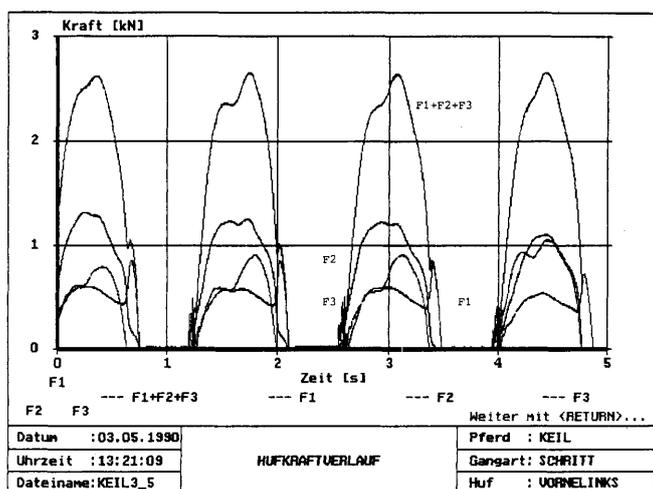


Abb. 4: Typische Kraft-Zeit-Grafik eines Pferdes im Schritt. Aus: DiagH V 3,0 (Placke und Trütken, 1990).

Der dritte Pfad des Diagnoseprogramms enthält eine große Beschreibung des Meßprogramms und weist auf mögliche Fehlerquellen hin.

Das komplette Meßprogramm kann auf einer herkömmlichen 3,5"-Diskette gespeichert werden und besetzt dabei 173 kB, was bei einer Formatierung der Diskette auf 1,44 MB noch 26 Messungen à 48 kB ermöglicht.

Zur besseren diagnostischen Auswertung der Messungen ist das gesamte Programm auf praktisch alle herkömmlichen Farbmonitoren übertragbar, außerdem ist über zusätzliche individuelle Druckertreiber-Programme ein ein- oder auch mehrfarbiger Ausdruck der Meßergebnisse durch grafikfähige Drucker bzw. Plotter möglich.

Methodik der Meßdatenerfassung

Seit Anfang März dieses Jahres wird an der Klinik für Pferde der Tierärztlichen Hochschule Hannover das oben beschriebene Meßsystem im klinischen Gebrauch erprobt. Die zum Teil dem Besitz der Tierärztlichen Hochschule, zum Teil dem laufenden Patientengut der Klinik für Pferde entstammenden untersuchten Pferde werden in zwei Gruppen geteilt.

Gruppe 1 wird durch Pferde, die im Schritt und Trab keine pathologischen Bewegungsabläufe zeigen, gebildet. An diesen Pferden werden auf verschiedenen vorher ausgemessenen Untersuchungsstrecken mit jeweils unterschiedlichem Untergrund (Asphalt, Rasen, tiefer Sand) Stand-, Schritt- und Trabmessungen durchgeführt. Die Pferde werden hierzu nach Anlegen der Meßapparatur (Abb. 3) zunächst zur besseren Adaptation an das ungewohnte Gerät mehrere hundert Meter im Schritt geführt. Anschließend werden nach vier Standmessungen, wobei das zu untersuchende Pferd nach jeder Messung umgestellt wird, jeweils vier Schritt- und Trabmessungen in einer möglichst konstanten Geschwindigkeit auf den verschiedenen Böden durchgeführt. Die Tiere werden dabei von dem Untersuchenden am lockeren Zügel von der linken Seite geführt. Jede durchlaufende Gerade wird in einer zweiten Messung in umgekehrter Richtung nochmals durchlaufen, um Beeinflussungen der Meßergebnisse durch geringgradige Boden- neigungen aufzuheben bzw. beurteilen zu können. Von jedem Pferd werden auf einem gesonderten Untersuchungsbogen neben der Identität das Gewicht, die Gliedmaßen- und Zehenstellungen, die Zehenwinkel sowie auffällige Besonderheiten in der Bewegung (z. B. Streichen, zehenenge oder zehenweite Fußung) vermerkt. Ziel dieser Untersuchungen ist es, Standardwerte für das „nicht lahme Pferd“ zu erhalten; insbesondere in Hinblick auf folgende Parameter bzw. Störfaktoren:

- Absolute Größe vertikaler Kräfte unter dem Huf
- Absolute und relative Fußungszeit
- Größe physiologischer Asymmetrien von vertikalen Kräften und Fußungszeiten zwischen kontralateralen Gliedmaßen
- Einfluß des Körpergewichtes auf die vertikalen Kräfte unter dem Huf
- Einfluß von Gliedmaßenstellung und Fußung auf die Kraftverteilung unter dem Huf

- Einfluß unterschiedlicher Böden auf die verschiedenen Meßgrößen

Gruppe 2 enthält Pferde mit unterschiedlichen Lahmheiten. An diesen Pferden werden auf einer vorher definierten Asphaltmeßstrecke jeweils vier Stand-, Schritt- und Trabmessungen durchgeführt, wobei die Tiere wie oben beschrieben geführt werden. Alle Pferde werden eingehend klinisch untersucht und Ursache und Grad der Lahmheit festgestellt. Neben dem oben angeführten Untersuchungsbogen wird hierfür ein Zusatzbogen ausgefüllt, auf dem Sitz, Art und Grad der Lahmheit sowie die notwendigen diagnostischen Schritte festgehalten werden. Ziel dieser Untersuchungen ist die Erprobung der diagnostischen Fähigkeiten des Meßsystems sowie eine möglichst weitgehende Quantifizierung des Begriffs „Lahmheit“. Hierbei interessieren im Vergleich mit den obigen „Standardwerten“ besonders die folgenden Punkte:

- Veränderung von vertikalen Kräften und Fußungszeit in Abhängigkeit von Lahmheiten
- Größe pathologischer Asymmetrien von vertikalen Kräften und Fußungszeiten zwischen kontralateralen Gliedmaßen
- Auswirkung von Lahmheiten auf die Kraftverteilung unter den Hufen
- Unterscheidungsmöglichkeiten von geringgradigen unilateralen und bilateralen Lahmheiten im Vergleich zur physiologischen Bewegung

Die Ergebnisse der Untersuchungen an diesen beiden Gruppen werden voraussichtlich im Frühjahr 1991 im Rahmen einer Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover publiziert.

Diskussion

Die physiologische wie auch die pathologische Biomechanik kann mittels unterschiedlicher Meßsysteme quantifiziert werden (Clayton, 1986; Leach, 1987 a; Ratzlaff, 1989). Für den mit Lahmheitsuntersuchungen an Pferden betrauten Tierarzt sind insbesondere biodynamische (Biodynamik = Lehre von der Körperbewegung) Studien von größtem Interesse. Die Biodynamik teilt sich in die beiden großen Bereiche der Biokinetik, die sich mit der Analyse von Körperbewegungen beschäftigt, ohne dabei die auslösenden bzw. resultierenden Kräfte zu beachten, und der Biokinetik, die das Studium von auf den Körper einwirkenden bzw. von ihm ausgehenden Kräften in den Mittelpunkt des Interesses rückt (Leach, 1987 b). Das „lahme“ Pferd verändert gegenüber dem gesunden bereits durch geringgradige Bewegungsanomalien die gesamte Biokinetik der Bewegung (Gingerich et al., 1979; Hugelshofer, 1982; Merckens et al., 1988). Diese sich vorrangig in der vertikalen Kraftkomponente manifestierenden Veränderungen sind in direktem Verhältnis zu dem jeweiligen Sitz und Grad der Lahmheit meßbar (Merckens, 1987). Zur Quantifizierung dieses physikalischen Phänomens werden bisher das Kaegi-Equine-Gait-Analysis-System (Auer und Butler, 1985), Kraftmeßplatten (Koch, 1973; Pratt, 1976; Quddus et al., 1978; Gingerich et al., 1979; Hartman et al., 1985; Merckens,

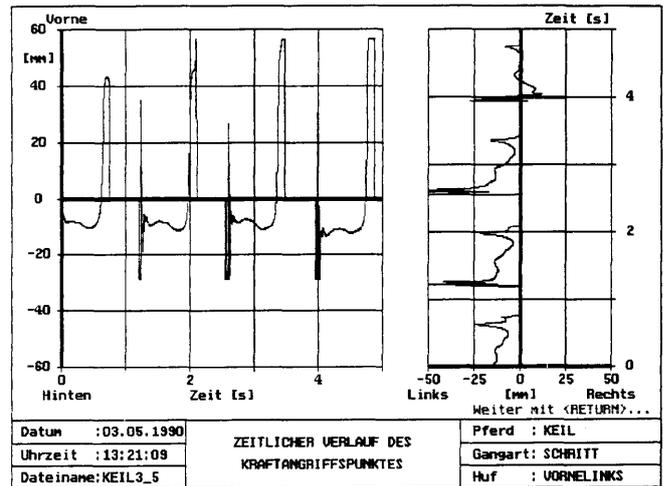


Abb. 5: Separate Darstellung der Kraftangriffspunkte in kaudokranieller (links) und lateromedialer (rechts; von links nach rechts) Richtung für die Dauer einer kompletten Messung. Aus: DiagH V 3,0 (Placke und Trütken, 1990).

1987) sowie unterschiedliche Formen von Kraftmeßschuhen verwendet (Björck, 1958; Frederick und Henderson, 1970; Hugelshofer, 1982; Diebschlag et al., 1986; Ratzlaff et al., 1990).

Die Verwendung von Kraftmeßschuhen ermöglicht die Messung von vertikalen Kräften und zum Teil horizontalen Kräften (Björck, 1958) sowie die Angabe von Fußungszeiten von mehreren aufeinanderfolgenden Hufabdrücken unterschiedlicher Extremitäten und somit insbesondere den direkten Vergleich von zwei kontralateralen Gliedmaßen. Auch ist bei der Nutzung von Kraftmeßschuhen praktisch jede Fußung diagnostisch verwendbar im Gegensatz zu Kraftmeßplatten-Messungen, bei denen im Schritt nur jeder dritte und im Trab fast nur jeder zwanzigste Versuch ein verwendbares Ergebnis erbringt (Quddus et al., 1978; Merckens et al., 1985).

Die Nachteile von Kraftmeßschuhen liegen in der deutlichen Beeinflussung der physiologischen Fußung durch die

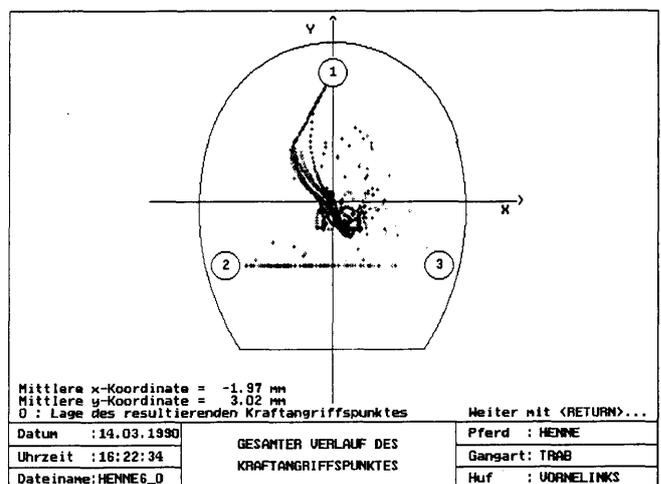


Abb. 6: Überlagerung aller während der Messung registrierten Kraftangriffslinien und sowohl grafische als auch numerische Darstellung des mittleren Kraftangriffspunktes. Aus: DiagH V 3,0 (Placke und Trütken, 1990).

zum Teil sehr hohen Gewichte von bis zu 2,3 kg pro Kraftmeßschuh (Hugelshofer, 1982) und der Notwendigkeit eines alleinigen Beschlages nur zum Zweck der Messung (Björck, 1958; Ratzlaff, 1989).

Das hier vorgestellte Meßsystem besitzt die Möglichkeit der Anwendung ohne größere vorausgehende Manipulationen an den zu untersuchenden Gliedmaßen und ist bei einer Vielzahl von verschiedenen Hufformen und -größen universell anwendbar. Das gesamte Meßsystem ist netz-unabhängig, so daß sich das zu untersuchende Pferd weitestgehend frei bewegen kann. Das verwendete Diagnoseprogramm erlaubt neben der üblichen Angabe von absoluten vertikalen Kräften und Fußungszeitwerten eine direkte Gegenüberstellung von den Werten der kontralateralen Gliedmaße bzw. einer vorausgegangenen Messung. Erstmals erfolgen außerdem eine genaue numerische als auch grafische Darstellung der Kraftverteilung unter jedem zu untersuchenden Huf. Der exakte Verlauf von Kraftangriffspunkten während jeder einzelnen Fußung kann dargestellt und dokumentiert werden (Tab. 1 bis 3).

Nachteile des Systems liegen in dem mit 1,4 kg immer noch zu großen Gewicht der Kraftmeßschuhe, der deutlichen Zehenrichtung, die der Kraftmeßschuh dem Huf verleiht, sowie in fehlenden Möglichkeiten zur Normalisierung der Meßwerte. So erscheint es zweckmäßig, Kraft-Zeit-Grafiken nicht mit absoluten Sekundenangaben auf die Abszisse, sondern unabhängig von der eigentlichen Fußungszeit als gleich große 100%-Zeitabschnitte darzustellen (Merkens, 1987). Auch müßten sämtliche gemessene Kräfte stets als Verhältnis der vertikalen Kraft zum Körpergewicht in N/kg angegeben werden, um die Meßwerte unterschiedlicher Pferde besser miteinander vergleichen zu können. Zur Zeit wird an der Fachhochschule Osnabrück und an der Tierärztlichen Hochschule Hannover an einer erheblichen Gewichtsreduzierung der Kraftmeßschuhe auf ca. 700 bis 800 g, an der Verwendung und verbesserten Anordnung anderer Meßelemente sowie einer weiteren Verbesserung des Diagnoseprogramms gearbeitet. Bei einer erheblichen Optimierung würde das System folgende Einsatzmöglichkeiten für den klinischen Gebrauch bieten:

- Quantifizierung von deutlich erkennbaren Lahmheiten
- Diagnostische Unterstützung beim Erkennen undeutlicher Lahmheiten
- Objektive Kontrolle von Therapieverläufen
- Einschätzung und Definition von fehlerhaften Bewegungsabläufen und damit verbunden gezielte Empfehlung orthopädischer Beschläge
- Kontrolle von konventionellen sowie orthopädischen Beschlügen bzw. Hufbeklebungen

Das Ziel jeder tierärztlichen Untersuchung ist die Erlangung von objektivierbaren Ergebnissen zum Zweck der exakten Diagnosestellung. Das vorgestellte Meßsystem zeigt eine Möglichkeit zur objektiven Beurteilung von Lahmheiten beim Pferd auf und entspricht der zunehmenden Forderung nach Alternativen bzw. Supplementierung zur auch heute noch vielfach rein subjektiven Analytik von biomechanischen Vorgängen am Pferd.

Tab. 1: Darstellung eines kompletten Meßwertaufnahmemenüs von DiagH V 3,0 (Placke und Trütken, 1990).

DiagH V 3,0 (12. 1. 90) ein Programm zur Meßdatenerfassung und -auswertung für den Dallmer-Diagnose-Hufschuh FH Osnabrück, Labor für Mechanik, A. Placke, H. H. Trütken	
Aufnahmemenü	
Messungsart:	Doppelmessung
Pferdename:	Kathis
Gangart:	Trab (10 s)
Huf 1:	vorne links
Huf 2:	vorne rechts
Name der Ausgabedatei:	K 3
	F 1: Setup ändern
	F 2: Messung starten
	F 4: Hauptmenü
	Ihre Wahl:

Tab. 2: Meßergebnisse bezüglich des Kraftverlaufes. Es werden sowohl unterschiedliche Spitzenhufkräfte, die absolute wie auch die relative Fußungszeit sowie die Anzahl der in die Messung eingegangenen Schritte aufgeführt. Aus DiagH V 3,0 (Placke und Trütken, 1990).

DiagH V 3,0 (12. 1. 90) ein Programm zur Meßdatenerfassung und -auswertung für den Dallmer-Diagnose-Hufschuh FH Osnabrück, Labor für Mechanik, A. Placke, H. H. Trütken		
Ergebnisse der Kraftberechnungen		
Die größte Spitzenhufkraft beträgt:		3,74 kN
Die kleinste Spitzenhufkraft beträgt:		3,55 kN
Die durchschnittliche Spitzenhufkraft beträgt:		3,65 kN
Die relative Fußungszeit beträgt:		59,5 %
Die absolute Fußungszeit beträgt:		0,69 s
Die Anzahl der Schritte beträgt:		3
	F 1: Verlauf der Hufkräfte	
	F 4: Auswertmenü	
	Ihre Wahl:	
Datum: 14. 3. 1990	Auswertung	Pferd: Henne
Uhrzeit: 16:18:31		Gangart: Schritt
Dateiname: Henne 4—0		Huf: vorne links

Tab. 3: Gegenüberstellung der Meßwerte zweier kontralateraler Gliedmaßen nach einer Doppelmessung (Meßwertaufnahme an zwei Gliedmaßen gleichzeitig). Aus: DiagH V 3,0 (Placke und Trütken, 1990).

	Henne 6 0	Henne 6 0
Pferdename	Henne	Henne
Gangart	Trab	Trab
Huf	vorne links	vorne rechts
Größte Spitzenhufkraft/kN	5,47	5,29
Kleinste Spitzenhufkraft/kN	4,90	4,59
Durchschnittl. Spitzenhufkraft/kN	5,26	5,01
Relative Fußungszeit/%	46,0	45,2
Absolute Fußungszeit/s	0,35	0,35
Anzahl der Schritte	6	6
Durchschnittl. x-Abweichung/mm	-1,97	14,48
Durchschnittl. y-Abweichung/mm	3,02	8,41

Literatur

- Auer, J. A., und Butler, K. D. (1985): An introduction to the Kaegi equine gait analysis system in the horse. In: 31st Ann. Conv. Am. Ass. Equine Practitioners, Toronto 1985, Proc., 209–226.
- Benzi, M., und Gottlieb, J. (1989): Entwicklung eines Diagnose-Hufschuhs für Pferde (erste Fortsetzung). Osnabrück, Fachhochschule, Fachber. Maschinenbau (Dipl.-Arbeit).
- Björck, G. (1958): Studies on the draught force of horses. Acta agric. scand., Suppl. 4, Uppsala, Kungl. veterinärhögskola (Diss.).
- Clayton, H. M. (1986): Techniques for gait evaluation and locomotion. In: Int. Conf. Equine Sports Med. Veterinarians, San Diego 1986, 9–14.
- Diebschlag, W., Spielmann, C., und Kräusslich, H. (1986): Development of a measuring installation for determining the pressure distribution underneath the hoofs of cattle. Initial results. In: 14th World Congress on Diseases of Cattle, Dublin 1986, Proc. 2, 1031–1036.
- Frederick, F. H., und Henderson, J. M. (1970): Impact force measurement using preloaded transducers. Am. J. vet. Res. 31, 2279–2283.
- Gingerich, D. A., Auer, J. A., und Fackelman, G. E. (1979): Force plate studies on the effect of exogenous hyaluronic acid on joint function in equine arthritis. J. vet. Pharmacol. Ther. 2, 291–298.
- Hartman, W., Schamhardt, H. C., Riemersma, D. J., Merckens, H. W., und Badoux, D. M. (1985): Bestudering van het krachtenregime in het onderbeen van het paard (Study of the forces in the lower limb of the horse). Vlaams Diergeneesk. Tijdschr. 54, 262–277.
- Hugelschöfer, J. (1982): Vergleichende Kraft- u. Belastungszeit-Messungen an den Vorderhufen von gesunden und an Podotrochlose erkrankten Pferden. Rieker & Amman Offsetdruck AG, Glattbrugg, Zürich, Univ., Veterinärmed. Fak. (Diss.).
- Knezevic, P. F. (1985): Zur Geschichte der Bewegungslehre des Pferdes. Eine historische Betrachtung der Untersuchungstechniken. Wien. tierärztl. Monatsschr. 72, 399–405.
- Koch, A. (1973): Zeit- und Belastungsmessungen an den Vorderhufen des Pferdes mittels der Mehrkomponenten-Kraftmeßplatte „Kistler“. Juris Druck + Verlag, Zürich; Univ., Veterinärmed. Fak. (Diss.).
- Kogler, H. (1982): Untersuchungen zur Bewegungsanalyse des Pferdes im Schritt mit Hilfe von Hochfrequenzkinematographie und Mehrkomponenten-Kraftmeßplatte. Wien, Veterinärmedizinische Universität (Diss.).
- Leach, D. H. (1987 a): Locomotion analysis technology for evaluation of lameness in horses. Equine vet. J. 19, 97–99.
- Leach, D. H. (1987 b): Noninvasive technology for assessment of equine locomotion. Compend. Contin. Educ. Equine Prac. 9, 1124–1134.
- Leach, D. H., und Daag, Anne, J. (1983 a): A review of research on equine locomotion and biomechanics. Equine vet. J. 15, 93–102.
- Leach, D. H., und Daag, Anne, J. (1983 b): Evolution of equine locomotion research. Equine vet. J. 15, 87–92.
- Mair, A., Diebschlag, W., Distl, O., und Kräusslich, H. (1988): Measuring device for the analysis of pressure distribution on the foot soles of cattle. Zentralbl. Veterinärmed. A. 35, 696–704.
- Mair, A., Spielmann, C., Diebschlag, W., Kräusslich, H., Graf, F., und Distl, O. (1988): Druckverteilungsmessungen an der Sohlenfläche von Rinderklauen. Grundlegende Untersuchungen mit einem neuartigen Meßsystem. Dtsch. tierärztl. Wochenschr. 95, 325–328.
- Merckens, H. W. (1987): Quantitative evaluation of equine locomotion using force plate data. Utrecht, Rijksuniversiteit (Diss.).
- Merckens, H. W., Schamhardt, H. C., Hartman, W., und Kersjes, A. W. (1985): Ground reaction force patterns of Dutch Warmblood horses at normal walk. Equine vet. J. 18, 207–214.
- Merckens, H. W., Schamhardt, H. C., Hartman, W., und Kersjes, A. W. (1988): The use of H(or)SEINDEX. A method of analysing the ground reaction force pattern of lame and normal gaited horses at the walk. Equine vet. J. 20, 29–36.
- Nowak, M. (1985): Die Kaegi-Druckmeßstraße – eine neue Dimension in der Pferdeorthopädie. In: 6. Tagung über Pferdekrankheiten, Essen 1985, 31.
- Paschedag, T., und Tilch, F. (1989): Entwicklung eines Diagnose-Hufschuhs für Pferde. Osnabrück, Fachhochschule, Fachber. Maschinenbau (Dipl.-Arbeit).
- Placke, A., und Trütken, H. H. (1990): Weiterentwicklung des Dallmer-Diagnose-Hufschuhs (zweite Fortsetzung). Osnabrück, Fachhochschule, Fachber. Maschinenbau (Dipl.-Arbeit).
- Pratt, G. W., und O'Connor, J. T. (1976): Force plate studies of equine biomechanics. Am. J. vet. Res. 37, 1251–1255.
- Prentice, D. E., und Wright, J. T. M. (1971): A platform for measuring the walking forces exerted by the bovine foot. J. Physiol. 225, Proc. Physiol. Soc., 2P–4P.
- Quddus, M. A., Kingsbury, H. B., und Rooney, J. R. (1978): A force and motion study of the foreleg of a standardbred trotter. J. Equine Med. Surg. 2, 233–242.
- Ratzlaff, M. H. (1988): Current methods for the analysis of locomotion and their potential clinical applications. In: 34th Ann. Conv. Am. Ass. Equine Practitioners, San Diego 1988, 99–127.
- Ratzlaff, M. H. (1989): Quantitativ methods for the analysis of equine locomotion and their applications to other species. Am. Zool. 29, 267–285.
- Ratzlaff, M. H., Frame, J., Müller, L., Kimbrell, J., und Grant, B. (1985): A new method for repetitive measurement of locomotor forces from galloping horses. In: 9th Equine Nutr. and Physiol. Symp., East Lansing 1985, Proc., 260–265.
- Ratzlaff, M. H., Hyde, M. L., Grant, B. D., Balch, O., und Wilson, P. D. (1990): Measurement of vertical forces and temporal components of the strides of horses using instrumented shoes. J. Equine vet. Sci. 10, 23–25.

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten
an der Fachhochschule Osnabrück wurden gefördert
mit Forschungsmitteln des Landes Niedersachsen.

Wolfgang Dohne, Tierarzt
Tierärztliche Hochschule Hannover
Klinik für Pferde
Bischofsholer Damm 15
D-3000 Hannover 1
(priv.) Nachtigalstraße 3
D-3000 Hannover 1

Karl-Heinz Werner, Prof. Dr. rer. nat. Dipl.-Ing.
Fachhochschule Osnabrück
Fachbereich Maschinenbau
Albrechtstraße 30
D-4500 Osnabrück

Bodo Hertsch, Prof. Dr. med. vet.
Tierärztliche Hochschule Hannover
Klinik für Pferde
Bischofsholer Damm 15
D-3000 Hannover 1

Helmuth Dallmer
Fa. Dallmer GmbH, Arnsberg
Alte Landstraße 3
D-2125 Putensen

Heiner Wöhrmann, Technischer Angestellter
Fachhochschule Osnabrück
Fachbereich Maschinenbau
Albrechtstraße 30
D-4500 Osnabrück