

Aus dem Departement für Nutztiere  
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich  
(Direktor: Prof. Dr. Dr. h. c. U. Braun)

---

**Hochfrequenzkinematographische Untersuchungen  
des Fussungsvorganges von Rindern  
auf dem Laufband**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde  
der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich

vorgelegt von  
Sven Werner Meyer  
Tierarzt  
aus Waldshut-Tiengen, Deutschland

genehmigt auf Antrag von  
PD Dr. K. Nuss, Referent  
PD Dr. Ch. Lischer, Korreferent

Zürich, 2006  
Zentralstelle der Studentenschaft

## **Meinen Eltern**

<b>1</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>RESUME</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>12</b>
5.1	<b>Statik und Dynamik des Bewegungsapparates</b>	<b>12</b>
5.2	<b>Bewegung</b>	<b>14</b>
5.2.1	Bewegung ohne Ortsveränderung	14
5.2.2	Bewegung mit Ortsveränderung	14
5.3	<b>Fussung</b>	<b>17</b>
5.4	<b>Gründe für die Bewegungsanalyse</b>	<b>18</b>
5.5	<b>Bewegungsanalyse bei Pferden</b>	<b>18</b>
5.6	<b>Einsatz des Laufbandes zur Diagnostik bei Pferden</b>	<b>20</b>
5.7	<b>Gewöhnen von Pferden an das Laufband</b>	<b>21</b>
5.8	<b>Bewegungs- und Fussungsanalyse bei Rindern</b>	<b>22</b>
5.9	<b>Belastungsmessungen an den Klauen beim Rind</b>	<b>24</b>
5.9.1	Unterschiede von Klauengrösse und -belastung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen	25
5.9.2	Unterschiede zwischen medialen und lateralen Klauen	27
5.9.3	Druckverteilung innerhalb der Klauen	29
5.9.4	Einfluss der Klauenpflege auf die Belastungsverhältnisse	29
5.9.5	Dynamische Druckmessungen	30

<b>6</b>	<b>TIERE UND METHODEN</b>	<b>33</b>
6.1	Tiere	34
6.2	Ablauf der Untersuchungen	36
6.3	Hygiene auf dem Laufband	37
6.4	Digitale Hochfrequenzkamera mit PC und Software	37
6.5	Beleuchtung	37
6.6	Filmaufnahmen	38
6.7	Klauenpflege	41
6.8	Laufband und Kraftmessung	41
6.9	Auswertung der Daten	43
6.10	Tierversuchsbewilligung	43
<b>7</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>44</b>
7.1	Hochfrequenzkinematografie	44
7.1.1	Erstkontaktierende Klaue	44
7.1.2	Kontaktregion der aufsetzenden Klauen	45
7.1.3	Zeitlich Verzögertes Aufsetzen der medialen Klaue	47
7.2	Messungen auf dem Laufband	49
7.2.1	Geschwindigkeit des Laufbandes	51
7.2.2	Schrittfrequenz	51
7.2.3	Stützbeinphase	52
7.2.4	Hangbeinphase	53
7.2.5	Vertikalimpuls	54
7.2.6	Prozentuale Belastung der Vorder- und Hintergliedmassen	56
<b>8</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>69</b>

# 1 ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Dissertation hatte das Ziel, den Fussungsvorgang von gesunden Jungrindern auf dem Laufband durch die Hochfrequenzkinematografie zu dokumentieren und den Einfluss der funktionellen Klauenpflege darauf zu ermitteln. Untersucht wurden 18 weibliche, durchschnittlich 12.50 ( $\pm$  2.61) Monate alte und 281.90 ( $\pm$  65.10) kg schwere Jungrinder der Rasse Brown Swiss. Alle Rinder wurden nach einer festgelegten Trainingsperiode bei einer Gehgeschwindigkeit von durchschnittlich 1.36 ( $\pm$  0.06) m/s auf dem Laufband gefilmt. Dabei wurden digitale Filmaufnahmen mit einer Frequenz von 500 Bildern/s erstellt. An neun Tieren konnten auch Kraftmessungen zur Ermittlung der Gliedmassenbelastung durchgeführt sowie die Messungen der Hang- und Stützbeinphasendauer sowie des Vertikalimpulses vorgenommen werden. Nach der Durchführung der funktionellen Klauenpflege wurden die Filmaufnahmen und die Messungen wiederholt. Die Stützbeinphase dauerte an den Vordergliedmassen 0.70 ( $\pm$  0.03) Sekunden und an den Hintergliedmassen durchschnittlich 0.69 ( $\pm$  0.03) Sekunden. Die Hangbeinphase dauerte an den Vordergliedmassen 0.39 ( $\pm$  0.02 s) und an den Hintergliedmassen 0.40 ( $\pm$  0.02) Sekunden. Der maximale Vertikalimpuls betrug an den Vordergliedmassen 949.40 Ns ( $\pm$  108.40) und an den Hintergliedmassen 769.70 Ns ( $\pm$  109.50). Die Schultergliedmassen wurden mit 55.10 % deutlich stärker belastet als die Beckengliedmassen mit 44.90 %. Vor der funktionellen Klauenpflege berührte an den Beckengliedmassen die Aussenklaue zu 100 % zuerst den Boden, danach zu 97.20 %. An den Schultergliedmassen fusste ebenfalls die Aussenklaue zuerst, und zwar zu 83.00 % vor und zu 91.60 % nach der Klauenpflege. Die mediale Klaue setzte an den Hintergliedmassen um 0.023 ( $\pm$  0.009) – 0.026 ( $\pm$  0.006) Sekunden, an den Vordergliedmassen um 0.013 ( $\pm$  0.008) – 0.015 ( $\pm$  0.011) Sekunden später auf. Tiere, die den Erstkontakt nicht mit der äusseren Klaue herstellten, fussten gleichzeitig auf äusserer und innerer Klaue. Die Region des Erstkontaktes der Aussenklauen lag vor der Klauenpflege zu gleichen Teilen bei der Ballen- und

Tragerandfussung. Nach Klauenpflege dominierte die Ballenfussung. Die medialen Klauen zeigten eine wenige eindeutig vorherrschende Art des Auffussens. An den medialen Klauen der Hintergliedmassen herrschte nach der Klauenpflege die Tragerandfussung vor, an den Vordergliedmassen zeigte sich eine annähernd gleiche Verteilung zwischen Ballen- und Tragerandfussung. Somit konnte festgestellt werden, dass die Jungrinder sowohl an den Schulter- als auch an den Beckengliedmassen regelmässig mit den Aussenklauen zuerst auffussten. Die funktionelle Klauenpflege beeinflusste diesen Vorgang nicht. Bei gesunden Klauen nimmt folglich die laterale Klaue die erste Gewichtsbelastung beim Fussen und am Anfang der Stützbeinphase auf, und zwar mit dem Ballen, während die mediale verspätet und vorwiegend mit dem Tragerand auffusst. Diese vermehrte Belastung des Ballens der Aussenklauen könnte zur Entstehung von Klauenschäden besonders bei Kühen, die auf harten Böden gehalten werden, beitragen.

## 2 SUMMARY

The goal of this study was to evaluate the pattern of the ground contact of the claws of clinically healthy heifers on a treadmill using high-speed cinematography, before and after claw trimming. Eighteen female cattle, which were a mean of 12.50 ( $\pm$  2.61) months old and weighed a mean of 281.90 ( $\pm$  65.10) kg, were used. The animals were Brown Swiss heifers, which had been kept on alpine pastures or in loose housing systems. All the animals had healthy claws and the lateral claws of the hind limbs were slightly larger than the medial claws. In all the heifers, high-speed cinematography was carried out after a training period on the treadmill, on which the heifers walked at a mean speed of 1.36 ( $\pm$  0.06) m/sec. Digital recording at a frequency of 500 photos/sec was carried out before and after functional trimming. In nine heifers, vertical force measurements were also taken to assess weight bearing by the claws, and the duration of the swing and supporting phases of the limbs were determined. This was repeated after functional hoof trimming. The mean duration of the supporting phase was 0.70 ( $\pm$  0.03) seconds in the forelimbs and 0.69 ( $\pm$  0.025) seconds in the hind limbs. The swing phase lasted a mean of 0.39 ( $\pm$  0.018) seconds in the forelimbs and 0.40 ( $\pm$  0.02) seconds in the hind limbs. The mean vertical force the left and right forelimbs was 949.40 Ns ( $\pm$  108.40) and 769.70 Ns ( $\pm$ 109.50) for the left and right hind limbs. Based on these measurements the forelimbs bore 55.10% of the total vertical force. There were no significant differences in the supporting and swing phases and vertical force in claws before and after functional hoof trimming. Before functional hoof trimming, the lateral claws of the hind limb contacted the ground first in 100% of the feet compared with 97.20% after claw trimming. In the forelimb, the lateral claw contacted the ground first in 83.00% of the feet before functional hoof trimming and in 91.60% of the feet after hoof trimming. The medial claw in the front limb contacted the ground 0.013 ( $\pm$  0.008) – 0.015 ( $\pm$  0.011) seconds later than the lateral claw and 0.023 ( $\pm$  0.009) – 0.026 ( $\pm$  0.006) in the hind limb. In all cases in which

the lateral claw did not contact the ground first, the two claws contacted the ground at the same time. In the hind limb, the region of the lateral claw that first contacted the ground was the bulb in 50.0 %, the abaxial wall in 44.40 % and the toe in 5.60 % of the claws. After functional hoof trimming, the bulb contacted the ground first in 77.70 % of the claws. In the forelimb, the first contact of the lateral claw with the ground was by the abaxial wall in 47.20 % of the claws, by the bulb in 47.20 % and by the toe in 5.60 %. As in the hind limbs, the percentage of lateral claws in which the bulb contacted the ground first increased and was 63.80 % after functional trimming. In the medial claws of the hind limbs, the abaxial wall contacted the ground first in 63.0% of heifers, followed by the bulb in 37.00 %. After functional trimming, the abaxial wall contacted the ground first in 80.60 % of the heifers and the bulb in 19.4%. In the medial claws of the forelimbs, the abaxial wall, the bulb and the toe contacted the ground first in 41.80 %, 38.80 % and 19.40 % of the heifers, respectively. After functional claw trimming, the bulb contacted the ground first in 52.90 % of the heifers, the abaxial wall in 44.40 % and the toe in 2.70 %. Thus, in these young heifers, the lateral claw consistently contacted the ground before the medial claw in both the fore- and hind limbs. Functional trimming did not significantly influence this pattern. Therefore, in the normal situation the lateral claw absorbs most of the vertical force during initial contact with the ground and the early supporting phase. The main effects of functional claw trimming were that the region of first contact with the ground shifted predominantly to the bulbs in the lateral claws and to the abaxial wall in the medial claws. It can be concluded that in normal claws, the bulb of the lateral claws of both front and hind limbs receives most of the initial vertical impact. This may contribute to the development of claw diseases, especially in animals housed on hard surfaces.



### 3 RESUME

Le but de cette étude était d'évaluer par le principe de haute vitesse cinématographique, le mode de contact des onglons de génisses cliniquement en bonne santé sur un tapis roulant et de juger l'importance du parage des onglons. Pour ce faire, dix-huit génisses du type Brown Swiss d'un âge moyen de 12.50 ( $\pm$  2.61) mois et ayant un poids moyen de 281.90 ( $\pm$  65.10) kg ont été utilisées. Pour chaque génisse, après un entraînement de marche sur le tapis roulant, un film d'une fréquence de 500 photos/sec a été pris à une vitesse moyenne de marche de 1.3m/sec. La mesure des forces verticales a pu être effectuée pour neuf génisses, ainsi que des mesures concernant la durée d'appui des onglons et les phases de support et de repos des pattes. Ceci a été répété après le parage des onglons. La durée moyenne de la phase de support était de 0.70 ( $\pm$  0.03) secondes pour les pattes antérieures et de 0.69 ( $\pm$  0.03) secondes pour les pattes postérieures. La phase de repos durait en moyenne 0.39 ( $\pm$  0.02) secondes pour les pattes antérieures et 0.40 ( $\pm$  0.02) secondes pour les pattes postérieures. Il n'y avait pas de différence significative entre les phases de support et de repos ainsi que les forces verticales dans les onglons avant et après leur parage. La moyenne des forces verticales des pattes antérieures était de 949.40 Ns ( $\pm$  108.40) et de 769.70 Ns ( $\pm$  109.50) pour les pattes postérieures. Les forces se répartissaient à 55.10 % sur les membres antérieurs contre 44.90 % sur les membres postérieurs. Avant le parage, les onglons latéraux des pattes postérieures avaient un premier contact de 100 % avec le sol et après parage, ce contact se réduisait à 97.20 %. Pour les pattes antérieures, avant le parage l'onglon latéral avait un premier contact de 83.00 % avec le sol et après parage, ce contact s'élevait à 91.60 %. L'onglon médial des pattes postérieures touchait le sol en 0.023 ( $\pm$  0.009) – 0.026 ( $\pm$  0.006) après l'onglon latéral. L'onglon médial des pattes antérieures avait contact avec le sol en 0.013 ( $\pm$  0.008) – 0.015 ( $\pm$  0.011) secondes plus tard que l'onglon latéral. Dans tous les cas où l'onglon latéral n'était

pas le premier à toucher le sol, les onglons latéraux et médiaux ont atteint le sol au même moment. Avant le parage, les zones de l'onglon latéral qui touchaient en premier le sol étaient à part égale le bulbe et la paroi externe. Après le parage des onglons, c'est le bulbe qui touchait d'abord le sol dans la grande majorité des cas. Pour les onglons du côté médial, il n'y avait pas de type privilégié de premier contact au sol. Après le parage, le premier contact de l'onglon du côté médial des pattes postérieures se faisait en majorité sur la paroi externe alors que pour les pattes antérieures, ces contacts se répartissaient à part égale sur le bulbe et la paroi externe. Ainsi a pu être montré que chez ces jeunes génisses, l'onglon latéral touchait le sol avant l'onglon médial, pour les pattes antérieures aussi bien que postérieures. Le parage des onglons n'a pas eu d'influence significative sur ce phénomène. Ainsi, en situation normale, l'onglon latéral absorbe une grande partie des forces verticales lors du contact avec le sol au début de la phase d'appui et ceci avec le bulbe, alors que l'onglon médial a un contact retardé qui a lieu surtout sur la paroi externe. Ceci pourrait contribuer au développement des maladies de ces onglons, en particulier chez les animaux vivant sur un sol à surface dure.

## 4 EINLEITUNG

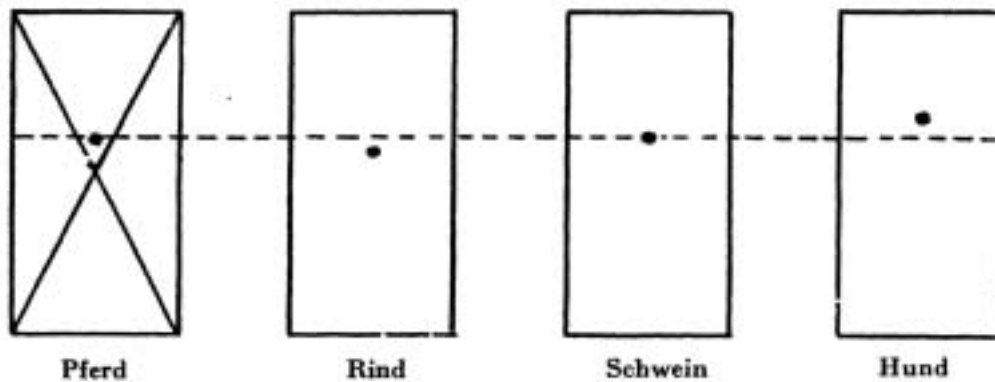
Die Lahmheitsdiagnostik beim Tier beruht auf der Beobachtung des Bewegungsvorganges der erkrankten Gliedmassen. Infolge der rasch ablaufenden Bewegungen sind subtile Veränderungen des Gangbildes jedoch nur schwer zu erkennen. Daher werden moderne Techniken zur Untersuchung des Gangbildes angewendet. Kinematische Methoden verwenden die Videografie, die Beschleunigungsmessung und die Hochfrequenzkinematografie zur Quantifizierung von Bewegungen. Kinetische Studien beruhen auf der Erfassung von Druck-, Dehnungs- und Reibungskräften mit modifizierten Hufeisen, Kraftmessplatten oder drucksensitiven Matten (SEEHERMAN, 1992a;b). Durch kinetische Messungen konnten bisher insbesondere an den Klauen der Beckengliedmassen von Kühen ungleiche Bodenreaktionskräfte ermittelt werden (Wander-Lahmheit 2003). Insbesondere die Bedeutung von Klauenerkrankungen bei Kühen gut erfasst sind (NUSS und STEINER, 2004), ist bisher wenig über den Fussungsablauf bei gesunden Rindern bekannt. Daher hatte die vorliegende Arbeit zum Ziel, den Fussungsvorgang von Jungrindern auf dem Laufband mit Hilfe der digitalen Hochfrequenzkinematografie zu dokumentieren, im Detail zu beschreiben und den Einfluss der funktionellen Klauenpflege auf den Fussungsablauf zu überprüfen.

# 5 LITERATURÜBERSICHT

## 5.1 Statik und Dynamik des Bewegungsapparates

Der Säugetierorganismus wird wie jeder bewegliche Körper von den Gesetzen der Statik und Dynamik beeinflusst. Die Statik befasst sich dabei mit den Konstruktionsprinzipien zur Erhaltung des Gleichgewichtes einzelner Körperteile oder des gesamten Tierkörpers, sowohl im Stand als auch in der Bewegung. Die Dynamik behandelt das Zusammenspiel von aktivem und passivem Bewegungsapparat bei der Lokomotion (SEIFERLE und FREWEIN, 1984). Als fester Körper untersteht der tierische Organismus zwar auch den statischen Gesetzen, seine Bauelemente haben aber nicht nur die Körperlast zu tragen und im Gleichgewicht zu halten, sondern ebenso der Bewegung zu dienen. Sie werden deshalb meistens sowohl statisch als auch dynamisch belastet. Dabei variiert die dynamische Belastung je nach Intensität der Muskelkontraktionen und der Geschwindigkeit des Bewegungsablaufes. Allgemein lässt sich sagen, dass die grossen Pflanzenfresser sich aufgrund einer gewissen Versteifung im Rumpfbereich im Vergleich zu den Fleischfressern durch eine geringere Wendigkeit und Geschmeidigkeit auszeichnen (SEIFERLE und FREWEIN, 1984). Statisch von grösster Bedeutung ist die Lage des Schwer- oder Massenmittelpunktes des Gesamtkörpers, welche von der Körperhaltung abhängig ist (KOLB, 1989). Als Schwerpunkt bezeichnet man einen innerhalb oder ausserhalb einer zusammenhängenden Masse gedachten Punkt, auf den bezogen die Summe aller an der Masse angreifenden Drehmomente aus dem Schwerfeld der Erde  $= 0$  ist (GIESE, 1997). Während dieser sich beim Pferd am Schnittpunkt der Medianebene mit einer Transversalebene unmittelbar hinter dem Proc. xiphoideus und einer Horizontalebene zwischen dem unterem und mittlerem Rumpfdrittel befindet, liegt er beim Wiederkäuer etwas weiter kaudal (SEIFERLE und FREWEIN, 1984; KOLB, 1989). Aus der Lage des Schwerpunktes lässt sich die Mehrbelastung der Schultergliedmassen ersehen. So wird beim

Rind der grössere Anteil der Körperlast - 54.7% (KOLB, 1989), 54%, (ALSLEBEN et al. 2003), 52,4%-54,8% (HUTH et al. 2004, 2005), 52%-58% (ARKINS, 1980), 51% (VAN DER TOL et al. 2002, 2003) - von den Schultergliedmassen als von den Beckengliedmassen getragen.



**Abb. 1:** Lage des Körperschwerpunktes von Haussäugetieren auf einer rechteckigen Unterstützungsfläche (KOLB, 1989).

Grundsätzlich ist die Position des Schwerpunktes nicht konstant, sondern wird von der Haltung des Kopfes, dem Füllungszustand der Baueingeweide und bei Kühen durch die Ausprägung des Euters, das aktuelle Laktationsstadium sowie das Stadium der Trächtigkeit massgeblich beeinflusst (FESSL, 1968). Auch ist zu berücksichtigen, dass beim Rind der Geschlechtsdimorphismus stärker ausgeprägt ist als beispielsweise beim Pferd (FESSL, 1968). Die von den fussenden Gliedmassenspitzen abgesteckte rechteckige Fläche wird Unterstützungsfläche genannt. Sie ist bei den Haussäugetieren im Vergleich zu der des Menschen relativ gross (**Abb. 1**). Der Tierkörper verharrt solange im Gleichgewicht, wie das Schwerelot die Unterstützungsfläche trifft. Weiter ist aus der Belastung und der Konstruktion der Gliedmassen ersichtlich, dass die Schultergliedmasse den Charakter einer vertikalen Stützsäule und eines Auffanghebelwerkes für die ihr von hinten zugeschobenen Last übernimmt. Die Beckengliedmassen hingegen bilden ein stärker gewinkeltes Stemm- oder Wurfhebelwerk, das die Hauptschubkräfte zur Vorwärtsbewegung liefert. Durch die steile Gliedmassenstellung zeichnet sich auch das Rind als ein Fluchttier aus (JENKINS, 1971).

## 5.2 Bewegung

### 5.2.1 Bewegung ohne Ortsveränderung

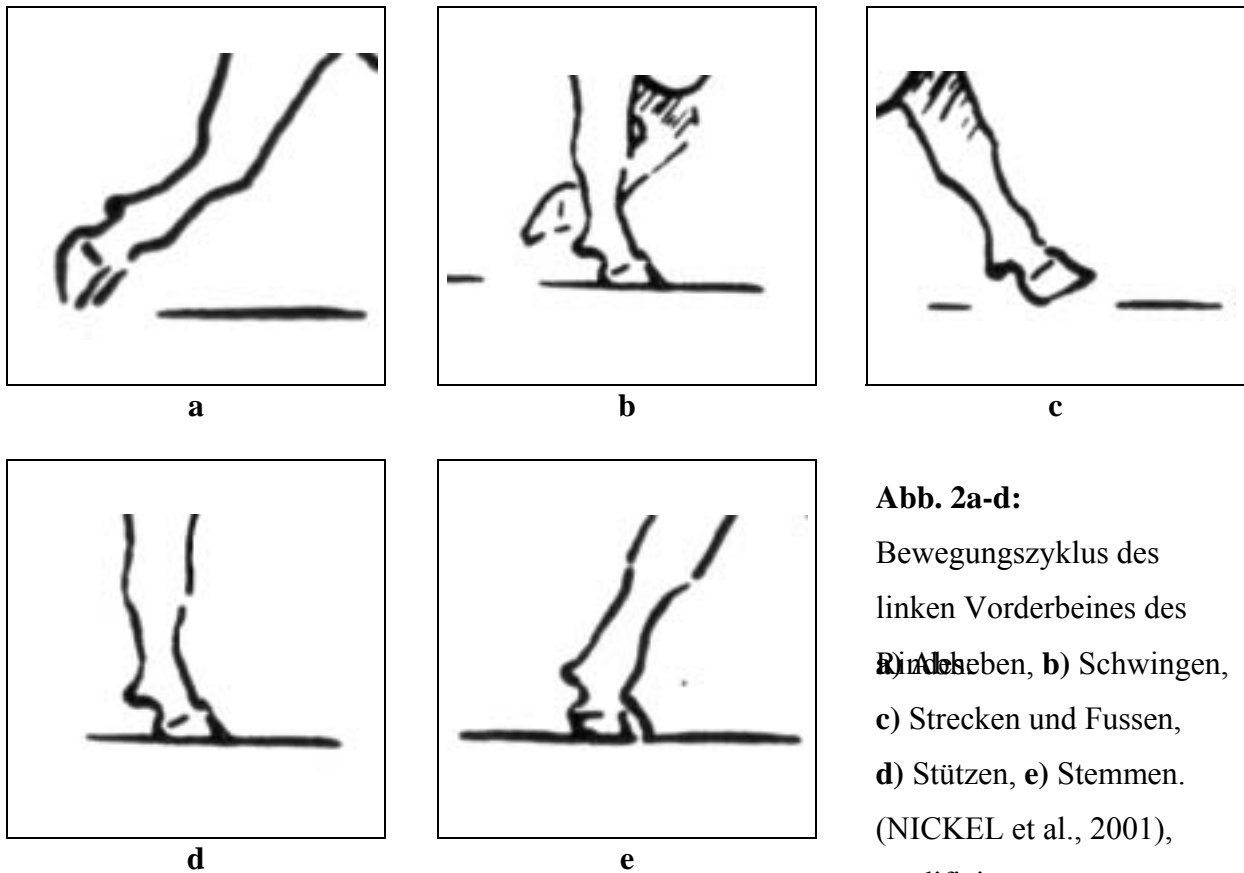
Bewegungen ohne Ortsveränderung sind beim Rind unter anderem das Niederlegen, das Aufstehen, das sich Aufrichten auf der Nachhand und das Ausschlagen.

### 5.2.2 Bewegung mit Ortsveränderung

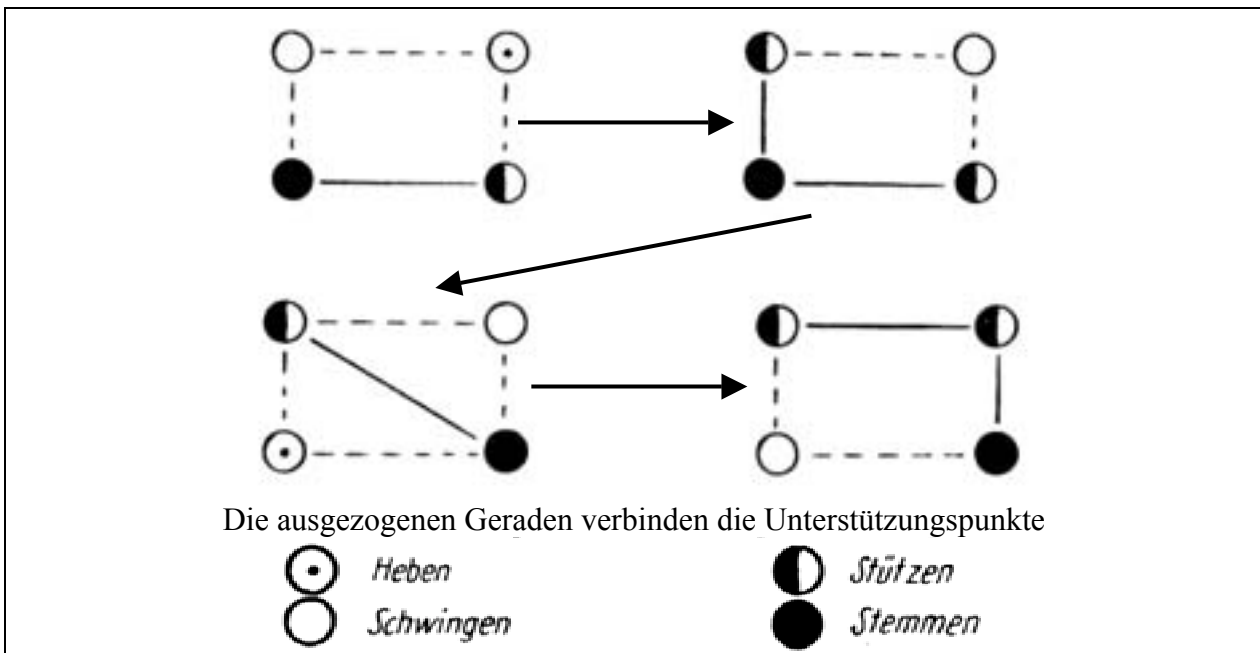
Lokomotion ist ein Bestandteil des Verhaltensrepertoires der Rinder, d. h. Rinder besitzen einen angeborenen Bewegungsdrang, der auch als Ausdruck für physisches und psychisches Wohlbefinden gewertet werden kann (GIRTLER, 1988). Eine Einschränkung der Bewegung beeinträchtigt das Wohlbefinden der Tiere (BRADE, 2002) und führt zudem zu einer Minderdurchblutung der Klauenlederhaut (LISCHER et al., 1998). Auch die Einschränkung des Brunstverhaltens wird beschrieben (PHILLIPS und MORRIS, 2000). Kühe gehen auf der Weide Distanzen zwischen zwei und 12, im Mittel circa drei bis vier Kilometer pro Tag (BRADE, 2002). Dabei bewegen sie sich in der Regel ruhig und langsam. Kühe leiden unter Stress, wenn sie permanent schneller als 5 km/h gehen müssen. Vor allem laktierende und hochtragende Kühe (ALBRIGHT und ARAVE, 1997), die besonders anfällig für Klauenprobleme sind, sollten nicht zu schnell getrieben werden (LISCHER et al., 1998).

Die Vorwärtsbewegung des Rindes im Schritt lässt sich in vier zeitlich verschiedenen lange Bewegungsphasen unterteilen, die sich in ständig gleichbleibender Folge aneinander reihen: im Moment des **Hebens und Abrollens über die Zehenschwand (Abb. 2a)** löst sich eine Gliedmasse vom Boden und geht in die Phase des **Schwingens (Abb. 2b und 2c)** über, während der sie zunächst unter Beugung, dann aber unter Streckung ihrer Gelenke nach vorne geführt wird. Nachdem die Gliedmasse wieder Fuss gefasst hat, geht sie zum **Stützen (Abb. 2d)** des Rumpfes, dessen Gewicht ihre Gelenke zunächst etwas durchdrückt, über. Durch kräftige Muskelkontraktionen streckt sich die Gliedmasse wieder und leitet die Phase

des **Stemmens** (**Abb. 2e**) ein. Während dieser Phase wird der Rumpf so weit nach vorne geschoben, dass die Fussungsfläche sich wieder vom Boden löst und ein neues Heben beginnt (ALBRIGHT und ARAVE, 1997; PHILLIPS und MORRIS, 2000; ALSLEBEN et al., 2003). Während des Hebens und Schwingens befindet sich die Gliedmasse in der so genannten **Hangbeinphase**.



**Abb. 2a-d:**  
 Bewegungszyklus des  
 linken Vorderbeines des  
 Rindes. **a)** Heben, **b)** Schwingen,  
**c)** Strecken und Fassen,  
**d)** Stützen, **e)** Stemmen.  
 (NICKEL et al., 2001),  
 ...



**Abb. 3:** Abfolge der Gliedmassenbelastung im Schritt (KOLB, 1989).

Die Bewegungsfolgen, die eine Gliedmasse vom Abheben der Fussungsfläche bis zum nächsten Heben durchläuft, nennt man einen Schritt, und die Strecke, die dabei zurückgelegt wird, die Schrittlänge.

Der **Schritt** ist die langsamste Art der Vorwärtsbewegung und stellt eine Viertaktbewegung dar. Je nach Folge der fussenden Gliedmassen ergibt sich eine sagittale oder diagonale Zweibeinstütze. Häufig bewegen sich die Tiere aber langsamer und verlängern die Stützeinphase gegenüber der Hangbeinphase. Somit fügen sie zwischen der sagittalen und diagonalen Zweibeinstütze noch eine Dreibeinstütze ein, wodurch die Belastung besser verteilt wird. Dreibeinstützen kommen bei Kühen mit Sohlengeschwüren doppelt so häufig vor wie bei gesunden (FLOWER et al., 2005).

Obwohl sich der Schritt des Rindes in der Regel nicht von dem des Pferdes unterscheidet, kann der Sonderfall eintreten, dass beim Schwingen einer Hinterextremität das der gleichseitigen Vorderextremität rascher einsetzt, wodurch ein Kriterium für den Schritt, dass die Beckengliedmasse der entsprechenden Schultergliedmasse



um eine halbe Schrittlänge voraus ist, nicht mehr vollständig erfüllt wird. Das Rind geht in einem solchen Falle im **Halbpass**. Der Halbpass stellt die Passform des Schrittes dar und wird auch als unreiner oder langsamer Pass bezeichnet (KOLB, 1989). Der Rhythmus der Gliedmassenbewegung findet in gewissem Ausmass auch in bestimmten Mitbewegungen des Stammes Ausdruck. So folgen Kopf Hals und teilweise auch der Schwanz taktmässig den Bewegungen der vier Gliedmassen. Kopf und Hals werden in der Schwingphase gehoben und in der Stützphase gesenkt. An den Beckengliedmassen hebt sich die aktive Seite in der Schwingphase und senkt sich in der Phase der Stütze. Der Schweif pendelt immer auf die Seite der stützenden Schultergliedmasse (KOLB, 1989). Das Führen von Kühen an der Hand kann zu einem uncharakteristischen Bewegungsablauf führen (SCOTT, 1988).

### **5.3 Fussung**

Unter der Fussung oder dem Auftritt versteht man beim Rind das Aufsetzen der Klauen auf dem Boden. Unter Streckung aller Fuss- und Zehengelenke wird die Gliedmasse in schräger Richtung nach vorne unten geführt und die Klauen auf dem Boden aufgesetzt (PHILLIPS und MORRIS, 2000). Dabei ist die Fussungsfläche der Klauen abhängig von ihrem Pflegezustand, der Gliedmassenstellung sowie der Gliedmassenführung. Die auftretende Reibung wird als Fussungsreibung bezeichnet und ist für die Abnutzung des Klauenhorns im Tragebereich verantwortlich (RUTHE et al., 1997). Speziell bei der Rinderhaltung in Laufställen wird der Grad des Hornabriebs von der Beschaffenheit der Bodenfläche bestimmt. Feuchtigkeit (Wasser, Kot und Urin) wirkt als „Schmiermittel“ und senkt die Reibungskräfte (PHILLIPS und MORRIS, 2000). Gleichzeitig gilt, dass für den sicheren Gang der Kuh eine Grundreibung (Reibungskoeffizient 0.4) des Bodens Voraussetzung ist (VAN DER TOL, 2004).

## **5.4 Gründe für die Bewegungsanalyse**

Die Hauptschwierigkeit einer Analyse des Bewegungsablaufes besteht darin, dass die Bewegungsphasen der vier Gliedmassen zeitlich mehr oder weniger gegeneinander verschoben sind, d.h. jede Extremität in einer bestimmten Gangart in einem definierten Augenblick eine andere Stellung einnimmt (SEIFERLE und FREWEIN, 1984) und somit erst die Momentphotographie, der Zeitlupenfilm oder die Hochfrequenzkinematographie Einblick in das Zusammenspiel verschaffen (KNEZEVIC et al., 1987). Darüber hinaus erlauben die genannten Methoden gegebenenfalls eine Objektivierung der Beurteilung einer diagnostischen Anästhesie oder des Erfolges einer Therapie. Weiter dienen sie auch zur Objektivierung der Wirkung orthopädischer Korrekturen oder von Beschlägen. Die Ergebnisse der modernen Lokomotionsanalyse werden auch zur Erstellung und Beurteilung pferdegerechter Rennbahndesigns verwendet (FREDRICSON, 1975; FREDRICSON et al., 1975). Beim Rind findet die Videodokumentation im Rahmen der Lahmheitsbeobachtung in Laufställen Verwendung (COOK et al., 2004).

## **5.5 Bewegungsanalyse bei Pferden**

Einen Überblick über die Geschichte der Lokomotionsanalyse geben die Arbeiten von WALTER (1925), KNEZEVIC (1985, 1987) und GIRTLER (1988): Aristoteles (384—322 vor Chr.) machte allgemeine Beobachtungen über die Gliedmassenbewegungen und deren Koordination bei Vierbeinern. Newcastle (1657) verwendete das Hufschlageräusch als Kriterium der Bewegungsuntersuchung. Giovanni Alfonso Borelli (1608—1679) befasste sich eingehend mit der Muskelmechanik. Er führte Bewegungsanalysen bei verschiedenen Säugetieren durch und bestimmte als erster den Körperschwerpunkt. Goiffon und Vincent (1779) erkannten Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und Gangart. Sie befestigten Glocken an jedem Huf, damit sie die einzelnen Gangarten besser definieren konnten.

In diesen frühen Arbeiten wurde erkannt, dass aufeinanderfolgende Bewegungsabläufe ähnlich sind und die Lokomotion ein zyklisches Geschehen darstellt.

Etienne Jules Marey in Paris und Edward Muybridge in San Francisco arbeiteten im späten 19. Jahrhundert über die Lokomotion beim Pferd (KNEZEVIC, 1985; KNEZEVIC et al., 1987). Marey (1874) gebrauchte zunächst verschiedene Vorrichtungen zur Registrierung der Bewegungen von Pferden: erstens einen pneumatischen, automatischen Aufzeichner in Form eines mit Rosshaar gefüllten Gummiballes, der unter allen vier Hufen befestigt war. Als zweite Messvorrichtung diente eine Gummimanschette, die direkt oberhalb des Fesselgelenkes befestigt war und die durch die Bewegungen verursachten Druckschwankungen aufzeichnete. Drittens verwendete er zwei Trommeln mit Hebeln, die an Kruppe und Widerrist des Pferdes befestigt waren, zur Aufzeichnung vertikaler Bewegungen, (KNEZEVIC 1985, 1987). Später (1882) verwendete er lange Bänder aus Papier und Zelluloid, durch Drehen einer Kurbel an einem Objektiv vorbeigeführt und belichtet wurden. Er nannte dieses Verfahren „Chronophotographie“ und erfand somit die kinematographischen Aufnahmeverfahren (WALTER, 1925). Als „geometrische Chronophotographie“ bezeichnete er eine weitere Aufnahmetechnik, bei der die einzelnen Gliedmassenabschnitte an einer schwarz bekleideten Person, die sich zudem vor einem schwarzen Hintergrund bewegte, durch aufgenähte glänzende Streifen und Punkte markiert und während der Bewegung aufgezeichnet wurden. Edward Muybridge erstellte Fotoserien von Pferden in unterschiedlichen Gangarten mit einer Batterie von 12 oder 24 Kameras, welche in Sequenz geschaltet waren (MUYBRIDGE, 1898). Im Jahr 1888 fand mit dieser Technik in New Jersey das erste Fotofinish der Welt bei einem Pferderennen statt. WALTER (1925) studierte die Bewegungen von Pferden mit der von Marey beschriebenen „Chronophotographie“. Er projizierte die Bilder in einer 20fachen Vergrößerung auf Papier, zeichnete „mechanische Achsen“ ein und rekonstruierte Gelenkwinkel. KNEZEVIC et. al. (1985 und 1987) führten Untersuchungen an Pferden durch, die an definierten Körperstellen mit Reflexfolien oder Leuchtdioden markiert waren.

Dabei wurde die Bewegung auf einer Länge von 10 Metern von einer ortsfesten, mitgeschwenkten Hochfrequenzfilmkamera (200 Bilder/sec) oder einer Infrarotkamera aufgenommen. Daraus ergab sich eine Fülle quasi uniformer Bewegungserscheinungen von unterschiedlicher Lokalisation. Auch DREVEMO et al. (1980) führten mit der Hochfrequenzkinematographie Untersuchungen an Trabern durch. In der Kinetik dominierten vor allem drei Systeme. Kraftmessplatten, Kraftmessschuhe und Messstrassen. Die Ergebnisse unterschieden sich qualitativ und waren teilweise mit einem erheblichen technischen Aufwand verbunden (DOHNE et al., 1990). Auch ein Laufband mit integriertem Mess-System wurde verwendet (WEISHAUPT et al., 2002).

## **5.6 Einsatz des Laufbandes zur Diagnostik bei Pferden**

Das Laufband erlangte als Instrument für standardisierte leistungsphysiologische und sportmedizinische Untersuchungen im Pferdesport in den vergangenen Jahrzehnten einen hohen Stellenwert. Seit den ersten Untersuchungen in Schweden (PERSSON, 1967) hat das Laufband auch einen festen Platz in der Bewegungsanalyse von Pferden (FREDRICSON et al., 1983; BUCHNER et al., 1995; WEISHAUPT et al., 2002).

Das Laufband hat den Vorteil, dass der Proband stationär bleibt und der Untersucher dessen Bewegung von allen Seiten studieren kann (BUCHNER et al., 1995). Dadurch sind Filmdokumentationen möglich, die in Zeitlupe ausgewertet, sowie gespeichert werden können.

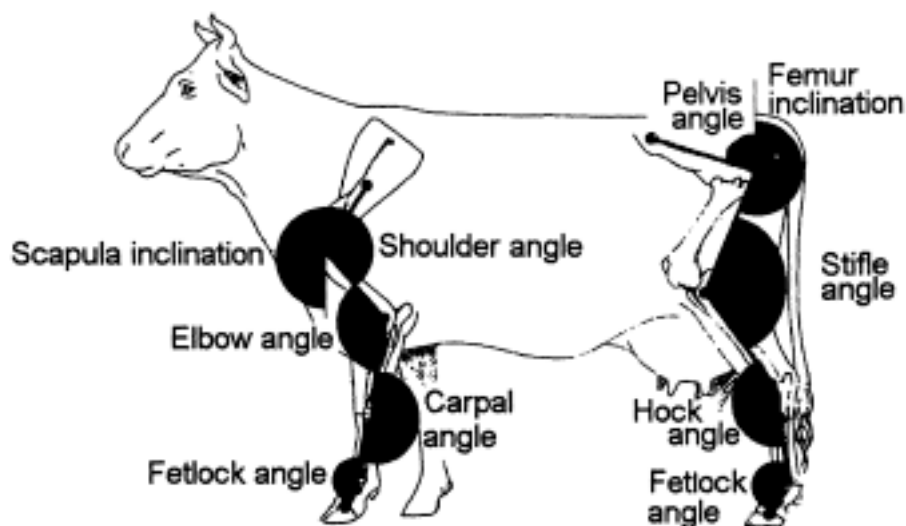
## **5.7 Gewöhnen von Pferden an das Laufband**

Auf die Notwendigkeit der Kenntnisse über Unterschiede der Bewegung bei Tieren auf dem Laufband im Unterschied zu natürlichem Boden wiesen LEACH und DREVEMO (1991) hin. Die Schrittlänge zeigte sich auf dem Laufband initial häufig verkürzt und somit war die Schrittfrequenz erhöht (SEEHERMAN, 1992). Die Pferde wurden daher systematisch an das Laufband gewöhnt und ebenso untersucht (SEEHERMAN, 1992). Die Arbeitsgruppe um BUCHNER (1995) führte kinematische Studien bei Warmblutpferden über die Gewöhnungsdauer an das Laufband sowie über die Unterschiede zur Bewegung auf festem Boden durch. Vor dem Training auf dem Laufband wurden zunächst kinematische Daten auf hartem Boden mit verschiedenen Oberflächen erfasst und anschliessend wurde mit allen Pferden ein einwöchiges kontrolliertes Laufbandtraining durchgeführt. Die Pferde zeigten nach 2 bis 3 Trainingseinheiten von je 10 – 20 Minuten sowohl im Schritt als auch im Trab auf dem Laufband ein Bewegungsmuster, das dem auf Betonboden entsprach (BUCHNER et al. 1995). Diese Untersuchungen von Seeherman (1992) sowie Buchner et al. (1995) legten die Grundlage zur heute angewendeten Gewöhnung und Untersuchung von Pferden an das Laufband (WEISHAUPT 2005).

## 5.8 Bewegungs- und Fussungsanalyse bei Rindern

Untersuchungen zur Gliedmassenstellung und Gelenkwinkelung von Rindern wurden von FESSL (1968) durchgeführt. Die Tiere wurden in der Bewegung, von der Seite mit Hilfe einer Kamera (48 Bilder/s), beurteilt. Weiter wurden maximale Extensionen, Flexionen, sowie die Aktionsradien der einzelnen Gelenke gemessen. Der Autor führte auch Untersuchungen zur Formveränderung des Zwischenklauenraumes bei der Lokomotion durch. Er beschrieb dabei aktive und passive Bewegungsvorgänge der Interdigitalmechanik. Aktive Bewegungen traten in der Hangbeinphase auf und besaßen ihr Maximum (Spreizung des Interdigitalspaltes) in dem Moment, in dem die „schwebende“ Gliedmasse die stützende passierte. Beim weiteren Vorschwingen, bis hin zur Fussung wurde das Spatium wieder enger (FESSL, 1974). Die passive Erweiterung des Interdigitalraumes begann mit der Fussung und war abhängig vom Gewicht des Tieres, von der Klauenform und vom Korrekturzustand der Klauen sowie von der Bodenbeschaffenheit (FESSL, 1974). Bei ungünstigen Klauenformen und glatten Bodenverhältnissen waren die passiven interdigitalen Bewegungen ausgeprägter als die aktiven. Eine Spreizung oder Drehung der einen Klaue bei gleichzeitig am Boden fixierter Partnerklaue konnte ebenfalls beobachtet werden (FESSL, 1974). Weitere Untersuchungen von PHILLIPS und MORRIS in den Jahren 2000 und 2001 mit Hilfe von Videoaufnahmen zeigten, dass Kühe auf den Laufstall mit Veränderungen ihres Lokomotionsverhaltens reagierten. Sie zeigten eine steilere Gliedmassenstellung, ein flacheres Aufsetzen der Klauen der Vorderextremität sowie eine verminderte Schrittfrequenz mit verlängerter Stützbeinphase (PHILLIPS und MORRIS, 2000, 2001). Die Gliedmassenführung war bei den Schulterextremitäten rotationsärmer, da sie keine „Umschreitung“ des Euters durchführen mussten. Dieses „Umschreiten“ sowie die Aussenrotation der äusseren Klaue führte bei reibungsarmem Boden (Feuchtigkeit) zu einer Prädisposition der Beckengliedmassen für das „Ausgleiten“ (PHILLIPS und MORRIS, 2000).

Die Hochfrequenzkinematografie beim Rind wurde erstmals von HERLIN und DREVEMO (1997) eingesetzt. Die Autoren führten Bewegungsanalysen an Swedish-Friesian-Kühen durch, um den Einfluss zweier Haltungssysteme auf den Bewegungsapparat zu untersuchen. Zu der Erstellung der Filmaufnahmen wurden die Tiere im Schritt mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.4 m/s auf einer flachen, 20 m langen Betonstrecke geführt. Die Aufnahmen wurden mit einer schwenkbaren Kamera (100 Bilder/s) erstellt, die senkrecht zur Bewegungsrichtung der Tiere in einem Abstand von 35 Metern positioniert war. Die Analyse der Bewegung erfolgte anhand der Beurteilung der Winkel der Gelenke von Schulter und Beckengliedmassen (**Abb. 4**)



**Abb. 4:** Beurteilte Gliedmassenpunkte und Gelenkwinkel bei Kühen zweier Haltungssysteme. (HERLIN und DREVEMO, 1997)

Sie bestimmten zudem die durchschnittliche Schrittdauer ( $1.218 \pm 0.099$  Sekunden) sowie die Dauer von Stützbein- und Hangbeinphase. Zwischen der Schrittgeschwindigkeit und -dauer sowie zwischen der Stütz- und der Hangbeinphase bestand eine negative Korrelation. Schrittdauer und Stützbeinphase waren positiv korreliert.

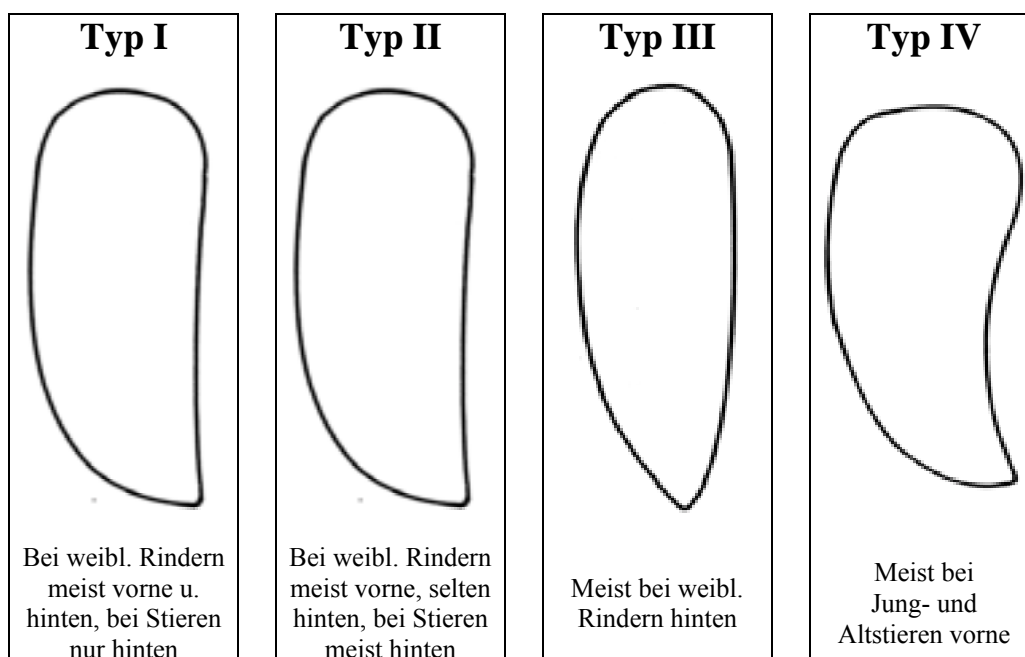
## **5.9 Belastungsmessungen an den Klauen beim Rind**

Kraftmessplatten ermöglichen es, auftretende Druckspitzen genau zu lokalisieren und die Fussungsfläche in definierte Zonen zu unterteilen (MAIR et al., 1988; MAIR et al., 1988; DISTL et al., 1990; GREENOUGH und WEAVER, 1997). Kraftmessplatten fanden beim Rind erstmals in den siebziger Jahren Verwendung (PRENTICE und WRIGHT, 1971) und wurden seitdem von verschiedenen Untersuchern weiterentwickelt (OSSENT et al., 1987; MAIR et al., 1988; MAIR et al., 1988; DISTL et al., 1990; HUBERT und DISTL, 1994; ALSLEBEN, 2002; ALSLEBEN et al., 2003; VAN DER TOL et al., 2003; HUTH et al., 2004; VAN DER TOL et al., 2004; HUTH et al., 2005).



### 5.9.1 Unterschiede von Klauengrösse und -belastung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen

Untersuchungen zu Klauenformen und zur Verteilung des Körpergewichtes wurden von FESSL (1968) an verschiedenen Rinderrassen durchgeführt. Nach standardisierter Klauenpflege mit einer Sohlendicke von sechs bis acht Millimetern fand er vier vorherrschende Klautypen (**Abb. 5**).



**Abb. 5:** Klauenformen und deren Zuordnung zu Geschlecht und Alter von Rindern (FESSL, 1968)

FESSL (1968) konnte zeigen, dass die Klauen der Vorderextremitäten immer grösser als die der Hinterextremitäten waren. Bei Kalbinnen war der Unterschied am geringsten, und hinsichtlich der Rassen liessen sich keine Unterschiede in der Klauenform finden. Die Klauen der Schultergliedmassen von Jungtieren, von Stieren (57% bei Jung-, 58% bei Altstieren) und von Kühen bis zur 25. Woche der Gravidität waren stärker belastet als die der Beckengliedmassen. Bei Kühen zwischen der 26. und 30. Trächtigswoche war die Belastung vorne und hinten

gleich gross und später um durchschnittlich zwei Prozent des Körpergewichtes zu Gunsten der Beckengliedmassen verschoben (FESSL, 1968).

Auch bei der von ALSLEBEN et. al (2003) an Jungtieren durchgeführten Untersuchung zeigte sich, dass in den ersten zwei Lebensjahren der Anteil der höchsten Drücke an den Vordergliedmassen höher als an den Hintergliedmassen war. Weiter massen sie in ihren Untersuchungen prozentuale Belastungen der Vordergliedmassen von 54% und der Hintergliedmassen von 46%. Die Fussungsfläche der Vordergliedmassen war immer grösser als die der Hintergliedmassen.

HUTH et. al. (2004, 2005) führten Untersuchungen zur Druckverteilung unter den Klauen stehender Kälber verschiedener Rinderrassen durch. Eine Klauenpflege wurde nicht durchgeführt, die Gliedmassenstellung wurde nicht näher beschrieben. Die Vordergliedmassen (305 N – 376 N) wurden deutlich mehr belastet als die Hintergliedmassen (276 N – 310 N) und das Körpergewicht wurde zu 52,4 % bis 54,8 % von den Vordergliedmassen getragen.

Die Autoren stellten fest, dass die hohe Prädisposition der Aussenklaue der Hintergliedmassen gegenüber Erkrankungen nicht von Geburt an bestand, sondern sich erst im späteren Leben der Rinder zu entwickeln schien (HUTH et al., 2004). In einer von HUTH et al. (2005) durchgeführten Folgearbeit mit gleichen Untersuchungszielen an oben genannten Tieren im Alter von 12-18 Monaten waren die Vordergliedmassen (813 N bis 993 N) erneut höheren Belastungen ausgesetzt, als die Hintergliedmassen (692 N – 783 N). Auch bei diesen Tieren wurde das Körpergewicht mit Werten von 54,0 % bis 56,1 % überwiegend von den Vordergliedmassen getragen (HUTH et al., 2005).

## 5.9.2 Unterschiede zwischen medialen und lateralen Klauen

TOUSSAINT RAVEN untersuchte 1971 mittels einer geteilten Waage die Verteilung der Gewichtslast zwischen medialer und lateraler Klaue. Unter Berücksichtigung der „scharnierartig“ am Becken angebrachten Hintergliedmassen und den daran steif-elastisch befestigten Klauen stellte er fest, dass es an den Hintergliedmassen stets die Aussenklaue war, die den ungünstigeren (stark schwankenden) Belastungen ausgesetzt war. Bereits kleine Abweichungen (Bewegungen nach aussen) im Stand liessen die Belastungen der Aussenklauen deutlich ansteigen. Aufgrund der über den Schultergürtel muskulär-sehnig befestigten Vordergliedmassen konnten die für die Hintergliedmassen geltenden Aussagen nicht übertragen werden (TOUSSAINT RAVEN, 1971, 1985, 1998). FESSL (1968) stellte fest, dass die Aussenklauen sowohl an Schulter- als auch an der Beckengliedmasse mit steigender Körpermasse grösser als die medialen waren, wobei der Unterschied an der Vorderextremität geringer ausfiel (FESSL, 1968). SCOTT et al. (1988) konnten zeigen, dass in den ersten drei Lebensmonaten die Hauptlast mit 62-63% des Körpergewichtes von den Vordergliedmassen getragen wurde. Bei der Bestimmung der Kontaktfläche massen sie im dritten und vierten Lebensmonat an den Vordergliedmassen an den lateralen Klauen die grössere Fläche. Ab dem vierten Lebensmonat besaßen die Vordergliedmassen den grösseren Anteil an der Gesamtfussungsfläche. An den Hintergliedmassen war die Kontaktfläche der Aussenklauen zwischen 25 und 50 % grösser als die der Innenklauen. DISTL et al. (1990) führten Druckmessungen an der rechten Vordergliedmasse stehender Kühe durch, denen 3 Wochen zuvor die Klauen gepflegt worden waren. Dabei ermöglichte die Aufteilung der Klauen in vier Sektoren den Vergleich von Gewicht und Fläche in den Teilabschnitten der Fussungsfläche (DISTL et al., 1990). Die Autoren konnten zeigen, dass bei Erstlaktierenden an den Vordergliedmassen stets die mediale Klaue stärker als die laterale belastet wurde, wohingegen bei Zweitlaktierenden eine relative Mehrbelastung der lateralen Klaue auffiel. Die Druckspitzen

traten jedoch in beiden Gruppen vorwiegend an der lateralen Klaue auf (DISTL et al., 1990). Ein Nachteil des verwendeten Systems waren die langen Abfrageintervalle der Messfühler, die dynamische Messungen unmöglich machten (DISTL et al., 1990). Im Gegensatz zu den Angaben von Scott (1988) fanden ALSLEBEN et al. (2003), dass sowohl an den Vordergliedmassen als auch an den Hintergliedmassen die medialen Klauen den höheren Drücken ausgesetzt waren. An den Hintergliedmassen verlagerte sich die Belastung ab dem 24. Lebensmonat zu den Aussenklauen hin. In Bezug auf das relative Gewicht an der Fussungsfläche waren sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmasse an den medialen Klauen die höheren Werte messbar. Mit steigendem Alter zeigte sich jedoch eine Zunahme der Fussungsfläche der lateralen Klaue (54% vorne und 55% hinten). Auch HUTH et al. (2004) stellten fest, dass bei Kälbern sowohl an den Vordergliedmassen (62,5 % bis 68,7 %) als auch an den Hintergliedmassen (62,2 % bis 69,5 %) die medialen Klauen deutlich mehr belastet wurden. Bei diesen Kälbern waren die medialen Klauen der Vordergliedmassen grösser und hatten einen Anteil von 54 % - 58 % an der Gesamtfussungsfläche. An den Hintergliedmassen war der Anteil der medialen Klauen mit 55 % bis 59 % sogar noch deutlicher. In Folgeuntersuchungen an den nun 12-18 Monate alten Tieren zeigte sich an den Vordergliedmassen erneut eine Mehrbelastung der medialen Klauen von 58,1 % bis 65,9 % (HUTH et al. 2005). Zu diesem Zeitpunkt konnten die Autoren zeigen, dass an den Hintergliedmassen die lateralen Klauen mit 51,2 % bis 56,6 % die grössere Fussungsfläche einnahmen (HUTH et al., 2005). Während die Umkehr der Flächenverhältnisse im Zeitraum des 12. Lebensmonates stattfand (HUTH et al., 2005), schien die Erhöhung der mittleren Drücke erst nach dem 18. Lebensmonat aufzutreten. Die Autoren wiesen deswegen auf die Notwendigkeit der Untersuchung des genauen Zeitpunktes der Umkehr der mittleren Drücke von medialer zu lateraler Klaue hin. KEHLER und GERWING (2004) ermittelten an den Hintergliedmassen stehender Kühe Fussungsflächen mit einem Verhältnis von 63% (Aussenklaue) zu 37% (Innenklaue).

### **5.9.3 Druckverteilung innerhalb der Klauen**

Übereinstimmende Angaben liegen in der Literatur hinsichtlich der Lokalisation der grössten Belastungen vor. Diese Belastungsspitzen treten am kaudalen und axialen Sektor der Aussenklauen der Beckengliedmassen auf (TOUSSAINT RAVEN, 1971; OSSENT et al., 1987; MAIR et al., 1988; MAIR et al., 1988; LISCHER et al., 1998; TOUSSAINT RAVEN, 1998; LISCHER, 2000; LISCHER und OSSENT, 2001; LISCHER et al., 2002; VAN DER TOL et al., 2002; ALSLEBEN et al., 2003; HUTH et al., 2004; KEHLER und GERWING, 2004; LOGUE et al., 2004; NUSS und STEINER, 2004; HUTH et al., 2005).

### **5.9.4 Einfluss der Klauenpflege auf die Belastungsverhältnisse**

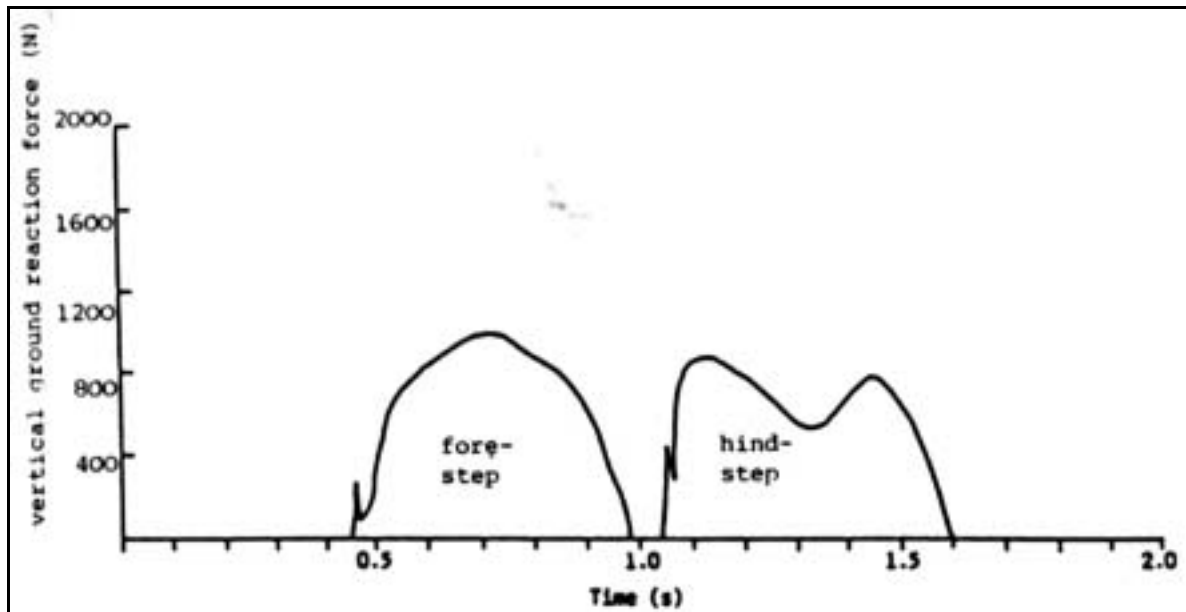
KEHLER und GERWING (2004) untersuchten, welchen prozentualen Anteil an der Druckbelastung die Klauen hatten. Sie untersuchten die Beckengliedmassen von stehenden Kühen aus Laufstallhaltung vor und nach funktioneller Klauenpflege. Sie stellten fest, dass nach der Durchführung der funktionellen Klauenpflege die Überlastung der Aussenklauen von 68% auf 52% abgemildert und Belastung der Innenklauen von 33% auf 48% angehoben wurde.

Dieses annähernd ausgeglichene Verhältnis blieb für 6 Wochen bestehen. Durch die funktionelle Klauenpflege konnte eine maximale Vergrösserung der Gesamtfussungsfläche um 12.9% über eine Dauer von 14 Wochen erreicht werden, wobei das Verhältnis von Innen- zu Aussenklaue nahezu unverändert blieb. Bereits nach 4 Monaten konnte jedoch bei der Hälfte der Tiere bereits Werte wie vor der Klauenpflege gemessen werden (KEHLER und GERWING, 2004).

### 5.9.5 Dynamische Druckmessungen

Unter Verwendung spezieller Klaueneisen, Dehnungsmesstreifen und einer Mehrkomponentenkraftmessplatte führten (SEEBACHER und FISCHERLEITNER, 1979) Untersuchungen an Rindern auf Betonboden, Kies und auf Spaltenboden durch. Anhand der gewonnenen Daten ermittelten sie die vertikale Belastung an orthopädisch relevanten Stellen der Klauensohlen. Der Vorteil dieser Kombination aus Klaueneisen und Dehnungsmesstreifen war die getrennte Erfassung beider Klauen einer Extremität bei verschiedenen Bodenverhältnissen und bei mehreren aufeinanderfolgenden Bewegungszyklen. SEEBACHER und FISCHERLEITNER (1979) fanden, dass bei der Fassung vorwiegend die Klauenspitze und der axiale Tragerand belastet wurden, und Maximalbelastungen von bis zu zwei Dritteln des Körpergewichtes auftraten. Beim Abfuss wanderte die Kraftverteilung deutlich von der Klauenspitze zum Zwischenklauenspalt hin.

Messungen der Bodenreaktionskräfte bei Rindern in der Bewegung führten WEBB und CLARK (1981) sowie SCOTT (1988) durch. Sie verwendeten dazu eine Mehrkomponentenkraftmessplatte in Kombination mit einem Pedobaroskop. Nach der von SCOTT (1988) erstellten Kraft-Zeitkurve trat bei den Vordergliedmassen nur ein Kräfte maximum in der Mitte der Stützbeinphase auf, an den Hintergliedmassen war ein zweigipfliger Verlauf verzeichnet (**Abb. 6**). Bei der Auffassung war ein kleiner initialer Ausschlag zu erkennen, der als „Aufschlagsstörung“ gewertet wurde. Dieser trat vor dem eigentlichen Hauptgipfel der Kurve auf.



**Abb. 6:** Verlauf der Bodenreaktionskräfte [N] von Vorder- und Hintergliedmasse beim Rind im Schritt (SCOTT, 1988). Höhere Kräfte der Vordergliedmassen, zweigipfliger Kurvenverlauf an den Hintergliedmassen.

Die Bodenreaktionskräfte stiegen linear mit dem Körpergewicht der Rinder an. Hinsichtlich der Belastung der einzelnen Klauen stellte SCOTT (1988) fest, dass ab dem sechsten Lebensmonat die lateralen Klauen der Vordergliedmassen stärker belastet waren als die lateralen der Hintergliedmassen (SCOTT, 1988). Der Ballen sowie die abaxiale Wand der lateralen Klauen waren dabei am stärksten belastet. Die Erweiterung des Zwischenklauenspaltes während der Stützbeinphase wurde als eine Vergrößerung der Kontaktfläche der Klauen, die zum Einbezug der Sohle führte, mit konsekutiver Reduktion von fokalen Druckspitzen interpretiert (SCOTT, 1988).

VAN DER TOL et al. (2003) ermittelten die Bodenreaktionskräfte an stehenden und an im Schritt gehenden Kühen. Für die Untersuchungen an gehenden Tieren kam eine Kombination aus einer Kraft- und Druckmessplatte (KISTLER®-Platte und FOOTSCAN®-Platte) zum Einsatz, wodurch simultane Messungen möglich wurden. Die Abfrageintervalle betragen 250 Hz. Aufgrund der geringen Grösse der Messeinrichtung waren jedoch etwa 40 Durchgänge pro Tier für exakte Resultate notwendig (VAN DER TOL et al., 2003). An den Vordergliedmassen konnten

die Autoren eine Fussung über den Ballen der Aussenklaue, gefolgt von einer weniger stark ausgeprägten Ballenfussung der Innenklaue messen. Es traten Maximalwerte von 1370.3 N für die Aussenklaue und 1251.5 N für die Innenklaue auf. Im weiteren Verlauf der Stützbeinphase verlagerte sich die Hauptbelastung zur Innenklaue hin. Beim Abfussen lagen die Maximalbelastungen (649.4 N) im apikalen Teil der Innenklaue. An den Hintergliedmassen (Gesamtbelastung: 2333.3 N) lag die Hauptbelastung (1828.7 N) auf der Aussenklaue. Die Vordergliedmassen (3324.0 N) waren deutlich mehr belastet als die Hintergliedmassen (2444.3 N). Auch die Fussungsfläche war an den Vordergliedmassen (54 cm<sup>2</sup>) deutlich grösser als an den Hintergliedmassen (47 cm<sup>2</sup>) (VAN DER TOL et al., 2003). Die durchschnittlichen Druckbelastungen wurden an den Vordergliedmassen mit 50 N/cm<sup>2</sup> und an den Hintergliedmassen mit 60 N/cm<sup>2</sup> angegeben, und stiegen zum Zeitpunkt des Abfussens sogar auf Werte von 80 – 85 N/cm<sup>2</sup> an. Die maximalen Druckbelastungen an den Vordergliedmassen betragen 105 N/cm<sup>2</sup>, an den Hintergliedmassen 130 N/cm<sup>2</sup>. Zum Zeitpunkt des Abfussens stiegen die Belastungen weiter auf Werte von 180 – 200 N/cm<sup>2</sup> an.



## 6 TIERE UND METHODEN

Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel, den Fussungsvorgang von gesunden Jungrindern auf dem Laufband durch die Hochfrequenzkinematografie zu dokumentieren und den Einfluss der funktionellen Klauenpflege auf die Fussung zu ermitteln. Die Filme der digitalen Hochfrequenzkamera sollten bezüglich folgender Fragestellungen ausgewertet werden:

- 1.) Kommen beim Fussungsvorgang beide Klauen gleichzeitig, oder getrennt von einander auf dem Boden auf ?
- 2.) Mit welcher Region der Klaue(n) wird der Erstkontakt hergestellt ?
- 3.) Gibt es messbare Zeitverzögerungen zwischen dem Aufsetzen der Innen- und Aussenklauen ?
- 4.) Welchen Einfluss hat die funktionelle Klauenpflege auf den Fussungsablauf und oder die Klauenregion mit welcher der Erstkontakt hergestellt wird ?

Die Fragestellungen bezogen sich sowohl auf die Vorder- als auch auf die Hintergliedmassen. Unterschieden wurden zwischen dem Auffussen der Aussen- und der Innenklauen, und zwar in den Bereichen „Ballen“, „Tragerand“- oder „parallel“ und „Klauenspitze“. Als „parallele Fussung“ wurde das plane Aufsetzen der Klauen auf dem Laufband, wie es bei der Betrachtung von der Seite sichtbar wurde, bezeichnet. Bei der „Fussung über die Klauenspitze“ handelte es sich um ein um das Erstaufsetzen der Klauenspitze und nicht um das Zehenspitzenfussen, das als typischer Befund bei Lahmheiten auftritt.

Bei der Hälfte der Rinder (9/18) wurden daneben auch die Bodenreaktionskräfte der Gliedmassen ermittelt. Aufgrund des zeitweisen Ausfalles der Drucksensoren waren diese Messungen nicht bei allen Tieren möglich.

## 6.1 Tiere

Untersucht wurden 18 weibliche Jungrinder im Alter von 8 bis 18 Monaten ( $12.50 \pm 2.6$  Monate), die entweder in Laufställen und oder auf Alpweiden gehalten wurden. Das Körpergewicht lag zwischen 170 und 400 kg ( $281.90 \pm 65.10$  kg), der Body Condition Score (BCS) (EDMONSON et al., 1989) zwischen 2.50 und 3.75 ( $3.01 \pm 0.46$ ). Das Stockmass der Jungrinder, die zur Kraftmessung auf dem Laufband herangezogen wurden, betrug 118 bis 131 cm ( $125.20 \pm 4.40$  cm)

**(Tab. 1).**

Die Klauen der Tiere waren gesund und bis auf eine etwas zu lange Dorsalwand gleichmässig abgenutzt.

Die Rinder wurden von den Besitzern für die Zeiträume der Untersuchungen leihweise zur Verfügung gestellt und im Anschluss wieder in die ursprünglichen Betriebe zurückgegeben.

**Tab. 1.:** Übersicht über Kennzeichnung, Alter, Gewicht, Stockmass, Body Condition Score (BCS) der Jungrinder.

	<b>Ohrmarke</b>	<b>Alter</b> [Monate]	<b>Gewicht</b> [kg]	<b>Stockmass</b> [cm]	<b>BCS</b>
<b>1</b>	120.0236.3291.9	16	350	125	3.75
<b>2</b>	120.0236.3292.6	16	370	128	3.75
<b>3</b>	120.0236.3299.5	15	325	131	3.25
<b>4</b>	120.0236.3301.5	15	350	126	3.50
<b>5</b>	120.0236.3275.9	18	400	131	3.75
<b>6</b>	120.0047.3880.7	8	230	121	2.75
<b>7</b>	120.0234.6659.0	13	310	122	3.25
<b>8</b>	120.0234.6683.5	11	300	125	3.25
<b>9</b>	120.0234.6678.1	13	250	118	3.25
<b>10</b>	120.0265.9035.3	10	180	Nicht gemessen	2.75
<b>11</b>	120.0265.9030.8	12	241	Nicht gemessen	2.75
<b>12</b>	120.0265.9034.6	10	235	Nicht gemessen	2.75
<b>13</b>	120.0265.9036.0	10	170	Nicht gemessen	2.75
<b>14</b>	120.0265.9039.1	9	203	Nicht gemessen	2.75
<b>15</b>	120.0292.8494.5	12	270	Nicht gemessen	2.50
<b>16</b>	120.0292.8490.7	13	310	Nicht gemessen	2.50
<b>17</b>	120.0292.8495.2	12	280	Nicht gemessen	2.50
<b>18</b>	120.0292.8496.9	12	300	Nicht gemessen	2.50
		12.50 ± 2.61	281.90 ± 65.10	125.20 ± 4.40	3.01 ± 0.46

## 6.2 Ablauf der Untersuchungen

Für die Untersuchungen wurden die 18 Rinder in 4 Gruppen eingeteilt. Die Tiergruppen stammten jeweils aus dem selben Betrieb. Während des Aufenthaltes an der Klinik wurden die Rinder in Anbindung gehalten und vom Pflegepersonal sowie dem Untersucher selbst betreut. Die Tiere wurden nach jeder für sie neuen Situation mit kleinen Mengen von Kraftfutter belohnt. Sedativa kamen in keinem Fall zum Einsatz. Die Untersuchungen wurden innerhalb von 7 Tagen absolviert und hatten folgenden Ablauf:

**Tag 1:** Ankunft und Einstellung der Rinder.

**Tag 2:** Erstes Führen der Tiere am Halfter im Stall und auf dem Klinikgelände.

**Tag 3:** Vormittags: Führen auf dem Klinikgelände sowie im Gebäude des Laufbandes. Gewöhnung an die Scheinwerfer und an die Geräusche des Laufbandes. Erster Kontakt mit dem Laufband und Führen über das Laufband. Sodann Fixation am Halfter von einer neben der Lauffläche stehenden Hilfsperson und Anfahren des Laufbandes. Steigerung der Geschwindigkeit auf 1,2 bis 1,3 m/s. Trainingsperiode von jeweils 5 - 10 Minuten, bis zum Erkennen eines klaren, entspannten Schrittes. Bei zu grosser Nervosität der Tiere Anhalten des Laufbandes, Einlegen einer Pause, erneuter Versuch. Drosselung der Geschwindigkeit des Laufbandes, Anhalten des Bandes, Belohnung der Rinder mit Futter. Nachmittags: Weiteres Training und erste Filmaufnahmen des Fussungsvorganges.

**Tag 4:** Fortsetzen der Filmaufnahmen und Durchführung der Kraftmessung.

Bei den späteren Aufnahmen Fixation der Tiere am Halfter. Eine Hilfsperson zuständig für die Steuerung des Laufbandes, die Hygiene und die Motivation der Tiere zur Vorwärtsbewegung.

**Tag 5:** Funktionelle Klauenpflege.

**Tag 6:** Erstellung der Filmaufnahmen nach Klauenpflege. Erneute Kraftmessung.

**Tag 7:** Rücktransport der Rinder in die Herkunftsbetriebe.

### **6.3 Hygiene auf dem Laufband**

Kot und Harn auf dem Laufband machten die Oberfläche rutschig und damit für diese Filmaufnahmen unbrauchbar. Bei Kot- und Harnabsatz wurde daher ein Gülleschöpfer zum Auffangen verwendet. Grundsätzlich wurde versucht, im gegebenen Fall das Laufband zu stoppen. Gelangte trotz aller Vorsicht Kot oder Urin auf die Lauffläche, wurden diese mit Sägemehl gebunden und mit einem Industriestaubsauger abgesaugt.

### **6.4 Digitale Hochfrequenzkamera mit PC und Software**

Die digitale Hochfrequenzkamera (Motion Scope™ PCI 1000S, Redlake Imaging Corporation, 18450 Technology Drive, Suite A, Morgan Hill, CA 95037-5450. 500 Bilder/s, Auflösung 320 x 280 Pixel, Verschlusszeit 1/1000, Belichtungszeit 1/1000 s) mit Objektiv (Cosmicar™/ Pentax™ TV-Zoom, 4-48mm, 1:10) wurde mit einem Desktop-PC verbunden und mit der Herstellersoftware mittels Maus und Tastatur gesteuert.

Die Kamera (Kamera selbst, Desktop PC, Software) wurde von Herrn Prof. Dr. Heinz Inglin (Zürcher Hochschule in Winterthur; Projekt Schlaganalyse) leihweise zur Verfügung gestellt.

### **6.5 Beleuchtung**

Das Laufband wurde mit drei auf die entsprechende Gliedmasse fokussierten Scheinwerfern mit jeweils 220 V, 1000 W und 300 Hz ausgeleuchtet.

## 6.6 Filmaufnahmen

Die Filmsequenzen waren aufgrund der Kapazität des Speichers auf 4 Sekunden begrenzt (Dateigrösse 220 MB) und wurden als \*.avi-file auf einer externen Festplatte gespeichert. Die Kamera wurde auf einem Fotostativ befestigt und befand sich 18 cm über dem Boden. Da nur eine Kamera verwendet wurde, musste diese für jede Aufnahme-richtung in Position gebracht werden.

Es wurden 7 Kamerapositionen für die vier Gliedmassen verwendet (**Abb. 7 a-g**). An den Vordergliedmassen genügte drei Positionen, das heisst eine Übersicht von vorne und für jede Gliedmasse eine seitliche Aufnahme. An den Hintergliedmassen konnte aufgrund der charakteristischen Fussung keine Übersicht erstellt werden, sodass jeweils eine seitliche und eine schräge (Winkel 45 – 60 °) Aufnahme erforderlich war.

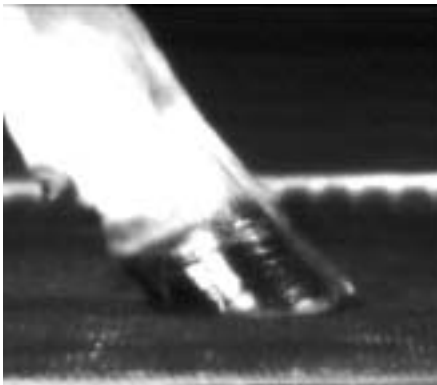
Vor der Durchführung der Aufnahmen wurde die Kamera auf die entsprechende Gliedmasse und herrschenden Lichtverhältnis eingestellt. Die Aufnahme wurde gestartet, sobald das Jungrind die Geschwindigkeit (1,2 bis 1,3 m/s = 4.3 – 4.6 km/h) erreicht hatte und einen klaren taktvollen Schritt zeigte. Die Aufnahme wurde gestoppt, wenn vier vollständige Bewegungszyklen der untersuchten Gliedmasse gefilmt waren, was im Rahmen dieser Untersuchung der Grösse des Endlosspeichers von 4 Sekunden (2000 Bilder) entsprach. Zur besseren Orientierung wurde die laterale Klaue jeweils mit Sprühlack (silber) oder schwarzem Huffett eingesprüht bzw. eingestrichen.



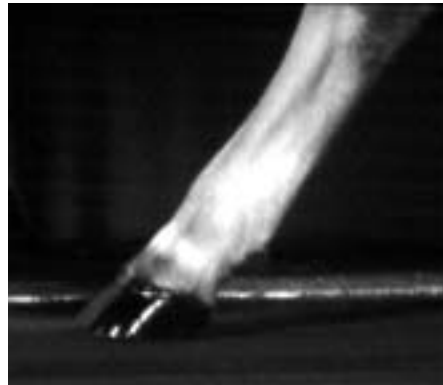
**a:** Vorne links von der Seite



**d:** Hinten rechts von der Seite



**b:** Vorne rechts von der Seite



**e:** Hinten links von der Seite



**c:** Übersicht der Vordergliedmassen von vorne



**f:** Hinten rechts im Winkel von 45-60°

**Abb. 7a-g:**

Aufnahmerichtungen für die einzelnen Gliedmassen.

Von der Seite (**a, b, d, e**), von vorne (**c**), sowie in einem Winkel von 45-60° (**f, g**).



**g:** Hinten links im Winkel von 45-60°



**Abb. 8:** Jungrind auf dem Laufband, Seitenansicht.



**Abb. 9:** Jungrind auf dem Laufband, Ansicht von vorne.



## 6.7 Klauenpflege

Zur Klauenpflege wurde die Methode nach TOUSSANT RAVEN (1985, 1998) und KUEMPER (2003) angewendet. Hierbei wurde zunächst die Innenklaue beurteilt und wenn nötig gekürzt. Bei den meisten Tieren war an den Hintergliedmassen die Aussenklaue grösser und stand etwas nach distal über. Hierin bestand kein Unterschied zwischen den Tieren, die im Laufstall gehalten wurden und denen, die von der Alp kamen. Auffallend war bei den Rindern aus den Laufställen die flach abgelaufene Sohle, während die Tiere von der Alp eine Hohlkehlung aufwiesen.

Die Aussenklaue wurde, soweit es die Sohlendicke zulies, an die Innenklaue angeglichen. Die Sohlendicke wurde dabei mit der Klauenuntersuchungszange überprüft. Gab die Sohle der Aussenklaue auf Druck durch die Klauenuntersuchungszange nach, wurde sie nicht weiter abgetragen, auch wenn das Niveau der Innenklaue noch nicht erreicht war. Abschliessend wurde die Hohlkehlung angelegt. An der Vordergliedmassen wurde entsprechend verfahren.

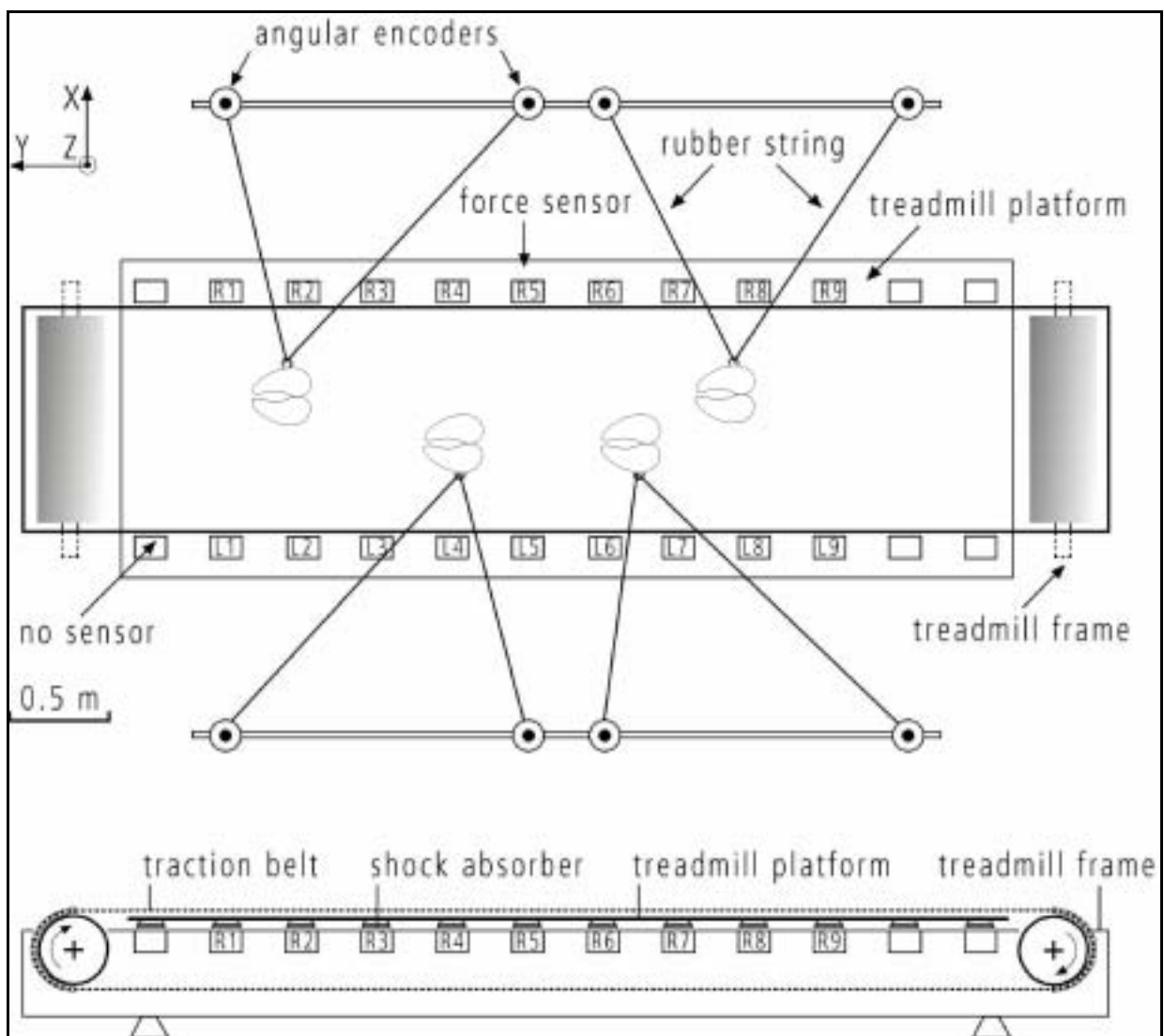
## 6.8 Laufband und Kraftmessung

Das verwendete Laufband, ein Hochgeschwindigkeitslaufband (Mustang 2200<sup>®</sup>, Fa. Graber AG, Fahrwangen, Schweiz), verfügte über eine stufenlos regelbare Geschwindigkeitseinstellung und konnte bei Zwischenfällen per Notschalter gestoppt werden. Insgesamt 18 piezoelektrische Kraftmesssensoren (9 an jeder Längsseite) erfassten die vertikalen Kräfte aller 4 Gliedmassen gleichzeitig (TiF = treadmill integrated force measuring system). Das Abfrageintervall betrug 433 Hz. Parallel zur Lauffläche des Laufbandes montierte Winkelmesssysteme [Positioning System] wurden mittels Gummifäden (Spannung 5 N) mit den Gliedmassen verbunden (2 Winkelmesser mit je einer Gliedmasse) (**Abb. 10**). Die dafür konstruierten Haltebänder wurden in der Fesselbeuge der Rinder befestigt. Gemessen wurden

die Schrittfrequenz, die Dauer von Stützbein- und Hangbeinphasen, sowie die Vertikalimpulse.

Durch die Kombination von Laufband und Mess-System waren die Grundgrößen Bodenbeschaffenheit, Geschwindigkeit der Bewegung und Dauer der Untersuchung standardisier- und reproduzierbar.

Die Messungen auf dem Laufband wurden an neun Tieren (Rinder 1-9, s. **Tab. 1**) vor und nach der funktionellen Klauenpflege durchgeführt.



**Abb. 10:** Schemazeichnung des Aufbaus des verwendeten Laufbandes von oben sowie von der Seite. Kraftsensoren (**L+R**), Rahmen (**frame**), Lauffläche (**Belt**), Basis der Lauffläche (**platform**), Dämpfungselement (**shock absorber**), Gummifäden (**rubber strings**), Winkelmesssystem (**angular encoders**). (WEISHAUPT et al., 2002). Modifiziert.

## **6.9 Auswertung der Daten**

Die Filmsequenzen wurden mit der Video-Software MIDAS Player™, (Redlake Imaging Corporation) unter Berücksichtigung der auf Seite 29 aufgeführten Fragestellung betrachtet und der Fussungsvorgang anhand der Anzahl der Bilder/pro Zeiteinheit quantifiziert. Die Daten der Kraftmessungen wurden in einem Tabellenkalkulationsprogramm erfasst und statistisch mit dem Programm SPSS®, Version 11,5 (SPSS GmbH Software, München, [www.spss.de](http://www.spss.de)) ausgewertet.

## **6.10 Tierversuchsbewilligung**

Gemäss der Tierschutzinformation 1.04 (Einteilung von Tierversuchen nach Schweregraden vor Versuchsbeginn – Belastungskategorien) des Bundesamtes für Veterinärwesen in Bern wurde die Untersuchung als belastungsfrei = Schweregrad 0 eingestuft, gemäss Art. 62 Abs. 1 TSchV gemeldet und von dem kantonalen Veterinäramt in Zürich genehmigt (Nr. 125/ 2002).

# 7 ERGEBNISSE

## 7.1 Hochfrequenzkinematografie

Alle Zehen wiesen im Prinzip dasselbe Fussungsmuster auf: Die Klauen wurden in Innenrotation angehoben und in leichter Aussenrotation aufgesetzt. An den Beckengliedmassen wurden die Gliedmassen allerdings nahe an die Mediane herangeführt. Die Fussung erfolgte nachfolgend leicht seitwärts davon. Auch hier wurden die Zehen jedoch in Aussenrotation aufgesetzt.

### 7.1.1 Erstkontaktierende Klaue

An den Vordergliedmassen stellten vor der Klauenpflege 14 Tiere an der rechten und 16 an der linken den Erstkontakt jeweils mit der äusseren Klaue her. Die restlichen Rinder zeigten mit der entsprechenden Gliedmasse ein gleichzeitiges Aufsetzen beider Klauen. Nach der Klauenpflege stellten 17 Tiere an der rechten und 16 an der linken Vordergliedmasse den Erstkontakt jeweils mit der äusseren Klaue her. Die restlichen Rinder zeigten mit der entsprechenden Gliedmasse eine gleichzeitiges Aufsetzen beider Klauen (**Tab. 2+3**).

**Tab. 2:** Erstkontaktierende Klaue(n) vor der Klauenpflege.

Klaue(n)	Linke Seite			Rechte Seite		
	laterale	mediale	beide	laterale	mediale	beide
<b>Vordergliedmasse</b>	16	-	2	14	-	4
<b>Hintergliedmasse</b>	18	-	-	18	-	-

An den Hintergliedmassen wurde vor der Klauenpflege der Erstkontakt von allen Rindern mit der äusseren Klaue hergestellt.

**Tab. 3:** Erstkontaktierende Klaue(n) **nach** der Klauenpflege.

Klaue(n)	Linke Seite			Rechte Seite		
	laterale	mediale	beide	laterale	mediale	beide
<b>Vordergliedmasse</b>	16	-	2	17	-	1
<b>Hintergliedmasse</b>	18	-	-	17	-	1

Nach der Klauenpflege stellte nur ein Tier den Erstkontakt an der rechten Hintergliedmasse mit beiden Klauen gleichzeitig her, während alle anderen mit der äusseren Klaue zuerst den Boden berührten (**Tab. 2+3**).

## 7.1.2 Kontaktregion der aufsetzenden Klauen

### 7.1.2.1 Laterale Klauen

An den Schultergliedmassen zeigten vor der Klauenpflege sieben Tiere rechts eine Kontaktaufnahme mit dem Ballen und zehn Rinder eine parallele Fussung. An der linken Gliedmasse waren es zehn Tiere, die mit dem Ballen, und sieben Rinder, die parallel aufsetzen. Ein Tier zeigte beidseits einen Erstkontakt mit der Klauenspitze. Nach der Klauenpflege fussten rechts 12 und links 11 Tiere mit dem Ballen, während die parallele Fussung von sechs Rindern rechts und von sieben links gezeigt wurde (**Tab. 4**).

Vor der Klauenpflege stellten neun Rinder an beiden Hintergliedmassen den Erstkontakt mit der Ballenregion und acht beidseits mittels „Parallelfussung“ her, während ein Tier beidseits zuerst mit der Klauenspitze den Boden berührte. Nach der Klauenpflege wandelte sich das Bild, indem 13 Tiere rechts und 15 Rinder links mit der Ballenregion den Erstkontakt herstellten. Die restlichen Tiere (fünf rechts, drei links) fussten „parallel“.

**Tab. 4:** Regionen des Erstkontaktes an den **lateralen Klauen** der Gliedmassen bei 18 Jungrindern **vor** und **nach** Klauenpflege.

Gliedmasse	Erstkontakt	Vor Klauenpflege		Nach Klauenpflege	
		rechts	links	rechts	links
<b>Vorder-</b>	Ballen	7	10	12	11
	„Parallel“	10	7	6	7
	Spitze	1	1	-	-
<b>Hinter-</b>	Ballen	9	9	13	15
	„Parallel“	8	8	5	3
	Spitze	1	1	-	-

#### 7.1.2.2 Mediale Klauen

An der rechten Vordergliedmasse landeten vor der Klauenpflege die Klauen von fünf Tieren mit der Spitze, von sieben „parallel“ und von sechs mit dem Ballen zuerst. An der linken Vordergliedmasse waren es zwei Tiere, die zuerst auf der Spitze aufsetzten, acht die parallel und acht, die mit dem Ballen fussten. Nach der Klauenpflege zeigten an der rechten Vordergliedmasse sieben Rinder eine parallele Fussung, während elf Tiere zuerst mit dem Ballen fussten. Bei der linken Gliedmasse zeigte ein Rind die Fussung über die Spitze, 9 Tiere fussten parallel und 8 Tiere setzten mit dem Ballen zuerst auf (**Tab. 5**).

An den rechten Hintergliedmassen wurde vor der Klauenpflege die parallele Fussung von elf und an der linken von zwölf Rinder gezeigt. Die restlichen Tiere fussten über den Ballen. Nach der Klauenpflege wandelte sich das Fussungsbild der medialen Klauen der Hintergliedmassen zu Gunsten der parallelen Fussung. Diese wurden nun an der rechten Beckengliedmasse von 14 und an der linken von 15 Tieren gezeigt. Die restlichen Tiere fussten mit dem Ballen. Weder vor noch nach der Klauenpflege wurde der Erstkontakt an den Beckengliedmassen über die Klauenspitzen hergestellt.

**Tab. 5:** Regionen des Erstkontaktes an den **medialen Klauen** der Gliedmassen bei 18 Jungrindern **vor** und **nach** Klauenpflege.

Gliedmasse	Erstkontakt	Vor Klauenpflege		Nach Klauenpflege	
		rechts	links	rechts	links
<b>Vorder-</b>	Ballen	6	8	11	8
	„Parallel“	7	8	7	9
	Spitze	5	2	0	1
<b>Hinter-</b>	Ballen	7	6	4	3
	„Parallel“	11	12	14	15
	Spitze	0	0	0	0

### 7.1.3 Zeitlich Verzögertes Aufsetzen der medialen Klaue

Zur Quantifizierung der zeitlichen Verzögerung des Aufsetzens der medialen Klaue im Vergleich zur lateralen Klaue wurden die hochfrequenzkinematografischen Filme, die nach funktioneller Klauenpflege erstellt worden waren, erneut ausgewertet. Als Wiedergabegeschwindigkeit wurde hierfür 1 Bild/s (Avg. Playbackrate = 1.0 fps) ausgewählt (**Abb 11**).

Bei dieser Geschwindigkeit konnte die zeitliche Differenz des Aufsetzens der medialen Klaue exakt gezählt und unter Berücksichtigung der realen Zeitdauer (500 Bilder/s = 0.002s/ Bild) in Echtzeit umgerechnet sowie statistisch ausgewertet und grafisch dargestellt werden.

An den Vordergliedmassen betrug die zeitliche Verzögerung (sofern nicht gleichzeitig gefusst wurde) rechts 0.015 ( $\pm$  0.011s) und links 0.013 ( $\pm$  0.008s) Sekunden. Die mediale Klaue der rechten Hintergliedmasse setzte durchschnittlich 0.026 ( $\pm$  0.006) Sekunden, die der linken Hintergliedmasse durchschnittlich 0.023 ( $\pm$  0.009) Sekunden später als die laterale Klaue auf. Die Unterschiede zwischen Vorder- und Hintergliedmassen waren signifikant ( $p \leq 0.05$ ).



**Abb. 11:** Detail-PC-Bildschirmansichten des MIDAS<sup>®</sup>-Players zur Auswertung der Filme. Zählwerk für Bildnummer (**F**), Zoomfunktion (**Z**). Zeitzähler in Sekunden (**T**), auf vier Stellen hinter dem Komma ablesbar. Oben: laterale Klaue hinten rechts. Unten: mediale Klaue hinten rechts.

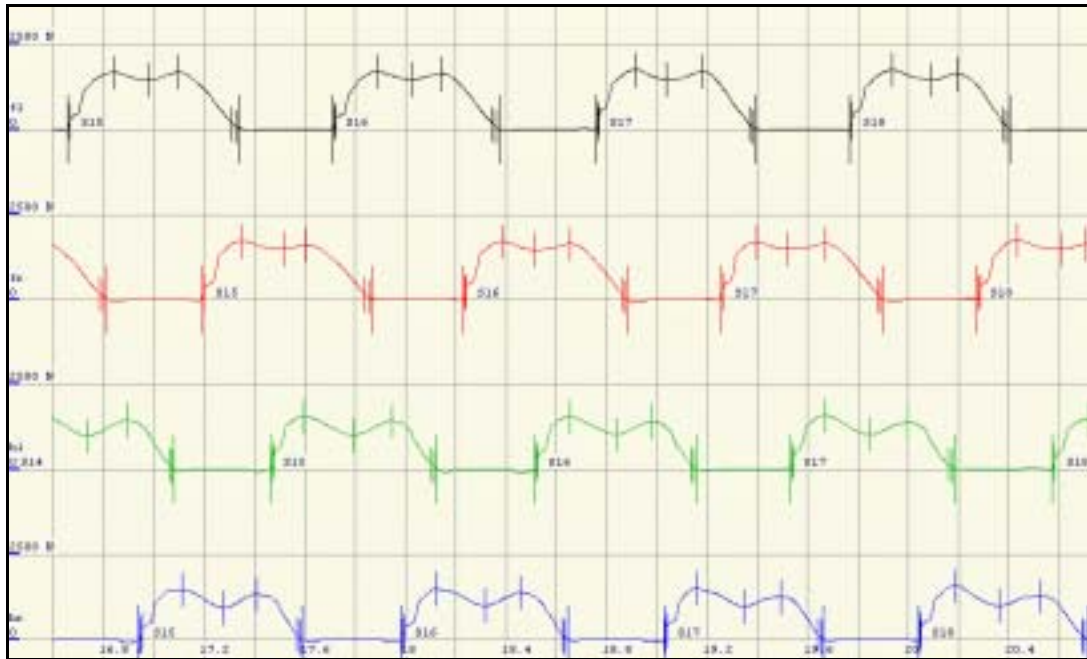


## 7.2 Messungen auf dem Laufband

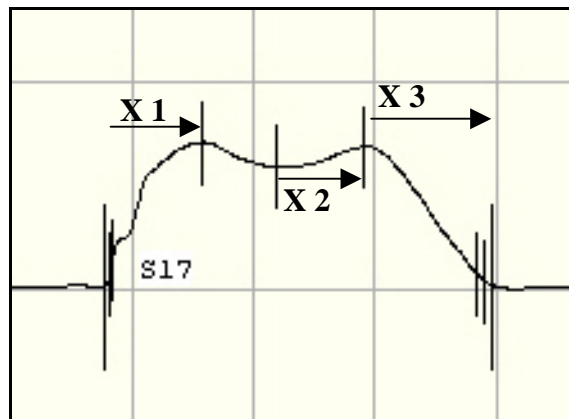
Aus technischen Gründen konnte nicht an allen der 18 Rinder Messungen zu den Aktionsphasen der Gliedmassen in der Bewegung sowie zum Vertikalimpuls vor und nach der Klauenpflege durchgeführt werden.

In **Abbildung 12** ist ein Auszug (Schritte 15-18) der Messung des Vertikalimpulses von Probandin Nr. 8 nach der Klauenpflege dargestellt. Grafisch aufgezeigt sind die Druckverläufe beider Vordergliedmassen (**fr, fl**) und beider Hintergliedmassen (**hr, hl**). Die Stützbeinphase stellte sich an allen Gliedmassen mit zweigipfligem Maximum dar. An den Vordergliedmassen (**fl, fr**) fiel die Belastung langsamer ab als an den Hintergliedmassen (**hl, hr**).

**Abbildung 13** zeigt die Vertikalimpulsmessung einer Gliedmasse von einem Schritt im Detail. Der Abschnitt zwischen X1 und X2 ist die Phase der Elastizität der Gliedmasse. Im Bereich des Elastizitätsmaximums (tiefster Punkt zwischen beiden Peaks) beginnt die Stemmphase (X2) des Bewegungszyklus.



**Abb. 12:** Auszug (Schritte 15 – 18) aus der Messung des Vertikalimpulses von Probandin Nr.8 nach Klauenpflege. Vorne links (**fl**), vorne rechts (**fr**), hinten links (**hl**), hinten rechts (**hr**). Schrittnummer (**S**), Y-Achse: Vertikalimpuls [**Ns**] (**Grenze: 2500 Ns**), X-Achse: Zeit [**sec**].



**Abb. 13:** Detailansicht aus Abb. 12

**X1** = Phase nach der Landung der Gliedmasse und Auffangen des Körpergewichtes. Verlagerung des Körperschwerpunktes nach unten. **X2** = Abstossen der Gliedmasse mit Verlagerung des Körperschwerpunktes nach oben. **X3** = Körperschwerpunkt an höchstem Punkt angelangt. Verlagerung des Körpergewichtes auf die kontralaterale Gliedmasse. Übergang in die Hangbeinphase.

### 7.2.1 Geschwindigkeit des Laufbandes

Die Laufbandgeschwindigkeit wurde anhand der Regelmässigkeit des Kurvenverlaufes der Vertikalimpulse für jedes Tier individuell reguliert. Vor der Klauenpflege liefen die Rinder bei  $1.40 \text{ m/s} \pm 0.09$  und danach bei  $1.33 \text{ m/s} \pm 0.03$  (**Tab. 6**). Diese Unterschiede der Geschwindigkeit waren jedoch nicht signifikant ( $p = 0.09$ ).

### 7.2.2 Schrittfrequenz

Die Schrittfrequenz lag vor der Klauenpflege bei  $55.00 \pm 2.70$  pro Minute und änderte sich, mit  $55.08 \pm 3.20$  Schritten pro Minute, nach Klauenpflege nicht signifikant ( $p = 0.95$ ) (**Tab. 6**).

**Tab. 6:** Übersicht über die Geschwindigkeit [m/s] des Laufbandes und der Schrittfrequenz der neun Rinder während der Kraftmessungen vor und nach der Klauenpflege.

	Vor Klauenpflege	Nach Klauenpflege
Geschwindigkeit [m/s]	$1.40 \pm 0.09$	$1.33 \pm 0.03$
Schrittfrequenz [Schritte/min]	$55.00 \pm 2.70$	$55.08 \pm 3.20$

## 7.2.3 Stützbeinphase

### 7.2.3.1 Vordergliedmassen

Die Stützbeinphase der linken Vordergliedmasse dauerte vor der Klauenpflege  $0.70 \pm 0.03$  Sekunden und änderte sich mit  $0.68 \pm 0.09$  Sekunden nach der Pflege nicht signifikant ( $p = 0.57$ ). An der rechten Vordergliedmasse betrug die Dauer der Stützbeinphase vor der Klauenpflege  $0.70 \pm 0.03$  Sekunden und änderte sich mit  $0.67 \pm 0.09$  Sekunden danach nicht signifikant ( $p = 0.38$ ) (**Tab. 7**).

### 7.2.3.2 Hintergliedmassen

Die Stützbeinphase der linken Hintergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $0.69 \pm 0.02$  Sekunden und änderte sich nach der Klauenpflege mit  $0.67 \pm 0.08$  Sekunden nicht signifikant ( $p = 0.42$ ). Die Stützbeinphase der rechten Hintergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $0.69 \pm 0.03$  Sekunden und änderte sich nach der Pflege mit  $0.66 \pm 0.08$  Sekunden nicht signifikant ( $p = 0.30$ ) (**Tab. 8**).

Die Unterschiede der Stützbeinphase von linker Vordergliedmasse und Hintergliedmasse waren nicht signifikant ( $p = 0.11$ ). Die Dauer der Stützbeinphasen von rechter Vordergliedmasse und Hintergliedmasse waren identisch.

## 7.2.4 Hangbeinphase

### 7.2.4.1 Vordergliedmassen

Die Dauer der Hangbeinphase der linken Vordergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $0.39 \pm 0.02$  Sekunden und änderte sich nach der Klauenpflege mit  $0.38 \pm 0.05$  Sekunden nicht signifikant ( $p = 0.33$ ). Die Hangbeinphase der rechten Vordergliedmasse dauerte vor der Klauenpflege  $0.39 \pm 0.02$  Sekunden und änderte sich nach der Pflege mit  $0.38 \pm 0.05$  Sekunden nicht signifikant ( $p = 0.71$ ) (**Tab. 7**).

### 7.2.4.2 Hintergliedmassen

Die Dauer der Hangbeinphase der linken Hintergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $0.40 \pm 0.02$  Sekunden und änderte sich danach mit  $0.39 \pm 0.06$  Sekunden nicht signifikant ( $p = 0.52$ ). Die Hangbeinphase der rechten Hintergliedmasse dauerte vor der Klauenpflege  $0.40 \pm 0.02$  Sekunden und änderte sich danach mit  $0.40 \pm 0.06$  Sekunden nicht signifikant ( $p = 0.79$ ) (**Tab. 8**).

Die Unterschiede der Hangbeinphasen von linker Vordergliedmasse und Hintergliedmasse ( $p = 0.12$ ) sowie rechter Vorder- und Hintergliedmasse ( $p = 0.13$ ) waren nicht signifikant.

## 7.2.5 Vertikalimpuls

### 7.2.5.1 Vordergliedmassen

Der Vertikalimpuls der linken Vordergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $938.90 \pm 100.70$  Ns und danach  $932.70 \pm 181.60$  Ns. Die Unterschiede waren nicht signifikant ( $p = 0.90$ ). Der Vertikalimpuls der rechten Vordergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $959.90 \pm 116.10$  Ns und danach  $905.40 \pm 200.40$  Ns. Die Unterschiede waren nicht signifikant ( $p = 0.32$ ) (**Tab. 7**).

### 7.2.5.2 Hintergliedmassen

Der Vertikalimpuls der linken Hintergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $770.80 \pm 114.60$  Ns und danach  $769.50 \pm 162.30$  Ns. Die Unterschiede waren nicht signifikant ( $p = 0.97$ ). Der Vertikalimpuls der rechten Hintergliedmasse betrug vor der Klauenpflege  $768.50 \pm 104.40$  Ns und danach  $737.60 \pm 152.90$  Ns. Die Unterschiede waren nicht signifikant ( $p = 0.44$ ) (**Tab. 8**).

Die Unterschiede der Vertikalimpulse zwischen Vordergliedmassen und Hintergliedmasse waren signifikant ( $p < 0.0001$ ).

Die funktionelle Klauenpflege hatte keinen Einfluss auf den Vertikalimpuls der Gliedmassen.

**Tab. 7:** Dauer der Stütz- und Hangbeinphase [s] sowie des Vertikalimpulses [Ns] an den Vordergliedmassen bei 9 Rindern vor und nach Klauenpflege.

<b>Schultergliedmassen</b>		
	<b>Vor Klauenpflege</b>	<b>Nach Klauenpflege</b>
<b>Stützbeinphase [s]</b>		
Links	0.70 ± 0.03	0.68 ± 0.09
Rechts	0.70 ± 0.03	0.67 ± 0.09
<b>Hangbeinphase [s]</b>		
Links	0.39 ± 0.02	0.38 ± 0.05
Rechts	0.39 ± 0.02	0.38 ± 0.05
<b>Vertikalimpuls [Ns]</b>		
Links	938.90 ± 100.70	932.70 ± 181.60
Rechts	959.90 ± 116.10	905.40 ± 200.40

**Tab. 8:** Dauer der Stütz- und Hangbeinphase [s] sowie des Vertikalimpulses [Ns] an den Hintergliedmassen bei 9 Rindern vor und nach Klauenpflege.

<b>Hintergliedmassen</b>		
	<b>Vor Klauenpflege</b>	<b>Nach Klauenpflege</b>
<b>Stützbeinphasen [s]</b>		
Links	0.69 ± 0.02	0.67 ± 0.08
Rechts	0.69 ± 0.03	0.66 ± 0.08
<b>Hangbeinphasen [s]</b>		
Links	0.40 ± 0.02	0.39 ± 0.06
Rechts	0.40 ± 0.02	0.40 ± 0.06
<b>Vertikalimpuls [Ns]</b>		
Links	770.80 ± 114.80	769.50 ± 162.30
Rechts	768.50 ± 104.40	737.60 ± 152.90

### **7.2.6 Prozentuale Belastung der Vorder- und Hintergliedmassen**

Anhand der ermittelten Vertikalimpulse liess sich zusätzlich auch die prozentuale Belastung der Vorder- und der Hintergliedmassen, sowohl vor als auch nach der Klauenpflege, errechnen. So entfielen vor der Klauenpflege ca. 55.20 % des Gesamtvertikalimpulses auf die Vordergliedmassen, und 44.80 % auf die Hintergliedmassen. Nach Durchführung der Klauenpflege entfielen 54.90 % des Gesamtimpulses auf die Vordergliedmassen und 45.10 % auf die Hintergliedmassen.



## 8 DISKUSSION

Die Untersuchung zeigte, dass Junginder nach entsprechender Angewöhnung problemlos, frei oder an einem Halfter fixiert, im Schritt auf dem Laufband gehen und untersucht werden können. Die individuelle Betreuung der Rinder trug vermutlich dazu bei, dass die Tiere die für sie ungewohnten Situationen gut bewältigten. Bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.36 ( $\pm 0.06$ ) m/s und einer Schrittfrequenz von 55 ( $\pm 2.7$ ) pro Minute zeigten alle Rinder einen regelmässigen Schritt. Wie bereits beim Pferd beschrieben (BUCHNER et al., 1995) waren zwei bis drei Probegänge ausreichend, damit sich die Tiere an das Gehen auf dem Laufband gewöhnten. Die Rinder zeigten, wenn die Fixation am Kopf (Halfter) unter Zug stand, ein verändertes Bewegungsmuster. Inwieweit das gezeigte Bewegungsmuster als natürlich angesehen werden kann (LEACH und DREVEMO, 1991) bedarf weiterer Untersuchungen. Bei der Beobachtung mit blossen Auge waren keine Unterschiede zum Gehen auf festem Untergrund festzustellen.

Die Dokumentation der Fussung der Jungrinder gelang mit der Hochfrequenzkamera zufrieden stellend und zeigte eindrucksvoll die Details des Fussungsvorganges. Da nur eine Kamera zur Verfügung stand, musste diese zunächst zwischen den einzelnen Position rotiert und jeweils neu auf die Beleuchtungsverhältnisse eingestellt werden, was sehr zeitintensiv war. Später wurden dann alle Rinder einer Gruppe an einer Kameraposition gefilmt, bevor diese gewechselt wurde. Die geringe maximale Auflösung der Einzelbilder von nur 320 x 280 Pixeln erschwerte die Auswertung. Die Grösse des Endlosspeichers von 220 MB schränkte bei oben genannter Auflösung die Aufnahmedauer erheblich ein.

Das Fussungsmuster der Zehen entsprach am Vorderbein den anatomischen Gegebenheiten, die durch den Zug der von lateral kommenden Strecksehnen und die

Achsendrehung im Radius nach lateral (SCHRAML, 1925) bedingt ist. An den Beckengliedmassen wurden die Gliedmassen bis hin zur Medianen geführt. Die Fussung erfolgte nachfolgend leicht seitwärts davon. Auch hier wurden die Zehen jedoch in Aussenrotation, entsprechend den lateral verlaufenden Zehenstreckern und den anatomischen Gegebenheiten (FESSL, 1974), aufgesetzt.

Hinsichtlich der Bewegung der Klauen konnte eine Erweiterung des Zwischenklauenspaltes in der Mitte der Hangbeinphase (FESSL, 1974) nicht bestätigt werden. Dagegen war zu sehen, dass die Klauenspitzen der jeweiligen Gliedmasse kurz vor dem Auffussen medial stärker als lateral von den Streckmuskeln nach oben gezogen wurden und die Erweiterung des Zwischenklauenraumes bei allen Tieren hauptsächlich passiv durch die Belastung der Gliedmasse auftrat. Dies stellte auch SCOTT (1988) fest.

In der vorliegenden Untersuchung berührten die Aussenklauen sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmassen in der Regel den Boden zuerst. Der Erstkontakt wurde vorwiegend mit der Ballenregion hergestellt. Die auftretenden Vertikalkräfte wurden also in der ersten Phase der Fussung vom Ballen der lateralen Klaue übernommen. Die Innenklauen wurden mit einer zeitlichen Verzögerung passiv belastet und erst mit beginnender Stemmphase zum Tragen herangezogen. Bezüglich der Beckengliedmassen bestätigten die hochfrequenzkinematografischen Aufnahmen während der sogenannten Heel-strike-Phase die dynamischen Druckmessungen von VAN DER TOOL et al. (2003). Die Vorgänge beim weiteren Ablauf der Stützbeinphase könnten nur dann verglichen werden, wenn man Hochfrequenzkinematografie und Druckmessungen für beide klauen simultan durchführen würde. Immerhin zeigte sich die Hochfrequenzkinematografie als visuelle Bestätigung der Druckmessungen von der Tols et al. (2003).

Für die Schultergliedmassen konnte im Gegensatz zu bisherigen Untersuchungen ebenfalls die Erstbelastung der Aussenklauen dokumentiert werden. Dies dürfte möglicherweise auch auf einen anatomischen Längenunterschied zwischen latera-

ler und medialer Zehe (NACAMBO et al., 2004; SCHWARZMANN, 2005) zurückzuführen sein. Die Innenklauen setzten an den Vordergliedmassen jedoch signifikant früher als an den Hintergliedmassen auf (0.013 – 0.015 s zu 0.023 – 0.026 s). Weiter konnte das gleichzeitige Aufsetzen von Innen- und Aussenklaue an den Schultergliedmassen häufiger als an den Hintergliedmassen beobachtet werden. An den Vordergliedmassen findet demnach keine eindeutige Überbelastung der Aussenklauen statt. Im Gegensatz zu den von ALSLEBEN ET AL. (2003) sowie HUTH ET AL. (2004, 2005) gemachten Beobachtungen wird in der Bewegung bei Jungrindern die Aussenklaue zuerst und vermutlich stärker als die Innenklaue belastet.

An den Hintergliedmassen (VAN DER TOL et al., 2002; 2003; 2004) spielt hinsichtlich der Überlastung der Aussenklaue wohl neben dem auch dort vorhandenen anatomischen Längenunterschied (NACAMBO et al., 2004; SCHWARZMANN, 2005) die Fussungsart eine grössere Rolle. Da die Rinder die Gliedmassen unter den Körper setzten, fusste die Aussenklaue schon von daher zuerst auf. Der physiologische Sinn dieser vermehrten Belastung der Aussenklaue ist nicht ersichtlich. Möglich ist, dass dadurch die Trittsicherheit auf weichem Boden verbessert und der Verlagerung des Körperschwerpunktes entgegen gewirkt wird.

Mittels des im Laufband integrierten Kraftmess-Systems (WEISHAUPT et al., 2002) konnten nicht die Belastungen der einzelnen Klauen, sondern nur die der einzelnen Gliedmassen bestimmt werden.

Bei der Belastungsmessung auf dem Laufband zeigte sich, dass sich die Kraft-Zeitkurve der Vordergliedmassen bei einigen Rindern nicht exakt als Kurve mit zweigipfligem Maximum darstellte. Unter Berücksichtigung der Konstanten Geschwindigkeit und der Gangart Schritt lässt dies auf eine gewisse Unsicherheit der Rinder schliessen. Der eingipflige Kurvenverlauf bei den Vordergliedmassen in der Arbeit von SCOTT (1988) kann gleichfalls auf eine unkonstante Geschwindigkeit (die Rinder liefen frei über die Kraftmessplatte = Kontaktzeit zu kurz, oder

zu lang) der Bewegung der Tiere zurückzuführen sein. Gleiches ist für die Arbeit von VAN DER TOOL et al. (2003) anzunehmen, weil auch hier keine Angaben zur Geschwindigkeit der Rinder gemacht wurden und bei dem gerichteten Führen an der Hand über die Kraftmesseinheit die Gefahr besteht, dass die Tiere diese zu kurz oder zu lange kontaktieren. Möglich ist jedoch auch, dass sich die Kraftkurve an den Schultergliedmassen von der der Beckengliedmassen unterscheidet. Dazu sind weitere Untersuchungen notwendig.

In der vorliegenden Arbeit wurden bei der Ermittlung der Gliedmassenbelastung nicht die Einzelkräfte der Kraft-Zeitkurven, sondern der Vertikalimpuls der jeweiligen Gliedmasse statistisch ausgewertet. Hierbei muss bei der Beurteilung der Verteilung der Belastung auf Vorder- und Hintergliedmassen anhand des Vertikalimpulses berücksichtigt werden, dass die ermittelten Werte als ungefähr angesehen werden müssen, weil im Schritt neben Zwei- auch Dreibeinstützen das Gangbild prägen und somit eine exakte Teilung zwischen Vorder- und Hintergliedmassen nicht wie im Trab (diagonale Zweibeinstützen) genau möglich ist (WEISHAUPT, 2005).

## 9 LITERATURVERZEICHNIS

**Albright, J. L. und C. W. Arave** (1997):

The Behaviour of Cattle. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

**Alsleben, B.** (2002):

Analyse der Zusammenhänge zwischen der Entwicklung von Körper- und Klauenmerkmalen sowie der Druckverteilung unter den Klauen bei Jungrindern der Rassen Deutsche Holsteins und Deutsches Braunvieh.  
Inaugural-Dissertation. Tierärztliche Hochschule Hannover.

**Alsleben, B., A. Russke, J. Wrede, H. Hamann und O. Distl** (2003):

Messung der Druckverteilung unter den Klauen bei Rindern der Rasse Deutsche Holsteins.  
Der Praktische Tierarzt, 84, 232-240.

**Brade, W.** (2002):

Verhaltenscharakteristika des Rindes und tiergerechte Rinderhaltung.  
Der Praktische Tierarzt, 83, 716-723.

**Buchner, H. H. F., H. C. M. Savelberg, H. C. Schamhardt, H. W. Merkens und A. Barnefeld** (1995):

Pferde auf dem Laufband: Kinematische Studie über Gewöhnungsdauer und Unterschiede zur Bewegung auf festem Boden, In: Orthopädie bei Huf- und Klauentieren, P. F. Knezevic, Schattauer Verlag, Stuttgart, Veterinärmedizinische Universität Wien.

**Cook, N. B., T. B. Bennett und K. V. Nordlund** (2004):

Effect of free stall surface on daily activity patterns in dairy cows with relevance to lameness prevalence.  
Journal of Dairy Science, 87, 2912-2922.

**Distl, O., H. Kräusslich, A. Mair, C. Spielmann und W. Diebschlag** (1990):

Computer-assisted analysis of pressure distribution on cattle claws.  
Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 97, 474-479.

**Dohne, W., K. H. Werner, B. Hertsch, H. Dallmer und H. Wöhrmann** (1990):

Vorstellung eines neuartigen Messsystems zur dynamografischen Untersuchung der Bewegung des Pferdes.  
Pferdeheilkunde, 6, 265-271.

**Edmonson, A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver und G. Webster (1989):**  
A Body Condition Scoring Chart for Holstein Dairy Cows.  
Journal of Dairy Science, 72, 68-78.

**Fessl, L. (1968):**  
Biometrische Untersuchungen der Bodenfläche der Rinderklauen und die Belastungsverteilung auf die Extremitätenpaare.  
Zentralblatt für Veterinärmedizin - Reihe A, 15, 844-860.

**Fessl, L. (1974):**  
Die Formveränderungen des Zwischenklauenraumes des Rindes bei der Lokomotion. Ein Beitrag zur Bewegungsanalyse des Rindes.  
Zentralblatt für Veterinärmedizin - Reihe A, 21, 592-602.

**Flower, F. C., D. J. Sanderson und D. M. Weary (2005):**  
Hoof pathologies influence kinematic measures of dairy cow gait.  
Journal of Dairy Science, 88, 3166-3173.

**Fredricson, I., G. Dalin, S. Drevemo, G. Hjerten, G. Nilsson und L. O. Alm (1975):**  
Ergonomic aspects of poor racetrack design.  
Equine Veterinary Journal, 7, 63-65.

**Fredricson, I., G. Dalin, S. Drevemo, G. Hjerten, L.O. Alm (1975):**  
A biomechanical approach to the geometric design of racetracks.  
Equine Veterinary Journal, 7, 91-96.

**Fredricson, I., S. Drevemo, G. Dalin, G. Hjerten, G. Rynde und G. Franzen (1983):**  
Treadmill for Equine Locomotion analysis.  
Equine Veterinary Journal, 15, 111-115.

**Giese, W. (1997):**  
Schwerpunkt und Gleichgewicht, In: Kompendium der Physik für Veterinärmediziner, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

**Girtler, D. (1988):**  
Untersuchungen über die Dauer des Bewegungszyklus - Stützbeinphase, Hangbeinphase, Phasenverschiebung bei lahmen und bewegungsgestörten Pferden im Schritt und Trab sowie kinematische Beurteilung deren Bewegungsmusters.  
Wiener Tierärztliche Monatsschrift, 5, 185-196.

**Greenough, P. R. und D. Weaver (1997):**

Lameness in Cattle. 3rd. Edition.  
Saunders Company, Philadelphia.

**Herlin, A. H. und S. Drevemo (1997):**

Investigation locomotion of dairy cows by use of high speed cinematography.  
Equine Veterinary Journal Supplement, 23, 106-109.

**Hubert, C. und O. Distl (1994):**

Untersuchung der Druckverteilung unter Rinderklauen der Rassen Deutsche Schwarzbunte und Deutsches Fleckvieh.  
Züchtungskunde, 66, 327-338.

**Huth, C., A. Russke, B. Alsleben, H. Hamann und O. Distl (2004):**

Body and claw measurements and pressure distribution under the claws in calves of different cattle breeds.  
Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 117, 316-326.

**Huth, C., A. Russke, B. Alsleben, H. Hamann und O. Distl (2005):**

Body and claw measurements and pressure distribution under the claws in heifers of different cattle breeds.  
Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 118, 150-159.

**Jenkins, F. A. (1971):**

Journal of Zoology, 165, 303. Zitiert aus SCOTT, G.B. (1988) Studies of the gait of Friesian heifer cattle.

**Kehler, W. und T. Gerwing (2004):**

Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of german holstein cows.  
Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija, 103-104.

**Knezevic, P. F. (1985):**

Zur Geschichte der Bewegungslehre des Pferdes - eine historische Betrachtung der Untersuchungstechniken.  
Wiener Tierärztliche Monatsschrift, 72, 399-405.

**Knezevic, P. F., D. Girtler, J. Kastner und S. Holzreiter (1987):**

Warum Bewegungsanalyse ?  
Monatshefte für Veterinärmedizin, 42, 82-86.

**Kolb, E.** (1989):

Spezielle Bewegungslehre. Lehrbuch der Physiologie der Haustiere, Teil II, 5. Auflage.

Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.

**Leach, D. H. und S. Drevemo** (1991):

Velocity-dependent changes in stride frequency and length of trotters on a treadmill.

Equine Exercise Physiology, 136-140.

**Lischer, C., H. Geyer, P. Ossent, K. Friedli und I. Näf** (1998):

Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen.

**Lischer, C., P. Ossent, M. Räber und H. Geyer** (2002):

Suspensory structures and supporting tissues of the third phalanx of cows and their relevance to the development of typical sole ulcers (Rusterholz ulcers).

The Veterinary Record, 151, 694-698.

**Lischer, C. J.** (2000):

Sohlengeschwüre beim Rind.

Habilitationsschrift. Veterinärchirurgische Klinik der Universität Zürich, Schweiz.

**Lischer, C. J. und P. Ossent** (2001):

Das Sohlengeschwür beim Rind: Eine Literaturübersicht.

Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 114, 13-21.

**Logue, D. N., J. E. Offer und R. D. McGovern** (2004):

The bovine digital cushion--how crucial is it to contusions on the bearing surface of the claw of the cow?

Vet Journal, 167, 220-221.

**Mair, A., W. Diebschlag, O. Distl und H. Kräusslich** (1988):

Measuring device for the analysis of pressure distribution on the foot soles of cattle.

Zentralblatt für Veterinärmedizin - Reihe A, 35, 696-704.

**Mair, A., C. Spielmann, W. Diebschlag, H. Krausslich, F. Graf und O. Distl** (1988):

Measuring the distribution of pressure on the bottom of cattle hooves--fundamental studies with a new type of measuring system.

Deutsche Tierärztliche Wochenschrift, 95, 325-328.



**Muybridge, E.** (1957):

Animal Locomotion. 2. Edition.  
Dover Publications, Inc., New York.

**Nacambo, S., M. Hässig, C. Lischer und K. Nuss** (2004):

Difference in length of the metacarpal and metatarsal condyles in calves and the correlation to claw size.  
13th International Symposium & Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia, 104-106.

**Nickel, R., E. Seiferle und J. Frewein** (2001):

Bewegungsapparat, In: Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, 7. durchgesehene Auflage,  
Parey Verlag, Berlin.

**Nuss, K. und A. Steiner** (2004):

Spezielle Diagnostik und Therapie, In: Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes, A. Fiedler, J. Maierl und K. Nuss, Schattauer Verlag, Stuttgart.

**Ossent, P., D. J. Peterse und H. C. Schamhardt** (1987):

Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb.  
Zentralblatt für Veterinärmedizin - Reihe A, 34, 296-300.

**Persson, S.** (1967):

Blood volume and working capacity in horses.  
Acta Veterinaria Scandinavia. Supplement, 1, 189.

**Phillips, C. J. und I. D. Morris** (2000):

The locomotion of dairy cows on concrete floors that are dry, wet, or covered with a slurry of excreta.  
Journal of Dairy Science, 83, 1767-1772.

**Phillips, C. J. und I. D. Morris** (2001):

The locomotion of dairy cows on floor surfaces with different frictional properties.  
Journal of Dairy Science, 84, 623-628.

**Prentice, D. E. und J. T. Wright** (1971):

A platform for measuring the walking forces exerted by the bovine foot.  
Journal of Physiology, 219, 2P-4P.

**Ruthe, H., H. Müller und F. Reinhard** (1997):

Der Huf, Lehrbuch des Hufbeschlages. 5. überarbeitete Auflage.  
Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

**Schwarzmann, B.** (2005):

Untersuchungen der Klauengrößen und der Zehenlänge bei Kälbern - klinische und röntgenologische Befunde.

Inaugural-Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität München.

**Scott, G. B.** (1988):

Studies of the gait of Friesian heifer cattle.

The Veterinary Record, 123, 245-248.

**Seebacher, M. und F. Fischerleitner** (1979):

Erfassung von dynamischen Kraft- und Dehnungssignalen an den Klauen beim Rind. Tagungsberichte.

1. Jahrestagung der Österreichischen Gesellschaft für biomedizinische Technik.

**Seeherman, J., Howard, J., Morris, E., O'Callaghan, W.** (1992):

Evaluation Techniques, In: Equine Surgery, J. A. Auer, Saunders Company, Philadelphia.

**Seiferle, E. und J. Frewein** (1984):

Statik und Dynamik, In: Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, R. Nickel, 7. durchgesehene Auflage, 2001,

Parey Verlag, Berlin.

**Toussaint Raven, E.** (1971):

Belastingsmeting aan de ondervoet van het rund.

Tijdschrift Duiergeneeskund, 1237-1243.

**Toussaint Raven, E.** (1985):

The principles of claw trimming.

The Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice, 1, 93-107.

**Toussaint Raven, E.** (1998):

Klauenpflege beim Rind. Deutsche Übersetzung von D. Döpfer. Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Hannover.

**Van der Tol, P. P.** (2004):

Persönliche Mitteilung.

**Van der Tol, P. P., J. H. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam und W. A. Weijs** (2002):

The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate.

Journal of Dairy Science, 85, 1476-1481.

**Van der Tol, P. P., J. H. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam und W. A. Weijs (2003):**

The Vertical Ground Reaction Force and the Pressure Distribution on the Claws of Dairy Cows While Walking on a Flat Substrate.

Journal of Dairy Science, 86, 2875-2883.

**Van der Tol, P. P., S.S. van der Beek, J.H. Metz, E.N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C.R. Braam und W. A. Weijs (2004):**

The effect of preventive trimming on weight bearing and force balance on the claws of dairy cattle.

Journal of Dairy Science, 87, 1732-1738.

**Walter, K. (1925):**

Der Bewegungsablauf an den freien Gliedmassen des Pferdes im Schritt, Trab und Galopp.

Nach Kinematographischen Aufnahmen dargestellt.

Inaugural-Dissertation. Tierärztliche Hochschule Berlin.

**Weishaupt, M. A. (2005):**

Persönliche Mitteilung.

**Weishaupt, M. A., H. P. Hogg, T. Wiestner, J. Denoth, E. Stussi und J. A. Auer (2002):**

Instrumented treadmill for measuring vertical ground reaction forces in horses.

American Journal of Veterinary Research, 63, 520-527.



## 10 DANKSAGUNG

Herrn PD Dr. Karl Nuss gilt mein Dank für die Überlassung des Themas, die Bereitstellung von Literatur, die Übernahme des Referats sowie die jederzeit gewährte Hilfe und Betreuung.

Herrn PD Dr. Ch. Lischer danke ich für die Übernahme des Korreferates und seine wertvollen Ratschläge.

Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. U Braun danke ich für die Erlaubnis zur Nutzung der Infrastruktur der Klinik für Nutztiere sowie der Übernahme der Kosten.

Herrn Prof. Dr. J. A Auer danke ich für die Möglichkeit der Benutzung des Leistungszentrums für Pferde der Pferdeklinik der Vetsuisse Fakultät Universität Zürich.

Herrn Prof. Dr. Heinz Inglin von der Zürcher Hochschule in Winterthur danke ich für die Bereitstellung der digitalen Hochfrequenzkamera, die Einführung in die Bedienung der Kamera, sowie die Hilfe bei Softwareproblemen.

Mein besonderer Dank gilt Herrn PD Dr. M. Weishaupt für die Einführung in die Verwendung des Laufbandes, für die Hilfe bei der Erstellung der Filmaufnahmen, die Durchführung der Kraftmessung sowie die Bereitstellung von Literatur zur Beschreibung des verwendeten Laufbandes.

Herrn PD Dr. Michael Hässig danke ich für die grosse Hilfe bei der Bewältigung der statistischen Analysen.

Einen wesentlichen Teil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben Frau cand. med. vet Andrina Bisaz, Frau med. vet Katja von Peinen und Herrn cand. med. vet Andreas Bucher, in Form der Betreuung der Rinder während der Eingewöhnungszeit an das Laufband sowie während der Filmaufnahmen. Ihnen gilt mein spezieller Dank.

Herrn Thomas Wilbs (Geschäftsführer der Firma Alfer<sup>®</sup> GmbH, Wutöschingen, Deutschland) gilt mein Dank für die Überlassung des Werkzeugs zur Herstellung von Haltebändern für die Kraftmessung.

Für die Bereitstellung eines Klauenpflegestandes danke ich Herr Karl Berwerger, Kappelerstr. 1, 8926 Uerzlikon ganz herzlich.

Ausserordentlich dankbar bin ich den Tierbesitzern, die mir ihre Tiere für diese Arbeit zur Verfügung gestellt haben :

Betriebsgemeinschaft Huber + Nussbaum, Gfellerhof, 8051 Zürich.  
Familie Guido Hollenstein, Boxloo, 9512 Rossrüti/ SG.  
Toni + Regula Stadler, Wiedenhub, 8577 Schönholzerswilen/ TG.  
Familie Karl Petrig, Glattalstr. 400, 8153 Rümlang/ ZH.  
Herrn Alfred Forrer und Frau Anna Gasser, Flooz, 9620 Lichtensteig/ SG.

Meiner Kollegin Frau Isabell Imboden danke ich für die Übersetzung des Kongressbeitrages (Maribor, Slowenien 2004).

Herrn PD Dr. Ruedi Waelchi, Kanada danke ich herzlich für die Erstellung der Zusammenfassung in englischer Sprache.

Meinem Cousin Herrn Dr. med. dent. Ronan Bernard und Herrn Dr. med. vet Saidou Nacambo danke ich herzlich für die Erstellung der Zusammenfassung in französischer Sprache.

Den Chauffeuren des Tierspitals, Herrn Werner Holder, Herrn Alois Merkle und Herrn Kurt Oertle danke ich für die Hilfe bei den Transporten der Tiere. Weiter gilt mein Dank dem gesamten Pflegepersonal der Nutztierklinik für die Mithilfe bei der Betreuung der Tiere während deren Aufenthaltes.

Frau Sarah Meyer (Hausdienst des Tierspitals) danke ich für die Bereitstellung des Industriestaubsaugers zur Reinhaltung des Laufbandes.

Mein Dank gilt auch dem Kantonalen Veterinäramt Zürich (Frau Dr. R. Vogel) für die Genehmigung meiner Untersuchungen.

# LEBENS LAUF

## **Sven Werner Meyer**

geboren am 05. Dezember 1974  
in Waldshut-Tiengen, Baden-Württemberg, Deutschland  
Nationalität: deutsch  
Eltern: Werner und Hannelore Meyer (geb. Reissner)

1981 – 1985  
Grundschule in Tiengen  
1985 – 1991  
Sekundarstufe (Realschule) Tiengen, Mittlere Reife  
1991 – 1994  
Ernährungswissenschaftliches Gymnasium Waldshut, Matur (Abitur)

Dezember 1994 - Februar 1996  
Zivildienst beim Caritas - Verband Waldshut e.V.

November 1996  
Beginn des Studiums der Veterinärmedizin  
an der Freien Universität in Berlin

Oktober 1999 - Februar 2000  
Teilnehmer am ERASMUS-Programm  
an der Vetsuisse-Fakultät der Universität Zürich

März 2002  
Approbation

April 2002 – Oktober 2005  
Anstellung als Doktorand/Assistent  
an der Vetsuisse-Fakultät Universität Zürich.  
Departement für Nutztiere (Prof. Dr. Dr. h.c. U. Braun).  
Abteilung Nutztierchirurgie (PD. Dr. K. Nuss)

November 2005  
Anstellung als Assistent in der Tierarztpraxis  
Dres. med. vet. FVH A.+B. Mittelholzer  
9050 Appenzell.