

Aus der Klinik für Wiederkäuer
Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie
(Vorstand: Prof. Dr. W. Klee)
der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Arbeit unter der Leitung von Prof. Dr. K. Nuss

Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Schultergliedmaßen von Fleckviehrindern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

von
Bruno Sigmund
aus Furth im Wald

München 2009

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. J. Braun

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. K. Nuss

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Maierl

Tag der Promotion: 17. Juli 2009

Meinen lieben Eltern

Inhaltsverzeichnis

I	EINLEITUNG	1
II	LITERATURÜBERSICHT	2
1.	Messungen am Hornschuh	2
1.1	Sohlendicke	3
1.2	Dorsalwandlänge	6
1.3	Dorsalwandwinkel.....	9
1.4	Ballenlänge / „Trachtenwandlänge“	11
1.5	Ballenhöhe.....	13
1.6	Ballenbreite	14
1.7	Sohlenlänge	15
1.8	Klauenlänge.....	16
1.9	Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenlänge.....	16
1.10	Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe.....	16
1.11	Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge	17
1.12	Sohlenbreite / „Klauenbreite“	17
1.13	Sohlenrand/Tragrandumfang, Kronrandumfang	19
1.14	Sohlenfläche / „Belastungsfläche“	19
1.15	Klauenvolumina	22
1.16	Ballenwinkel	23
1.17	Diagonale	23
2.	Messungen an der Lederhaut nach dem Ausschuh der Klauen.....	25
3.	Klauenkrankheiten an der Schultergliedmaße	26
III	MATERIAL UND METHODEN	31
1.	Ausgangshypothesen.....	31
2.	Präparate.....	31
3.	Messungen und Messinstrumente	32
4.	Referenzmaß Sohlendicke.....	34
5.	Messungen am Hornschuh	38
5.1	Sohlendicke	38

5.2	Dorsalwandlänge.....	39
5.3	Dorsalwandwinkel.....	40
5.4	Ballenlänge.....	41
5.5	Ballenhöhe.....	41
5.6	Ballenbreite	42
5.7	Sohlenlänge	43
5.8	Klauenlänge.....	43
6.	Messungen am Sohlenabdruck.....	44
6.1	Sohlenlänge und Sohlenbreite.....	44
6.2	Sohleumfang und Sohlenfläche.....	45
6.2.1	Beschreibung der Morphometrie / planimetrischen Berechnungen.....	46
7.	Messungen an der Lederhaut	47
7.1	Exungulation	47
7.2	Dorsalwandlänge.....	48
7.3	Dorsalwandwinkel.....	49
7.4	Ballenhöhe.....	49
7.5	Klauenlänge.....	50
8.	Kronsaumbeurteilung	50
9.	Statistische Auswertungen	51
IV	ERGEBNISSE	53
1.	Hornschuh- und Lederhautabmessungen	54
1.1	Ursprüngliche Sohlendicke	54
1.2	Dorsalwandlänge.....	56
1.3	Dorsalwandwinkel.....	57
1.4	Ballenlänge.....	59
1.5	Ballenhöhe.....	60
1.6	Ballenbreite	61
1.7	Sohlenlänge	62
1.8	Klauenlänge.....	63
1.9	Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenlänge.....	64
1.10	Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe.....	65
1.11	Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge	65
2.	Messungen am Sohlenabdruck.....	66

2.1	Sohlenlänge und Sohlenbreite.....	66
2.2	Sohlenumfang und Sohlenfläche.....	67
3.	Kronsaumbeurteilung.....	69
4.	Zusammenfassung der Ergebnisse.....	71
4.1	Sohlendicke.....	71
4.2	Kronsaumverlauf.....	72
4.3	Unterschiede zwischen den medialen und lateralen Klauen.....	72
4.4	Geschlechtsunterschiede.....	72
4.5	Altersunterschiede.....	72
V	DISKUSSION.....	73
1.1	Sohlendicke.....	74
1.2	Dorsalwandlänge.....	75
1.3	Dorsalwandwinkel.....	76
1.4	Ballenhöhe und Ballenlänge.....	77
1.5	Ballenbreite.....	77
1.6	Sohlenlänge und Klauenlänge.....	77
1.7	Sohlenumfang und Sohlenfläche.....	78
2.	Unterschiede zwischen den Klauen der Becken- und der Schultergliedmaßen.....	81
3.	Klauenerkrankungen und Klauenmaße.....	83
4.	Fazit.....	85
VI	ZUSAMMENFASSUNG.....	87
VII	SUMMARY.....	89
VIII	LITERATURVERZEICHNIS.....	91
	LEBENS LAUF.....	98
	DANKSAGUNG.....	99

I Einleitung

Rinderklauen wurden seit langer Zeit aus verschiedensten Gründen vermessen (Wyssmann 1902; Fischer 1935; Knezevic 1960; Schleiter 1966; Clemente 1989; Toussaint Raven 1998). Häufig zielten die Klauenmessungen auf die Verbesserung der Klauengesundheit in der Rinderzucht ab (Huber et al. 1984; Distl 1996). Klauenmessungen dienten aber auch der Erforschung der Ursachen von Klauenerkrankungen (Martig et al. 1979; Andersson und Lundström 1981; Nuss und Paulus 2006). Einige Untersuchungen sammelten objektive Daten als Grundlage für die funktionelle Klauenpflege (Kehler und Sohr 2000; Paulus 2004). Da Klauenmaße oftmals mit relativ ungenauen Methoden gemessen wurden (Huber et al. 1984) oder kein einheitliches Referenzmaß verwendet worden war, lassen sich die Klauenmaße bisher nur bedingt vergleichen.

Bei der Suche nach den Ursachen von Sohlengeschwüren wurde seit jeher ein Größenunterschied zwischen der Außen- und Innenklaue an den Hintergliedmaßen beobachtet (Rusterholz 1920; Habacher 1948; Fessler 1968; Fessler 1980; Sohr 1999; Nuss und Paulus 2006). Damit im Zusammenhang stand das bevorzugte Auftreten von Erkrankungen an der größeren Außenklaue (Greenough und Weaver 1997; Dirksen 2002; Nuss und Steiner 2004ab). An den Schultergliedmaßen wurde die Innenklaue als die stärker belastete Klaue angesehen, was sich im Auftreten von Sohlengeschwüren zeigte (Berger 1988; Köstlin und Nuss 1988).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, aufbauend auf den Arbeiten von Paulus (2004), der die „definierte“ Sohlendicke als Bezugsgröße einführte, die Klauen der Schultergliedmaßen zu vermessen. Dadurch sollten sich die erhaltenen Werte reproduzieren und direkt mit der Vorgängerarbeit (Nuss und Paulus 2006; Paulus und Nuss 2006) vergleichen lassen. Die Messungen dienten auch dem Zweck, gegebenenfalls Modifikationen der funktionellen Klauenpflege vorzuschlagen. Die zu den Klauenmaßen der Beckengliedmaßen bestehenden Unterschiede sollten herausgearbeitet und mögliche Risikofaktoren für Erkrankungen, insbesondere eine Asymmetrie zwischen der lateralen und medialen Klaue der Schultergliedmaßen, identifiziert werden.

II Literaturübersicht

Die starke Zunahme der Klauen- und Gliedmaßenerkrankungen in den Laufstallhaltungen spiegelt sich in den Publikationen der letzten Jahre wider (Somers et al. 2003; Hultgren et al. 2004; Sogstad et al. 2005; Espejo et al. 2006; Fjeldaas et al. 2007; Holzhauer 2007; Thomsen et al. 2007). Hinsichtlich der makroskopischen Anatomie der Klauen (Habermehl 1984; Schaller 1992; Budras 2002) kamen in den letzten Jahren wenig neue Befunde hinzu. Deshalb wird in der vorliegenden Arbeit auf eine eigenständige Darstellung der Anatomie der Klaue verzichtet. Hinzugekommene Erkenntnisse (Budras 2002; Nuss und Paulus 2006; Muggli 2007; Nacambo et al. 2007; Telezhenko et al. 2008) und anatomische Gegebenheiten, die zur Ermittlung der Klauenmaßen wesentlich sind, werden – insbesondere bei der Darstellung der Messpunkte – jedoch berücksichtigt.

Die nachfolgende Literaturübersicht gliedert sich in 1) Messungen am Hornschuh, 2) Messungen an der Lederhaut (Korium) sowie 3) in eine Darstellung der Häufigkeit und der Verteilung der Erkrankungen an den Klauen der Schultergliedmaßen.

1. Messungen am Hornschuh

Die am häufigsten verwendeten Messparameter zur Beschreibung der Größe und Form der Klaue waren die Dorsalwandlänge, der Dorsalwandwinkel, die Klauenlänge, die Ballenhöhe und Ballenlänge (Abb. 1) sowie die Parameter Sohlenlänge, Sohlenbreite und die daraus resultierende Sohlen-, Fußungs-, oder Belastungsfläche (Vermunt und Greenough 1995; Nuss und Paulus 2006).

Die genannten Parameter wurden jedoch anhand unterschiedlicher Messtechniken (Schleiter und Günther 1967; Leuenberger et al. 1978; Fessler 1980; Sohr 1999; Huth et al. 2005; Nuss und Paulus 2006), unterschiedlicher Instrumente und differierender Ausgangsmaterialien bestimmt. Messungen wurden an lebenden Tieren (Huber et al. 1984; Baumgartner 1988; Hinrichs et al. 2003; Nüske et al. 2003; Huth et al. 2005; Kremer et al. 2007) oder Präparaten (Fessler 1980; Paulus 2004), sowohl an gepflegten (Fessler 1980; Nuss und Paulus 2006; Fjeldaas et al. 2007) als auch an ungepflegten Klauen (Huber et al. 1984; Nüske et al. 2003; Kremer et al. 2007) vorgenommen, so dass sich kaum eine Arbeit exakt mit einer anderen vergleichen lässt.

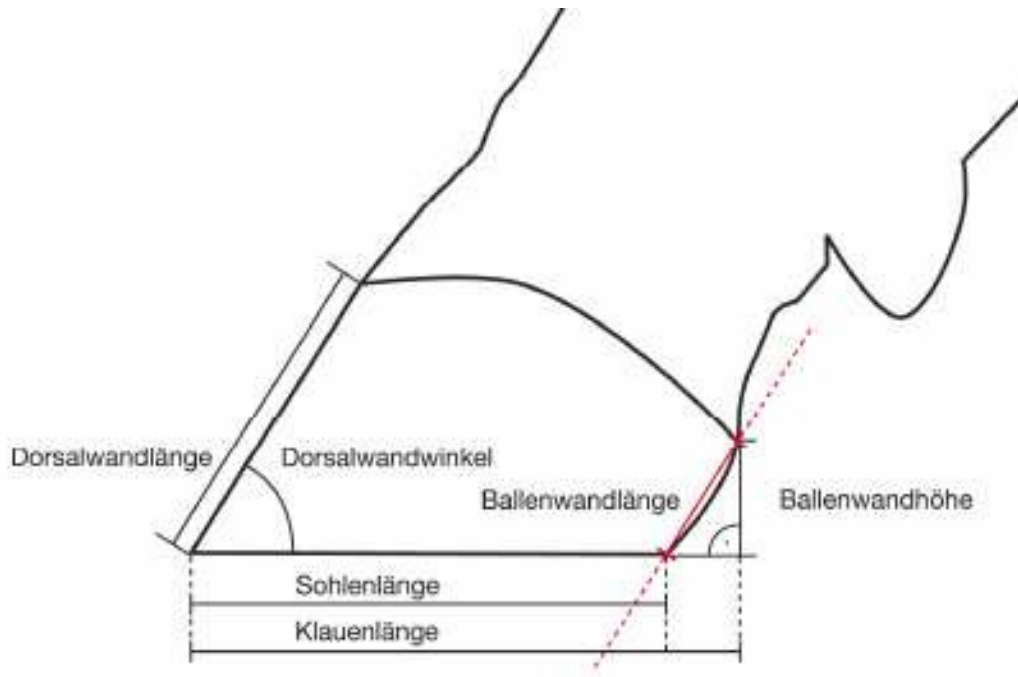


Abb. 1: Schematische Darstellung der von Paulus gemessenen Parameter in der Seitenansicht (Paulus, 2004)

Die Klauen der Beckengliedmaße wurden in der vorliegenden Literatur weitaus häufiger als die der Schultergliedmaße vermessen. Parameter der Vordergliedmaße wurden im Zuge der Vermessung aller acht Hauptklauen quasi nebenbei (siehe Tab. 1 und Tab. 22) erhoben. Untersuchungen, die sich ausschließlich den Schultergliedmaßen widmen, sind im Gegensatz zu den Beckengliedmaßen (Sohr 1999; Paulus 2004; Telezhenko et al. 2008) in der Literatur nicht zu finden. Die Ausführungen zur funktionellen Klauenpflege beziehen sich nahezu ausschließlich auf die Beckengliedmaßen (Toussaint Raven 1985).

Im Sprachgebrauch der Klauenpflege meint der Begriff „Länge“ häufig nur die Länge des Rückenteils der Klaue, die Dorsalwandlänge. Im Folgenden werden die exakten Bezeichnungen für diese und andere Längenparameter, unter anderem die Sohlen-, die Klauen- und die Ballenlänge, verwendet.

1.1 Sohlendicke

Nach Wyssmann (1902) sollte die Hornsohle durchschnittlich 6-7 mm dick sein. Nach palmar/plantar konnte die Sohlendicke auf 9 mm ansteigen (Wyssmann 1902). Fischer (1935) bohrte mit einem Drillbohrer an 34 ungepflegten Rinderfüßen in der Mitte der Sohle und des Ballens

sowie in der Klauenspitze der Hornsohle Löcher, an denen er mit einem dünnen Draht Messungen vornahm. Die Werte für die so ermittelte Sohlendicke schwankten zwischen 0,3 und 4,1 cm. Die Hornsohle war nach Habacher (1948) 5-10 mm dick und nahm gegen den Ballen an Stärke zu (Habacher 1948). Weiterhin wurden für die Dicke des Sohlenhorns im „palmaren/plantaren Sohlenbereich“ Werte von 8-15 mm angegeben (Greenough et al. 1990; Lischer 1998; Toussaint Raven 1998; Kofler und Kubber 2000). Eine Beibehaltung einer Sohlendicke von 5-7 mm an der Klauenspitze wurde bei Anwendung der Funktionellen Klauenpflege empfohlen (Toussaint Raven 1989).

Bei biometrischen Untersuchungen der Bodenfläche der Klauen von 115 Rindern versuchte Fessler (1968) vor den Messungen einen möglichst gleichartigen Korrekturzustand zu schaffen. Dazu setzte er mit einem Rinnmesser im Ballenteil und an der Klauenspitze eine Hornlücke und stellte anschließend mit einer Tellerschleifscheibe eine plane Sohlenfläche mit einer Sohlendicke von 6-8 mm her (Fessler 1968).

Ultrasonographische Messungen der Sohlendicke nahmen Kofler und Kubber (2000) vor. Ziel war die nicht-invasive Bestimmung der Sohlendicke. Schwierigkeiten ergaben sich daraus, dass die Ultraschallwellen das Sohlenhorn von über 10 mm Dicke nicht ausreichend gut durchdrangen. Zudem waren besonders die Klauen der Schultergliedmaßen lebender Tiere relativ trocken und dadurch wenig durchlässig für Ultraschall. Nach ultrasonographischen Untersuchungen von van Amstel et al. (2003), die Kühe aus Laufstallhaltung untersuchten, waren die Mittelwerte für die Sohlendicke an der Schultergliedmaße deutlich größer als an der Beckengliedmaße, wobei jeweils die laterale Klauensohle dicker war (van Amstel et al. 2003).

Eine so genannte „standardisierte Sohlendicke“ diente Paulus (2004) an Präparaten als Referenzgröße für Klauenmessungen. Das Herstellen dieser Sohlendicke erfolgte anhand von Tiefenmessungen an vier Löchern, die an definierten Stellen durch die Hornsohle bis zur Lederhaut gebohrt wurden (Abb. 2).

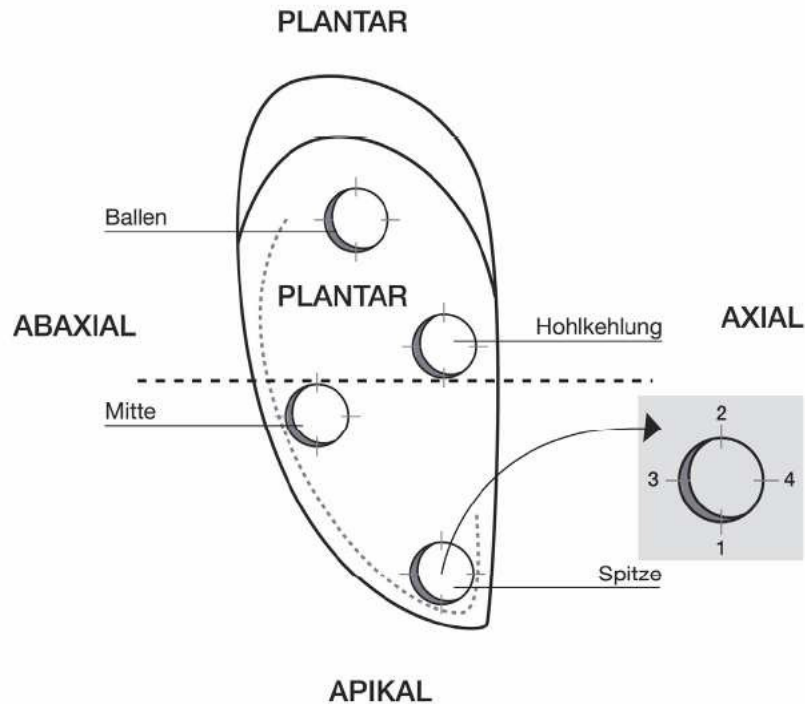


Abb. 2: Skizze der Sohlenfläche mit angebrachten Bohrlöchern; Paulus (2004)

Die Sohle wurde an der Klauenspitze auf 5 mm und am Ballen auf 8 mm Dicke zugeschliffen, in der Art und Weise, dass eine ebene Sohlenfläche entstand. An jedem Loch wurde in die Richtungen apikal, plantar, axial und abaxial mit einem Hakentiefmaß gemessen, indem der Haken lederhautseitig unter das Horn geschoben wurde. Die Sohlendicke nahm bei der lateralen und medialen Klaue einen vergleichbaren, leicht gewölbten Verlauf. Als überraschender Befund ergab sich, dass die standardisierte dicke Sohle der lateralen Klaue diejenige der medialen bei der Mehrzahl der Präparate nach distal überragte (Paulus 2004). Deshalb musste nach dem ersten Messdurchgang die Sohle der Außenklaue auf das Niveau der Innenklaue abgeschliffen und die Maße der Außenklaue erneut erhoben werden. Dabei ergaben sich für die Sohlendicke erwartungsgemäß stark verringerte Werte. Dies führte zur Hypothese, dass die Außenklaue weiter nach distal ragte. Für die Klauenpflege resultierte die Empfehlung, die Sohle der Innenklaue dicker (Dorsalwandlänge 75 mm + 3 mm Sicherheitsmaß + 5-7 mm Sohlendicke) zu belassen, damit die Außenklaue noch eine genügend dicke Sohle aufwies.

Andere Autoren ermittelten Werte für die Sohlendicke bei Kälbern im histologischen Schnitt (Brentano et al. 1979; Dämmrich et al. 1982). Räber et al. stellten fest, dass die Unterhaut an der lateralen und medialen Klaue nicht unterschiedlich dick war (Räber et al. 2004).

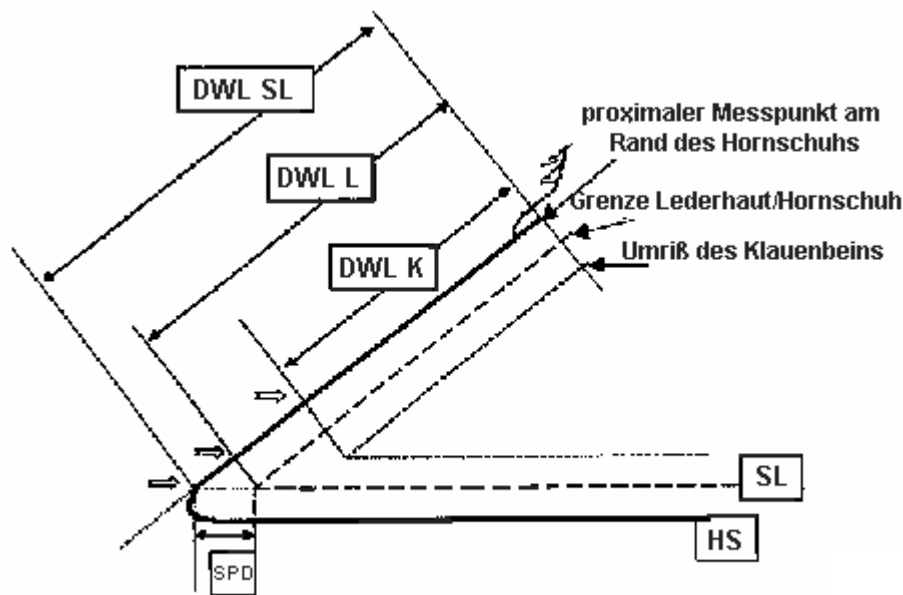
1.2 Dorsalwandlänge

Die Länge der Dorsalwand, anatomisch gesehen der Rückenteil der Klaue am Umschlagrand von der axialen zur abaxialen Wand (Habermehl 1984), stellt den Abstand zwischen dem Haut-Hornübergang am Kronsaum bis zur Klauenspitze dar. Sie wurde auch als Strecke, die vom Kronrand zur Fußungsfläche reicht, sowie als Länge der dorsalen Wand vom Kronsaum zur Sohlenfläche bezeichnet (Schwarzmann et al. 2007). Der proximale Messpunkt war in der vorliegenden Literatur nicht einheitlich definiert. Gewählt wurden die distale Begrenzung des Kronsaums (Huber 1983; Hahn et al. 1984; Baumgartner 1988; Hinrichs et al. 2003), das proximale Ende der unbehaarten Haut des Kronsaums (Smit et al. 1986; Ossent et al. 1987), der Übergang von der elastischen Haut des Kronsaums zum harten Hornschuh (Sohrt 1999; Paulus 2004), der Beginn des Saumbandes (Fessler 1980) oder die Kante der Dorsalwand zur Axialwand, am palpierbaren Beginn des Klauenhorns am Kronsaum (Huth et al. 2005).

In einem definierten Abstand von 10 mm zum Zwischenklauenspalt setzte Paulus (2004) mit einem wasserfesten Farbstift eine Markierung. Der Messschieber wurde parallel zum Interdigitalspalt bis zum zweiten Messpunkt an der Klauenspitze angelegt.

Die Bestimmung der Dorsalwandlänge wurde auch mit einem Meterstab, der in den Zwischenklauenspalt gehalten wurde (Leuenberger et al. 1978) oder durch Abgreifen mit einem Stechzirkel vorgenommen (Schneider 1980; Huber 1983; Baumgartner 1988; Distl und Schmid 1994). Letzterer wurde in Verbindung mit einem aufrollbaren Maßstab auch von Fessler (1980) verwendet. (Tab. 1). In der genannten Untersuchung wurde die Sohlenstärke nach der Schlachtung auf ein Referenzmaß von 6 mm korrigiert, damit die Dorsalwandlänge, aber auch Bodenfläche sowie die Länge und die Breite der Sohle verglichen werden konnten (Fessler 1980).

Die Methodik der Herstellung einer definierten Sohlendicke wurde später von Paulus (2004) aufgegriffen und präzisiert. Dadurch wurde eine einheitliche Bezugsgröße geschaffen, die es ermöglichte, Unterschiede zwischen den Abmessungen der lateralen und medialen Klaue festzustellen (Nuss und Paulus 2006, Paulus und Nuss 2006).



DWL K:	Dorsalwandlänge Klauenbeinspitze
DWL L:	Dorsalwandlänge Lederhautspitze
DWL SL:	Dorsalwandlänge Sohlenlederhautebene
SPD:	Spitzendicke
SL:	Sohlenlederhautlinie
HS:	Hornsohle
Kennzeichnung der distalen Messpunkte für die Dorsalwandlängen durch Pfeilmarkierung	

Abb. 3: Dorsalwandlängen nach Sohrt (1999). Schemazeichnung und Skizzenbeschriftung zur Darstellung der an den durchgesägten Außenklauen erhobenen Klauenmaße (Sohrt 1999; Kehler und Sohrt 2000).

Sohrt (1999) maß drei verschiedene Dorsalwandlängen an Schnittpräparaten von Klauen (Abb. 3), nämlich die Dorsalwandlänge über dem Klauenbein, die über der Lederhaut und die über der Verlängerung der Sohlenlederhautlinie. Die Dorsalwandlänge von ungepflegten Klauen von Deutschen Fleckviehbulen im Alter von sechs bis zwölf Monaten bestimmten Huber et al. (1984) und Hinrichs et al. (2003) (Tab. 1). Zwischen Vorder- und Hintergliedmaße konnten diese Autoren keinen signifikanten Unterschied feststellen. Bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte, die im Laufstall gehalten wurden, schwankte die Dorsalwandlänge an ungepflegten Klauen zwischen 65,5 und 74,7 mm (Distl und Schmid 1994). Die Dorsalwandlänge der gepflegten Klauen von Vordergliedmaßen skandinavischer Fleischrinder betrug im Mittelwert 84,0 mm (Fjeldaas et al. 2007).

Tab. 1: Mittelwerte für Dorsalwandlängen in Millimetern, ausgewählte Arbeiten.

Autor(en), (Jahr), Pflegestatus der Klauen	Tiere/Rasse	Durchschnittsalter in Monaten	Schultergliedmaßen medial/lateral	Beckengliedmaßen medial/lateral
Fessler (1980) „definierte Sohlendicke“	20 Fleckviehbullen	22,4	82,7 / 82,5	85,5 / 88,1
	10 Jungkalbinnen	16,7	69,5 / 68,1	68,9 / 71,9
	10 Jungkalbinnen	19,7	77,2 / 75,5	68,9 / 72,0
	10 Fleckviehkühe	78	83,4 / 84,6	79,5 / 83,2
	10 Fleckviehkühe	86	78,1 / 79,0	77,8 / 80,8
Andersson und Lundström (1981) Klauenpflege	241 Schwedisch-Friesische Rinder 353 Schwedisch Rot-weiße Rinder	> 24	80,0 / 77,5	84,8 / 85,6
Distl und Huber (1984) Keine Klauenpflege	235 Fleckviehbullen	6-12	65,4 *	64,7 *
Baumgartner (1988) Keine Klauenpflege	725 Jungkühe, die von 18 Jungbullen abstammen	>24	81,4 / 78,6	79,5 / 80,1
Distl und Schmid (1994) Keine Klauenpflege	28 Kühe Deutsche Schwarzbunte	Keine Angaben, gleiches Alter	65,5-74,7 **	64,1-73,5 **
Hinrichs et al. (2003) Keine Klauenpflege	798 Jungbullen, Deutsche Holstein 89 Angler Jungbullen	11,5-18	73,9 *	72,6 *
Nuss und Paulus (2006) Klauenpflege „definierte Sohlendicke“	40 Fleckvieh-Mastbullen	18		72,8 / 73,7
	20 Fleckvieh-Jungkühe	< 36		76,3 / 75,6
	20 Fleckvieh-Alt-kühe	> 36		77,8 / 78,0
Fjeldaas und Nafstad et al. (2007) Klauenpflege	334 Kühe Norwegische Fleischrinderrassen	Keine Angabe	84,0 *	89,0 *

* Mittelwerte nicht zwischen lateralen und medialen Klauen unterschieden; ** Lediglich Angabe der Minima bis Maxima der Mittelwerte, dabei nicht zwischen lateralen und medialen Klauen unterschieden.

Nach den Untersuchungen von Nüske und Scholz (2003) zeigte sich im Alter von 21 Monaten ein deutlicher Einfluss des Geschlechts auf die Dorsalwandlänge. Weibliche Tiere wiesen dann größere Werte als männliche auf.

Die Messwerte der Beckengliedmaßen waren größer als die der Schultergliedmaßen, die der medialen Klauen größer als die der lateralen (Nüske et al. 2003). Auch Paulus (2004), Schwarzmann (2007) und Nacambo (2007) stellten signifikant längere Dorsalwandlängen der medialen Klauen der Beckengliedmaßen, und die beiden letztgenannten Autoren auch an den Schultergliedmaßen, im Vergleich mit den lateralen Klauen, fest. Entsprechende Verhältnisse fand Keller (2007) bei Wildwiederkäuern.

Für die Klauenpflege existierten hinsichtlich der optimalen Länge der Dorsalwand bis vor kurzem (Toussaint Raven 1989) keine exakt gemessenen Klauenmaße, sondern lediglich Schätzwerte. Der mittlere Richtwert für die Dorsalwandlänge der Innenklaue der Beckengliedmaßen lag bei 75 mm, unter zusätzlicher Wahrung einer Sohlendicke von 5-7 mm an der Klauenspitze (Toussaint Raven 1989; Blowey 1992). Dieses geschätzte Richtmaß wurde von Kehler und Sohr (2000) für „mittelalte“ und „mittelschwere“ Tiere als geeignet befunden. Bei älteren und schwereren Tieren empfahlen die Autoren jedoch, die Dorsalwand länger zu belassen. Bei dem Vergleich der Messwerte von unterschiedlichen Dorsalwandlängen stellten sie keinen Unterschied zwischen Innen- und Außenklaue fest. Die bei Kühen festgestellte längere Dorsalwand der Außenklaue führten sie auf eine Hypertrophie des Hornschuhs der lateralen Klaue zurück. Paulus (2004) fand hingegen, dass die Dorsalwand bei standardisierter Sohlendicke zwischen der Außen- und der Innenklaue nicht signifikant unterschiedlich war. Wenn jedoch das Sohleniveau der Außenklaue an das (niedrigere) der Innenklaue angeglichen wurde, entstand dadurch auch eine signifikant kürzere Dorsalwand an der Außenklaue (Paulus 2004).

1.3 Dorsalwandwinkel

Als Dorsalwandwinkel wurde der Neigungswinkel der Dorsalwand zur Sohlen- (Paulus 2004; Nuss und Paulus 2006; Paulus und Nuss 2006) oder zur Bodenfläche (Schmid 1990; Vermunt und Greenough 1995) bezeichnet.

Dieser „Klauenvorderwandwinkel“ (Fessler 1966/1980) wurde meist mit einem zweiseitigen Winkelmesser bestimmt (Günther et al. 1970; Müller 1976; Schneider 1980; Baumgartner 1988; Schmid 1990; Paulus 2004).

Tab. 2: Mittelwerte von Dorsalwandwinkel verschiedener Rinderrassen (in Grad), ausgewählte Arbeiten.

Autor(en), (Jahr)	Tiere/Rasse	Schultergliedmaße	Beckengliedmaße
Fessler (1966)	115 Braunvieh 115 Österreichisches Fleckvieh 115 Pinzgauer	53° - 56°	48° - 51°
Günther et al. (1970)	21 Besamungsbullen Deutsche Schwarzbunte	40° - 60°	40° - 60°
Martig et al. (1979)	Kühe	-	49° - 51°
Fessler (1980)	20 Mastbullen 20 Jungkalbinnen 20 Fleckviehkühe	49,5° - 50,2° 49,2° - 50,4° 48,9° - 50,4°	42,5° - 43,1° 44,8° - 48,0° 43,7° - 45,5°
Huber et al. (1984)	235 Fleckviehbullen	53,1° (medial) 53,5° (lateral)	53,7° (medial) 54,2° (lateral)
Baumgartner (1988)	725 Jungkühe	47,9°	45,9°
Distl und Schmid (1994)	28 Kühe Deutsche Schwarzbunte	41,8° - 48,9°	43,1° - 51,6°
Hinrichs et al. (2003)	798 Jungbullen, Deut- sche Holstein, 89 Angler Jungbullen	53,4°	56,2°
Paulus und Nuss (2004)	Jung- und Altkühe Mastbullen	--	48,2° - 51,4° 55,8° - 57,8°

Die Messung erfolgte auch mittels einer Figurenlehre (Schleiter und Günther 1967; Leuenberger et al. 1978) oder bei Geyer (1979) mit Schablonen verschiedener Winkelungen (Geyer 1979; Baumgartner 1988).

Nach Paulus (2004) waren die Werte für den Dorsalwandwinkel des Klauenschuhs bei Jungbullen größer als bei Jung- und bei Altkühen. Auch männliche Kälber zeigten einen steileren Dorsalwandwinkel als weibliche (Schwarzmann 2005).

Geschlechtsunabhängig waren die Klauen der Beckengliedmaßen steiler gestellt als die der Schultergliedmaßen (Schwarzmann et al. 2007). Bei Jungrindern kamen auch Müller et al. (1975), Russke (2001) sowie Huth et al. (2005) zu diesem Ergebnis. Im Gegensatz dazu wurde bei Jungkalbinnen (Fessler 1980), Färsen (Distl und Schmid 1993) und Jungbullen (Huber et al. 1984) ein im Vergleich zur Vordergliedmaße spitzerer Dorsalwandwinkel an der Hintergliedmaße festgestellt. Allerdings waren diese Klauenmessungen mit Ausnahme der Untersuchungen von Fessler (1980) an ungepflegten Klauen durchgeführt worden. Keine signifikanten Unterschiede zwischen Vorder- und Hintergliedmaße ergaben die Messungen von Huber (1983). Von einer

leichten Abnahme des Winkels im Verlaufe des Wachstums berichteten Schwarzmann (2007), Hahn et al. (1978) sowie Nuss und Paulus (2006).

Bei Kühen (Andersson und Lundström 1981) zeigten nur die medialen Klauen der Schultergliedmaßen einen größeren Dorsalwandwinkel als die Partnerklauen. Hingegen fanden Martig et al. (1983) sowie Telezhenko et al. (2008) generell an den medialen Klauen die steileren Winkel (Martig et al. 1983; Telezhenko et al. 2008).

1.4 Ballenlänge / „Trachtenwandlänge“

Die Strecke zwischen der Grenze des Ballenhorns zur Ballenhaut und der Grenze des Ballenhorns zur Sohle bezeichneten verschiedene Autoren (Schneider 1980; Distl 1995) (Huber et al. 1984; Russke 2001) als Trachtenwandlänge. Als Trachtenteil gilt in den Lehrbüchern der Anatomie der palmare/plantare Anteil der Klauenplatte, der vor dem Ballen endet (Habermehl 1984). Eckstrebe und Strahl fehlen beim Rind. Trachten- und Ballenteil sind durch eine Rille getrennt, und zwar sowohl an der Abaxial- als auch an der Axialseite (Dyce et al. 1991; Schaller 1992). Der Ballen greift daher auf die Seitenwand über, und bildet auch den Umschlagrand von der Wand in den Ballen (Habermehl 1984). Der Begriff „Trachtenwandlänge“ ist somit nicht ganz zutreffend. Aus diesen Gründen wurde von Paulus und Nuss (2006) sowie Schwarzmann (2007) der Begriff Ballenlänge (und -höhe) gewählt. Paulus (2004) verwendete zur Bestimmung der Ballenlänge einen Messschieber. Der eine Schenkel wurde senkrecht zur Gliedmaßenachse an das plantare Ende der Belastungsfläche der Sohle angelegt (Abb. 4). Der zweite Messschenkel lag dem höchsten Punkt des Ballens auf. Dieser Punkt lag meist ein bis zwei Zentimeter axial des äußeren Kronrandes. Diese Methodik wurde für die eigenen Untersuchungen übernommen. Nach einer anderen Definition stellte die Ballenlänge die Strecke zwischen der am weitesten kaudal und proximal gelegenen Stelle des Ballens und dem palmaren/plantaren Ende der Sohlenfläche dar (Vermunt und Greenough 1995).

Russke et al. (2001) hingegen maßen die Ballenlänge abaxial am Umschlag der Trachtenwand zum Ballen. Der proximale Messpunkt war die am weitesten kaudal gelegene Stelle des Kronsaums. Der distale Orientierungspunkt lag dort, wo die Klaue in Kontakt mit der ebenen Bodenfläche trat. Die oftmals mit einem Stechzirkel abgegriffene Strecke wurde mit einem Meterstab quantifiziert (Huber et al. 1984).

Andere Autoren berichteten über die Messung der „Trachtenwandlänge“, ohne eine genaue Messmethodik anzugeben, veranschaulichten die Strecke aber durch Abbildungen (Baumgartner 1988; Distl 1995; Nüske et al. 2003). Baumgartner (1988) und Hinrichs et al. (2003) übernahmen die Messmethodik Hubers (1983), der feststellte, dass die Messpunkte schwierig festzulegen waren.

Die Werte waren laut Huber et al. (1984) an den Vorderklauen signifikant größer als an den Hinterklauen und stiegen an der Vordergliedmaße mit zunehmenden Körpergewicht beinahe linear an, fielen hingegen an der Hintergliedmaße bis zu einem Körpergewicht von 300 kg ab. Bei Kälbern in den ersten 250 Lebenstagen zeigten vor allem die Parameter „Trachtenlänge“ und „-höhe“ deutlich verstärktes Wachstum (Russke 2001). Die Messresultate für die Trachtenwandlänge und -höhe der Vordergliedmaßen waren größer als die der Hintergliedmaßen (Distl 1995). Die „Trachten“ von Jungbullen waren im Mittel „vorne“ 43,9 und „hinten“ 35,7 mm lang (Hinrichs et al., 2003).

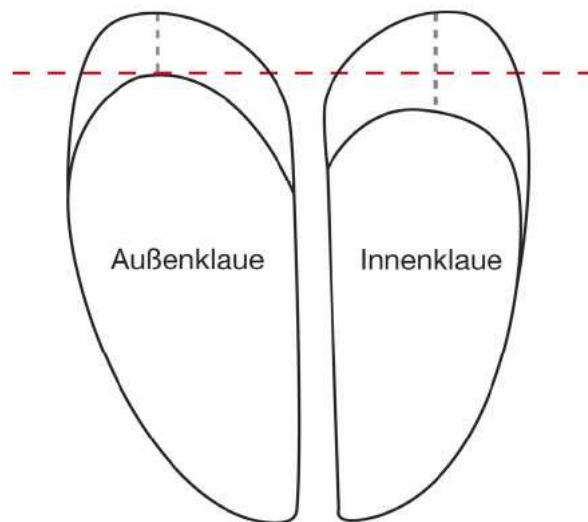


Abb. 4: Skizzierung der Unterschiede im Bereich der Ballen (rote gestrichelte Linie) bei der Bestimmung der Ballenlänge (Paulus 2004). Die Sohlenfläche der Innenklaue der Hintergliedmaßen reichte nicht so weit nach plantar wie die der Außenklauen.

Bei den neugeborenen Kälbern waren die medialen Ballen länger als die lateralen und es gab keine merklichen Unterschiede zwischen den Geschlechtern (Nüske et al. 2003). Nach Schwarzmann (2007) hingegen wiesen männliche Kälber längere Ballen als weibliche auf. Die Ballen der Klauen der Schultergliedmaßen waren um 13,4 % länger als die der Beckengliedmaßen. Zwischen Innen- und Außenklaue bestanden keine Unterschiede (Schwarzmann et al. 2007).

Nach den Untersuchungen von Paulus (2004) waren die Ballen der Außenklauen der Beckengliedmaßen vor der funktionellen Klauenpflege länger, danach aber kürzer als die der Innenklauen. Dies rührte daher, dass die Ballen der Aussenklauen einen steileren Winkel als die Innenklauen aufwiesen. Sie wurden daher bei der Anpassung des Sohlenniveaus relativ mehr abgeschliffen und entsprechend verkürzt.

1.5 Ballenhöhe

Die Begriffe Ballenhöhe und Trachtenwandhöhe wurden in der vorliegenden Literatur oftmals synonym verwendet (Huber et al. 1984; Baumgartner 1988; Distl und Schmid 1994; Hinrichs et al. 2003). Nach Paulus (2004) reichte die Ballenhöhe von dem am weitesten proximal gelegenen Punkt des Ballens bis zum Sohlenniveau. Diese Länge wurde vermessen, nachdem zunächst der höchste Punkt des Ballens mit einem Folienstift markiert worden war. Auf der anderen Seite wurde das Niveau der Sohlenfläche bestimmt, indem ein Messschenkel plan aufgelegt wurde und nach plantar überstand, so dass die Strecke abgegriffen werden konnte.

Für die Bestimmung der Ballenhöhe wählten Vermunt und Greenough (1995), Russke (2001) sowie Nüske (2003) das Lot, das vom oberen Messpunkt, d. h. dem Übergang vom Ballenhorn zur Haut, an der in Seitenansicht am weitesten kaudal gelegenen Stelle des Ballens auf den Boden gefällt wurde (Abb. 12).

Einer Apparatur, die aus einer senkrecht durch eine Stahlplatte geführte Schraube bestand, bedienen sich Ahlström et al. (1986). Die Stahlplatte wurde auf die Sohlenfläche gelegt und die Schraube bis an den höchsten Punkt des Ballens eingedreht (Ahlström et al. 1986). Die Länge der Eindrehung wurde vermessen. Mit Hilfe eines fünfstufigen Einteilungsschemas beurteilte Huber (1983) die Trachtenwandhöhe lediglich adspektorisch von der Seite aus. Baumgartner (1988) griff das Lot mit einem Stechzirkel ab und quantifizierte es an einem Meterstab. Dies geschah ausgehend von der Bodenfläche bis zum Messpunkt am Übergang Ballenhaut-Ballenhorn, an der am weitesten kaudal gelegenen Stelle des Ballens. Hinrichs et al. (2003) gaben 34,8/28,4 mm für die Trachtenhöhe der Schulter/Beckengliedmaße nach der Messmethodik von Baumgartner (1988) an, dessen Messmethode sich nur in diesem Parameter von Huber (1983) unterschied. Den am weitesten proximal gelegenen Punkt des Margo palmaris bzw. plantaris abaxialis verwendeten Andersson und Lundström (1981).

Den oben erwähnten modifizierten Messschieber legte Paulus (2004) parallel zum Zwischenklauenspalt auf die plan geschliffene Sohlenfläche. Der zweite Schenkel wurde am höchsten

Punkt des Ballens positioniert. Die Position dieses Messpunkts variierte in axio-axialer Richtung, je nach der individuellen Form des Ballens (Abb. 5).

Durch diese unterschiedliche Lage des höchsten Punktes des Ballens verlagerte sich die Auflage des Holzschenkels sowie des anderen Schenkels bei der Messung entweder mehr in axialer oder abaxialer Richtung (Paulus 2004).

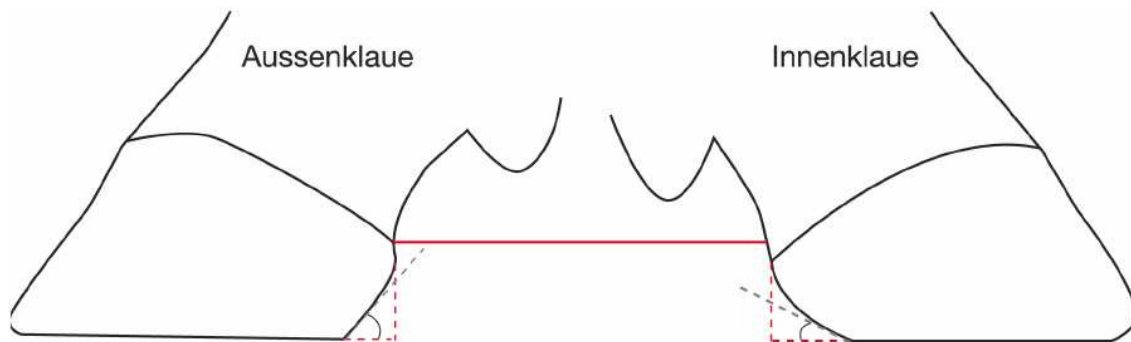


Abb. 5: Skizze zur Darstellung der Unterschiede im Ballenwinkel (graue gestrichelte Linie). Die unterschiedliche Winkelung hat sowohl Einfluss auf die Ballenhöhe (rote, senkrecht verlaufende gestrichelte Linie) und die Ballenlänge als auch auf die Sohlenlänge und -fläche (Paulus 2004).

Bei allen Tieren waren die Werte des lateralen Ballens signifikant höher als am medialen. Die Ballenhöhe nahm bei Kühen an der medialen Klaue von Beckengliedmaßen, im Vergleich zur lateralen, mit dem Alter ab (Paulus 2004). Die Ballen der Schultergliedmaßen wiesen eine größere Ballenhöhe als die der Beckengliedmaßen auf (Fessler 1980; Phillips et al. 1996; Nüske et al. 2003; Schwarzmann et al. 2007). Diese Unterschiede verstärkten sich mit zunehmendem Alter. Bei männlichen Tieren war die Ballenhöhe größer als bei den weiblichen (Paulus 2004; Schwarzmann et al. 2007).

1.6 Ballenbreite

Die Ballenbreite wurde in der vorliegenden Literatur lediglich von einem Autor (Paulus, 2004) gemessen (Abb. 6). Bei dieser Messung wurde der zwihschenklige Messschieber von plantar an den Ballen herangeführt. Ein Schenkel wurde in den Zwischenklauenspalt geschoben und der andere abaxial an den Ballen angedrückt. Beide Schenkel setzten dabei an der Grenze Saumhorn zur behaarten Haut an.

Diese diagonale Breite des Ballens wurde gemessen, weil die Fixpunkte im Bereich des Übergangs von der Haut zum Saumhorn eindeutig sichtbar und somit reproduzierbar waren.

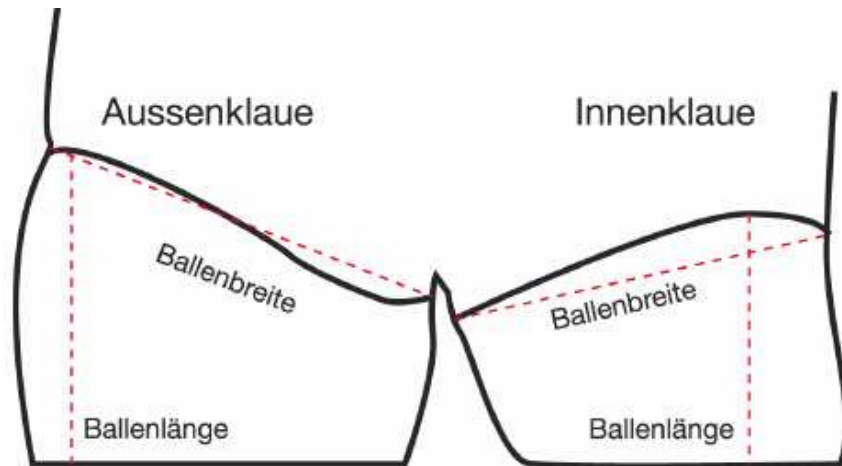


Abb. 6: Skizzierung der diagonalen Vermessung der Ballenbreite sowie der senkrecht zur Klauensohle verlaufenden Ballenlänge an den Klauen der Hintergliedmaßen (Paulus 2004). Es ist ersichtlich, dass die Lage des am weitesten proximal gelegenen Punktes des Ballens in abaxio-axialer Richtung variiert. Ballenbreite diagonal vermessen.

Die Ballen der lateralen Klauen der Beckengliedmaßen waren bei allen Altersklassen signifikant breiter als die der medialen Klauen. Jungbullen wiesen einen signifikant breiteren Ballen als Jung- und Altkühe auf (Paulus 2004).

1.7 Sohlenlänge

Die Sohle im klinischen Sinn meint die Belastungsfläche der Klauen und hat mit den anatomischen Definitionen (Wilkens 1963) wenig gemein. Die Sohlenlänge stellt daher die Länge der Belastungsfläche dar. Nach den Messungen von Fessl (1969) waren die Sohlen von Rindern unterschiedlichen Alters und Geschlechts zwischen 11,3 cm und 13,6 cm lang. Im Vergleich zur Hintergliedmaße bestanden an der Vordergliedmaße nur geringe Unterschiede in der Klauengröße, obwohl die laterale Klaue tendenziell länger war (Fessl 1968).

Die Maße für die Sohlenlänge wurden auch indirekt erhoben. Schwarzbunte Kühe wurden durch einen mit Sägemehl bestreuten Gang getrieben und die erhaltenen Klauenabdrücke auf eine Folie abgezeichnet. Der entsprechende Abdruck wurde auf Millimeterpapier übertragen und die Länge und Breite der Sohle daraus ermittelt (Schmid 1990). Die Lage der Messpunkte variierte je nach der maximalen Ausdehnung des Abdruckes. Die Standardabweichungen der auf diese Weise erhobenen Messwerte waren hoch. Bei Kühen der Rasse Deutsche Schwarzbunte stellten Distl und Schmid (1994) eine Sohlenlänge an der Vordergliedmaße von 9,16 cm bis 11,63 cm fest.

Neugeborene Kälber (Nüske et al. 2003) wiesen generell medial längere Sohlen, gemessen von der Klauenspitze bis zum Ende der Belastungsfäche, als lateral auf.

Als Sohlenlänge wählte Paulus (2004), im Gegensatz zu Fessl (1969) sowie Andersson und Lundström (1981), die Diagonale und nicht die lange Seitenlinie des Rechteckes nach Habacher (1948). Begründung hierfür war, dass das plantare Sohlenende eine gebogene Linie darstellte, und der Scheitelpunkt dieser Linie das Ende der Sohlenfläche darstellte. Diese Länge war für die korrekte Größe von Klauenkothurnen entscheidend (Nuss und Tiefenthaler 2000). Nach Herstellung einer „standardisierten Sohlendicke“ ergaben sich an den Klauen der Beckengliedmaßen bei allen Altersgruppen an den lateralen Klauen die längeren Sohlen (Paulus 2004).

1.8 Klauenlänge

Im Gegensatz zu den in Kapitel 1.7 (Sohlenlänge) erwähnten übrigen Autoren differenzierte Paulus (2004) zwischen Sohlen- und Klauenlänge. Die Klauenlänge stellte die Entfernung von der Klauenspitze bis zum plantaren Ende des Ballens dar. Dieses über die (diagonale) Sohlenlänge hinaus verlängerte Maß wurde mittels eines Messschiebers, dessen Messschiene plan auf die Sohlenfläche der Klaue gelegt wurde, ermittelt.

1.9 Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenlänge

Für die Klauenform von Jungbullen nannten Huber et al. (1984) ein Verhältnis von 1,66:1 für die Vordergliedmaße und eines von 1,94:1 für die Hintergliedmaßen. Nach Paulus (2004) wurde ein Verhältnis von 2:1 lediglich an den Innenklauen der Hintergliedmaßen von Jungbullen erreicht. Aufgrund höherer Ballen der Außenklaue entstanden dort oftmals niedrigere Quotienten. Bei Kühen lag das Verhältnis, wenn die definierte Sohlendicke hergestellt worden war, bei 2,2:1.

1.10 Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe

Werden diese beiden Parameter zueinander in Bezug gesetzt, geben sie Auskunft über eine stattfindende Formveränderung (Ahlström et al. 1986) der Klauen. Mit diesem errechneten Verhältnis wurden Hinweise auf die Ursachen von Klauenerkrankungen gesucht. Andersson und Lundström (1981) ermittelten an ungepflegten Klauen von adulten Tieren ein Verhältnis der Mittelwerte von 1,78:1 an der lateralen und 1,88:1 an der medialen Klaue der Vordergliedma-

ßen. Sie beobachteten ein niedrigeres und damit günstigeres Verhältnis an den Vordergliedmaßen.

Schwarzmann (2007) errechnete für die Vorder- bzw. Hintergliedmaßen ein Verhältnis von 1,9:1 bzw. 2,4:1. Die Quotienten waren sowohl an den Vorder- als auch an den Hinterklauen medial größer als lateral, bei weiblichen Kälbern signifikant größer als bei männlichen (Schwarzmann et al. 2007). Nach Paulus (2004) erreichte dieser Quotient aufgrund der höheren Ballen der Aussenklauen für die Innenklauen niedrigere Werte (Paulus 2004).

1.11 Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge

Die Werte dieses weiteren unterstützenden Quotienten zur Beurteilung der Klauenform waren nach den Untersuchungen von Schwarzmann (2007) unabhängig vom Geschlecht. Da laut Schwarzmann (2007), die beiden Parameter durch die Umwelt stark beeinflusst werden und dieser Einfluss bei älteren Tieren wesentlich deutlicher in Erscheinung trat, beurteilte diese den Vergleich dieses Verhältnisses zwischen Kälbern und erwachsenen Tieren als problematisch.

Paulus (2004) erhielt bei allen untersuchten Altersgruppen einen konstanten Wert von 1:1,4 an den medialen und 1:1,6 an den lateralen Klauen. Das größere Verhältnis an den Innenklauen war seiner Meinung nach wiederum auf ihren flacher gewinkelten Ballen zurückzuführen, der eine kürzere Sohlenfläche bedingte.

Clemente (1989) gab einen Wert von 1:1,3 an, allerdings verwendete er nicht die diagonale Sohlenlänge, sondern die Längsseite des Rechteckes nach Habacher (Clemente 1989).

1.12 Sohlenbreite / „Klauenbreite“

Die Sohlenbreite wurde in der vorliegenden Literatur auch als „Klauenbreite“ oder „-weite“ bezeichnet. Oft dienten „subjektiv ausgewählte Punkte“ (Vermunt und Greenough 1995; Nüske et al. 2003) zur Bestimmung des weitesten Abstands zwischen abaxialer und axialer Wand am Sohlen-Ballenübergang. Für die Berechnung der angeführten Sohlenparameter verwendete Habacher (1948) ein dem Klauenumriss anliegendes Rechteck, dessen Seiten die Sohlenbegrenzungen tangierten. In diesem Rechteck entsprach die Summe der maximalen abaxialen und axialen Breite, die meist nicht auf einer Ebene lagen, der Sohlenbreite.

Die für die Sohlenlänge und -breite gemessenen Werte der unter diesem Abschnitt genannten Autoren waren aufgrund von Unterschieden in der Klauenpflege (gepflegt/ungepflegt), unter-

schiedlicher Alterskategorien und Rassen sowie differierender Messpunkte tabellarisch nicht direkt miteinander zu vergleichen.

Die Sohlenbreite von Kühen betrug nach den Untersuchungen von Distl und Schmid (1994) an der Schultergliedmaße zwischen 4,79 und 5,81 cm. Bei Kälbern wiesen die Außenklauen eine signifikant größere Sohlenbreite als die Innenklauen auf, und zwar an Schulter- und Beckengliedmaßen (Nacambo et al. 2007; Schwarzmann et al. 2007). Diese Beobachtung war zuvor lediglich „bei manchen Kälbern“ an den Beckengliedmaßen gemacht worden (Schleiter und Günther 1967), oder bei Kälbern, die auf Lattenrost gehalten worden waren (Brentano et al. 1979; Dämmrich et al. 1982). Paulus bestimmte die Klauenbreite, gab jedoch keine Fixpunkte dafür an (Paulus 2004).

Die Messpunkte der Klauenlänge und -breite wurden oftmals (Müller 1976; Nüske et al. 2003, 2003 #3537; Nacambo et al. 2007) per Skizze (Abb. 7), mit mehr oder weniger detaillierten Beschreibung ihrer Lage und der verwendeten Messtechnik, aufgezeigt.

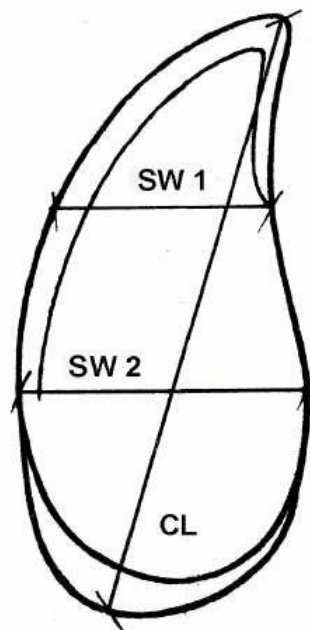


Abb. 7: Bestimmung der Sohlenbreite (Nacambo 2005). Die Breite wurde an zwei Stellen gemessen. SW 1 lag am axialen Ende der Wand, am Beginn der Hohlkehlung. SW 2 lag am Ende der abaxialen Wand.

Nach Herstellung einer „standardisierten Sohlendicke“ ergaben sich an den Klauen der Beckengliedmaßen bei allen Altersgruppen an den lateralen Klauen die breiteren Sohlen (Paulus 2004). Auch Vermunt (1990) stellte bei Kalbinnen, die auf der Weide gehalten wurden, breitere laterale Klauen, und zwar an Schulter- und Beckengliedmaßen, fest (Vermunt 1990).

Sehr allgemein formulierten Schleiter und Günther (1967), dass an der Hintergliedmaße die laterale Klaue die größere war, und dass größtenteils gleich große Klauen an den Vordergliedmaßen vorhanden waren. Eine Ausnahme machten ältere Kühe, bei denen manchmal die medialen Vorderklauen größer waren (Schleiter und Günther 1967). Fessler (1980) stellte für die Klauenbreite Werte zwischen 4,2 cm bei Jungkühen und 7,2 cm bei Zuchtbullen fest. An den Vorderklauen fand er keine signifikanten Unterschiede zwischen lateral und medial, außer in der Gruppe der Mastbullen, die im Schnitt um 2,2 - 2,4 mm breitere mediale Klauen aufwiesen.

1.13 Sohlenrand/Tragrandumfang, Kronrandumfang

Der Umfang der Klaue im Bereich des Kronsaums entsprach laut Habacher (1948) entweder dem Umfang des Tragrands oder war um etwa ein Zehntel kleiner. Mit einem Stahlmaßband ermittelten Ahlström et al. (1986) und Fessler (1980) den Umfang des Kronsaumes. Zur Messung des Kronrandumfangs wurden auch eine nicht dehbare Schnur oder Abdrücke verwendet.

Laut Huber et al. (1984) war der Sohlenumfang der Vorderklauen signifikant größer als an den Hinterklauen. Letzterer bezeichnete den Kronrand als „vorne lateral geringgradig kleiner als medial, hinten lateral geringgradig größer als medial“ (Fessler 1980). Bei Kälbern wies Schwarzmann (2007) hingegen für den Tragrandumfang kleinere Werte als für den Kronrandumfang nach. Der Tragrandumfang zeigte an den Außenklauen der Schultergliedmaßen geringgradig kleinere Werte, an den Außenklauen der Beckengliedmaßen geringgradig größere Werte als an den Innenklauen (Schwarzmann 2004). In den Untersuchungen von Paulus (2004), die nur die Beckengliedmaßen betrafen, wiesen die Außenklauen einen signifikant größeren Tragrandumfang auf als die Innenklauen.

1.14 Sohlenfläche / „Belastungsfläche“

Die Sohlenfläche - das heißt die aus Tragrand, Sohlen- und Ballenhorn bestehende belastete Fläche der Rinderklaue der Innen- und Außenklaue - war nach Huber et al. (1984) an den Vordergliedmaßen von Jungbullen verschiedenen Alters signifikant größer als an den Hintergliedmaßen (Huber et al. 1984). Diese Autoren setzten die Sohlenfläche der Bodenberührungsfläche gleich. Baumgartner (1988) bestimmte diese Fläche, indem er die Rinder über eine mit Sägemehl präparierten Gummimatte führte und danach den Klauenabdruck abnahm. Dazu legte er eine Plexiglasscheibe auf den Abdruck und zeichnete ihn auf Folie ab. Der Abdruck wurde auf einem elektronischen Planimetriertisch vermessen. Die Planimetrie nutzten auch Meyer et al.

(1968), Brentano et al. (1979) sowie Dämmrich et al. (1982), um die auf Klarsichtfolie übertragene Fußungsfläche von Kälbern zu bestimmen (Meyer et al. 1968; Baumgartner 1988). Mit Hilfe der Messplatte nach Kästner (Abb. 8) errechneten Günther et al. (1970), Leuenberger et al. (1978) und Schneider (1980) die Sohlenfläche.

Bei Fessl (1968,1980) entsprach die Sohlenfläche der gesamten Bodenfläche, errechnet aus dem Produkt von Länge und Breite eines um den Abdruck gelegten Rechtecks nach Habacher (1948). An dem auf Papier gezeichneten Umriss bestimmte er zusätzlich die Größe der axialen Hohlkehlung und berechnete die Sohlenfläche planimetrisch. In ähnlicher Weise verfahren Müller et al. (1976). Sie verglichen ihre durch Multiplikation der mittels einer Schiebelehre erhobenen Längen- und Breitenmaße erhaltene Fläche mit der planimetrisch bestimmten. Einige Untersuchungen wurden direkt an der angehobenen Gliedmaße durchgeführt, indem die Grundfläche zuerst auf halb durchsichtiges und dann auf weißes Papier übertragen und diese planimetrisch ausgemessen wurde (Ahlström et al. 1986).

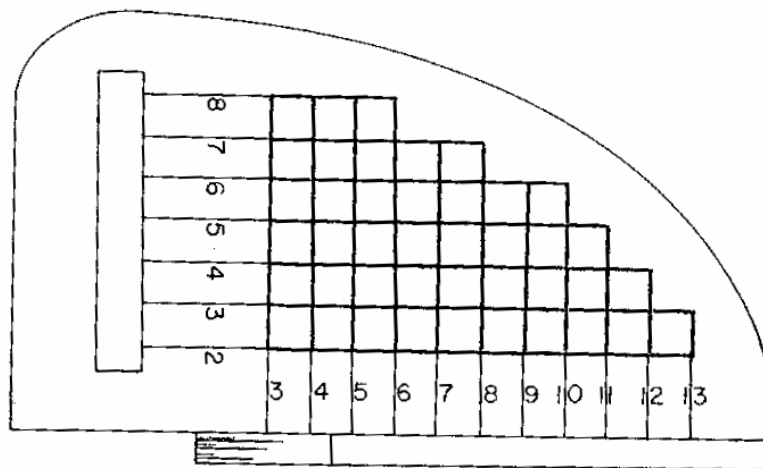


Abb. 8: Messplatte nach Kästner, aus Leuenberger et al. (1978)

Mittels Fingermalfarbe erzeugte Russke (2001) einen Farbabdruck der Sohlenfläche auf einem mit einer Plexiglasscheibe unterlegtem Papier (Russke 2001). Paulus (2004) drückte durchsichtiges Millimeterpapier auf die plane Sohlenfläche und übertrug die Umrisse mit Zeichenkohle. Anschließend wurden die Konturen mit einem Folienstift nachgezogen und der Umfang und die Fläche mit einem Computerprogramm berechnet (Paulus 2004). Auch Schwarzmann (2007) fertigte einen direkt abgenommenen Graphitabdruck auf Papier an, der eingescannt und mittels einer speziellen Software vermessen wurde (Abb. 9).

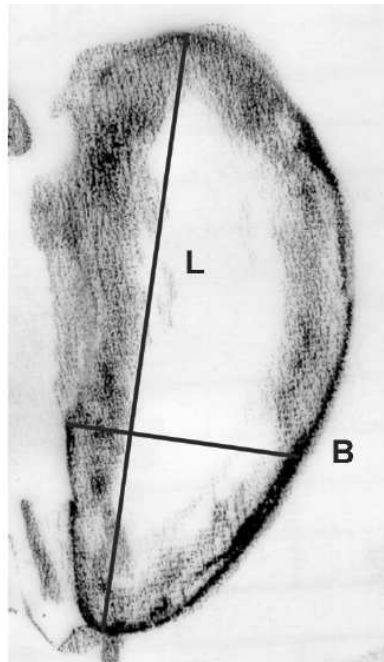


Abb. 9: Länge (L) und Breite (B) der Fußungsfläche am Graphitabdruck nach Schwarzmann (2007)

Bei der Auswertung der gemessenen Bodenflächen dreier verschiedener Rassen, die in sechs Gewichtsklassen eingeteilt wurden, stellte Fessler (1968) signifikante Unterschiede sowohl zwischen den einzelnen Gruppen als auch zwischen Vorder- und Hinterklauen, aber keine Rassendifferenzen fest. Des Weiteren fand er keine Differenzen zwischen linker und rechter Körperseite, wohl aber war die Summe der Bodenfläche der lateralen Klauen hoch signifikant größer als die der medialen Klauen. In höheren Gewichtsklassen wiesen die lateralen Klauen eine durchschnittlich größere Bodenfläche auf als die medialen, wobei an den Vorderextremitäten nur sehr geringe Unterschiede zwischen den lateralen und medialen Klauen vorhanden waren. Die Gesamtfläche der Klauen der Schultergliedmaßen war größer als die der Hintergliedmaßen (Fessler 1968, Dämmrich et al., 1982). Für die Bodenfläche gab Fessler (1980) Werte zwischen 41,5 und 82,7 cm² an. Distl und Schneider (1981) schätzten die Sohlenfläche der (ungepflegten) Klauen von 438 Fleckviehbullen auf 39,4-52,6 cm².

Kälber, die auf Rosten standen, hatten an den medialen Klauen kleinere Sohlenflächen als an den lateralen (Dämmrich et al., 1982). Diese Größenunterschiede zeigten sich weniger deutlich den auf Stroheinstreu gehaltenen Kälbern. Im Vergleich zu den Hinterklauen sprachen Huber et al. (1984) von einer signifikant und Russke (2001) von einer deutlich größeren Sohlenfläche der Vorderklauen.

Die Außenklauen der Beckengliedmaßen wiesen nach Paulus (2004) bei allen Fleckviehrindern signifikant größere Sohlenflächen als die Innenklauen, mit positiver Korrelation zum Alter, auf. Die Klauen der Schultergliedmaßen wiesen bei Kälbern eine größere Sohlenfläche als die der Beckengliedmaßen auf (Nacambo et al. 2007; Schwarzmann et al. 2007). Die Sohlenfläche nahm mit dem Alter und dem stattfindenden Abrieb zu. Nach Schwarzmann (2004) waren die Sohlenflächen der Innenklauen an Vorder- und Hintergliedmaßen kleiner als die der Außenklauen.

1.15 Klauenvolumina

Clark et al. (2004) bestimmten im Rahmen einer Untersuchung über das Vorkommen von Hornspalten auch die Klauenvolumina (Clark et al. 2004). Dabei stellten sie fest, dass die Außenklauen sowohl an den Schulter- als auch an den Beckengliedmaßen die größeren Volumina aufwiesen (Abb. 10).

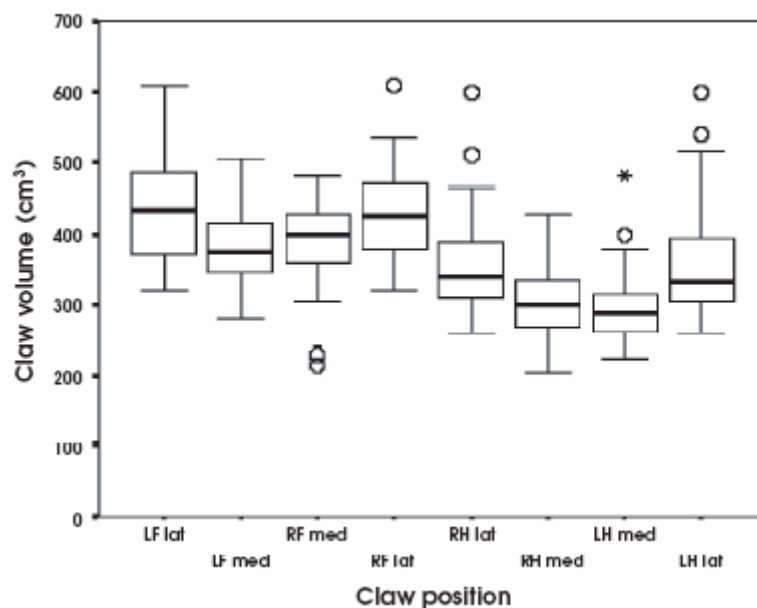


Abb. 10: Verteilung der Klauenvolumina an Schulter- und Beckengliedmaßen (Clark et al. 2004). Die Volumina der Schultergliedmaßen sind größer als die der Beckengliedmaßen. An allen Gliedmaßen sind die Volumina der Außenklauen größer als die der Innenklauen.

Auch andere Autoren bestimmten das Klauenvolumen durch Wasserverdrängung an Präparaten (Phillips et al. 1996; Vermunt 1999). Sie stellten fest, dass die Klauen der Schultergliedmaßen voluminöser als die der Beckengliedmaßen waren.

1.16 Ballenwinkel

Diesen Parameter bestimmte Fessl (1980), indem er einen Schenkel eines Winkelmessers an der Sohle, den zweiten von palmar bzw. plantar an den Ballen anlegte (Abb. 11). Die Messung des Ballenwinkels nahmen auch Schwarzmann (2004) und Nüske (2003) vor.

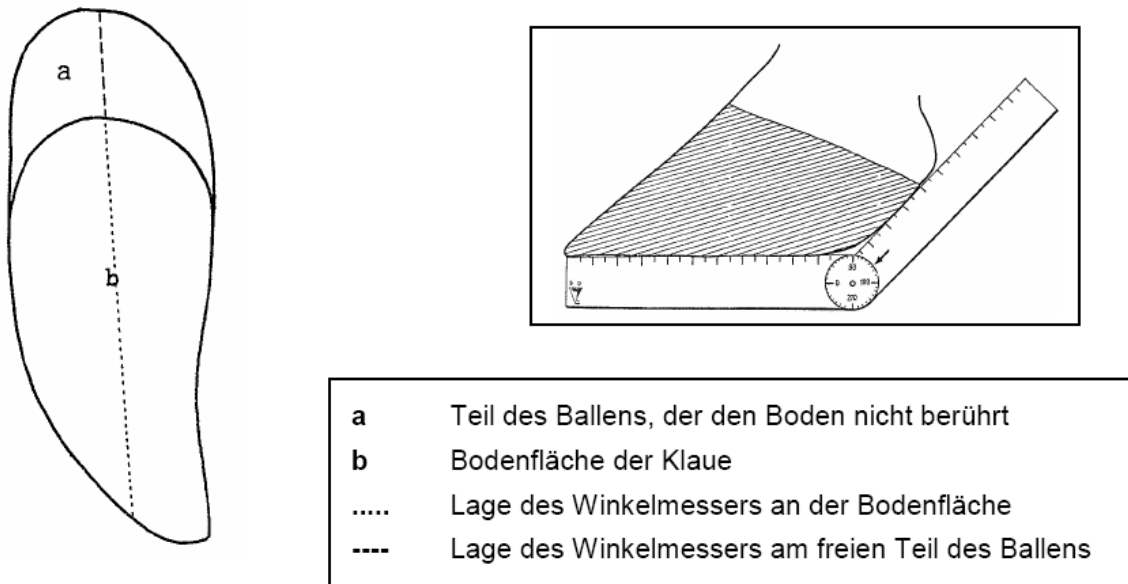


Abb. 11: Sohlenansicht (links) und Ballenwinkelmessung (rechts), aus: Fessl (1980)

Der Ballenwinkel zeigte nach Schwarzmann (2004) als einziger Parameter am Hornschuh keinen Zusammenhang mit dem Alter der Tiere. Zudem bestanden keine signifikanten Unterschied zwischen den lateralen und medialen Klauen. Sie untersuchte allerdings nur Kälber bis zu einem Alter von 5 Monaten. Bei diesen lagen die Werte zwischen 140° und 145° (Schwarzmann 2005). Unabhängig vom Geschlecht war der Ballenwinkel an den Vordergliedmaßen kleiner als an den Hintergliedmaßen (Schwarzmann et al. 2007). Andere Autoren (Fessl 1980, Nüske 2003) gaben Mittelwerte von 121° - 130° an.

Paulus (2004) maß diesen Winkel nicht, stellte jedoch den unterschiedlichen Ballenwinkel zwischen medialer und lateraler Klaue an den Beckengliedmaßen heraus.

1.17 Diagonale

Dieser Parameter wurde als Entfernung zwischen der am weitesten kaudal gelegenen Stelle des Übergangs Haut-Ballenhorn und der Klauenspitze definiert (Reurink und van Arendonk 1987).

Mit 142 mm war dieser Parameter bei Kühen an den Schultergliedmaßen größer als an den Beckengliedmaßen mit 130-132 mm (Distl und Schmid 1994). Bei 80 Kälbern war die Diagonale einer von vier signifikant unterschiedlichen Messparametern. Die Werte der medialen Klauen waren größer als die der lateralen, die der männlichen Kälber größer als die der weiblichen (Nüske et al. 2003). Die Diagonale war eines der drei schnell und kostengünstig zu erhebenden Maße, anhand derer sich die Klauengesundheit von Zuchttieren abschätzen ließ (Baumgartner 1988; Hinrichs et al. 2003).

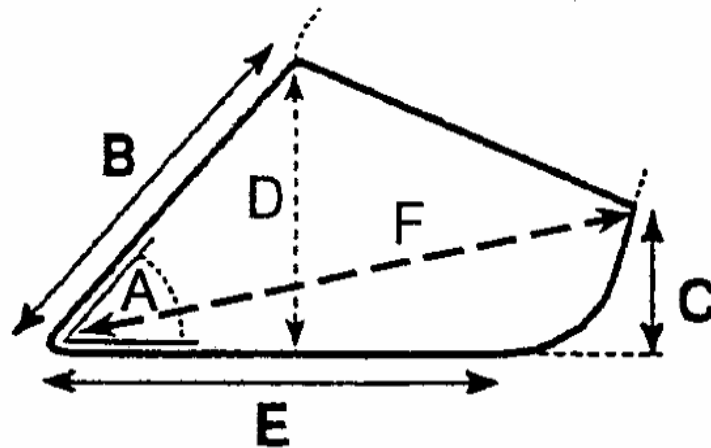


Abb. 12: Verschiedene Klauenmaße. Schemazeichnung, aus: Vermunt und Greenough (1995). A = Dorsalwandwinkel, B = Dorsalwandlänge, C = Ballenhöhe, D = Klauenhöhe E = Klauen- bzw. Sohlenlänge, F = diagonale Klauenlänge.

Zusammen mit der Gliedmaßenstellung, der Dorsalwandlänge und der „Trachtenhöhe“ wurde die Diagonale als wichtiger Parameter in Zuchtprogramme zur Verbesserung der Klauengesundheit aufgenommen (Distl et al. 1990; Distl 1995). Bei 798 Jungbullen der Rasse Deutsche Holsteins und 89 Angler Jungbullen wies die Diagonale (Mittelwert von 130,2/122,5 mm an der Schulter/Beckengliedmaße) im Vergleich zu fünf anderen Parametern (Dorsalwandlänge, Trachtenwandlänge, Trachtenhöhe, Dorsalwandwinkel, Klauenhärte) die höchste Heritabilität (0,45) auf. Die Parameter der Vordergliedmaße zeigten eine tendenziell höhere Heritabilität als die der Hintergliedmaße (Baumgartner 1988; Hamann und Distl 2002; Hinrichs et al. 2003).

2. Messungen an der Lederhaut nach dem Ausschuh der Klauen

Die Abmessungen der Lederhaut (Korium) wurden in der vorliegenden Literatur bisher nur vereinzelt bestimmt (Sohrt 1999, Paulus und Nuss 2006, Nuss und Paulus 2006). Während Sohrt (1999) nur die Dorsalwandlänge bestimmte, vermaßen Paulus und Nuss (2006) mehrere Parameter, anhand derer die dreidimensionale Abmessung der Lederhautoberfläche abgelesen werden konnte. Das Ausschuh, die Exungulation, an isolierten Zehen wurde durch eine relativ einfache, von Schlachtungen abgeleitete Technik erreicht (Ossent 1990). Der abgetrennte Fuß wurde etwa 30 Minuten lang bis zum Kronsaum in 65° Celsius heißes Wasser gestellt. Die Wärme löste die Verbindung des Hornes mit der Lederhaut fast ohne Beschädigung der verschiedenen Gewebeschichten. Anschließend wurden die abgekühlten Klauen einzeln in einen Schraubstock eingeklemmt, so dass die Hornkapsel nun durch eine ruckartige seitliche Hebelbewegung gelöst und abgezogen werden konnte (Ossent 1990, Paulus 2004). Die Lederhaut wurde anschließend auf das Vorliegen von Veränderungen, insbesondere im Sinne von Klauenrehe, beurteilt (Ossent und Lischer 1998). Nach dem schonenden Exungulieren wurden von Paulus (2004) mehrere Lederhautmaße erhoben. Aufgrund von fehlenden reproduzierbaren Messpunkten waren weniger Messungen möglich als beim Hornschuh. Sie beschränkten sich auf die Dorsalwandlänge, den Dorsalwandwinkel, die Ballenhöhe und Ballenbreite sowie die Klauenlänge.

Die für die Messung des Klauenschuhs angebrachten Markierungen am Übergang der unbehaarten zur behaarten Haut des Kronsaum an definierten Punkten fungierten nach dem Ausschuh wiederum als Fixpunkte. Die Ergebnisse der Messungen von Paulus (2004) sind in (Tab. 3) aufgelistet.

Jungbullen wiesen signifikant steilere Dorsalwandwinkel und signifikant breitere Ballen als Kühe auf. Die Dorsalwandlängen waren nicht unterschiedlich. Die Werte für die Ballenhöhe des Koriums waren entsprechend den Maßen am Hornschuh am lateralen Ballen höher als am medialen. Die Ballen der Außenklauen waren durchschnittlich breiter als die der Innenklauen.

Tab. 3: Zusammenfassung der von Paulus (2004) an der Lederhaut der Beckengliedmaße erhobenen Messwerte (Mittelwerte).

Beckengliedmaße Fleckvieh	Jungbullen medial/lateral	Jungkühe medial/lateral	Altkühe medial/lateral
Dorsalwandwinkel (Grad)	63,7 / 64,5	57,1 / 58,1	57,8 / 57,4
Dorsalwandlänge (mm)	62,5 / 61,8	61,3 / 61,2	63,7 / 64,0
Ballenhöhe (mm)	19,5 / 23,5	18,1 / 21,7	18,7 / 24,5
Ballenlänge (mm)	nicht messbar	nicht messbar	nicht messbar
Sohlenlänge (mm)	nicht messbar	nicht messbar	nicht messbar
Sohlenbreite (mm)	nicht messbar	nicht messbar	nicht messbar
Ballenbreite (mm)	53,0 / 58,2	48,3 / 53,4	50,6 / 56,8
Klauenlänge (mm)	108,6 / 112,0	104,8 / 108,3	114,9 / 120,8
Sohlenumfang (cm)	nicht messbar	nicht messbar	nicht messbar
Sohlenfläche (cm ²)	nicht messbar	nicht messbar	nicht messbar

Das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe verhielt sich bei den Koriumwerten entsprechend den Hornschuhwerten.

3. Klauenkrankheiten an der Schultergliedmaße

Das Lahmheitsproblem hat sich in den letzten Jahren enorm vergrößert. Untersuchungen an 5626 Holstein-Kühen in Minnesota deckten auf, dass 12,8 % der Tiere in der ersten Laktation an Klauenerkrankungen litten (Espejo et al. 2006). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch andere Autoren (Hernandez et al. 2005). Eine Untersuchung von 4899 schwedischen Milchkühen (Manske et al. 2002) bezifferte den Anteil der Tiere mit einer Klauenläsion auf 72 %. Der zweite Monat der Laktation zeigte nach Smits et al. (1992), wie schon aus älteren Untersuchungen bekannt, das höchste Vorkommen von Klauenproblemen. Während der ersten Laktation und ab der vierten Laktation traten Klauenerkrankungen gehäuft auf (Peterse 1982; Hahn et al. 1984). Nach den Untersuchungen von Martig et al. (1979) zeigten 80 % der Tiere mindestens an einer Klaue Spuren einer abgeheilten örtlichen Lederhautentzündung. In einer anderen Untersuchung waren nur 25,9 % der 594 untersuchten Kühe „frei“ von Klauenveränderungen (Andersson und Lundström 1981).

Klauenkrankheiten an der Schultergliedmaße wurden meist sehr knapp abgehandelt. Detaillierte Aufstellungen waren die Ausnahme (Tab. 4). An den Schultergliedmaßen waren die Innenklauen häufiger als die Außenklauen von einer Erkrankung betroffen (Martig et al. 1979). Pododermatitiden und die „lose Wand“ traten an den Beckengliedmaßen 2-3mal, Ballenfäule „deutlich“ häufiger als an den Schultergliedmaße auf (Martig et al. 1979).

Tab. 4: Häufigkeiten von Klauenschäden an den Schultergliedmaßen von 207 untersuchten Simmentaler Kühen (Martig et al. 1979)

	Schultergliedmaße			
	links		rechts	
	lateral	medial	lateral	medial
Doppelsohle	6	4	4	5
lose Wand	14	35	9	22
Ballenfäule	20	21	15	14
Pododermatitis *	21	65	19	45

* Pododermatitis: umschriebene Verfärbung des Horns aufgrund einer abgeheilten örtlichen Entzündung

Mit Ausnahme von chronischer Klauenrehe und interdigitalen Hyperplasien traten Klauenerkrankungen signifikant häufiger an den Beckengliedmaßen auf. An den Schultergliedmaßen fanden sich Sohlenverfärbungen, Pododermatitis circumscripta und chronische Klauenrehe zusammengefasst 2-3mal häufiger an den medialen Klauen. Aufgrund von Winkelmessungen an Zehen vor und nach der Klauenpflege vermuteten Martig et al. (1983) wie auch schon Rusterholz (1920), ein tendenziell häufigeres Auftreten von Sohlengeschwüren an spitzwinkligen Klauen.

Baumgartner (1988) stellte keinen bemerkenswerten Einfluss der Messparameter auf die Diagnose von Klauenerkrankungen (Tab. 5) fest. Die medialen Klauen der Schultergliedmaße und die lateralen Klauen der Beckengliedmaße waren häufiger als ihre jeweilige Partnerklaue betroffen, wobei er an den Vordergliedmaßen gehäuft Krankheiten des Interdigitalraums und an den Hintergliedmaßen mehr Sohlenquetschungen und Ballenhornfäule feststellte (Baumgartner 1988).

Tab. 5: Prozentualer Anteil von Klauenerkrankungen bei 1938 Rinder (Baumgartner 1988)

Diagnose	Schultergliedmaße			Beckengliedmaße		
	total	lateral	medial	total	lateral	medial
Interdigitale Hyperkeratose	31,6	-	-	2,7	-	-
Limax	13,5	-	-	0,8	-	-
Dermatitis interdigitalis	9,6	-	-	12,5	-	-
Ballenhornfäule	8	7,6	8,8	50	49,9	49,5
Sohlenquetschung	6	4,4	8,5	20	28,2	11,2
Dermatitis digitalis	3,1	-	-	6,2	-	-
Doppelsohle	1	1,1	1,8	5	7,1	3,1
Hornspalt	-	0,7	0,6	1	2,5	0,3
Chronische Rehe	-	0,3	0,3	-	0,6	0,5
Sohlenabszess	-	-	0,2	-	1,8	0,3
Fremdkörper	-	0,2	0,7	-	1,7	0,3

Nach Berger waren (1988) „alle Formen der purulenten Klauenlederhautentzündungen“, das Rusterholzsche Geschwür und die eitrig-hohle Wand, an den Vordergliedmaßen überwiegend an den medialen Klauen zu finden (Berger 1988). Aus diesem Grund trat die infizierte Klauengelenkentzündung häufiger an den Innenklauen als an den Außenklauen der Schultergliedmaßen auf (Köstlin und Nuss 1988).

In einer Untersuchung der Klauen von 4837 Kühen wurden 8645 pathologische Veränderungen festgestellt; lediglich 668 Läsionen (8 %) waren an den Vorderfüßen lokalisiert (Murray et al. 1996) (Tab. 6).

Die Veränderungen des Hornschuhes lagen zu 46 % an den Innen- und zu 32 % an den Außenklauen der Schultergliedmaßen. Die größte Bandbreite von Läsionen wurde an den Vordergliedmaßen festgestellt. Dabei handelte es sich um Hornspalten (45mal), Hornhypertrophien (68mal), Eintreten von Fremdkörpern (179mal), sowie Ballenhornfäule (184mal). Der Anteil von Klauenerkrankungen, der die Schultergliedmaße betraf, war bei Murray et al. (1996) geringer als bei anderen Autoren (Baggot und Russell 1981; McLennan 1988). Der Befund, dass die Innenklaue an den Schultergliedmaßen häufiger als die Außenklaue betroffen war (59%), stimmt mit den Ergebnissen von Birkeland und Fjeldaas (1984) überein (Birkeland und Fjeldaas 1984). Auch Greenough et al. (1981) bemerkten vor allem für schwere Bullen einen höheren Anteil von Läsionen an den medialen Klauen (Murray et al. 1996).

Tab. 6: Anteil der unterschiedlichen Klauenerkrankungen (Prozent) an insgesamt 8645 identifizierten Klauenläsionen (Murray et al. 1996)

Lesion	Numbers (%)
Sole ulcer	2414 (28)
White line lesion	1930 (22)
Local sole bruising	715 (8)
Digital dermatitis	707 (8)
Foul-in-the-foot	452 (5)
Interdigital hyperplasia	437 (5)
Foreign body	407 (5)
Heel horn erosion	362 (4)
Heel abscess	251 (3)
Underrun sole	190 (2)
Horn overgrowth	171 (2)
Generalised laminitis	139 (2)
Interdigital dermatitis	71 (<1)
Sandcrack	38 (<1)
Others	361 (4)
Total	8645 (100)

Infizierte Läsionen kamen an der Beckengliedmaße fast 10mal, im Zusammenhang mit Laminitis stehende Veränderungen fast 8mal häufiger vor als an der Schultergliedmaße (Fjeldaas et al. 2007). Nur 4,1 % der diagnostizierten Klauenerkrankungen waren nach Fjeldaas et al. (2007) an der Vordergliedmaße lokalisiert.

Bei 7668 Kühen aus Anbindehaltungen und 4309 aus Laufstallungen wurden Klauenläsionen von eigens dafür geschulten Klauenpflegern dokumentiert (Cramer et al. 2008) (Tab. 7). Die Prävalenz war in den Laufställen höher als in den Anbindehaltungen. Veränderungen mit infektiöser Komponente waren an den Beckengliedmaßen etwa 5-6mal häufiger als an den Schultergliedmaßen.

Tab. 7: Vorkommen von Klauenläsionen (in Prozent) der Schulter- und Beckengliedmaßen von 7668 Rindern in Anbindehaltung und 4309 Rindern in Laufstallhaltung (Cramer et al. 2008)

	Anbindehaltung		Laufstallhaltung	
	Schultergliedmaße	Beckengliedmaße	Schultergliedmaße	Beckengliedmaße
Infektiöse Klauenläsionen	2,8	15,0	4,2	27,8
Läsionen des Hornschuhs	3,4	10,3	6,7	19,7

Läsionen des Hornschuhs, wie Sohlengeschwüre und die eitrig-hohle Wand, traten an den Beckengliedmaßen dreimal häufiger als an den Schultergliedmaßen auf. Die von den Autoren gefundenen Prävalenzen von infektiösen Klauenerkrankungen und Läsionen des Hornschuhs

stimmten mit den Werten von Holzhauser et al. (2006) überein. In Untersuchungen aus Norwegen (Sogstad et al. 2005) zeigten sich geringere, in Schweden (Manske et al., 2002) höhere Prävalenzen.

Das gehäufte Auftreten von Sohlengeschwüren wurde seit langer Zeit mit dem Größenunterschied zwischen der Außen- und Innenklaue an den Beckengliedmaßen in Zusammenhang gebracht (Rusterholz 1920; Toussaint Raven 1989). Aufgrund der Hypothese einer Längenasymmetrie der Zehen des Rindes (Nuss und Paulus 2006) wurden Untersuchungen zur Bestimmung der Länge der Zehenknochen beim Rind durchgeführt. An Schulter- und Beckengliedmaßen waren signifikante Unterschiede festzustellen, es lag eine Asymmetrie vor, die laterale Zehe war länger als die mediale (Nacambo et al. 2007) (Muggli 2007; Schwarzmann et al. 2007). Diese Asymmetrie war auch bei Wildwiederkäuern vorhanden (Keller 2007).

Klauenkrankte Rinder hatten laut Andersson und Lundström (1981) überdurchschnittlich lange Sohlen und flache Ballen (Andersson und Lundström 1981). Zudem bestand eine bedeutende Korrelation zwischen einem großen Sohlen-Ballenverhältnis und einer erhöhten Befallshäufigkeit. Peterse (1986) beschrieb steilere Klauen als weniger häufig und weniger gravierend von Klauenkrankheiten betroffen (Peterse 1986). Des Weiteren hatte die Winkelung Einfluss auf die Entstehung von Sohlenläsionen. Hohe Ballen wurden mit vermehrten Vorkommen von Sohlengeschwüren in Verbindung gebracht. Nach McDaniel et al. (1984) sowie Manson und Leaver (1989) waren Rinder mit kurzen und steiler gewinkelten Klauen weniger von Klauenproblemen betroffen (Hahn et al. 1984; McDaniel et al. 1984; Manson und JD 1989; Clarkson et al. 1996). Auch Smit et al. (1986) sprachen von einer höheren Anfälligkeit längerer Klauen (Smit et al. 1986). Ähnliche Zusammenhänge beschrieben Philipot et al. (1992) (Philipot et al. 1992). Klauenmaße wurden auch mit der Lebensdauer in Verbindung gebracht. Rinder mit langen Klauen und flachen Dorsalwandwinkeln hatten eine geringere Lebenserwartung (Reurink und van Arendonk 1987; Rogers et al. 1989).

Krankheitsverteilungen bezüglich unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit untersuchten Kremer et al. (2008). In Bereich des Tuberculum flexoriums zeigten die Tiere auf Gummiboden mehr Sohlengeschwüre und Druckstellen. Der Mehrzuwachs der Ballenlänge und Ballenhöhe der Tiere auf Gummiboden induzierte jedoch eine Entlastung des betroffenen Ansatzpunktes der tiefen Beugesehne. Eine niedrigere Inzidenz von Dermatitis digitalis verzeichneten die auf Betonspaltenboden gehaltenen Tiere. Lahmheiten traten bei 26% der auf Gummiboden und bei 22% der auf Betonspaltenboden gehaltenen Tiere auf (Kremer et al. 2007).

III Material und Methoden

1. Ausgangshypothesen

Folgende Hypothesen wurden aufgestellt:

1. Wie an den Beckengliedmaßen gibt es auch an den Schultergliedmaßen einen signifikanten Unterschied zwischen der Größe der Außen- und Innenklaue.
2. Die Außenklaue zeigt durchweg größere Maße als die Innenklaue.
3. Das Sohlenniveau der Außenklaue reicht weiter nach distal als das der Innenklaue.

2. Präparate

Von 30 Fleckvieh-Mastbullen im Alter von 18 Monaten und von 17 Färsen und 13 Kühen wurden beide Vorderfüße nach der Schlachtung gesammelt. Nur solche Präparate, deren Klauen klinisch unverändert waren, wurden verwendet. Das Alter sowie das Schlachtgewicht der Tiere (Tab. 8) konnten anhand der Schlachtnummern, die der Ohrmarke zugeordnet waren, ermittelt werden.

Tab. 8: Alter und Schlachtgewicht (Mittelwerte) der Tiere, von denen die Klauen der Schultergliedmaßen vermessen wurden (Standardabweichungen in Klammern, Minimal- und Maximalwerte)

	Alter (in Monaten)	Schlachtgewicht (in kg)
Färsen	23,6 ($\pm 3,8$), 13,2-29,6	308,1 ($\pm 37,0$), 225,6-367,2
Kühe	61,2 ($\pm 23,7$), 28,2-111,9	350,4 ($\pm 55,6$), 247,0-424,6
Bullen	21,4 ($\pm 1,9$), 18,2-24,3	390,1 ($\pm 45,3$), 268,2-477,0

Die Kennzeichnung der Füße der einzelnen Tiere erfolgte durch Aufbewahren in separaten, fortlaufend nummerierten Verpackungen. Zur sicheren Unterscheidung zwischen linker und rechter Gliedmaße dienten die proximalen Gelenkflächen der Röhreibe, deren mediale Gelenkflächen stets größer als die lateralen waren (Abb. 13), sowie die dorsolateral verlaufenden Strecksehnen.

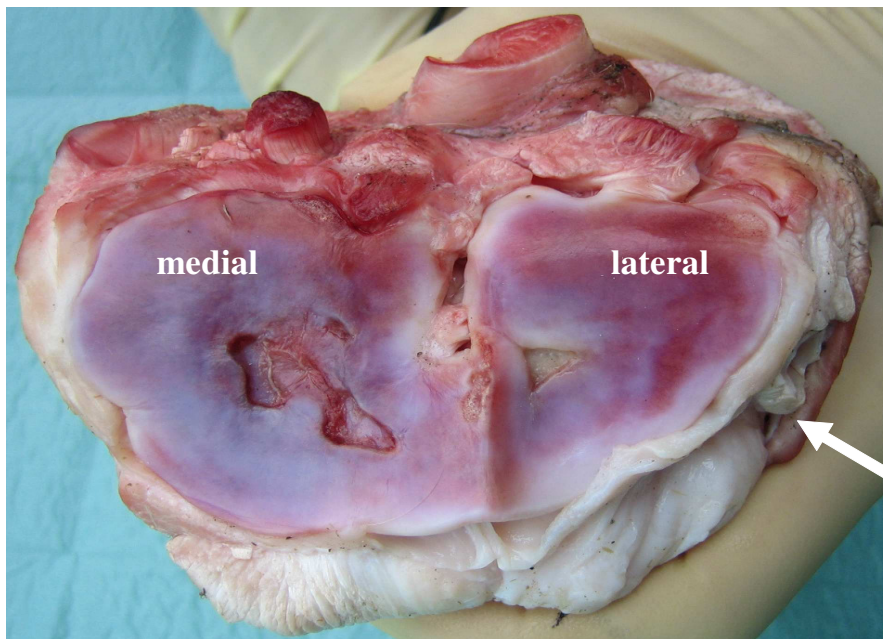


Abb. 13: Zuordnung der Präparate zur linken und rechten Schultergliedmaße anhand der proximalen Gelenkflächen der Ossa metacarpalia. Die Strecksehnen (Pfeil) verlaufen dorsolateral, die mediale Gelenkfläche der Ossa metacarpalia ist deutlich breiter als die laterale.

Alle Füße wurden vor den eigentlichen Messungen gründlich mit einem Hochdruckreiniger gesäubert, abgetrocknet, vom Kronsaum bis zum Fesselbereich geschoren und danach bei minus 18° Celsius gelagert. Vor den Schleif- und Messvorgängen wurden die Klauen über Nacht aufgetaut. Die Schlachtpräparate wurden nach Geschlecht und Alter drei unterschiedlichen Gruppen zugeteilt, nämlich den Mastbullen, den Färsen und den Kühen, damit alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede in den Klauenmaßen erfasst werden konnten.

3. Messungen und Messinstrumente

Die Methodik der Messungen orientierte sich an der von Paulus (2004) erarbeiteten. Lediglich die Sohlenbreite wurde unterschiedlich bestimmt, da bei Paulus (2004) keine eindeutig reproduzierbaren Messpunkte angegeben waren. Die Präzisionsinstrumente erreichten eine Messgenauigkeit von 0,05 mm. Neben den mechanischen Messinstrumenten Hakentiefmaß, Gradmesser und Messschieber wurde auch ein digitaler Messschieber verwendet (Abb. 14), nachdem anhand von Vergleichsmessungen mit dem mechanischen Messschieber eine entsprechende Messgenauigkeit sichergestellt worden war. In Erweiterung der Methodik von Paulus (2004) wurden von

einem Tier stets beide Vorderfüße untersucht. Für jeden Parameter wurden zudem die Messungen dreimal vorgenommen und danach der Mittelwert verwendet.

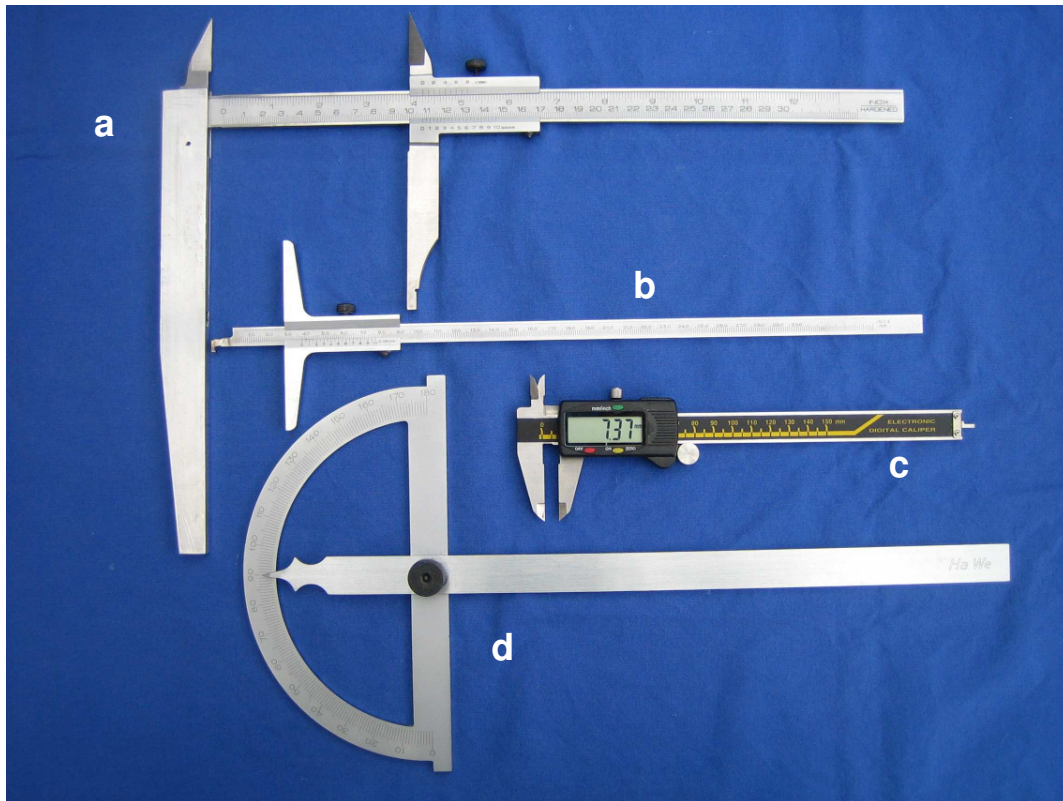


Abb. 14: Für die Untersuchung verwendete, zum Teil eigens modifizierte Messinstrumente;

- a) Mechanischer Messschieber mit einer Aluminiumverlängerung des fixen Schenkels (Modifikation)**
- b) Tiefenmessinstrument, an der Spitze mit einem Haken modifiziert, zur exakten Bestimmung der Hornsohlendicke (Modifikation)**
- c) Messschieber mit digitaler Messanzeige**
- d) Gradmesser**

Weiterhin wurden als Parameter die Kronsaumhöhe zwischen lateraler und medialer Klaue verglichen. Anhand dieses Vergleichs sollte ein Höhenunterschied zwischen lateraler und medialer Klaue festgestellt werden. Dieser Parameter wurde jedoch nicht vermessen, sondern anhand von sieben Einstufungen visuell bestimmt.

Das Abschleifen der Sohlen, das Setzen der Bohrlöcher, die Bestimmungen der Sohlendicke und die Messtechniken wurden anhand von zehn Füßen geübt und dabei das letztendliche Vorgehen festgelegt. Aufgrund dieser Voruntersuchungen wurden auch die Modifikationen der Messinstrumente vorgenommen.

Somit wurden an allen Hornschuhen 11 Maße direkt und vier (indirekt) an den Abdrücken erhoben (Tab. 9). An den angepassten Klauen wurden 12 (8 direkte, 4 indirekte) und am Korium vier Parameter erneut dreimal vermessen.

Tab. 9: Auflistung der gemessenen Parameter (n = 15) zur Bestimmung der Größe von 240 Klauen

Parameter (n= 15)	Hornschuhe (n = 240)	Hornschuhe nach Anpassung des Sohlenniveaus (n = 27)	Korium (n = 240)
Bohrung Klauenspitze (nativ)	•	–	–
Bohrung Ballen (nativ)	•	–	–
Referenzmaß Klauenspitze	•	•	–
Referenzmaß Ballenbereich	•	•	–
Dorsalwandwinkel	•	•	•
Dorsalwandlänge	•	•	•
Ballenhöhe	•	•	•
Ballenlänge	•	•	–
Ballenbreite	•	–	–
Klauenlänge	•	•	•
Sohlenlänge Klaue direkt	•	•	–
Sohlenlänge des Abdrucks	•	•	–
Sohlenbreite des Abdrucks	•	•	–
Sohlenfläche des Abdrucks	•	•	–
Sohlenumfang des Abdrucks	•	•	–

Zwei Parameter des Kronsaumverlaufes wurden rein adspektorisch bestimmt und sind deshalb nicht unter den exakten Messungen in Tab. 9 aufgelistet. Schließlich wurden das Verhältnis zwischen Dorsalwandlänge und Ballenlänge, Dorsalwandlänge und Ballenhöhe sowie Dorsalwandlänge und Sohlenlänge errechnet.

4. Referenzmaß Sohlendicke

Zunächst wurden in die Sohlen der Innen- und Außenklaue je zwei Löcher, die bis in die Lederhaut reichten, gebohrt (Abb. 15). Dazu wurde ein „Forstner-Bohrer“ mit einem Durchmesser von 15 mm verwendet. Als Orientierungshilfe für die Platzierung der Löcher diente die weiße Linie. Das erste Bohrloch lag im Bereich der Klauenspitze und grenzte mit einem Abstand von

3-5 mm an die axiale und an die abaxiale weiße Linie. Das zweite Loch wurde am Ende der Sohlenfläche in die Mitte der Sohle, axial von der dort endenden weißen Linie gebohrt.

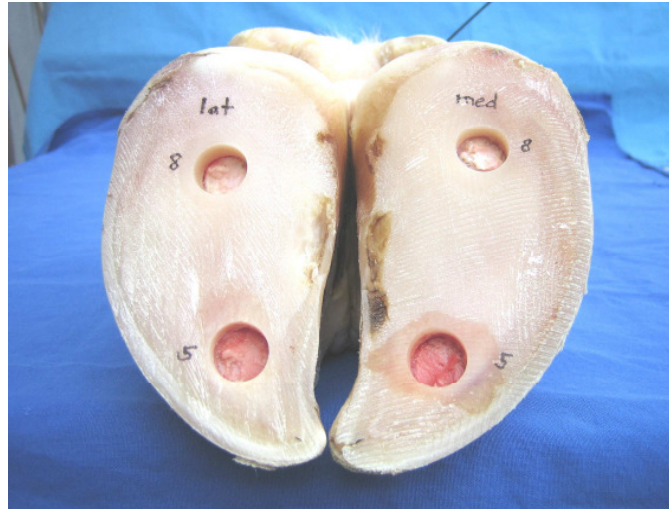


Abb. 15: Klauenpaar der linken Schultergliedmaße eines Bullen. Ansicht bei definierter Sohlendicke.

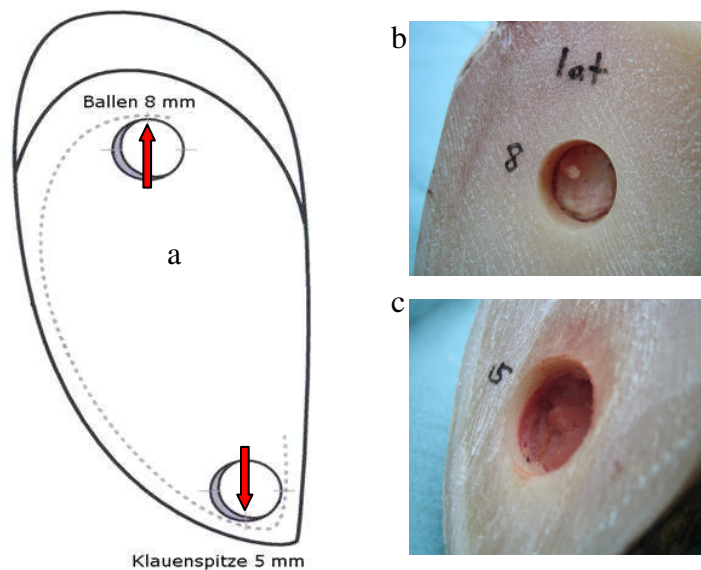


Abb. 16: Messung der Sohlendicke.

(a) : Schematische Darstellung der Sohlenansicht einer Klaue mit den Messbohrungen im Klauenspitzen- und im Ballenbereich an den definierten Positionen. Die roten Pfeile zeigen die Messrichtungen der Hornsohlendicke der entsprechenden Bohrung.

(b, c) : Nahaufnahmen der Messbohrungen am Ballen (b) und der Sohlenspitze (c) einer Klaue, die auf die definierte Sohlendicke zugeschliffen wurde.

Danach wurde zuerst die nativ vorhandene Sohlendicke gemessen, und zwar am apikalen Ende des Loches an der Klauenspitze und am palmaren Ende des Lochs am Ballen (Abb. 16). In manchen Fällen war festzustellen, dass die Sohle der unbearbeiteten Klaue bereits dünner als das vorgegebene Referenzmaß war. Da dies von Interesse für die Klauenpflege war, wurde beschlossen, diese Klauen nicht zu verwerfen, sondern die Maße ebenfalls zu dokumentieren.

Anschließend wurde das Sohlenhorn auf 5 mm am apikalen Punkt des Loches an der Sohlenspitze und auf 8 mm am palmaren Ende des Loches am Ballen abgetragen, und zwar so, dass eine ebene Sohlenfläche entstand. Da das Abschleifen der Sohlendicke nicht immer exakt auf 5 und 8 mm gelang, sondern des Öfteren Abweichungen auftraten, wurde bei beiden Referenzdicken ein Toleranzbereich festgelegt. Dieser betrug 0,3 mm nach oben und unten, das heißt, die Sohlendicke durfte zwischen 5,3 mm und 4,7 mm bzw. zwischen 8,3 mm und 7,7 mm dick sein. Die definierte Sohlendicke diente als Referenzwert für die Ermittlung der übrigen Klauenmaße (Tab. 9.)

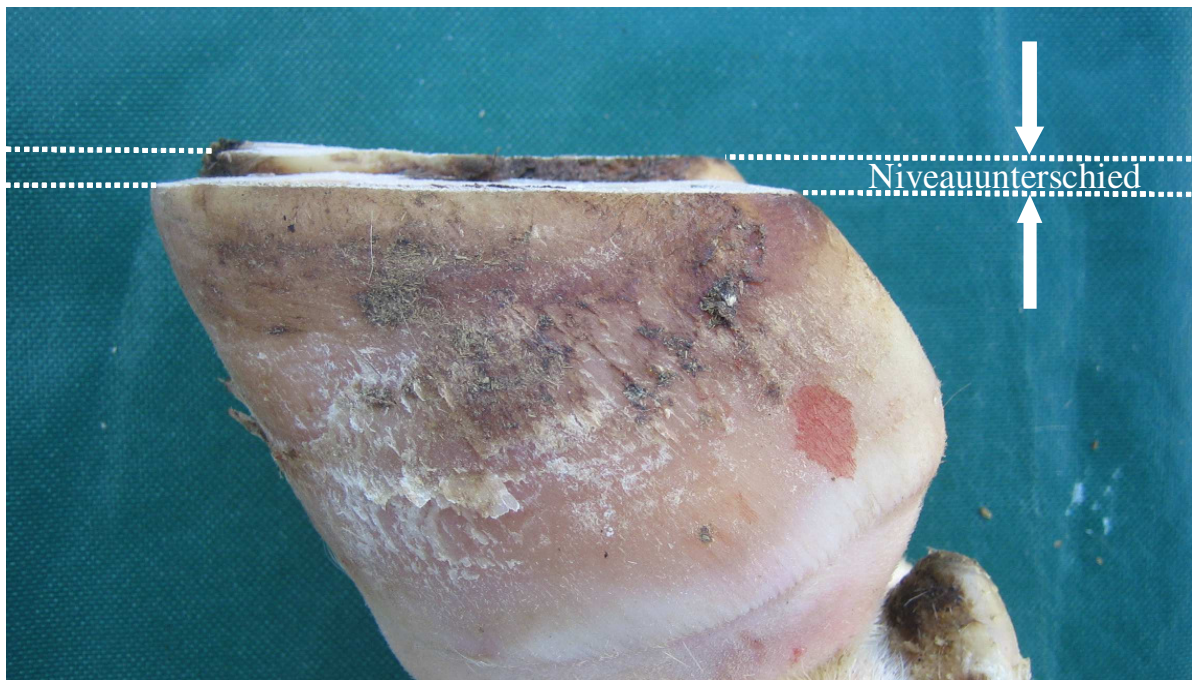


Abb. 17: Höhendifferenz bei einem Klauenpaar. Eine der Klauen reicht weiter nach distal, obwohl beide Klauen die gleiche Sohlendicke aufweisen.

Differenzierte nach Herstellen der standardisierten Sohlendicke das Höhenniveau der planen Sohlenfläche einer Klaue im Vergleich zur ebenso vorbereiteten Partnerklaue (Abb. 17), wurden die Maße zunächst an beiden Klauen erhoben. Dann wurde das Sohlenniveau der höheren Klaue auf das der Partnerklaue abgetragen und an ihr erneut alle Messungen vorgenommen.

Die folgenden drei schematischen Darstellungen (Abb. 18, Abb. 19, Abb. 20) entstammen einer eigens angefertigten dreidimensionalen Animation eines vereinfachten, computergenerierten Klauenpaares. Die beschrifteten Standbilder sollen die erhobenen Klauenmaße veranschaulichen.

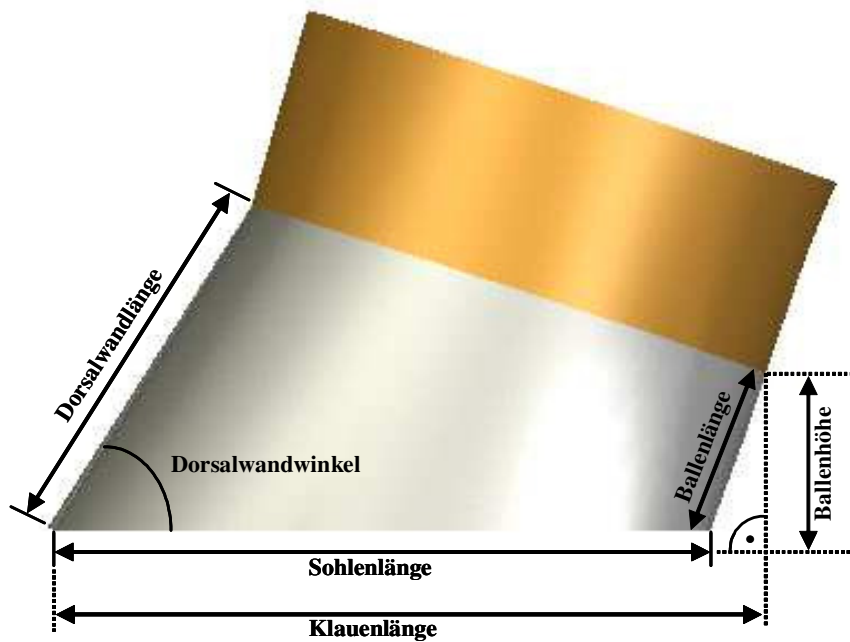


Abb. 18: Schematische Darstellung der gemessenen Parameter in der Seitenansicht.

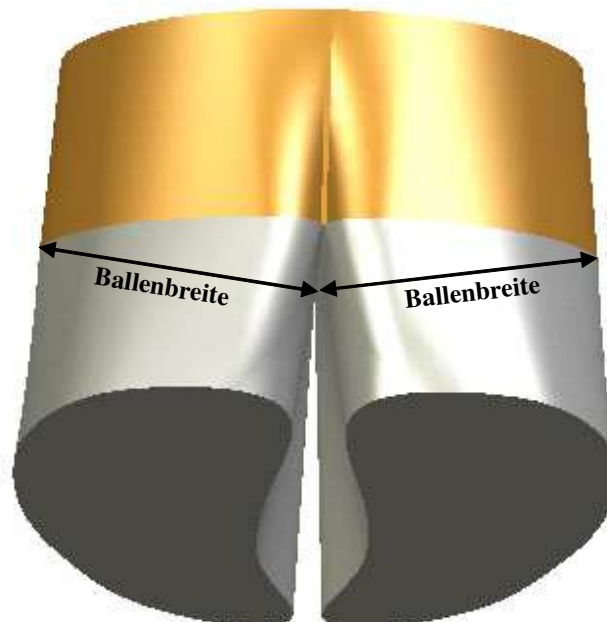


Abb. 19: Schematische Darstellung der diagonal gemessenen Ballenbreiten. Die Skizze zeigt nicht exakt den Verlauf des Ballenhornes und vor allem nicht die Lage der axialen Messpunkte.

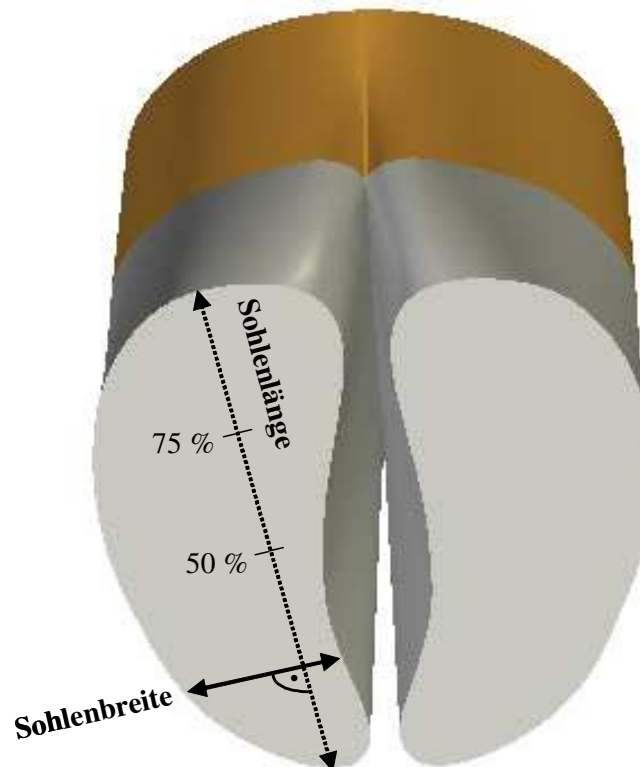


Abb. 20: Schematische Darstellung des Verlaufs und der Messung von Sohlenlänge und Sohlenbreite. Die skizzierten Messparameter wurden indirekt am Sohlenabdruck mittels einer Messschablone ermittelt. Die Sohlenbreite wird durch eine Lotgerade zur Sohlenlänge (bei 25% der Sohlenlänge, ausgehend von der Klauenspitze) definiert.

5. Messungen am Hornschuh

5.1 Sohlendicke

Die Bohrlöcher wurden wie oben beschrieben gesetzt. Die Messung der Sohlendicke wurde mit einem modifizierten mechanischen Hakentiefenmaß durchgeführt. An der ursprünglich geraden Spitze wurde von einem Feinmechaniker ein Haken auf exakt dem gleichen Level angeschweißt. Der an der Spitze angebrachte Haken konnte in die definierten Löcher eingeführt (Abb. 21) und lederhautseitig unter die Hornsohle geschoben werden. An der Klauenspitzen-Bohrung wurde der Messhaken apikal und an der Ballenbohrung palmar durchgeführt. Die erste Messung erfolgte im unbearbeiteten Klauenzustand, die zweite zur Herstellung der planen Sohlenfläche bei definierter Sohlendicke und die dritte gegebenenfalls nach dem Anpassen, an der überstehenden

Klaue. Zumeist wurde das Referenzmaß zu den tieferen Grenzwerten unterschritten. Falls zuviel Horn abgetragen worden war, wurde das Gliedmaßenpaar verworfen.

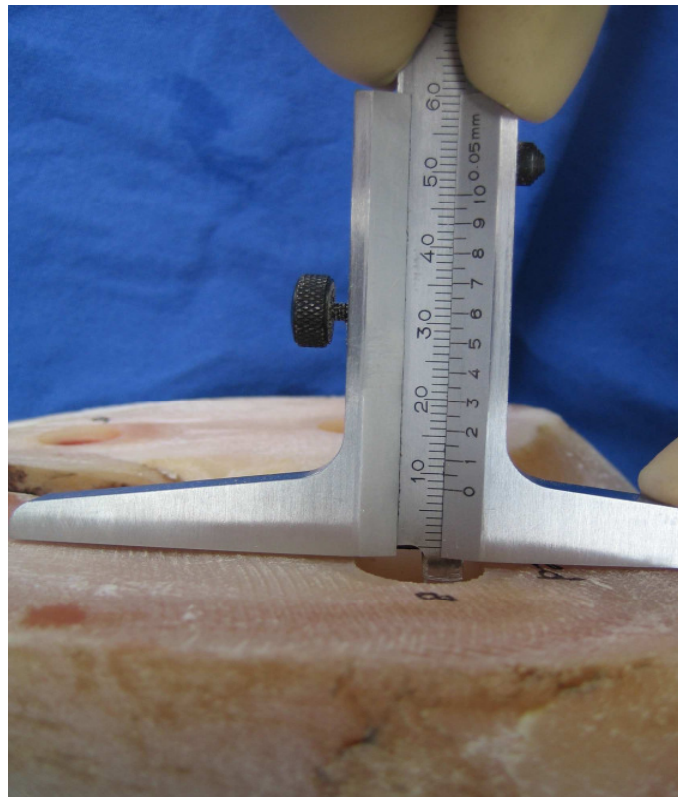


Abb. 21: Messung der Sohlendicke im Ballenbereich: Referenzwert von exakt 8,0 mm bei palmarer Positionierung des Messhakens.

5.2 Dorsalwandlänge

Zur Messung der Dorsalwandlänge wurde mit einem wasserfesten Folienstift eine Markierung an der Grenze zwischen der behaarten Haut und dem Saumhorn angebracht. Dieser wurde bei beiden Klauen 10 mm vom Zwischenklauenspalt entfernt platziert. Die Messung der Dorsalwandlänge erfolgte parallel zum Interdigitalspalt und zur Zehenachse bis zur Klauenspitze (Abb. 22). Dieses Maß wurde in den statistischen Auswertungen mit anderen Parametern ins Verhältnis gesetzt. Es wurden die Quotienten mit der Ballenlänge, der Ballenhöhe sowie der Sohlenlänge errechnet.



Abb. 22: Messung der Dorsalwandlänge am Hornschuh. Der Messschieber wird parallel zum Zwischenklauenspalt, von der Markierung am Kronsaum bis zur Klauenspitze, angelegt.

5.3 Dorsalwandwinkel

Der Markierungspunkt der Dorsalwandlänge diene auch zur Ermittlung des Dorsalwandwinkels. Der Winkelmesser wurde vom Markierungspunkt ausgehend parallel zum Zwischenklauenspalt zwischen Klauenspitze und Kronsaum angelegt (Abb. 23).

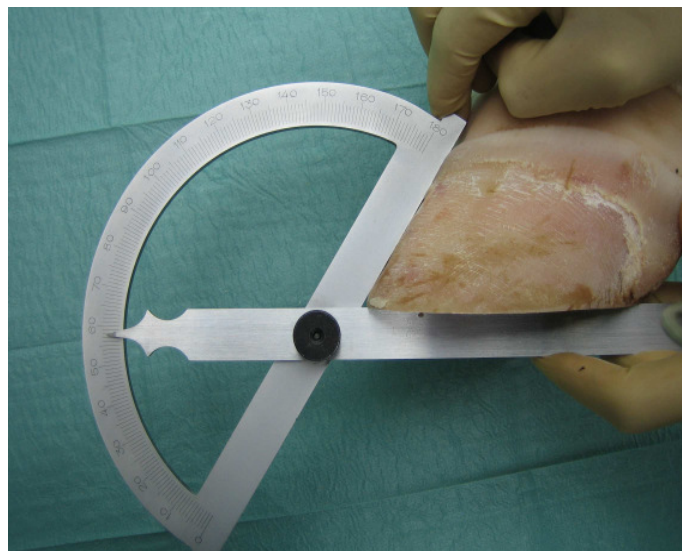


Abb. 23: Messung des Dorsalwandwinkels. Beide Messschenkel liegen dem Hornschuh eng an. Der kürzere verläuft dorsal über die beiden Markierungen zur Messung der Dorsalwandlänge.

5.4 Ballenlänge

Zur Messung der Ballenlänge lag der eine Schenkel des Messschiebers unmittelbar am palmaren Ende der Belastungsfläche der Sohle, der andere am höchsten Punkt des Ballens, am Übergang zwischen dem Saumhorn und der behaarten Haut. Dieser proximale Punkt wurde für weitere Messungen mit einem wasserfesten Folienstift markiert (Abb. 24).

Aufgrund des unterschiedlichen Verlaufs des Kronsaums variierte seine Lage in axialer und abaxialer Richtung. Auch der palmare Endpunkt der Sohlenfläche befand sich nicht konstant an der gleichen Stelle.

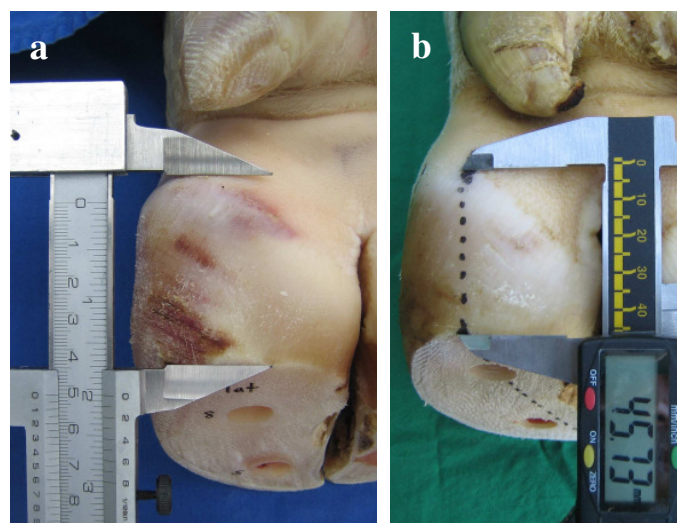


Abb. 24: Messung der Ballenlänge, palmare Ansicht.

a) mechanischer Messschieber;

b) digitaler Messschieber.

(a, b) die Messschenkel stehen im 90-Grad-Winkel, die Messschiene parallel zum Zwischenklauenspalte bzw. der Zehenachse. Die Lage des proximalen Punktes wird ersichtlich.

5.5 Ballenhöhe

Für die exakte Messung der Ballenhöhe wurde der Messschenkel zur besseren Auflage der Sohlenfläche der Klaue eigens mit einer Aluminiumschiene verlängert.

Diese Verlängerung wurde parallel zum Interdigitalspalt auf die plane Sohlenfläche gelegt (Abb. 25). Der Messschieber wurde am höchsten Punkt des Ballens, dem proximalen Messpunkt der maximalen Ballenlänge, angesetzt.



Abb. 25: Messung der Ballenhöhe, kranio-laterale Ansicht.
Der Vorteil der Aluminiumverlängerung liegt in einer guten Auflage auf der Sohle und resultiert in einer exakten Messung. Die gestrichelte Markierung an der abaxialen Klauenwand zeigt den Verlauf des Überganges zwischen dem Trachtenteil der abaxialen Wand und dem weichen Ballenhorn. Der am weitesten proximal gelegene Punkt der Markierung fungierte bei der Messung der Ballenbreite als abaxialer Messpunkt.

5.6 Ballenbreite

Das Messinstrument wurde von palmar an den Ballen angelegt. Der Messschieber wurde von palmar in den Zwischenklauenspalt geschoben und der Messschenkel von abaxial an den Ballen herangeführt (Abb.26). Letzterer wurde an der Grenze von der behaarten Haut zum elastischen Kronsaum auf Höhe des Übergangs vom weichen ins harte Ballenhorn (Markierungspunkt siehe Abb. 25) angelegt.

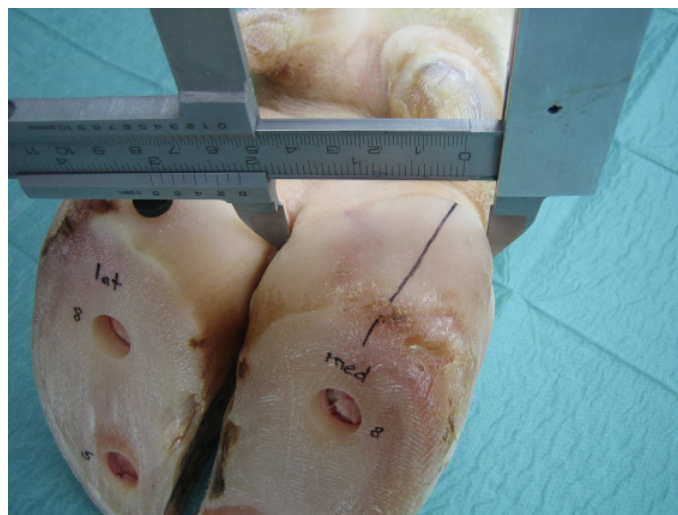


Abb. 26: Diagonale Messung der Ballenbreite an der Grenze von behaarter Haut zum Saumhorn, vom Zwischenklauenspalt zu dem in Abbildung 25 beschriebenen (und in Abb. 28 zu sehenden) abaxialen Markierungspunkt.

Somit wurde die diagonale und nicht die transversale Breite des Ballens gemessen. Dies ergab nicht die „eigentliche Breite“ – senkrecht zur Gelenkachse, erlaubte aber die Festlegung von reproduzierbaren Messpunkten.

5.7 Sohlenlänge

Die Sohlenlänge stellte die Strecke zwischen der Klauenspitze und dem palmaren Ende der Belastungsfläche dar. Da das palmare Ende meist mehr abaxial lag, verlief die Strecke in etwa diagonal über die Sohlenfläche (Abb. 27). Die Messschiene stand parallel zur Sohlenfläche.

Somit wurde die diagonale Sohlenlänge bestimmt, und nicht eine Länge, die parallel zum Zwischenklauenspalt verlief. Aufgrund der Abrundung des Ballens konnte so die größte Länge gemessen werden. Der Verlauf der Sohlenlänge wurde gekennzeichnet, damit eine Orientierung für die später gemessene Klauenlänge vorhanden war.



Abb. 27: Messung der Sohlenlänge. Die gestrichelte Linie zeigt den Verlauf der Messrichtung an.

5.8 Klauenlänge

Für die Messung der Klauenlänge wurde der Messschenkel am Ballen und der Messschieber an der Klauenspitze angesetzt (Abb. 28). Die Messschiene lag auf der Sohlenfläche auf und verlief entlang der Sohlenlänge.

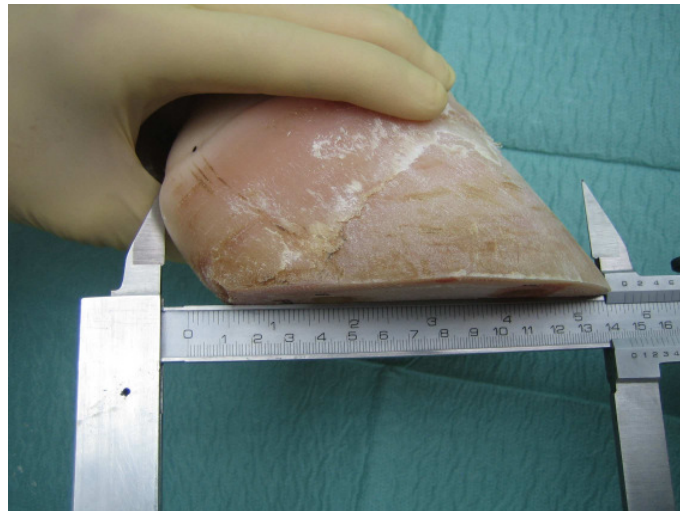


Abb. 28: Messung der Klauenlänge entlang der Messrichtung der Sohlenlänge.

Somit wurde die diagonale Klauenlänge gemessen, die entlang der größten Sohlenlänge verlief. Sie wurde nicht an der am weitesten palmar gelegenen Wölbung des Ballens gemessen.

6. Messungen am Sohlenabdruck

6.1 Sohlenlänge und Sohlenbreite

Die Sohlenlänge wurde zusätzlich zur direkten Messung auch an einem Abdruck gemessen. Dazu wurde mit einem weichen Bleistift (Härtegrad 8B) ein Abdruck der Sohlen aller Klauen auf dünnem Papier angefertigt (Abb. 29). Wenn nach Herstellung der definierten Sohlendicke ein Unterschied in der Sohlenhöhe einer Partnerklaue feststellbar war, wurde die höhere Klaue angeglichen und ein weiterer Abdruck dieser Sohle erstellt. Generell zeichneten sich der Ballen und der axiale Klauenbereich, vor allem im Bereich der Hohlkehlung, undeutlicher ab als der abaxiale Tragrand. Anhand einer Zeichen- und Messvorrichtung wurde eine Tangente im Ballenbereich der Skizze angebracht (Abb.30). Mit einer dazu parallelen Tangente an der Klauenspitze konnte die maximale Ausdehnung der Belastungsfläche, die Sohlenlänge, eingezeichnet werden. Dazu wurden beide Schnittpunkte durch eine Strecke verbunden und diese vermessen. Ausgehend von der Klauenspitze wurde bei 25 % der Strecke der gemessenen Sohlenlänge eine Lotgerade eingezeichnet. Die Länge dieser Lotgeraden entsprach der Sohlenbreite und wardurch die axial und abaxial gelegenen Schnittpunkte des Klauenprofils definiert. Bei der festgelegten

Distanz zur Klauenspitze gewährleistete der nach axial auslaufende Tragrand eine eindeutige Abgrenzung und ließ somit einen reproduzierbaren und vergleichbaren Messwert zu.

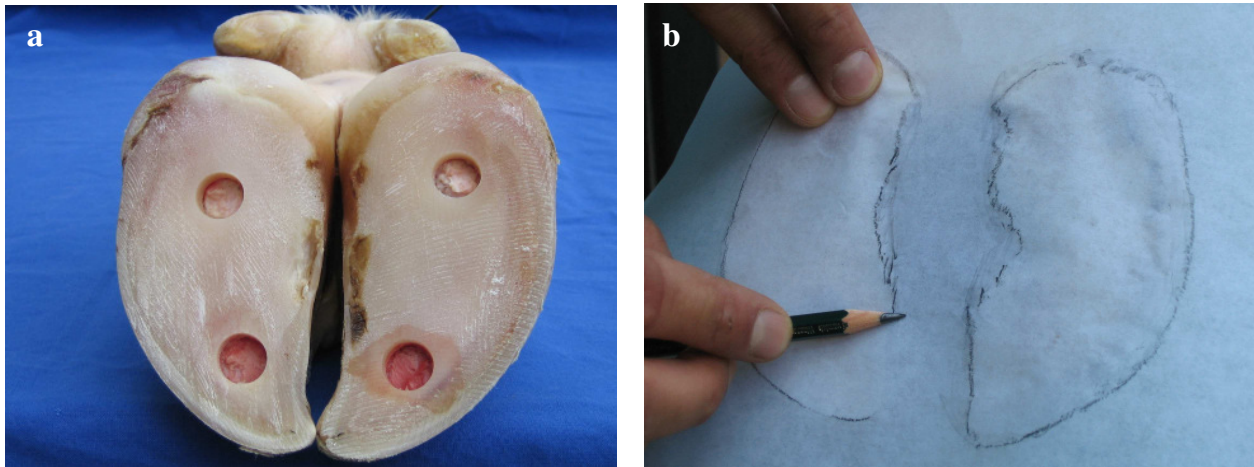


Abb. 29: a) Klauenpaar das auf die definierte Sohlendicke geschliffen wurde. Die axialen Sohlenabschnitte zeichnen sich relativ regelmäßig ab.
b) Im Gegensatz dazu ist bei der Anfertigung eines Sohlenabdruckes eines anderen Klauenpaares (mit einem weichen Bleistift) die unregelmäßige Linienführung in den palmaren und axialen Bereichen erkennbar.

Wurde der erwähnte Markierungspunkt für die Lotgerade versuchsweise etwas weiter in Richtung des Ballens, beispielsweise bei 30 % der Sohlenlänge gesetzt, so befand sich der axial gelegene Schnittpunkt bereits teilweise in undeutlichen Bereichen.

6.2 Sohlenumfang und Sohlenfläche

Die bereits beschriebenen unregelmäßigen axialen Abschnitte (Abb. 29) wurden für die Berechnung des Sohlenumfangs sowie der Sohlenfläche „begradigt“. Dies geschah in der Weise, dass eine Gerade diese Unregelmäßigkeiten überbrückte. Sie verlief vom axial gelegenen Endpunkt der Lotgerade der Sohlenbreite aus nach palmar. Ihr Ende lag an dem am weitesten axial gelegenen Punkt der palmaren Sohlenfläche. Dieser lag jedoch nicht konstant auf immer derselben Stelle. Deswegen wurde festgelegt, dass er in jedem Fall zwischen zwei Lotgeraden bei 80 und 90 % der Sohlenlänge, von der Klauenspitze aus gesehen, liegen sollte (Abb. 30). Somit wurden sämtliche Sohlenparameter auf der Grundlage der Sohlenlänge bestimmt. Die axiale „Überbrückungsgerade“ bildete einen Teil des regelmäßig verlaufenden Klauenumrisses und wurde in die planimetrische Berechnung des Sohlenumfangs mit einbezogen.

7. Messungen an der Lederhaut

7.1 Exungulation

Die Füße wurden 30 Minuten lang bis zum Kronsaum in 65° Celsius heißes Wasser gestellt (Methode nach Ossent 1990). Anschließend wurden die abgekühlten Klauen in einem Schraubstock eingeklemmt und die Hornkapsel abgezogen (Abb. 31). Danach wurden die Lederhautmaße erhoben. Aufgrund von fehlenden Fixpunkten beschränkten sich die Messungen auf die Dorsalwandlänge, den Dorsalwandwinkel, die Ballenhöhe und die Klauenlänge.

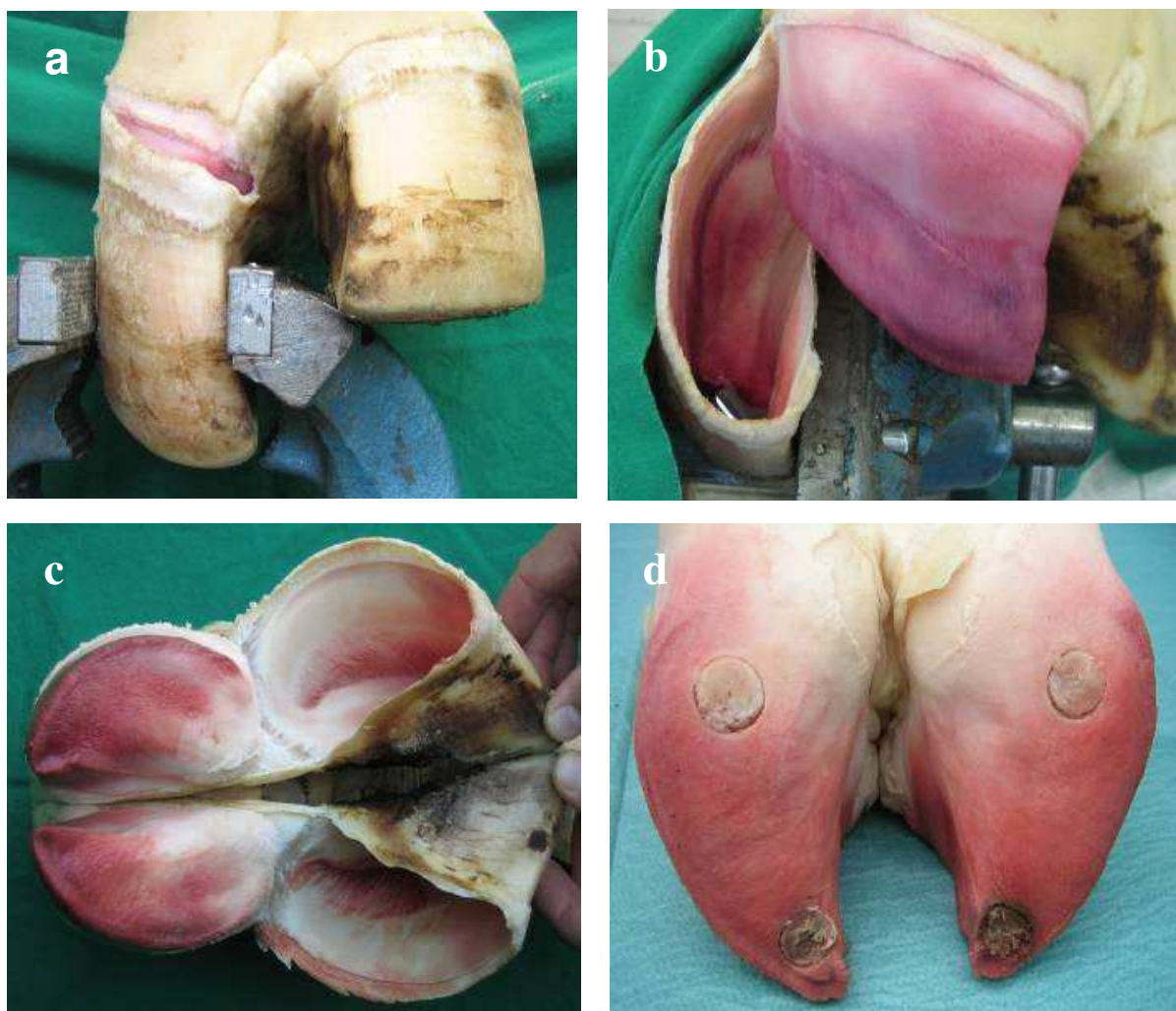


Abb. 31: Vorgang der Exungulation. a) Nach dem Erhitzen im Wasserbad wird die Klaue in den Schraubstock eingeklemmt. b) Durch Hebelbewegungen löst sich der Hornschuh am Übergang vom elastischen Kronsaum zur behaarten Haut. c) Beide Hornschuhe eines unangebohrten Präparates wurden bis auf die Horn-Hautverbindung im palmaren Bereich von der Lederhaut abgezogen und palmar nach hinten geklappt, bevor sie komplett gelöst werden. d) Im Vergleich zu (c) sieht man die Lokalisation der Messbohrungen an der Sohlenlederhaut.

Die Markierungen am Kronsaum fungierten auch nach dem Ausschuhem wiederum als Fixpunkte für Messungen. Die Markierungen waren nach dem heißen Wasserbad noch deutlich zu erkennen (Abb. 32). Messungen der Ballenlänge und der Sohlenfläche konnten aufgrund einer palmar nicht klar abgrenzbaren Belastungsfläche nicht durchgeführt werden. Da die Messpunkte für die Ballenbreite durch das Ausschuhem nicht beeinflusst wurden, wurde auf die Messung dieses Parameters verzichtet.

7.2 Dorsalwandlänge

Der Messschieber wurde am Markierungspunkt für die Messung der Dorsalwandlänge über den dorsalen Bereich des Koriums bis zur Klauenspitze des Koriums angesetzt und die Werte ermittelt (Abb. 32). Entsprechend zur Dorsalwandlängenmessung des Hornschuhs wurde das Messinstrument am Korium angelegt. Die Markierungspunkte am Kronsaum waren auch nach dem Wasserbad noch eindeutig zu erkennen und dienten als reproduzierbare Messpunkte.



Abb. 32: Messung der Dorsalwandlänge der Lederhautoberfläche.

Der Messschieber wurde lediglich an die Lederhaut angelegt und nicht angepresst, damit keine Deformierung des weichen Gewebes mit Verfälschung der Messwerte eintrat.

7.3 Dorsalwandwinkel

Die Messung erfolgte auf Höhe des Markierungspunktes für die Dorsalwandlänge, parallel zum Zwischenklauenspalt, wobei der längere Schenkel des Gradmessers auf der Sohlenfläche des Koriums zu liegen kam (Abb. 33).

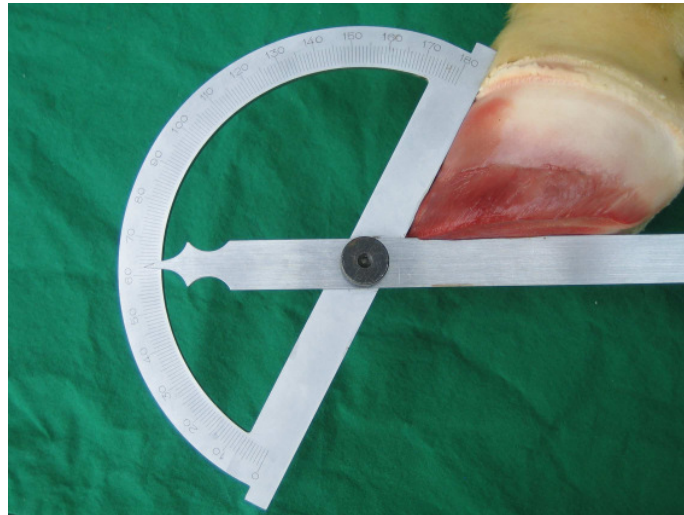


Abb. 33: Messung des Dorsalwandwinkels der Koriumoberfläche.

7.4 Ballenhöhe

Der modifizierte, verlängerte Messschenkel aus Aluminium wurde für die Messung an die Sohlenfläche des Koriums angelegt. Der Messschieber lag dem höchsten Punkt der Ballenlederhaut auf (Abb. 34).



Abb. 34: Messung der Ballenhöhe des Koriums, Lateralansicht. Der verlängerte Messschenkel liegt auf der Sohlenfläche auf, der Messschieber zeigt auf den höchsten Punkt des Ballens.

7.5 Klauenlänge

Die Messschiene wurde plan an die Sohlenfläche des Koriums angelegt. Die wie am Hornschuh diagonal verlaufende Messrichtung musste aufgrund der fehlenden Hilfslinie abgeschätzt werden. Der starre Schenkel des Messschiebers wurde von palmar an den Ballen angedrückt und der bewegliche tangierte die Klauenspitze (Abb. 35).



Abb. 35: Die Sohle des Koriums lag plan auf der Messschiene. Die Messschieber an Ballen und Klauenspitze begrenzen die Klauenlänge des Koriums äquivalent zur Vermessung des selbigen Parameters am Hornschuh.

8. Kronsaumbeurteilung

Unmittelbar nach dem Säubern und Scheren der Rinderfüße erfolgte eine adspektorische Einteilung des Kronsaumverlaufes. Bei jedem Präparat wurde eine vierstufige Graduierung aus zwei Betrachtungsrichtungen durchgeführt. Der Verlauf des Kronsaumes wurde im Vergleich zur Partnerklaue jeweils von dorsal sowie von palmar beurteilt. Konnte adspektorisch kein Unterschied festgestellt werden, wurde dies mit einer „Null“ beziffert. Mit der Graduierung „Eins“ verlief der Kronsaum einer der Partnerklauen geringgradig (Unterschied circa 1 mm) weiter proximal, wobei ein „Plus“ für die mediale Klaue und ein „Minus“ für die laterale Klaue stand. Dementsprechend wurde ein Niveauunterschied von 1-2 mm mit einer „Zwei“ und ein deutliche Differenz von mehr als 2 mm mit einer „Drei“ beurteilt (Abb. 36).

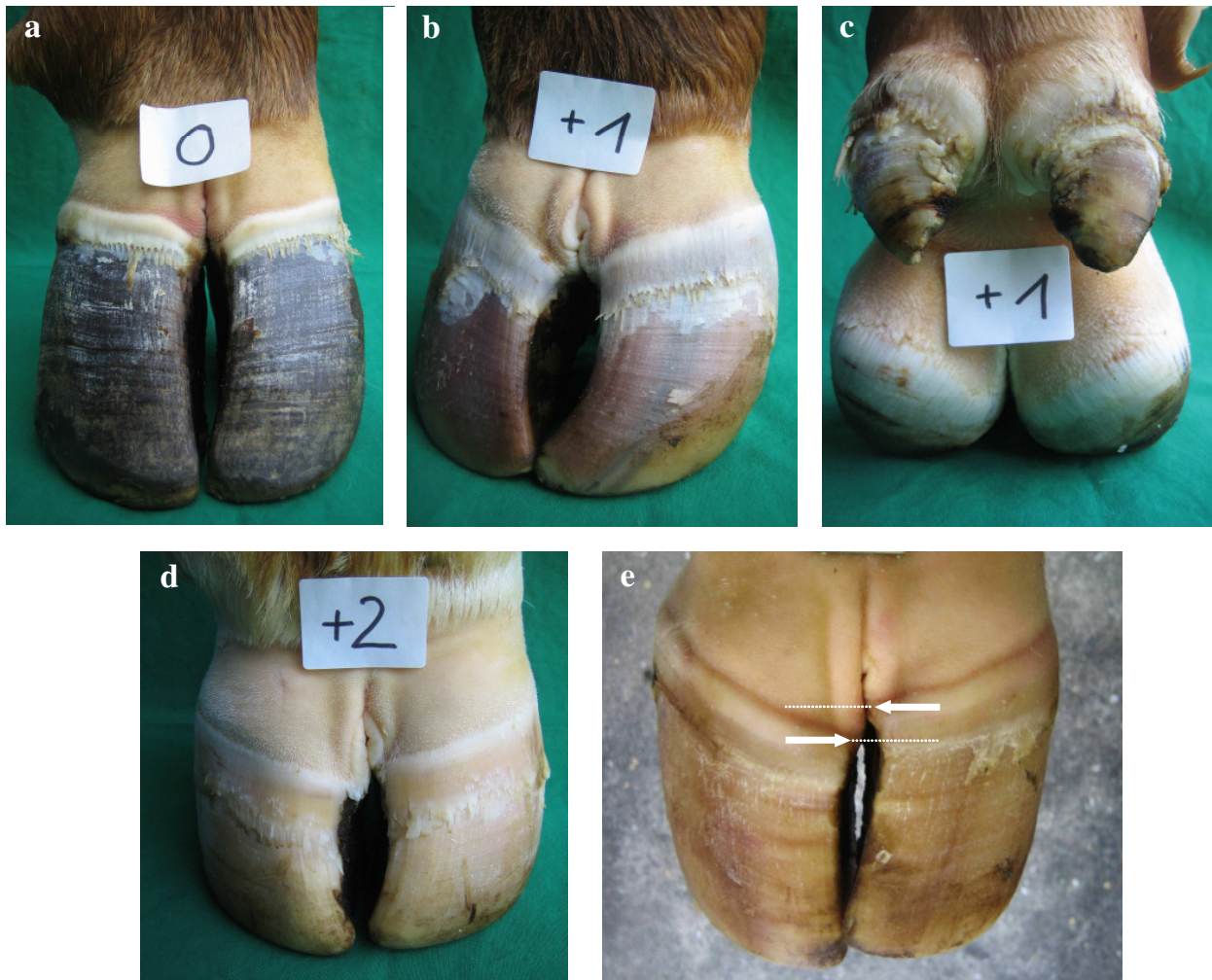


Abb. 36: Beurteilung des Kronsaums hinsichtlich eines Höhenunterschiedes. Höhenunterschied geschätzt und Grad der Ausprägung mit Ziffern bezeichnet: (+) mediale Klaue, (-) laterale Klaue mit weiter proximal gelegenem Kronsaum.

(a) Dorsalansicht eines Klauenpaares. Es ist kein maßgeblicher Höhenunterschied des Kronsaumes zu erkennen.

(b, c) In beiden Perspektiven dieser unterschiedlichen Präparate verläuft der Kronsaum der medialen Klaue um etwa 1 mm weiter proximal.

(d) Der mediale Kronsaum verläuft 1-2 mm weiter proximal.

(e) Eine sehr deutliche Differenz ist zu erkennen.

9. Statistische Auswertungen

Aus den drei Einzelmessungen jedes Klauenparameters wurde mit dem Software-Programm Excel (Microsoft Corporation, Redmond, USA) der Mittelwert errechnet. Die Mittelwerte der Klauenmessungen wurden auf eine Stelle hinter dem Komma auf- oder abgerundet. Diese Werte wurden dann in SPSS® (Version 16, www.spss.com, Chicago, USA) übertragen und weiter

ausgewertet. Anhand der Messungen der Dorsalwandlänge wurde die Wiederholbarkeit der Messungen überprüft, indem der Variationskoeffizient sowie der Intraklassenkorrelationskoeffizient bestimmt wurden.

Alle Messparameter der lateralen und medialen Klauen sowie der Verlauf der Kronsaumhöhen wurden zunächst getrennt nach linker und rechter Gliedmaße untersucht. Zur Feststellung von signifikanten Unterschieden zwischen den beiden Schultergliedmaßen wurde der gepaarte t-Test verwendet.

Der Wilcoxon-Test wurde angewandt, wenn sich weniger als 10 Messungen in der jeweiligen Gruppe ergaben, was insbesondere auf die Werte der im Sohlenniveau angepassten Klauen zutraf. Dabei wurden die Werte der drei Altersgruppen separat ausgewertet. Als Signifikanzgrenze wurde $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Aus den beiden medialen und den beiden lateralen Klauen der linken und der rechten Vordergliedmaße wurden jeweils die Mittelwerte gebildet („gepoolt“). In jedem Fall wurden sowohl die einzelnen als auch die gepoolten Werte in Tabellen aufgelistet.

Die Mittelwerte aller Parameter der beiden Gliedmaßen wurden auf Unterschiede zwischen den lateralen und medialen Klauen mit dem t-Test für abhängige Stichproben untersucht. Unterschiede in den Messwerten zwischen den Versuchsgruppen (Färsen, Kühe, Bullen) wurden mittels ANOVA mit anschließenden Bonferroni-korrigierten Paarvergleichen auf statistische Signifikanz getestet. Als Signifikanzgrenze wurde $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Der Parameter der Sohlenlänge wurde sowohl direkt an der Klaue als auch indirekt am Sohlenabdruck der Belastungsfläche ermittelt. Diese Messwerte wurden anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten verglichen. Das Kronsaumniveau der rechten und der linken Vordergliedmaße wurde mit dem Wilcoxon-Test auf Unterschiede zwischen beiden Gliedmaßen untersucht.

IV Ergebnisse

Von 60 Tieren wurden stets beide Vorderfüße ($n = 120$) und somit 240 Klauen vermessen. Zur Auswertung lagen 164 Einzelmesswerte pro Tier und weitere 24 Einzeldaten für jede angepasste Klaue vor.

Zunächst wurde überprüft, ob es signifikante Unterschiede zwischen den beiden lateralen und den beiden medialen Klauen der Vordergliedmaßen gab. Acht der 150 Vergleiche waren im Seitenvergleich zwischen linker und rechter Schultergliedmaße entweder bei Färsen, Kühen oder Mastbullen signifikant unterschiedlich (Tab. 10). Vier dieser Vergleichsparameter betrafen die Lederhautabmessungen, drei Vergleiche den Hornschuh sowie eine Gegenüberstellung die indirekt am Sohlenabdruck ermittelten Werte.

Tab. 10: Messparameter (in Millimetern, Standardabweichung), die hinsichtlich der lateralen oder medialen Klauen zwischen rechter und linker Schultergliedmaße signifikant unterschiedlich waren.

Parameter und Versuchsgruppe	rechts	links	Signifikanz (p)
Dorsalwandlängen des Koriums der <i>lateralen</i> Klauen der Mastbullen	62,9 ($\pm 3,6$)	63,7 ($\pm 3,1$)	0,031
Dorsalwandwinkel des Koriums der <i>lateralen</i> Klauen der Kühe	58,6 ($\pm 2,6$)	57,4 ($\pm 2,7$)	0,047
Dorsalwandwinkel der <i>medialen</i> Klauen der Kühe	53,0 ($\pm 4,3$)	50,8 ($\pm 5,1$)	0,017
Dorsalwandwinkel des Koriums der <i>lateralen</i> Klauen der Mastbullen	63,9 ($\pm 3,3$)	62,7 ($\pm 3,1$)	0,017
Ballenhöhe der <i>lateralen</i> Klauen der Färsen	42,5 ($\pm 3,9$)	40,1 ($\pm 3,4$)	0,011
Ballenhöhe der <i>lateralen</i> Klauen der Kühe	43,9 ($\pm 4,1$)	41,4 ($\pm 4,2$)	0,003
Ballenhöhe des Koriums der <i>lateralen</i> Klauen der Mastbullen	33,8 ($\pm 4,5$)	32,4 ($\pm 4,8$)	0,031
Sohlenlänge des Sohlenabdrucks der <i>medialen</i> Klauen der Färsen	112,3 ($\pm 7,68$)	114,4 ($\pm 5,58$)	0,049

Im Folgenden werden sowohl die Mittelwerte der linken und rechten Schultergliedmaße als auch die Mittelwerte separat für die Gliedmaßen angegeben. Auf die in Tab. 10 bestehenden statistischen Unterschiede wird verwiesen. Anhand der Dorsalwandlängen des Hornschuhs und der Lederhaut wurde die Wiederholbarkeit der jeweils drei Messungen überprüft.

Die Spannbreite der Variationskoeffizienten reichte von 0,26 % bei den Hornschuhmessungen bis zu 0,41 % bei den Lederhautabmessungen. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient der Messungen bewegte sich zwischen 0,95 und 1,00, das heißt die Wiederholbarkeit war sehr hoch.

1. Hornschuh- und Lederhautabmessungen

1.1 Ursprüngliche Sohlendicke

In den drei Tiergruppen war die Sohle an den medialen Klauen dicker als an den lateralen (Tab. 11). Signifikant waren diese Unterschiede allerdings nur im Bereich der Klauenspitze. Die Sohlen der lateralen Klauen waren zwischen 0,2 mm und 1,3 mm dünner als die der medialen (Tab. 12).

Tab. 11: Sohlendicke an den unbearbeiteten Klauen (n = 240). Mittelwerte (fettgedruckt), Standardabweichung in Klammern, gefolgt von Minimal- und Maximalwert des Parameters in Millimetern. Werte der linken und rechten Schultergliedmaßen zusammengefasst.

Messbohrung	Färsen		Kühe		Mastbullen	
	laterale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen	mediale Klauen
Spitze (S)	9,2* (±1,9) 5,4-13,4	10,5* (±2,9) 6,3-16,3	9,1* (±1,9) 4,8-11,9	10,2* (±1,8) 6,3-12,6	8,9* (±3,1) 2,4-15,8	9,6* (±3,5) 2,5-18,1
Ballen (B)	13,2 (±2,7) 8,2-19,1	13,6 (±2,6) 10,3-19,3	12,4 (±2,4) 7,8-15,2	13,1 (±2,2) 10,4-18,5	13,3 (±3,1) 8,0-20,8	14,2 (±3,4) 8,1-19,0

*Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Der vorgegebene Sollwert von 5 mm an der Klauenspitze und 8 mm im Ballenbereich wurde bei acht von 60 Tieren unterschritten. Unter den 480 Messbohrungen wurde 25mal (5,2 %) das Referenzmaß nicht erreicht, bei 19 Klauen an der Spitze und bei 6 Klauen am Ballen.

Eine genauere Aufschlüsselung der Einzelmesswerte (Tab. 12) bestätigte die Mittelwertresultate. Bei den Bullen jedoch fielen sehr niedrige, das Referenzmaß unterschreitende Werte auf. Des Weiteren besaßen deren Minima und Maxima eine größere Spannbreite als bei den Kühen.

An insgesamt 27 von 120 Präparaten (22,5 %) war nach Herstellung der definierten Sohlendicke ein Niveauunterschied der Sohlenflächen ersichtlich. Davon ragte 24mal die laterale und dreimal die mediale Klaue nach distal über (Tab. 13). Somit entstand der Eindruck, dass meist die

laterale Zehe länger als die mediale war. Deswegen musste zur Angleichung des Sohlenniveaus eine Anpassung an die jeweilige Partnerklaue erfolgen.

Tab 12: Mittelwerte der ursprünglichen Sohlendicke in Millimetern (fettgedruckt) der lateralen und medialen Klauen beider Schultergliedmaßen im Klauenspitzenbereich (S) und im Ballenbereich (B). Standardabweichung in Klammern, minimale und maximale Werte in Millimetern.

	Linke Schultergliedmaße		Rechte Schultergliedmaße	
	laterale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen	mediale Klauen
Färsen				
S	8,7* ($\pm 2,1$), 5,1-13,1	10,7* ($\pm 3,2$), 5,8-16,4	9,6 ($\pm 1,9$), 5,8-13,7	10,3 ($\pm 2,8$), 5,7-16,2
B	13,7 ($\pm 3,1$), 8,0-20,2	13,6 ($\pm 2,9$), 9,6-19,7	12,7 ($\pm 2,9$), 8,5-18,1	13,7 ($\pm 2,6$), 10,4-20,5
Kühe				
S	8,7* ($\pm 1,8$), 4,9-11,2	10,5* ($\pm 2,2$), 6,8-13,6	9,5 ($\pm 2,4$), 4,7-13,5	9,8 ($\pm 1,8$), 5,9-12,8
B	12,4 ($\pm 3,0$), 7,7-17,9	13,0 ($\pm 2,2$), 10,9-17,3	12,3 ($\pm 3,0$), 8,0-15,7	13,2 ($\pm 2,6$), 9,5-19,8
Mast- bullen				
S	8,5* ($\pm 3,5$), 1,9-18,4	9,6* ($\pm 3,6$), 2,6-17,1	9,3 ($\pm 3,6$), 2,6-18,5	9,7 ($\pm 3,7$), 2,5-19,2
B	13,1 ($\pm 3,3$), 6,6-20,5	13,9 ($\pm 3,4$), 7,6-21,3	13,6 ($\pm 3,5$), 6,6-21,1	14,4 ($\pm 3,9$), 7,1-21,9

*Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$.

Bei den Färsen mussten 11mal, bei den Kühen 4mal und bei den Bullen 9mal die lateralen an die medialen Klauen angepasst werden. Hingegen wurde die mediale Klaue insgesamt nur 3mal, 2mal bei den Bullen und 1mal bei einer Kuh, an die laterale Klaue angepasst.

Tab. 13: Häufigkeiten des Angleichungsvorganges sowie Mittelwerte der angepassten Sohlendicke (fettgedruckt) an der Klauenspitze (S) und im Ballenbereich (B), mit der Standardabweichung in Klammern und den minimal und maximal gemessenen Werten in Millimetern.

	linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
	laterale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen	mediale Klauen
Färsen				
S	8mal angepasst 1,2 ($\pm 0,9$), 0,1-2,9	–	3mal angepasst 1,2 ($\pm 0,9$), 0,1-1,9	–
B	4,3 ($\pm 1,5$), 2,4-7,1		3,1 ($\pm 1,1$), 1,5-3,9	
Kühe				
S	3mal angepasst 0,4 ($\pm 0,5$), 0,0-0,9	–	1mal angepasst 2,9	1mal angepasst 4,0
B	4,1 ($\pm 0,4$), 3,6-4,5		6,9	5,0
Mastbullen				
S	6mal angepasst 3,0 ($\pm 1,3$), 1,9-4,8	1mal angepasst 4,9	3mal angepasst 2,9 ($\pm 2,1$), 1,0-5,1	1mal angepasst 5,0
B	5,4 ($\pm 2,0$), 3,1-7,8	7,9	6,7 ($\pm 2,3$), 4,1-8,1	7,8

Nach dem Anpassungsvorgang waren sehr dünne Sohlendicken zu verzeichnen, die bei den weiblichen Tieren im Spitzenbereich bis hin zur vollständigen Freilegung der Lederhaut reichten (Tab. 13).

1.2 Dorsalwandlänge

Die Dorsalwandlänge betrug im Mittelwert etwa 75 mm, bei den Mastbullen weniger, und an den Innenklauen der Kühe durchschnittlich mehr. Allerdings war die Spannweite recht hoch, und die Maximalwerte betrugen 87,8 mm an den lateralen und 86,6 mm an den medialen Klauen (Tab. 14). Bei 5 lateralen und 11 medialen Klauen war die Dorsalwand länger als 80 mm.

Bei allen Tieren war die Dorsalwand der medialen Klauen länger als die der lateralen Klauen. Dies traf sowohl auf den Hornschuh als auch auf die Lederhaut zu. Die laterale Dorsalwand war 1-2,5 mm kürzer als die mediale Dorsalwand. Die Dorsalwandlänge korrelierte positiv mit dem Alter, sie nahm stetig zu.

Tab. 14: Dorsalwandlängen der Klauen der Schultergliedmaßen bei 60 Rindern: Mittelwerte (fettgedruckt) der medialen und lateralen Klauen gepoolt, in Millimetern, Standardabweichung in Klammern, minimal und maximal gemessene Werte.

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	73,9* ($\pm 3,7$), 65,6-80,7	75,3* ($\pm 4,3$), 65,7-83,9
	Kühe	74,8* ($\pm 5,1$), 66,6-87,8	77,2* ($\pm 4,1$), 72,1-86,6
	Mastbullen	70,5* ($\pm 4,9$), 59,0-78,3	72,4* ($\pm 5,1$), 60,8-80,1
Korium	Färsen	62,7* ($\pm 3,5$), 57,8-72,5	64,2* ($\pm 3,1$), 57,4-71,8
	Kühe	66,0 ($\pm 3,6$), 60,6-72,9	67,2 ($\pm 3,1$), 62,8-73,0
	Mastbullen	63,3 ($\pm 3,2$), 54,2-68,2 ^a	64,1 ($\pm 3,3$), 56,8-71,9

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

^a bei diesem Parameter wurden signifikante Unterschiede zwischen der linken und der rechten Vordergliedmaße gefunden

Signifikant waren die Unterschiede in der Dorsalwandlänge zwischen lateral und medial bei allen Gruppen sowie die Koriumwerte der Färsen. Bei den Bullen und Kühen waren die Unterschiede ebenfalls vorhanden, jedoch wurde keine Signifikanz erreicht.

Die Lederhautabmessungen der Dorsalwandlänge der Bullen wiesen in etwa die gleichen Dimensionen wie die der Färsen auf. Der Hornschuh der Färsen im Bereich der Dorsalwand war jedoch etwa 3 mm länger als der der Bullen (Tab. 15).

Bei 27 Füßen überragte eine Klaue das Niveau der Partnerklaue nach distal. Durch das Anpassen dieser - verkürzte sich 24mal die laterale, in drei Fällen auch die mediale Dorsalwandlänge gegenüber der bei der standardisierten Sohlendicke vorhandenen. Die Bullen wiesen nach dem Anpassen geringere Differenzen als die weiblichen Tiere auf.

Tab. 15: Dorsalwandlängen bei 60 Rindern: Werte der lateralen und medialen Klauen nach Schultergliedmaßen getrennt vergleichend. Mittelwerte (fettgedruckt) in Millimetern, Standardabweichung in Klammern sowie minimal und maximal gemessene Werte.

		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	74,3 ($\pm 3,1$) 67,8-79,0	74,7 ($\pm 4,0$) 65,9-81,9	75,9* ($\pm 5,0$) 65,6-85,9	73,5* ($\pm 4,5$) 63,3-82,4
	Kühe	75,4* ($\pm 5,9$) 67,7-90,1	77,6* ($\pm 4,5$) 71,7-88,0	76,9* ($\pm 4,6$) 70,6-86,0	74,2* ($\pm 5,1$) 65,4-85,6
	Mastbullen	70,7* ($\pm 4,8$) 59,4-78,6	71,9* ($\pm 5,3$) 61,4-81,4	73,0* ($\pm 5,4$) 60,2-80,7	70,2* ($\pm 5,2$) 58,6-80,7
Korium	Färsen	62,6* ($\pm 3,4$) 57,3-71,5	64,1* ($\pm 3,2$) 56,5-70,2	64,2* ($\pm 3,3$) 58,3-73,4	62,7* ($\pm 3,8$) 58,2-73,5
	Kühe	66,1 ($\pm 3,5$) 61,1-72,7	67,2 ($\pm 3,4$) 62,2-73,0	67,1* ($\pm 3,1$) 63,0-73,5	65,9* ($\pm 4,0$) 60,1-73,1
	Mastbullen	63,7 ($\pm 3,1$) 55,2-68,2	64,2 ($\pm 3,3$) 57,7-70,4	64,1* ($\pm 3,8$) 55,8-75,9	62,9* ($\pm 3,6$) 53,1-68,6

*Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Bei 16 der 240 Klauen (6,7 %) - 5 lateralen und 11 medialen Klauen - war die Dorsalwand länger als 80 mm.

1.3 Dorsalwandwinkel

Die Klauen aller Altersgruppen wiesen im Mittelwert Dorsalwandwinkel über 51 Grad auf. Bei den Bullen lag er bei etwa 59 Grad. Ihre Werte lagen etwa fünf Grad über denen der weiblichen Tiere (Tab. 16). Der Dorsalwandwinkel der Bullen war sowohl in den Werten des Hornschuhes als auch in denen des Koriums statistisch signifikant größer als die entsprechenden Werte der Färsen und Kühe. Bei den Bullen konnte kein Unterschied zwischen den Dorsalwandwinkeln der medialen und lateralen Klauen festgestellt werden. Bei den Färsen und den Kühen war der laterale Hornschuh etwas steiler gewinkelt als der mediale. Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant.

Tab. 16: Mittelwerte der Dorsalwandwinkel (in Grad; fettgedruckt), laterale und mediale Klauen zusammengerechnet. Standardabweichung in Klammern, gefolgt von minimal und maximal gemessenen Werten.

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	53,1 ($\pm 4,6$), 48,0-57,0	51,5 ($\pm 2,9$), 44,5-57,2
	Kühe	52,4 ($\pm 3,8$), 45,5-58,5	51,9 ($\pm 4,7$), 44,5-60,0 ^a
	Mastbullen	58,8 ($\pm 4,0$), 51,5-66,2	59,0 ($\pm 3,9$), 51,9-67,2
Korium	Färsen	58,9 ($\pm 3,2$), 51,5-64,5	58,6 ($\pm 2,9$), 53,5-64,7
	Kühe	58,0 ($\pm 2,5$), 51,5-61,0 ^a	58,2 ($\pm 2,5$), 53,0-62,7
	Mastbullen	63,3 ($\pm 3,0$), 56,4-70,2 ^a	63,5 ($\pm 2,9$), 57,3-70,5

^a bei diesem Parameter wurden signifikante Unterschiede zwischen der linken und der rechten Vordergliedmaße gefunden

Tab. 17: Mittelwerte der Dorsalwandwinkel (in Grad; fettgedruckt) der lateralen und medialen Klauen beider Schultergliedmaßen getrennt berechnet (Standardabweichung in Klammern, Minima und Maxima).

		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	52,1 ($\pm 2,7$) 48,0-58,0	51,2 ($\pm 2,8$) 46,0-57,5	51,9 ($\pm 3,5$) 43,0-57,0	51,8 ($\pm 3,4$) 46,0-57,5
	Kühe	52,7* ($\pm 4,1$) 46,0-60,0	50,8* ($\pm 5,1$) 40,0-58,0	53,0 ($\pm 4,3$) 47,0-62,0	52,2 ($\pm 3,7$) 45,0-57,0
	Mastbullen	58,8 ($\pm 3,5$) 52,3-65,5	58,8 ($\pm 3,7$) 52,0-67,0	59,3 ($\pm 4,6$) 51,8-69,5	58,9 ($\pm 4,6$) 50,7-68,5
Korium	Färsen	58,8 ($\pm 3,3$) 53,5-65,0	58,6 ($\pm 2,8$) 53,0-64,0	58,7 ($\pm 3,5$) 53,0-65,5	58,9 ($\pm 3,6$) 49,0-64,0
	Kühe	57,4 ($\pm 2,7$) 50,0-61,0	58,3 ($\pm 2,8$) 53,0-63,5	58,1 ($\pm 2,5$) 53,0-62,0	58,6 ($\pm 2,6$) 53,0-64,0
	Mastbullen	62,7 ($\pm 3,1$) 55,7-69,0	63,1 ($\pm 2,9$) 57,7-71,0	63,9 ($\pm 3,5$) 57,0-72,5	63,9 ($\pm 3,3$) 57,1-71,5

*Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$.

Färsen und Kühe zeigten am Korium die gleichen Werte, während die Bullen weitaus steilere Winkel aufwiesen. Bei den Auswertungen der einzelnen Gliedmaßen gab es einmal an der linken Schultergliedmaße einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der lateralen und der medialen Klaue (Tab. 17). Die Dorsalwandwinkel des Koriums waren bei den Färsen und

Kühen um etwas sechs Grad, bei den Bullen um knappe fünf Grad steiler als die Hornschuhwinkel

1.4 Ballenlänge

Die Ballenlängen betragen im Mittelwert etwa 50 mm an den Außen- und 45 mm an den Innenklauen. Die Ballenlängen waren bei allen Tieren an den lateralen Klauen signifikant größer als an den medialen (Tab. 18).

Tab. 18: Ballenlänge der Schultergliedmaßen bei 60 Fleckviehrindern, laterale und mediale Klauen gepoolt. Mittelwerte (in Millimetern, fettgedruckt), Standardabweichung in Klammern sowie minimale und maximale Werte.

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	47,0* (±3,9), 38,8-52,3	42,2* (±3,9), 36,2-48,8
	Kühe	49,0* (±4,1), 42,5-54,4	46,6* (±3,2), 41,4-52,9
	Mastbullen	52,1* (±5,1), 41,0-61,5	47,4* (±4,6), 37,9-57,6

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Die Mastbullen zeigten größere Werte als die Kühe, diese wiederum größere als die Färsen.

Die Minimal- und Maximalwerte des Parameters zeigten bei den Mastbullen die größte Spannweite (Tab. 19).

Tab. 19: Ballenlänge der lateralen und medialen Klauen beider Schultergliedmaßen vergleichend. Mittelwerte (in Millimetern), Standardabweichung in Klammern sowie minimale und maximale Werte.

Hornschuh		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
	Färsen	46,1* (±4,5) 34,9-51,6	42,3* (±3,5) 36,4-49,1	42,2* (±4,6) 35,6-49,0	48,0* (±4,2) 39,3-54,4
	Kühe	49,0* (±4,6) 42,1-55,6	46,6* (±3,4) 40,3-52,1	46,6* (±3,6) 42,4-55,2	49,0* (±4,2) 40,6-54,8
	Mastbullen	52,5* (±5,7) 40,2-63,3	47,4* (±5,6) 35,9-59,9	47,3* (±4,9) 38,0-56,4	51,7* (±5,3) 39,4-61,7

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Auch bei der separaten Gegenüberstellung der lateralen und medialen Klauen der beiden Schultergliedmaßen zeigten sich durchweg signifikante Unterschiede. Durch das Angleichen des Sohlenniveaus wurde die Länge des Ballens der überstehenden Klaue bei den weiblichen Tieren um 2,5-4 mm, bei den Mastbullen um 5-8 mm reduziert. Die Ballenlänge des Koriums konnte wegen der unscharfen Begrenzung des Sohlenendes nicht gemessen werden, weil sicher reproduzierbare Messpunkte nicht festgelegt werden konnten.

1.5 Ballenhöhe

Die Ballen der untersuchten Klauen waren durchschnittlich zwischen 38 und 46 mm hoch. Die Mittelwerte für die Ballenhöhe der lateralen Klauen der Färsen und Mastbullen waren signifikant größer als die der medialen Klauen (Tab. 20). Bei den Kühen waren die Werte ebenfalls größer, aber es wurde keine Signifikanz erreicht.

Tab. 20: Ballenhöhe bei 60 Rindern. Mittelwerte (fettgedruckt) der medialen und lateralen Klauen gepoolt, in Millimetern, Standardabweichung in Klammern, minimal und maximal gemessene Werte.

		Laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	41,3* ($\pm 3,2$), 35,0-46,0 ^a	37,9* ($\pm 3,4$), 31,7-44,1
	Kühe	42,7 ($\pm 3,9$), 35,3-49,1 ^a	41,3 ($\pm 3,3$), 35,0-46,4
	Mastbullen	45,6* ($\pm 4,9$), 36,1-55,8	42,1* ($\pm 4,4$), 32,6-52,1
Korium	Färsen	29,4* ($\pm 3,1$), 20,3-35,0	28,3* ($\pm 3,5$), 18,5-32,1
	Kühe	31,8 ($\pm 4,2$), 25,0-38,6	31,1 ($\pm 2,9$), 26,7-35,4
	Mastbullen	33,1* ($\pm 4,3$), 26,5-41,9 ^a	31,8* ($\pm 4,0$), 23,5-39,6

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

^a bei diesem Parameter wurden signifikante Unterschiede zwischen der linken und der rechten Vordergliedmaße gefunden

Die höchste Differenz zwischen den Partnerklauen am Hornschuh (> 3 mm), zeigten die Färsen und Mastbullen. Letztere zeigten auch an der Lederhaut signifikante Unterschiede (1,1 - 1,3 mm) zwischen der lateralen und der medialen Klaue. Die Mastbullen wiesen sowohl an den Hornschuh- als auch an den Lederhautabmessungen die größten Werte auf. Bei der getrennten Auswertung beider Schultergliedmaßen (Tab. 21), ergaben sich auch bei den Kühen signifikante

Unterschiede am Hornschuh. Am Korium der Färsen und Mastbullen waren nur die Werte der rechten Gliedmaße signifikant.

Tab. 21: Ballenhöhe bei 60 Rindern. Mittelwerte (fettgedruckt) der lateralen und medialen Klauen beider Schultergliedmaßen vergleichend in Millimetern, Standardabweichung in Klammern, minimal und maximal gemessene Werte.

		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	40,1* (±3,4) 33,8-46,2	38,4* (±3,4) 32,0-46,0	37,4* (±3,8) 31,5-43,5	42,5* (±3,9) 36,2-49,3
	Kühe	41,5 (±4,2) 32,0-46,6	41,5 (±3,9) 33,5-48,4	41,1* (±3,1) 36,6-46,7	43,9* (±4,1) 38,7-51,8
	Mastbullen	44,9* (±5,4) 32,9-56,5	42,6* (±4,9) 32,6-52,8	41,7* (±4,9) 32,7-51,5	46,2* (±5,2) 38,2-58,7
Korium	Färsen	29,2 (±3,8) 19,1-34,7	28,7 (±3,0) 21,5-33,4	27,8* (±4,5) 15,5-33,2	29,6* (±3,8) 21,6-38,8
	Kühe	31,8 (±4,6) 24,3-39,8	31,0 (±2,7) 26,0-34,8	31,3 (±3,6) 25,2-38,6	31,8 (±4,4) 25,4-40,9
	Mastbullen	32,4 (±4,8) 25,8-41,3	32,2 (±3,7) 23,2-39,0	31,5* (±5,1) 22,0-41,3	33,8* (±4,5) 25,0-44,2

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Durch die Anpassung des Sohlenniveaus verkürzte sich die Ballenhöhe bei den Färsen um 2-3 Millimeter, bei den Kühen bis zu 4 mm sowie bei den Mastbullen um bis zu 5 mm.

1.6 Ballenbreite

Die weiblichen Tiere wiesen eine Ballenbreite von etwa 49 mm an den Innenklauen und eine von 52 mm an den Außenklauen auf. Die Mittelwerte der Ballenbreite der lateralen Klauen aller Tiere waren signifikant größer als die der medialen. Die lateralen Ballen waren durchschnittlich um 3-4 mm breiter (Tab. 22). Die männlichen Tiere besaßen im Mittelwert einen bis zu 8-10 mm breiteren Ballen als die weiblichen.

Die Angleichungsvorgänge am Klauenschuh sowie die Exungulation beeinflussten die Werte dieses Parameters nicht.

Tab. 22: Ballenbreite an den Schultergliedmaßen von 60 Fleckviehrindern. Mittelwerte (in Millimetern) der der lateralen und medialen Klauen gepoolt. Standardabweichung in Klammern, minimal und maximal gemessene Werte.

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	50,4* ($\pm 2,8$), 45,6-58,2	47,8* ($\pm 2,4$), 42,4-51,5
	Kühe	53,6* ($\pm 2,7$), 49,6-59,4	50,3* ($\pm 2,8$), 46,2-55,5
	Mastbullen	61,4* ($\pm 4,9$), 51,3-73,8	57,8* ($\pm 4,3$), 50,2-64,1

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

1.7 Sohlenlänge

Die durchschnittliche Sohlenlänge der lateralen Klauen reichte von 106 mm bei den Färsen bis zu 113 mm bei den Kühen. Bei den medialen zeigten sich entsprechende Werte von 114-120 mm. Die medialen Klauen wiesen bei allen Gruppen signifikant höhere Werte auf (Tab. 23).

Tab. 23: Mittelwerte der Sohlenlänge (fettgedruckt), Standardabweichung in Klammern sowie den minimal bis maximal gemessenen Werten in Millimeter.

		laterale Klaue	mediale Klaue
Hornschuh	Färsen	106,1* ($\pm 6,5$), 94,8-123,6	113,7* ($\pm 6,2$), 104,7-130,9
	Kühe	112,5* ($\pm 11,4$), 98,0-141,5	119,7* ($\pm 9,6$), 105,7-142,5
	Mastbullen	108,0* ($\pm 6,9$), 91,4-127,6	115,0* ($\pm 8,6$), 99,7-134,3

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Die Länge nahm an allen Klauen mit dem Alter zu, die Kühe zeigten die höchsten Werte, gefolgt von den Mastbullen und den Färsen. Die Differenz zu den lateralen Klauen betrug bei allen Altersgruppen in etwa 6-7 mm (Tab. 24).

An den ausgeschuhten Klauen konnte dieser Parameter aufgrund unscharfer Grenzlinien des Koriums zum Ballen nicht zuverlässig genug bestimmt werden.

Tab. 24: Mittelwerte der Sohlenlänge der lateralen und medialen Klauen beider Schultergliedmaßen mit der Standardabweichung in Klammern sowie den minimal bis maximal gemessenen Werten in Millimetern.

		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	106,5* ($\pm 6,3$) 95,3-120,1	114,3* ($\pm 6,3$) 106,8-134,4	113,2* ($\pm 6,8$) 100,1-127,4	105,7* ($\pm 7,7$) 94,4-127,0
	Kühe	112,9* ($\pm 11,4$) 98,4-140,9	120,0* ($\pm 10,4$) 104,0-143,3	119,4* ($\pm 9,1$) 107,4-141,7	112,1* ($\pm 11,8$) 97,6-142,2
	Mastbullen	107,6* ($\pm 7,3$) 90,9-130,8	114,5* ($\pm 9,0$) 97,4-137,0	115,6* ($\pm 8,9$) 101,2-136,8	108,5* ($\pm 7,3$) 92,0-124,9

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

1.8 Klauenlänge

Die Mittelwerte der Klauenlängen lagen zwischen 129,0 und 140,2 Millimetern. Die Mastbullen wiesen kürzere Klauen als die Kühe, jedoch längere als die Färsen auf.

Tab. 25: Klauenlänge an den Schultergliedmaßen von 60 Fleckviehrindern. Mittelwerte (fettgedruckt) der medialen und lateralen Klauen gepoolt. Standardabweichung in Klammern sowie minimal bis maximal gemessene Werte in Millimetern.

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	129,0* ($\pm 7,2$), 117,7-145,5	132,3* ($\pm 7,1$), 121,3-150,9
	Kühe	136,4* ($\pm 10,2$), 123,6-159,6	140,2* ($\pm 9,0$), 124,4-159,0
	Mastbullen	134,0* ($\pm 6,7$), 119,8-150,2	136,3* ($\pm 7,7$), 122,3-152,3
Korium	Färsen	113,4* ($\pm 6,7$), 105,7-132,6	114,6* ($\pm 6,2$), 105,0-131,8
	Kühe	120,8* ($\pm 6,9$), 112,6-133,3	122,4* ($\pm 6,4$), 112,6-134,2
	Mastbullen	119,1 ($\pm 4,4$), 110,3-128,8	119,9 ($\pm 4,6$), 110,8-128,1

*Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Die medialen Klauen waren signifikant länger als die lateralen (Tab. 25), und zwar sowohl bezüglich des Hornschuhs als auch der Lederhaut. Die Differenz betrug am Hornschuh etwa 2-4 mm, am Korium 1-2 mm.

Die Unterschiede zwischen lateral und medial waren am Hornschuh und am Korium, mit Ausnahme der Lederhautwerte der Mastbullen, signifikant. Die Werte für die Klauenlänge zeigten

eine positive Korrelation mit dem Alter. Die Kühe wiesen die längsten Klauen auf, gefolgt von den Mastbullen und danach den Färsen (Tab. 26).

Tab. 26: Klauenlänge der Schultergliedmaßen von 60 Fleckviehrindern, Werte der lateralen und medialen Klauen der linken und rechten Schultergliedmaßen vergleichend. Mittelwerte (fettgedruckt), Standardabweichung in Klammern sowie minimal und maximal gemessene Werte in Millimetern.

		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	128,6* (±6,9) 118,1-142,9	132,6* (±7,0) 123,1-152,4	132,1* (±7,5) 119,6-149,4	129,4* (±7,8) 117,3-148,1
	Kühe	136,2* (±11,4) 122,1-162,2	140,0* (±9,7) 123,6-160,4	140,4* (±8,5) 125,3-157,7	136,6* (±9,5) 122,5-157,1
	Mastbullen	134,0* (±6,4) 121,9-151,1	136,1* (±7,2) 122,5-152,4	136,5* (±8,5) 121,4-154,9	134,1* (±7,0) 117,7-149,3
Korium	Färsen	113,7 (±6,3) 106,2-130,9	114,6 (±6,4) 104,9-133,1	114,7* (±6,3) 105,2-130,5	113,1* (±7,5) 104,9-134,3
	Kühe	121,3 (±6,9) 112,2-132,5	122,5 (±6,9) 111,6-133,3	122,3* (±6,1) 113,6-135,2	120,4* (±6,9) 111,6-134,1
	Mastbullen	119,1 (±4,6) 110,5-128,5	119,6 (±4,9) 111,0-132,4	120,1* (±5,0) 108,0-130,2	119,0* (±4,2) 110,1-129,1

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$.

1.9 Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenlänge

Die Färsen wiesen das größte und die Mastbullen das niedrigste Verhältnis auf. Das Verhältnis von 1,36 : 1 bei den Mastbullen zeigte sowohl eine relative kurze Dorsalwandlänge, als auch eine relativ große Ballenlänge an. Da die Dorsalwandlänge und die Ballenlänge zwischen lateral und medial unterschiedlich waren, und zwar gegensinnig, wiesen die Außenklauen weitaus niedrigere Quotienten als die Innenklauen auf (Tab. 27).

Tab. 27: Quotienten aus der Dorsalwandlänge und der Ballenlänge am Hornschuh

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	1,58 : 1	1,80 : 1
	Kühe	1,54 : 1	1,67 : 1
	Mastbullen	1,36 : 1	1,55 : 1

Durch das Angleichen an die Innenklaue verkürzten sich die Ballen bei den Mastbullen mehr als bei den weiblichen Tieren. Daraus resultierend vergrößerten sich die Verhältnisse bei den Mastbullen wieder mehr als bei den weiblichen Tieren.

1.10 Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe

Infolge der niedrigeren Werte der Ballenhöhe war dieses Verhältnis größer als das der Dorsalwandlänge zur Ballenlänge.

Tab. 28: Quotienten aus der Dorsalwandlänge und Ballenhöhe am Hornschuh sowie am Korium der Klauen

		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	1,80 : 1	2,00 : 1
	Kühe	1,77 : 1	1,88 : 1
	Mastbullen	1,57 : 1	1,74 : 1
Korium	Färsen	2,16 : 1	2,31 : 1
	Kühe	2,10 : 1	2,17 : 1
	Mastbullen	1,95 : 1	2,05 : 1

Die Quotienten der lateralen Klauen sowohl des Hornschuhs als auch des Koriums zeigten kleinere Werte als deren Partnerklauen (Tab. 28). Dies beruhte einerseits auf der geringeren Dorsalwandlänge, andererseits auf dem höheren Ballen der Außenklauen.

Die Quotienten der Lederhaut differierten weniger, aber der Unterschied zwischen Innen- und Außenklaue war dennoch ersichtlich.

1.11 Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge

Die Sohle war durchschnittlich 1,5mal länger als die Dorsalwand. In diesem Verhältnis lagen kaum Unterschiede zwischen den Klauen vor, sowohl innerhalb der Altersgruppen als auch zwischen den lateralen und medialen Klauen. Die im Vergleich zur Außenklaue längere Sohle der Innenklaue bedingte die etwas größeren Werte der Innenklauen (Tab. 29).

Da jedoch auch die Dorsalwand an den Innenklauen länger war, wurden diese Unterschiede wieder etwas eingeebnet. Die Unterschiede zwischen den medialen und lateralen Klauen verhielten sich bei allen Tieren nahezu äquivalent.

Tab. 29: Quotienten aus der Dorsalwandlänge und Sohlenlänge am Hornschuh

Dorsalwandlänge : Sohlenlänge		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	1 : 1,44	1 : 1,51
	Kühe	1 : 1,50	1 : 1,55
	Mastbullen	1 : 1,53	1 : 1,59

2. Messungen am Sohlenabdruck

2.1 Sohlenlänge und Sohlenbreite

Die Werte der Sohlenlänge wurden zusätzlich indirekt über den Sohlenabdruck ermittelt, und mit dem Pearson-Korrelationskoeffizienten mit den Werten der direkt an der Sohle gemessenen Werte verglichen (Tab. 23 und Tab. 24). Die indirekt ermittelten Werte (Tab. 30) korrelierten sehr gut mit den direkt ermittelten Werten. Die Korrelationskoeffizienten bei den Färsen betragen zwischen $r = 0,79$ und $r = 0,94$; bei den Kühen zwischen $r = 0,97$ und $r = 0,99$ und bei den Bullen zwischen $r = 0,76$ und $r = 0,92$.

Tab. 30: Mittelwerte der indirekt am Sohlenabdruck ermittelten Sohlenlänge und Sohlenbreite (fettgedruckt) mit Standardabweichung in Klammern sowie den minimal bis maximal gemessenen Werten in Millimetern. Die Werte wurden indirekt am Sohlenabdruck ermittelt.

Sohlenlänge		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	104,8* ($\pm 5,7$), 95,5-119,0	113,4* ($\pm 6,4$), 104,5-130,2 ^a
	Kühe	110,5* ($\pm 12,7$), 91,0-141,2	119,4* ($\pm 9,9$), 105,5-141,5
	Mastbullen	107,3* ($\pm 7,9$), 93,0-122,5	114,9* ($\pm 10,1$), 94,0-136,0
Sohlenbreite			
Hornschuh	Färsen	41,2* ($\pm 2,5$), 36,5-45,5	36,9* ($\pm 3,0$), 31,5-41,5
	Kühe	46,0* ($\pm 2,5$), 41,5-50,7	45,1* ($\pm 5,2$), 34,0-51,5
	Mastbullen	42,9 ($\pm 5,2$), 33,7-52,2	42,0 ($\pm 5,3$), 34,0-53,5

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

^a bei diesem Parameter wurden signifikante Unterschiede zwischen der linken und der rechten Vordergliedmaße gefunden

Die auf diese indirekte Art ermittelte Sohlenbreite zeigte, dass die lateralen Klauen aller Tiere breiter waren als die medialen (Tab. 31). Dieser Unterschied war jedoch nur bei den Färsen an beiden Schultergliedmaßen signifikant. Bei Kühen ergab sich lediglich bei den gepoolten Klauen der Schultergliedmaßen eine Signifikanz.

Die Sohlenbreite war bei den Mastbullen zwischen der lateralen und der medialen Klaue sehr ausgeglichen. Dies stand im Gegensatz zu den Beobachtungen bei der Ballenbreite, bei der die lateralen Ballen signifikant breiter als die medialen waren.

Tab. 31: Mittelwerte der Sohlenlänge und Sohlenbreite aller Klauen beider Schultergliedmaßen (fettgedruckt) des Sohlenabdrucks in Millimetern, mit Standardabweichung in Klammern und den minimal und maximal gemessenen Werten.

		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	104,8* (±7,3) 92,0-121,0	114,4* (±5,6) 107,0-129,5	112,3* (±7,7) 99,0-131,0	104,9* (±5,9) 97,0-117,0
	Kühe	110,5* (±13,1) 92,5-141,0	120,8* (±11,0) 107,0-142,0	118,0* (±9,5) 104,0-141,0	110,4* (±13,0) 88,0-141,5
	Mastbullen	106,6* (±8,1) 92,0-123,0	114,9* (±10,0) 93,0-139,0	114,9* (±11,6) 95,0-139,0	108,0* (±8,4) 93,0-125,0
Sohlenbreite					
Hornschuh	Färsen	40,4* (±2,6) 36,0-45,0	36,4* (±3,8) 29,5-41,0	37,4* (±3,5) 31,0-43,0	42,0* (±3,4) 37,0-48,0
	Kühe	45,5 (±3,4) 39,0-50,0	44,8 (±5,2) 33,0-51,0	45,3 (±6,0) 35,0-55,0	46,4 (±3,8) 42,0-55,5
	Mastbullen	42,4 (±5,3) 34,0-52,0	42,0 (±5,8) 31,0-57,0	42,0 (±5,9) 32,0-52,5	43,5 (±5,7) 32,5-55,0

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Die Sohlenbreite nahm mit dem Alter zu und war bei den Kühen erheblich breiter als bei den Mastbullen und den Färsen.

2.2 Sohlenumfang und Sohlenfläche

Die Sohlenflächen der medialen Klauen von Mastbullen und Kühen waren signifikant größer als die der lateralen - wohingegen die der Färsen an beiden Klauen nahezu gleich dimensioniert waren (Tab. 32). Generell waren die Ausmaße (Minima und Maxima) dieses Parameters individuell sehr unterschiedlich – es bestanden innerhalb einer Gewichts- und Altersklasse Unterschiede von über 50 % (Tab. 33). Die errechneten Flächen korrelierten mit dem dazugehörigen Sohlenumfang (Pearson-Korrelationskoeffizient zwischen $r = 0,88$ und $r = 0,98$). Dieser war an

den medialen Klauen aller Tiere signifikant größer als an den lateralen. Kühe hatten die größten Sohlenflächen und verzeichneten den größten Sohlenumfang.

Tab. 32: Mittelwerte der indirekt am Sohlenabdruck ermittelten Sohlenfläche (in Quadratzentimetern) und Sohlenumfang (in Zentimetern) mit Standardabweichung in Klammern sowie den minimal bis maximal gemessenen Werten.

Sohlenfläche		laterale Klauen	mediale Klauen
Hornschuh	Färsen	42,9 ($\pm 4,7$), 36,6–57,5	42,5 ($\pm 4,3$), 36,5–56,8
	Kühe	49,1* ($\pm 10,2$), 33,2–73,8	51,6* ($\pm 9,2$), 35,5–70,8
	Mastbullen	45,6* ($\pm 5,7$), 34,2–54,7	48,3* ($\pm 7,7$), 31,7–63,9
Sohlenumfang			
Hornschuh	Färsen	26,6* ($\pm 1,4$), 24,6–30,6	27,6* ($\pm 1,4$), 26,0–31,8
	Kühe	28,1* ($\pm 2,9$), 24,8–35,3	29,5* ($\pm 2,8$), 23,9–35,0
	Mastbullen	27,1* ($\pm 1,9$), 23,1–31,0	28,6* ($\pm 2,4$), 23,0–33,4

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Tab. 33: Mittelwerte der Sohlenfläche (in Quadratzentimetern) und Sohlenumfang (in Zentimetern) aller Klauen beider Schultergliedmaßen (fettgedruckt) des Sohlenabdrucks mit Standardabweichung in Klammern und den minimal und maximal gemessenen Werten.

Sohlenfläche		linke Schultergliedmaße		rechte Schultergliedmaße	
		laterale Klauen	mediale Klauen	mediale Klauen	laterale Klauen
Hornschuh	Färsen	42,2 ($\pm 4,4$) 36,4–55,4	43,5 ($\pm 4,4$) 36,4–57,6	41,5 ($\pm 4,9$) 35,7–56,0	43,7 ($\pm 5,4$) 35,3–59,7
	Kühe	48,8* ($\pm 10,0$) 33,1–72,7	52,6* ($\pm 9,3$) 36,7–70,2	50,6 ($\pm 9,5$) 34,2–71,5	49,6 ($\pm 10,2$) 33,2–74,9
	Mastbullen	45,3* ($\pm 6,0$) 33,3–58,5	48,4* ($\pm 7,6$) 29,6–64,4	48,2* ($\pm 8,4$) 33,8–65,6	46,0* ($\pm 5,8$) 35,1–54,8
Sohlenumfang					
Hornschuh	Färsen	26,5* ($\pm 1,6$) 24,1–30,5	27,8* ($\pm 1,4$) 26,5–32,0	27,3 ($\pm 1,6$) 25,1–31,7	26,6 ($\pm 1,6$) 24,7–30,7
	Kühe	28,2* ($\pm 2,7$) 25,2–34,7	29,8* ($\pm 3,0$) 24,2–35,0	29,3* ($\pm 2,8$) 23,6–35,0	28,2* ($\pm 3,0$) 24,3–36,0
	Mastbullen	27,0* ($\pm 2,1$) 22,9–32,0	28,6* ($\pm 2,4$) 22,7–33,0	28,5* ($\pm 2,6$) 23,4–33,7	27,3* ($\pm 1,8$) 23,3–30,0

* Werte der medialen und lateralen Klauen signifikant unterschiedlich; $p < 0,05$

Durch den Anpassungsvorgang vergrößerte sich die Sohlenfläche signifikant um durchschnittlich 7,0 cm² (\pm 14,6 cm²), der Sohlenumfang um 3,4 cm (\pm 8,6 cm) ($p = 0,015$ und $p = 0,044$). Beide Größenzunahmen waren nur bei der Gesamtheit der angepassten Klauen, jedoch nicht mehr innerhalb der Tiergruppen signifikant.

3. Kronsaumbeurteilung

Der Verlauf des Kronsaumes - oder besser gesagt die zwischen der lateralen und medialen Klaue unterschiedliche Höhe des Verlaufs - wurde an beiden Vorderfüßen gesondert beurteilt. Die Häufigkeiten der Befunde - gleicher oder unterschiedlicher Verlauf - sind für die jeweilige Altersgruppe und für die dorsale oder palmare Ansicht in Abb. 37 dargestellt.

Der dorsal verlaufende Kronsaum der linken Schultergliedmaße unterschied sich nicht von dem der rechten. Laut des Wilcoxon-Tests ($p = 0,020$) verlief der palmare Kronsaum der Färsen im Seitenvergleich signifikant unterschiedlich. Im Schnitt wurde dieser links mit „0“ und rechts mit „-1“ beziffert. Bei allen drei Versuchsgruppen verlief, beidseits von dorsal betrachtet, der mediale Kronsaum höher. In der palmaren Perspektive überragte beidseits bei allen Tieren der laterale den medialen Kronsaum. Beide Beurteilungen fielen bei den Kühen am deutlichsten aus. Der Kronsaum der Färsen und der Mastbullen verlief sehr ähnlich (Tab. 34).

Tab. 34: Gesamtdurchschnittliche Häufigkeiten der Score-Bewertungen des Kronsaumverlaufes der linken (LK) und der rechten (RK) Vordergliedmaße, sowohl dorsal (LKd und RKd) als auch palmar (LKp und RKp). Ein negatives Vorzeichen steht für den lateralen, ein positiver Wert für den medialen Kronsaumverlauf.

	LKd	LKp	RKd	RKp
Färsen	0,7	-0,4	0,7	-0,9
Kühe	1,0	-1,2	0,8	-0,9
Mastbullen	0,6	-0,6	0,5	-0,6

In Anbetracht des siebenstufigen Beurteilungsscores (-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3) bewegten sich die Mittelwerte (Tab. 34) in einer sehr geringen Spannbreite (1 Millimeter) um den Nullpunkt, der ein identisches Höhenniveau des Kronsaums beider Partnerklauen darstellt. Bei der Einzeltierbeurteilung waren diesbezüglich teils große Unterschiede des Kronsaumverlaufes festzustellen.

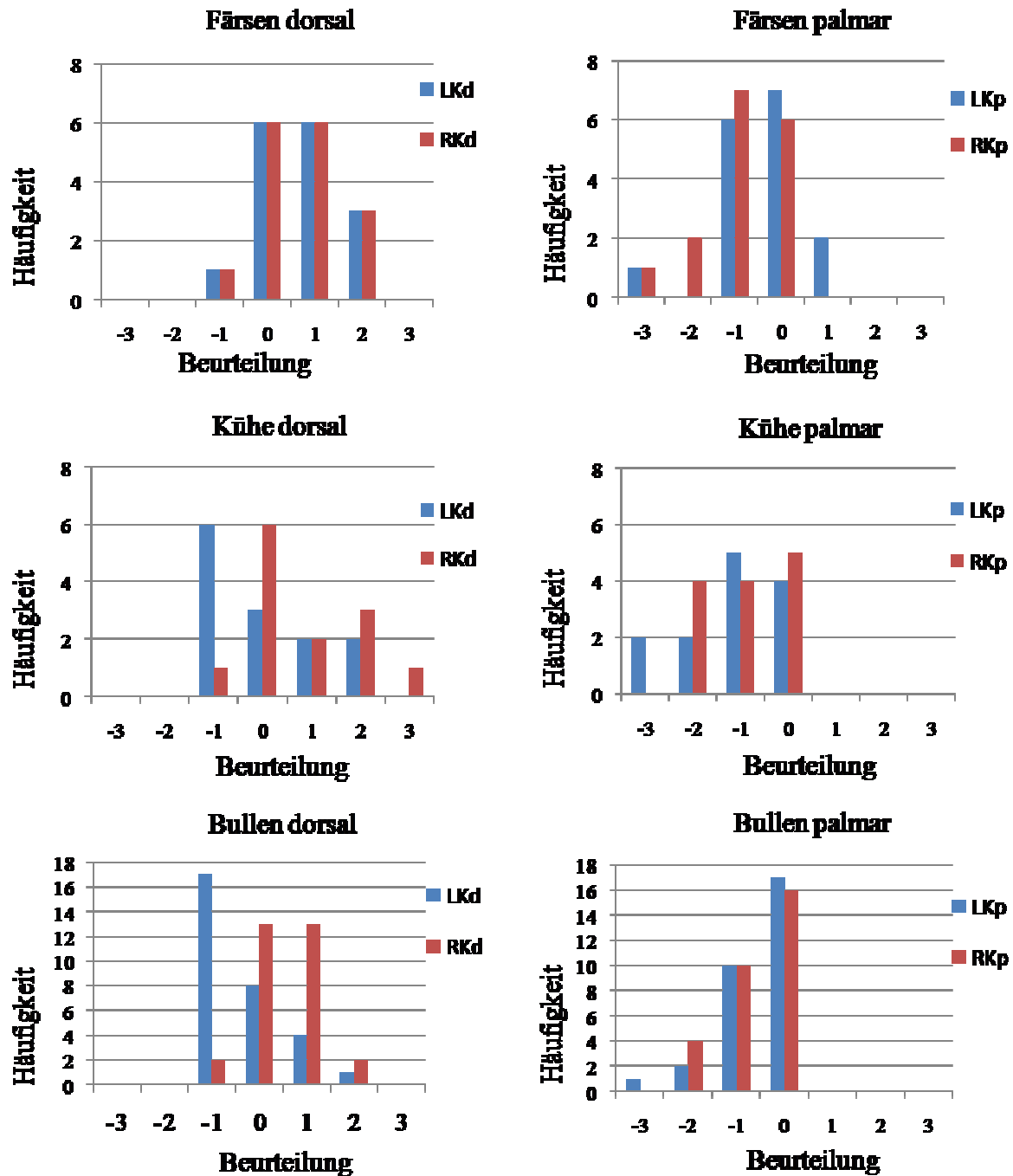


Abb. 37 Kronsaumverlauf der linken und der rechten Vordergliedmaße bei Färsen, Kühen und Mastbullen.

Die Beurteilung erfolgte sowohl von dorsal (LKd = Kronsaum der linken Schultergliedmaße, und RKd = Kronsaum der rechten Schultergliedmaße) als auch von palmar (LKp = Kronsaum der linken Schultergliedmaße und RKp = Kronsaum der rechten Schultergliedmaße) für die drei Versuchsgruppen.

Bei der Adspektion von dorsal verlief meist der mediale Kronsaum etwas weiter proximal, während von palmar gesehen, der laterale Kronsaum weiter proximal als der mediale verlief.

Der Zusammenhang zwischen der äußerlich adspektorischen Beurteilung des Kronsaumverlaufes und den Angleichungsvorgängen aufgrund eines unterschiedlichen Sohlenniveaus wurde

untersucht. Damit sollte eruiert werden, ob anhand des adspektorisch sichtbaren Kronsaumverlaufes schon ein unterschiedliches Sohlenniveau vermutet werden konnte. Dazu mussten die Mittelwerte der Score-Bewertung der Tiere mit einer angeglichenen Sohle mit denen einer nicht angeglichenen Sohle errechnet werden (Tab. 35).

Tab. 35: Durchschnittliche Häufigkeiten der Score-Bewertungen des Kronsaumverlaufes der linken (LK) und der rechten (RK) Vordergliedmaße, sowohl dorsal (LKd und RKd) als auch palmar (LKp und RKp) für die nicht angepassten und angepassten (A) Tiere der Versuchsgruppen (17 Färsen, 13 Kühe und 30 Mastbullen). Ein negatives Vorzeichen steht für den lateralen, ein positiver Wert für den medialen Kronsaumverlauf.

	LKd	LKp	RKd	RKp
Färsen	0,57	0,00	0,58	-0,83
Färsen (A)	0,78	-0,78	1,00	-1,00
Kühe	0,91	-1,27	0,91	-0,73
Kühe (A)	1,50	-0,50	0,00	-2,00
Mastbullen	0,64	-0,52	0,54	-0,65
Mastbullen (A)	0,60	-0,80	0,25	-0,25

Aus der Tab. 35 ist zu ersehen, dass die Tiere mit einer angeglichenen Sohle (A) größtenteils höhere Score-Bewertungen verzeichneten.

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

4.1 Sohlendicke

Bereits bei der Messung der Sohlendicke im Nativzustand der Sohlen waren Größenunterschiede zwischen der lateralen und medialen Klaue, aber auch Differenzen zwischen den Rindern verschiedener Altersgruppen erkennbar. Generell konnte an der medialen Klaue eine dickere Sohle festgestellt werden. Bei den Mastbullen lag die größte Spannweite der Werte vor. Diese wiesen auch teilweise Sohlendicken auf, die unter dem vorgegebenen Referenzmaß lagen. Nach der Herstellung der definierten Sohlendicke wiesen 27 Füße ein unterschiedliches Sohlenniveau auf, wovon nur 3mal die mediale Klaue die laterale überragte. Durch den Angleichungsvorgang der überstehenden Klaue entstanden dünne Sohlen bis hin zur Freilegung der Lederhaut im Klauenspitzenbereich.

4.2 Kronsaumverlauf

Bezüglich des Kronsaumverlaufs in der Dorsalansicht reichte der mediale Kronsaum weiter nach proximal. Von palmar betrachtet setzte der laterale höher an. Bei Klauenpaaren, die nach Einstellung der Referenzsohlendicke ein unterschiedliches Sohlenniveau aufwiesen, waren diese Tendenzen stärker ausgeprägt.

4.3 Unterschiede zwischen den medialen und lateralen Klauen

- Die Dorsalwand der lateralen Klaue war signifikant kürzer als die der medialen. Die Differenz betrug im Schnitt 2,5 mm. Nach der Anpassung war die laterale Dorsalwand bis zu 5 mm kürzer als die mediale.
- Die lateralen Ballen waren signifikant höher, breiter und länger als die medialen Ballen.
- Die Klauen und Sohlen der medialen Klauen waren, was den Hornschuh als auch die Lederhaut anbetraf, signifikant länger, jedoch schmaler als die der lateralen.
- Der Sohlenumfang der medialen Klauen war signifikant größer als der der lateralen.
- Die Sohlenflächen der medialen Klauen von Mastbullen und Kühen waren signifikant größer als die der lateralen Partnerklauen, die der Färsen waren lateral und medial gleich.

4.4 Geschlechtsunterschiede

- Die Dorsalwände der weiblichen waren länger und die Ballen niedriger als die der männlichen Tiere.
- Weibliche Tiere wiesen den kleineren Dorsalwandwinkel im Vergleich zu den männlichen auf.
- Bullen hatten breitere Ballen als Kühe und Kühe breitere als Färsen.

4.5 Altersunterschiede

Die Messparameter Dorsalwandlänge, Klauenlänge, Sohlenlänge und die am Sohlenabdruck indirekt ermittelte Sohlenbreite korrelierten positiv mit dem Alter der Tiere. Auch die Sohlenfläche und der Sohlenumfang waren bei den Kühen am größten.

V Diskussion

Zur Beschreibung der Form und der Abmessungen von Rinderklauen bedarf es vieler Parameter. Diese müssen nachvollziehbar, wiederholbar und allgemein reproduzierbar erhoben werden. Deswegen wurden die in der vorliegenden Untersuchung erhobenen Maße anhand einer Bezugsgröße, der standardisierten Sohlendicke (Paulus 2004), gemessen. Eine Bezugsgröße für Klauenmessungen wurde in der vorliegenden Literatur bisher nur von Fessler und Paulus verwendet (Fessler 1968; Fessler 1980; Paulus 2004). Fessler ließ eine „Hornlücke“ an der Klauenspitze und im Ballenteil setzen und die Sohle bei Kalbinnen und Kühen unterschiedlichen Alters einheitlich auf 6 mm Dicke und auf 8 mm bei Altstieren abtragen. In den eigenen Untersuchungen wurden isolierte Rinderfüße verwendet und wie bei Paulus (2004), die größere Dicke der Sohle im Ballenteil (Wyssmann 1902; Habacher 1948; Toussaint Raven 1989) im Vergleich zur Klauenspitze berücksichtigt.

Für die vorliegende Untersuchung wurden nicht alle in der Literatur genannten Parameter gemessen und nicht alle beschriebenen Messmethoden angewendet. Durch die Anfertigung von Gips- (Fessler 1980) oder Computermodellen (Hinterhofer et al. 2007) sowie durch die Bestimmung der Klauenvolumina, der Klauendiagonale und der Ballenwinkel hätten sich weitere Informationen finden lassen. Das Ziel der Arbeit war jedoch die metrische, möglichst exakte Bestimmung derjenigen Klauenmaße, die definierte Messpunkte und eine Bezugsgröße aufweisen konnten. Weiterhin sollten die bestehenden Arbeiten zur Beckengliedmaße (Paulus und Nuss 2002; Paulus 2004; Nuss und Paulus 2006; Paulus und Nuss 2006) ergänzt werden.

Die für die eigenen Untersuchungen verwendeten Klauen waren „gesund“, das heißt, ohne sichtbare pathologische Veränderungen, wenn man von einer geringgradigen Ballenhornfäule absieht. Diese Veränderung des Ballenhorns war bei vielen Klauen der Altkühe, allerdings in wenig ausgeprägter Form, vorhanden. In dieser Gruppe waren auch die meisten Hornschuhdeformationen im Sinne von chronischer Klauenrehe zu finden. Weit mehr als 50 % der beurteilten Gliedmaßenpaare mussten von der Untersuchung ausgeschlossen werden. Eine Klassifizierung in verschiedene „normale“ Klauenformen, wie Fessler sie vornahm, erschien nicht sinnvoll. Für die eigene Untersuchung wurde von der Annahme ausgegangen, dass sich gesunde Klauen nicht wesentlich in ihrer Form unterscheiden. Die Untersuchung des Koriums ergab bei keinem der verwendeten Präparate Hinweise auf Erkrankungen, wie beispielsweise die Klauenrehe (Ossent 1990; Ossent und Lischer 1998). Die „schwer zu beantwortende Frage“, was unter einer gesun-

den Klauen zu verstehen sei (Huber 1983), konnte durch die Prüfung der Beschaffenheit der Koriumberfläche an den ausgeschuhten Präparaten besser beantwortet werden: Keine der verwendeten Klauen wies erkennbare Veränderungen des Koriums auf. Dennoch kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass an den verwendeten Klauen Veränderungen der Subkutis oder abgeheilte Erkrankungen vorhanden (gewesen) waren.

Die auf den Arbeiten von Paulus aufbauenden Messmethoden waren leicht zu erlernen, weil die Referenzpunkte klar definiert und die Messtechniken reproduzierbar waren. Die anhand der Wiederholbarkeit der Dorsalwandlänge geprüfte Messgenauigkeit war in der eigenen Untersuchung mit 0,95 - 1,00 hoch. Paulus (2004) gab keine Messgenauigkeit an, aber da er die gleichen Techniken, Referenzmaß und Messpunkte verwendete, dürfte die Messgenauigkeit ebenfalls in diesen Bereichen gelegen haben. Arbeiten aus der Tierzucht und Tiergenetik verwendeten oftmals erheblich weniger exakte Messmethoden, die Wiederholbarkeiten lagen zwischen 0,50 und 0,98 (Huber et al. 1984; Baumgartner 1988). Allerdings verbesserte sich mit zunehmender Erfahrung des Messenden mit der Zeit die Wiederholbarkeit deutlich. Weil die vorliegende Untersuchung eine hohe Genauigkeit der Messungen vorweisen kann und sie sich zudem auf ein standardisiertes Maß bezieht, erhebt sie den Anspruch, Referenzmaße für die entsprechenden Parameter - wenn auch genau genommen nur für Fleckviehrinder in einer Region Bayerns - zu liefern.

1.1 Sohlendicke

Bereits bei der Messung der ursprünglich vorhandenen Sohlendicke, im unbearbeiteten Zustand der Präparate, war an den medialen Klauen eine an der Klauenspitze signifikant dickere Sohle festzustellen.

In der Gruppe der Mastbullen fielen generell dünne Sohlen auf, die teils unter dem vorgegebenen Referenzmaß lagen. Der vorgegebene Sollwert von 5 mm an der Klauenspitze und 8 mm im Ballenbereich wurde bei 25 der 480 Messbohrungen (5,2 %) bzw. bei acht von 60 Tieren unterschritten, bei 19 Klauen an der Spitze und bei 6 Klauen am Ballen. Diese Füße wurden nicht verworfen, da dieser wichtige Befund für die Klauenpflege dokumentiert werden sollte; die Werte der Sohlendicken wurden in diesen Fällen nicht in die Berechnung der standardisierten Sohlendicke mit einbezogen, jedoch die Klauenparameter bestimmt.

Die in der Literatur empfohlene ideale Sohlendicke von 5 - 7 mm (Toussaint Raven 1989) wurde somit unterschritten, ohne dass die Klauen äußerlich erkennbar geschädigt waren. Für die Klauenpflege ist diese Feststellung wichtig, weil an der Klauenspitze die Sohlendicke nicht si-

cher zu überprüfen ist (Nuss und Steiner 2004b). Die in der vorliegenden Untersuchung bestimmten Referenzwerte bieten die Möglichkeit, die Sohlendicke abzuschätzen.

Den Messfehler für die Herstellung der standardisierten Sohlendicke gab Fessler mit 0,1 mm an. In den vorliegenden Untersuchungen wurde ein Toleranzwert von $\pm 0,3$ mm festgelegt, weil die genaue Sohlendicke von 5 bzw. 8 mm mit dem Winkelschleifer nicht immer exakt einzurichten war. Dieser Toleranzwert wurde in keinem Fall unterschritten. Der Mittelwert der Messungen betrug 4,96 mm (Zielgröße 5 mm) an der Klauenspitze und 7,92 mm (Zielgröße 8 mm) im Ballenbereich, die Abweichung war also ebenfalls kleiner als 0,1 mm.

Ein unterschiedliches Sohlenniveau bei gleicher Sohlendicke bestand bei insgesamt 27 von 120 Füßen (22,5 %) - 24mal war die laterale Zehe länger, dreimal die mediale. Zusammen mit der im Nativzustand signifikant dickeren Sohle an der Innenklaue weist dies auf den in Röntgenuntersuchungen gefundenen Längenunterschied der Zehen bei Rindern hin (Muggli 2007; Schwarzmann et al. 2007). Trotzdem war der Unterschied im Sohlenniveau nicht so augenfällig wie an der Beckengliedmaße. Dort fanden Nuss und Paulus (2006) bei 36 von 40 Füßen (90 %), dass die Außenklaue der Hintergliedmaße die Innenklaue nach distal überragte.

Bei der Klauenpflege sollten diese Unterschiede im Sohlenniveau und in den Klauenparametern berücksichtigt werden. Im Gegensatz zu bisherigen Richtlinien der funktionellen Klauenpflege - nach der die Innenklaue an die Außenklaue angepasst werden soll - muss nach den vorliegenden Untersuchungen des Öfteren die Außenklaue an die Innenklaue angeglichen werden, damit ein gleiches Sohlenniveau erreicht wird – also ein Vorgehen wie an der Beckengliedmaße.

1.2 Dorsalwandlänge

Die Dorsalwand der medialen Klauen der Schultergliedmaßen war signifikant länger als die der lateralen. Dieser Befund stimmt mit den Ergebnissen mehrerer Autoren (Andersson und Lundström 1981; Baumgartner 1988; Nüske et al. 2003; Schwarzmann 2004; Nacambo et al. 2007) überein. Schwarzmann et al. (2007) interpretierten diesen Unterschied dahingehend, dass die Innenklauen den Längenunterschied zwischen den Zehen kompensierten (Schwarzmann et al. 2007). Tatsächlich wiesen Muggli bei Rindern und Keller bei Wildwiederkäuern nach, dass auch die Dorsalkante des medialen Klauenbeins länger als die des lateralen war (Muggli 2007; Keller et al. 2008). Dieser Längenunterschied reichte jedoch für einen vollständigen Ausgleich des Längenunterschieds der Zehenknochen nicht aus (Muggli 2007; Schwarzmann et al. 2007). Die in den eigenen Untersuchungen signifikant dickere Sohle der Innenklauen weist darauf hin,

dass tatsächlich ein Ausgleich zwischen dem Sohlenniveau der beiden Klauen „angestrebt“ wird.

Somit deuten auch die Befunde der eigenen Untersuchung auf eine Asymmetrie der Zehen der Schultergliedmaßen von Rindern hin. Die laterale Dorsalwand war im Schnitt 2,5 mm, nach der Anpassung bis zu 5 mm kürzer als die mediale. Dieser Unterschied konnte auch in der makroskopischen Untersuchung der Kronsaumhöhe tendenziell bestätigt werden.

Die in den eigenen Untersuchungen gefundenen Klauenmaße sind für Fleckviehrinder ähnlicher Gewichts- und Altersklassen repräsentativ. Dabei bieten die aus den Tabellen zu entnehmenden Werte eine Alternative zu nicht-invasiven Methoden der Sohlenmessung (Kofler und Kübber 2000), die bisher noch wenig praktikabel sind.

Bei 16 der 240 Klauen (6,7 %; 5 laterale und 11 mediale) betrug die Dorsalwandlänge mehr als 80 mm. Bei diesen Klauen hätte bei kritiklosem Vorgehen, das heißt ohne Prüfung der Sohlendicke, die Gefahr einer Verletzung der Klauenspitze bestanden. An den Beckengliedmaßen (Paulus 2004) war ein größerer Anteil, nämlich 23 von 80 Klauen (29 %; 12 mediale und 11 laterale), länger als 80 mm.

1.3 Dorsalwandwinkel

Hinsichtlich dieses Parameters konnte der in der Literatur bekannte Geschlechtsdimorphismus bestätigt werden: Männliche Tiere weisen steilere Winkel auf. Dieser Befund wurde insbesondere durch die Koriumwerte unterstrichen, bei denen die weiblichen Tiere unabhängig vom Alter die gleichen Maße aufwiesen, die männlichen aber die deutlich steileren Winkel zeigten. Da bei Bullen der Schwerpunkt des Körpers näher als bei Kühen an den Schultergliedmaßen liegt, könnte die steilere Stellung der Dorsalwand die Reaktion auf eine größere Gewichtsbelastung darstellen. Eine steilere Vorderwand widersteht dem Zug des Aufhängeapparats des Klauenbeins besser als die einer flach gewinkelten Klaue, die auf Biegung belastet würde. In den Untersuchungen anderer Autoren an Kühen (Andersson und Lundström 1981) zeigten nur die medialen Klauen der Schultergliedmaßen einen größeren Dorsalwandwinkel als die Partnerklauen. Auch Martig et al. (1983) sowie Telezhenko et al. (2008) fanden generell an den medialen Klauen die steileren Winkel (Martig et al. 1983; Telezhenko et al. 2008), jedoch untersuchten sie die Klauen nicht bei einer definierten Sohlendicke. In der vorliegenden Untersuchung waren die Dorsalwandwinkel zwischen den lateralen und medialen Klauen nicht signifikant unterschiedlich.

1.4 Ballenhöhe und Ballenlänge

Die lateralen Ballen der Klauen der Schultergliedmaßen waren höher - bei Bullen und Färsen signifikant - und signifikant länger als die der medialen. Die Bullen wiesen die höchsten Werte auf. Die Bedeutung der Werte der Ballenhöhe und der Ballenlänge erschließt sich allerdings erst durch die Diskussion mit anderen Maßen, vor allem denen der Klauen der Hinterbeine. Die Ballen der Klauen der Schultergliedmaßen waren im Vergleich zu den Beckengliedmaßen hoch. Die Differenz lag bei durchschnittlich einem Zentimeter. Das Verhältnis der Dorsalwand zur Ballenlänge lag dadurch bei etwa 1,6 : 1 (Einzelheiten siehe Tab. 36). Dies ist überraschend, da die Klauenpflege betreffend meist von einem Verhältnis einer „idealen Klaue“ von 2 : 1 gesprochen wird. An den Klauen der Schultergliedmaßen ist jedoch ein Verhältnis zwischen 1,8 : 1 (bei weiblichen Rindern) und 1,4 : 1 (bei männlichen Rindern) als „ideal“ anzusehen. Diese Resultate werden durch die Arbeiten weiterer Autoren (Huber 1983; Baumgartner 1988) unterstützt.

1.5 Ballenbreite

Die Ballenbreite wurde in der vorliegenden Literatur nur von Paulus (2004) gemessen. Bei diesem Parameter zeigten die Mastbullen die höchsten Werte und die lateralen Klauen waren signifikant breiter als die medialen. Dies deutet darauf hin, dass diese Partie der Außenklauen besondere Belastungen aushalten muss. Kürzlich wurde anhand von hochfrequenzkinematographischen Untersuchungen nachgewiesen, dass der Ballen der Außenklaue zuerst auf dem Boden auftritt, und zwar an Schulter- und an Beckengliedmaßen (Meyer et al. 2007; Schmid et al. 2008). Ein hoher und breiter Ballen dürfte besser „gepolstert“ sein als ein niedriger und schmaler. Auch der Ballen der lateralen Klaue der Beckengliedmaßen ist breiter als der der medialen (Nuss und Paulus 2006). Die Verhältnisse an den Klauen von Wildwiederkäuern sind entsprechend (Keller et al. 2008).

1.6 Sohlenlänge und Klauenlänge

Beide Werte waren an den Innenklauen signifikant größer als an den Außenklauen. Lediglich die Koriumwerte der Klauenlänge der Mastbullen wiesen nahezu die gleichen Längen auf. Die Werte für die Klauenlänge der Schultergliedmaße konnte mit keinem Autor der vorliegenden Literatur verglichen werden. Fessler (1968) fand vergleichsweise etwas höhere Werte für die So-

lenlänge, obwohl er Tiere aus ähnlichen Altersgruppen untersuchte. Er konnte keinen Unterschied zwischen der lateralen und medialen Klaue hinsichtlich der Sohlenlänge finden, jedoch werden die Befunde der vorliegenden Arbeit durch die Ergebnisse von Andersson und Lundström unterstützt (Fessl 1968; Andersson und Lundström 1981), die beschrieben, dass die mediale Sohle länger war.

1.7 Sohlenumfang und Sohlenfläche

Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Maße für die Sohlenfläche stimmen mit den Werten von Baumgartner, der ebenfalls die Planimetrie nutzte (Baumgartner 1988), gut überein. Baumgartner fand ebenfalls eine größere Sohlenfläche an den Innenklauen verglichen mit den Außenklauen. Fessl fand an den Klauen der Schultergliedmaßen nur geringe Unterschiede zwischen den Sohlenflächen (Fessl 1968), wobei die Flächen der lateralen geringfügig größer als die der medialen waren. Auch Huber stellte bei Jungbullen geringgradig größere Flächen an den lateralen Sohlen fest (Huber 1983). Dämmrich et al. sowie Schwarzmann (2005) fanden ebenso bei Kälbern die größeren und vermehrt belasteten Sohlen. Diese Widersprüche zu den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen können nicht erklärt werden. Immerhin sind sie ein Hinweis darauf, dass die Unterschiede zwischen den Klauen der Schultergliedmaßen nicht so eindeutig ausfallen wie an den Beckengliedmaßen. Weiterhin könnten die Widersprüche dahingehend gedeutet werden, dass die Klauen - Hornschuh, Korium und Subkutis - im Laufe des Lebens Formveränderungen mitmachen, die nicht immer gleichgerichtet sind. Die gleich große Sohlenfläche bei den Färsen weist auf diesen Aspekt hin. Für das Hornwachstum dürfte auch die flexiblere Aufhängung der Schultergliedmaßen, die sehnig-muskulär mit dem Rumpf verbunden sind, eine Rolle spielen. Diese im Vergleich mit der Beckengliedmaße nachgiebigere Aufhängung könnte sowohl eine bessere Dämpfung als auch eine ungleichmäßigere Kräfteverteilung auf die Klauen - und ein ungleichmäßiges Hornwachstum bewirken. Wie die Außenklaue der Hintergliedmaße weist die Innenklaue der Schultergliedmaße die größere Sohlenfläche auf, was mit der höheren Inzidenz von Sohlengeschwüren korreliert.

Tabelle 36. Vergleich der bei einer standardisierten Sohlendicke bestimmten Klauenmaße (Mittelwerte) der Beckengliedmaßen (Paulus 2004) und der Schultergliedmaßen (eigene Untersuchungen 2009) bei Färsen, Kühen und Mastbullen.

Parameter	Beckengliedmaße (Paulus 2004)			Schultergliedmaße (eigene Untersuchungen 2009)		
	Färsen	Kühe	Mastbullen	Färsen	Kühe	Mastbullen
	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral
Dorsalwandlänge (mm)	76,3 / 75,6	77,8 / 78,0	72,8 / 73,7	75,3 / 73,9	77,2 / 74,8	72,4 / 70,5
Dorsalwandwinkel (°)	50,7 / 51,4	49,1 / 48,2	57,8 / 55,8	51,5 / 53,1	51,9 / 52,4	59,0 / 58,8
Ballenlänge (mm)	34,5 / 36,2	33,6 / 37,0	37,0 / 38,9	42,2 / 47,0	46,6 / 49,0	47,4 / 52,1
Ballenhöhe (mm)	28,8 / 33,6	26,5 / 34,1	30,9 / 34,2	37,9 / 41,3	41,3 / 42,7	42,1 / 45,6
Ballenbreite (mm)	51,5 / 56,9	53,8 / 61,2	55,4 / 61,3	47,8 / 50,4	50,3 / 53,6	57,8 / 61,4
Sohlenlänge (mm)	109,8 / 114,2	115,5 / 126,1	104,4 / 112,9	113,7 / 106,1	119,7 / 112,5	115,0 / 108,0
Klauenlänge (mm)	127,4 / 130,7	136,2 / 142,8	127,0 / 132,1	132,3 / 129,0	140,2 / 136,4	136,3 / 134,0
Sohlenbreite (mm)	39,7 / 48,6	45,2 / 55,4	40,7 / 50,9	36,9 / 41,2	45,1 / 46,0	42,0 / 42,9
Sohlenumfang (cm)	25,7 / 27,4	28,5 / 30,9	25,0 / 27,6	27,6 / 26,6	29,5 / 28,1	28,6 / 27,1
Sohlenfläche (cm ²)	35,8 / 44,2	42,8 / 57,7	34,9 / 46,3	42,5 / 42,9	51,6 / 49,1	48,3 / 45,6
Gesamtsohlenfläche (cm ²)	80,0	100,5	81,2	85,4	100,7	93,3
Dorsalwand: Ballenlänge	2,21:1 / 2,09:1	2,32:1 / 2,11:1	1,97:1 / 1,89:1	1,80:1 / 1,58:1	1,67:1 / 1,54:1	1,55:1 / 1,36:1
Dorsalwandlänge: Ballenhöhe	2,65:1 / 2,25:1	2,94:1 / 2,28:1	2,38:1 / 2,15:1	2,00:1 / 1,80:1	1,88:1 / 1,77:1	1,74:1 / 1,57:1
Dorsalwand: Sohlenlänge	1:1,4 / 1:1,5	1:1,4 / 1:1,6	1:1,4 / 1:1,5	1:1,51 / 1:1,44	1:1,55 / 1:1,50	1:1,59 / 1:1,53

Tab. 37. Vergleich der Lederhautabmessungen der Beckengliedmaßen (Paulus 2004) und der Schultergliedmaßen (eigene Untersuchungen 2009) bei Färsen, Kühen und Mastbullen.

Parameter	Beckengliedmaße (Paulus 2004)			Schultergliedmaße (eigene Untersuchungen 2009)		
	Färsen	Kühe	Mastbullen	Färsen	Kühe	Mastbullen
	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral	medial / lateral
Dorsalwandlänge (mm)	61,3 / 61,2	63,7 / 64,0	62,5 / 61,8	64,2 / 62,7	67,2 / 66,0	64,1 / 63,3
Dorsalwandwinkel (°)	57,1 / 58,1	57,8 / 57,4	63,7 / 64,5	58,6 / 58,9	58,2 / 58,0	63,5 / 63,3
Ballenhöhe (mm)	18,1 / 21,7	18,7 / 24,5	19,5 / 23,5	28,3 / 29,4	31,1 / 31,8	31,8 / 33,1
Klauenlänge (mm)	104,8 / 108,3	114,9 / 120,8	108,6 / 112,0	114,6 / 113,4	122,4 / 120,8	119,9 / 119,1

2. Unterschiede zwischen den Klauen der Becken- und der Schultergliedmaßen

Da die Methodik der vorliegenden Untersuchung im Wesentlichen der von Paulus (2004) entsprach, ließen sich die Werte, die er für die Klauen der Beckengliedmaßen gefunden hatte, mit den eigenen zuverlässig vergleichen. Bei der Sohlenbreite wurde ein anderer, reproduzierbarer Messpunkt als bei Paulus (2004) festgelegt. Die Sohlenbreite kann nicht mit den Werten anderer Autoren verglichen werden, weil sie nicht mit denselben Methoden erhoben wurde.

Folgende Aussagen zum Vergleich der Klauenmaße von Schulter- und Beckengliedmaßen können getroffen werden: Die Dorsalwände standen an den lateralen und medialen Klauen der Schultergliedmaßen bei allen Altersgruppen steiler als an denen der Beckengliedmaßen. Dies hing damit zusammen, dass die Hornschuhe der Beckengliedmaßen längere Dorsalwände und die kürzere Ballen aufwiesen. Im Gegensatz dazu waren die Dorsalwände des Koriums an den Klauen der Schultergliedmaßen länger als an denen der Beckengliedmaßen (Tab. 37). Dieser Widerspruch kann nicht erklärt werden. Die Unterschiede in der Koriumlänge lagen zwischen 0,5 und 3,5 mm und wiesen bei den Kühen die höheren Werte auf.

Nicht nur bei den Hornschuh-, sondern auch bei den Koriumwerten der weiblichen Tiere ließen sich flachere Dorsalwandwinkel an den Beckengliedmaßen als an den Schultergliedmaßen feststellen. Dies war bei den Mastbullen nicht der Fall. Bei ihnen waren die Dorsalwandwinkel des Koriums der Klauen der Hinterbeine geringfügig steiler als die der Vorderbeine (Tab. 37).

An den Beckengliedmaßen bestand zwischen den lateralen und medialen Klauen kein wesentlicher Unterschied bezüglich der Dorsalwandlänge des Koriums, aber an den Schultergliedmaßen waren die medialen Dorsalwände des Koriums signifikant länger als die lateralen. Diese Befunde sprechen tatsächlich dafür, dass an den Schultergliedmaßen ein Ausgleich durch eine längere Dorsalwand (in Verbindung mit einer dickeren Sohle) möglich sein könnte.

Somit kann die Aussage getroffen werden, dass die Klauen der Beckengliedmaßen spitzwinklicher waren als die der Schultergliedmaßen. Dies wurde insbesondere durch die errechneten Verhältnisse zwischen der Dorsalwand- und der Ballenlänge. Dieses lag - wenn man alle Altersgruppen zusammen nimmt - an den medialen Klauen der Schultergliedmaßen bei 1,7 : 1 an den lateralen bei 1,5 : 1. An den Beckengliedmaßen lagen die entsprechenden Werte bei 2,2 : 1 bei den weiblichen und annähernd 2 : 1 bei den männlichen Tieren.

Hinsichtlich der Sohlenlängen waren die medialen Klauen der Schultergliedmaßen und die lateralen der Beckengliedmaßen größer als die entsprechenden der Partnergliedmaßen. Die absolut

längste Sohle bei den weiblichen Tieren wies die laterale Klaue der Beckengliedmaßen und bei den männlichen Tieren die mediale Klaue der Schultergliedmaßen auf. Bezüglich der Sohlenfläche waren die medialen Klauen der Schultergliedmaßen stets größer als die entsprechenden der Beckengliedmaßen, für die lateralen Klauen war es umgekehrt. Bei den Kühen war die Außenklaue der Beckengliedmaßen diejenige mit der größten Sohlenfläche aller Klauen.

Hinsichtlich der Klauenlänge waren die medialen Klauen der Beckengliedmaßen kürzer als die der Schultergliedmaßen, aber die lateralen Klauen der Beckengliedmaßen der weiblichen Rinder waren länger als die lateralen der Schultergliedmaßen. Bei den Bullen waren beide Klauen der Schultergliedmaßen länger als die der Beckengliedmaßen. Sowohl am Korium als auch am Hornschuh schließlich waren die Innenklauen der Schultergliedmaßen die längsten Klauen aller Gliedmaßen. An den Schultergliedmaßen bestanden bezüglich der Koriumwerte geringere Unterschiede zwischen lateral und medial als bei den Klauen der Beckengliedmaßen.

Die Gesamtsohlenfläche der Schultergliedmaße war bei den Färsen und den Mastbullen bedeutend größer als die der Beckengliedmaße, während bei den Kühen kein Unterschied bestand. Das Verhältnis der Dorsalwand zur Sohlenlänge lag an den Innenklauen der Becken- und den Außenklauen der Schultergliedmaßen der Färsen gleichermaßen bei 1 : 1,4. An den Außenklauen der Becken- und den Innenklauen der Schultergliedmaßen lag es bei den Färsen bei 1 : 1,5 bis 1,6. Die Außenklaue der Beckengliedmaßen und die Innenklaue der Schultergliedmaßen verhielten sich somit ebenfalls entsprechend. Bei den Kühen und Mastbullen war diese umgekehrte Entsprechung nicht so stark ausgeprägt, aber dennoch tendenziell zu erkennen (Tab. 36).

Die Tatsache, dass im Gegensatz zu Paulus nicht nur eine, sondern beide Gliedmaßen vergleichend untersucht wurden, brachte das etwas überraschende Ergebnis, dass die Parameter der Füße eines Tieres unterschiedlich waren. Signifikanzen waren oft nur an einer Gliedmaße vorhanden, oder manche Werte waren zwischen den beiden entsprechenden Klauen der beiden Gliedmaßen signifikant unterschiedlich. Dies weist auf zweierlei hin: Einmal auf eine vorhandene individuelle Variation der Klauenform bei einem Tier, und zum anderen, dass sich die Klauenform und der Hornschuh mit der Zeit signifikant verändern kann. Als Beispiel sei die Klauenlänge genannt. Die Außenklaue der Beckengliedmaßen war bei den Kühen der eigenen Untersuchung, wie auch in anderen Publikationen (Andersson und Lundström 1981), die längste Klaue aller Gliedmaßen. Bezüglich der Koriumwerte war jedoch die Innenklaue der Schultergliedmaße die längste (Tab. 37). Die Außenklauen zeigten also bei den untersuchten Kühen eine Hypertrophie des Hornschuhes. Nuss und Paulus vermuteten, dass die Vergrößerung der Außenklaue der Beckengliedmaßen nicht allein durch eine Hypertrophie zustande kommt (Nuss

und Paulus 2006). Im Vergleich mit der Schultergliedmaße jedoch wurde ersichtlich, dass eine Größenzunahme dennoch vorhanden war.

Der Längenunterschied der Zehen beim Rind, auch an den Schultergliedmaßen durch verschiedene Arbeiten (Muggli 2007; Nacambo et al. 2007; Schwarzmann et al. 2007) nachgewiesen, kam auch an der ursprünglich vorhandenen Sohlendicke, die an den medialen Klauen größer war, und an der ebenfalls medial längeren Dorsalwand zum Ausdruck. Wie Schwarzmann vermutete, stellt die längere Dorsalwand womöglich den Versuch dar, den Längenunterschied zwischen den beiden Rinderzehen auszugleichen (Schwarzmann 2004). Wie auch Muggli zeigen konnte (Muggli 2007), war das mediale Klauenbein länger als das laterale, jedoch gelang der Ausgleich des Längenunterschiedes zwischen Außen- und Innenzehe dadurch nicht ganz.

Auch an den Schultergliedmaßen ist die Klauenform zwischen der Außen- und der Innenklaue unterschiedlich. Jedoch gibt es keine konstante Asymmetrie wie an den Beckengliedmaßen in dem Sinne, dass eine Klaue in der Größe klar dominiert. Manche Werte an der Außenklaue der Schultergliedmaße sind größer als an der Innenklaue – vereinfacht gesagt die Breitenmaße. Jedoch sind auch manche Abmessungen der Innenklaue größer – vereinfacht gesagt die Längenmaße. Dies ergab einen Umfang und eine Fläche, die an der Innenklaue knapp größer waren. Die Feststellung eines geringen Größenunterschiedes traf auch Fessler (1968), wohingegen Clark et al. (2004) größere Volumina an den Außenklauen fanden.

Wie in Highspeed-Filmen gezeigt wurde, trifft die Außenklaue auch an den Schultergliedmaßen zuerst auf (Meyer et al. 2007; Schmid et al. 2008). Somit dürfte in der Dynamik die Außenklaue mehr belastet werden. Da jedoch mehr chronisch-traumatisch bedingte Sohlengeschwüre an der Innenklaue beobachtet werden, dürfte der Statik eine große Rolle bei der Entstehung der überlastungsbedingten Klauenerkrankungen zukommen.

3. Klauenerkrankungen und Klauenmaße

Die Tierzucht verfolgt unter anderem den Ansatz, dass die Klauenform mit der Erkrankungshäufigkeit zusammenhängt. Bei einer Selektion auf bestimmte Klauenparameter könnte die Erkrankungshäufigkeit eventuell gesenkt werden (Huber 1983).

Die bei einer standardisierten Sohlendicke erhobenen Klauenmaße und die anschließende Vermessung des Koriums zeigten jedoch, dass die Variabilität innerhalb der Parameter recht hoch war. Diese Aussage trifft auch zu, wenn man die Koriumwerte betrachtet, die eigentlich weniger als die Hornschuhmaße Veränderungen unterworfen sein sollten. Zudem spielen für die Verletz-

lichkeit einer Klaue und die Entstehung von Klauenerkrankungen auch die Hornhärte, das Wachstum, der Abrieb und die Belastung der Sohlenfläche eine Rolle (Huber 1983). Deswegen erscheint es wichtiger denn je, die Haltungsbedingungen an die Bedürfnisse der Rinder anzupassen, als zu versuchen, die Klauenform und das angeborene Gangbild verändern zu wollen.

Das bevorzugte Auftreten von Erkrankungen an der größeren und damit stärker belasteten Außenklaue ist in den Lehrbüchern beschrieben (Greenough und Weaver 1997; Dirksen 2002; Nuss und Steiner 2004ab). Für die Schultergliedmaße trifft nach den vorliegenden Ergebnissen ebenfalls zu, dass die größere Klaue, die Innenklaue, vermehrt erkrankt. Sie ist hinsichtlich der Sohlenfläche und dem Sohlenumfang die größere.

Neben der Sohlenfläche waren zwei weitere Parameter den häufiger von Erkrankungen betroffenen Klauen - der Innenklaue der Schultergliedmaßen und der Außenklaue der Beckengliedmaßen - gemeinsam: die größere Sohlen- und Klauenlänge. Ein errechnetes Maß, das Verhältnis von Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge, zeigte ebenfalls Übereinstimmungen. Die Innenklauen der Schultergliedmaßen und die Außenklauen der Beckengliedmaßen wiesen dasselbe Verhältnis auf. Dies könnte bedeuten, dass die häufiger erkrankten Klauen sich nicht nur in der Form, sondern auch in der Funktion ähnlich sind.

Es kann allerdings aufgrund der Ergebnisse der Klauenmaße keine Aussage darüber getroffen werden, ob die größere Sohlenfläche mit der vermehrten Erkrankungshäufigkeit zu tun hat oder ob sie eine Reaktion - sprich Hypertrophie - auf Überlastungen ist. Messungen der Bodenreaktionskräfte und der Druckbelastungen an stehenden Rindern und Kühen zeigten eine Mehrbelastung der Innenklaue der Schultergliedmaßen (Alsleben 2002; Van der Tol et al. 2002; Huth et al. 2005). An gehenden Kühen und Rindern war jedoch die Außenklaue eindeutig die zuerst belastete, und zwar an Schulter- und an Beckengliedmaßen (Meyer et al. 2007; Schmid et al. 2008). Wie in Hochgeschwindigkeitsfilmen gezeigt werden konnte, bewirkt die längere Außenzehe während des Gehens auf hartem Boden ein „Kippen“ der Belastung von der Außen- auf die Innenklaue (Meyer et al. 2007; Schmid et al. 2008).

Worauf die Mehrbelastung der Innenklaue an der Schultergliedmaße im Stehen zurückzuführen ist, bleibt noch Spekulation. Von Bedeutung ist eventuell der Unterschied in der Aufhängung des Rumpfes, sehnig-muskulär an der Schulter- und knöchern-artikulär an der Beckengliedmaße (Toussaint Raven 1989). Dennoch ist es bemerkenswert, dass trotz der längeren Außenzehe nicht die Außenklaue überlastet wird und nachfolgend die größere Sohlenfläche entwickelt. Denkbar wäre, dass die im Gehen erfolgende Verlagerung der Last auf die Innenklaue auch im Stand erfolgt. Dieses Kippen kann möglicherweise infolge der flexibleren Aufhängung der Schultergliedmaße am Rumpf nicht verhindert werden. Wenn man die Hypothese des Abkip-

pens von der längeren Außenzehe auf die kürzere Innenzehe während des Stehens als Grund für die Mehrbelastung der Innenklaue fortführt, ist es bei der Klauenpflege kontraproduktiv, die Außenklaue höher als die Innenklaue zu belassen. Damit würde noch mehr Gewicht auf die Innenklaue verlagert. Wenn die Möglichkeit besteht, ist es besser, die Sohle der Außenklaue auf das Niveau der Sohle der Innenklaue zu schleifen, damit eine gleichmäßige Gewichtsverteilung erreicht wird.

Hinsichtlich der Entstehung von Sohlengeschwüren sind noch weitere Ursachen denkbar: Rinder stehen aufgrund der anatomischen Verhältnisse am Radius (Schraml 1925) in der Regel zehenweit, so dass generell mehr Last auf den Ballen der Innenklaue fallen könnte. Zuletzt trägt wohl auch die erzwungene breitbeinige Stellung bei der Fütterung am Fressgitter, die kein diagonales Versetzen der Schultergliedmaßen wie auf der Weide erlaubt, zur Überlastung der Innenklauen bei.

Die Hornspalten, die meist an der Außenklaue der Schultergliedmaßen vorkommen, dürften jedoch auf die dynamische Erstbelastung der Außenklaue zurückzuführen sein. Die Klauen treffen zuerst mit dem Ballen am Boden auf, und wenige Millisekunden danach mit der Klauenspitze. Auf hartem Boden und bei zu langen Klauen könnte diese Fußungsart Hornspalten hervorrufen.

4. Fazit

- Vereinfacht ausgedrückt waren die medialen Klauen und Sohlen an den Schultergliedmaßen länger als die lateralen, letztere aber breiter. Dies stimmt mit den Ergebnissen anderer Publikationen überein (Nüske et al. 2003; Clark et al. 2004; Schwarzmann et al. 2007). Die Sohlenflächen und der Sohlenumfang waren jedoch an den medialen Klauen größer als an den lateralen. Die Ergebnisse bezüglich dieses Klauenmaßes sind in der vorliegenden Literatur nicht einheitlich (Huber 1983; Baumgartner 1988; Clark et al. 2004). Der Unterschied zwischen den Klauen der Schultergliedmaßen ist nicht so ausgeprägt wie der zwischen den Klauen der Beckengliedmaßen.
- Die Innenklaue der Schultergliedmaße ähnelt in vielen Parametern der Außenklaue der Beckengliedmaße. Sie weist, bis auf die Sohlenbreite und die Ballenparameter, die höheren Werte im Vergleich mit der lateralen Klaue der Schultergliedmaße auf. Sie stellt bei den Mastbullen die größte Klaue aller Gliedmaßen. Bei den Kühen zeigt die Außenklaue der Beckengliedmaßen die größte Länge, allerdings nicht in den Koriummaßen. In den

Lederhautabmessungen weist bei allen Tieren die Innenklaue der Schultergliedmaßen die größte Klauenlänge auf.

- Durch das Referenzmaß „Sohlendicke“ und die hohe Messgenauigkeit werden die erhaltenen Messwerte als für Deutsche Fleckviehrinder im Bayerischen Raum als repräsentativ angesehen. An den Schultergliedmaßen sollte ein Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenlänge von etwa 1,6 : 1 angestrebt werden.
- Hinweise auf die Krankheitsdisposition der Innenklaue ergaben sich aus der längeren Außenzehe. Daraus konnte die Hypothese entwickelt werden, dass die Überlastung der Innenklaue im Stehen durch das Kippen von der Außen- auf die Innenzehe erfolgt.
- Im Gegensatz zu bisherigen Meinungen muss öfter die Außenklaue gekürzt werden, damit sie auf das Sohlenniveau der Innenklaue gebracht wird. Das gleiche Sohlenniveau sollte deswegen hergestellt werden, weil es auf hartem Boden dazu beiträgt, die Innenklaue vor Überlastung zu schützen.
- Die Klauen der Schultergliedmaßen scheinen, obwohl ein größerer Anteil des Körpergewichts auf sie fällt, besser als die der Beckengliedmaßen gegen Überlastungen geschützt zu sein. Dies könnte mit der elastischen sehnig-muskulären Aufhängung am Rumpf zusammenhängen, die einen Aufprall besser abfedert als die knöchern-harte Verbindung im Hüftgelenk. Gleichzeitig könnte die tendino-muskulöse Verbindung jedoch ein Kippen der Last auf die Innenklaue ermöglichen.
- Zum Schutz der Klauen der Schultergliedmaßen vor überlastungsbedingten Erkrankungen dürften vor allem die größere Ballenhöhe und die etwas steiler gestellten und kürzeren Dorsalwände beitragen. Diese „stumpfwinklige“ Klauenform wird auch in der funktionellen Klauenpflege angestrebt, kann aber an den Beckengliedmaßen wegen der dort entscheidend niedrigeren Ballen nicht erreicht werden.

VI Zusammenfassung

Die makroskopisch gesunden Vorderfußpaare geschlachteter Fleckviehrinder (17 Färsen, 13 Kühe, 30 Mastbullen) wurden post mortem gesammelt. An ihnen wurden mit Präzisionsinstrumenten verschiedene Klauenmaße bestimmt. Als Bezugsgröße wurde eine standardisierte Sohlendicke gewählt - 5 mm an der Klauenspitze, 8 mm im Ballenbereich - und eine plane Sohlenfläche hergestellt. Vermessen wurde die ursprünglich vorhandene Sohlendicke, nach Herstellung der standardisierten Sohlendicke dann die Dorsalwandlänge, der Dorsalwandwinkel, die Ballenlänge, -breite und -höhe, die Sohlen- und die Klauenlänge und die Sohlenbreite. Am Sohlenabdruck wurde planimetrisch der Sohlenumfang und die Sohlenfläche errechnet. Stand eine Sohlenfläche der Klauen bei standardisierter Sohlendicke über das Niveau der Partnerklaue nach distal über, wurde sie angepasst und ihre Maße erneut genommen. Zudem wurde die Höhe des Kronsaumverlaufs der medialen und lateralen Klaue untersucht. Zuletzt wurden die Hornschuhe entfernt und die Lederhautparameter Dorsalwandlänge, -winkel, Ballenhöhe und Klauenlänge gemessen.

Insgesamt lagen 164 Einzelmesswerte pro Tier und weitere 24 Einzeldaten für jede angepasste Klaue vor. Die Werte wurden durch den gepaarten t-test zwischen lateral und medial verglichen; $p < 0,05$ wurde als signifikant angesehen. Die Wiederholbarkeit der Messungen war sehr hoch. Die Variationskoeffizienten betragen 0,26 % bis 0,41 %, die Intraklassen-Korrelationskoeffizienten 0,95 - 1,00.

Bezüglich der Dorsalwand waren die medialen Klauen signifikant länger und die ursprüngliche Sohlendicke war an den medialen Klauen größer als an den lateralen. An insgesamt 27 Füßen (22,5 %) bestand ein unterschiedliches Sohlenniveau; 24mal war die laterale Zehe länger. Dieser Niveauunterschied war tendenziell bei der Ansicht des Kronsaums von dorsal erkennbar. Diese Ergebnisse wurden als Hinweis auf eine längere Außenzehe aufgefasst.

Die Dorsalwandwinkel der Klauen der Schultergliedmaße waren zwischen lateral und medial statistisch nicht unterschiedlich. Die lateralen Ballen waren signifikant höher, breiter und länger als die medialen Ballen. Ein Geschlechtsdimorphismus bestand beim Dorsalwandwinkel und bei der Ballenhöhe, die bei den männlichen Tieren die signifikant größeren Werte aufwiesen. Wegen des hohen und langen Ballens war das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenwandlänge erheblich kleiner als an der Beckengliedmaße, nämlich etwa 1,7 : 1 (Kühe) bis 1,5 : 1 (Bullen). Die medialen Klauen und deren Sohlen waren signifikant länger, jedoch schmaler als die

der lateralen Klauen. Die Dorsalwandlänge, die Klauenlänge, die Sohlenlänge und die Sohlenbreite korrelierten positiv mit dem Alter der Tiere. Die Sohlenflächen und der Sohlenumfang waren an den medialen Klauen aller Tiere größer, jedoch nur bei den Mastbullen und Kühen signifikant. Die Koriumparameter Dorsalwandlänge, Dorsalwandwinkel, Ballenhöhe und Klauenlänge, verhielten sich entsprechend der bereits erläuterten Parameter des Hornschuhs, jedoch waren die Dorsalwandwinkel erheblich steiler als am Hornschuh.

Somit ergaben sich an den Schultergliedmaßen Hinweise auf eine unterschiedliche Form und möglicherweise Funktion der Klauen. Vereinfacht ausgedrückt waren die medialen Klauen und Sohlen an den Schultergliedmaßen länger als die lateralen, letztere aber breiter. Weiterhin waren die Klauenmaße hinweisgebend auf eine längere Außenzehe.

Die Klauen der Schultergliedmaßen stehen aufgrund des höheren Ballens steiler als die der Beckengliedmaßen. Diese Eigenschaft, zusammen mit der sehnig-muskulären Anheftung an den Rumpf schützen sie vermutlich besser gegen Überlastung, was man aus der geringen Erkrankungshäufigkeit der Schultergliedmaßen beim Rind folgern kann. Wir schlagen die neue Hypothese vor, dass auf hartem Boden die nachgiebigere Verbindung zum Rumpf jedoch zur Überlastung führen könnte, indem bei einer längeren Außenzehe ein Kippen auf die Innenzehe ermöglicht wird. Dies würde die häufigere Erkrankung der Innenklaue trotz der längeren Außenzehe erklären. Bei der Klauenpflege an den Schultergliedmaßen sollte deswegen ein gleiches Sohlenniveau angestrebt werden, weil dies einer überlastungsbedingten Erkrankung der Innenklaue vorbeugt.

VII Summary

Measurements of macroscopically healthy forelimb claws of 60 slaughtered German Simmental cattle (17 heifers, 13 cows and 30 fattening bulls) were carried out using precision instruments. As reference value a standardised sole thickness of 5 mm at the tip and 8 mm in the heel region in both claws was determined, and a flat sole surface established. The original sole thickness was measured and then, after creating the standardised sole thickness, the dorsal wall length, dorsal wall angle, heel length and height, sole and claw length and claw width were measured. The sole circumference and sole area were determined planimetrically using the sole imprint. The height of the coronary band of the medial and lateral claws was also determined. When the standardised soles of the two partner claws were at different levels, the larger one was re-trimmed and re-measured. The horn capsules were then removed and the dorsal wall length and angle, heel height and claw length of the corium were determined.

There were a total of 164 measurements per animal and another 24 measurements for each claw that was re-trimmed. Differences between lateral and medial paired claws were analysed using a paired *t*-test. The level of significance was set at $P < 0.05$. The repeatability of the measurements was very high. The coefficient of variation ranged from 0.26 % to 0.41 % and the intra-class correlation coefficient varied from 0.95 to 1.00.

The dorsal wall of the medial claw was significantly longer and the medial claw had a larger original sole thickness than the lateral claw. In 27 of 120 feet (22.5%), there was a difference in the level of the soles between the paired claws. In 24 feet, the lateral claw was longer. In most cases, the difference in the levels of the soles could be appreciated by looking at the coronary bands from above. These findings were considered to be an indication that lateral claws are longer than medial claws.

There was no significant difference between the dorsal wall angle of the medial and lateral claws. The heels of lateral claws were significantly higher, wider and longer than those of medial claws. There was a gender dimorphism with regard to the dorsal wall angle and heel height, which were significantly larger in males. Because of the greater height and length of the heel, the relationship between the dorsal wall length and heel wall length was considerably smaller in the forelimbs than previously reported in the hind limbs; it was 1.7:1 in cows and 1.5:1 in bulls. The soles of the medial claws were significantly longer but narrower than those of the lateral claws. The surface area and circumference of the sole were significantly larger in medial claws

than in lateral claws in cows and finisher bulls. The dorsal wall length, claw length and sole length and width had a positive correlation with the age of the animal. The dorsal wall length, dorsal wall angle, heel height and claw length of the corium corresponded to values determined for the horn capsule, although the dorsal wall angle was considerably steeper in the corium.

Our findings point to differences in the shape and function of the paired forelimb claws. Generally speaking, the medial claws and soles were longer than the lateral claws, but narrower. The measurements also indicated that the lateral digit was longer than the medial.

The claws of the forelimbs have higher heels and thus a steeper hoof wall angle compared with the hind limbs. These factors together with the tendinomuscular attachment to the trunk may afford better protection against overload compared with the hind feet, which is underlined by the lower incidence of claw diseases in the forelimbs. The levels of the soles were generally similar between the claw pairs; however, in contrast to previous data, the lateral claw had to be trimmed to match the medial claw in several cases. We propose as a novel hypothesis that on hard surfaces, the less rigid attachment of the thoracic extremities to the trunk leads to excessive stress when the weight is shifted from the longer lateral digit to the medial digit. This may explain the increased occurrence of disorders in the medial claw despite a longer lateral digit. It is therefore critical that the lateral claw be trimmed to match the medial claw to produce uniform sole levels, thereby preventing disease due to overload of the inner claw.

VIII Literaturverzeichnis

1. Ahlström, G., Ral, G., Berglund, B., Swensson, C., 1986. Hoof and leg traits of Swedish dairy cattle. I. Objective measurements. *Zentralbl Veterinärmed A* 33, 561-87.
2. 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. Hannover: Tierärztliche Hochschule, Inauguraldissertation.
3. Andersson, L., Lundström, K., 1981. The influence of breed, age, body weight and season on digital diseases and hoof size in dairy cows. *Zentralbl Veterinärmed A* 28, 141-51.
4. Baggot, D., Russell, A., 1981. Lameness in cattle. *Br Vet J* 137, 113-32.
5. Baumgartner, C., 1988. Untersuchungen über Klauenmaße als Hilfsmerkmale für die Selektion auf Klauengesundheit an Töchtergruppen von Deutschen Fleckviehbullen. Tierärztliche Fakultät, München, Ludwig-Maximilians-Universität, Inauguraldissertation.
6. Berger, G., 1988. Art und Verteilung von Klauenerkrankungen auf die einzelnen Zehen bei Kühen in einstreuloser Laufstallhaltung. *Monatsh Veterinärmed* 43, 821-825.
7. Birkeland, R., Fjeldaas, T., 1984. [Diseases in the distal extremities of cows--a pathological study]. *Nord Vet Med* 36, 145-55.
8. Blowey, R., 1992. Footcare in Cattle; Hoof Structure and Trimming: Farming Press Videos, Wharfedale Road, Ipswich.
9. Brentano, G., Dämmrich, K., Unshelm, J., 1979. [Studies on joint and hoof changes of fattening calves kept on slatted floors and on straw]. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 92, 229-33.
10. Budras, K.D., A. Wünsche, 2002. Atlas der Anatomie des Rindes. Hannover, Schlütersche GmbH & Co KG, Verlag und Druckerei.
11. Clark, C.R., Petrie, L., Waldner, C., Wendell, A., 2004. Characteristics of the bovine claw associated with the presence of vertical fissures (sandcracks). *Can Vet J* 45, 585-93.
12. Clarkson, M.J., Downham, D.Y., Faull, W.B., Hughes, J.W., Manson, F.J., Merritt, J.B., Murray, R.D., Russell, W.B., Sutherst, J.E., Ward, W.R., 1996. Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Vet Rec* 138, 563-7.
13. Clemente, C.H., 1989. Klauenpflege beim Rind. Frankfurt, Verlagsunion Agrar.
14. Cramer, G., Lissemore, K.D., Guard, C.L., Leslie, K.E., Kelton, D.F., 2008. Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle. *J Dairy Sci* 91, 3888-95.
15. Dämmrich, K., Unshelm, J., Andraea, U., Bader, R., 1982. [Hoof modifications in fattened calves kept under single and grouping conditions]. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 95, 21-6.
16. Dirksen, G., 2002. Krankheiten der Bewegungsorgane. In: G. Dirksen, H.-D. Gründer, M. Stöber (Hrsg.), *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*, S. 753-1029. Berlin: Parey.

17. Distl, O., 1995. Züchterische Verbesserung von Fundamentmerkmalen und Klauengesundheit beim Rind. *Züchtungskde* 67, 438-48.
18. Distl, O., 1996. Verbesserung von Gesundheit als neues züchterisches Ziel in der Selektion auf Fundamentmerkmale beim Rind. *Tierärztl Umsch* 51, 331-40.
19. Distl, O., Schmid, D., 1993. Systematische Kontrolle der Klauengesundheit bei Kühen in ganzjähriger Laufstallhaltung. *Tierärztl Prax* 21, 27-35.
20. Distl, O., Schmid, D., 1994. Einfluß einer Zufütterung von Biotin auf die Klauenform, -härte und -gesundheit bei Milchkühen. *Tierärztl Umsch* 49, 581-8.
21. Distl, O., Koorn, D., McDaniel, B., Peterse, D., Politiek, R., Reurink, A., 1990. Claw traits in cattle breeding programs: Report of the E.A.A.P. working group "Claw quality in cattle". *Livestock Prod Sci* 25, 1-13.
22. Dyce, K.M., Sack, W.O., Wensing, C.J.G., 1991. *Anatomie der Haustiere*, S. 757-777. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag.
23. Espejo, L.A., Endres, M.I., Salfer, J.A., 2006. Prevalence of lameness in high-producing holstein cows housed in freestall barns in Minnesota. *J Dairy Sci* 89, 3052-8.
24. Fessler, L., 1966. Untersuchungen von Klauenkapseln heimischer Rinderrassen in Bezug auf die Lamellenanzahl, Wandstärke und Winkelung der Wand und deren Vergleich mit den Klauenkapseln eines Yakbullen (*Bos grunniens* L.). *Wien Tierärztl Monatsschr* 53, 267-277.
25. Fessler, L., 1968. Biometrische Untersuchungen der Bodenfläche der Rinderklauen und die Belastungsverteilung auf die Extremitätenpaare. *Zentralbl Veterinarmed A* 15, 844-60.
26. Fessler, L., 1980. Die Normalklaue des Oesterreichischen Fleckvierindes - Größen- und Formbestimmung und deren Bedeutung für Klauenerkrankungen und Stallbau., *Klinik für Veterinärorthopädie, Veterinärmedizinische Universität Wien, Habilitationsschrift*.
27. Fischer, A., 1935. *Die Klauenpflege des Rindes*. Hannover, Schaper Verlag.
28. Fjeldaas, T., Nafstad, O., Fredriksen, B., Ringdal, G., Sogstad, A.M., 2007. Claw and limb disorders in 12 Norwegian beef-cow herds. *Acta Vet Scand* 49, 24.
29. Geyer, H., 1979. Morphologie und Wachstum der Schweineklaue. *Veterinär-Anatomisches Institut der Tierärztlichen Fakultät der Universität Zürich*, S. 1-111. *Habilitationsschrift*.
30. Greenough, P.R., Weaver, D., 1997. *Lameness in Cattle*. Philadelphia, Saunders Company.
31. Greenough, P.R., Vermunt, J.J., McKinnon, J.J., Fathy, F.A., Berg, P.A., Cohen, R.D., 1990. Laminitis-like changes in the claws of feedlot cattle. *Can Vet J* 31, 202-208.
32. Günther, M., Panndorf, H., Schleiter, H., 1970. Zum Problem der orthopädischen Überwachung von Besamungsbullen. *Monatsh Veterinarmed* 25, 418.
33. Habacher, F., 1948. *Der Huf- und Klauenbeschlag*. Wien, Verlag Urban und Schwarzenberg.
34. Habermehl, K.-H., 1984. Haut und Hautorgane. In: R. Nickel, A. Schummer, E. Seiferle (Hrsg.), *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere.*, Bd. III, S. 453-581. Berlin und Hamburg: Parey Verlag.

35. Hahn, M.V., McDaniel, B.T., Wilk, J.C., 1984. Genetic and environmental variation of hoof characteristics of Holstein cattle. *J Dairy Sci* 67, 2986-98.
36. Hamann, H., Distl, O., 2002. Prediction of functional longevity for dairy cows by using foot quality in German Holstein bulls. In 7th World Congress on Genetics applied to Livestock Production. Montpellier, France.
37. Hernandez, J.A., Garbarino, E.J., Shearer, J.K., Risco, C.A., Thatcher, W.W., 2005. Comparison of milk yield in dairy cows with different degrees of lameness. *J Am Vet Med Assoc* 227, 1292-6.
38. Hinrichs, D., Kuhlmann, T., Stamer, E., Kalm, E., 2003. Genetische Analyse von Klauenmaßen aus der Eigenleistungsprüfung von Jungbullen. *Arch Tierz* 46, 155-165.
39. Hinterhofer, C., Apprich, V., Polsterer, E., Haider, H., Stanek, C., 2007. Comparison of stress zones in finite element models of deformed bovine claw capsules. *J Dairy Sci* 90, 3690-9.
40. Holzhauer, M., 2007. [Hoof and claw health in dairy cows in the Netherlands. Epidemiological aspects of hoof and claw diseases in dairy cows in the Netherlands]. *Tijdschr Diergeneeskd* 132, 354-6.
41. Huber, M., 1983. Untersuchungen über Klauenparameter an Jungbullen in den Bayerischen Eigenleistungsprüfungsanstalten. Institut für Tierzucht und Tierhygiene, Ludwig-Maximilians-Universität München, Inauguraldissertation.
42. Huber, M., Distl, O., Graf, F., Kräusslich, H., 1984. Die Entwicklung der Klauenformen von Jungbullen im Alter von 6-12 Monaten. *Zentralbl Veterinärmed A* 31, 499-507.
43. Hultgren, J., Manske, T., Bergsten, C., 2004. Associations of sole ulcer at claw trimming with reproductive performance, udder health, milk yield, and culling in Swedish dairy cattle. *Prev Vet Med* 62, 233-51.
44. Huth, C., Russke, A., Alsleben, B., Hamann, H., Distl, O., 2005. Body and claw measurements and pressure distribution under the claws in heifers of different cattle breeds. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 118, 150-9.
45. Kehler, W., Sohrt, J.T., 2000. Standard measurements of the normal hind claw of Holstein Friesian cows: The relation between the internal anatomical structure and the horn capsule. In 11th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit and 3rd International Conference on Bovine Lameness, Eds. C. Mortellaro, L. De Vecchis, A. Brizzi, pp. 260-261. Parma, Italy.
46. Keller, A., 2007. Röntgenologischer Vergleich der lateralen und medialen Zehen sowie Klauenvermessungen bei Wildwiederkäuern. Departement für Nutztiere, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Zürich, S. 1-109. Inauguraldissertation.
47. Keller, A.M., Muggli, E., Clauss, M., Nuss, K., 2008. Even-toed but uneven in length: The digits of artiodactyls. *Zoology* 2009, accepted.
48. Knezevic, P., 1960. Die Klauenpflege beim Rind. *Wien Tierärztl Monatsschr* 47, 240-51.
49. Kofler, J., Kubber, P., 2000. [Ultrasonographic measurement of the sole horn thickness in bovine claw]. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr* 113, 81-7.
50. Köstlin, R., Nuss, K., 1988. Behandlung der eitrigen Klauengelenkentzündung beim Rind durch Gelenkresektion - Ergebnisse. *Tierärztl Prax* 16, 123-31.

51. Kremer, P.V., Nueske, S., Scholz, A.M., Foerster, M., 2007. Comparison of claw health and milk yield in dairy cows on elastic or concrete flooring. *J Dairy Sci* 90, 4603-11.
52. Leuenberger, W., Dozzi, W., Martig, J., 1978. Meßfehler verschiedener Methoden zur Bestimmung der Klauenbelastung und der Klauenform beim Rind. *Zentralbl Veterinärmed A* 25, 837-44.
53. Lischer, C., 1998. Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind, pp. 1-146. *Landwirtschaftliche Lehrmittelzentral, Zollikofen*.
54. Manske, T., Hultgren, J., Bergsten, C., 2002. Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows. *Prev Vet Med* 54, 247-63.
55. Manson, F.J., Leaver, J.D., 1989. The effect of concentrate: silage ratio and hoof trimming on lameness in dairy cattle. *Anim Prod* 49, 15-22.
56. Martig, J., Leuenberger, W., Dozzi, M., 1979. Häufigkeit und Art von Klauenläsionen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. *Schweiz Arch Tierheilkde* 121, 577-91.
57. Martig, J., Leuenberger, W., Tschudi, P., Dozzi, M., 1983. Untersuchungen über die Ursachen des spezifisch traumatischen Sohlengeschwürs der Kuh. *Zentralbl Veterinärmed A* 30, 214-222.
58. McDaniel, B.T., Verbeek, B., Wilk, J.C., Everett, R.W., Keown, J.F., 1984. Relationships between hoof measures, stayabilities, reproduction and changes in milk yield from first to later lactations. *J Dairy Sci* 67, 198-9.
59. McLennan, M., 1988. Incidence of lameness requiring veterinary treatment in dairy cattle in Queensland. *Austr Vet J* 65, 144-7.
60. Meyer, H., Weferling, K.G., Wegner, W., 1968. Untersuchungen zur Erbllichkeit und Pathogenese des Zwischenklauenwulstes beim Rind. 2. Mitt. Vergleichende Untersuchungen am Fuss von Jungmastbullen verschiedener Rassen. *Zeitschr Tierz Züchtungsbiol* 85, 14-18.
61. Meyer, S., Weishaupt, M., Nuss, K., 2007. Gait patterns of heifers before and after claw trimming: A high-speed cinematographic study on a treadmill. *J Dairy Sci* 90, 670-676.
62. Muggli, E., 2007. Längen- und Breitenunterschiede zwischen medialer und lateraler Zehe bei Rindern verschiedenen Alters. Röntgenologische Messungen. Departement für Nutztiere, Veterinärmedizinische Fakultät der Universität Zürich, S. 1-91. Inauguraldissertation.
63. Müller, G., 1976. Untersuchung des Feuchtigkeitsgehaltes des Klauensohlenhornes bei verschiedenen strohlosen Haltungsverfahren sowie dessen Beteiligung bei der Entstehung von Veränderungen und Erkrankungen der Klauen. Veterinärmedizinische Fakultät, Humboldt-Universität Berlin. Inauguraldissertation.
64. Murray, R.D., Downham, D.Y., Clarkson, M.J., Faull, W.B., Hughes, J.W., Manson, F.J., Merritt, J.B., Russell, W.B., Sutherst, J.E., Ward, W.R., 1996. Epidemiology of lameness in dairy cattle: description and analysis of foot lesions. *Vet Rec* 138, 586-91.
65. Nacambo, S., Hassig, M., Lischer, C., Nuss, K., 2007. Difference in the length of the medial and lateral metacarpal and metatarsal condyles in calves and cows - a post-mortem study. *Anat Histol Embryol* 36, 408-12.

66. Nüske, S., Scholz, A., Förster, M., 2003. Studies on the growth and the development of the claw capsule in new born calves of different breeding lines using linear measurements. *Archiv Tierz*, 547-557.
67. Nuss, K., Tiefenthaler, I., 2000. Eigenschaften und klinische Anwendung gebräuchlicher Klauenkothurne. *Tierärztliche Praxis* 28 (G), 125-32.
68. Nuss, K., Steiner, A., 2004a. Untersuchung des Bewegungsapparates bei Erkrankungen im Zehenbereich. In: A. Fiedler, J. Maierl, K. Nuss (Hrsg.), *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*, S. 63-76. Stuttgart: Schattauer Verlag.
69. Nuss, K., Steiner, A., 2004b. Spezielle Diagnostik und Therapie. In: A. Fiedler, J. Maierl, K. Nuss (Hrsg.), *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*, S. 77-125. Stuttgart: Schattauer Verlag.
70. Nuss, K., Paulus, N., 2006. Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming: A post-mortem study. *Vet J* 172, 284-92.
71. Ossent, P., 1990. A simple procedure for the gross and histological examination of the bovine hoof. *Schweiz Arch Tierheilkde* 132, 451.
72. Ossent, P., Lischer, C., 1998. Bovine laminitis: the lesions and their pathogenesis. *In Pract*, 415-427.
73. Ossent, P., Peterse, D.J., Schamhardt, H.C., 1987. Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb. *Zentralbl Veterinärmed A* 34, 296-300.
74. Paulus, N., 2004. Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmassen von Fleckviehrindern. Departement für Nutztiere, Vet-Suisse-Fakultät der Universität Zürich. Inauguraldissertation.
75. Paulus, N., Nuss, K., 2002. Claw measures at defined sole thickness. In 12th International Symposium on Lameness in Ruminants, (Ed. J.K. Shearer), pp. 428-30. Orlando, Florida, USA.
76. Paulus, N., Nuss, K., 2006. Unterschiede zwischen den Abmessungen von lateraler und medialer Klaue an den Beckengliedmassen bei Jungbullen. *Tierärztl Prax* 34 (G), 86-93.
77. Peterse, D., 1986. Lameness in cattle. In *Proc 14th World Congress on Diseases in Cattle*, vol. 2, pp. 1015-24. Dublin, Ireland.
78. Peterse, D.J., 1982. [Incidence of lesions of the sole]. *Tijdschr Diergeneeskd* 107, 132-7.
79. Philipot, J.M., Pluvinage, P., Bugnard, F., 1992. The relationship between pedal deformities, laminitis, heel horn erosion and lameness in dairy cows - results of an eco-pathological survey. In 7th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit. Rebild, Denmark.
80. Phillips, C., Patterson, S., Dewi, A., Whitaker, C., 1996. Volume assessment of the bovine hoof. *Res Vet Sci* 61, 125-8.
81. Räber, M., Lischer, C., Geyer, H., Ossent, P., 2004. The bovine digital cushion - a descriptive anatomical study. *Vet J* 167, 258-264.
82. Reurink, A., van Arendonk, J., 1987. Relationships of claw disorders and claw measurements with efficiency of production in dairy cattle. In 38th Annual Meeting of the EAAP. Lissabon.

83. Rogers, G.W., McDaniel, B.T., Dentine, M.R., Runk, D.A., 1989. Genetic correlations between survival and linear type traits measured in first lactation. *J Dairy Sci* 72, 523-527.
84. Russke, A.K., 2001. Entwicklung von Klauenform und Klauenhorneigenschaften bei Junggrindern der Rassen Deutsche Holsteins und Deutsches Braunvieh. Hannover, Tierärztliche Hochschule. Inauguraldissertation.
85. Rusterholz, A., 1920. Das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes. *Schweiz Arch Tierheilkde* 62, 421-66, 505-25.
86. Schaller, O., 1992. *Illustrated Veterinary Anatomical Nomenclature*. Stuttgart, Enke Verlag.
87. Schleiter, H., 1966. *Klauenpflege bei Haustieren*. Leipzig, Hirzel Verlag.
88. Schleiter, H., Günther, M., 1967. Ein Beitrag zur Definition einiger Klauenformen des Rindes. *Monatsh Veterinärmed* 22, 886-90.
89. Schmid, D., 1990. Untersuchungen über Klauenmaße und Klauenkrankheiten in der Rinderherde des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim. Institut für Tierzucht und Tierhygiene, Ludwig-Maximilians-Universität München, Inauguraldissertation.
90. Schmid, T., Weishaupt, M.A., Meyer, S.W., Waldern, N., Peinen, K.V., Nuss, K., 2008. High-speed cinematographic evaluation of claw-ground contact pattern of lactating cows. *Vet J* (in press).
91. Schneider, P., 1980. Einfluss des Vaters auf die Gliedmassenstellung und Klauenform sowie Abriebfestigkeit und Wassergehalte des Klauenhorns der Nachkommen. Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, Inauguraldissertation.
92. Schraml, O., 1925. Untersuchungen am Karpalgelenk des Rindes. In Anatomisches Institut, Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, Inauguraldissertation.
93. Schwarzmann, B., 2004. Messungen am Hornschuh, den Röhreinkondylen und den Zehenknochen bei Kälbern. In Chirurgische Tierklinik. Tierärztliche Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, Inauguraldissertation.
94. Schwarzmann, B., Köstlin, R., Nuss, K., 2007. Größenunterschiede zwischen den lateralen und medialen Zehenknochen und Klauen von Kälbern. *Tierärztl Prax* 35 (G), 341-349.
95. Smit, H., Verbeek, B., Peterse, D., Jansen, J., McDaniel, B., Politiek, R., 1986. Genetic aspects of claw disorders, claw measurements and 'type' scores for feet in Friesian cattle. *Livest Prod Sci* 15, 205-17.
96. Sogstad, A.M., Fjeldaas, T., Osteras, O., Forshell, K.P., 2005. Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls. *Prev Vet Med* 70, 191-209.
97. Sohr, J.T., 1999. Ermittlung von Standardmaßen für die Klauenpflege durch Untersuchungen über die Beziehung der anatomischen Innenstruktur zum Hornschuh an Klauen der Hintergliedmaße Deutscher Schwarzbunter Rinder mit Berücksichtigung von Reheveränderungen. Tierärztliche Hochschule Hannover. Inauguraldissertation.
98. Somers, J.G., Frankena, K., Noordhuizen-Stassen, E.N., Metz, J.H., 2003. Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems. *J Dairy Sci* 86, 2082-93.

99. Telezhenko, E., Bergsten, C., Magnusson, M., Ventorp, M., Nilsson, C., 2008. Effect of different flooring systems on weight and pressure distribution on claws of dairy cows. *J Dairy Sci* 91, 1874-84.
100. Thomsen, P.T., Ostergaard, S., Sorensen, J.T., Houe, H., 2007. Loser cows in Danish dairy herds: definition, prevalence and consequences. *Prev Vet Med* 79, 116-35.
101. Toussaint Raven, E., 1985. The principles of claw trimming. *Vet Clin North Am: Food An Pract* 1, 93-107.
102. Toussaint Raven, E., 1989. Cattle footcare and claw trimming. Ipswich, UK, Farming Press.
103. Toussaint Raven, E., 1998. Klauenpflege beim Rind. Deutsche Übersetzung, Landwirtschaftskammer Hannover.
104. Van Amstel, S.R., Palin, F.L., Rohrbach, B.W., Shearer, J.K., 2003. Ultrasound measurement of sole horn thickness in trimmed claws of dairy cows. *J Am Vet Med Assoc* 223, 492-4.
105. Van der Tol, P.P., J. H. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam, Weijs, W.A., 2002. The pressure distribution under the bovine claw during square standing on a flat substrate. *J Dairy Sci* 85, 1476-1481.
106. Vermunt, J., 1990. Lesions and structural characteristics of the claws of dairy heifers in two management systems. MSc Thesis, Saskatchewan, Saskatoon, Canada.
107. Vermunt, J.J., 1999. Measuring claw volume - a useful tool in lameness research. *Vet J* 158, 162-3.
108. Vermunt, J.J., Greenough, P.R., 1995. Structural characteristics of the bovine claw: horn growth and wear, horn hardness and claw conformation. *Br Vet J* 151, 157-80.
109. Wilkens, H., 1963. Zur makroskopischen und mikroskopischen Morphologie der Rinderklaue mit einem Vergleich der Architektur von Klauen- und Hufröhren. *Zentralbl Veterinärmed A* 11, 163-200.
110. Wyssmann, E., 1902. Zur Anatomie der Klauenlederhaut. *Arch wiss Thierheilkde* 28, 577-625.

Lebenslauf

Bruno Sebastian Pierre Sigmund. Geboren am 12. September 1978 in München, Deutschland.

Vater	Dr. Hugo Michael Sigmund, Tierarzt
Mutter	Catherine Valette-Sigmund, geb. Valette, Praxisangestellte
Geschwister	Eva und Isabell Sigmund
1985 – 1989	Grundschule Furth im Wald
1989 – 1998	Josef von Fraunhofer Gymnasium in Cham
1998 – 1999	Zivildienst in der Fachklinik Furth im Wald
1999 – 2001	Fremdsprachenfortbildungen, Praktika, Nebenjobs
2001 – 2002	Studium der Veterinärmedizin an der Szent Istvan Universität in Budapest
2002 – 2007	Fortführung des Studiums an der LMU in München
2007	3. Staatsexamen und Approbation
2007 – 2009	Doktorand an der Klinik für Wiederkäuer in Oberschleißheim, Durchführung der praktischen Untersuchungen

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, insbesondere

Herrn Prof. Dr. Karl Nuss für die Überlassung des Themas und die intensive Betreuung. Er stand mir stets mit Ratschlägen zur Seite. Dafür möchte ich ihm sehr herzlich danken.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Maierl für die Übernahme des Korreferates.

Frau Dr. Carola Sauter-Louis für die unermüdliche Betreuung bei den statistischen Auswertungen.

Frau Dr. Anke Reisse für die zeitintensive Hilfestellung bei der Bearbeitung graphischer Darstellungen.

Frau Dr. Susanne Zöls für die Beseitigung von Formatierungsproblemen.

Herrn Dipl. Ing. Sandro Bauer für die Programmierung einer dreidimensionalen Klauenanimation.

Dem Institut für Tierpathologie für die Möglichkeit der morphometrischen Berechnungen.

Herrn Fischer, dem Schlachthof Furth im Wald und seinen Mitarbeitern für die Bereitstellung der Rinderklauen.

Kodi, dem Meister der Feinmechanik, für die Modifizierung der Messinstrumente.

Meiner lieben Freundin Jasmin, für die Hilfe bei der Eingabe der vielen Messdaten und ihre moralische Unterstützung.

Meinen lieben Eltern für die Unterstützung in den letzten 30 Jahren.