

Aus der Chirurgischen Tierklinik
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwigs-Maximilians-Universität München
Vorstand: Prof. Dr. Dr. habil. U. Matis

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Prof. Dr. Dr. habil. R. Köstlin

Messungen am Hornschuh, den Röhreinkondylen und den Zehenknochen bei Kälbern

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

von
Birgit Schwarzmann
aus
Zwiesel

München 2005

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

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. A. Stolle
Referent:	Univ.-Prof. Dr. R. Köstlin
Korreferent:	Univ.-Prof. Dr. M. Förster
Datum der mündlichen Prüfung:	11. Februar 2005

Meinen Eltern und meiner Tante E. Kech

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	18
2	Literatur	19
2.1	Anatomische Grundlagen der Rinderzehe	19
2.1.1	Knochen	19
2.1.1.1	Os metacarpale	19
2.1.1.2	Os metatarsale	19
2.1.1.3	Ossa digitorum manus bzw. pedis	20
2.1.1.3.1	Fesselbein	20
2.1.1.3.2	Kronbein	21
2.1.1.3.3	Klauenbein	21
2.1.1.4	Ossa sesamoidea	22
2.1.1.5	Afterzehen	23
2.1.2	Aufbau des Zehenendorganes allgemein	23
2.1.2.1	Epidermis, Korium und Subkutis	24
2.1.2.1.1	Saumsegment	24
2.1.2.1.2	Kronsegment	26
2.1.2.1.3	Wandsegment	26
2.1.2.1.4	Sohlen- und Ballensegment	27
2.1.2.1.5	Zwischenklauensegment	30
2.1.3	Aufbau des Zehenendorganes beim Kalb	30
2.1.3.1	Klauenbein	30
2.1.3.2	Hornschuh der Klauenwand und der Klauensohle	31
2.2	Literaturübersicht: Messungen am Klauenschuh	32
2.2.1	Messparameter und Methoden	32
2.2.1.1	Dorsalwandwinkel	33
2.2.1.2	Dorsalwandlänge	34
2.2.1.3	Ballenhöhe und Trachtenwandhöhe	36
2.2.1.4	Ballenlänge und Trachtenwandlänge	38
2.2.1.4	Ballenwinkel	39
2.2.1.5	Sohlenlänge und -breite	40
2.2.1.6	Sohlenfläche (Belastungsfläche)	42
2.2.1.7	Diagonallänge	43
2.2.1.8	Sohlenrandumfang, Tragrandumfang, Kronumfang	43
2.2.1.9	Stärke des Hornschuhes im Bereich der Sohle	43
2.2.1.10	Verhältnis der Zehenlänge zur Trachtenwandlänge bzw. -höhe	45
2.2.2	Ergebnisse von Klauenmessungen bei Kälbern und Jungrindern	46
2.3	Röntgendarstellung	58
2.3.1	Röntgentechnik	58
2.3.2	Röntgenanatomie	59
2.3.2.1	Dorsopalmare/plantare Aufnahmeebene (Abb. 14)	59
2.3.2.2	Lateralo-mediale Aufnahmeebene	61
2.3.2.3	Epiphysenfugen (Abb. 16)	63
2.3.3	Messungen an den Zehenknochen bzw. dem Hornschuh am Röntgenbild	64
3	Material und Methode	68
3.1	Patienten	68
3.2	Gliedmaßenstellung und allgemeine Untersuchung der Klauen	71

3.2.1	Gliedmaßen- und Zehenstellung	71
3.2.2	Allgemeine Untersuchung der Klauen.....	72
3.2.2.1	Übergang der behaarten Haut in den Saum	72
3.2.2.2	Dorsalseite, Wand, axialer und abaxialer Ballen.....	73
3.2.2.3	Eponychium	73
3.2.2.4	Bereich der Sohle.....	74
3.2.2.5	Höhenunterschied zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße	74
3.3	Messungen am Hornschuh.....	75
3.3.1	Ermittlung der Messgenauigkeit	75
3.3.2	Erhobene Messparameter	76
3.4	Röntgenologische Untersuchung	80
3.4.1	Beurteilung der Knochen und Gelenke	82
3.4.2	Auftreten und Größe des Ossifikationskernes des Klauensesambeines	83
3.4.3	Beurteilung der Weichteile	84
3.5	Messungen an den Röntgenbildern.....	84
3.5.1	Messgenauigkeit	84
3.5.1.1	Methodik	84
3.5.1.2	Ergebnis	85
3.5.2	Messungen an der dorsopalmaren bzw. –plantaren Aufnahmeebene	87
3.5.2.1	Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten.....	87
3.5.2.2	Höhenunterschied im Gelenkbereich.....	91
3.5.3	Messungen an der abaxio-axialen Aufnahmeebene	92
3.3	Statistische Methoden.....	93
4	Ergebnisse	95
4.1	Patienten	95
4.2	Adspektion der Gliedmaßenstellung und der Klauen.....	95
4.2.1	Gliedmaßenstellung	95
4.2.2	Adspektorische Beurteilung des Hornschuhes.....	98
4.2.2.1	Lage des Überganges der Haut in den Hornschuh.....	98
4.2.2.4	Einzug im Horn des dorsalen und abaxialen Hornschuhes	99
4.2.2.3	Eponychium	100
4.2.2.4	Tragrand und Adspektion der Sohlenfläche	102
4.2.2.5	Adspektorischer Höhenunterschied im Sohlenbereich.....	103
4.3	Ergebnisse der Messungen am Hornschuh	104
4.3.1	Messgenauigkeit	104
4.3.1.1	Messgenauigkeit am Ende der Hauptuntersuchung.....	104
4.3.1.2	Vergleich Tier in Seitenlage auf links bzw. rechts	105
4.3.2	Hauptuntersuchung: Ergebnisse der Messungen am Hornschuh.....	105
4.3.2.1	Geschlecht	105
4.3.2.2	Korrelationen.....	106
4.3.2.3	Gliedmaßenvergleich.....	106
4.3.2.4	Vergleich laterale und mediale Klaue	107
4.3.2.5	Altersgruppen	111
4.3.2.6	Berechnete Parameter	115
4.4	Allgemeine Befunde am Röntgenbild	118
4.4.1	Röntgenanatomie	118
4.4.2	Klauensesambein	123
4.4.3	Weichteile	125
4.4.4	Auffälligkeiten an den Knochen.....	125

4.5	Ergebnisse der Messungen am Röntgenbild	127
4.5.1	Dorsopalmare bzw. –plantare Aufnahmeebene	127
4.5.1.1	Knochenlängen und Breite der Gelenkspalten	127
4.5.1.1.1	Geschlecht	127
4.5.1.1.2	Korrelationen	127
4.5.1.1.3	Gliedmaßenvergleich	129
4.5.1.2	Höhenunterschiede zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich	133
4.5.2	Abaxio-axiale Aufnahmeebene	138
4.5.2.1	Geschlecht	138
4.5.2.2	Korrelationen	138
4.5.2.3	Gliedmaßenvergleich	139
4.5.2.4	Vergleich laterales und mediales Klauenbein	139
4.5.2.5	Altersgruppen	140
4.6	Nebenuntersuchung: Messergebnisse der Tiere mit einer Lahmheit	141
4.6.1	Vergleich der Parameter der Tiere ohne und mit Lahmheit	141
4.6.1.1	Messungen am Klauenschuh	141
4.6.1.2	Messungen am Röntgenbild	141
4.6.2	Auswirkung der Lahmheit auf die gemessenen Parameter	142
4.6.2.1	Messungen am Hornschuh	142
4.6.2.2	Messungen am Röntgenbild	143
4.7	Zusammenfassung (der signifikanten und relevanten Werte)	143
4.7.1	Messungen am Hornschuh	143
4.7.2	Messungen im Röntgenbild	145
5	Diskussion	146
5.1	Gliedmaßenstellung, allgemeine Untersuchung Hornschuh	146
5.1.1	Gliedmaßenstellung	146
5.1.2	Allgemeine Befunde am Hornschuh	147
5.1.2.1	Lage des Saumes zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße	147
5.1.2.2	Einziehung im Hornschuh des Kronbereiches	147
5.1.2.3	Eponychium	148
5.1.2.4	Weitere Befunde am Hornschuh bei Kälbern	149
5.2	Messungen am Hornschuh	150
5.2.1	Statistische Bestimmung der Messgenauigkeit	150
5.2.2	Ergebnisse der Messungen am Klauenschuh (Hauptuntersuchung)	152
5.2.2.1	Geschlechtsunterschied	152
5.2.2.2	Alterseinfluss, Absolute Werte, Vergleich Messmethodik	153
5.2.2.3	Gliedmaßenvergleich	160
5.2.2.4	Vergleich laterale und mediale Klaue	162
5.2.2.5	Zusammenfassung	166
5.2.2.6	Berechnete Parameter	167
5.3	Allgemeine Befunde Röntgen	169
5.3.1	Klauensesambein	169
5.3.2	Auffälligkeiten am Röntgenbild	170
5.4	Ergebnisse der Messungen am Röntgenbild	171
5.4.1	Messgenauigkeit und Methodik	171
5.4.1	Eigene Ergebnisse	174
5.4.2	Geschlechtsunterschiede	176
5.4.3	Gliedmaßenvergleich	177

5.4.4 Zehenvergleich.....	178
5.4.5 Höhenunterschied der beiden Zehen im Gelenkbereich.....	180
5.6 Vergleich der Messungen bei Tieren ohne und mit Gliedmaßenproblemen.....	187
5.6.1 Messergebnisse am Klauenschuh.....	187
5.6.2 Messergebnisse am Röntgenbild.....	188
6 Zusammenfassung.....	189
7 Summary.....	192
8 Literaturverzeichnis.....	194

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
a.p.	dorsopalmare bzw. plantare Aufnahme
bzw.	beziehungsweise
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter
d.h.	das heißt
et al.	Et alii
ggr.	geringgradig
mAs	Milli- Ampere-Sekunden
max.	Maximal
mm	Millimeter
s.h.	siehe
sin	Sinus
SPSS	Statistical Programs for Social Science
Tab.	Tabelle
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
z.T.	zum Teil
%	Prozent
°	Grad

Abbildungsverzeichnis

- Abb.1: Kronfalz am Übergang der Saumlederhaut in die Kronlederhaut (eigene Schemazeichnung)
- Abb.2: Schematische Darstellung des Ballenpolsters an der Rinderklaue nach LISCHER (2000) (38)
- Abb.3: Darstellung der Zehenwandlänge und des Zehenwandwinkels vor und nach Kürzen der Klauenspitze; Konstruktion des durch das Kürzen veränderten Winkels (aus LEUENBERGER et al. (1978) (36))
- Abb. 4: Dorsalwandlängenmaße und Spitzendicke am Sagittalschnitt (schematisch) nach SOHRT (1999) (68)
- Abb. 5: Ermittlung der Ballenhöhe nach AHLSTRÖM et al. (1986) (1)
- Abb. 6: Maße zur Beschreibung der Ausformung der Klaue, Schema aus VERMUNT und GREENOUGH (1995) (71)
- Abb.7: Messstellen an der abaxialen Wand der Klauenkapsel, Schema aus FESSL (1980) (24)
- Abb. 8: Schema der Winkelmessung am Ballen aus FESSL (1980) (24), links Darstellung von der Sohle aus, rechts oben seitliche Ansicht
- Abb. 9: Messungen an der Sohle nach HABACHER 1948 (aus FESSL (1980) (24))
- Abb. 10: Messplatte nach KÄSTNER aus LEUENBERGER et al. (1978) (36))
- Abb. 11: Darstellung der Lage der Bohrlöcher an der Sohlenfläche und der Messpunkte der Vier-Punkt-Messung an den Bohrlöchern nach PAULUS (2004) (54)
- Abb. 12: Großbauer'scher Apparat zur Klauenmessung nach HABACHER (1948) (30)
- Abb. 13: Anfertigen einer dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahme der Rinderzehe, Schema aus DOUGLAS et al (1987)(17)
- Abb. 14: Schematische Darstellung einer dorsopalmaren bzw. -plantaren Röntgenaufnahme der Zehen des Rindes nach EBEID (1996) (19)

- Abb. 15: Schematische Darstellung einer abaxio-axialen Röntgenaufnahme einer Klaue nach EBEID und STEINER (1996) (19)
- Abb. 16: Schematische Darstellung der Epiphysenfugen an der Rinderzehe aus BURT et al. (1968) (9)
- Abb. 17: Schematische Darstellung der Messungen am Röntgenbild nach LISCHER (2000) (38)
- Abb. 18: Schematische Darstellung der beurteilten Parameter, dorsoplantare Aufnahme nach EBEID (1996) (20)
- Abb. 19: schematische Darstellung der beurteilten Parameter an der lateralen Aufnahme nach EBEID (1996) (20)
- Abb. 20: Altersverteilung der untersuchten Kälber, getrennte Darstellung der lahmheitsfreien Tiere (Hauptuntersuchung) und der lahmen Tiere (Vergleichsgruppe)
- Abb.21: Bestimmung der Dorsalwandlänge; x: proximaler und distaler Messpunkt; blaue Linie: Strecke der Dorsalwandlänge
- Abb. 22: Bestimmung des Dorsalwandwinkels
- Abb. 23: Ballenhöhe, Ballenlänge und Ballenwinkel
- Abb. 24: Sohlenabdruck mittels Graphitstift, Fleckviehkalb, 1 Tag alt, Eponychium entfernt: von links oben nach rechts unten: Klauen vorne links lateral, vorne links medial, vorne rechts medial, vorne rechts lateral, hinten links lateral, hinten links medial, hinten rechts medial, hinten rechts lateral
- Abb.25: Länge (**L**) und Breite (**B**) der Fußungsfläche am Graphitabdruck
- Abb. 26: Ossifikationskern des distalen Sesambeines (Pfeil) an den dorsopalmaren bzw.-plantaren Aufnahmen, von links nach rechts: Größenstufe (3), -stufe (2) und (1); **Krb**: Kronbein, **Kb**: Klauenbein
- Abb. 27: Schematische Darstellung der Längenmessung am Fesselbein, dunkelblaue Linie: Länge des Fesselbeines, hellblauen Linien: distaler Anteil der Länge der Metakarpus- (MC) bzw. Metatarsusepiphyse (MT) und proximaler Anteil der Kronbeinlänge (Sb: proximale Sesambeine)

- Abb. 28: Messlinien (Metron™ Image) an einer dorsopalmaren Aufnahme, DFV-Kalb, männlich, 40 Tage alt
- Abb. 29: Schemazeichnung zur Bestimmung der Höhendifferenzen im Gelenkbereich:
Rot: Höhendifferenz im proximalen Gelenkbereich im Vergleich laterale und mediale Zehe (links: Gesamtüberblick; rechts oben: Detail Krongelenk)
- Abb. 30: Messung von Dorsallänge, Sohlenlänge und Klauenbeinwinkel an einer abaxio-axialen Aufnahme schematisch dargestellt; **Kb**: Klauenbein, **Krb**: Kronbein
- Abb. 31: Höhenunterschied im Verlauf des Haut-Hornüberganges zwischen den beiden Klauen der rechten Vordergliedmaße, Fleckviehkalb, männlich, 150 Tage alt; VRL: Klaue vorne rechts lateral, VRM: vorne rechts medial, schwarze Pfeile: Verlauf der Haut-Saum-Grenze, weiße Pfeile: Beginn des festeren Kronhorns; Dorsalwand medial länger als lateral
- Abb. 32: Einzug (Pfeil) im Hornschuh der Dorsalwand, Ansicht von dorsal und abaxial; Fleckviehkalb, 98 Tage, männlich
- Abb. 33: Ausbildung des Eponychiums bei Fleckviehkälbern in verschiedenen Stadien:
A-C: weiblich, 1 Tag alt, vorne links, frisches Eponychium, an lateraler Klaue (VLL) entfernt
D: männlich, 10 Tage alt, Eponychium komplett vorhanden, eingetrocknet
E: männlich, 49 Tage alt, Eponychium fast vollständig abgelaufen, axial noch Reste vorhanden
- Abb. 34: Höhenunterschied zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße, Fleckviehkalb, männlich, 150 Tage alt; links Ansicht der linken Hintergliedmaße von plantar, rechts Ansicht der rechten Hintergliedmaße von dorsal, die laterale Klaue zeigt jeweils die Beschriftung
- Abb. 35: Diagramm der Dorsalwandlänge an der Vordergliedmaße mit ansteigendem Alter, Vergleich laterale und mediale Klaue
- Abb. 36: Diagramm der Sohlenbreite an den Hintergliedmaßen mit ansteigendem Alter, Vergleich laterale und mediale Klaue
- Abb. 37: Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe, Gliedmaßen- und Klauenvergleich

- Abb. 38: Ausschnittvergrößerung, Os metacarpale III und IV im dorsopalmarer Strahlengang, Scheidewand zwischen Os metacarpale III und IV, Bereich des Foramen nutritium und der Epiphysenfuge herausgestellt; die Aufhellungslinie zeigt die noch bestehende Trennung der beiden Knochenanteile an und ist im Bereich der Kondylen noch deutlich weiter; Fleckviehkalb, männlich, 5 Tage alt
- Abb. 39: Aufnahme der rechten Vordergliedmaße im dorsopalmeren Strahlengang, Ausschnitt Os metacarpale III; rechts Originalaufnahme, links mit Begrenzungslinien der Knochenkonturen; Fleckviehkalb, männlich, 100 Tage alt
- Abb. 40: Ausschnittvergrößerungen, Klauenbein im dorsopalmarer bzw. dorsoplantaren Strahlengang; Klauengelenk, Klauenbein mit Arcus terminalis und Gefäßkanälen bzw. -löchern dargestellt, Bild links Klauenbein mit „rundlicher“ Form; Bild Mitte Form unauffällig; Bild rechts Form des Klauenbeines „langgezogen“; Fleckviehkälber, 4 Tage alt (links), 7 Tage alt (Mitte), 49 Tage alt (rechts)
- Abb. 41: Ausschnittvergrößerung beider Fesselbeine der linken Beckengliedmaße im dorsoplantaren Strahlengang; Fleckviehkalb, weiblich, 25 Tage alt (links) bzw. 79 Tage alt (rechts)
- Abb. 42: Aufnahme der lateralen Zehe der linken Hintergliedmaße im abaxio-axialen Strahlengang, Ausschnittvergrößerung Bereich Hornschuh; rechts Originalaufnahme, links mit Begrenzungslinien der Knochenkonturen; Fleckviehkalb, männlich, 137 Tage alt,
Krb Kronbein **KSb** distales Sesambein
Kb Klauenbein **Kg** Klauengelenk (weißer Pfeil)
Pe Processus extensorius des Klauenbeines (blauer Pfeil)
- Abb. 43: laterale Klaue der linken Hintergliedmaße im abaxio-axialen Strahlengang, Ausschnittvergrößerung im Bereich des Klauengelenkes, röntgenologisch erkennbarer kleiner Ossifikationskern (Pfeil) des Os sesamoideum distale; Fleckviehkalb, männlich, 4 Tage alt
- Abb. 44: Ausschnittvergrößerung der linken Hintergliedmaße im dorsoplantaren Strahlengang, Fesselbein und angrenzende Gelenke; Größenunterschied zwischen den Verknöcherungskernen der distalen Sesambeine (Pfeile) der lateralen und medialen Klaue; Fleckviehkalb, weiblich, 48 Tage alt

- Abb. 45: Ausschnitt der medialen Zehe der rechten Vordergliedmaße im abaxio-axialen Strahlengang, Rauigkeit am Klauenbein im Bereich der palmaren Gelenkfläche (Pfeil); Fleckviehkalb, weiblich, 27 Tage alt, **Krb**: Kronbein; **Kb**: Klauenbein
- Abb. 46: Ausschnitt der Metakarpusfuge der lateralen Zehe der linken Vordergliedmaße, Einziehung des Knochens im proximalen Fugenbereich; Fleckviehkälber, links: männlich, 7 Tage alt; rechts: weiblich, 1 Tag alt
- Abb. 47: Länge des lateralen und medialen Fesselbeines im Vergleich zum Alter der Tiere (lineare Regression)
- Abb. 48: Weite des Gelenkspaltes des lateralen und medialen Fesselgelenkes im Vergleich zum Alter der Tiere (lineare Regression)
- Abb. 49: Am Röntgenbild gemessene Längen der Zehenknochen, Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen bzw. lateralen und medialen Zehe
- Abb. 50: Entwicklung des Höhenunterschieds zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich im Vergleich von Vorder- und Hintergliedmaßen
- Abb. 51: Entwicklung des Höhenunterschieds zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich der beiden Altersgruppen im Vergleich von Vorder- und Hintergliedmaßen (links: Altersgruppe unter 7 Wochen, rechts: Altersgruppe über 7 Wochen, Balkenbeschriftung: Mittelwerte der Balkenelemente in mm)
- Abb. 52: Darstellung der Mittelwerte (in mm) für den Höhenunterschied im Klauengelenk, laterale Zehe länger (90,1% der Fälle), im Vergleich zu den Differenzen (in mm) der Klauenbeinhöhe, der Dorsalwandlänge des Hornschuhes und der Dorsallänge des Klauenbeines für die Altersgruppen unter 7 Wochen (1) und über 7 Wochen (2)

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Sohlenflächengröße bei BRENTANO et al. (1979) (7); x: Mittelwert, s: Standardabweichung
- Tab. 2: Dicke der Sohlenepidermis bei BRENTANO et al. (1979) (7); x: Mittelwert, s: Standardabweichung
- Tab. 3: Übersicht Mittelwerte der Wandlängen (Länge Mitte der Dorsalwand, Länge der Klauenkante, Länge Mitte des Ballens, Länge der Trachtenwand im Verlauf der Hornröhrchen und senkrecht zur Sohlenfläche in mm) bei FESSL (1980) (24)
- Tab. 4: Übersicht Mittelwerte der Messungen an der Sohle bei Kälbern (Sohlenfläche in cm², maximale Breite und Länge der Sohle in mm) bei FESSL (1980) (24)
- Tab. 5: Übersicht Mittelwerte der Wandwinkel (in °) bei den Kälbern von FESSL (1980) (24)
- Tab. 6: Sohlenflächengröße bei DÄMMRICH et al. (1982) (12); x: Mittelwert; s: Standardabweichung
- Tab. 7: Dicke der Sohlenepidermis DÄMMRICH et al. (1982) (7); x: Mittelwert; s: Standardabweichung
- Tab. 8: Sohlenflächen, berechnet aus der Flächenbelastung (Belastung der Vordergliedmaßen von 55%), Tiere im Alter von 6 Monaten aus POUGIN et al. (1983) (58)
- Tab. 9: Sohlenflächen, berechnet aus der Flächenbelastung (Belastung der Vordergliedmaßen von 55%), Tiere im Alter von 9 Monaten aus POUGIN et al. (1983) (58)
- Tab. 10: Mittelwerte (x) und Standardabweichung (s) der von HUBER (1983) erhobenen Klauenmaße (32)
- Tab. 11: Messwerte der Winkel (in °) bei NÜSSKE (2002) (52)
- Tab. 12: Geschlechts- und Altersverteilung in der Hauptuntersuchung „Tiere ohne Lahmheit“ und der Vergleichsgruppe „Tiere mit Lahmheit“
- Tab. 13: Verteilung der Erkrankungen bei eingeschläferten und behandelten Tieren getrennt für Hauptuntersuchung (Tiere ohne Lahmheit) und Vergleichsgruppe

- Tab. 14: Übersicht über die Aufstallungssysteme vor Einlieferung
- Tab. 15: Blatt 1 des Untersuchungsplanes, Teil 1: Beurteilung der Gliedmaßen- und Zehenstellung
- Tab. 16: Blatt 1 des Untersuchungsplans, Teil 2: Befunde an den Klauen
- Tab. 17: Messgenauigkeit der Parameter am Hornschuh, Voruntersuchung
- Tab. 18: Geschlechts- und Altersverteilung in der Hauptuntersuchung „Tiere ohne Lahmheit“ und der Vergleichsgruppe „Tiere mit Lahmheit“ für die Auswertung an den Röntgenaufnahmen beider Ebenen
- Tab. 19: Länge der Drahtmarkierungen bei den Aufnahmearten Standard, d.h. Zentralstrahl mit 90° auf Kronbein; Zentralstrahl verändert, d.h. mit 90° auf Fessel- oder Klauenbein und Winkel verändert, d.h. Zentralstrahl mit 80° bzw. 100° auf Kronbein
- Tab. 20: Messgenauigkeit am Röntgenbild als Signifikanz der einfachen Varianzanalyse
- Tab. 21: Übersicht über die Gliedmaßenstellung der 30 beurteilten Tiere ohne Lahmheit
- Tab. 22: Übersicht über die unphysiologischen Gliedmaßenstellungen der Tiere mit einer Gliedmaßenerkrankung (N = 13, w: weiblich; m: männlich)
- Tab. 23: Übersicht über die Messgenauigkeit der am Hornschuh gemessenen Parameter am Ende der Hauptuntersuchung
- Tab. 24: Parameter am Hornschuh (Längen in mm, Winkel in ° und Fläche in mm², N: Anzahl der Klauen)
- Tab. 25: Parameter am Hornschuh mit signifikantem Unterschied beim Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen (Längen in mm, Winkel in ° und Fläche in mm², N: Anzahl der Klauen)
- Tab. 26: Parameter am Hornschuh: Vergleich laterale und mediale Klaue; Parameter mit signifikantem Unterschied fettgedruckt (Längen in mm, Winkel in ° und Fläche in mm², N: Anzahl der Klauen)
- Tab. 27: Parameter am Hornschuh der Altersgruppen unter und über 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Klauen)

- Tab. 28: Parameter mit signifikantem Unterschied am Hornschuh im Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen; Altersgruppen unter und über 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Gliedmaßen)
- Tab. 29: Parameter mit signifikantem Unterschied am Hornschuh im Vergleich der lateralen und medialen Klaue bei der Altersgruppe unter 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Klauen)
- Tab. 30: Parameter mit signifikantem Unterschied am Hornschuh im Vergleich der lateralen und medialen Klaue bei der Altersgruppe über 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Klauen)
- Tab. 31: Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe an lateraler und medialer Klaue der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)
- Tab. 32: Verhältnis Dorsalwandlänge : Sohlenlänge an lateraler und medialer Klaue der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)
- Tab. 33: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten in mm (N: Anzahl der Zehen)
- Tab. 34: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten (in mm) mit signifikantem Unterschied beim Vergleich der lateralen mit der medialen Klaue an den Vorder- bzw. Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Zehen)
- Tab. 35: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten (in mm) der Altersgruppen unter und über 7 Wochen (N: Anzahl der Zehen)
- Tab. 36: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten (in mm) an den lateralen und medialen Zehen getrennt für Vorder- und Hintergliedmaßen bei den Altersgruppen unter und über 7 Wochen, Parameter mit signifikantem Unterschied fettgedruckt (N: Anzahl der Zehen)
- Tab. 37: Auftreten eines Höhenunterschiedes zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Bereich der Zehengelenke in % der Gesamtzahl der Gliedmaßen
- Tab. 38: Höhenunterschiede (in mm) zwischen den beiden Zehen im Gelenkbereich (N: Anzahl der Gliedmaßen)
- Tab. 39: Höhenunterschiede(in mm) zwischen den Zehenknochen im Gelenkbereich an den Vorder- und Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)

- Tab. 40: Entwicklung des Höhenunterschiedes (in mm) zwischen den Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich in beiden Altersgruppen getrennt für Vorder- und Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)
- Tab. 41: Dorsallänge, Sohlenlänge und Dorsalwinkel des Klauenbeines (Längen in mm und Winkel in °, N: Anzahl der Zehen)
- Tab. 42: Dorsallänge, Sohlenlänge und Dorsalwinkel des Klauenbeines im Vergleich des lateralen und medialen Klauenbeines an Vorder- und Hintergliedmaßen (Längen in mm und Winkel in °, N: Anzahl der Zehen)
- Tab. 44: Häufigkeit der Lahmheitsgrade in Bezug auf die betroffenen Gliedmaßen
- Tab. 45: Übersicht über die in verschiedenen Studien ermittelten Messgenauigkeiten im Vergleich zur eigenen Untersuchung (5, 32, 64)
- Tab. 46: Größe der Sohlenfläche bei Kälbern und Jungtieren, Vergleich der Angaben in der Literatur mit den eigenen Ergebnissen

1 Einleitung

In Untersuchungen über die Ursache von Klauenerkrankungen wird ein Größenunterschied zwischen der Außen- und Innenklaue, insbesondere an den Hintergliedmaßen beobachtet (23, 24, 30, 54, 68). Die Bedeutung dieses Unterschiedes für das bevorzugte Auftreten von Erkrankungen an der größeren und damit stärker belasteten Klaue ist unumstritten (14, 39, 69).

Dieser Größenunterschied wurde bereits bei Kalbinnen beobachtet und tritt mit zunehmendem Gewicht der Tiere deutlicher in Erscheinung (23, 24). Die Klauenentwicklung beim Rind ist erst im Alter von 2,5 Jahren abgeschlossen (16). BRENTANO et al. (1979) ermittelten bei 26 Wochen alten Tieren einen Unterschied in der Sohlenflächengröße der lateralen und medialen Klaue (7). In weiteren Untersuchungen an Kälbern erfolgte entweder nur eine Messung von Teilaspekten, wie der Sohlenfläche, oder es wurden nur wenige Tiere einbezogen (24). Demzufolge stellt sich die Frage, ob der Unterschied in den Größenverhältnissen der Klauen einer Gliedmaße bereits bei der Geburt besteht oder sich im Laufe der Entwicklung bei Kälbern ergibt. Und wenn ein Unterschied auftritt, ob er sich mit zunehmenden Alter verstärkt.

Zusätzlich ist die Ursache für diesen Unterschied noch ungeklärt. Die Betrachtung der Zehenknochen als hauptsächlich tragende Elemente scheint deshalb von ihrer Teilungsstelle in die beiden Zehen ab sinnvoll. Ein Längenunterschied an den Röhreinkondylen und/oder den Zehenknochen kann durchaus als Ursache für die stärkere Belastung einer Klaue in Betracht kommen (55).

Zu diesem Zweck sollen Messungen des Klauenschuhes und der Zehenknochen bei Kälbern durchgeführt werden. Dies dient darüber hinaus der Dokumentation physiologischer Konturen und des Wachstums bzw. der Veränderung des Klauenschuhes und der Zehenknochen im Verlauf der Entwicklung bei Jungrindern.

In dieser Studie sollten röntgenologische Betrachtungen der Zehenknochen in Zusammenhang mit Größmessungen an den Klauen von Kälbern ausgewertet werden.

2 Literatur

2.1 Anatomische Grundlagen der Rinderzehe

2.1.1 Knochen

2.1.1.1 Os metacarpale

Beim Rind sind das Os metacarpale III und IV größtenteils zum Hauptmittelfußknochen, dem Röhrbein, verschmolzen. Die ursprüngliche Trennung ist im zweigeteilten zehentragenden Caput noch zu erkennen. Der Hauptmittelfußknochen besitzt eine gewölbte Facies dorsalis und eine flache Facies palmaris mit einem Sulcus longitudinalis dorsalis bzw. palmaris. Am distalen Ende findet sich ein Gefäßkanal, der Canalis metacarpi distalis (21, 30, 49, 57). Die getrennte Anlage der beiden Metakarpalknochen zeigt sich ebenfalls in der Markhöhle, die durch eine unvollständige sagittale Scheidewand unterteilt ist (21, 30, 49). Diese bildet sich im Alter zurück und fehlt dann proximal oft. Der Knochen hat lateral und medial einen rauhen Rand (57). Die Gelenkflächen auf den beiden Zehengelenkwalzen sind durch einen Sagittal-kamm in einen schmalen, weiter distal reichenden axialen und einen breiteren abaxialen Anteil geteilt. Die Gelenkwalzen der beiden Hauptzehen trennt die Incisura intertrochlearis (49). Der Teil des Knochens, der vom Os metacarpale III gebildet wird, ist v.a. proximal breiter. Das Röhrbein zeigt eine geringgradige Drehung um die Längsachse in Form einer Pronation. Die mediale Gelenkrolle ist breiter. Das Os metacarpale IV ist geringgradig länger (57).

2.1.1.2 Os metatarsale

Entsprechend der Vordergliedmaße sind auch an der Hintergliedmaße der dritte und vierte Strahl, Os metatarsale III und IV, zum Hauptmittelfußknochen verschmolzen. An der Becken-gliedmaße weist das Röhrbein einen mehr quadratischen Querschnitt auf, wohingegen er an der Schultergliedmaße queroval ist. Die proximale Furche als Grenze der beiden miteinander verschmolzenen Knochen lässt einen ein wenig größeren medialen Teil erkennen. Der Unterschied ist weniger stark ausgeprägt als an den Metakarpalknochen. Das Os metatarsale III+IV ist länger als das Os metacarpale III+IV. Das Verhältnis beträgt etwa acht zu sieben. Er ist zudem schlanker und schmaler. Das Os metatarsale III ist wenig breiter und tiefer, v. a.

proximal, als das Os metatarsale IV (57). Die Ausformung des Knochens entspricht prinzipiell der an der Schultergliedmaße. Das Distalende besitzt auch hier wieder zwei getrennte Gelenkwalzen mit je einem die Gelenkfläche teilenden Sagittalkamm (49). Auch am Metatarsus ist der Knochen der vierten Zehe wenig länger als das Os metatarsale III (57).

2.1.1.3 Ossa digitorum manus bzw. pedis

Das Rind besitzt zwei Hauptzehen, den dritten und vierten Strahl, die vollständig dreigliedrig ausgebildet sind. Der zweite und fünfte Strahl sind zu zwei Afterzehen zurückgebildet worden. Sie sind ein- oder zweigliedrig ausgebildet (21, 30, 49, 57). Die Phalangen sind unilateral symmetrisch. Zudem entsprechen die Phalangen der Beckengliedmaße im wesentlichen denen der Schultergliedmaße, jedoch sind die Phalanx proximalis und media der Beckengliedmaße etwas kürzer (49). Aufgrund dieses annähernd identischen Aufbaus werden die Zehenknochen der Schulter- und Beckengliedmaße im Folgenden gemeinsam besprochen. Das Klauenbein, der distale Anteil des Kronbeins und das Klauensesambein bilden die knöchernen zentralen Stützgebilde der Klaue (48).

2.1.1.3.1 Fesselbein

Das Fesselbein, Os compedale oder Phalanx proximalis, ist ein Knochen von zylindrischer Form. Er hat eine flache Palmar- bzw. Plantarfläche und zwei mehr dorsal gelegene Seitenflächen, die durch einen abgerundeten breiten Dorsalrand getrennt sind (21, 30, 49). ELLENBERGER und BAUM (1943) beschreiben den proximalen Teil als kräftiger ausgebildet, den Knochen nach distal schmaler werdend (21).

Die proximal gelegene Gelenkfläche, Fovea articularis, wird durch eine Sagittalrinne (30, 49) in zwei Flächen geteilt. Die schmalere axiale Fläche reicht weiter distal. Palmar bzw. plantar befindet sich eine Gelenkfläche für die Sesambeine. Die Gelenkvertiefung ist nach HABACHER (1948) zum Zehenspalt hin geneigt (30). In der Knochenmitte ist jederseits an der Palmarfläche ein kleiner Höcker für das Halteband der Beugesehnen ausgebildet (30). NICKEL et al. (1992) beschreiben proximale Bandhöcker im palmaren bzw. plantaren

Bereich und distale Bandhöcker bzw. Gruben beiderseits an der Gelenkwalze (49). Die distal gelegene Gelenkwalze hat die Form eines schrägstehenden Sattels. Die Querachse des unteren Endes ist folglich gegen den Zehenspalt geneigt (30). Die Gelenkfläche ist wie am Röhrbein geteilt. Wiederum reicht die kleinere axiale weiter nach distal als die abaxiale (21, 49).

2.1.1.3.2 Kronbein

Das Kronbein, *Os coronale* oder *Phalanx media*, ist ähnlich dem Fesselbein ausgebildet, aber kürzer. ELLENBERGER und BAUM (1943) beschreiben seine Form ähnlich einem Würfel (21). Durch den schmalen Dorsalrand erhält es eine annähernd dreiseitige Form (30, 49). Die zweigeteilte Gelenkfläche, *Fovea articularis*, bildet das Gegenstück zum distalen Fesselbeinende. Der Sagittalkamm bildet palmar bzw. plantar einen freien Fortsatz. Die dorsale Berandung ist zum Kronbeinfortsatz, *Processus extensorius*, ausgezogen (30, 49). Dieser überragt lehnenartig die Gelenkvertiefung und bildet so die Stütze für das Fesselbein (21). Die palmare Berandung ist zur Kronbeinlehne, *Tuberositas flexoria*, verdickt (49). Nach HABACHER (1948) zerfällt der hintere Rand durch einen breiten Ausschnitt in zwei ungleiche stumpfe Höcker (30). Seitlich der *Tuberositas flexoria* gelegen sind die proximalen Bandhöcker, von denen der abaxiale stärker ausgeprägt ist (49). Distal befindet sich die sattelförmige Walze mit einer schmaleren axialen und einer breiteren abaxialen Fläche. Die Gelenkfläche reicht palmar und dorsal, nach HABACHER (1948) nur dorsal (30), weit nach proximal. Das dorsale Ende der Gelenkfläche hat an der Schultergliedmaße eine spitze, an der Beckengliedmaße eine ovale Form. An der Gelenkwalze sind auch beim Kronbein die distalen Bandhöcker zu erkennen (49).

2.1.1.3.3 Klauenbein

Das Klauenbein, *Os ungulare* oder *Phalanx distalis*, hat die Form des Klauenschuhs. Es bildet eine liegende dreiseitige Pyramide (30). Die Seiten werden als Wand- und Sohlenfläche bezeichnet, die Basis bildet die Gelenkfläche. Der Sohlenrand, *Margo solearis*, trennt die beiden Wandflächen und die Sohlenfläche. Der Kronrand, *Margo coronalis*, der die Wandflächen von

der Gelenkfläche trennt, ist axiodorsal zum Streckfortsatz, Processus extensorius, nach proximal ausgezogen (30, 49). Die Wandflächen, Facies parietales, besitzen jederseits eine Wandrinne, den Sulcus parietalis. Sie verläuft an der Außenfläche, Facies abaxialis, nahe dem äußerem Sohlenrand (30) und endet kaudal im Wandloch, Foramen abaxiale (30, 49). Die Facies abaxialis ist gewölbt und die Facies axialis, Klauenspaltfläche, schwach ausgehöhlt (21, 30, 49). Proximodorsal an der Facies axialis ist das Klauenspaltloch, Foramen axiale, gelegen. Die Wandfläche weist noch zahlreiche weitere Gefäßlöcher auf. Die Facies abaxialis und axialis treffen am breit abgerundeten Dorsalrand, Margo dorsalis, zusammen (30, 49). Nach ELLENBERGER und BAUM (1943) verläuft der Dorsalrand vom Streckfortsatz zur Klauenbeinspitze (21). Die Sohlenfläche, Facies solearis, fällt mit ihrem Planum cutaneum von der Zehennachse aus dachartig nach außen ab (30, 49). ELLENBERGER und BAUM (1943) beschreiben die Sohle als annähernd dreieckig und zur Klauenspalte hin leicht ausgehöhlt (21). BACH (1950) dagegen beschreibt die Sohlenfläche des Klauenbeines als fast halbmondförmig, da seiner Ansicht nach die Klauenbeine, v. a. an der Vordergliedmaße mit ihrer Spitze mehr oder weniger klauenspaltwärts zeigen (3). Ihr verdicktes palmares Ende, das Tuberculum flexorium (30, 49), trennt die Sohlenfläche von der Gelenkfläche (30). Das Tuberculum flexorium ist an den Hintergliedmaßen lateral meist stärker ausgebildet als medial. Dies führt der Autor auf eine vermehrte Belastung zurück (67). HABACHER (1948) bezeichnet den die Gelenkfläche von der Sohle trennenden Rand auch als Strahlbeinrand. Die Mitte der Sohlenfläche ist leicht ausgehöhlt. Die Sohlenfläche stützt das Klauenbein nur in der vorderen und hinteren Partie (30). Die Facies articularis ist zur Aufnahme der Kronbeinwalze entsprechend geformt. Palmar bzw. plantar ist die schmale Facies articularis sesamoidea gelegen (30, 49). Die Gelenkfläche ist durch einen Sagittalkamm in zwei Flächen geteilt. Dieser Kamm ist nach vorne zum Streckfortsatz ausgezogen (21, 30). Der Fortsatz wird mit zunehmenden Alter breiter und knolliger (67).

2.1.1.4 Ossa sesamoidea

Am Fesselgelenk befinden sich jeweils zwei kleine, rundliche, an ihrer palmaren bzw. plantaren Fläche mehr dreiseitige Ossa sesamoidea proximalia (21, 30, 49). Ihre Basis ist über die Sesambeinbänder mit der Phalanx proximalis verbunden, ihre glatte Dorsalfläche vervoll-

ständig die Fesselgelenkgrube (21, 49). Die abaxialen Sesambeine besitzen eine Rinne an der Außenfläche (49) .

Das Os sesamoideum distale jeder Hauptzehe wird unterschiedlich beschrieben. Bei NICKEL et al. (1992) wird es als platt und oval bezeichnet (49). Die konkave Gelenkfläche besitzt einen hohen, die konvexe Palmarfläche einen niedrigen Sagittalkamm. ELLENBERGER und BAUM (1943) beschreiben es als länglich, weberschiffähnlich, HABACHER (1948) als kurz, breit, mit ungleich abgerundeten Enden (21, 30). Der letztgenannte Autor findet die Teilung der Flächen nur bei der vorderen Gelenkfläche und bezeichnet die hintere als Gleitfläche. Die Sesambeine sind ihrer Funktion nach Bestandteile der Gelenkkapsel. Sie vergrößern die Gelenkfläche und fungieren als Umlenkrolle für die Beugesehnen (50).

2.1.1.5 Afterzehen

Die knöcherne Grundlage der Afterzehen ist beim Rind meist zweigliedrig, manchmal ist auch nur die Endphalange vorhanden. Die Mittelphalange ist unvollständig ausgebildet. Die Endphalange liegt geformt wie eine dreiseitige Pyramide im Afterklauenschuh (21, 49).

2.1.2 Aufbau des Zehenendorganes allgemein

An der Klaue des Rindes findet sich im Prinzip der mehrschichtige Aufbau der Haut wieder. Hier bildet die Klauenoberhaut, Epidermis ungulae, zusammen mit der Klauenlederhaut, dem Corium ungulae, die Klauenhaut. Die Epidermis ungulae stellt die Klaue im engeren Sinn dar. Die Subkutis ist in den verschiedenen Bereichen der Klaue in unterschiedlichem Maße ausgeprägt (48). Zur Darstellung der Verhältnisse an der Klaue wird eine Gliederung nach Segmenten vorgenommen. Im dorsalen und lateralen Bereich befindet sich das Saumsegment als direkt an die Haut grenzendes Segment. Distal davon liegt vorne und seitlich das Kronsegment. Weiter nach distal an das Kronsegment angrenzend liegt das Wandsegment. Palmar bzw. plantar schließt das Ballensegment an, welches an die Haut grenzt und mit dem Saum in Verbindung steht. Die Bodenfläche wird als Sohlensegment bezeichnet (26, 48).

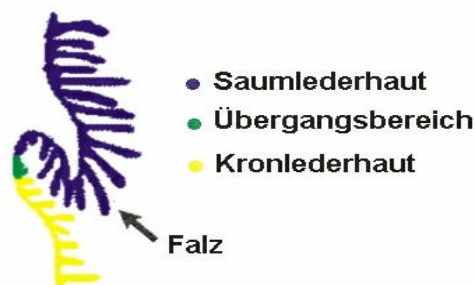
2.1.2.1 Epidermis, Korium und Subkutis

Die Epidermis besteht aus mehrschichtigem, stark verhornenden Plattenepithel. Sie bildet die sogenannte Matrize, den verhornten Klauenschuh mit den oben beschriebenen fünf Segmenten (26, 48) als Schutzhülle des Zehenendes. Saum-, Kron-, und Wandhorn schieben sich übereinander und bilden die Klauenplatte (48). Das Horn wird nach seiner Produktionsstätte bezeichnet, nicht nach seiner Lage (26). Die Epidermis formt dorsal eine abgerundete Kante, den Zehenteil. Bei der Außenwand und der Interdigitalwand wird der vordere Abschnitt als Seitenteil, der ballenwärts gelegene als Trachtenteil bezeichnet. Der distale Abschnitt der Epidermis des Zehenteils ist v. a. an den medialen Klauen zum Klauenspalt hin eingebogen, was eine Unterscheidung in die rechte bzw. linke Gliedmaße ermöglichen kann (48). HABACHER (1948) beschreibt eine Biegung der äußeren Wand nach innen (30). BRUHNKE (1928) beschreibt den Verlauf sowohl der Horn- als auch der Klauenbeinwand als in dorsoplantarer und proximodistaler Richtung konvex gebogen. Seiner Ansicht nach findet eine Drehung um den mehr abgerundeten Rand des Klauenbeines ungefähr bis zur Stelle der stärksten Konvexität statt. Er folgert daraus, dass eine höhere Lastaufnahme auf der medialen Ballenpartie stattfindet, die in den besonders stark und derb ausgeprägten Faserbündeln der medioplantaren Lederhautsohle ihren Ausdruck findet (8). Außen ist die gesamte Wand deutlich konvex, die interdigitale Wand dagegen ist geringgradig konkav (30). Die Oberfläche des Koriums ist an den einzelnen Segmenten der Klaue unterschiedlich strukturiert. Die Subkutis, Unterhaut oder *Tela subcutanea ungulae*, überzieht die zentralen Stützteile und ist an den Segmenten unterschiedlich stark entwickelt.

2.1.2.1.1 Saumsegment

Das Saumhorn beschränkt sich auf das proximale Viertel (48), bzw. die proximale Hälfte (26) der Klauenwand. Laut HABACHER 1948 bedeckt es als Glasurschicht die gesamte Wand (30). Es ist distal unregelmäßig begrenzt und hat durch in proximodistal verlaufende Längsfurchen eine streifige Außenfläche (26, 48). Die Glasurschicht ist wenige Millimeter dick. Sie hat eine weiche, helle und unregelmäßige Oberfläche (48).

Die Saumlederhaut stellt abaxial den Übergang von behaarter Haut zu Klauenlederhaut dar. Axial grenzt sie an das Zwischenklauensegment (26, 30, 48). Die Saumlederhaut bildet den Saumwulst und setzt sich durch eine seichte Rinne außen und am Ballen gegen das Korium der Haut ab. Sie ist zum Teil mehrere Millimeter (5-7 mm) breit. Die Zehe wird proximal von ihr wie von einem Ring umgeben. Sie geht palmar bzw. plantar unter Verbreiterung in die Ballenlederhaut über (3, 30, 48). Sie ist häufig mit dem Ballenteil der anderen Zehe verbunden. Diese Verbindung nimmt sie über die Zwischenklauenhaut auf (3, 30). Die Saumlederhaut ist axial schmaler. Sie wird durch den Kronfalz von der Kronlederhaut getrennt (3, 26, 30, 48). Durch die Ausbildung des Falzes ergibt sich insbesondere abaxial



eine gut zu definierende Grenze. Die Saumlederhaut reicht durch die Bildung einer Falte, des Falzes, über das Kronsegment nach distal. Dort biegt sie im spitzen Winkel nach proximal um und verbindet sich mit der Kronlederhaut (Abb. 1). Der Falz ist v. a. abaxial gut entwickelt.

Abb.1: Kronfalz am Übergang der Saumlederhaut in die Kronlederhaut (eigene Schemazeichnung)

Am Dorsalteil der Klaue ist er weniger deutlich ausgebildet, im dorsalen Bereich der Axialfläche wieder deutlicher. Er tritt nach palmar bzw. plantar meist bis zum Saum-Ballenübergang auf, selten reicht er nur bis zum mittleren Drittel. Er verschwindet durch das Strecken der Umschlagstelle. Die Verbreiterung des Saumsegmentes und die stärkere Wulstbildung erlauben im Ballenbereich eine ungefähre Abgrenzung (26). Die Saumlederhaut bildet zahlreiche feine Papillen (21, 26, 30, 48).

Die Unterhaut ist im Saumbereich des Zwischenklauenbereiches nur schwach ausgebildet. Dorsal an der Außenfläche der Klaue bildet sie das Saumpolster, das sich nach palmar bzw. plantar verbreitert und in das Ballenpolster übergeht. Nach distal schließt es direkt an das Kronkissen an (26, 48).

2.1.2.1.2 Kronsegment

Das Kronsegment liegt zwischen dem Saumsegment, dem Wandsegment und dem Ballensegment. Die Kronoberhaut bildet die Haupt- bzw. Schutzschicht der Klaue aus sehr widerstandsfähigem, festen Kronhorn. Sie wird im Trachtenbereich vom Ballenhorn wulstartig überdeckt (26, 48). Diese Überlagerung beschränkt sich auf den proximalen Teil (26). Nach NICKEL et al. (1984) bildet sie an der Zwischenklauenfläche distopalmar einen freien Rand, der sich über das Ballenhorn legt (48). Die Oberfläche weist unterschiedlich deutliche Rillen auf, die in distopalmarer bzw. -plantarer Richtung divergieren. An der Interdigitalfläche ist das Horn zerklüftet. Die Innenfläche formt im Anlagerungsbereich des Kronwulstes eine flache, breite Kronmulde, die distal von den Blättchen des Wandhorns bedeckt ist. Das Kronhorn unterscheidet sich in seiner Gestalt deutlich vom Ballenhorn. Die Ballen-Kronhorn-Grenze stellt jedoch nicht die eigentliche Segmentgrenze dar. Das Kronsegment reicht bis zum palmaren bzw. plantaren Ende des Saum- und Wandsegmentes. Am Seitenteil erfährt es seine größte Ausdehnung, am Übergang zum Ballen seine geringste. Axial ist das Kronsegment wesentlich kleiner (26).

Die Kronlederhaut ist breit (3, 30, 48), durchschnittlich 25 mm (30). Sie verjüngt sich zum Ballen hin (30, 48) und schlägt nicht auf die Sohlenfläche um (21). Die Kronlederhaut bildet ebenfalls Zotten aus. Die Zotten sind nach distal ausgerichtet, weshalb das Horn nach distal geschoben wird. Neues Horn wird an der Innenfläche kontinuierlich zugeschoben, so dass es im Bereich des Kronsegmentes zu einer stetigen Dickenzunahme kommt. Das Horn wird anschließend über das Wandsegment hinweg bis zum Tragrand geschoben. Dabei erfährt es abaxial keine weitere Zunahme seiner Stärke, axial nimmt die Dicke des Hornes durch die Ablösung von Hornschuppen leicht ab (26).

Das Kronkissen wird von der Tela subcutanea coronae geformt. Es nimmt nach palmar bzw. plantar an Breite und Dicke ab (26, 48).

2.1.2.1.3 Wandsegment

Das Wandsegment erfährt an der Krümmung der Dorsalseite seine stärkste Ausdehnung, ist jedoch meist weniger breit als das Kronhorn. Nach abaxial und v. a. nach axial hin wird es

schmäler. Das axiale Wandsegment hat eine dreieckige Form (26). Das Wandhorn bildet eine innige Verbindung mit den Lederhautblättchen. In den distalen zwei Dritteln des Wandsegmentes wird über den freien Rändern der Lederhautblättchen das Kappenhorn produziert und als Füllmaterial zwischen die Epidermisblättchen eingeschoben. Dieses nimmt nach distal an Masse zu (48). Am Tragrand bildet die verhornte Wandepidermis die weiße Linie, Zona alba. Sie liegt dort zwischen Kronhorn und Sohlenhorn. Gebildet wird die weiße Linie aus Blättchen-, Terminallagen- und Kappenhorn (26). Die innere Wand reicht ungefähr bis zur Gegend der größten Breite der Klaue und stützt sich mit ihrer vorderen Fläche auf den Boden (30).

Die Wandlederhaut stellt den Überzug der unteren Teile der inneren und äußeren Wand dar. Sie bildet parallele Blättchen ohne Nebenblättchen aus (3, 21, 30, 48). Die Blättchen beginnen mit geringer Höhe am distalen Rand der Kronlederhaut, ziehen leicht gebogen nach unten und vorne (30) und verlaufen nach einem kurzen Bogen gegen den Sohlenrand und schlagen sich als niedere Leisten auf die Sohlenlederhaut um, wo ihren freien Rändern Zotten aufsitzen (30, 48). Sie erfahren ihre größte Ausdehnung noch oberhalb ihrer halben Länge (48). Sie nehmen gegen den Ballen an Länge ab, axial früher und stärker. Häufig findet sich im Ballenbereich eine Fortsetzung der äußeren Blättchenschicht auf die Bodenfläche, was zu einer eckstrebenähnlichen Gestalt führt (30). Auch FÜRST (1992) beschreibt dies als ein Umbiegen des palmar bzw. plantar gelegenen abaxialen Wandsegmentes in stumpfem Winkel nach axial, wo es spitz ausläuft. Sein distales Ende findet das Wandsegment durch Umbiegen des fast vertikal verlaufenden Koriums in das horizontale Sohlensegment (26).

An Wand- und Sohlensegment stellt die Subkutis einen Teil des Periosts der Endphalange dar und schafft damit eine starke Verbindung mit der Lederhaut, v. a. an der Klauenbeinspitze. Im Wandsegment ist sie wenig entwickelt (26, 48). Reste finden sich lediglich im proximalen Bereich, ansonsten ist die Unterhaut nicht vorhanden (26).

2.1.2.1.4 Sohlen- und Ballensegment

Die Hornsohle wird einerseits vom Sohlenhorn, andererseits von hartem Ballenhorn gebildet. Die Bezeichnung des Bereiches des festen Ballenhorns einschließlich des Sohlenhorns als Hornsohle ist morphologisch nicht korrekt, klinisch aber gebräuchlich. Die morphologische Trennung der beiden Segmente im Sohlenbereich erfolgt aufgrund der Ausbildung des Polsters zwischen Lederhaut und Klauenbein. Der Bereich, in welchem noch ein Polster

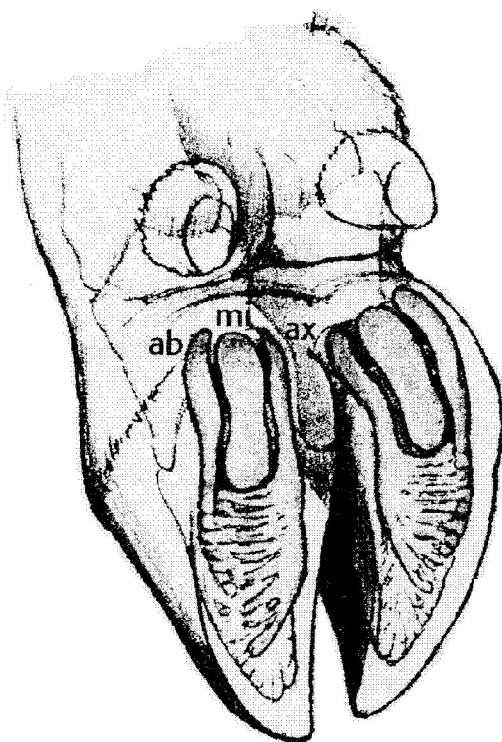
ausgebildet ist, wird dem Ballensegment zugerechnet (EBER 1895, zitiert nach (26)). Diese Auffassung findet man bei mehreren Autoren (30, 48, 61, 73, 75). Das Rind wird deshalb zu den Langballern gerechnet. Eine andere Ansicht vertritt HOHMANN (1901). Er definiert den Ballen nach seiner Hornstruktur und der äußeren Ausbildung. Der Ballen produziert saumhornähnliches weiches Horn. Diese Meinung fand durch eine Beschreibung von RUSTERHOLZ (1920) Eingang in die klinischen und anatomischen Bücher. Dieser Autor beschreibt das typische Sohlengeschwür an der Stelle, in der die Sohle an den Ballen grenzt (61). Das Sohlenhorn stellt anatomisch jedoch nur einen geringen Teil der Hornsohle. Es bildet zwei schmale Schenkel entlang der Zona alba. Den größten Teil der Hornsohle bildet das Ballenhorn. Es reicht an den Seiten und v. a. an der Fußungsfläche der Klauen weit spitzwärts (26, 48). Eine Abgrenzung der beiden Anteile der Hornsohle ist am äußeren Hornschuh nicht möglich.

Das Sohlenhorn bildet eine konvexe Außen- und eine konkave Innenfläche. Der Sohlenteil des Ballenhornes ist plan. Die oberflächlichen Schichten des Sohlen- bzw. Ballenhornes werden in großen Schuppen abgestoßen. Palmar bzw. plantar bildet der Ballen einen abgerundeten Wulst als Ende der Klaue (48). Das zwischen den Anteilen des über dem Sohlensegment gebildeten Horn gelegene Ballenhorn ist von der Konsistenz dem dort gebildeten Sohlenhorn ähnlich (26). Im kaudalen Teil der Fußungsfläche wird es zum Übergang in den Ballenwulst hin weicher (48). Im Bereich des palmaren bzw. plantaren Wulstes des Ballens ist das Horn uneinheitlich. Die Epidermis proximopalmar bzw. - plantar produziert saumhornähnliches, weiches Horn. Das proximal gelegene Horn wird über distal gelegenes geschoben, so ergibt sich eine unterschiedliche Ausdehnung (26). Proximopalmar bzw. - plantar geht das Ballenhorn direkt in das Saumhorn über. Es besteht aus Röhren- und Zwischenröhrenhorn.

Die Lederhaut des Sohlen- und des Ballensegmentes entspricht in ihrer Lage und Ausbildung den Verhältnissen am Hornschuh. Der Übergang von Sohlenlederhaut zur Ballenlederhaut erfolgt übergangslos (21). An der sehr schmalen Sohlenlederhaut ist an der Klauenspitze ist eine fingerkuppengroße Konkavität zu beobachten (26, 48). Am Sohlensegment finden sich Zotten, die reihenförmig radiär angeordnet sind. Sie sind an ihrer Basis verschmolzen und erhalten so blättchenartiges Aussehen. Das Ballensegment besitzt ebenfalls Zotten. Diese haben eine unregelmäßige Form und Ausbildung (26).

Die Tela subcutanea solea ist dünn und liegt dem Klauenbein direkt an (26, 48). Am stärksten ausgeprägt ist die Subkutis am Ballen als sogenanntes Ballenpolster (26, 30, 48). Die Tela

subcutanea tori nimmt palmar bzw. plantar die gesamte Breite ein und ist bis zu 15 mm dick. Sie flacht klauenspitzenwärts ab und geht allmählich in die Tela subcutanea solea über (26, 48). Sie ist proximal durch ein Fettpolster unterlagert (48). DIETZ und HEYDEN (1990) beobachteten einen besonders ausgeprägten, in die Lederhaut der Sohlenfläche eingebetteten Fettkörper. Sie bezeichnen ihn als Sohlenfettrolle. Dieses bleistiftstarke, von kräftigen Bindegewebsfasern umschlossene Gebilde verläuft im apikalen Bereich der Prädilektionsstelle für das Rusterholzsche Sohlengeschwür quer über die Sohle und zieht mit seinen Enden beidseits der Klaue nach proximal in den Ballen (13). Eine andere Darstellung findet sich bei LISCHER (2000). Das Ballenpolster wird im Wesentlichen von drei Fettkörpern gebildet, eine axialen, einem mittleren und einem abaxialen (Abb.2).



ax	axialer
ab	abaxialer
mi	mittlerer Ballenfettkörper

Abb.2: Schematische Darstellung des Ballenpolsters an der Rinderklaue nach LISCHER (2000) (38)

Diese Fettkörper werden von Bindegewebe umhüllt und sind vor allem apikal von Bindegewebsfasern durchzogen. Dadurch werden mit Fett gefüllte Polsterkammern gebildet.

Im proximalen Bereich des Ballensegments verlaufen die drei Fettkörper parallel zur tiefen Beugesehne bis zur plantaren Kante des Klauenbeines. Unter der Sohlenfläche läuft der axiale als längliche Rolle axial am Tuberculum flexorium vorbei und dann fächerförmig als dickes Kissen zum abaxialen Klauenbeinrand. Zur Spitze der Klaue hin wird er zunehmend dünner. Er endet meist zwei bis drei Zentimeter plantar der Klauenbeinspitze. Der abaxiale endet apikal der plantaren Klauenbeinkante, nimmt jedoch teilweise Verbindung mit dem axialen auf. Der mittlere besitzt eine dicke Kapsel, die nach apikal die Klauenbeinkante wenig überragt. Er unterlagert das Tuberculum flexorium und den Ansatz der tiefen Beugesehne nur noch knapp. Da er an der plantaren Fläche des Klauenbeines verankert ist und sich allseits fest mit der Beugesehne verbindet, ist er apikal nur undeutlich begrenzt (38).

2.1.2.1.5 Zwischenklauensegment

Das Zwischenklauensegment wird von stark verhornter, unbehaarter Haut gebildet. Das Horn dieses Segmentes ist dem Saum und dem weichen Ballen ähnlich. Es ist also schwierig, es von diesen beiden Segmenten abzugrenzen. Ein kleiner Teil verhält sich wie die behaarte Hautepidermis. Die seitliche Ausdehnung der Lederhaut des Zwischenklauensegmentes ist konstant. Die Lederhautzotten bilden eine wenige Millimeter dicke lockere Hornschicht. Im Zwischenklauensegment findet sich eine gut ausgebildete Subkutis (26).

2.1.3 Aufbau des Zehenendorganes beim Kalb

Im Folgenden soll speziell auf von adulten Tieren abweichende anatomische Besonderheiten am Hornschuh bzw. den Zehenknochen bei Kälbern eingegangen werden.

2.1.3.1 Klauenbein

Die Grundform des Klauenbeines bei Kälbern ist gleichseitig dreieckig (60). Bei den Neugeborenen verläuft der dorsale Rand der Klauenbeine konkav. Die Sohlenfläche des Klauen-

beines bei Kälbern ist flach (56). Der abaxiale und der axiale Sohlenrand laufen bei den Kälbern gleichmäßig gebogen vorn in der Spitze zusammen. Die axiale Länge wächst langsamer als die abaxiale. Folglich ist die Spitze nach axial eingezogen und der abaxiale Rand stärker gekrümmt als der axial geradlinig verlaufende (60). Die Wand des Klauenbeines ist an der abaxialen Hälfte nach proximoaxial geneigt. An der axialen Seite ist das Klauenbein flach und die Wand verläuft senkrecht. Es weist bei Neugeborenen eine Gefäßrinne auf (56). RANFT (1936) beschreibt dagegen, ebenso wie abaxial, eine Neigung der axialen Wand (60). Abweichend von den älteren Tieren wird bei Kälbern das Tuberculum flexorium als Tuberositas flexoria bezeichnet. Bei den jungen Tieren ist der Processus extensorius ein pyramidenförmiger, meist dreiteiliger Höcker mit einer abgerundeten Fläche. Die Gelenkfläche wird von ihm nicht überragt. Der Processus extensorius und die Tuberositas flexoria nehmen mit dem Alter an Größe zu. Innerhalb einer Altersklasse besteht aber ein einheitliches Bild. Der Processus extensorius ist an allen acht Klauen gleich stark entwickelt (67). RANFT (1936) konnte bei Kälbern noch keine Verdickung der Insertion der Beugesehne beobachten (60).

2.1.3.2 Hornschuh der Klauenwand und der Klauensohle

Die Sohlenfläche bei den Neugeborenen zeigt einen weichelastischen, stark wasserhaltigen kegelförmigen Hornfortsatz, das Eponychium (Abb. 33 in Kap. 4.2.2.3) (48, 65). Dieses ist 10-20 mm lang (48). Der Sohlenfortsatz ist bei gesunden Kälbern nach 4 Tagen so weit eingetrocknet und abgetreten, dass ein Nachweis grobsinnlich nicht möglich ist (65). NICKEL et al. (1984) beschreiben ein Abstoßen des bald nach der Geburt eingetrockneten Eponychiums nach 3-5 Stunden, spätestens nach einem Tag (48). Die Sohlenfläche wird bei PENTEA (1998) ebenfalls als elastisch beschrieben (56). Der Übergang von der Sohle zum Ballen ist deutlich sichtbar. Die weiße Linie verstreicht in Höhe des Überganges der Sohle in den Ballen und bildet so einen relativ konstanten Endpunkt aus (63). An der Klauenwand findet sich ein Hautüberzug, der aber bei den Neugeborenen bereits verloren sein kann. Dieser Überzug reicht als dünnes hautartiges Gebilde von der Krone aus teilweise über die Wand (65). PENTEA und GANTA (1998) beobachteten ebenfalls, dass das Horn mit einem bei Neugeborenen durchsichtigen und weichem Saumhorn bedeckt ist. Bei den zwei Monate alten Tieren ist diese Schicht weniger durchsichtig und besitzt ein streifiges Aussehen (56). Das intrauterin gebildete Wandhorn ist glatt und eben. SCHULTZE (1909) beschreibt eine mehr

oder weniger stark ausgebildete Ringbildung. Er führt diese auf das nach der Geburt gebildete Horn zurück. Besonders der erste, parallel zum Kronsaum verlaufende ist gut abgesetzt. Die Entstehung dieser Einziehung am Hornschuh erklärt er durch das Austrocknen des ursprünglich weichen Hornes nach der Geburt am Saum. Eine erste Andeutung des bogenförmig verlaufenden Ringes ist mit 5 Tagen zu erkennen. Anhand dieser Struktur ist eine Altersschätzung möglich. Die Entfernung des Ringes vom Kronrand entspricht in ihrer Länge dem nach der Geburt gebildeten Horn. SCHULTZE (1909) beschreibt darüber hinaus eine physiologische Ringbildung durch nutritive Vorgänge, z.B. Rückgang des Nährzustandes oder Futterwechsel analog den Trächtigkeits- oder Weideringen am Klauenschuh (65). Eine ähnliche Beobachtung macht GREENOUGH (1990), der bei Bullenkälbern parallel zum Kronsaum verlaufende Hornrillen auf der äußeren Fläche der Klauenwand bemerkte. Bei einigen Tieren war ein Unterschied zwischen der Hornqualität distal und proximal der Rille zu finden. Da dieser Qualitätsunterschied nicht bei allen Tieren in der gleichen Ausprägung auftrat, gelangte er zu der Annahme, dass einige Kälber mehr, andere weniger durch die intensive Fütterung beeinflusst worden waren. Der Abstand zum Kronsaum ließ vermuten, dass die Bildung der Rille evtl. von einem schädigendem Einfluss herrührte, der während der Zeit der Futterumstellung auf hohe Energie stattfand. Er führte das Auftreten dieser Struktur auf eine Unterbrechung der Hornproduktion bei diesen Rindern zurück (28).

2.2 Literaturübersicht: Messungen am Klauenschuh

2.2.1 Messparameter und Methoden

Die am häufigsten verwendeten Messparameter, mit denen die Form und Größe der Rinderklaue beschrieben wurden, stellten der Dorsalwandwinkel - auch als Zehen- oder Klauenwinkel bezeichnet - die Dorsalwand- oder „Zehenlänge“, die Ballenhöhe sowie ergänzend dazu die Trachtenwandlänge und die Belastungs-, Sohlen- oder Fußungsfläche mit Messung der Sohlenlänge und Sohlenbreite dar.

2.2.1.1 Dorsalwandwinkel

Der Dorsalwandwinkel beschrieb die Neigung der Dorsalwand der Klaue mit Berücksichtigung der Bodenoberfläche (71) bzw. der Sohlenfläche der Klaue. Der Winkel wurde zum einen an der belasteten Gliedmaße beim stehenden Tier, zum anderen an der unbelasteten Klaue gemessen. Bei Untersuchungen am stehenden Tier wurde der Klauenwinkel unter Einbeziehung der Standfläche angegeben. HUBER (1983) bestimmte den Klauenvorderwandwinkel am stehenden Tier mittels eines zweischenkligen Winkelmessers. Der Winkel, den die Klauenvorderkante mit dem Boden einschloss, ergab sich aus der Formel: $180^\circ - \text{gemessener Winkel}$. Bei dieser Meßmethode lag ein Schenkel am Boden, der zweite, frei bewegliche Schenkel wurde über Federdruck an die Klauenvorderkante angelegt. Dabei war die Länge des freien Schenkels variabel, sein Ende reichte bei der Messung bis zum Kronsaum. Die Messung erfolgte nach Reinigung der Vorderkante (32). Wurde die Messung an der angehobenen und fixierten Gliedmaße durchgeführt, wurde die Lage des Winkels direkt an der Klaue beschrieben. Unterschiede in der Beschreibung ergaben sich auch aus der Namensgebung der Klauenbestandteile. Bei der Messung des zwischen der Bodenfläche und der Dorsalwand der Klaue gelegenen Winkels berücksichtigten AHLSTRÖM et al. (1986) den Verlauf der Klauenvorderkante. Wich dieser von einer Gerade ab, erfolgte die Messung an den proximalsten 10 Millimetern des verwendeten Stahlwinkelmessers (1). LEUENBERGER et al. (1978) maßen den Winkel zwischen Sohlenfläche und kranialer Zehenwand mit einer Figurenlehre. Nach der Messung an der Zehe wurde der ermittelte Winkel auf Papier nachgezogen. In dieser Untersuchung wurde eine durch die Klauenpflege eintretende Änderung der Winkelgröße mit berücksichtigt. Den neuen, durch die Klauenpflege entstandene Winkelwert, ermittelten sie durch Konstruktion (Abb. 3). Dies erschien den Autoren notwendig, da durch das senkrechte Kürzen der Klauenspitze eine wesentliche Winkelveränderung eintrat (36).

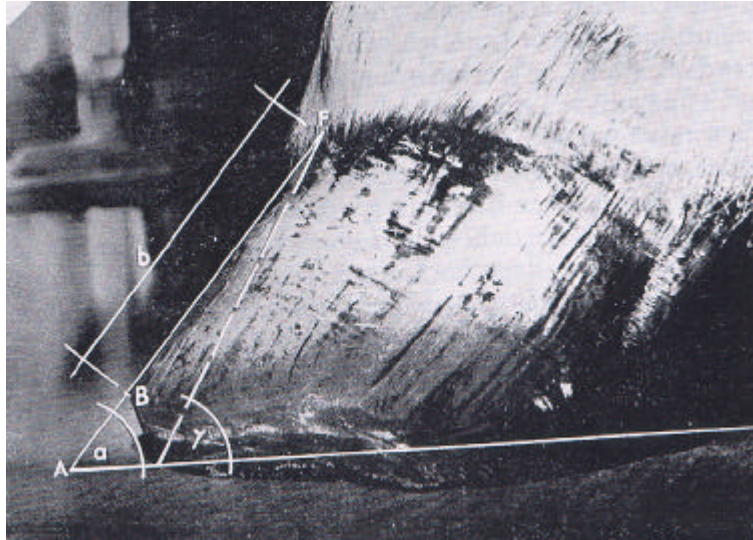


Abb.3: Darstellung der Zehenwandlänge und des Zehenwandwinkels vor und nach Kürzen der Klauenspitze; Konstruktion des durch das Kürzen veränderten Winkels aus LEUENBERGER et al. (1978) (36)

Andere fügten zur Erläuterung eine Abbildung ein, bei der die Lage des Winkels anhand einer Schemazeichnung (Abb. 6, A) angezeigt wurde (16, 35, 64). Eine dem Vorderwandwinkel entsprechende Messung führte FESSL (1980) an der Mitte der Dorsalwand durch. Er verwendete dazu den „Universal Huflängen- und Winkelmesser“ nach LECHNER und einen orthopädischen Winkelmesser. Damit der Messfehler, der durch die Krümmung der Wand hervorgerufen wurde, gering gehalten wurde, achtete er auf den Abstand des Tragrandes und des Kronrandes von der Messgeraden. Dieser sollte an beiden Punkten die gleiche Größe haben (24).

2.2.1.2 Dorsalwandlänge

Die Dorsalwand- oder Zehenlänge stellte den Abstand der dorsalen Haut-Hornverbindung zur Spitze der Klaue dar (71). Andere Arbeiten bezeichneten die Zehenlänge als Länge der dorso-abaxialen Wand vom Kronsaum zur Sohlenfläche (33) oder als Strecke vom Kronrand zur Fußungsfläche (46). Die Messung der Dorsalwandlänge beschrieben LEUENBERGER et al. (1978). Ein faltbarer Meterstab wurde bündig mit der kranialen Zehenwandbasis bis zum

höchsten Punkt im kranialen Zwischenklauenspalt vorgeschoben. Die Distanz bis zum vordersten Punkt der Zehe stellte die gesuchte Länge dar (Abb. 3). Bei nicht beschnittener Klaue befand sich der Punkt an der Umschlagstelle der Zehenwand auf die Sohle, bei gekürzten Klauen wählten sie den Übergang der Zehenwand in die vertikale Schnittfläche (36). FESSL (1980) teilte die Klaue in drei gleich große Abschnitte, die Dorsal-, die Seiten- und die Trachtenwand. Die Dorsalwandlänge bestimmte er in der Mitte des entsprechenden Abschnittes als Wandlänge, vom Beginn des Saumbandes bis zum entsprechenden Punkt des Tragrandes. Zusätzlich zur Messung der Dorsalwandlänge maß er die Länge der Klauenkante. Beide Messungen führte er direkt mit einem aufrollbarem Maßstab aus Metall oder mit einem Stechzirkel durch (24). PAULUS (2004) ermittelte die Länge der Dorsalwand 1cm abaxial vom Zwischenklauenspalt entfernt an der Grenzlinie der behaarten Haut zum Kronsaum bis zur Klauenspitze bei definierter Sohlendicke mit einer Schublehre (54). Manche Autoren verzichteten bei diesem Parameter auf eine Beschreibung im Text und fügten eine Abbildung (Abb. 6, B) hinzu (2), (16), (35). DISTL und SCHMID (1994) verwanden dabei einen Stechzirkel zum Abgreifen des Maßes (16, 35, 64).

Mehrere Maße im Bereich der Dorsalwand bestimmte SOHRT (1999) an seinen Schnittpräparaten (Abb. 4). Die Dorsalwandlänge ermittelte er über eine auf die dorsale Hornaußenwand projizierten Parallele zur dorsalen Anschnittfläche der Phalanx III bzw. der Wandlerhaut. Zusätzlich zog er die Dorsalwandlänge über dem Klauenbein und über der Lederhaut, mit der apikalen Spitze der Lederhaut als unteren Messpunkt und die Dorsalwandlänge Sohlenlederhautlinie heran. Die Messung erfolgte mittels eine Schublehre aus Metall (68).

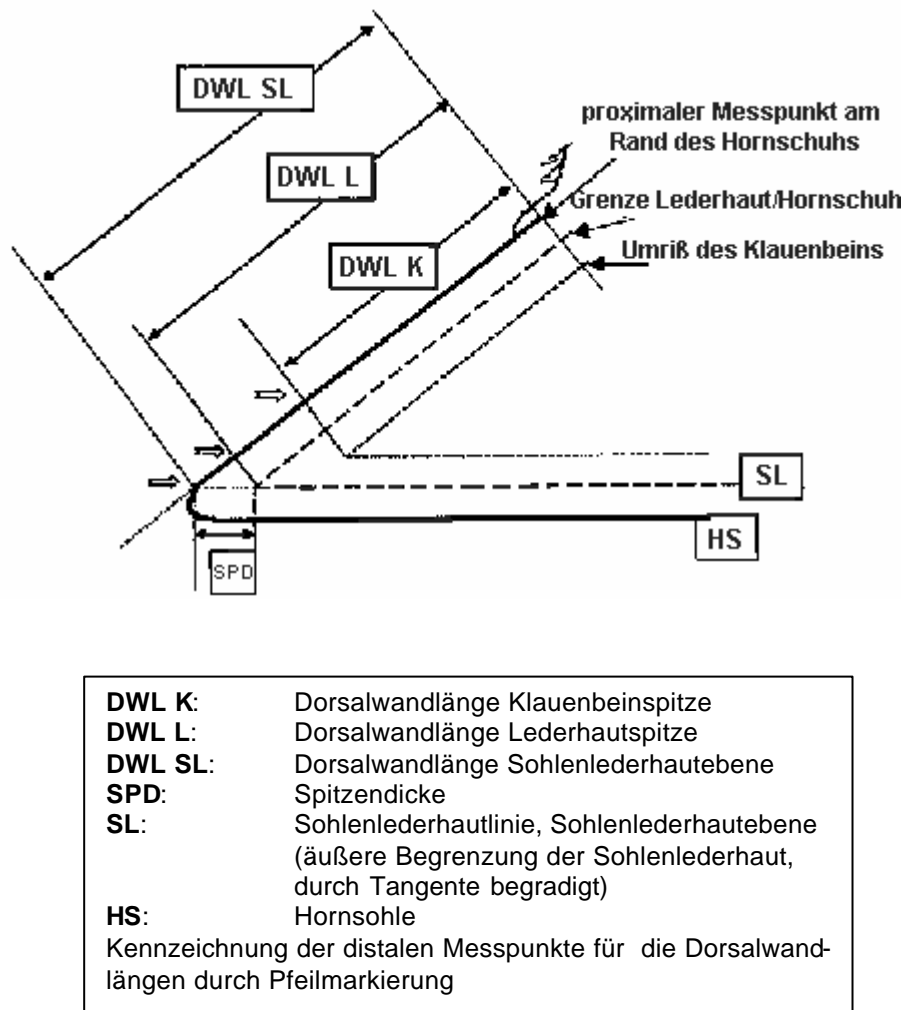


Abb. 4: Dorsalwandlängenmaße und Spitzendicke am Sagittalschnitt (schematisch) nach SOHRT (1999) (68)

2.2.1.3 Ballenhöhe und Trachtenwandhöhe

Die Ballenhöhe stellte den vertikalen Abstand von der Sohlenfläche zur Haut-Hornverbindung am äußeren plantaren bzw. palmaren Rand der Ballenwölbung dar (Abb. 6, D) (71). AHLSTRÖM et al. (1986) definierten die Ballenhöhe als senkrechten Abstand, der in der Medianen des Ballens gelegen vom Kronrand zur Bodenfläche der Klaue verläuft. Zur Messung dieser Strecke verwendete er eine senkrecht durch eine Stahlplatte geführte Schraube. Die Stahlplatte wurde an die Bodenfläche des fixierten, angehobenen Fußes angehalten, die

Ballenhöhe konnte dann über die Länge der Schraube ermittelt und abgelesen werden (Abb. 5). Auf die Bestimmung der Medianen ging er nicht weiter ein (1).



Abb. 5: Ermittlung der Ballenhöhe nach AHLSTRÖM et al. (1986) (1)

Der proximale Messpunkt wurde zum einem am proximalsten Punkt des Margo palmaris bzw. plantaris abaxialis (2), zum anderen am Übergang der Ballenhaut in das Ballenhorn an der am weitesten kaudal gelegenen Stelle des Ballens festgelegt (5). Zum Abgreifen des Lotes benutzte BAUMGARTNER (1988) einen Stechzirkel. Die Länge ermittelte er im Vergleich mit dem Meterstab (5). Hier erläuterten ebenfalls einige Autoren den Messparameter mittels einer Abbildung (16, 64). GANTA und PENTEA (1998) ermittelten die Ballenhöhe sowohl axial als auch abaxial (27). Keine Angaben zu den Messpunkten und der Durchführung fanden sich bei NÜSSKE (2002) (52). HUBER (1983) beurteilte dagegen die Trachtenwandhöhe adspektorisch von der Seite mit Hilfe eines fünfstufigen Beurteilungsschema, das von niedrig bis hoch reicht (32).

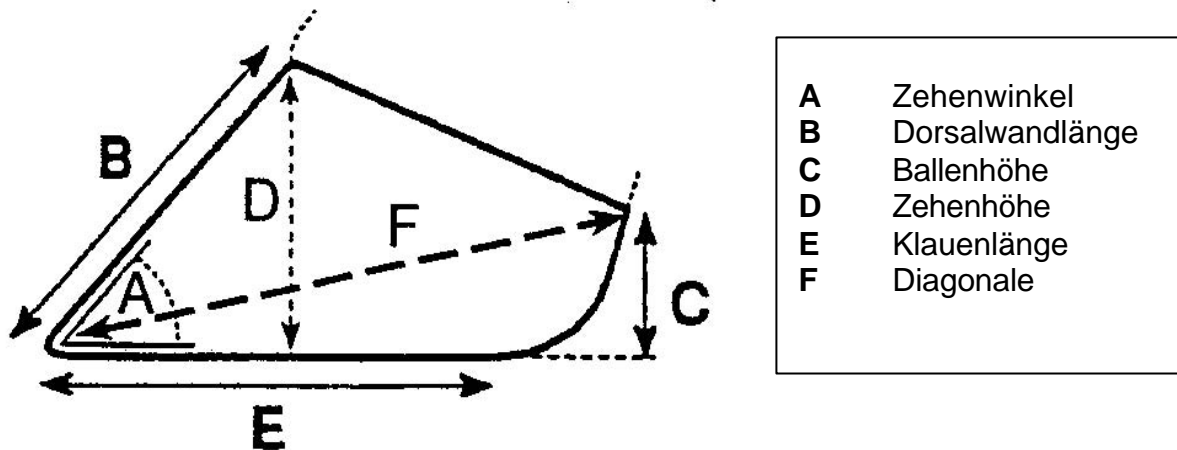
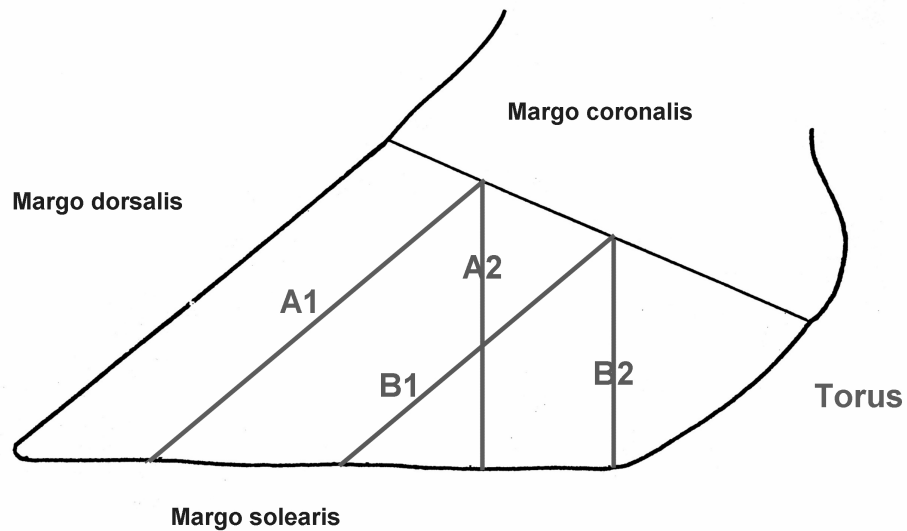


Abb. 6: Maße zur Beschreibung der Ausformung der Klaue, Schema aus VERMUNT und GREENOUGH (1995) (71)

2.2.1.4 Ballenlänge und Trachtenwandlänge

Ein weiteres Maß im Ballenbereich stellte die Länge der Wand im Ballen- oder Trachtenbereich dar. HUBER (1983) ermittelte diesen Parameter als Strecke zwischen dem Übergang Ballenhaut zu Ballenhorn und dem Übergang Ballenhorn zu Sohle. Er bezeichnete ihn jedoch etwas widersprüchlich als Trachtenwandlänge. Zur Messung griff er die Länge mit einem Stechzirkel ab und las anschließend an einem Meterstab den Betrag ab (32). Die anderen Autoren veranschaulichten ihn mit Hilfe einer Abbildung (16, 64). Mehrere Messungen im Ballenbereich führte FESSL (1980) durch.



A1: Länge Mitte der Seitenwand (im Verlauf der Hornröhrchen)

A2: Länge Mitte der Seitenwand (senkrecht zum Tragrand)

B1: Länge Mitte der Trachtenwand (im Verlauf der Hornröhrchen)

B2: Länge Mitte der Trachtenwand (senkrecht zum Tragrand)

Abb.7: Messstellen an der abaxialen Wand der Klauenkapsel, Schema aus FESSL (1980) (24)

2.2.1.4 Ballenwinkel

Die Winkelung der Klaue im Ballenbereich bestimmten FESSL (1980) und NÜSSKE (2002) (24, 51). FESSL (1980) legte dazu einen Schenkel des Winkelmessers an die Sohle an, den zweiten von palmar bzw. plantar an den Ballen (Schemazeichnung, Abb. 8).

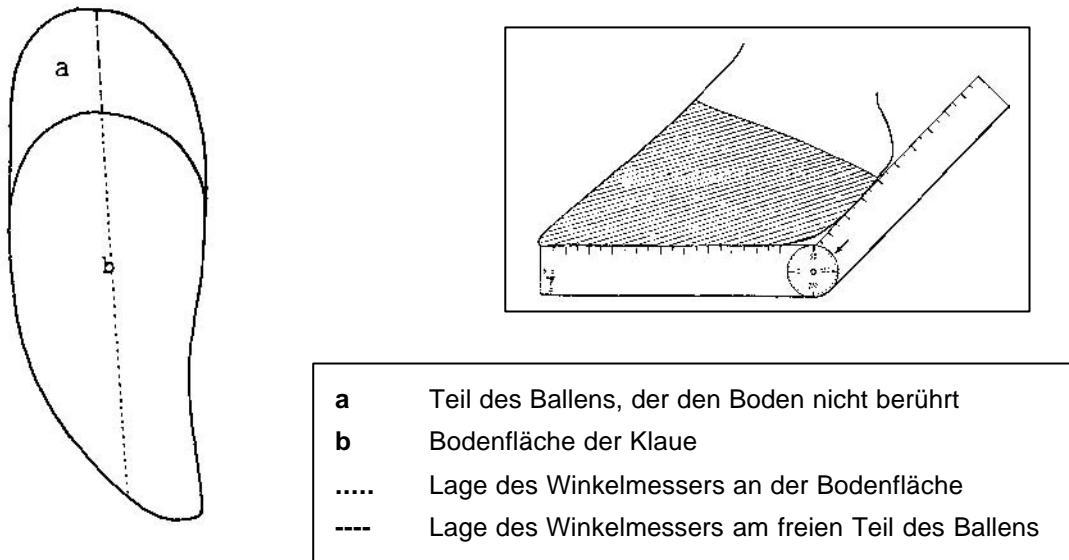


Abb. 8: Schema der Winkelmessung am Ballen aus FESSL (1980) (24), links Darstellung von der Sohle aus, rechts oben seitliche Ansicht

2.2.1.5 Sohlenlänge und -breite

VERMUNT (1995) bezeichnete die Klauenbreite oder –weite als oft subjektiv ausgewählten weitesten Abstand zwischen abaxialer und axialer Wand am Sohlen-Ballenübergang. Die Klauenlänge definierte er als Länge der abaxialen Wand und des Ballens, die Bodenkontakt haben (71). FESSL (1969) und (1980) ermittelte die Maße an der Sohlenfläche der Klauen anhand einer Umrisszeichnung der Bodenfläche auf Papier. Die Klauenmessung erfolgte nach der bei HABACHER (1948) beschriebenen Methode. Ein Rechteck, dessen Seiten die Klaue tangierten, wurde um den Klauenumriss gelegt (Abb. 9). Die Klauenlänge entsprach der Länge des Rechteckes, die Klauenbreite der Breite des Rechteckes. Da die maximale abaxiale und axiale Breite meist nicht auf einer Ebene lagen, entsprach die Klauenbreite der Summe der abaxialen und axialen Breite. Zusätzlich definierte er die Länge L' als Verbindungslinie der Tangentenberührungspunkte (23, 24).

B1 Breite der axialen Klauenhälfte
B2 Breite der abaxialen Klauenhälfte
L gemessene Länge der Klaue
L' größte Länge der Klaue

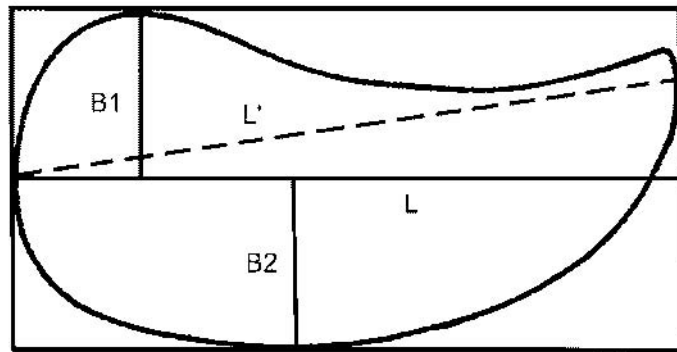


Abb. 9: Messungen an der Sohle nach HABACHER 1948 (aus FESSL (1980) (24))

LEUENBERGER et al. (1978) ermittelten die Länge und Breite der Klauenfläche mit der Messplatte nach KÄSTNER (GÜNTHER et al. 1970) (Abb. 10) (36).

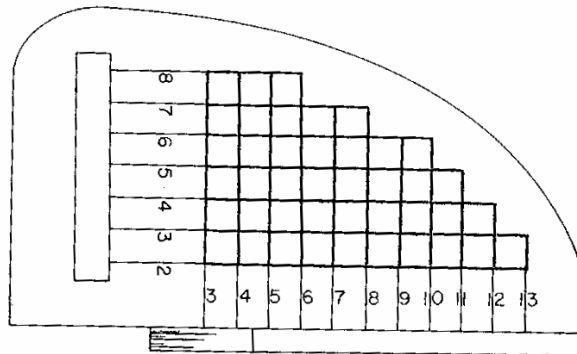


Abb. 10: Messplatte nach KÄSTNER aus LEUENBERGER et al. (1978) (36))

SCHMID (1990) übertrug den in seiner Untersuchung erhobenen Klauenabdruck auf Millimeterpapier mit einem Koordinatenkreuz und las auf diesem die maximale Klauenlänge und -breite ab. Zusätzlich ermittelte er das Längenverhältnis A als Verhältnis des kranialen Teiles der maximalen Klauenlänge von Schnittpunkt S zur maximalen Klauenbreite und das Breitenverhältnis B zwischen dem abaxialen Teil der maximalen Breite von Schnittpunkt S und der maximalen Klauenlänge. Zur besseren Verständlichkeit fügte er eine Abbildung bei

(64). Mit Hilfe von Abbildungen stellten auch andere Autoren Länge (vgl. Abb. 6, E) und Breite der Fußungsfläche dar (2, 16). MÜLLER et al. (1976), POUGIN et al. (1983) und NÜSSKE (2002) ermittelten ebenfalls Länge und Breite der Klauen. Angaben zur Messmethode machten sie nicht (47, 51, 58). LANDERER (1998) ging mit einer Abbildung nur auf die Klauenweite ein (35).

2.2.1.6 Sohlenfläche (Belastungsfläche)

AHLSTRÖM et al. (1986) übertrugen die Grundfläche der Klauen zuerst auf halbdurchsichtiges, dann auf weißes Papier. Sie arbeiteten dazu an der angehobenen und fixierten Gliedmaße. Die Fläche der Abbildungen wurde mit einem automatischen optisch-elektronischen Planimeter bestimmt. Zusätzlich untersuchten sie die Symmetrie zwischen lateraler und medialer Klauengrundfläche. Dazu wurden die Flächen der lateralen und medialen Grundflächen jeder Zehe als laterale Fläche in Prozent der medialen berechnet. Die Flächenbelastung, die auf den Klauen der Vordergliedmaßen bzw. der Hintergliedmaßen lag ermittelten sie aus der Gesamtgrundfläche der entsprechenden Klauen in Bezug auf das Körpergewicht. Dabei gingen sie von einer gleichmäßigen Gewichtsverteilung auf die Vorder- bzw. Hinterbeine aus (1). DÄMMRICH et al. (1982) und BRENTANO et al. (1979) maßen die Fußungsfläche der Klauen der rechten Vorder- und Hintergliedmaße, nachdem sie auf Klarsichtfolie übertragen war, ebenfalls mit einem elektronischen Planimeter (7, 12).

HUBER (1983) war der Ansicht, dass die Sohlenfläche der Bodenberührungsfläche entspricht. Folglich war eine Messung der tatsächlichen Sohlenfläche an der aufgehobenen Gliedmaße nicht möglich. Um die Bodenberührungsfläche zu erhalten, führte er die Tiere über eine befeuchtete, mit Sägemehl bestreute Gummimatte. Die darauf hinterlassenen Klauenabdrücke übertrug er mit Hilfe einer Plexiglasscheibe auf Tageslichtschreiberfolie. Die Auswertung erfolgte am Planimetriertisch (32). FESSL (1969, 1980) ermittelte die Bodenfläche zum einen aus den Maßen des von ihm um den Abdruck gelegten Rechteckes als Produkt aus Länge und Breite, zum anderen planimetrisch (23, 24). An dem Abdruck bestimmte er zusätzlich die Größe der axialen Hohlkehlung (24). In ähnlicher Weise verfahren MÜLLER et al. (1976), sie verglichen ebenfalls ihre durch Multiplikation der mittels einer Schiebelehre erhobenen Längen- und Breitenmaße erhaltene Fläche mit der planimetrisch bestimmten (47). GÜNTHER et al. (1970) ermittelten die Belastungsfläche mit

Hilfe der Messplatte nach KÄSTNER (siehe Abb. 11) (29). Bei BAUMGARTNER (1988) fand sich zur Sohlenfläche nur eine Abbildung (5).

2.2.1.7 Diagonallänge

Die Diagonallänge entsprach der Strecke zwischen der Klauenspitze und dem Übergang von der Ballenhaut zum Ballenhorn (Abb. 7, F) an der am weitesten kaudal gelegenen Stelle des Ballens (64). SCHMID (1990) maß sie durch Abgreifen mit dem Stechzirkel und anschließendem Ablesen an einem Meterstab. Andere Autoren griffen wieder auf eine Darstellung anhand einer Abbildung zurück (16, 35). Auch NÜSSKE (2002) führte zwar eine Messung der Diagonalen durch, machte jedoch keine Angaben zur Methodik (51).

2.2.1.8 Sohlenrandumfang, Tragrandumfang, Kronumfang

Weitere ergänzende Werte stellten Umfangsmessungen dar. Den Kronumfang am angehobenen, fixierten Fuß ermittelten AHLSTRÖM et al. (1986) mit einem Stahlmaßband entlang des Kronsaumes (1). Weiterhin wurde der Sohlenrandumfang (27) bzw. der Sohlenflächenumfang am Abdruck (32) bestimmt. Der Umfang des Kron- und Tragrandes wurde mit einer dünnen, geflochtenen, nicht dehnbaren Schnur abgegriffen und nachfolgend an einem Metallmaßband abgelesen (24). Laut Habacher (1948) entsprach der Kronumfang entweder dem Tragrand oder war meist um ein Zehntel kleiner (30) .

2.2.1.9 Stärke des Hornschuhes im Bereich der Sohle

Ein Maß, welches meist nur bei Präparaten angegeben wurde, stellte die Hornstärke bzw. der Stärke des Hornschuhes entsprechende Parameter, dar. Die Hornsohle war nach HABACHER (1948) eine durchschnittlich 5-10 mm dicke hornige Platte und nahm gegen den Ballen an Stärke zu (30). GANTA et al. (1998) maßen die Stärke des Hornschuhes an der Spitze, die Dicke der axialen Wand zwei Zentimeter von der Spitze entfernt und die Dicke der abaxialen

Wand an drei Stellen, nämlich zwei, vier und sechs Zentimeter von der Spitze entfernt. Sie versuchten damit auch eine Absenkung der Klauenbeinspitze deutlich zu machen (27). Als kürzesten Abstand zwischen dem apikalen Lederhautende und dem Schnittpunkt der Sohlenlederhautlinie mit der dorsalen Hornwand (Abb. 5, SPD) ermittelte SOHRT (1999) die Hornwanddicke im Spitzenbereich (68). Eine die beiden Klauen einer Gliedmaße vergleichende Bestimmung der Sohlenstärke führten PAULUS und NUSS (2002) durch. Es wurden jeweils mit einem Bohrer Löcher mit einem Durchmesser von 14 mm an vier Punkten der Sohle gesetzt. Die Sohle wurde auf eine definierte Dicke geschliffen und daraufhin weitere Klauenmaße mit der Sohlendicke als Bezugsgröße erhoben. An den einzelnen Bohrlöchern erfolgten Vier-Punkt-Messungen (Abb.11) (55).

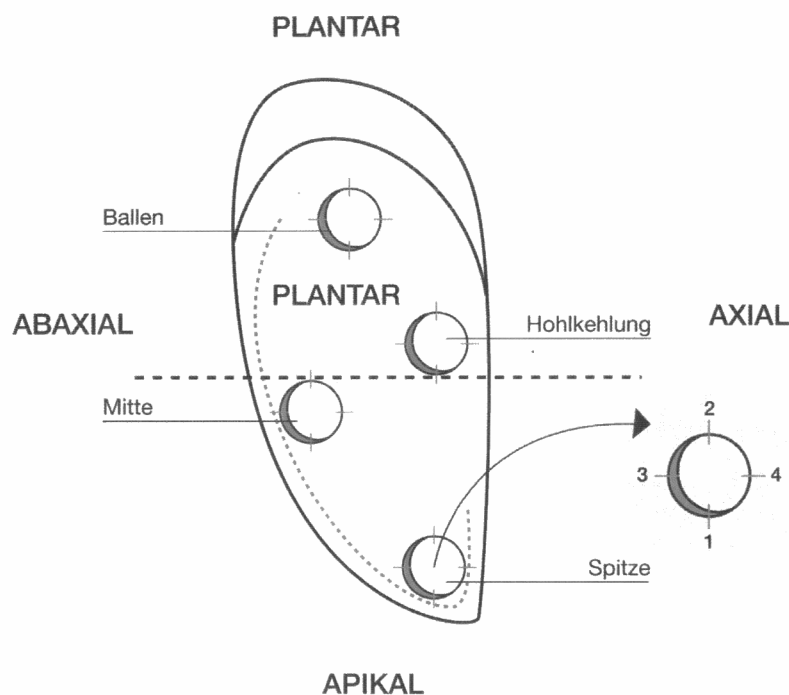


Abb. 11: Darstellung der Lage der Bohrlöcher an der Sohlenfläche und der Messpunkte der Vier-Punkt-Messung an den Bohrlöchern nach PAULUS (2004) (54)

Am histologischen Schnitt ermittelten BRENTANO et al. (1979) und DÄMMRICH et al. (1982) die mittlere Dicke des Stratum profundum und corneum als Kennzeichen für die

Spaltenbodenanpassung (7, 12). LISCHER (2000) führte seine Untersuchungen am Gefrierschnitt durch. Die Dicke von Korium, Subkutis und Hornkapsel an gesunden Klauen bestimmte er als Referenzwerte für an Sohlenulzera erkrankte, um z.B. die Absenkung des Klauenbeines in der Hornkapsel ermitteln zu können (40). KOFLEER et al. (1998) bestimmten die Stärke des Hornschuhs an mehreren Stellen mittels Messungen am Ultraschallbild. Die Hornstärke wurde als Abstand der äußeren Klauenfläche zur Klauenbeinfläche an 8 Punkten auf die gewichtstragende Fläche und an einem Punkt an der Dorsalwand bestimmt. An der Sohle hoben sie besonders die Messungen an der Spitze des Klauenbeines, an der zentralen Konkavität und am Tuberculum flexorium hervor. Die Messpunkte lagen auf einer längsgerichteten geraden Linie auf der gewichtstragenden Fläche, von der Mitte der Klauenspitze zur Mitte des palmaren bzw. plantaren Ballenbereichs. Zur Überprüfung der mittels Sonographie erhaltenen Werte wurden zusätzlich an einem Teil des Materials computertomographische und anatomische Messungen durchgeführt (34).

2.2.1.10 Verhältnis der Zehenlänge zur Trachtenwandlänge bzw. -höhe

Ergänzend zu den direkt abgelesenen Werten wurden auch indirekte erhoben. Auf einige davon war bereits im vorherigen Kontext eingegangen worden. Einen regelmäßig bestimmten indirekten Wert stellte das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe (1, 2) bzw. Ballenlänge (30, 55) dar, da diese auch Eingang in die Klauenpflege fanden. HABACHER (1948) bestimmte dafür die Längen mit dem von ihm modifizierten GROßBAUERSCHEN APPARAT. Genaue Angaben zur Messmethodik mit diesem Apparat finden sich in dem Buch nicht, er wird lediglich durch eine Abbildung (Abb.12) gezeigt.

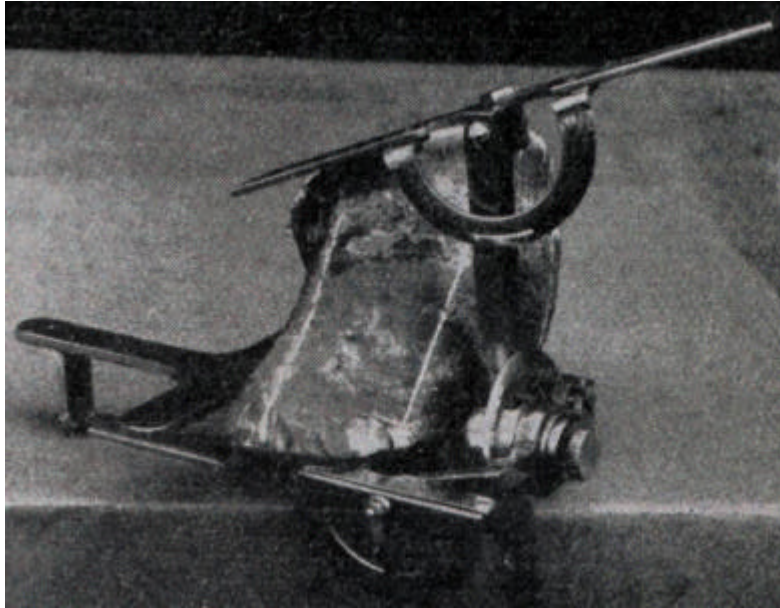


Abb. 12: Großbauer'scher Apparat zur Klauenmessung nach HABACHER (1948) (30)

2.2.2 Ergebnisse von Klauenmessungen bei Kälbern und Jungrindern

MÜLLER et al. (1976) untersuchten die Größe und Form der Klauen von Kälbern. Ihr Ziel war es, Angaben in Hinblick auf die Anforderungen an die Gliedmaßen- und Klauengesundheit in Anlagen mit industrieller Rinderproduktion zu gewinnen. Die Messungen führten sie an insgesamt 276 Kälber im Alter von fünf, neun, elf und siebzehn Wochen durch. Die 31 weiblichen und 245 männlichen Tiere wurden in der Gruppe im Vollspaltenlaufstall gehalten. Sie prüften die Möglichkeit, durch Multiplikation von Längen- und Breitenmaß annähernd genaue Werte für die Fußungsfläche zu erhalten. Dazu verglichen sie die gewonnenen Werte in 32 Fällen mit der planimetrischen Auswertung.

Die errechnete Klauenfläche zeigte stets die größeren Werte, durchschnittlich trat ein Abweichungsfaktor von 35% im Vergleich zur ausgemessenen Fläche auf. Es bestanden keine geschlechtsspezifischen Abweichungen der Fläche. Das Sohlen- und Ballenhorn nutzte sich gleichmäßig ab. Der Vorderwandwinkel der Vorderklauen war im Durchschnitt spitzer als an den Klauen der Hintergliedmaße. Vorderwandlänge, Breite und Länge der Sohlenfläche zeigten an den Klauen der Vordergliedmaße die größeren Werte. Ein direkter linearer

Zusammenhang bestand zwischen der Vorderwandlänge und der Breite der Sohle, der Vorderwandlänge und der Länge der Sohle sowie zwischen Breite und Länge der Sohle. Der Dorsalwandwinkel wies keine Beziehung zu anderen Werten auf (47).

Dagegen untersuchten BRENTANO et al. (1979) die Veränderungen von Klauen, insbesondere im Bereich der Sohle, und Gelenken in Abhängigkeit von verschiedenen Haltungsformen. Die Beurteilung fand nach der Schlachtung in der 26. Lebenswoche an 27 Bullenkälbern der Rasse Deutsche Schwarzbunte statt. Die berücksichtigten Aufstallungsformen waren Einzelhaltung auf Lattenrost (13 Tiere) und auf glattem Betonboden mit Stroheinstreu (14 Tiere).

In Bezug auf die Sohlengröße (Tab. 1), beobachteten sie generell einen Größenunterschied sowohl zwischen den Klauen einer Gliedmaße als auch den Klauen der Vorder- und Hintergliedmaßen. Die lateralen Klauen hatten generell die größere Fläche als die medialen, ebenso war die Sohlenfläche an den Vorderklauen größer als an den Klauen der Hintergliedmaße. Bei den auf Stroh gehaltenen Tieren zeigte die Sohlenfläche kleinere Werte als bei den auf Rost gehaltenen. Dieser Unterschied war an den Klauen der Vordergliedmaße stärker ausgeprägt als an denen der Hintergliedmaße.

Tab. 1: Sohlenflächengröße bei BRENTANO et al. (1979) (7); x: Mittelwert, s: Standardabweichung

Sohlenfläche (mm ²)	Lattenrost		Stroheinstreu	
	x	s	x	s
Vorne lateral	2234	267	1481	456
Vorne medial	2056	219	1427	205
Hinten lateral	1829	256	1396	185
Hinten medial	1585	214	1291	191

Die Klauensohlendicke der beiden Gruppen (Tab. 2) zeigte im Stratum profundum keine Unterschiede, das Stratum corneum war jedoch bei den auf Stroh aufgestellten Tieren doppelt so dick ausgeprägt (7).

Tab. 2: Dicke der Sohlenepidermis bei BRENTANO et al. (1979) (7); x: Mittelwert, s: Standardabweichung

Dicke der Sohlenepidermis (mm)	Lattenrost		Stroheinstreu	
	x	s	x	s
Vorne lateral				
Str. profundum	0.834	0.174	0.765	0.152
Str. corneum	4.888	1.284	9.707	1.193
Summe(mm)	5.722	1.458	10.472	1.345
Vorne medial				
Str. profundum	0.782	0.187	0.804	0.133
Str. corneum	4.585	0.907	9.643	1.814
Summe(mm)	5.367	1.094	10.447	1.947
Hinten lateral				
Str. profundum	0.845	0.138	0.829	0.119
Str. corneum	4.833	0.960	9.182	1.316
Summe(mm)	5.678	1.098	10.011	1.435
Hinten medial				
Str. profundum	0.948	0.216	0.858	0.115
Str. corneum	4.965	1.131	9.793	1.195
Summe(mm)	5.903	1.347	10.651	1.310

FESSL (1980) untersuchte alle acht Hauptklauen von Rindern der Rasse Österreichisches Fleckvieh. Sein Ziel war u.a. die Größen- und Formbestimmung der Normalklaue dieser Rasse. Die Tiere verteilten sich auf mehrere Alters- und Geschlechtsgruppen. Darunter vier Gruppen mit Kälbern, sieben Stierkälber und acht Kuhkälber im Alter von drei bis vier Tagen, jeweils zehn weibliche und männliche Kälber im Alter von fünf bis sieben Wochen. Er

achtete darauf, dass keine Erkrankungen der Klauen vorlagen und die Tiere eine regelmäßige Gliedmaßen- und Zehenstellung aufwiesen. Die Kälber waren bis zur Untersuchung in Boxen mit Stroheinstreu gehalten worden. Die Tiere wurden, abgesehen von den wenige Tage alten Kälbern, die ein geschätztes Lebendgewicht von 40-45 kg aufwiesen, vor der Befunderhebung gewogen. Vor der Messung wurden die Klauen orthopädisch auf einen möglichst gleichartigen Korrekturzustand mit einer Sohlenstärke von 3 mm bei den fünf bis sieben Wochen alten Kälbern. Bei den drei bis vier Tage alten Kälber erfolgte keine Klauenkorrektur. Zusätzlich zu den direkten Messungen an den Klauen fertigte FESSL (1980) zum Vergleich Gipsmodelle der Klauen eines Tieres jeder Gruppe an. Angaben zu den genauen Messmethoden, bzw. dem Auffinden der Messpunkte an den Gipsmodellen macht er in seiner Arbeit nicht. Es traten zwischen diesen unterschiedlichen Erhebungsmethoden keine Unterschiede in den Messwerten ein. Die Werte der drei bis vier Tage alten Kälber wurde ausschließlich an Gipsmodellen erhoben, da eine direkte Messung wegen der Unruhe der Tiere nicht möglich war. Bei den mehreren Wochen alten Tiere wurden die Werte nach der Schlachtung erhoben.

Die Wandlänge (Tab. 3) nahm in allen Altersklassen von der Mitte der Dorsalwand bis zur Mitte der Seitenwand zu, dann bis zur Mitte des Ballens ab, im Zwischenklauenspalt nach apikal erfolgte wieder ein Anstieg. Dabei betrug die Länge in der Mitte der Dorsalwand durchschnittlich knapp 40 mm bei den 3 Tage alten Kälbern. Bei den mehrere Wochen alten Kälbern fand sich eine Zunahme der Wandlänge um ca. 4-5%. An den Vorder- und Hinterklauen erreichte die Zunahme der Wandlänge annähernd dieselben Werte. In der Mitte des Ballens betrug die Wandlänge knapp 50% der Mittelwerte der Messungen an der Mitte Dorsalwand, an den Hinterklauen war die Länge des Ballens geringer. Es ergab sich dort ein Verhältnis der Längen der Dorsalwand und des Ballens von 2:0,7-0,8. Die Wandlängen nahmen mit dem Alter der Tiere an allen Abschnitten gleichmäßig zu.

Tab. 3: Übersicht Mittelwerte der Wandlängen (Länge Mitte der Dorsalwand, Länge der Klauenkante, Länge Mitte des Ballens, Länge der Trachtenwand im Verlauf der Hornröhrchen und senkrecht zur Sohlenfläche in mm) bei FESSL (1980) (24)

	Dorsalwand	Klauenkante	Mitte Ballen	Trachteverlauf	Trachte senkrecht	Dorsalwand	Klauenkante	Mitte Ballen	Trachteverlauf	Trachte senkrecht
Vordergliedmaße	männlich 4 Tage					weiblich 4 Tage				
rechts lateral	39,4	37,7	19,7	33,8	28,6	38,6	37,3	18,9	33,2	28,5
rechts medial	38,4	37,0	18,4	33,4	28,2	37,8	36,7	18,2	32,5	27,8
links lateral	39,5	37,8	19,2	33,8	28,8	38,7	37,4	19,2	33,1	28,2
links medial	38,5	37,1	18,8	33,1	28,2	38,1	36,9	18,3	32,7	28,1
Hintergliedmaße										
rechts lateral	40,1	39,1	18,3	33,3	27,3	38,6	37,7	18,2	32,2	27,2
rechts medial	38,4	37,4	17,7	32,4	26,6	37,0	36,2	17,4	31,4	26,5
links lateral	39,8	38,8	18,3	33,1	27,2	38,5	37,6	18,1	32,0	27,0
links medial	38,5	37,7	17,4	32,3	26,6	37,0	36,1	17,2	31,2	26,6
Vordergliedmaße	männlich 6 Wochen					weiblich 6 Wochen				
rechts lateral	49,6	47,3	28,2	41,5	34,5	50,0	47,4	24,7	42,2	34,8
rechts medial	50,3	47,7	28,7	41,7	34,8	50,7	48,2	25,2	42,4	34,8
links lateral	49,4	46,5	28,5	41,1	34,4	50,0	48,1	24,8	41,5	34,1
links medial	49,9	47,1	29,0	41,3	34,6	50,4	47,8	24,9	42,1	34,1
Hintergliedmaße										
rechts lateral	48,5	46,7	24,8	40,5	32,3	48,0	46,6	21,5	39,4	31,1
rechts medial	46,8	45,2	23,4	39,4	31,2	46,3	44,9	20,5	38,6	30,6
links lateral	48,4	46,5	25,5	40,4	32,6	48,3	46,6	22,3	39,5	31,6
links medial	46,9	44,7	23,4	39,4	31,3	46,3	44,9	20,6	38,7	30,4

Die Sohlenfläche (Tab. 4) entsprach in dieser Untersuchung der gesamten Bodenfläche der Klauen. Sie war bei allen Gruppen an den Vorderklauen größer als an den Hinterklauen, wobei bei den Kälbern die prozentualen Unterschiede geringer waren. Die kleinste Fläche wiesen die 3 Tage alten Kuhkälber auf. Es erfolgte eine Zunahme der Sohlenfläche von den Kuhkälbern über die Stierkälber zu den 6 Wochen alten Kälbern. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Klauen einer Gliedmaße bestand bei diesen Gruppen weder an den Vorder- noch an den Hintergliedmaßen. Die Größenunterschiede an den Vorderklauen waren nicht signifikant. An den Hinterklauen erwiesen sich jedoch - außer bei Kuhkälbern im Alter

von 6 Wochen - die medialen Klauen als signifikant kleiner. Die axiale Hohlfläche nahm bei Kälbern 30-33% der gesamten Sohlenfläche ein, ihr prozentualer Anteil nahm mit zunehmenden Alter ab. Die Klauenbreite (Tab. 4) bei den männlichen Kälbern wies nur geringe Unterschiede auf. Bei den drei Tage alten war die mediale Vorderklaue um 0.8 mm, bei den 6 Wochen alten um 1.1 mm größer. Bei den weiblichen Kälbern bestand kein signifikanter Unterschied. Bei den Hinterklauen war in allen Altersgruppen außer bei den Kälbern die mediale Klaue schmaler als die laterale. Die lateralen Klauen waren zudem breiter, höher und hatten eine dickere Sohle. FESSL (1980) führte dies auf eine vermehrte Durchblutung aufgrund einer stärkeren Belastung zurück.

Tab. 4: Übersicht Mittelwerte der Messungen an der Sohle bei Kälbern (Sohlenfläche in cm², maximale Breite und Länge der Sohle in mm) bei FESSL (1980) (24)

	Sohlenfläche	Breite	Länge L`	Sohlenfläche	Breite	Länge L`
Vordergliedmaße	männlich 4 Tage			weiblich 4 Tage		
rechts lateral	11,4	24,4	50,0	10,0	24,0	49,9
rechts medial	11,7	25,0	49,5	10,1	24,4	48,9
links lateral	11,4	24,4	50,3	9,9	24,0	49,7
links medial	11,7	24,7	49,3	10,2	24,5	49,0
Hintergliedmaße						
rechts lateral	10,0	23,0	48,7	9,0	22,6	48,5
rechts medial	9,3	22,0	47,4	8,3	21,3	46,7
links lateral	10,1	22,8	49,1	9,1	22,7	48,4
links medial	9,4	22,1	47,1	8,4	21,6	46,6
Vordergliedmaße	männlich 6 Wochen			weiblich 6 Wochen		
rechts lateral	12,6	28,2	56,7	11,2	25,6	51,7
rechts medial	13,1	28,7	56,9	12,1	26,6	51,6
links lateral	12,2	28,1	57,3	11,0	25,5	52,1
links medial	12,9	28,8	57,1	12,0	26,3	51,2
Hintergliedmaße						
rechts lateral	10,8	25,5	54,8	9,8	22,8	50,7
rechts medial	10,3	25,0	51,6	9,9	22,8	48,0
links lateral	10,8	26,1	54,8	9,8	23,2	50,9
links medial	10,7	25,3	51,5	9,7	22,9	47,9

Der Tragrandumfang der Klauen wies bei den Kälbern kleinere Werte als der Kronrandumfang auf. Dieser Unterschied betrug durchschnittlich 3,5 mm bei den drei Tage alten männlichen Tieren und 4,5 mm bei den gleichaltrigen weiblichen Kälbern. Später veränderte sich dieses Verhältnis zwischen Kronrand- und Tragrandumfang. Der Kronrandumfang zeigte vorne lateral geringgradig kleinere Werte als medial, hinten lateral geringgradig größere Werte. Bezüglich des Winkels der Vorderwand (Tab. 5) traten bei Neugeborenen wenig Unterschiede zwischen vorne und hinten auf. Bei den männlichen Kälbern betrug der Winkel an den Vordergliedmaßen durchschnittlich 52,5°, an den Hintergliedmaßen 51,2°. Der Winkel der weiblichen Kälber erreichte vorne 51,4°, hinten 50,3°.

Tab. 5: Übersicht Mittelwerte der Wandwinkel (in °) bei den Kälbern von FESSL (1980) (24)

	Winkel dorsal	Winkel Trachte	Winkel Ballen	Winkel dorsal	Winkel Trachte	Winkel Ballen
Vordergliedmaße	männlich 4 Tage			weiblich 4 Tage		
rechts lateral	52,8	91,6	119,8	52,1	91,3	122,3
rechts medial	52,2	91,3	120,0	52,0	91,2	122,0
links lateral	53,2	91,4	120,5	52,0	91,3	122,3
links medial	52,3	91,1	120,1	52,1	91,2	122,4
Hintergliedmaße						
rechts lateral	52,0	93,3	127,7	51,0	92,2	126,9
rechts medial	51,4	93,1	128,4	50,9	91,9	127,7
links lateral	51,5	93,4	127,3	51,3	92,2	127,5
links medial	51,3	92,8	127,7	50,5	91,6	127,5
Vordergliedmaße	männlich 6 Wochen			weiblich 6 Wochen		
rechts lateral	60,1	95,6	124,1	57,0	93,7	119,9
rechts medial	59,8	95,6	123,9	56,6	93,9	119,9
links lateral	60,4	95,7	123,8	58,1	93,8	120,0
links medial	60,1	95,7	123,2	56,9	93,6	120,4
Hintergliedmaße						
rechts lateral	55,0	92,5	133,3	52,5	92,5	128,0
rechts medial	53,6	92,8	134,5	51,2	93,8	128,5
links lateral	55,2	92,5	133,1	52,2	92,5	127,3
links medial	53,4	92,4	134,9	51,2	93,6	129,2

Mit dem Wachstum nahmen die Winkelmaße zu. Sie betragen bei den männlichen 5-7 Wochen alten Tieren vorne $59,6^\circ$, hinten $54,2^\circ$, bei den weiblichen Tieren dieser Altersgruppen $56,3^\circ$, hinten $52,3^\circ$. Den größeren Unterschied bei den männlichen Tieren erklärte er durch die früher einsetzende stärkere Entwicklung des Skelettes. Durch die stärkere Entwicklung der Vorderklauen kam seines Erachtens nach auch der größere Unterschied zwischen den Maßen an den Vorder- und Hinterklauen zustande. Die axialen bzw. abaxialen Wandabschnitte wurden ebenfalls steiler. Die spitzere Winkelung der Klauē trat erst mit zunehmenden Gewicht auf. Zur Klauenbeurteilung erschien ihm auch die Winkelung des Ballens (Tab. 5) von Bedeutung. Als wünschenswerte Ballenwinkel betrachtete er Werte bis zu max. 135° . Eine Ausnahme bildeten nur die im Wachstum befindlichen Kälber.

Zusammenfassend erachtete er für eine rasche Klauenbeurteilung folgende Maße als ausreichend: Die Länge in der Mitte der Dorsalwand und des Ballens; die Beurteilung des Spatium an der Klauenkante und von der Sohle her gesehen; L und L' der Sohle; B1, B2 und max. Breite der Sohle (vgl. Abb. 9, Kap. 2.2.1.5), Tragrand- und Kronrandumfang; den Winkel der Klauenkante und die Winkelung des Hornschuhes in der Mitte des Ballens (24).

DÄMMRICH et al. (1982) untersuchten das Vorkommen von Klauenveränderungen bei Mastkälbern unter dem Einfluss verschiedener Haltungssysteme. Ihr Ziel war es, die Leitlinien zur Frühkonditionierung von Jungrindern für spätere Spaltenbodenhaltung zu verbessern. Die Tiere wurden zum Teil einzeln (30 Tiere) und zum Teil in einer Gruppe mit drei oder vier Tieren (insgesamt 49 Tiere) auf Holzrosten ohne Einstreu gehalten. Als Vergleichsgruppe dienten sieben in einer Tiefstreubucht gehaltene Ammenkälber. Die Mastdauer variierte zwischen 16 und 26 Wochen. Die Untersuchungen fanden nach der Schlachtung statt.

Bei den auf Holzrosten gehaltenen Tieren und den Einzeltieren wurden im Gruppendurchschnitt zwischen den einzelnen Klauen und denen der Vorder- und Hintergliedmaße Größenunterschiede bezüglich der Sohlenfläche (Tab. 6) festgestellt. Die lateralen Klauen wiesen die größere Fläche auf, ebenso die Klauen der Vordergliedmaßen. Dagegen waren die Klauen der Ammenkälber im Gruppendurchschnitt annähernd gleich groß.

Die Haltungsform hatte keinen Einfluss auf die Größe der Sohlenfläche, sie zeigte keine Unterschiede zwischen Rost und Tiefstreu. Hingegen zeigte sich eine Abhängigkeit der Größe der Fußungsfläche vom Alter. Bezüglich der Dicke des Sohlenhornes (Tab. 7) zeigte das Stratum profundum keine Unterschiede zwischen den Gruppen (12).

Tab. 6: Mittelwerte (x) und Standardabweichung (s) der Sohlenflächengröße bei DÄMMRICH et al. (1982) (12)

Aufstallung	Einzeltier		Einzeltier		Gruppe		Gruppe		Ammenkälber	
Alter der Tiere	26 Wochen		22 Wochen		22 Wochen		16 Wochen		22 Wochen	
Sohlenfläche (mm ²)	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
Vorne lateral	2234	267	1722	277	1764	215	1651	195	1556	120
Vorne medial	2056	219	1636	284	1567	183	1464	174	1556	186
Hinten lateral	1829	256	1507	171	1525	183	1433	197	1547	174
Hinten medial	1585	214	1355	258	1409	196	1113	157	1524	189

Tab. 7: Mittelwerte (x) und Standardabweichung (s) der Dicke der Sohlenepidermis DÄMMRICH et al. (1982) (12)

Aufstallung	Einzeltier		Einzeltier		Gruppe		Gruppe		Ammenkälber	
Alter	26 Wochen		22 Wochen		22 Wochen		16 Wochen		22 Wochen	
Dicke Sohlenepidermis (mm)	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s
Vorne lateral Str. profundum	0.834	0.174	0.632	0.127	0.677	0.103	0.736	0.095	0.836	0.100
Str. corneum	4.888	1.284	3.380	0.761	3.432	0.546	3.432	0.778	3.677	0.814
Summe(mm)	5.722	1.458	4.012	0.889	4.109	0.649	4.168	0.873	4.513	0.914
Vorne medial Str. profundum	0.782	0.187	0.651	0.143	0.644	0.123	0.723	0.102	0.688	0.093
Str. corneum	4.585	0.907	3.473	0.917	3.429	0.596	3.661	0.730	4.069	0.917
Summe(mm)	5.367	1.094	4.124	1.060	4.073	0.719	4.384	0.832	4.757	1.010
Hinten lateral Str. profundum	0.845	0.138	0.675	0.140	0.765	0.098	0.816	0.122	0.810	0.113
Str. corneum	4.833	0.960	3.359	0.598	3.552	0.439	3.553	0.599	3.715	0.770
Summe(mm)	5.678	1.098	4.034	0.738	4.317	0.537	4.369	0.721	4.525	0.883
Hinten medial Str. profundum	0.948	0.216	0.741	0.109	0.732	0.120	0.856	0.115	0.773	0.078
Str. corneum	4.965	1.133	3.679	0.542	3.705	0.532	4.144	0.490	3.632	0.911
Summe(mm)	5.913	1.349	4.420	0.651	4.437	0.652	5.000	0.605	4.405	0.989

Eine weitere Untersuchung zur Anpassung an die Spaltenbodenhaltung wurde von POUGIN et al. (1983) durchgeführt. Das Ziel war die Beschreibung morphologischer Klauenparameter und deren Beziehung zum Anpassungsverhalten. Sie sollten auf ihre Tauglichkeit als Leitmerkmale für die graduelle Kennzeichnung der Spaltenbodenanpassung geprüft werden. Zur Untersuchung wurden Jungtiere der Rassen Schwarzbunte, Rotbunte und weibliche Holstein Friesian herangezogen. Zur ersten Sondierung von Alterseinflüssen wurden drei unterschiedliche Altersgruppen - 3 Wochen, 3 Monate und 6 Monate alte Kälber - sofort von Einstreuhaltung auf Spaltenboden umgestallt. Der eigentliche Spaltenbodentest fand ab dem 10. Lebensmonat statt. Für diesen wurden die Tiere im Alter von 4 Monaten in drei Gruppen geteilt und bis zum 6. Monat in unterschiedlichen Haltungsformen gehalten. Auf Spaltenboden wurden 24 männliche und 25 weibliche Kälber, in Einstreuhaltung kamen 24 männliche und 25 weibliche Tiere. Die dritte Gruppe bildeten 20 männliche, und 36 weibliche Tiere, welche je 3 Monate auf Spalten und Weide gehalten wurden. Vor Beginn des Spaltenbodentestes erfolgten im Alter von 9 Monaten Klauenmessungen an der medialen und lateralen Klaue der linken Vorder- und Hintergliedmaße. Entsprechende Messungen waren bereits an 6-monatigen Kälbern, welche bis dahin auf Einstreu bzw. 3 Monate auf Spalten standen, durchgeführt (Tab. 8).

Im Gruppenvergleich nahmen durch den verstärkten Hornabrieb auf dem Spaltenboden die Klauenlänge und die Gesamtfläche ab. Der Anteil der Bodenkontakt- bzw. Fußungsfläche an der Gesamtfläche nahm hingegen aufgrund der Beseitigung der Sohlenvertiefung zu. Bei der Tiergruppe, die teilweise Weidegang hatte, nahm die Gesamtfläche während der dreimonatigen Weideperiode durch den verminderten Abrieb wieder zu (Tab. 8 und 9) (58).

Tab. 8: Sohlenflächen, berechnet aus einer Flächenbelastung von 55% auf den Vordergliedmaßen, Tiere im Alter von 6 Monaten aus POUGIN et al. (1983) (58)

Mittelwerte (cm ²)		Einstreu	Spalten
Gesamtfläche	vorne	61,79	64,79
	hinten	57,30	53,16
Fußungsfläche	vorne	47,80	61,15
	hinten	42,98	53,16

Tab. 9: Sohlenflächen, berechnet aus einer Flächenbelastung von 55% auf den Vordergliedmaßen, Tiere im Alter von 9 Monaten aus POUGIN et al. (1983) (58)

Mittelwerte (cm ²)		Einstreu		Spalten		Spalten/Weide	
		männlich	weiblich	männlich	weiblich	männlich	weiblich
Gesamtfläche	vorne	96,56	86,17	84,70	84,64	89,29	83,15
	hinten	88,88	84,60	72,95	69,25	77,63	72,28
Fußungsfläche	vorne	75,60	64,63	84,70	84,64	84,33	74,39
	hinten	74,84	66,79	72,75	65,61	73,06	60,87

HUBER (1983) verfolgte die Klauenentwicklung im Laufe der Aufzucht und erhob seine Messwerte dreimal im Abstand von jeweils 3 Monaten. Die Untersuchung fand an 235 Fleckviehbullen im Alter von sechs, neun und zwölf Monaten statt. Die Bullen wurden auf Eigenleistungsprüfstationen in unterschiedlichen Aufstallungssystemen gehalten. Die Messungen wurden am stehenden Tier bei belasteter Gliedmaße von ein bis zwei Personen durchgeführt. Die Maße wurden an einer Körperseite erhoben, die Dorsalwandlänge und die Trachtenwandlänge dabei nur an der Außenklaue. Um die Messgenauigkeit zu bestimmen wurden zusätzliche Messungen an 10 weiteren Tieren durchgeführt.

Adspektorisch erschienen die Klauen im Durchschnitt etwas kleiner als es im Vergleich zur Körpergröße zu erwarten war. Lediglich die Dorsalwand der Klauen der Vordergliedmaße war länger. Bei den Messwerten (Tab. 10) traten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen bezüglich der Länge der Dorsalwand und dem Vorderwandwinkel auf. Die Trachtenwandlänge erreichte vorne signifikant größere Werte als hinten. Bei der Sohlenfläche bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den lateralen und medialen Klauen. Die Flächen der Vorderklauen waren größer als die der Hinterklauen. Durch die größeren Werte der Trachtenwand vorne, war das Längenverhältnis an der Vordergliedmaße kleiner. An den Vordergliedmaßen stiegen die Werte für die Dorsalwand- und Trachtenlänge mit zunehmenden Gewicht an, die Dorsalwandlänge nahm dabei stärker zu, so dass auch das Längenverhältnis zunahm. Die entsprechenden Werte an der Hintergliedmaße wurden in der Gewichtsklasse von 200-300 kg kleiner, dann jedoch in gleichem Maße wieder größer. Dadurch blieb das Verhältnis annähernd konstant. Der Vorderwandwinkel wurde mit zunehmendem Gewicht kleiner. Die Werte für die Sohlenfläche

variieren etwas. Die Fläche der Vordergliedmaße nahmen bis ca. 400 kg stark zu, dann verlangsamte sich die Größenzunahme. Die Hinterklauen zeigten einen anderen Verlauf. Bis 350 kg nahmen sie ab, um dann stark zuzunehmen. Mit einem Gewicht von weniger als 250 kg war die Sohlenfläche der Vorderklauen kleiner als die der Hinterklauen, im Bereich zwischen 250-500 kg erreichten die Vorderklauen die größeren Werte und über 500 kg waren die Hinterklauen wieder deutlich größer. Die Gliedmaßenstellung hatte keinen Einfluss auf die Messwerte der Vordergliedmaße. Bei der Hintergliedmaße wurde lediglich die Dorsalwandlänge beeinflusst (32).

Tab. 10: Mittelwerte (x) und Standardabweichung (s) der von HUBER (1983) erhobenen Klauenmaße (32)

	Vordergliedmaße		Hintergliedmaße	
	x	s	x	s
Dorsalwandlänge(cm)	6,54	1,89	6,47	1,55
Trachtenwandlänge(cm)	4,02	1,64	3,38	1,50
Vorderwandwinkel (in °)				
Medial	53,07	20,47	53,73	19,81
Lateral	53,52	21,48	54,20	19,43
Sohlenfläche (cm ²)				
Medial	29,87	18,78	25,98	18,32
Lateral	30,99	19,26	28,15	18,73
Dorsalwand:Trachtenwand	1,66	0,86	1,94	0,90

PENTEA et al. (1998) untersuchten die Klauenmorphologie bei Neugeborenen und zwei Monate alten Kälbern. Ziel der Arbeit war, Kenntnisse über die Beziehung zwischen der Klaue und dem Klauenbein zu gewinnen und so eine Unterscheidung zwischen einer pathologischen und einer physiologischen Anpassung an das Aufzuchtssystem zu ermöglichen. Es gingen insgesamt zwanzig Zehen von jeweils zehn Tieren pro Altersgruppe in die Studie ein. Die Länge der Dorsalwand des Hornschuhes und der distalen Phalanx verhielten sich ähnlich. Der Winkel an der Dorsalwand des Hornschuhes betrug ca. 60°, der entsprechende Winkel am Klauenbein zeigte um 10% geringere Werte. Die Dicke der Dermis war bei beiden Altersgruppen axial und abaxial annähernd gleich (56).

NÜSSKE (2002) führte an 32 männlichen und weiblichen Kälbern im Alter ab vier Tagen eine Verlaufsuntersuchung zur Entwicklung der Klauen durch. Die Messwerte wurden im drei Wochenintervall insgesamt viermal erhoben. Abgesehen von der Sohlenlänge und Ballenweite ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den männlichen und weiblichen Tieren. Mit zunehmenden Alter näherten sich auch diese Werte aneinander an (51).

Tab. 11: Messwerte der Winkel (in °) bei NÜSSKE (2002) (51)

	Dorsalwandwinkel		Ballenwandwinkel	
	lateral	medial	lateral	medial
männlich	60,32	60,48	121,41	121,45
weiblich	57,88	57,87	120,47	120,41

2.3 Röntgendarstellung

2.3.1 Röntgentechnik

Das Anfertigen der **dorsopalmaren bzw. –plantaren** Aufnahme wurde am stehenden Tier mit Hilfe eines Holzblockes beschrieben (Abb. 13). DOUGLAS et al. (1987) empfahlen dazu eine Einkerbung im Holzblock. Die zuvor gereinigten Zehen wurden rechtwinklig zum Boden auf den Block gesetzt, die Platte palmar bzw. plantar angelegt und der Zentralstrahl horizontal mittig zwischen die Zehen gerichtet (17). Als Alternative wurde der Fuß auf eine stabile Platte gestellt und der Zentralstrahl im 45° Winkel zum Interdigitalspalt ausgerichtet (17, 19). Dieses Vorgehen empfahlen EBEID und STEINER (1996) insbesondere an den Hintergliedmaßen, da diese von den Tieren unwilliger angehoben werden (19). Eine Markierung zur späteren Identifikation der lateralen bzw. medialen Seite wurde vor dem Anfertigen der Aufnahme angebracht (17).

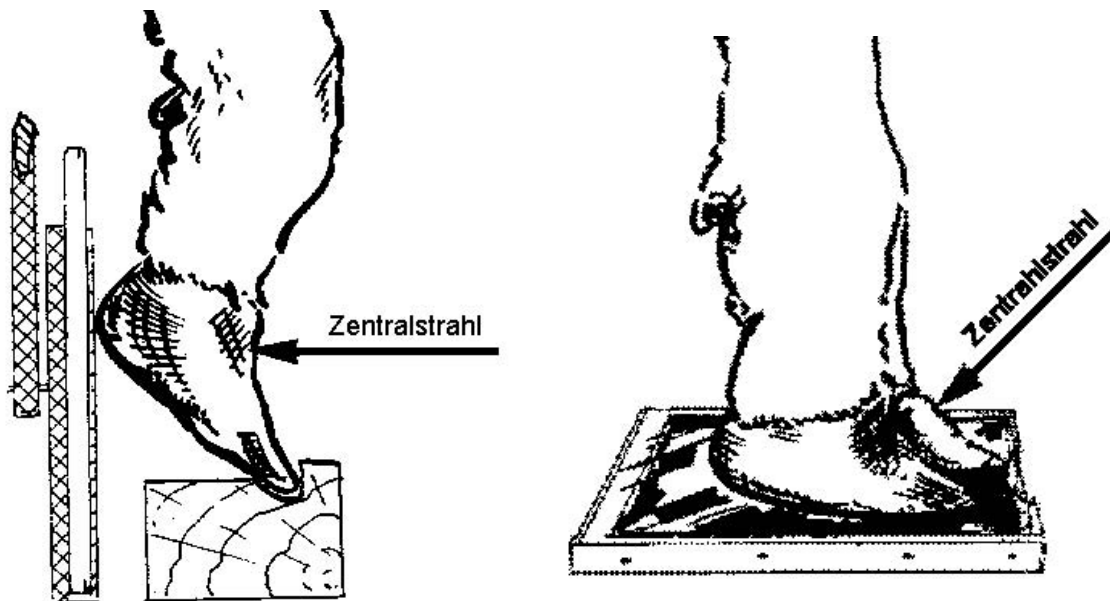


Abb. 13: Anfertigen einer dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahme der Rinderzehe, Schema aus DOUGLAS et al (1987)(17)

Die Lateralansicht bei einer Zehe bei einem **interdigital** eingelegten Film bietet die Möglichkeit das distale Gelenk und das distale Sesambein ohne Überlagerung darzustellen. In der Literatur wurde folgendes Vorgehen am stehenden Tier beschrieben. Der Fuß wurde auf einen Holzblock gesetzt und ein „CT-radiographic film“ (19) bzw. ein folienloser Film (17) in den Zwischenklauenspalt eingeschoben. Der Zentralstrahl wurde horizontal auf die Klaue gerichtet (17). Zur Darstellung des Klauengelenkspaltes wurde der Zentralstrahl mit einer 15°-Abweichung zur Horizontalen auf den Kronsaum gerichtet (19).

2.3.2 Röntgenanatomie

2.3.2.1 Dorsopalmar/plantare Aufnahmeebene (Abb. 14)

Die proximale Region besteht aus den distalen Interphalangealgelenken und dem distalen Sesambein (19). Die Gelenkflächen sind scharf gezeichnet, diejenige des Klauenbeines ist V-förmig um mit dem Kronbein zu korrespondieren (18, 19). Die normale Weite des Klauengelenkspaltes beträgt 1-2 mm (19). Das distale Sesambein liegt am proximopalmaren bzw. -

plantaren Teiles des Klauengelenkes und wird dabei größtenteils vom Kronbein überlagert. Proximal wird die Ausdehnung des Sesambeines deshalb durch eine feine Linie markiert (18, 19). Distal ist die Linie des Sesambeines klar definiert (18).

A	Fesselbein
B	Kronbein
C	distales Sesambein
D	Klauenbein
1	Dorsaler Rand des distalen Sesambeines
2	Ventraler Rand des distalen Sesambeines
3	Klauengelenkspalt
4	Abaxialer Rand des Klauenbeines
5	Axialer Rand des Klauenbeines
6	Zentralkanal
7	Gefäßkanäle

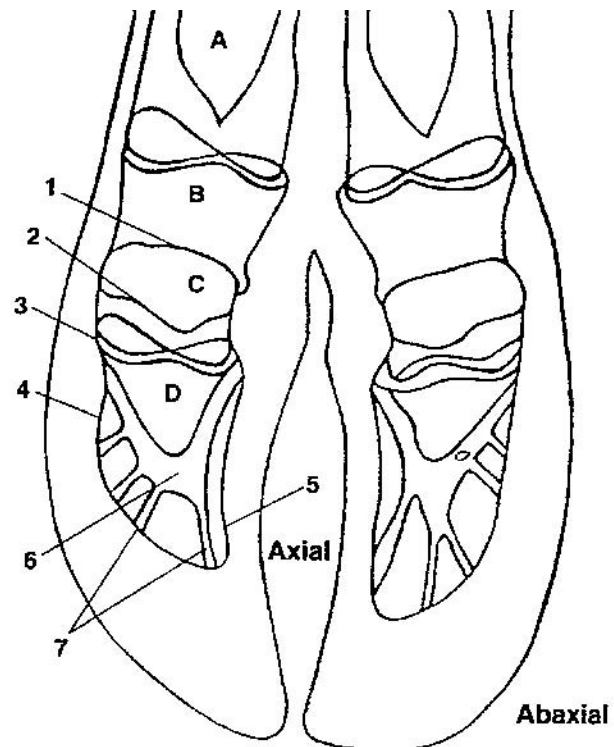


Abb. 14: schematische Darstellung einer dorsopalmaren bzw. -plantaren Röntgenaufnahme der Zehen des Rindes nach EBEID (1996) (19)

An der distalen Region zeigt das Klauenbein seinen axialen, konkaven und abaxialen konvexen Rand (18, 42). Dieser Teil stellt sich weniger röntgendicht dar als der Rest der Phalanx III, da er häufig überbelichtet wird. Das Klauenbein besitzt 5-7 Gefäßkanäle mit einer Weite von 1-3,5 mm. Die Kanäle gehen vom Sohlenkanal aus (19). Sie verlaufen meist direkt vom Sohlenkanal zum Sohlenrand, es sind aber auch einige verzweigte zu erkennen. Es besteht kein Unterschied in der Ausbildung und der Größe der Gefäßkanäle zwischen den Vorder- und Hinterbeinen. Eine Unterscheidung der Klauen der Vorder- und der Hintergliedmaßen ist jedoch möglich, da die Vorderklauen breiter und kürzer sind (18). Die Spongiosa bei Neugeborenen ist gleichmäßig verteilt. Die Trabekel zeigen einen zufälligen

Verlauf. Die Kompakta ist dünn ausgeprägt. Der Arcus terminalis zeigt sich als Kanal in der Spongiosa. Bei drei Monate alten Kälbern zeigt sich ein homogenes Zentralgebiet mit geringer Strahlungsdichte welches von einem Knochenlager mit großer Strahlendichte umgeben ist. Anscheinend findet eine Verdichtung der Kortikalis und eine gerichtete Modellierung der Trabekel in der Spongiosa statt. Dieser Prozess tritt wenige Wochen post partum in Erscheinung und wird durch das zunehmende Körpergewicht verstärkt. Bei erwachsenen Tieren zeigt sich der Arcus terminalis als medulläre Kavität. Die Spongiosa ist trajektionell ausgerichtet. Die Kompakta weist eine deutlich stärkere Kortikalis auf, welche in der Facies solearis und articularis verglichen mit der Facies parietalis dicker ausgeprägt ist (43). Die Grenze der Wand des Hornschuhes ist kaum zu erkennen. Ebenso ist der Übergang der Klauensohle zum palmaren bzw. plantaren Teil des Ballens kaum definiert. Die Weichteile stellen sich an beiden Seiten gleichmäßig dar (18).

2.3.2.2 Lateralo-mediale Aufnahmeebene

Auf dieser Aufnahme werden der distale Anteil des Kronbeines, das komplette Klauenbein und das Klauensesambein mit dem sie umgebenden Hornschuh dargestellt (Abb. 15) (18). Die Gelenkfläche des Klauengelenkes ist klar definiert. Eine sichelförmige Linie repräsentiert die distale Gelenkfläche der Phalanx III und II. Unter der ersten Linie liegt mit parallelem Verlauf (18) eine zweite (18, 19). Diese tritt auf, da die Gelenkfläche des Klauenbeines geneigt ist und damit die axiale Seite der Klauengelenkfläche tiefer zum Liegen kommt (19). Durch die Überlagerung der medialen und lateralen Gelenkendes sind zwei Paar der Doppellinien zu sehen (18). Die Vorderwand des Klauenbeines verläuft bei Jungtieren proximal konkav, distal konvex. Eine Änderung dieser Form wird bei gesunden mit Gerste aufgezogenen Jungrindern im Alter von vier bis zwölf Monaten beobachtet. Bei diesen Tieren sind die distalen zwei Drittel der Vorderwand konkav (42). Der Sohlenrand des Klauenbeines ist besonders nahe dem Tuberculum flexorium konkav. Im Klauenbein selbst sind Ernährungslöcher zu sehen. Die Gefäßkanäle können undeutlich sichtbar sein (18).

In den Untersuchungen von MACLEAN (1970) stellt sich bei den fünfmonatigen Tieren die gesamte Grundfläche konkav dar. Sie bildet palmar bzw. plantar einen scharfen Winkel mit dem Ballenbereich des Knochens. Kleine Exostosen am Ballen und Pyramidenfortsatz finden sich als Normalbefunde bei Tieren mit fünf Monaten. Auch im Bereich der Sohle traten bei

den mit Gerste Änderungen auf. Die Grundfläche zeigt sich flach. Der Übergang in den Ballen weist eine weiche konvexe Kontur auf. Im Gebiet des Beugesehnenansatzes findet sich an der Grundfläche eine neue Knochenkonformation. Die Struktur des Klauenbeines stellt sich weniger röntgendurchlässig dar als normalerweise und auch die Gefäßkanäle sind klarer abgesetzt (42).

A	Kronbein
B	Klauenbein
C	distales Sesambein
1	Processus extensorius
2	Klauengelenkspalt
3	Zentralkanal
4	Schatten der Gelenkfläche des Klauengelenkes
5	Ernährungsloch
6	Tuberculum flexorium
7	distaler Rand des distalen Sesambeines
8	proximaler Rand des distalen Sesambeines
9	Beugesehnenseite des distalen Sesambeines
10	Gelenkseite des distalen Sesambeines

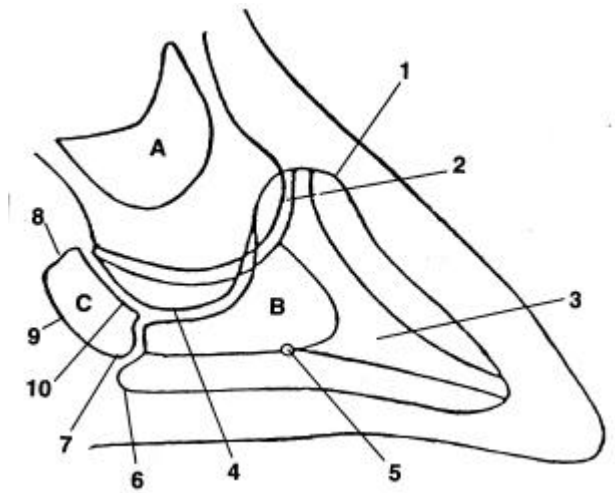


Abb. 15: schematische Darstellung einer abaxio-axialen Röntgenaufnahme einer Klaue nach EBEID und STEINER (1996) (19)

Die Form der Tuberositas flexoria ist bei jungen Tieren gerade, bei Tieren über 4 Jahren pyramidenförmig (18). Der Processus extensorius ist ein pyramidenförmiger, meist dreiteiliger Höcker mit einer abgerundeten Fläche. Er überragt die Gelenkfläche nicht. Mit zunehmendem Alter wird er breiter und knolliger (67). Auch EBEID (1992) beschreibt eine altersabhängige Formvariation. Bei jungen Tieren weist er eine gerade Form auf. Mit einem Alter von 5 Jahren wird die Form konkav. Dieser Formunterschied ist bezüglich der Hinterklauen signifikant zwischen den Altersgruppen, bei den Vorderklauen dagegen nicht signifikant. Es wird vermutet, dass dieser Unterschied durch den Bewegungsablauf und die damit verbundene unterschiedliche Belastung bedingt wird (18). Die Form des distalen Sesambeines ähnelt einem Trapez (18). Es zeigt zwei Flächen, die konvexe Beugeseite mit

einer röntgendichten Linie an der Kortexgrenze und die Gelenkseite (18, 19). Die Gelenkfläche hat hauptsächlich Kontakt mit der mittleren Phalanx und mit einem schmalen distalen Anteil an der Gelenkung des Klauengelenkspaltes (18). Der proximale Rand des Sesambeines kann als Doppellinie abgebildet werden, wenn die Klaue während der Aufnahme geneigt wird (18, 19).

2.3.2.3 Epiphysenfugen (Abb. 16)

Die distale Epiphyse und Diaphyse des dritten und vierten Metakarpalknochens sind durch eine epiphysäre Linie komplett getrennt. Die proximalen Epiphysenlinien sind röntgenologisch nicht sichtbar. Am Klauenbein findet sich ein Ossifikationszentrum. Das Fesselbein und das Kronbein weisen hingegen drei Ossifikationszentren auf. Zum Zeitpunkt der Geburt sind die distalen Epiphysen und Diaphysen verschmolzen, die proximalen stellen sich noch nicht als Einheit dar (9).

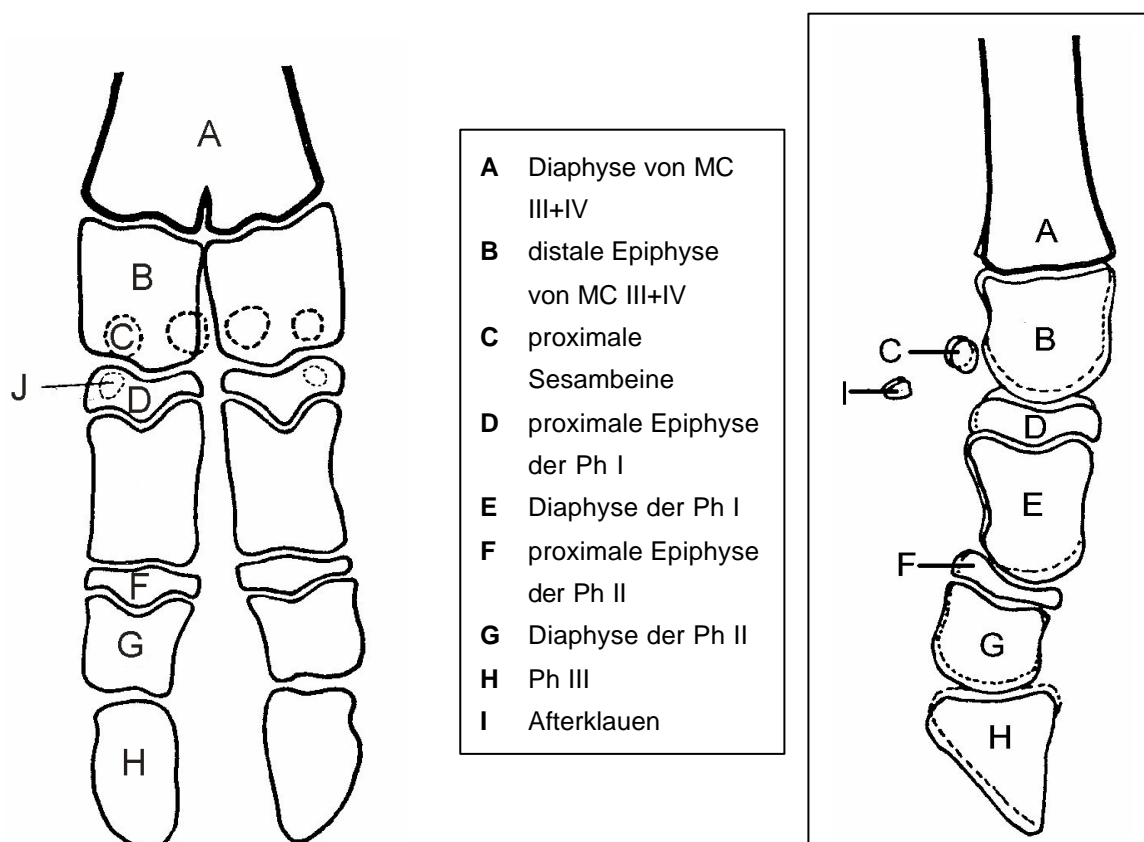
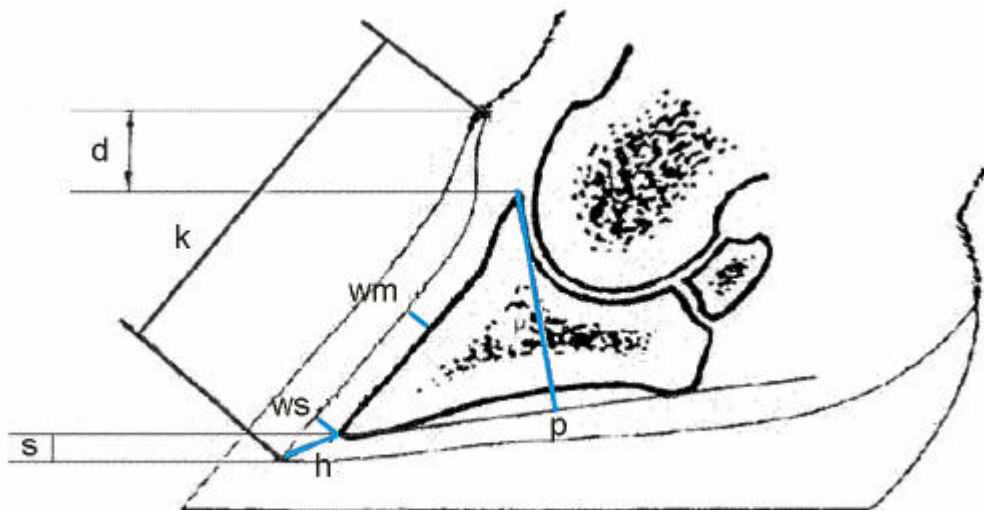


Abb. 16: Schematische Darstellung der Epiphysenfugen an der Rinderzehe aus BURT et al. (1968) (9)

2.3.3 Messungen an den Zehenknochen bzw. dem Hornschuh am Röntgenbild

LISCHER (2000) stellte den Zusammenhang zwischen radiologischen Befunden am Klauenbein und dem Heilungsverlauf von Sohlengeschwüren dar. Er definierte die Position des Klauenbeines im Hornschuh entsprechend der von CRIPPS und EUSTACHE (1999) beim Huf angewendeten Methode (11). Eine schematische Übersicht über die erhobenen Parameter ist in Abb. 17 dargestellt. Die Untersuchung erfolgte an im gefrorenen Zustand sagittal voneinander getrennten Klauen. Der Übergang der Haut in den Hornschuh am Kronsaum wurde markiert. Es wurden 90°-Aufnahmen mit abaxio-axialem Strahlengang angefertigt. Die benötigten Bezugslinien wurden auf einem über die Röntgenaufnahme gelegtem Pergamentpapier eingezeichnet. Um altersbedingte Veränderungen am Processus extensorius nicht mit einzubeziehen wurde das proximale Ende der Gelenkfläche des Klauenbeines als entsprechender Bezugspunkt gewählt (38).



- | | |
|-----------|---|
| d | vertikaler Abstand zwischen Kronsaum und Processus extensorius |
| h | Abstand zwischen der Klauenbeinspitze und der Spitze der Hornschuhinnenseite |
| s | vertikaler Abstand Klauenbeinspitze zur Spitze der Hornschuhinnenseite |
| ws | Wandlederhautdicke an der Spitze |
| wm | Wandlederhautdicke in der Mitte der dorsalen Wand |
| k | Abstand Kronsaum zu Spitze Hornschuhinnenseite |
| p | vertikaler Abstand zwischen Processus extensorius und Sohlenfläche des Klauenbeines |

Abb. 16: Schematische Darstellung der Messungen am Röntgenbild nach LISCHER (2000) (38)

EBEID (1992) untersuchte im Rahmen seiner Dissertation 200 Füße von 50 Schweizer Braunviehrindern, im Alter von einem bis neun Jahren ohne Erkrankungen der Klauen. Die Füße wurden vor der Untersuchung gesäubert, getrocknet und die Haut interdigital eingeschnitten. Dieser Schnitt hatte das Ziel, den Film weiter nach proximal einlegen zu können. Die dorsopalmare bzw. -plantare Aufnahmeebene wurde mit einem am Gerät fixierten Keilfilter und unter Verwendung eines Rasters bei einem Film-Fokus-Abstand von 120cm angefertigt. Die interdigitale Aufnahme erfolgte ebenfalls bei einem Film-Fokus-Abstand von 120 cm. An den dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahmen (Abb. 18) wurden folgende Werte bestimmt:

Breite und Länge des Klauenbeines

- Breite des Klauenbeines am querverlaufenden Durchmesser vom abaxialen zum axialen Rand an der breitesten Stelle. Die Klauenbeine der Vorderklauen waren breiter als die der Hintergliedmaßen. Dabei erreichten die Vorderklauen Werte von 31,88 mm, die Hinterklauen von 30.55 mm.
- Länge des Klauenbeines mittels des Abstandes vom Gelenkrand des Klauengelenkes zur Zehenspitze durch die Mitte des queren Durchmessers. Die Vorderklauen hatten eine Länge von 47.6 mm, die Hinterklauen von 51.3 mm.

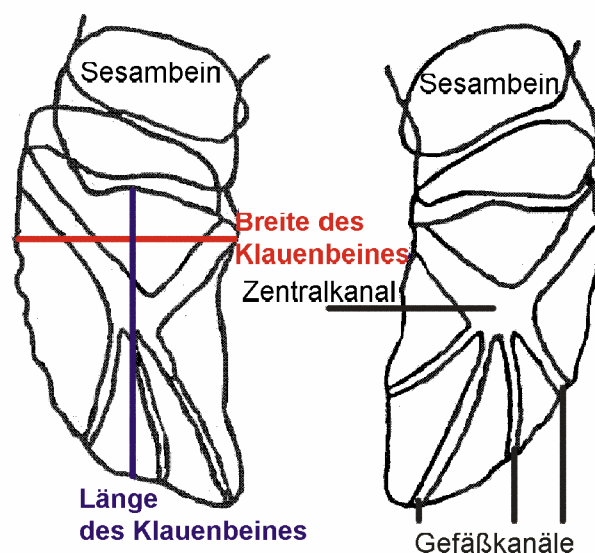


Abb. 17: Schematische Darstellung der beurteilten Parameter, dorsoplantare Aufnahme nach EBEID (1992) (18)

Zahl und Weite der Gefäßkanäle:

- alle gut erkennbaren Kanäle vom Sohlenkanal zum Sohlenrand. Die Anzahl betrug hinten und vorne 5.57.
- Ein maximaler Durchmesser von 3.5 mm und ein minimaler von 1.0 mm wurde an ihrem Endpunkt am Sohlenrand bestimmt.

Auftreten und Größe des distalen Sesambeines:

- die Größe als Breite zu Länge ergab Werte von 48.3 mm an den Vorderklauen und 48.6 mm an den Hinterklauen

Distales Interphalangealgelenk:

- die Weite des Gelenkspaltes in mm am höchsten Punkt des Processus extensorius betrug zwischen 1.0-2.0 mm

An den eingelegten Aufnahmen führte er keine Messungen durch. Es erfolgte lediglich eine Beurteilung der abgebildeten Strukturen (Abb. 18) (18).

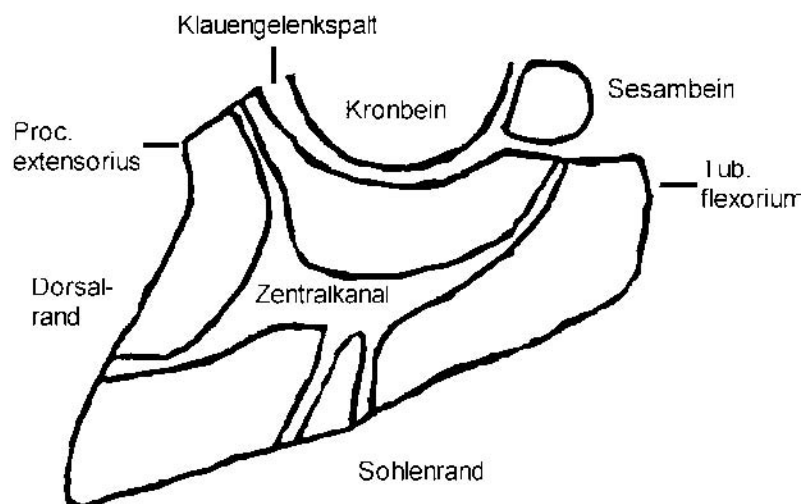


Abb. 18: Schematische Darstellung der beurteilten Parameter, laterale Aufnahme nach EBEID (1992) (18)

SIMON (1963) führte an Röntgenaufnahmen von Sagittalschnitten von 23 normalen und 33 übermäßig langen Klauen Messungen am Klauenbein durch. Die Fläche der Schnitte ermittelte er planimetrisch anhand der Röntgenaufnahmen. Die Fläche an den medialen Klauen der Vordergliedmaße war größer als an den lateralen. An den Klauen der Hintergliedmaßen ergab sich ein uneinheitliches Bild. Das Verhältnis vom knöchernen Klauenbein zur Markhöhle zeigte eine starke Variation. Das Verhältnis der Länge des Klauenbeines zur Höhe betrug bei den übermäßig langen Klauen durchschnittlich 2,22, bei den normalen 2,10. Der Unterschied war nicht signifikant. Der Winkel an der Spitze erreichte bei den überlangen Klauen durchschnittlich $35,0^\circ$, bei den normalen $36,7^\circ$. Diese Differenz war signifikant (67).

NÜSSKE (2002) führte an 49 Kälbern ab 4 Tagen p.p. vier Untersuchungen im 3 Wochen Intervall mittels Dual Energy X-Ray durch. Er bestimmte von der Spitze der Klaue bis zum Fesselgelenk den Mineralgehalt der Knochen, die Knochendichte, die Fettprozent und den Weichteilkoeffizienten. Die Dichte war hinten medial signifikant geringer, vorne medial nicht signifikant größer als an der Partnerklaue. Er schloss aus der stärkeren Mineralisation auf eine größere Lastaufnahme hinten außen und vorne innen. Die Dichte war an den Hintergliedmaßen im Allgemeinen geringer als an den Vordergliedmaßen, da 60% des Gewichtes auf den Vorderbeinen zu tragen kommen (52).

3 Material und Methode

3.1 Patienten

Die Untersuchung wurde an 77 Kälbern im Alter zwischen einem Tag und sechs Monaten durchgeführt. Sie gehörten der Rasse Deutsches Fleckvieh an. Die Hauptuntersuchungsgruppe bildeten 40 Tiere. Sie wiesen keine Erkrankung an den Gliedmaßen auf. Von diesen 40 lahmheitsfreien Tieren waren 22 männlich, 18 weiblich. Das Durchschnittsalter betrug 75,4 Tage (Abb. 20). Für einen Altersgruppenvergleich wurden die Tiere in zwei Gruppen - unter und über 7 Wochen alt - aufgeteilt (Tab. 12). In der Altersgruppe „unter 7 Wochen“ waren 53% männlich und 47% weiblich, in der Gruppe „über 7 Wochen“ waren 56,5% männlich und 43,5% weiblich.

Tab. 12: Geschlechts- und Altersverteilung in der Hauptuntersuchung „Tiere ohne Lahmheit“ und der Vergleichsgruppe „Tiere mit Lahmheit“

Anzahl der Tiere gesamt 77 (100%)		männlich	weiblich	< 7 Wochen	> 7 Wochen
Tiere ohne Lahmheit	40 (63%)	22 (55%)	18 (45%)	17 (43%)	23 (57%)
Durchschnittsalter (in Tagen)	75,4	85,6	62,8	27,8	110,5
Tiere mit Lahmheit	37 (37%)	22 (60%)	15 (40%)	29 (78%)	8 (22%)
Durchschnittsalter (in Tagen)	39,7	45,2	31,5	23,0	100,1

Die weiteren 37 Tiere mit Erkrankungen der Gliedmaßen, jedoch nicht der Klauen, bildeten eine Vergleichsgruppe für die Messungen. Ihre Daten wurden separat ausgewertet. Bei den Tieren mit einer Lahmheit waren 22 männlich. Das Durchschnittsalter lag mit 39,7 Tagen unter dem der Tiere ohne Lahmheit. In der Altersgruppe „unter 7 Wochen“ waren 55% männlich und 45% weiblich, in der Gruppe „über 7 Wochen“ waren 75% männlich und 25% weiblich (Abb. 20). Einen Überblick über die Erkrankungen der Kälber gibt Tab. 13.

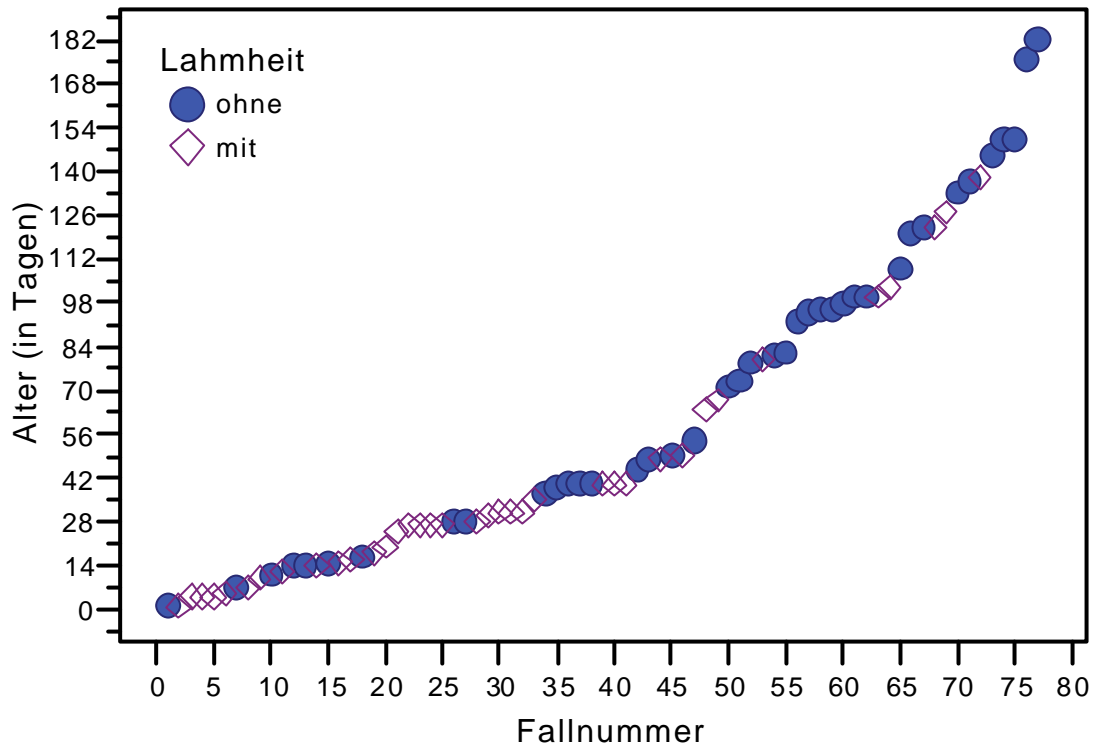


Abb. 20: Altersverteilung der untersuchten Kälber, getrennte Darstellung der lahmheitsfreien Tiere (Hauptuntersuchung) und der lahmen Tiere (Vergleichsgruppe)

Die klinische und röntgenologische Untersuchung der Klauen erfolgte einmalig während des Aufenthaltes in der Klinik. Von den 77 Tieren wurden 53 behandelt, 24 Tiere wurde wegen der Schwere der Erkrankung eingeschläfert (Tab. 13). Von diesen wurden alle vier Gliedmaßen gekennzeichnet und im Metakarpus bzw. Metatarsus abgetrennt. Davon entfielen 10 Tiere auf die Gruppe der Hauptuntersuchung.

Eine Klauenpflege wurde vor den Messungen nicht durchgeführt. Bei insgesamt 16 Tieren wurde das noch frische Eponychium entfernt, damit eine exakte Datenerhebung im Sohlenbereich möglich war. Davon entfielen 6 Tiere auf die Hauptuntersuchung.

Tab. 13: Verteilung der Erkrankungen bei eingeschläferten und behandelten Tieren getrennt für Hauptuntersuchung (Tiere ohne Lahmheit) und Vergleichsgruppe

	Eingeschläferte Tiere		Behandelte Tiere	
Hauptuntersuchung: Tiere ohne Lahmheit				
	10		30	
Nabel	1	Omphalophlebitis und –arteriitis	13	Hernia umbilicalis (4), Urachus persistens (3), Omphalitis (3), Entzündung der Nabelgefäße (5)
Abdomen etc.	3	Perforierendes Labmagenulcus(2), Harnröhrenobstruktion(1)	5	Pansentympanie(2), Peritonitis(1), Volvulus(1), Harnröhrenobstruktion(1)
Missbildungen	2	Ventrikelseptumdefekt und Aortentransposition(1), Wolfsrachen(1)	1	Lippen-Gaumenspalte
Andere	4	Infektionen (aus Pathologie)	2	Diastemafaktur(1), Abszeß Lnn. Mandibularis(1)
Gesund	X		9	davon 6 Tiere zur Implantatentfernung (6)
Vergleichsgruppe: Erkrankungen der Gliedmaßen				
	14		23	
Gelenke	9	Polyarthritits (5), Polyarthritits und Omphalophlebitis (3), Carpitis (1)	5	Carpitis(2),Coxarthritits(1), Arthritits cubiti(1), Fesselgelenksentzündung(1)
Frakturen	4	Femurfraktur(3), Tibiafraktur(1)	11	Femurfraktur(3), Tibiafraktur(7), Metatarsusfraktur(1)
	X		2	Implantatentfernung
Nervenlähmung	1	Luxatio capitis ossis femoris rechts und Parese des Nervus femoralis und Tibialis links	2	Femoralisparese(1), Ischiadicusparese(1)
Sonstiges	X		3	Muskeltrauma(1), Abszeß Fesselkopf(1), Sequester(1)
Gesamt	24		53	

Die Tiere entstammten verschiedenen Betrieben. In Tab. 14 ist die Verteilung der Aufstallungssysteme, soweit sie bei der Einlieferung angegeben worden waren, aufgeführt.

Tab. 14: Übersicht über die Aufstallungssysteme vor Einlieferung

Aufstallung	Gesamt	Präparate	Andere
Strohbox	27	5	22
Iglu	2	0	2
Anbindehaltung	5	0	5
Laufstall, Spalten	16	4	12
Laufstall, Einstreu	2	-	2
Gemischt (Einstreubox, später 3 Wochen auf Spalten)	1	-	1
Ohne Angabe	24	15	9
Gesamt	77	24	53

3.2 Gliedmaßenstellung und allgemeine Untersuchung der Klauen

3.2.1 Gliedmaßen- und Zehenstellung

Bei den 53 behandelten Tieren erfolgte eine Beurteilung der Gliedmaßen- und Zehenstellung am stehenden Tier von vorn, von der Seite und von hinten nach den üblichen Richtlinien (30). Davon entfielen 30 Tiere auf die Hauptuntersuchung, 23 Tiere auf die Vergleichsgruppe, Tiere mit Lahmheit. Die Befunde wurden auf Blatt 1 des Untersuchungsplanes festgehalten (Tab. 15). Bei den 24 vor der Untersuchung eingeschläferten Tiere wurde diese Beurteilung nicht durchgeführt.

Tab. 15: Blatt 1 des Untersuchungsplanes, Teil 1: Beurteilung der Gliedmaßen- und Zehenstellung

	vorne		hinten		Vorne	hinten
regelmäßig						
vorständig				vorbiegig		
rückständig		säbelbeinig		rückbiegig		
bodenweit				weich gefesselt		
bodeneng				steil gefesselt		
X-beinig		kuhhessig		durchtrittig		
O-beinig		faßbeinig				
zehenweit				spitzgewinkelt		
zeheneng				stumpfgewinkelt		

3.2.2 Allgemeine Untersuchung der Klauen

Nach Verbringen des Tieres in rechter oder linker Seitenlage auf einen hydraulischen Klauenwagen oder auf einen Untersuchungstisch wurden die Klauen mittels Rinnmesser, warmem Wasser, Seifenlösung und Bürste gereinigt und der Kronsaum geschoren. Das Scheren erfolgte, um eine möglichst genaue Festlegung der Messpunkte zu gewährleisten.

Es folgte eine adspektorische und palpatorische Untersuchung der Klauen. Unruhige Tiere wurden vor dem Ablegen sediert. Dies war nur bei wenigen Kälbern erforderlich. Die Adspektion beinhaltete die Beurteilung der Hornschuhs und der umgebenden Hautbereiche und erfolgte bei allen 77 Tieren. Die Palpation erfolgte bei den 53 behandelten Tieren im Hinblick auf Temperatur, Schmerzhaftigkeit, Umfangsvermehrung der umgebenden Weichteile und Untersuchung des Klauengelenkes in Beugung, Streckung und Drehung. Die Befunde wurden auf Blatt 1, Teil 2 des Untersuchungsplanes festgehalten (Tab. 16).

3.2.2.1 Übergang der behaarten Haut in den Saum

Im Laufe der Untersuchung fiel bei mehreren Tieren auf, dass der Verlauf des Saumes im Vergleich der lateralen und medialen Klaue einen Niveauunterschied aufwies. In der Folge

wurde auf dies vermehrt geachtet und die Befunde der 66 noch folgenden Tiere notiert. Es erfolgte eine adspektorische Einteilung in vier Stufen:

- (1) unauffällig (adspektorisch kein Unterschied)
- (2) Saum einer Klaue geringgradig weiter proximal (Unterschied ca. 1mm),
- (3) weiter proximal (Unterschied 1-2mm),
- (4) deutlich weiter proximal (Unterschied mehr als 2mm).

3.2.2.2 Dorsalseite, Wand, axialer und abaxialer Ballen

Bei der Beurteilung der Klauenplatte wurde insbesondere auf die Form und den Wandverlauf geachtet. Im Bereich des Hornes der Dorsalwand und der abaxialen Wand trat bei 13 Tieren eine Einziehung im Horn auf. Dies wurde im Untersuchungsplan notiert und der Abstand dieser Einziehung vom Saum im Bereich der Messung der Dorsalwandlänge (Kap. 3.3.2) an allen betroffenen Klauen mit Hilfe einer Schublehre 150 x 0,05 mm in Millimetern bestimmt.

3.2.2.3 Eponychium

Bei den jungen Kälbern wurde auf Vorhandensein und Ausprägung des Eponychiums geachtet. Die Ausprägung des Eponychiums wurde in vier Stufen eingeteilt:

- (3) komplett vorhanden;
- (2) zu zwei Dritteln vorhanden;
- (1) zu einem Drittel vorhanden;
- (0) kein Eponychium vorhanden.

3.2.2.4 Bereich der Sohle

Es erfolgte eine Beurteilung der Ausformung der Sohle. Geachtet wurde auf Unebenheiten, die Lage der Sohle zu einer gedachten Bodenfläche und die Darstellung des Tragrandes bzw. der weißen Linie.

3.2.2.5 Höhenunterschied zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße

Besonderer Wert wurde auf die Beachtung eines Höhenunterschiedes der Sohlenfläche beider Klauen gelegt. Eine Plexiglasplatte wurde im rechten Winkel zur Zehenachse an die Klauen angelegt und der Niveauunterschied beurteilt. Die Bewertung erfolgte in drei Stufen:

- (0) kein Unterschied,
- (1) geringe Höhendifferenz und
- (2) deutliche Höhendifferenz mit Angabe der schwebenden Klaue.

Tab. 16: Blatt 1 des Untersuchungsplans, Teil 2: Befunde an den Klauen

VLM: Klaue vorne links medial; VLL: Klaue vorne links lateral; VRM: Klaue vorne rechts medial; VRL: Klaue vorne rechts lateral; HLM: Klaue hinten links medial; HLL: Klaue hinten links lateral; HRM: Klaue hinten rechts medial; HRL: Klaue hinten rechts lateral

Aspektion	VLM	VLL	VRM	VRL	HLM	HLL	HRM	HRL
Form								
Hornbeschaffenheit								
Saum-, Kronband								
Eponychium								
Ballen (Erhöhung)								
Abfallen zum Zwischenklauenspalt								
Tragrand: erhöht								
eben								
angeglichen								
Dorsalwand: glatt								
Einziehung/Wulst								
Höhenunterschied								
Sonstiges								

3.3 Messungen am Hornschuh

An allen Klauen der Hauptuntersuchung und der Vergleichsgruppe wurden Dorsalwandlänge, Dorsalwandwinkel, Ballenlänge, Ballenhöhe, Sohlenlänge, Sohlenbreite und Sohlenfläche bestimmt. Der Ballenwinkel wurde im Laufe der Studie bei 38 Tieren der Hauptuntersuchung und 30 der Vergleichsgruppe mit hinzugezogen. Die Dorsalwandlänge, Ballenlänge und Ballenhöhe wurden mit Hilfe einer Schublehre 150 x 0,05 mm in Millimetern bestimmt, die Winkel mit einem Metallwinkelmesser.

3.3.1 Ermittlung der Messgenauigkeit

Zur Einübung der Messtechnik wurden vor Beginn der Untersuchung an den Klauen von 20 erwachsenen Tieren Messungen der Dorsalwandlänge, des Dorsalwandwinkels und der Länge und Höhe des Ballens am Hornschuh entsprechend der unten angegebenen Methodik durchgeführt. Die Messungen erfolgten an jeder Klaue und wurden im Anschluss zweimal wiederholt.

Die Messgenauigkeit der beiden an der Dorsalwand erhobenen Maße verteilte sich gleichmäßig auf die acht Einzelklauen. Bei den Ballenwerten zeigte sich eine ungleichmäßige Verteilung. Bei der Ballenlänge wiesen die Klauen hinten links lateral und hinten rechts medial und bei der Messung der Ballenhöhe ebenfalls die Klaue hinten rechts medial eine große Streuung der Werte zwischen den Gruppen, d.h. den einzelnen Messungen auf. Die statistische Auswertung der Messdaten der Voruntersuchung ergab eine Messgenauigkeit von 76,5% für die Dorsalwandlänge, 82,8% für den Dorsalwandwinkel, 69,2% für die Ballenlänge und 58,8% für die Ballenhöhe (Tab. 17).

Tab. 17: Messgenauigkeit der Parameter am Hornschuh, Voruntersuchung

Parameter	Voruntersuchung
Dorsalwandlänge	76,5 %
Dorsalwandwinkel	82,8 %
Ballenhöhe	58,8 %
Ballenlänge	69,2 %
Ballenwinkel	-
Einzug an der Dorsalwand	-

An 15 der eingeschlaferten Tiere der Studie wurde zum Abschluss der Untersuchung erneut die Messgenauigkeit bestimmt. Damit sollte das Auftreten eines Trainingseffektes dargestellt werden. Bei diesen wurde zusätzlich zu obigen Parametern auch eine Bestimmung der Messgenauigkeit für die Messung des Ballenwinkels und des Einzugs in der Dorsalwand vorgenommen.

Durch die Seitenlage waren bei den lebenden Kälbern die untenliegenden Klauen für die Messung, insbesondere der Ballenwerte, schwerer zugänglich. Deshalb wurde bei 44 Tieren notiert, auf welcher Seite sie abgelegt worden waren und nach Beendigung der Untersuchung eine vergleichende Auswertung der oben- und untenliegenden Klauen vorgenommen. Bei der rechten Seitenlage waren die Klauen rechts medial und links lateral besser zugänglich, bei der linken Seitenlage dementsprechend die links medialen und die rechts lateralen. Die statistische Auswertung erfolgte für die Gruppen „Seitenlage rechts“ (21 Tiere) und „Seitenlage links“ (23 Tiere) getrennt. Verglichen wurden jeweils die Parameter der medialen bzw. lateralen Klauen der rechten mit denen der linken Seite.

3.3.2 Erhobene Messparameter

Die **Dorsalwandlänge** wurde, abhängig von der Größe des Tieres ca. 0,3-0,8 cm vom Zwischenklauenspalt entfernt, am Treffpunkt der abaxialen und der axialen Wand, als gerade Strecke zwischen Kronsaum und Margo solearis bestimmt (Abb. 21).

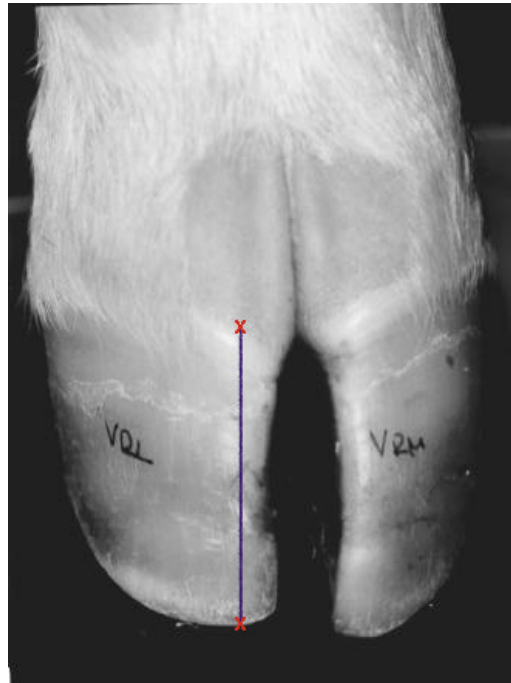


Abb.21: Bestimmung der Dorsalwandlänge; x: proximaler und distaler Messpunkt; blaue Linie: Strecke der Dorsalwandlänge

Der **Dorsalwandwinkel** wurde als Winkel in Grad, der zwischen Dorsalwand und Sohlenfläche eingeschlossen wird, gemessen (Abb. 22).

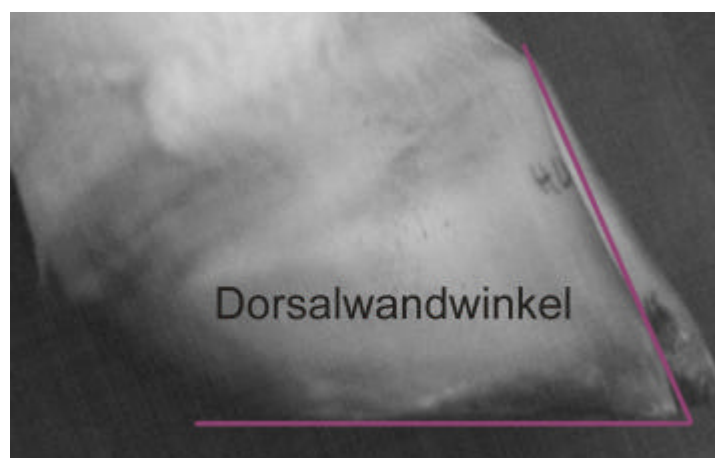


Abb. 22: Bestimmung des Dorsalwandwinkels

Die **Ballenhöhe** wurde palmar bzw. plantar als senkrechter Abstand vom höchsten Punkt des Margo coronalis im Ballenbereich zur Sohlenfläche gemessen (Abb. 23). Dazu wurde ein Schenkel des Winkelmessers plan auf die Sohle aufgelegt und stellte so die Verlängerung der Sohle dar. Die **Ballenlänge** wurde als kürzeste Verbindung dieses Punktes zum distalen Ende der Fußungsfläche bestimmt (Abb. 23). Der **Ballenwinkel** wurde mit einem Winkelmesser als Winkel in Grad, den Sohlenfläche und Ballenlänge einschließen, bestimmt (Abb. 23).

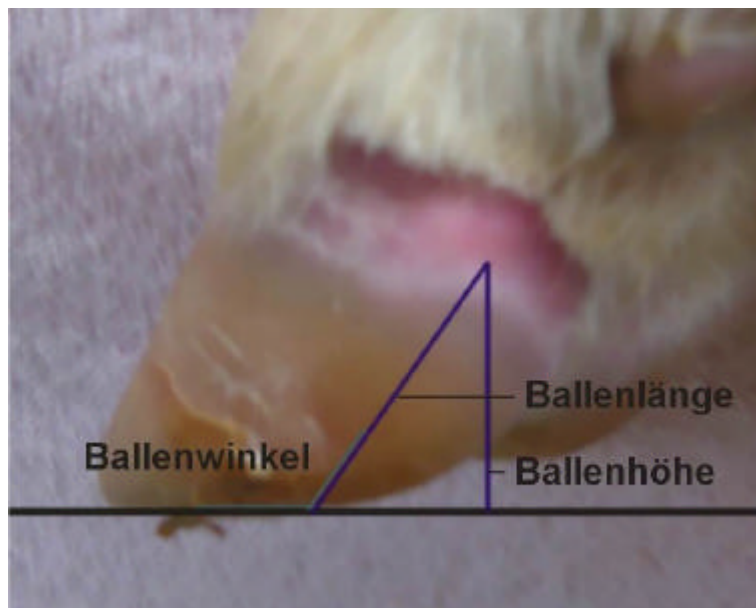


Abb. 23: Bestimmung von Ballenhöhe, Ballenlänge und Ballenwinkel

Zur Bestimmung von **Sohlenlänge**, **-breite** und **-fläche** wurde mit einem Graphitstift ein Abdruck der Sohlenfläche auf Transparentpapier angefertigt (Abb. 24) und die Maße auf dem Abdruck bestimmt. Im Laufe der Untersuchung erwies sich die Anfertigung eines Abdruckes bei vollständig ausgebildetem, frischem Eponychium als schwierig bis unmöglich. Das plantare bzw. palmare Ende der Belastungsfläche konnte meist nicht hinreichend sicher dargestellt werden. Ebenso erwies sich die genaue Abgrenzung der Seitenwände aufgrund der Wölbung des Sohlenkissens als unsicher. Infolgedessen wurde das Eponychium vor der Messung und der Anfertigung der Abdrücke bei 6 Tieren der Haupt- und 10 der Vergleichsgruppe entfernt.

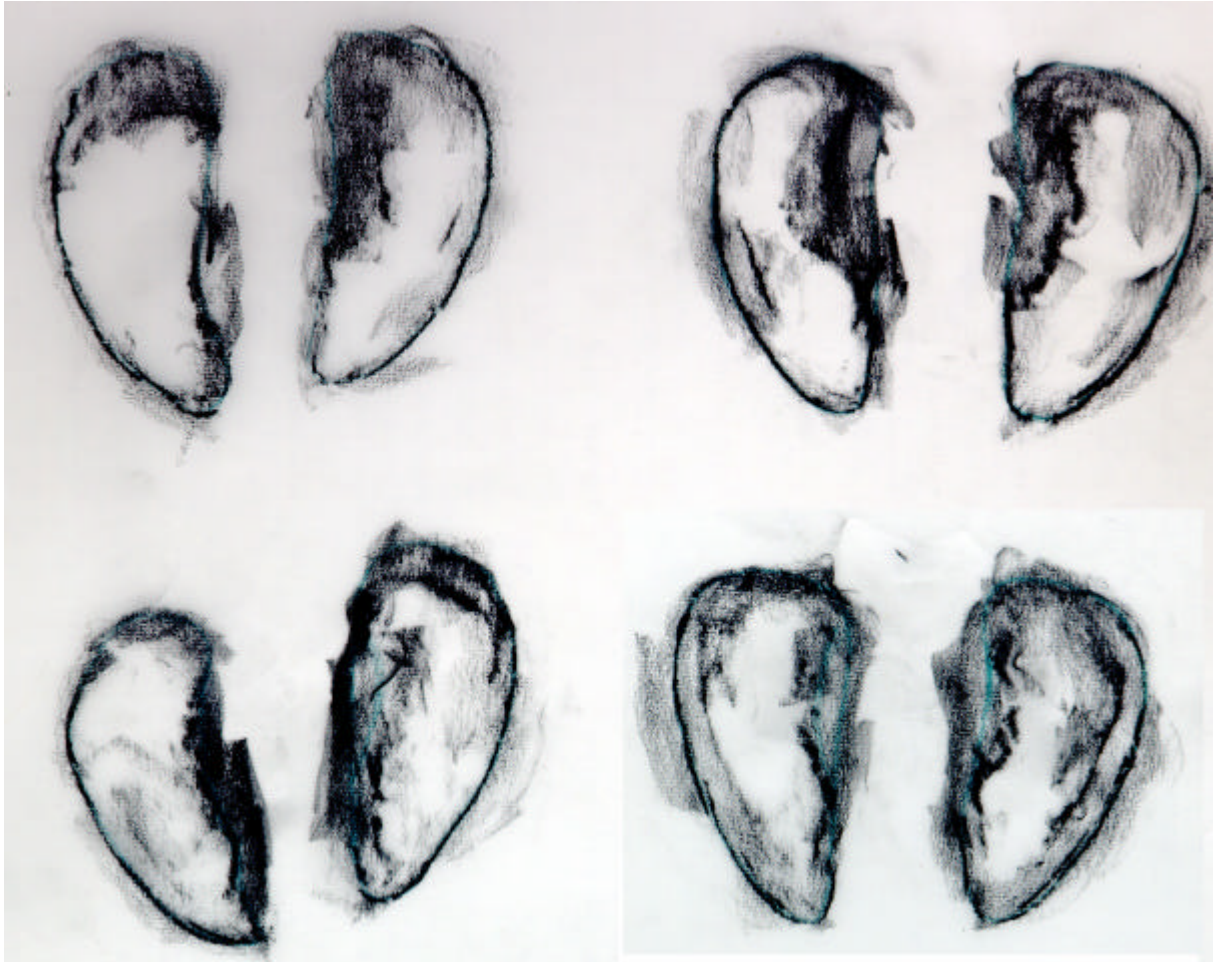


Abb. 24: Sohlenabdruck mittels Graphitstift, Fleckviehkalb, 1 Tag alt, Eponychium entfernt: von links oben nach rechts unten: Klauen vorne links lateral, vorne links medial, vorne rechts medial, vorne rechts lateral, hinten links lateral, hinten links medial, hinten rechts medial, hinten rechts lateral

Durch Abgreifen mittels eines Stechzirkels wurde die **Sohlenlänge** als Strecke zwischen der weitesten Ausprägung des Ballens und der Klauenspitze bestimmt. Diese wurde als Linie auf dem Abdruck eingezeichnet (L, Abb. 25). Zur Ermittlung einer **Sohlenbreite** wurde, da im Ballenbereich kein sicher wiederholbarer Messpunkt zu bestimmen war, der axiale Endpunkt des Tragrandes als axialer Punkt festgelegt. Von diesem ausgehend wurde die Sohlenbreite anschließend senkrecht zur Länge bestimmt (B, Abb. 25).

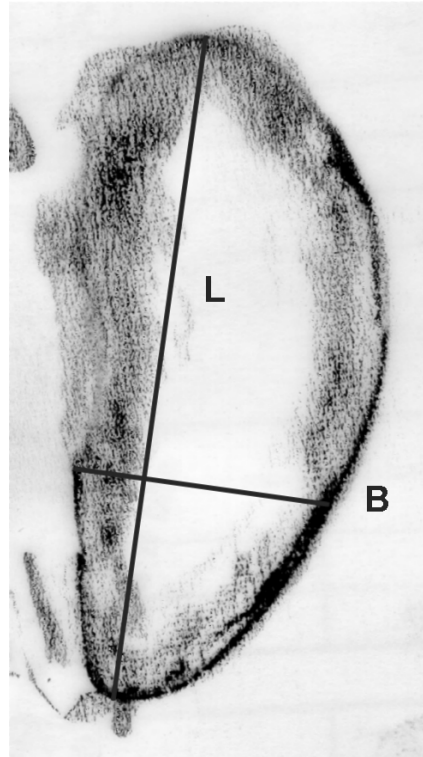


Abb.25: Länge (L) und Breite (B) der Fußungsfläche am Graphitabdruck

Die **Sohlenfläche** am Sohlenabdruck wurde, nachdem die Abdrücke gescannt worden waren, mit dem Programm Image Tool™ der University of Texas, Health Science Center, San Antonio ermittelt.

3.4. Röntgenologische Untersuchung

Die röntgenologische Untersuchung erfolgte mit einem fahrbaren Röntgengerät, Polymobil, der Fa. Siemens. Bei den mit Hilfe des Klauenwagens abgelegten Tieren wurden von den Vordergliedmaßen Aufnahmen mit dorsopalmarer Strahlengang angefertigt, von den Hintergliedmaßen mit plantarodorsaler Strahlenrichtung, da das Gerät nicht mit ausreichendem Abstand zwischen die fixierten Gliedmaßen eingebracht werden konnte. Bei den kleineren, auf dem Untersuchungstisch abgelegten Tieren war es einer Hilfsperson möglich, die

Vordergliedmaßen aus dem Strahlengang zu halten. Bei diesen wurde an allen Gliedmaßen der dorsopalmare bzw. –plantare Strahlengang gewählt. Es wurden Klauen-, Kron-, Fesselbein und der distale Teil des Metacarpus bzw. –tarsus abgebildet. Die Zehen wurden gestreckt gehalten. Eine 24x30 cm oder 18x24 cm große Röntgenkassette mit Verstärkerfolie und einem Agfa Curix 1.000HC Film wurde dazu entsprechend an der dorsalen, palmaren bzw. plantaren Zehenseite angelegt und die laterale Zehe markiert. Bei einem Film-Fokus-Abstand von 100 cm wurden Belichtungswerte von 40-50 kV und 16-20 mAs gewählt. Der Zentralstrahl war auf Höhe des Kronbeines horizontal zwischen die beiden Zehen gerichtet.

Die erhaltene Aufnahme wurde auf eine symmetrische Lage der proximalen Sesambeine, eine klare Trennung der Kondylen des Metacarpus bzw. –tarsus und die zentrale, überlagerungsfreie Lage der Gefäßlöcher im distalen Bereich des Metacarpus bzw. –tarsus geachtet. Gegebenenfalls wurden die Aufnahmen wiederholt.

Die Zehen der eingeschläferten Tiere wurden vom Zwischenklauenspalt ausgehend getrennt, so dass überlagerungsfreie Aufnahmen im abaxio-axialen Strahlengang von allen acht Einzelklauen angefertigt werden konnten. Hierzu wurde ein folienloser Film Agfa Curix 1.000HC Größe 13x18 cm verwendet. Dieser wurde in den präparierten Zwischenklauenspalt eingelegt. Die Aufnahme erfolgte mit einer Belichtung von 60-70 kV und 25-32 mAs bei einem Film-Fokus-Abstand von 100 cm. Es wurde eine Einfallrichtung von 90° zur Extremitätenachse gewählt zur parallaxenfreien Darstellung von Dorsalrand, Sohlenfläche und Tuberositas flexoria. Der Zentralstrahl war auch bei dieser Aufnahmeebene auf den Bereich des Kronbeines gerichtet. Die Qualität dieser Aufnahmen war jedoch nicht zufriedenstellend. Die Struktur und Kontur der Knochen trat nicht klar hervor. Zudem war eine Darstellung der distalen Anteile des Röhrlbeines von der Wachstumszone zu den Gelenkflächen des Fesselbeines nicht möglich. Deshalb wurde die Methodik nach fünf Tieren geändert. An den weiteren 19 Tieren wurde deshalb nach der Präparation des Zwischenklauenspaltes das Röhrlbein im Zwischenkondylenbereich mit Hilfe einer Bügelsäge geteilt. Die laterale bzw. mediale Zehe konnte damit mit dem ihr zugehörigen Anteil des Röhrlbeines bis über dessen distale Epiphysenfuge hinaus dargestellt werden. An diesen Präparaten war zudem eine Aufnahme mit einer mit Verstärkerfolie versehenen Röntgenkassette entsprechen den dorsopalmaren bzw. –plantaren Aufnahmen möglich.

Von den bei den 40 Tieren der Hauptuntersuchung angefertigten Röntgenbildern in der dorsopalmaren bzw. –plantaren Aufnahmeebene konnten 152 ausgewertet werden, davon entfielen 75 auf Vorder- und 77 auf Hintergliedmaßen. Die Aufnahmen mit abaxio-axialen

Strahlengang konnten bei 8 Tieren ausgewertet werden, dies entsprach 64 Röntgenbildern in dieser Ebene. Eine von den Messungen am Hornschuh abweichende Fallzahl ergab sich aufgrund der Tatsache, dass nicht auf allen Röntgenbildern die Metakarpus- bzw. Metatarsusfuge komplett abgebildet war. Eine Messung der Länge der Metakarpus- und der Metatarsusepiphyse konnte bei diesen Aufnahmen nicht durchgeführt werden, die betroffenen Aufnahmen wurden nicht in die Auswertung miteinbezogen. Dadurch kam es zu geringfügigen Veränderungen der Alters- und Geschlechtsverteilung im Vergleich zu den Messungen am Hornschuh. Die geänderten Daten sind in Tab. 18 dargestellt, die entsprechenden Daten für die Messungen am Hornschuh in Tab. 12 (Kap. 3.1). Von den 37 Tieren mit Lahmheit der Vergleichsgruppe wurden 124 Röntgenbilder der dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahmeebene und 104 der abaxio-axialen Ebene ausgewertet.

Tab. 18: Geschlechts- und Altersverteilung in der Hauptuntersuchung „Tiere ohne Lahmheit“ und der Vergleichsgruppe „Tiere mit Lahmheit“ für die Auswertung an den Röntgenaufnahmen beider Ebenen

Anzahl der Tiere		dorsopalmare/plantare Aufnahme			abaxio-axiale Aufnahme		
Gesamtmaterial (Röntgen)	74	Alter (in Tagen)	männlich	weiblich	Alter (in Tagen)	Männlich	weiblich
Tiere ohne Lahmheit	39	75,1	21 (62,5%)	18 (37,5%)	69,9	5 (53%)	3 (47%)
Tiere mit Lahmheit	35	38,1	22 (77%)	13 (23%)	27,1	10 (66%)	4 (34%)

3.4.1 Beurteilung der Knochen und Gelenke

An den Röntgenbilder beider Aufnahmeebenen wurden die Gelenke in Hinblick auf den Verlauf und die Begrenzung der Knochenränder, die Symmetrie und gleichmäßige Weite des Gelenkspaltes betrachtet. Die abgebildeten Knochen wurden ferner ebenfalls auf ihre Begrenzung, Struktur und Ausformung untersucht. Das Auftreten von Wachstumsfugen, deren Struktur und Verlauf wurden dokumentiert. Auffälligkeiten an diesen Strukturen wurden dokumentiert.

3.4.2 Auftreten und Größe des Ossifikationskernes des Klauensesambeines

Im Besonderen wurde das Auftreten und die Ausbildung des distalen Sesambeines dokumentiert. Da von insgesamt 276 Gliedmaßen, d.h. 552 Zehen, Aufnahmen der dorsopalmaren bzw. -plantaren Ebene vorlagen, von den Bildern der Einzelzehen in abaxio-axialer Ebene dagegen lediglich 168, wurden die Röntgenbilder der dorsopalmaren bzw. -plantaren Ebene für die Auswertung herangezogen. Die Größe des Ossifikationskernes des distalen Sesambeines wurde an den Aufnahmen mit dorsopalmaren bzw. -plantaren Strahlengang adspektorisch in vier Stufen (Abb. 26) eingeteilt:

- (3) Sesambein nimmt annähernd die gesamte Breite des distalen Kronbeines ein;
- (2) Sesambein nimmt ca. zwei Drittel der Breite des distalen Kronbeines ein;
- (1) Sesambein nimmt ca. ein Drittel der Breite des distalen Kronbeines ein;
- (0) kein Ossifikationskern zu erkennen.

Um eine Unterscheidung bezüglich der III. und IV. Zehe zu ermöglichen, wurden in 0,5er Schritten Zwischenstufen ergänzt.

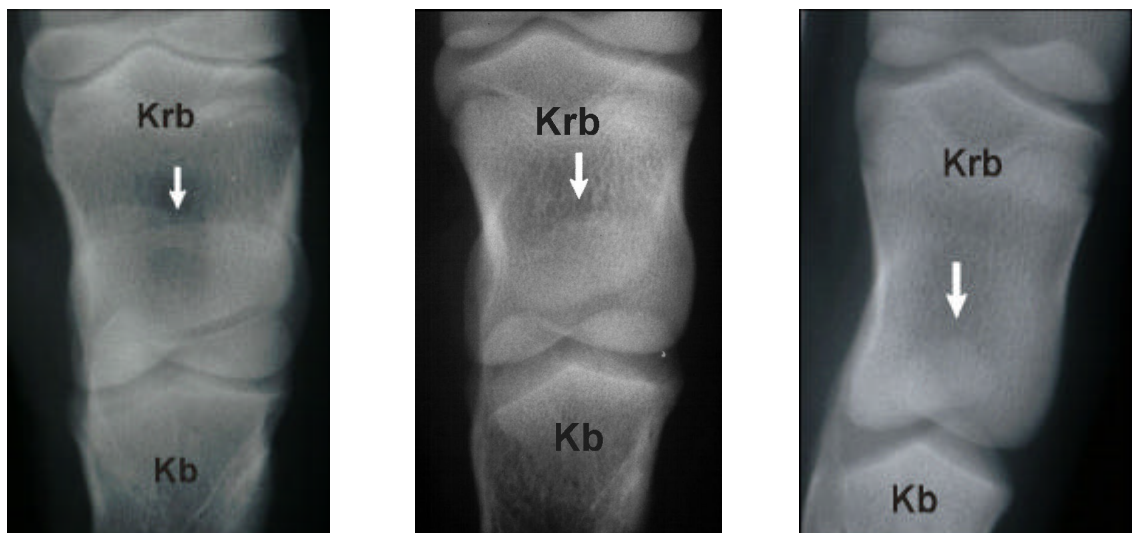


Abb. 26: Ossifikationskern des distalen Sesambeines (Pfeil) an den dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahmen, von links nach rechts: Größenstufe (3), -stufe (2) und (1); Krb: Kronbein, Kb: Klauenbein

3.4.3 Beurteilung der Weichteile

Am Weichteilschatten wurde auf eventuell auftretende Schwellungen und Fremdkörper geachtet. Insbesondere war die Darstellbarkeit der Hornschuhgrenzen von Interesse. Auffälligkeiten am Weichteil und am Hornschuh wurden dokumentiert.

3.5 Messungen an den Röntgenbildern

Die Messungen an den Knochen wurden anhand der Röntgenaufnahmen erhoben. Die Röntgenbilder wurden mit einem HP-DeskScan III digitalisiert und anschließend die Messungen durchgeführt. Die Messungen erfolgten mit Hilfe des Programmes Metron PX™ der Firma Epona Tech, Creston, USA. Als Skala dienten die, als Seitenmarkierung bei jeder Röntgenaufnahme angebrachten, Seitenzeichen.

3.5.1 Messgenauigkeit

3.5.1.1 Methodik

Zur Bestimmung der röntgenologische Verzerrung wurden an einem Präparat insgesamt 60 Aufnahmen mit einer Metallmarkierung angefertigt. Die Markierungen wurden jeweils im Bereich des Fesselbeines - Länge der Markierung 5 cm -, des Kronbeines - Länge der Markierung 3 cm - und des Klauenbeines - Länge der Markierung 4 cm - dorsal fixiert.

Es wurden dorsopalmare bzw. – plantare Aufnahmen sowie nach Präparation abaxio-axiale Aufnahmen der gesägten Zehe mit Ausrichtung des Zentralstrahles im 90°-Strahlengang auf Höhe des Kronbeines, angefertigt. Zusätzlich wurden in der Vertikalen versetzte Aufnahmen angefertigt. Der Zentralstrahl wurde dabei in der einen Reihe auf das Klauenbein, in der anderen auf das Fesselbein gerichtet. Die Veränderung der Werte durch Schrägaufnahmen im

Bereich der Vertikalachse wurden durch zwei weitere Untersuchungsreihen beurteilt. Es wurden zusätzlich zu den 90°-Aufnahmen 100°- und 80°-Aufnahmen angefertigt.

Schrägaufnahmen in der Horizontalen wurden durch die erste Beurteilung nach der Anfertigung der Aufnahmen ausgeschlossen, da dies ein Ausschlusskriterium darstellte. Die Aufnahmen wurden wiederholt, bzw. nicht ausgewertet.

Zur statistischen Auswertung wurde die Länge der auf der Röntgenaufnahme abgebildeten Drahtmarkierung bestimmt. Diese wurde anschließend mit der tatsächlichen Länge des Drahtes verglichen.

3.5.1.2 Ergebnis

Es kam in allen Fällen zu einer Vergrößerung der tatsächlichen Länge der Markierung durch die Abbildung auf dem Röntgenbild. Die Länge der Markierung im Bereich des Fesselbeines betrug 50 mm, am Röntgenbild hingegen durchschnittlich 53,6 mm. Die Markierung die im Bereich des Kronbeines angebracht worden war, war 30 mm lang, am Röntgenbild stellte sie sich durchschnittlich 32,2 mm lang dar. Im Bereich des Klauenbeines hatte die Markierung eine Länge von 40 mm. Sie erreichte am Röntgenbild eine durchschnittliche Länge von 41,2 mm. Die Markierung im Bereich des Klauenbeines zeigte die größte Variation in den einzelnen Werten, mit einer Standardabweichung von 1,73 bei einem Minimum von 37 mm und einem Maximum von 43,5 mm. Die beiden anderen Messwerte zeigten hingegen geringere Standardabweichung von 0,62 am Kronbein und von 0,67 am Fesselbein. Mit der Änderung des Strahlenwinkels wurden höhere Standardabweichungen hervorgerufen als mit der örtlichen Verlagerung des Zentralstrahles (Tab. 19)

Tab. 19: Länge der Drahtmarkierungen bei den Aufnahmearten Standard, d.h. Zentralstrahl mit 90° auf Kronbein; Zentralstrahl verändert, d.h. mit 90° auf Fessel- oder Klauenbein und Winkel verändert, d.h. Zentralstrahl mit 80° bzw. 100° auf Kronbein

Länge der Markierung	Aufnahmetechnik	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
am Fesselbein (tatsächliche Länge: 50 mm)	Standard	4	53,50	0,58	53,0	54,0
	Zentralstrahl verändert	8	53,63	0,44	53,0	54,0
	Winkel verändert	8	53,56	0,94	52,5	55,0
	Gesamt	20	53,58	0,67	52,5	55,0
am Kronbein (tatsächliche Länge: 30 mm)	Standard	4	32,25	0,29	32,0	32,5
	Zentralstrahl verändert	8	32,13	0,35	31,5	32,5
	Winkel verändert	8	32,25	0,93	30,5	33,0
	Gesamt	20	32,20	0,62	30,5	33,0
am Klauenbein (tatsächliche Länge: 40 mm)	Standard	4	41,00	1,15	40,0	42,0
	Zentralstrahl verändert	8	41,25	1,51	39,0	43,5
	Winkel verändert	8	41,13	2,28	37,0	43,0
	Gesamt	20	41,15	1,73	37,0	43,5

Im Vergleich der an den Röntgenbildern gemessenen Markierungslängen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen Aufnahmearten. Dies betraf sowohl die Aufnahmen mit einem Strahlengang von 90°, bei denen der Zentralstrahl anstatt auf das Kronbein auf Fessel- oder Klauenbein gerichtet war, als auch die Aufnahmen im Strahlengang von 80° oder 100°. In Anbetracht dessen, dass die unterschiedlichen Aufnahmen keine Unterschiede in den Längen aufwiesen, ergab sich für die Längenmessungen eine Messgenauigkeit von 92–97 % (Tab. 20).

Tab. 20: Messgenauigkeit am Röntgenbild als Signifikanz der einfachen Varianzanalyse

	Signifikanz
Länge der Markierung am Fesselbein	0,958
Länge der Markierung am Kronbein	0,915
Länge der Markierung am Klauenbein	0,974

3.5.2 Messungen an der dorsopalmaren bzw. –plantaren Aufnahmeebene

3.5.2.1 Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten

Es wurden die Längen der Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse, der Kronbeine und der Fesselbeine aller Zehen bestimmt.

Damit ein proximaler Anhaltspunkt für die Länge der Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse festgelegt werden konnte, wurde eine senkrecht zur Medianlinie gelegene Linie im Fugenbereich gezogen. Ausgangspunkt für diese stellte der abaxiale Endpunkt der am weitesten distal verlaufenden Fugenlinie dar (Abb. 28). Ausgehend von dieser Linie wurde die Länge der jeweiligen Epiphyse als senkrecht zum distalen Endpunkt des Sagittalkammes der Gelenkwalze (Abb. 27) der entsprechenden Zehe verlaufende Linie bestimmt (Abb. 28, Llat MC bzw. LmedMC).

Die Länge des Fesselbeines stellte die direkte Verbindung zwischen dem tiefsten Punkt der Sagittalrinne der Fesselgelenksfläche und dem tiefsten Punkt der Rinne an der distalen Gelenkfläche dar (Abb. 27 und Abb. 28, LängelatPHI bzw. LmedPHI).

Die Länge des Kronbeines wurde ebenfalls als direkte Verbindung zwischen dem höchsten Punkt des Sagittalkammes der proximalen Gelenkfläche (Abb. 27) und dem höchsten Punkt des distalen Sattels ermittelt (Abb. 28, Länge latPHII bzw. LmedPHII).

Die Breite der Gelenkspalten der Fessel- und Krongelenke wurden als Verbindung der Endpunkte der beiden angrenzenden Längelinien definiert (Abb. 28, FGlat/med und KRGLat/med).

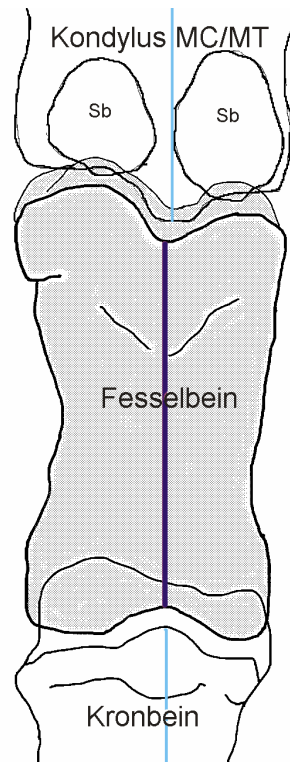
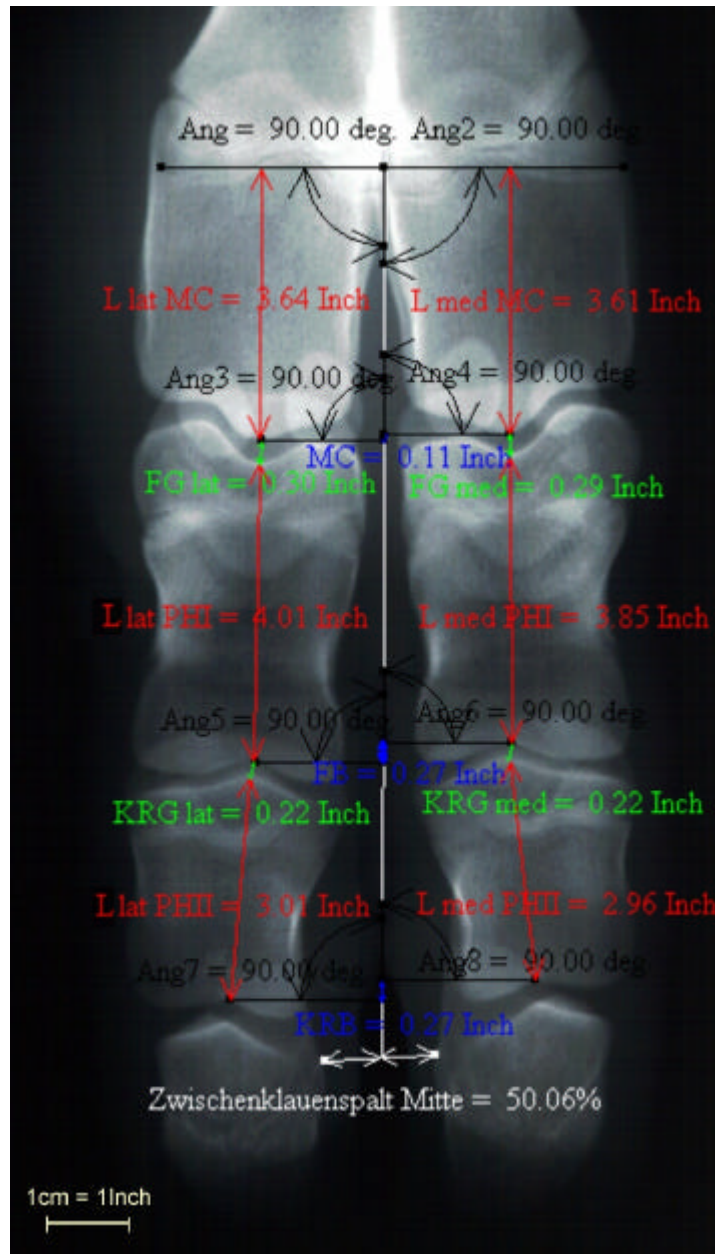


Abb. 27: Schematische Darstellung der Längenmessung am Fesselbein, dunkelblaue Linie: Länge des Fesselbeines, hellblauen Linien: distaler Anteil der Länge der Metakarpus- (MC) bzw. Metatarsusepiphyse (MT) und proximaler Anteil der Kronbeinlänge (Sb: proximale Sesambeine)

Auf eine Messung der Länge des Klauenbeines musste bei diesen Aufnahmen verzichtet werden, da eine sicher reproduzierbare Zuordnung der proximalen und distalen Messpunkte nicht in ausreichendem Maße möglich war. Bei einer Belichtung, die eine gute Messung an den proximalen Phalangen ermöglichte, war das Klauenbein überbelichtet. Ebenso wurde auf eine Messung der Knochenbreite der Phalangen aufgrund der unsicheren Festlegung von entsprechenden Messpunkten verzichtet.



LlatMC	Länge laterale Metakarpusepiphyse	FG lat	Breite laterales Fesselgelenk
LmedMC	Länge mediale Metakarpusepiphyse	FG med	Breite mediales Fesselgelenk
LlatPHI	Länge laterales Fesselbein	KRG lat	Breite laterales Krongelenk
LmedPHI	Länge mediales Fesselbein	KRG med	Breite mediales Krongelenk
LlatPHII	Länge laterales Kronbein	LmedPHII	Länge mediales Kronbein

Höhenunterschied zwischen den lateralen und medialen Zehen:

MC im Fesselgelenk **FB** im Krongelenk **KRB** im Klauengelenk

*Hilfslinien: **Ang, Ang2 – 8** (Winkelmaße) zum Erstellen der senkrecht zur Mittellinie gelegenen Linien im Bereich der Fuge bzw. der Gelenke
die Angabe der Längenmaße in Inch entspricht hier den Längen in cm. Das Programm gibt als Längenmaß Inch vor. In der eigenen Untersuchung wurde in cm gemessen. Daher wurde die Länge der Vergleichsstrecke/Kalibrierung als 1 cm = 1 Inch eingegeben*

Abb. 28: Messlinien (Metron™ Image) an einer dorsopalmaren Aufnahme, Fleckviehkalb, männlich, 40 Tage alt

In der Bestimmung des Messpunktes bzw. im Anlegen der Linie im Bereich der Wachstumszone des Röhrebeines ergab sich ein Problem. Durch das Auftreten von mehreren Linien und folglich auch mehreren Endpunkten sowohl axial als auch abaxial war die Ermittlung des selben Punktes an beiden Kondylen schwierig. Zudem traten aufnahmetechnisch bedingt unterschiedliche Darstellungen auf. Damit diesen Gegebenheiten Rechnung getragen werden konnte, wurde zum Antragen des Winkels der am weitesten distal gelegene Fugenlinienendpunkt verwendet. Die Winkellinie diente auch als Ausgangspunkt für die Längenmessung am jeweiligen Knochen. Ein auftretender Höhenunterschied zwischen den Linien der medialen und lateralen Linie an der Medianlinie wurde ausgemessen (Abb. 28, F). Auffällig war, dass bei dieser Methodik zwar häufig Höhenunterschiede im Fugenbereich zwischen den beiden Zehen auftraten, die axialen distalen Endpunkte der Fugenlinien jedoch im Bezug zur Medianlinie stets auf gleicher Höhe lagen. Zur statistischen Auswertung wurde deshalb ein korrigierter Längenwert für einen Röhrebeinanteil bestimmt. Meist lag der Endpunkte der medialen Zehe an der Medianlinie weiter proximal. Deshalb wurden die Parameter für die Höhendifferenz mit ihrem Vorzeichen an dieser ausgerichtet, sie erhielten dann ein positives Vorzeichen. Lag der Endpunkt der Linie der lateralen Zehe weiter proximal, erhielt der Parameter ein negatives Vorzeichen. Die Korrektur der Länge des Röhrebeinanteiles erfolgte deshalb auch nur für die laterale Zehe, unter Berücksichtigung des Vorzeichens des Parameters für den Höhenunterschied in der Fuge, indem der Fugenwert von dem Längenwert der lateralen Länge abgezogen wurde. Das bedeutet, lag der Endpunkt der lateralen Linie im Bereich der Fuge an der Medianlinie, wie meist, weiter distal, erhöhte sich die korrigierte Länge im Vergleich zur gemessenen. Lag er weiter proximal, verringerte sich die korrigierte Länge.

Die Grundannahme für die Messungen bestand darin, dass die Wachstumszone am Röhrebein für beide Zehen auf derselben Höhe verläuft. An den axialen Enden der Wachstumszone war dies auch ersichtlich. Im Gesamtmaterial trat kein signifikanter Unterschied zwischen den Längenwerten der Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse und den durch Abzug des Höhenunterschiedes in der Fuge korrigierten Längenwertes auf. In der Folge wurde aufgrund der Annahme, die Fuge sei auf gleicher Höhe, mit den korrigierten Werten gearbeitet.

3.5.2.2 Höhenunterschied im Gelenkbereich

An den im dorsopalmaren bzw. -plantaren Strahlengang angefertigten Röntgenbildern wurde eine Medianlinie von der Incisura intertrochlearis zur Mitte zwischen den Klauenbeinspitzen der Zehen gelegt (Abb. 28). Senkrecht zu dieser wurde an jeder Zehe im Bereich des Gelenkspaltes des Fessel-, Kron- und Klauengelenkes durch die Endpunkte der Knochenlängenmessungen (3.5.2.1) eine Linie gezogen. Die Abstände zwischen den beiden proximalen Linien des entsprechenden Gelenkes beider Zehen an der Medianlinie wurde als Höhendifferenz im Fesselgelenk, Höhendifferenz im Krongelenk und Höhendifferenz im Klauengelenk bezogen auf die Linie durch das Gelenk der medialen Zehe gemessen (Abb. 29).

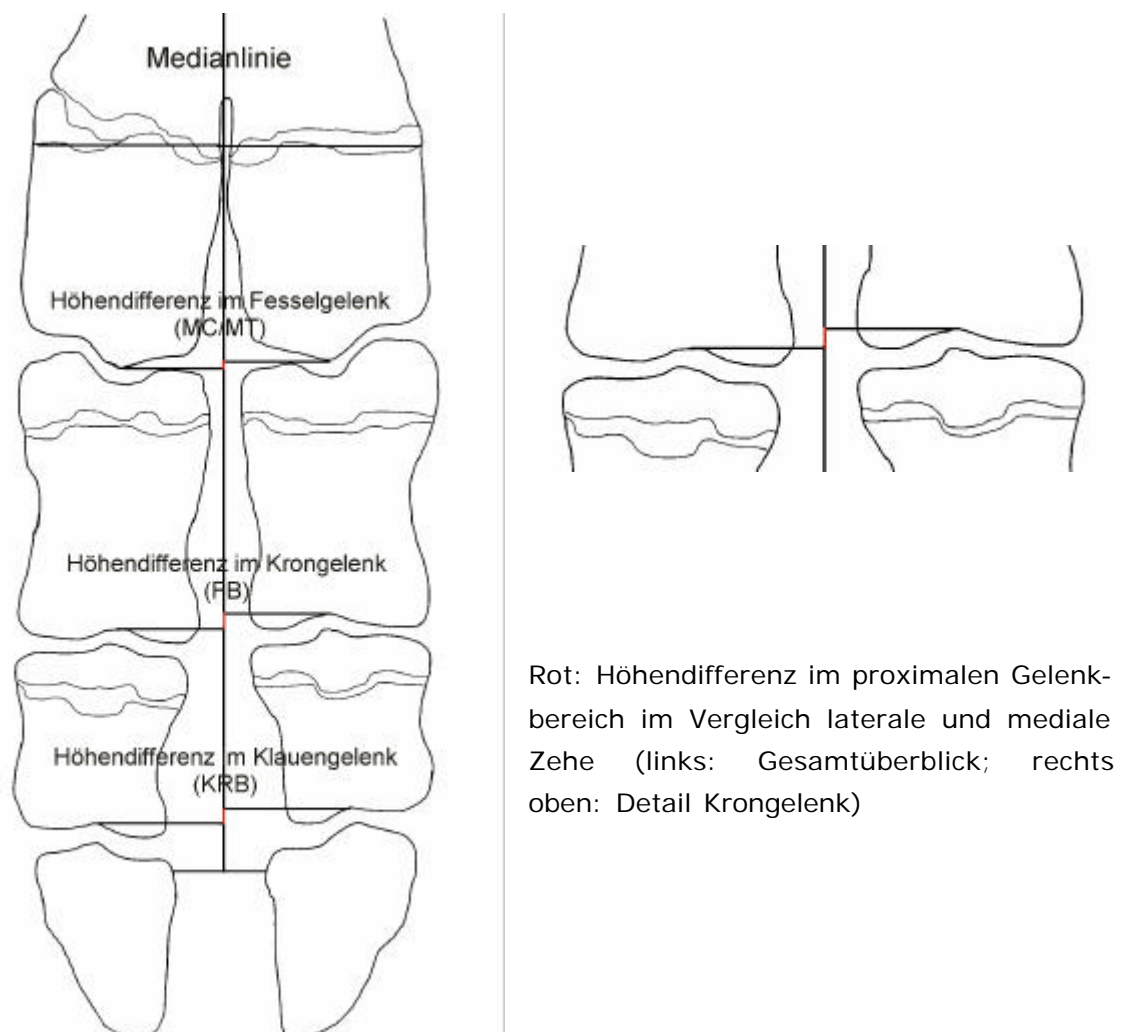


Abb. 29: Schemazeichnung zur Bestimmung der Höhendifferenzen im Gelenkbereich

3.5.3 Messungen an der abaxio-axialen Aufnahmeebene

An den 64 Aufnahmen in der abaxio-axialen Aufnahmeebene der 8 lahmheitsfreien Tiere wurden die Länge der Dorsalkontur, die Sohlenlänge und der Dorsalwinkel des Klauenbeines ermittelt (Abb. 30). Dieselben Messungen erfolgten in der Vergleichsgruppe (13 Tiere).

Die Länge der Dorsalwand des Klauenbeines wurde als Verbindungslinie zwischen dem proximalsten Punkt des Processus extensorius und der Klauenbeinspitze definiert. Die Länge der Klauenbeinsohle wurde als die Länge der, von der Klauenbeinspitze zum palmaren bzw. plantaren Endpunkt der röntgendichteren Kortikalis an der Sohlenfläche des Klauenbeines verlaufenden Linie ermittelt. Der Dorsalwinkel des Klauenbeines wurde als der zwischen diesen beiden Längen gelegene Winkel bestimmt.

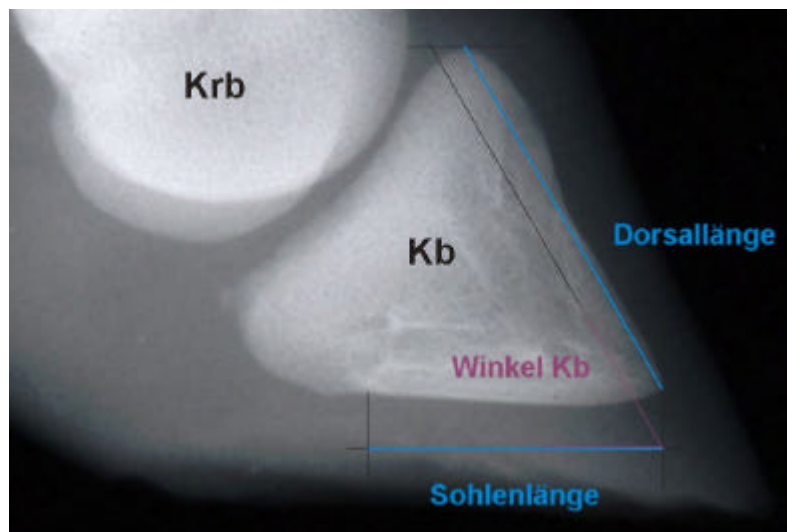


Abb. 30: Messung von Dorsallänge, Sohlenlänge und Klauenbeinwinkel an einer abaxio-axialen Aufnahme schematisch dargestellt; Kb: Klauenbein, Krb: Kronbein

Die Höhe des Klauenbeines, als Lot vom höchsten Punktes des Processus extensorius auf die Sohlenlinie gefällt, wurde mit Hilfe der gemessenen Parameter berechnet:

$$\text{Klauenbeinhöhe} = \sin(\text{Klauenbeinwinkel}) * \text{Dorsallänge}$$

Ursprünglich war geplant, an dieser Aufnahmeebene ebenfalls die Knochenlängen und die Gelenkspaltenweite, ähnlich wie an der dorsopalmaren bzw. -plantaren Ebene zu bestimmen. Durch die Schwierigkeit, sicher reproduzierbare Messpunkte zu finden, wurde dies aufgegeben. Aus diesem Grund war es auch an dieser Aufnahmeebene nicht möglich, die Breite der proximalen Phalangen und des Röhreinteiles zu bestimmen. Eine Messung der Abstände zwischen der Klauenbeinkontur und dem äußeren Hornschuh an verschiedenen Punkten im Bereich von Dorsalwand und Sohle sollte ebenfalls erfolgen. Jedoch wurde die Abbildung der Hornschuhgrenze durch die Belichtung stark beeinflusst, so dass keine sicher auswertbaren Werte ermittelt werden konnten. Dazu wäre es erforderlich gewesen am Hornschuh dieser Bereiche eine eng anliegende röntgendichte Markierung anzubringen. Hinzu kam, dass sich bei den Tieren mit vollständig bis teilweise ausgebildetem Eponychium keine eindeutige äußere Grenze des Hornschuhes finden lies. Meist waren mehrere Linien erkennbar.

3.3 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS, Version 11.5 und 12.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, USA. Die Bestimmung der Messgenauigkeiten erfolgte durch eine einfache Varianzanalyse. Es wurden deskriptive Statistiken erstellt. Abhängig von der Struktur der Daten wurde die Korrelation nach Pearson bzw. nach Spearman ermittelt. Der Vergleich der Parameter erfolgte mittels TTest mit einem 95%-Vertrauensintervall.

Als signifikant wurde bei zweiseitiger Signifikanz jeweils ein Wert von $p < 0.05$ definiert.

Die Haltungssysteme wurden für die statistische Auswertung zusammengefasst. Die Tiere, die auf Stroheinstreu aufgestellt waren, bildeten eine Gruppe. Das betrifft die Tiere in Boxenhaltung, Anbindehaltung, Iglu, Laufstall mit Einstreu und das Einzeltier, welches erst seit drei Wochen auf Spaltenboden stand. Wenn eine Auswertung von Parametern, die an verschiedenen Klauen eines Tieres unterschiedlich ausgeprägt waren, z.B. das Eponychium, auf Gliedmaßen bzw. auf das Tier komplett bezogen durchgeführt wurde, wurde dazu ein gerundeter Mittelwert aus den Beurteilungen der einzelnen Gliedmaßen bzw. Zehen gebildet.

Die Auswertung der Messdaten erfolgte getrennt für die Tiere ohne eine Lahmheit und für die Tiere, die eine Lahmheit zeigten. Die 40 lahmheitsfreien Tiere stellten den Hauptteil der Untersuchung dar. Die Daten der 37 lahmen Tiere wurden nur zum Vergleich herangezogen. Die Messungen wurden auf das Bestehen eines Geschlechtsunterschiedes und auf eine Altersabhängigkeit untersucht. Die Messparameter wurden zudem zwischen den Gliedmaßen und zwischen den Klauen einer Gliedmaße verglichen.

4 Ergebnisse

4.1 Patienten

Die in den allgemeinen Untersuchungen sowohl am Hornschuh, als auch an den Röntgenbildern erhobenen Daten wurden auf mögliche Alterseinflüsse untersucht. Insbesondere die Ausbildung des Eponychiums und die Verknöcherung des Klauen- sesambeines zeigten einen Zusammenhang mit dem Alter der Kälber. Die Messwerte wurden bei der Haupt- und Vergleichsgruppe auf die Veränderung mit zunehmenden Alter der Tiere ausgewertet. Eine Untersuchung auf das Vorliegen eines Geschlechtsdimorphismus wurde bei den objektiven Messparametern durchgeführt.

4.2 Adspektion der Gliedmaßenstellung und der Klauen

4.2.1 Gliedmaßenstellung

Tiere ohne Lahmheit

Von den 30 behandelten Tieren ohne eine Lahmheit wiesen 27 Tiere (90%) eine regelmäßige Stellung auf (Tab. 21). Davon waren 20 Tiere steil gefesselt (74%) und 4 fußten zusätzlich zehenweit. Drei Tiere wichen in der Gliedmaßenstellung ab. Von zwei Tieren mit einer regelmäßigen Stellung an den Vordergliedmaßen war eines an den Hintergliedmaßen kuhhessig, das zweite fußte bodenweit. Das dritte Tier mit einer leichten Tendenz zur Rollklauenbildung war hinten steil gestellt und geringgradig kuhhessig.

Tab. 21: Übersicht über die Gliedmaßenstellung der 30 beurteilten Tiere ohne Lahmheit

Gliedmaßenstellung	Tierzahl
Regelmäßig	3
regelmäßig, steil gefesselt	20
regelmäßig, steil gefesselt, zehenweit	4
Summe	27
vorne regelmäßig, hinten geringgradig kuhhessig	1
regelmäßig, hinten bodenweit	1
vorne regelmäßig, hinten steil gestellt und geringgradig kuhhessig	1
Summe	3
Gesamt	30

Tiere mit Erkrankung der Gliedmaßen

Von den 23 behandelten Tieren mit einer Erkrankung an den Gliedmaßen und einer Lahmheit während des Aufenthaltes in der Klinik zeigten 10 Tiere (43%) eine regelmäßige Stellung. Die weiteren 13 Tiere (57%) wiesen zum Zeitpunkt der Messung deutliche Veränderungen der Gliedmaßenstellung auf (Tab. 22). Von den 10 Tieren mit regelmäßiger Stellung waren drei zum Zeitpunkt der Untersuchung lahmheitsfrei - ein Tier mit Femurfraktur (13 Tage nach der Operation), ein Tier nach Implantatentfernung (4 Tage nach der Operation), ein Tier mit Tibiafraktur (27 Tage nach der Operation). Die anderen waren in der Bewegung geringgradig lahm.

Tab. 22: Übersicht über die unphysiologischen Gliedmaßenstellungen der Tiere mit einer Gliedmaßenerkrankung (N = 13, w: weiblich; m: männlich)

Erkrankung	Gliedmaßenstellung	Alter (in Tagen)	Ge- schlecht	Dauer der Lahmheit bis zur Messung (in Tagen)
Tibiafraktur links (mittelgradige Entlastung)	hinten rechts geringgradig fassbeinig	27	m	27
Tibiafraktur rechts (mittelgradige Entlastung)	bodenweit, zehenweit hinten,	18	w	14
Tibiafraktur rechts (geringgradige Entlastung)	kuhnessig v. a. rechts, vorne steil gefesselt	25	w	24
Tibiafraktur rechts (mittelgradige Entlastung)	hinten beide Gliedmaßen sichelförmig auf eine Seite, spitzgewinkelt, steil gefesselt	30	w	29
Tibiafraktur rechts, NMDC (mittelgradige Entlastung)	kuhnessig, steil gefesselt, hinten zehenweit	31	m	18
Arthritis cubiti links (mittelgradige Entlastung)	vorne links vorbiegig, steil gefesselt	31	w	14
Carpitis rechts (geringgradige Entlastung)	vorne links regelmäßig, hinten säbelbeinig, zehenweit	35	w	30
Arthritis Fesselgelenk hinten rechts (geringgradige Entlastung)	rechts kuhnessig, steil gefesselt,	40	w	21
Coxarthritits links (mittelgradige Entlastung)	Fußung auf Klauenspitzen hinten links, vorne regelmäßig	67	m	17
Carpitis links (geringgradige Entlastung)	vorne links mit Cast	64	w	21
Femoralispause beidseits (mittelgradige Entlastung rechts)	geringgradig vorbiegig und Klauenfüßung, linkes Knie ausgestellt, knickt im linken Tarsus und im rechten Knie ein	4	w	4
Ischiadicuspause links (mittelgradige Entlastung)	linker Tarsus tief, Fessel hinten rechts geringgradig durchtrittig,	29	w	14

4.2.2 Adspektorische Beurteilung des Hornschuhes

4.2.2.1 Lage des Überganges der Haut in den Hornschuh

Bei 81% der Gliedmaßen der 66 beurteilten Tiere wurde die Lage des Haut-Saumüberganges als unauffällig beurteilt. Einen geringgradigen Höhenunterschied in der Lage des Überganges der Haut in den Hornschuh von geschätzten 1 mm wiesen 5% auf, jeweils 7% entfielen für die Gruppen „weiter proximal“, Unterschied 1-2 mm, und „deutlich weiter proximal“, Unterschied mehr als 2 mm (Abb. 31). Dabei war mit Ausnahme zweier Tiere immer der Saum der medialen Klaue weiter proximal gelegen.

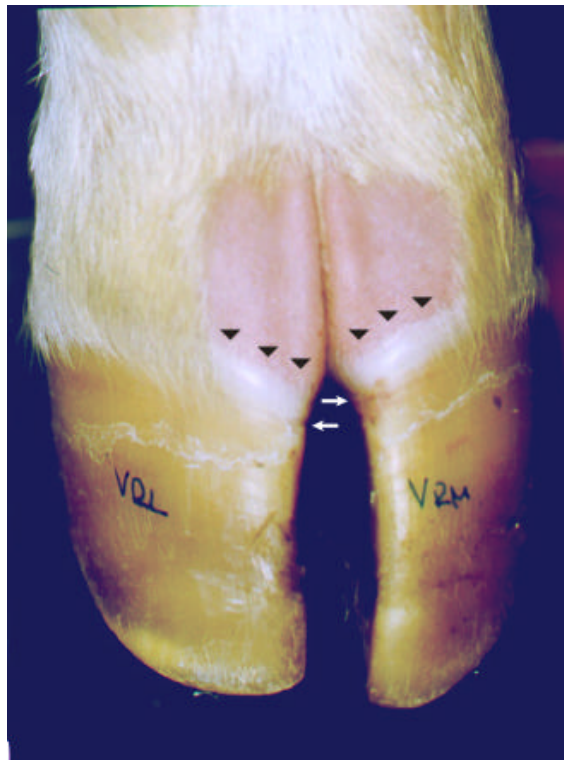


Abb. 31: Höhenunterschied im Verlauf des Haut-Hornüberganges zwischen den beiden Klauen der rechten Vordergliedmaße, Fleckviehkalb, männlich, 150 Tage alt; VRL: Klaue vorne rechts lateral, VRM: vorne rechts medial, schwarze Pfeile: Verlauf der Haut-Saum-Grenze, weiße Pfeile: Beginn des festeren Kronhornes; Dorsalwand medial länger als lateral

Ein statistisch nachweisbarer Unterschied zwischen den Ergebnissen bei den Tieren ohne eine Erkrankung der Gliedmaßen und bei denen mit einer Gliedmaßenerkrankung trat nicht auf.

Eine Korrelation des Auftretens eines Höhenunterschiedes im Verlauf des Saumes zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße und der Vorder- bzw. Hintergliedmaße, bzw. der rechten oder linken Gliedmaße bestand nicht. Ebenso trat keine Abhängigkeit zum Alter der Tiere auf. Bei den männlichen Kälbern wurde häufiger ein Unterschied (45,2%) festgestellt als bei den weiblichen Tieren (29,3%). Ein Zusammenhang zur Art der Aufstallung bestand nicht. Dabei wurden die Tiere bei denen die Aufstallung nicht bekannt war ausgeschlossen. Eine bevorzugte Verteilung auf die von einer Lahmheit betroffenen oder auf die nicht betroffenen Gliedmaßen war nicht zu erkennen.

4.1.2.4 Einzug im Horn des dorsalen und abaxialen Hornschuhs

Am Übergang des Saumes zum Kronhorn, bzw. im Kronhorn selbst, konnte bei 16,2% der Klauen des Untersuchungsmaterials eine Rinnenbildung im Horn der Dorsalwand und der abaxialen Wand beobachtet werden (Abb. 32).

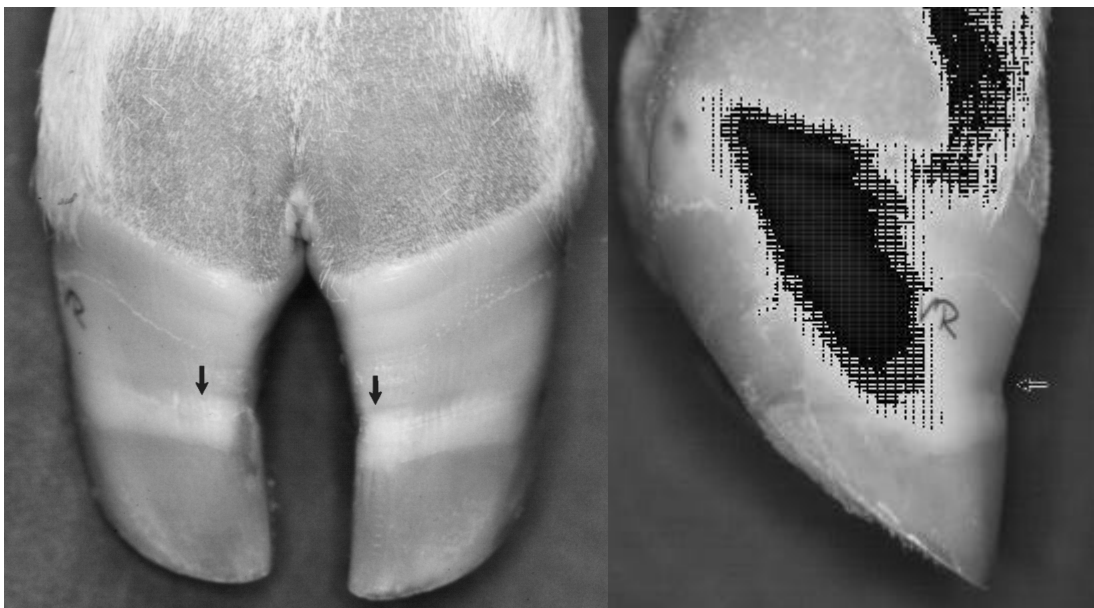


Abb. 32: Einzug (Pfeil) im Hornschuh der Dorsalwand, Ansicht von dorsal und abaxial; Fleckviehkalb, 98 Tage, männlich

Es handelte sich um 13 Tiere. Mit Ausnahme eines Tieres im Alter von 49 Tagen, bei dem nur die Klauen der Vordergliedmaßen betroffen waren, wurde diese Einziehung im Hornschuh an allen acht Klauen beobachtet. Ein Tier wies zusätzlich noch eine zweite auf. Mit Zunahme der Dorsalwandlänge und mit steigendem Alter nahm der Abstand der Einziehung zum Saum der Klaue zu (beide $r = 0,6$; Korrelationskoeffizient nach Pearson). Das jüngste Tier, bei dem diese Einziehung beobachtet wurde, war 17 Tage alt, das älteste 145 Tage. Der Abstand der Rinne zum Saum zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen und zwischen der lateralen und medialen Klaue. Im Vergleich der beiden Altersgruppen der Tiere ohne Lahmheit ergab sich beim Abstand der Rinne vom Saum ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen. Der Abstand der Rinne vom Saum nahm von der Gruppe unter 7 Wochen mit einem Mittelwert von 15 mm zur Gruppe über 7 Wochen mit einem Mittelwert von 20 mm zu.

4.2.2.3 Eponychium

Das Eponychium zeigte sich bei den Neugeborenen bzw. wenige Tage alten Tieren als stark wasserhaltiger, annähernd kegelförmiger Anteil der Sohle. Insgesamt war bei 40 der 77 Tiere das Eponychium in verschiedenen Ausprägungen vorhanden. Mit zunehmendem Alter bzw. Belastung der Gliedmaßen stellte es sich deutlich trockener und fester dar (Abb. 33).

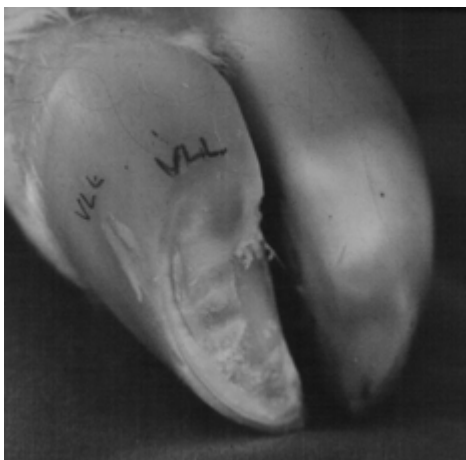
Der Grad der Ausbildung des Eponychiums korrelierte stark negativ ($r = -0,73$; Korrelationskoeffizient nach Spearman) mit dem Alter des Tieres. Die Ablösung des Eponychiums mit zunehmendem Alter begann im Bereich der Klauenspitze. Am Übergang der Hornsohle in den Ballen und axial waren am längsten Reste zu beobachten. Es wiesen 51% der Klauen keine Eponychiumanteile auf, 23% noch das vollständige. Die weiteren 26% verteilten sich auf die Zwischenstufen. Das jüngste Tier, bei dem das Eponychium vollständig abgelöst war, war 15 Tage alt. Das älteste Tier mit einem vollständig ausgeprägtem, aber eingetrocknetem Eponychium war 49 Tage alt. Bei diesem lag eine Polyarthrititis und eine seit 23 Tagen bestehende mittelgradig reduzierte Belastung auf allen Gliedmaßen vor, es wurde zudem in einer Strohbox gehalten. Das älteste lahmheitsfreie Tier mit kompletter Ausprägung war dagegen 37 Tage alt.



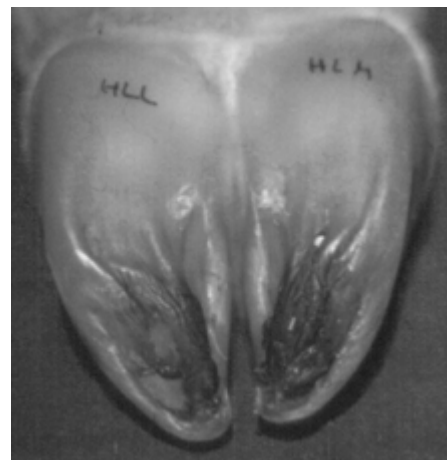
33 A



33 B



33 C



33 D



33 E

Abb. 33: Ausbildung des Eponychiums bei Fleckviehkälbern in verschiedenen Stadien:

A-C: weiblich, 1 Tag alt, vorne links, frisches Eponychium, an lateraler Klaue (VLL) entfernt

D: männlich, 10 Tage alt, Eponychium komplett vorhanden, eingetrocknet

E: männlich, 49 Tage alt, Eponychium fast vollständig abgelaufen, axial noch Reste vorhanden

Die Tiere, bei denen das Eponychium noch vollständig ausgeprägt war, wiesen ein Durchschnittsalter von 18 Tagen auf. Wenn die Ausprägung noch zwei Drittel der Klaue umfasste, waren die Tiere durchschnittlich 30,5 Tagen. Beim Vorhandensein von lediglich einem Drittel des Polsters erhöhte sich das Durchschnittsalter auf 34,8 Tage.

Zwischen der Art der Aufstallung und dem Grad der Ausbildung des Eponychiums bestand eine schwache negative Korrelation ($r = -0,3$; Korrelationskoeffizient nach Spearman). Bei Betrachtung der Altersverteilung in Bezug zum Aufstallungssystem ergab sich für die Haltung auf Stroheinstreu (36 Tiere) ein Durchschnittsalter von 52,9 Tagen, für die Haltung auf Spaltenboden (16 Tiere) 102,6 Tage. Die Tiere, bei denen die Aufstallung unbekannt war, waren durchschnittlich 37,4 Tage alt. Ein Unterschied in der Ausprägung des Eponychiums zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen bestand bei 21 der insgesamt 40 Tieren. Dabei bedeckte es immer an den Vordergliedmaßen einen größeren Teil der Sohle als an den Hintergliedmaßen. Die Ausprägung an der lateralen und medialen Klaue einer Gliedmaße unterschied sich hingegen nicht. Bei den Tieren mit einer Lahmheit bestand lediglich eine sehr schwache positive Korrelation ($r = 0,17$; Korrelationskoeffizient nach Spearman) zwischen dem Grad der Ausbildung des Eponychiums und der betroffenen Gliedmaße, eine mittlere negative ($r = -0,41$; Korrelationskoeffizient nach Spearman) dagegen zur Dauer der Lahmheit.

4.2.2.4 Tragrand und Adspektion der Sohlenfläche

Der Tragrand überragte bei 33% der Klauen die Sohlenfläche mehr oder weniger stark. Bei 5% dieser Klauen musste der Tragrand abgetragen werden, damit das Anfertigen der Sohlenabdrücke ohne Verzerrung möglich war. Die Sohlenfläche war abhängig von der Ausbildung des Eponychiums relativ plan. Bei 38% lag sie parallel zur Bodenfläche, ebenfalls 38% zeigten eine geringgradige Neigung zum Zwischenklauenspalt hin, 9% eine mittelgradige und 4% eine hochgradige Neigung. Die restlichen 11% wurden nicht beurteilt bzw. entfielen auf die Tiere, bei denen eine Beurteilung durch das frische Eponychium nicht möglich war oder bei denen das Eponychium entfernt und somit eine künstliche ebene Fläche geschaffen worden war. Bei 18% der Klauen fiel an der Sohle eine Stufe im palmaren bzw. plantaren Drittel auf. Es bestand eine negative Korrelation zur Ausprägung des Eponychiums. Die Stufe wurde in allen Altersgruppen beobachtet.

4.2.2.5 Adspektorischer Höhenunterschied im Sohlenbereich

Ein adspektorischer Höhenunterschied bei Anhalten einer Plexiglasplatte zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße bestand bei 56 Gliedmaßen (18%) der 77 untersuchten Tiere. Dabei verteilten sich diese gleichmäßig auf Vorder- und Hintergliedmaßen. Sowohl bei den Tieren ohne als auch bei denen mit einer Erkrankung der Gliedmaße ergab sich derselbe Anteil von 18%. Es bestand keine Korrelation zwischen dem Bestehen eines Unterschiedes in der Lage des Haut-Saumüberganges und eines adspektorischen Höhenunterschiedes zwischen den Klauen in den beiden Gruppen.



Abb. 34: Höhenunterschied zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße, Fleckviehkalb, männlich, 150 Tage alt; links Ansicht der linken Hintergliedmaße von plantar, rechts Ansicht der rechten Hintergliedmaße von dorsal, die laterale Klaue zeigt jeweils die Beschriftung

4.3 Ergebnisse der Messungen am Hornschuh

4.3.1 Messgenauigkeit

4.3.1.1 Messgenauigkeit am Ende der Hauptuntersuchung

Diese Messungen wurden zur Ermittlung des Übungseffektes durchgeführt. Die ermittelten Messgenauigkeiten für die Parameter Dorsalwandlänge, Dorsalwandwinkel, Ballenhöhe, Ballenlänge und die im Verlauf der Untersuchung hinzugenommenen Ballenwinkel und Einzug in der Dorsalwand sind in Tabelle 23 dargestellt. Die Verteilung auf die einzelnen Klauen zeigte bei der Dorsalwandlänge und dem Einzug an der Dorsalwand ein sehr ausgeglichenes Bild. Auch die Ballenhöhe und die Ballenlänge zeigten wenig Unterschiede in der Messgenauigkeit bei den einzelnen Klauen. Lediglich die beiden Winkelmaße streuten geringfügig in den Werten. Der Dorsalwandwinkel wies bei den Klauen vorne links medial und hinten rechts lateral geringere Werte auf. Die Ballenwinkel beider Klauen der linken Vorder- und Hintergliedmaße besaßen in der Untersuchung eine geringere Signifikanz als die anderen Klauen.

Tab. 23: Übersicht über die Messgenauigkeit der am Hornschuh gemessenen Parameter am Ende der Hauptuntersuchung

Parameter	Nachuntersuchung (Präparate)
Dorsalwandlänge	99,7 %
Dorsalwandwinkel	91,7 %
Ballenhöhe	84,8 %
Ballenlänge	82,1 %
Ballenwinkel	90,0 %
Einzug an der Dorsalwand	95,7 %

4.3.1.2 Vergleich Tier in Seitenlage auf links bzw. rechts

In beiden Gruppen, Seitenlage auf links bzw. auf rechts, ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den gut und den weniger gut für die Messung zugänglichen Klauen.

4.3.2 Hauptuntersuchung: Ergebnisse der Messungen am Hornschuh

Bei den 40 Tiere ohne Lahmheit wurden die Parameter mit Ausnahme des Ballenwinkels an allen 320 Klauen unter den Gesichtspunkten Geschlechtsunterschied, Altersabhängigkeit, Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen und Vergleich der lateralen und medialen Klauen ausgewertet. Die Auswertung des Ballenwinkels erfolgte unter denselben Aspekten an 38 Tieren bzw. 304 Klauen. In Tabelle 24 werden die Mittelwerte der am Hornschuh gemessenen Parameter dargestellt.

Tab. 24: Parameter am Hornschuh (Längen in mm, Winkel in ° und Fläche in mm², N: Anzahl der Klauen)

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	320	50,96	6,04	34,3	64,0
Ballenlänge	320	35,76	5,73	24,3	51,0
Ballenhöhe	320	24,57	5,25	15,0	42,0
Ballenwinkel	304	143,53	5,19	115,0	156,0
Dorsalwandwinkel	320	57,35	4,41	43,0	69,0
Sohlenlänge	320	57,14	7,42	43,5	80,5
Sohlenbreite	320	21,14	4,19	12,0	35,0
Sohlenfläche	320	1104,9	311,59	446	2389

4.3.2.1 Geschlecht

Die Auswertung bezüglich des Geschlechts erfolgte nach Korrektur auf gleiches Durchschnittsalter der männlichen und weiblichen Tiere von 63,2 Tagen. Ein Geschlechtsunter-

schied bestand bei den Parametern Ballenlänge, Ballenhöhe und Dorsalwandwinkel. Die männlichen Tiere wiesen mit einer Ballenlänge von 36,1 mm und einer Ballenhöhe von 24,7 mm die größeren Längenparameter auf. Die weiblichen Tiere erreichten dagegen nur eine durchschnittliche Länge des Ballens von 34,0 mm und eine durchschnittliche Höhe von 22,9 mm. Die Dorsalwand war bei den männlichen Tieren mit 58,4° steiler als bei den weiblichen Tieren mit 56,1°. Die weiteren Parameter Dorsalwandlänge, Ballenwinkel, Sohlenfläche, Sohlenlänge und Sohlenbreite unterschieden sich nicht zwischen den Geschlechtern.

4.3.2.2 Korrelationen

Die Parameter Dorsalwandlänge ($r = 0,61$), Sohlenfläche ($r = 0,7$), Sohlenlänge ($r = 0,67$) und Sohlenbreite ($r = 0,54$) zeigten eine mittlere bis starke Korrelation, die Ballenlänge ($r = 0,41$) und Ballenhöhe ($r = 0,35$) eine mittlere bis schwache Korrelation zum Alter der Tiere. Der Dorsalwand- und der Ballenwinkel besaßen keine signifikante Altersabhängigkeit.

Einen starken positiven Zusammenhang besaßen die beiden Längenparameter des Ballens ($r = 0,8$) zueinander und die Sohlenlänge und Sohlenbreite ($r = 0,7$) untereinander. Die Sohlenlänge und -breite korrelierten sehr stark positiv mit der Fläche ($r = 0,9$). Zwischen den anderen Längenparametern bestanden mittlere positive Korrelationen, ebenso zwischen den Längenparametern und der Sohlenfläche. Der Dorsalwandwinkel zeigte eine mittlere negative Korrelation ($r = -0,4$) zur Dorsalwandlänge; zu Ballenlänge, Ballenhöhe und den drei Sohlenparametern eine schwache negative ($r = -0,2$). Der Ballenwinkel wies nur zu den beiden anderen Parametern am Ballen eine signifikante negative mittlere Korrelation ($r = -0,4$) auf und zur Klauenfläche eine schwache negative ($r = -0,1$). Zu den weiteren Parametern bestand kein nachweisbarer Zusammenhang. Der Zusammenhang zwischen den jeweiligen Parametern der lateralen und der medialen Klaue war sehr hoch ($r = 0,9$).

4.3.2.3 Gliedmaßenvergleich

Es bestand kein signifikanter Unterschied in den Werten der rechten und linken Gliedmaße.

Im Vergleich der Parameter an den Vordergliedmaßen zu den Hintergliedmaßen ergab sich außer in der Dorsalwandlänge ein signifikanter Unterschied bei allen gemessenen Parametern. Die durchschnittliche Länge der Dorsalwand betrug 51,0 mm (Tab. 24). An den Vordergliedmaßen waren die Ballenlänge, die Ballenhöhe, die Sohlenlänge, die Sohlenbreite und die Sohlenfläche signifikant größer als an den Hintergliedmaßen (Tab. 25) aufgeführt. Der Dorsalwandwinkel und der Ballenwinkel waren vorne signifikant kleiner (Tab. 25). Der Unterschied betrug bei der Ballenhöhe 25%, bei der Ballenlänge 13,4%, bei der Sohlenfläche 13,2%, bei der Sohlenlänge 6,5% und bei der Sohlenbreite 11%. Die Winkel unterschieden sich um 5,9% am Dorsalwandwinkel und 2,5% am Ballenwinkel.

Tab. 25: Parameter am Hornschuh mit signifikantem Unterschied beim Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen (Längen in mm, Winkel in ° und Fläche in mm², N: Anzahl der Klauen)

		N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Ballenlänge	vorne	160	38,01	5,59	0,44
	hinten	160	33,51	4,96	0,39
Ballenhöhe	vorne	160	27,56	7,13	0,56
	hinten	160	22,03	4,12	0,33
Ballenwinkel	vorne	152	141,78	5,14	0,48
	hinten	152	145,28	4,64	0,38
Dorsalwandwinkel	vorne	160	55,71	4,17	0,33
	hinten	160	58,98	4,04	0,32
Sohlenlänge	vorne	160	58,95	7,74	0,61
	hinten	160	55,33	6,62	0,52
Sohlenbreite	vorne	160	22,24	4,19	0,33
	hinten	160	20,03	3,99	0,31
Sohlenfläche	vorne	160	1173,3	332,2	26,6
	hinten	160	1036,6	273,9	21,9

4.3.2.4 Vergleich laterale und mediale Klaue

Der Vergleich der Werte der lateralen Klaue zu denen der medialen erfolgte getrennt für Vorder- und Hintergliedmaßen (Tab. 26).

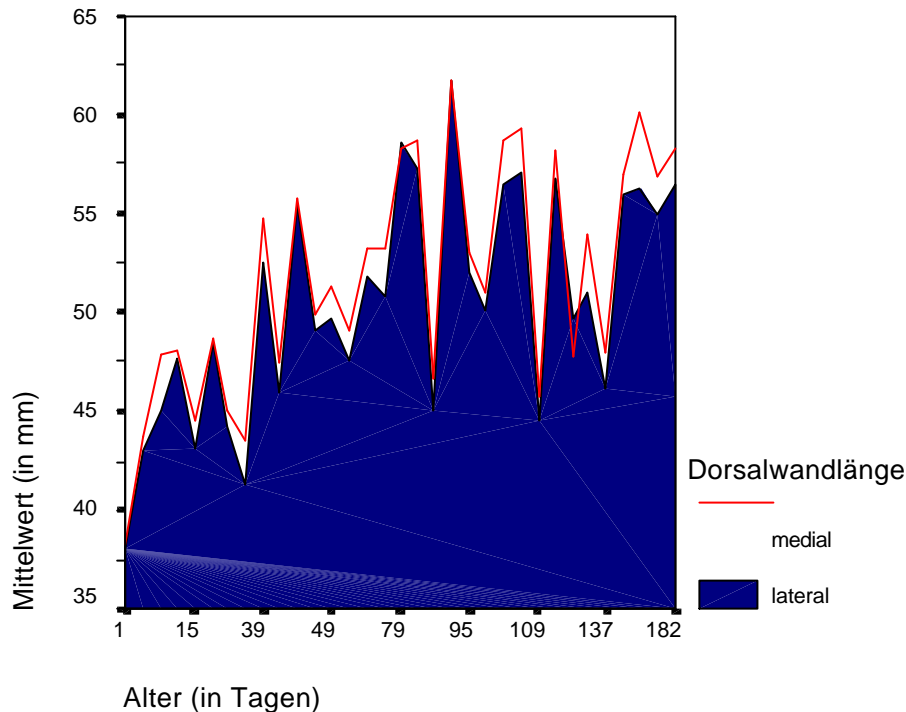
Vordergliedmaßen

Abb. 35: Diagramm der Dorsalwandlänge an der Vordergliedmaße mit ansteigendem Alter, Vergleich laterale und mediale Klaue

An den Vordergliedmaßen war die **Dorsalwandlänge** der medialen Klauen mit einem Mittelwert von 51,3 mm signifikant größer als die der lateralen mit einem Wert von 49,7 mm (Abb. 35). Die **Ballenhöhe**, die **Sohlenfläche** und die **Sohlenbreite** waren medial signifikant geringer als lateral. Die Ballenhöhe betrug medial 26,6 mm und lateral 27,6 mm. Die Sohle der medialen Klauen der Vordergliedmaßen hatten eine durchschnittliche Fläche von 1138 mm² und eine Breite von 21,2 mm, die lateralen eine Fläche von 1208 mm² und eine Breite von 23,2 mm. Es bestanden an den Vordergliedmaßen keine weiteren signifikanten Unterschiede.

Tab. 26: Parameter am Hornschuh: Vergleich laterale und mediale Klaue; Parameter mit signifikantem Unterschied fettgedruckt (Längen in mm, Winkel in ° und Fläche in mm², N: Anzahl der Klauen)

Vordergliedmaße		N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	lateral	80	49,67	5,98	34,3	63,0
	medial	80	51,34	6,01	36,7	63,0
Ballenlänge	lateral	80	38,00	5,59	27,0	50,0
	medial	80	38,03	5,62	27,0	51,0
Ballenhöhe	lateral	80	27,61	5,13	18,0	42,0
	medial	80	26,62	4,91	19,0	40,0
Ballenwinkel	lateral	76	141,22	5,64	115,0	148,0
	medial	76	142,35	4,56	128,0	148,0
Dorsalwandwinkel	lateral	80	55,68	4,34	43,0	65,0
	medial	80	55,75	4,01	43,0	62,3
Sohlenlänge	lateral	80	59,02	7,49	45,5	77,0
	medial	80	58,89	8,03	44,0	80,5
Sohlenbreite	lateral	80	23,24	4,42	15,0	35,0
	medial	80	21,24	3,71	14,0	30,0
Sohlenfläche	lateral	80	1208,4	359,5	446,2	2389,5
	medial	80	1138,1	300,7	641,2	2194,8
Hintergliedmaße		N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	lateral	80	50,86	5,77	39,2	63,0
	medial	80	51,97	6,25	39,2	64,0
Ballenlänge	lateral	80	33,88	4,85	26,0	46,0
	medial	80	33,14	5,07	24,3	46,0
Ballenhöhe	lateral	80	22,50	3,80	17,0	39,0
	medial	80	21,55	4,39	15,0	35,0
Ballenwinkel	lateral	76	144,94	4,88	127,0	154,0
	medial	76	145,62	4,39	136,0	156,0
Dorsalwandwinkel	lateral	80	58,40	4,08	48,0	67,5
	medial	80	59,56	3,93	49,0	69,0
Sohlenlänge	lateral	80	55,94	6,48	44,0	72,0
	medial	80	54,73	6,75	43,5	73,0
Sohlenbreite	lateral	80	21,36	4,03	15,0	32,0
	medial	80	18,71	3,31	12,0	30,0
Sohlenfläche	lateral	80	1100,6	286,5	672,1	2009,0
	medial	80	972,5	246,1	584,3	1938,7

Hintergliedmaßen

An den Hintergliedmaßen bestand mit Ausnahme der Ballenlänge und dem Ballenwinkel ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Klauen (Tab. 26). Die medialen Klauen erreichten bei der **Dorsalwandlänge** mit einem Mittelwert von 52 mm auch an den Hintergliedmaßen signifikant höhere Werte als die lateralen mit 50,9 mm. Mit 21,6 mm war die **Ballenhöhe** der medialen Klaue signifikant geringer als der an der lateralen mit 22,5 mm. Die **Sohlenfläche** und **Sohlenbreite** war an den Hintergliedmaßen ebenfalls medial signifikant geringer als lateral (Abb. 36). Die Fläche betrug medial 973 mm² und lateral 1101 mm², die Breite betrug medial 18,7 mm, lateral 21,4 mm.

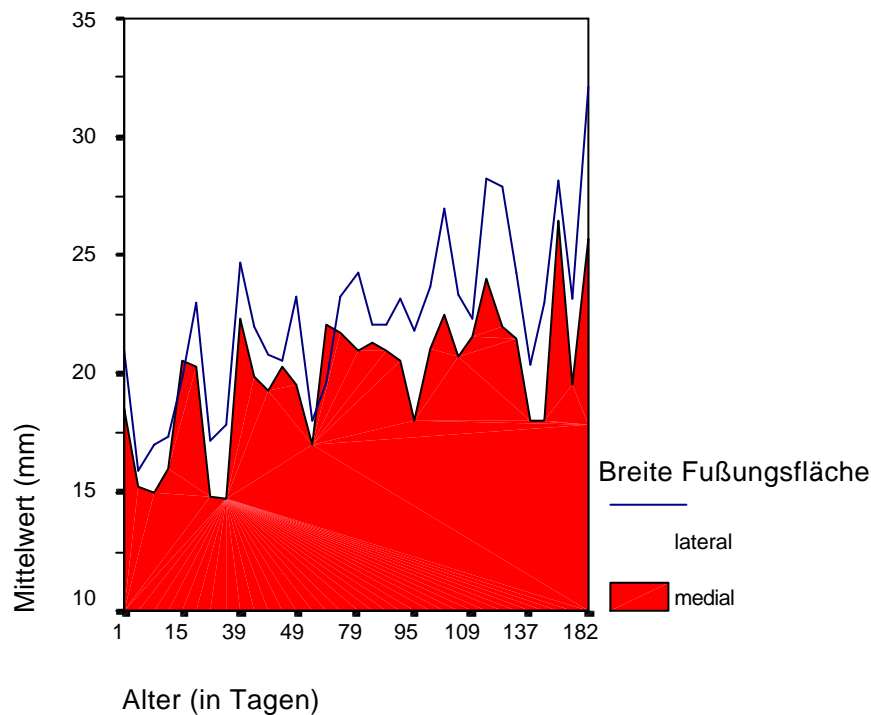


Abb. 36: Diagramm der Sohlenbreite an den Hintergliedmaßen mit ansteigendem Alter, Vergleich laterale und mediale Klaue

Der **Dorsalwandwinkel** der medialen Klaue der Hintergliedmaßen erreichte mit durchschnittlich 59,6° die höheren Werte. Der Winkel der lateralen Klaue betrug 58,4°. Mit einer Länge von 54,7 mm war auch die **Sohlenlänge** der medialen Klaue der Hintergliedmaßen signifikant geringer als an der lateralen Klaue, welche im Mittel eine Länge von 56 mm hatte.

4.3.2.5 Altersgruppen

Vergleich der gemessenen Parameter zwischen den Altersgruppen

Die Tiere im Alter unter 7 Wochen hatten die signifikant kleinere Dorsalwandlänge, Ballenlänge, Ballenhöhe, Sohlenlänge, Sohlenbreite und Sohlenfläche. Der Dorsalwandwinkel dagegen war steiler als in der Altersgruppe über 7 Wochen. Die Größe des Ballenwinkels unterschied sich nicht zwischen den beiden Altersgruppen (Tab. 27).

Tab. 27: Parameter am Hornschuh der Altersgruppen unter und über 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Klauen)

< 7 Wochen	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	136	46,88	4,50	34,3	58,0
Ballenlänge	136	33,25	4,95	24,3	46,0
Ballenhöhe	136	23,10	4,35	15,0	39,0
Ballenwinkel	128	143,52	5,52	115,0	153,0
Dorsalwandwinkel	136	58,31	3,55	49,5	69,0
Sohlenlänge	136	52,19	4,97	43,5	62,5
Sohlenbreite	136	18,99	3,49	12,0	29,0
Sohlenfläche	136	918,7	197,7	446	1425
> 7 Wochen	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	184	53,98	5,20	41,2	64,0
Ballenlänge	184	37,62	5,58	26,0	51,0
Ballenhöhe	184	25,66	5,59	16,0	42,0
Ballenwinkel	176	143,54	4,96	130,0	156,0
Dorsalwandwinkel	184	56,63	4,84	43,0	67,5
Sohlenlänge	184	60,81	6,78	45,0	80,5
Sohlenbreite	184	22,72	3,96	14,0	35,0
Sohlenfläche	184	1248,9	307,6	666	2389

Vergleich der gemessenen Parameter innerhalb der Altersgruppen

In keiner der beiden Altersgruppen trat ein Unterschied zwischen den rechten und linken Gliedmaßen auf. Im Vergleich der Vorder- und der Hintergliedmaßen (Tab. 28) ergab sich ebenfalls in keiner der beiden Altersgruppen ein signifikanter Unterschied bezüglich der

Dorsalwandlänge. Sie betrug bei den Tieren im Alter unter 7 Wochen durchschnittlich 46,9 mm, bei den Tieren im Alter über 7 Wochen 54 mm.

Tab. 28: Parameter mit signifikantem Unterschied am Hornschuh im Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen; Altersgruppen unter und über 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Gliedmaßen)

< 7 Wochen		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Vordergliedmaße	Ballenlänge	68	35,00	4,82	27,0	46,0
	Ballenhöhe	68	25,10	3,82	18,0	33,3
	Ballenwinkel	64	142,14	5,72	115,0	148,0
	Dorsalwandwinkel	68	56,95	3,25	49,5	64,0
	Sohlenlänge	68	53,54	5,05	44,0	62,5
	Sohlenbreite	68	19,88	3,59	14,0	29,0
	Sohlenfläche	68	964,8	215,0	446,0	1425
Hintergliedmaße	Ballenlänge	68	31,50	4,46	24,3	45,0
	Ballenhöhe	68	21,10	3,92	15,0	39,0
	Ballenwinkel	64	144,91	4,99	127,0	153,0
	Dorsalwandwinkel	68	59,67	3,34	54,0	69,0
	Sohlenlänge	68	50,84	4,55	43,5	60,0
	Sohlenbreite	68	18,10	3,17	12,0	27,0
	Sohlenfläche	68	872,5	168,0	584	1422
> 7 Wochen		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Vordergliedmaße	Ballenlänge	92	40,24	5,06	29,0	51,0
	Ballenhöhe	92	28,61	5,31	20,0	42,0
	Ballenwinkel	88	141,52	4,69	130,0	148,0
	Dorsalwandwinkel	92	54,80	4,54	43,0	65,0
	Sohlenlänge	92	62,96	6,91	48,0	80,5
	Sohlenbreite	92	23,98	3,73	16,0	35,0
	Sohlenfläche	92	1334,4	317,5	822,0	2389,0
Hintergliedmaße	Ballenlänge	92	34,99	4,80	26,0	46,0
	Ballenhöhe	92	22,71	4,15	16,0	35,0
	Ballenwinkel	88	145,55	4,38	136,0	156,0
	Dorsalwandwinkel	92	58,47	4,43	48,0	67,5
	Sohlenlänge	92	58,66	5,93	45,0	73,0
	Sohlenbreite	92	21,46	3,80	14,0	32,0
	Sohlenfläche	92	1163,3	273,2	666,0	2009,0

In beiden Gruppen war der Ballen an den Vordergliedmaßen länger und höher als an den Hintergliedmaßen. Die Sohle war in beiden Gruppen ebenfalls an den Vordergliedmaßen signifikant länger, breiter und größer. Die beiden Winkelmaße erreichten in beiden Gruppen an der Vordergliedmaße die geringeren Werte. Beim Vergleich der lateralen und der medialen Klaue ergaben sich in den beiden Altersgruppen unterschiedliche Ergebnisse.

In der Altersgruppe **unter 7 Wochen** trat an den Vordergliedmaßen nur bezüglich der Dorsalwandlänge, der Sohlenfläche und der Sohlenbreite ein signifikanter Unterschied zwischen der lateralen und medialen Klaue auf. An den Hintergliedmaßen bestand ein Unterschied in der Dorsalwandlänge, dem Dorsalwandwinkel und sowohl in der Größe der Sohlenfläche als auch in der Länge und der Breite der Sohle (Tab. 29). Sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen wies die mediale Klaue die längere Dorsalwand und die geringere Fläche und Breite der Sohle auf. An den Vordergliedmaßen erreichte die mediale Klaue eine durchschnittliche Länge der Dorsalwand von 46,8 mm im Vergleich zu 45,5 mm an der lateralen Klaue, und eine Sohlenbreite medial von 18,7 mm zu 20,2 mm lateral. Die Sohlenfläche hatte medial einen Wert von 939 mm² und lateral von 991 mm². Die Länge der Dorsalwand der medialen Klaue der Hintergliedmaßen wies einen Mittelwert von 47,3 mm, die laterale von 46,3 mm auf. Die Breite der Sohle betrug medial 17 mm, lateral 19,2 mm und die Fläche betrug medial 828 mm², lateral 918 mm². Die Sohlenlänge der medialen Klaue der Hintergliedmaßen war mit einer Länge von 49,6 mm kürzer als die laterale mit einer durchschnittlichen Länge von 51 mm. Auch der Dorsalwandwinkel war medial (60,2°) steiler als lateral (58,8°). Die Ballenwerte- Ballenlänge, Ballenhöhe und der Ballenwinkel unterschieden sich nicht (Tab. 28). Dies entspricht mit Ausnahme der Ballenhöhe dem im Gesamtmaterial erzielten Ergebnis.

Tab. 29: Parameter mit signifikantem Unterschied am Hornschuh im Vergleich der lateralen und medialen Klaue bei der Altersgruppe unter 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Klauen)

< 7 Wochen	Vordergliedmaße	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	lateral	30	45,51	5,45	34,3	58,0
	medial	30	46,77	4,75	36,7	57,0
Sohlenbreite	lateral	30	20,15	3,56	15,0	29,0
	medial	30	18,65	3,26	14,0	26,0
Sohlenfläche	lateral	30	990,9	231,8	446,0	1425,0
	medial	30	938,7	196,8	641,0	1353,0
	Hintergliedmaße	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	lateral	30	46,28	3,83	39,2	54,0
	medial	30	47,31	4,33	39,2	56,0
Dorsalwandwinkel	lateral	30	58,80	3,23	54,0	67,0
	medial	30	60,21	3,57	54,0	69,0
Sohlenlänge	lateral	30	51,02	4,91	44,0	60,0
	medial	30	49,55	3,99	43,5	56,0
Sohlenbreite	lateral	30	19,22	3,33	15,0	27,0
	medial	30	16,95	2,94	12,0	22,0
Sohlenfläche	lateral	30	917,5	175,0	672,0	1421,8
	medial	30	827,6	149,9	584,0	1159,5

Die Tiere im Alter **über 7 Wochen** zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen den Werten der lateralen und der medialen Klaue sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen in der Dorsalwandlänge, der Sohlenbreite und Sohlenfläche (Tab. 30). Dies entsprach den Ergebnissen an den Vordergliedmaßen der Tiere unter 7 Wochen. Sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen war die mediale Dorsalwand länger und die Sohlenfläche und -breite geringer als lateral. An den Vordergliedmaßen betrug die Länge der Dorsalwand medial 54,1mm, lateral 52,2mm. Die Sohlenbreite hatte einen Mittelwert von medial 22,8 mm und lateral 25,1 mm, die Fläche von medial 1292 mm² und lateral 1377 mm². An den Hintergliedmaßen ergaben sich Werte von 54,8 mm für die mediale und 53,6 mm für die laterale Dorsalwandlänge und 19,8 mm für die Breite der Sohle der medialen bzw. 22,6mm der lateralen Klaue. Die Sohlenfläche betrug medial 1084 mm² und lateral 1242 mm². Die weiteren Parameter unterschieden sich nicht signifikant (Tab. 28).

Tab. 30: Parameter mit signifikantem Unterschied am Hornschuh im Vergleich der lateralen und medialen Klaue bei der Altersgruppe über 7 Wochen (Längen in mm, Winkel in ° und Flächen in mm², N: Anzahl der Klauen)

> 7 Wochen	Vordergliedmaße	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	lateral	50	52,17	4,81	44,0	63,0
	medial	50	54,08	4,94	46,0	63,0
Sohlenbreite	lateral	50	25,09	3,82	18,0	35,0
	medial	50	22,80	3,05	16,0	30,0
Sohlenfläche	lateral	50	1376,5	351,9	945,0	2389,0
	medial	50	1292,2	276,6	822,0	2194,0
	Hintergliedmaße	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Dorsalwandlänge	lateral	50	53,62	4,94	44,0	63,0
	medial	50	54,77	5,53	41,2	64,0
Sohlenbreite	lateral	50	22,64	3,89	15,0	32,0
	medial	50	19,77	3,09	14,0	30,0
Sohlenfläche	lateral	50	1242,1	276,5	773,0	2008,0
	medial	50	1084,4	248,6	665,0	1938,0

4.3.2.6 Berechnete Parameter

Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe

Das Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe war unabhängig vom Alter der Tiere, d.h. es besaß keine Korrelation zum Alter der Tiere und auch zwischen den Altersgruppen zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Die weiblichen Tiere wiesen das signifikant größere Verhältnis auf. Es betrug 2,3:1 im Vergleich zu dem der männlichen Tiere mit 2,1:1.

Das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe betrug 2,2:1. An den Hintergliedmaßen war das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe signifikant größer als an den Vordergliedmaßen (Abb. 37).

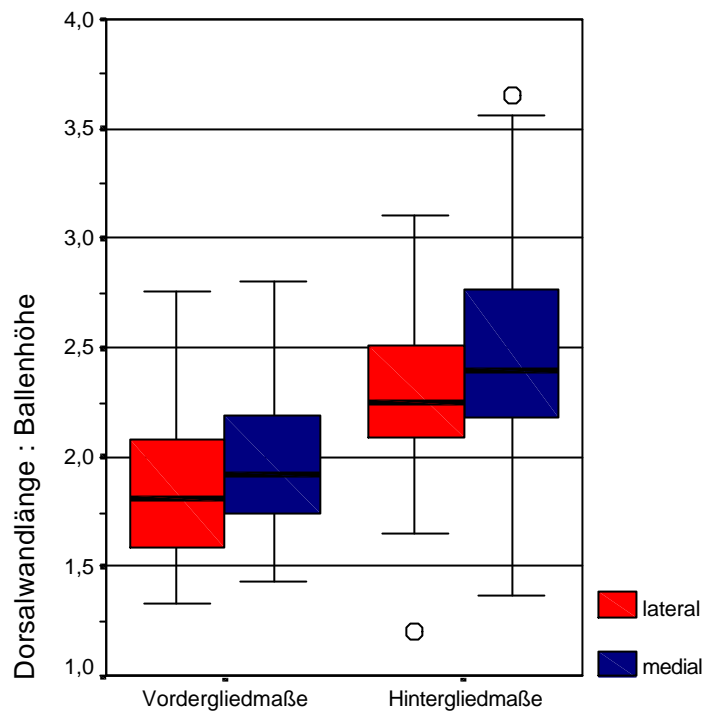


Abb. 37: Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe, Gliedmaßen- und Klauenvergleich

An den Vordergliedmaßen erhielt man einen Quotienten von 1,9:1, an den Hintergliedmaßen ergab sich ein Verhältnis von 2,3:1. Die laterale Klaue wies dabei jeweils das signifikant kleinere Verhältnis im Vergleich zur medialen auf (vgl. Tab. 31). Dies bestätigte sich auch bei der Auswertung innerhalb der Altersgruppen.

Tab. 31: Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe an lateraler und medialer Klaue der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)

Vordergliedmaße		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe	lateral	80	1,84:1	0,32	1,33:1	2,76:1
	medial	80	1,97:1	0,31	1,43:1	2,81:1
Hintergliedmaße		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Verhältnis Dorsalwandlänge : Ballenhöhe	lateral	80	2,30:1	0,38	1,21:1	3,10:1
	medial	80	2,48:1	0,46	1,37:1	3,65:1

Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge

Das Verhältnis Dorsalwandlänge : Sohlenlänge war ebenfalls vom Alter der Tiere unabhängig, ebenso wie vom Geschlecht der Tiere. Es betrug 1:1,13. Ein Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen bestand nicht. Ein signifikanter Unterschied der Verhältnisse trat im Vergleich von Vorder- und Hintergliedmaßen auf, es war an den Vordergliedmaßen mit einem Wert von 1:1,17 höher als an den Hintergliedmaßen, 1:1,08. Die laterale Klaue wies sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen das signifikant geringere Verhältnis auf (Tab. 32). Dies bestätigte sich auch bei der Auswertung innerhalb der Altersgruppen.

Tab. 32: Verhältnis Dorsalwandlänge : Sohlenlänge an lateraler und medialer Klaue der Vorder- bzw. Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)

Vordergliedmaße		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Verhältnis Dorsalwandlänge : Sohlenlänge	lateral	80	1:1,19	0,13	1: 0,83	1:1,44
	medial	80	1:1,15	0,13	1:0,77	1:1,47
Hintergliedmaße		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Verhältnis Dorsalwandlänge : Sohlenlänge	lateral	80	1:1,11	0,11	1:0,83	1:1,41
	medial	80	1:1,06	0,12	1:0,82	1:1,46

4.4 Allgemeine Befunde am Röntgenbild

4.4.1 Röntgenanatomie

Dorsopalmarer bzw. –plantarer Strahlengang:

Die Scheidewand zwischen dem Knochen der dritten und der vierten Zehe war in einigen Fällen im abgebildeten distalen Bereich des Röhrebeines noch deutlich sichtbar (Abb. 38). Das distal gelegene Caput des Röhrebeines zeigte eine glatt begrenzte, tropfenförmige Incisura intertrochlearis zwischen dem Os metacarpale bzw. –tarsale III und IV. Jeder der beiden Knochenanteile besaß eine eigene, deutlich distal der Inzisur gelegene Epiphysenfuge (Abb. 39, schwarze Linie, FMc). Die Begrenzung der Zehengelenkwalzen stellte sich im Röntgenbild als deutlich zu erkennende einzelne Linie mit einer runden proximalen Ausbuchtung, dem Sagittalkamm, dar (Abb. 39 schwarze Linie, Fg). Der Sagittalkamm trennte die Gelenkfläche jeder Zehe, wobei der axial gelegene Teil wenig schmaler war als der abaxiale.

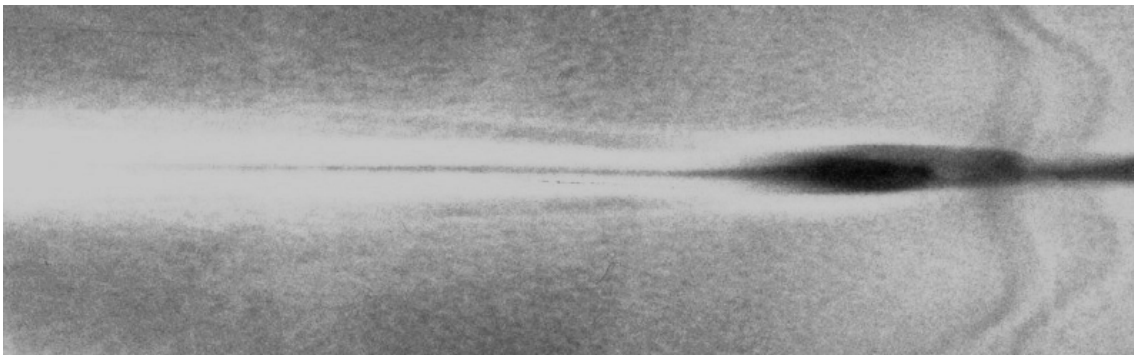


Abb. 38: Ausschnittvergrößerung, Os metacarpale III und IV im dorsopalmarer Strahlengang, Scheidewand zwischen Os metacarpale III und IV, Bereich des Foramen nutritium und der Epiphysenfuge herausgestellt; die Aufhellungslinie zeigt die noch bestehende Trennung der beiden Knochenanteile an und ist im Bereich der Kondylen noch deutlich weiter; Fleckviehkalb, männlich, 5 Tage alt

Die Form der proximalen Sesambeine war unregelmäßig rundlich bis hochoval. Ihre Begrenzung war gut zu erkennen, da sie sich überlagerungsbedingt röntgendichter darstellten

als die Epiphyse. Sie waren von Geburt an sichtbar und nahmen im Untersuchungszeitraum röntgenologisch nur geringgradig an Größe zu.

Die ein bis zwei kleinen Knochen der Afterzehen waren als glatt begrenzte Aufhellung gut zu erkennen. Sie waren ebenfalls von Geburt an sichtbar.

Am Fesselbein stellte sich die proximal gelegene Fovea articularis mittels zwei annähernd parallel verlaufenden Linien dar (Abb. 39, weiße Linien, Fg). Die weiter proximal gelegene Linie war undeutlicher zu erkennen und wurde meist vom Röhrlbein überlagert. Die zweite Linie war als röntgendichte Linie deutlich sichtbar. Im proximalen Drittel lag die Epiphysenfuge des Fesselbeines (Abb. 39, weiße Linie, FFb). Die Gelenkwalze des distalen Fesselbeines stellte sich als glatt begrenzte Einzellinie dar (Abb. 39, weiße Linie, Krg). Die Markhöhle des Fesselbeines war als zentrale Aufhellung gut zu erkennen (Abb. 39, vertikaler Pfeil). Die proximale Gelenkfläche des Kronbeines stellte sich wie am Fesselbein über zwei Linien dar (Abb. 39, schwarze Linien, Krg). Wiederum war die distal abgebildete klarer zu erkennen. Die distale Gelenkfläche zeigte sich auch hier als Einzellinie (Abb. 39, schwarze Linie, Kg). Eine Epiphysenfuge findet sich hier ebenfalls im proximalen Drittel des Knochens (Abb. 39, schwarze Linie, FKrb).

Bei den wenige Tage alten Kälbern war das distale Sesambein röntgenologisch noch nicht zu erkennen. Sein Ossifikationskern wurde vollständig vom Kronbein überlagert (Abb. 39, grün umrandet, KSb). Je größer der Verknöcherungskern wurde, desto häufiger kam es auch zu einer teilweisen Überlagerung mit dem axialen Gelenkflächenbereich des Klauenbeines.

Die Gelenkfläche des Klauenbeines stellte sich in einer unregelmäßigen schmetterlingsähnlichen Form dar (Abb. 39, weiße Linien, Kg). Die beiden größeren Ausbuchtungen zogen nach proximal. Sie wurden vom Kronbein überlagert. Die axiale reichte in ihrer Ausdehnung weiter nach proximal. Die dorsale, weiter distal abgebildete Kontur war weniger stark geschwungen und röntgendichter als die hintere. Die Gefäßkanäle des Klauenbeines waren meist nicht klar zu erkennen. Ihre Zahl schwankte um zwei bis vier gut sichtbare. Der Arcus terminalis stellte sich dagegen meist deutlicher dar. Die Klauenbeinspitze war bei der gewählten Belichtung meist überbelichtet und stellte sich nicht dar (Abb. 39 und 40).

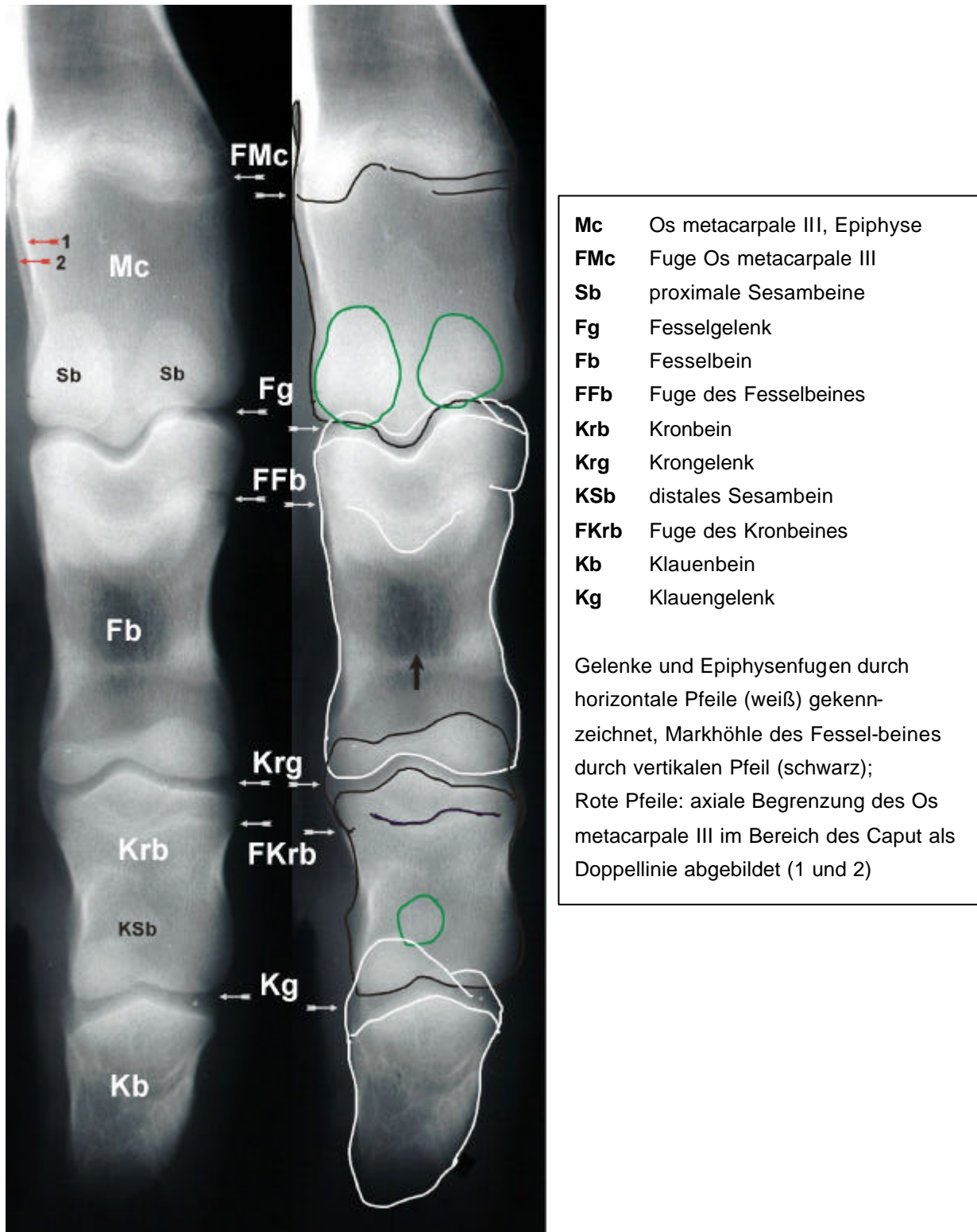


Abb. 39: Aufnahme der rechten Vordergliedmaße im dorsopalmeren Strahlengang, Ausschnitt Os metacarpale III; rechts Originalaufnahme, links mit Begrenzungslinien der Knochenkonturen; Fleckviehkalb, männlich, 100 Tage alt

Die allgemeine Form der Knochen insbesondere des Klauenbeines variierte zwischen den einzelnen Tieren ähnlich dem äußeren Erscheinungsbild (Abb. 40). Zweiundzwanzig der 74 Tiere wiesen sehr rundliche Klauenbeine auf, bei zwei Tieren hatten die Klauenbeine eine langgestreckte dreieckige Form.

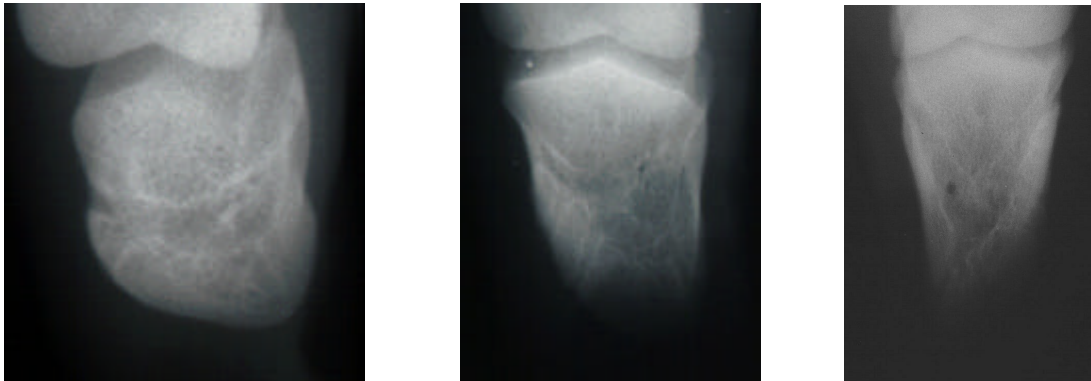


Abb. 40: Ausschnittvergrößerungen, Klauenbein im dorsopalmaren bzw. dorsoplantaren Strahlengang; Klauengelenk, Klauenbein mit Arcus terminalis und Gefäßkanälen bzw. -löchern dargestellt, Bild links Klauenbein mit „rundlicher“ Form; Bild Mitte Form unauffällig; Bild rechts Form des Klauenbeines „langgezogen“; Fleckviehkälber, 4 Tage alt (links), 7 Tage alt (Mitte), 49 Tage alt (rechts)

Die Ausformung der Knochen nahm mit dem Alter der Tiere an Deutlichkeit zu. Während bei den wenige Tage alten Tieren noch rundliche Knochen mit wenig spezifischer Ausformung auftraten, war bei den älteren Tieren eine gestrecktere Form zu erkennen. Die Markhöhle bildete sich deutlicher aus und nahm an Größe zu. Die Kompakta der Diaphyse verdichtete sich. Die Kortikalis war ebenfalls als röntgendichtere Linie vorhanden. Beiderseits am Fesselbein war im distalen Drittel eine leichte Ausziehung zu erkennen. Die Sagittalkämme der Gelenkflächen zeigten eine weniger abgerundete Kontur (Abb. 41). Die Trabekelstruktur war an den dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahmen bei den älteren Tieren deutlicher in ihrem Verlauf zu erkennen als bei den Tieren der jüngeren Altersgruppe. Die Gelenkspalten waren klar begrenzt und zeigten einen symmetrischen Verlauf.

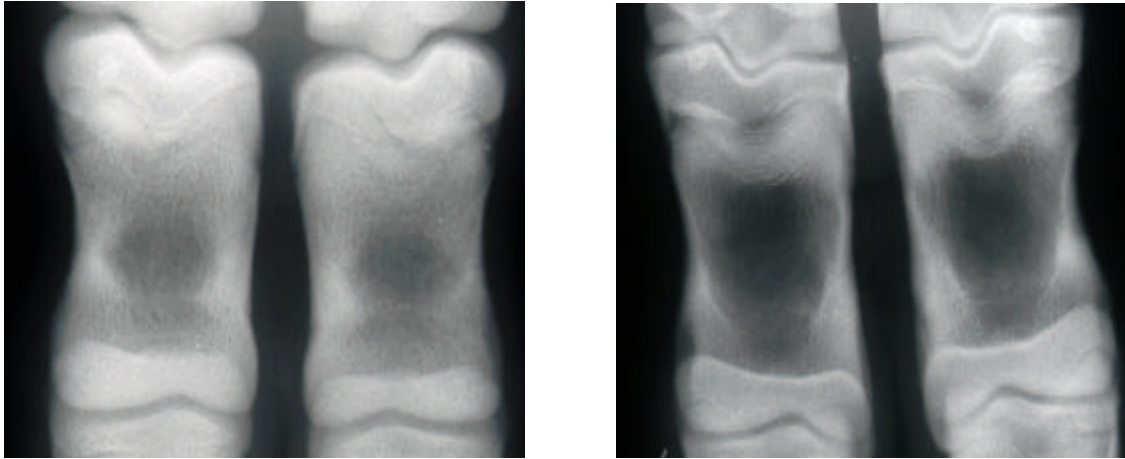


Abb.41: Ausschnittvergrößerung beider Fesselbeine der linken Beckengliedmaße im dorsoplantaren Strahlengang; Fleckviehkalb, weiblich, 25 Tage alt (links) bzw. 79 Tage alt (rechts)

Abaxio-axialer Strahlengang:

Die Beschreibung dieser Aufnahmen beschränkt sich auf den distalen Bereich mit Klauengelenk, Klauenbein, Klauensesambein und dem umgebendem Weichteil, da nur an diesen Messungen durchgeführt worden waren.

Das distale Sesambein (Abb. 42, KSb) wurde zum Teil von der Gelenkwalze des Kronbeines überlagert. Es lies eine parallel zu seiner dorsalen Begrenzung verlaufende röntgendichtere Linie erkennen.

Am Klauenbein zeigte sich der Processus extensorius (Abb. 42, Pe) abgerundet mit einer weichen Kontur. Ebenso war an der abgerundeten palmaren bzw. plantaren Kontur der Sohlenfläche die Tuberositas flexoria noch nicht deutlich zu erkennen. Der knochenrandnahe Bereich der distalen zwei Drittel der Dorsalwand (Abb. 42, rote Pfeile) stellte sich etwas röntgendichter dar als der proximale Bereich. Die Kompakta im Sohlenbereich (Abb. 42, grüne Pfeile) war von der Spitze des Klauenbeines bis zum Übergang in das letzte Viertel bzw. den Übergang in die im Ballen gelegene Kontur des Klauenbeines röntgendichter als der palmare bzw. plantare Teil.

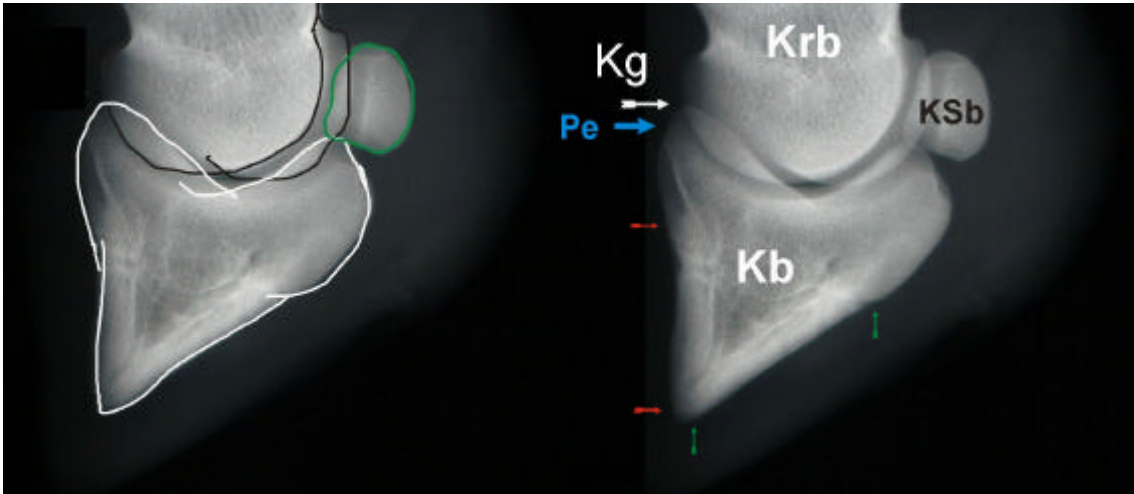


Abb. 42: Aufnahme der lateralen Zehe der linken Hintergliedmaße im abaxio-axialen Strahlengang, Ausschnittvergrößerung Bereich Hornschuh; rechts Originalaufnahme, links mit Begrenzungslinien der Knochenkonturen; Fleckviehkalb, männlich, 137 Tage alt,

Krb Kronbein	KSb distales Sesambein
Kb Klauenbein	Kg Klauengelenk (weißer Pfeil)
Pe Processus extensorius des Klauenbeines (blauer Pfeil)	

4.4.2 Klauensesambein

Im Gegensatz zu den proximalen Sesambeinen, die bereits bei der Geburt einen deutlichen Verknöcherungskern besaßen, stellte sich das distale Sesambein anfangs röntgenologisch nicht dar. Bei den Tieren dieser Untersuchung zeigte sich das distale Sesambein erstmals an den Hintergliedmaßen eines Tieres im Alter von 4 Tagen als kleine Aufhellung (Abb. 43).

Das älteste Tier in der Untersuchung, bei dem noch kein Verknöcherungskern zu erkennen war, war 40 Tage alt. Lediglich an einer Klaue, hinten rechts lateral, zeigte ein 49 Tage altes Tier eine beginnende Verknöcherung. Der röntgenologisch darstellbare Anteil der Sesambeine nahm mit zunehmenden Alter des Tieres an Größe zu, es bestand eine starke positive Korrelation zwischen dem Grad der Ausbildung des Sesambeines und dem Alter der Kälber ($r = 0,8$; Korrelationskoeffizient nach Spearman).

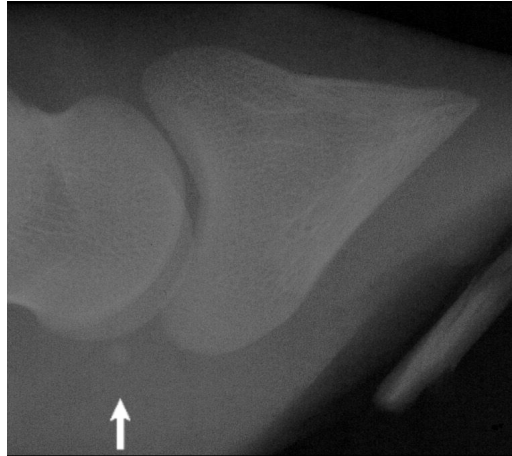


Abb. 43: laterale Klaue der linken Hintergliedmaße im abaxio-axialen Strahlengang, Ausschnittsvergrößerung im Bereich des Klauengelenkes, röntgenologisch erkennbarer kleiner Ossifikationskern (Pfeil) des Os sesamoideum distale; Fleckviehkalb, männlich, 4 Tage alt

An den Hintergliedmaßen war eine beginnende Verknöcherung des distalen Sesambeines früher festzustellen als an den Vordergliedmaßen. Ein Ossifikationskern wurde an den Hintergliedmaßen erstmals bei einem Tier im Alter von 4 Tagen, an den Vordergliedmaßen dagegen erst in einem Alter von 11 Tagen beobachtet. Das älteste Kalb in dieser Untersuchung, welches an den Hintergliedmaßen noch keinen Ossifikationskern des Klauensesambeines aufwies, war 40 Tage alt, das älteste, bei dem sich eine Andeutung zeigte 48 Tage. In Bezug auf die Vordergliedmaßen war das älteste Tier ohne Ossifikationskern 49 Tage alt, das älteste, das lediglich einen angedeuteten Kern besaß 45 Tage. Ein Größenunterschied zwischen den Ossifikationskernen der distalen Sesambeine der Vorder- und Hintergliedmaßen eines Tieres war während der Entwicklung bei 47 der 77 Tiere (61%) zu erkennen. Bei den restlichen Tieren war entweder noch kein Verknöcherungskern sichtbar (16 Kälber, 21%) oder das distale Sesambein weitgehend verknöchert (14 Kälber, 18%).

An 35 Gliedmaßen (19%) der 47 Tiere, deren Klauensesambein sich noch in Verknöcherung befand, wurde ein Unterschied in der Größe des Verknöcherungskernes zwischen der lateralen und medialen Zehe beobachtet (Abb. 44). Lediglich bei drei dieser Gliedmaßen wies die mediale Zehe den größeren Ossifikationskern auf, bei allen anderen wurde derjenige der lateralen Zehe als größer beurteilt.

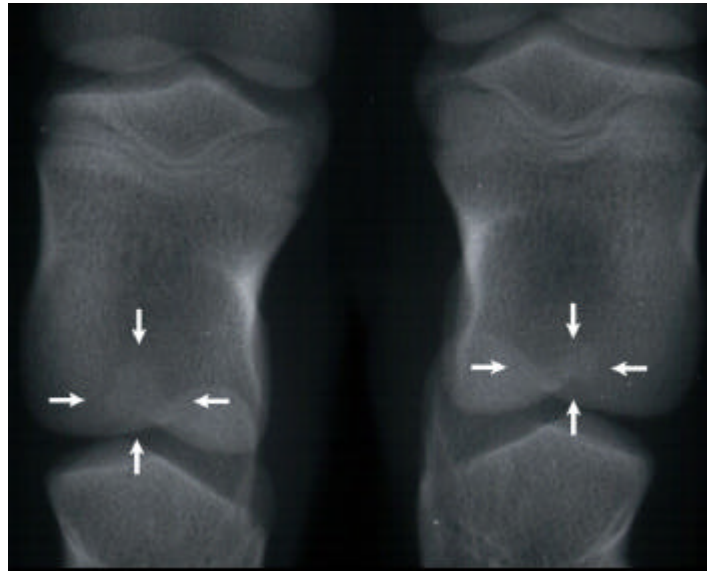


Abb. 44: Ausschnittvergrößerung der linken Hintergliedmaße im dorsoplantaren Strahlengang, Fesselbein und angrenzende Gelenke; Größenunterschied zwischen den Verknöcherungskernen der distalen Sesambeine (Pfeile) der lateralen und medialen Klaue; Fleckviehkalb, weiblich, 48 Tage alt

4.4.3 Weichteile

Der Hornschuh war an den dorsopalmaren und –plantaren Aufnahmen nur undeutlich zu erkennen, da aufgrund der abnehmenden Schichtdicke der distale Zehenbereich stärker beleuchtet wurde. Bei einem Tier, welches eine Verletzung bzw. einen subkutanen Abszess im Bereich der lateralen Metakarpusepiphyse aufwies, zeigte sich dieser als Aufhellung.

An den Aufnahmen im abaxio-axialem Strahlengang war bei einigen der Präparate die Sohlenlinie des Hornschuhes unterbrochen bzw. mehrfach vorhanden, abhängig von der Ausbildung des Eponychiums (Abb. 43).

4.4.4 Auffälligkeiten an den Knochen

Bei drei Tieren zeigte das Klauenbein an der abaxio-axialen Aufnahme der Vordergliedmaßen eine rauhe Kontur im Bereich der palmaren Gelenkfläche des Klauenbeines (Abb. 45). Ein

Verknöcherungskern im Bereich des distalen Sesambeines war bei diesen Tieren noch nicht zu erkennen. Die Tiere waren 12, 27 und 28 Tage alt. Eines der Tiere wurde wegen einer schwerwiegenden Nabelerkrankung, eines aufgrund einer Femurfraktur und das dritte mit Polyarthrititis eingeschlachtet.

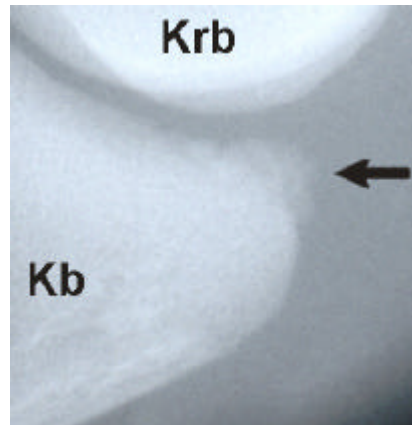


Abb. 45: Ausschnitt der medialen Zehe der rechten Vordergliedmaße im abaxio-axialen Strahlengang, Rauigkeit am Klauenbein im Bereich der palmaren Gelenkfläche (Pfeil); Fleckviehkalb, weiblich, 27 Tage alt, **Krb**: Kronbein; **Kb**: Klauenbein

Zwei Tiere mit Gliedmaßenerkrankungen wiesen im Bereich der Wachstumszonen des Röhrebeines aller Gliedmaßen eine mehr oder weniger deutliche Einziehung auf (Abb. 46).

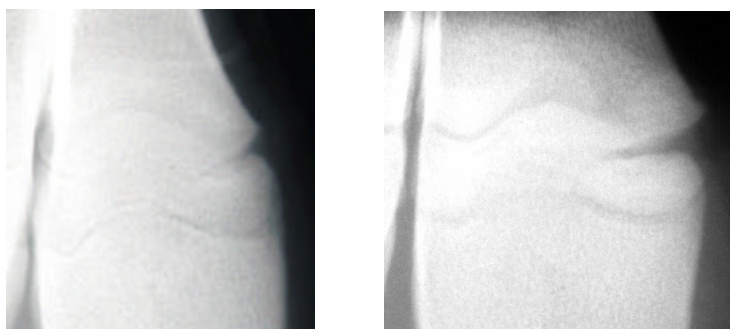


Abb. 46: Ausschnitt der Metakarpusfuge der lateralen Zehe der linken Vordergliedmaße, Einziehung des Knochens im proximalen Fugenbereich; Fleckviehkälber, links: männlich, 7 Tage alt; rechts: weiblich, 1 Tag alt

4.5 Ergebnisse der Messungen am Röntgenbild

4.5.1 Dorsopalmare bzw. –plantare Aufnahmeebene

Es wurden insgesamt 152 Aufnahmen unter den Gesichtspunkten Geschlechtsunterschiede, Altersabhängigkeiten, Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen und Vergleich der lateralen und medialen Klauen ausgewertet.

4.5.1.1 Knochenlängen und Breite der Gelenkspalten

4.5.1.1.1 Geschlecht

Die Auswertung erfolgte, entsprechend der Auswertung am Hornschuh, nach Korrektur auf gleiches Durchschnittsalter der männlichen und weiblichen Tiere. Ein signifikanter Unterschied bestand in der Länge der Knochen, welche bei den männlichen Tieren größer war. Die Länge der Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse betrug bei den männlichen Tieren im Mittelwert 36,6 mm, bei den weiblichen 34,8 mm. Das Fesselbein ($p = 0,004$) hatte bei den männlichen Tieren eine durchschnittliche Länge von 43,2 mm, das der weiblichen Tiere eine Länge von 41,5 mm. Die Länge des Kronbeines ($p = 0,001$) erreichte 31,0 mm bei den männlichen und 29,5 mm bei den weiblichen Tieren. Ein Geschlechtsunterschied bezüglich der Breite der Gelenkspalten des Fessel- und des Kron gelenkes bestand nicht.

4.5.1.1.2 Korrelationen

Eine schwache positive Korrelation bestand zwischen dem Alter und der Länge der Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse ($r = 0,28$). Fesselbein ($r = 0,40$) und Kronbein ($r = 0,48$) zeigten diesbezüglich eine mittlere Korrelation (Abb. 47).

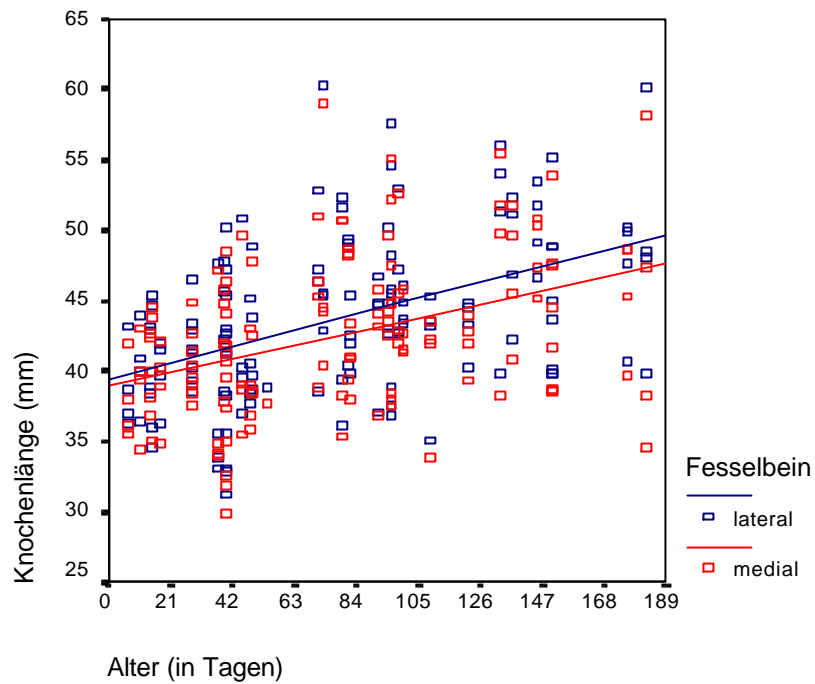


Abb. 47: Länge des lateralen und medialen Fesselbeines im Vergleich zum Alter der Tiere (lineare Regression)

Die Gelenkspaltenbreiten von Fessel- und Krongelenk zeigten eine sehr schwache negative Korrelation ($r = -0,2$) zum Alter (Abb. 48).

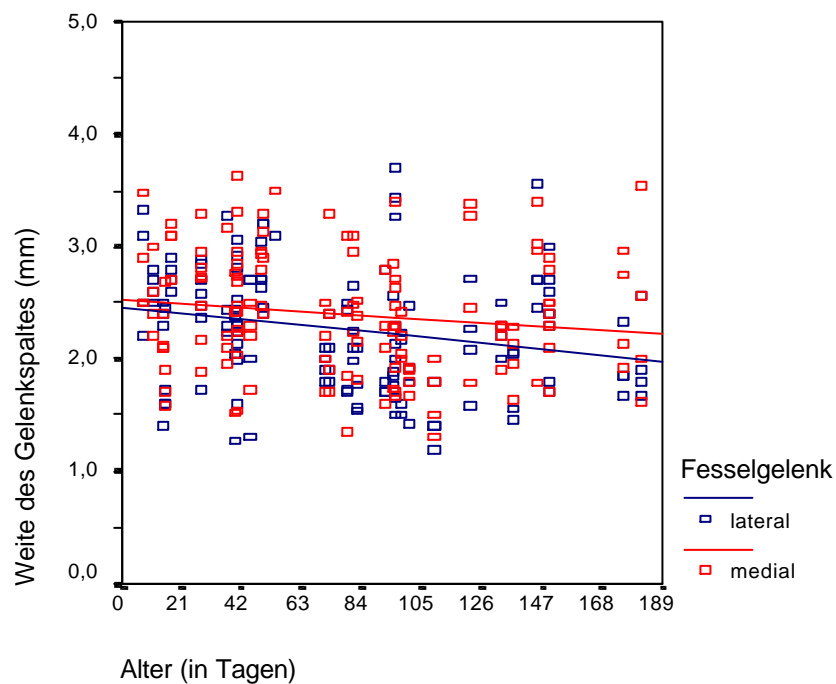


Abb. 48: Weite des Gelenkspaltes des lateralen und medialen Fesselgelenkes im Vergleich zum Alter der Tiere (lineare Regression)

Die Längen der Knochen korrelierten sehr stark positiv ($r = 0,8-0,9$) untereinander und mit dem entsprechenden Parameter der Partnerzehe. Fesselgelenk und Krongelenk korrelierten in der Breite des Gelenkspaltes stark positiv sowohl miteinander als auch mit dem jeweiligen der Partnerzehe.

4.5.1.1.3 Gliedmaßenvergleich

Ein Unterschied zwischen den Parametern der linken und rechten Gliedmaße bestand nicht. Zwischen den Parametern der Vorder- und der Hintergliedmaße zeigte sich ein signifikanter Unterschied lediglich in der Länge des Kronbeines. An den Hintergliedmaßen war es mit durchschnittlich 31,7 mm signifikant länger als an den Vordergliedmaßen mit 29,6 mm. (Übersicht über die Parameter in Tab. 33)

Tab. 33: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten in mm (N: Anzahl der Zehen)

	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Länge Metakarpus/Metatarsusepiphyse	304	36,03	4,43	24,3	48,2
Länge Fesselbein	304	42,72	5,49	29,9	60,2
Länge Kronbein	304	30,64	4,38	21,7	48,3
Weite Fesselgelenk	304	2,37	0,53	1,2	3,7
Weite Krongelenk	304	1,75	0,34	0,7	2,7

4.5.1.1.4 Vergleich laterale und mediale Klaue

Sowohl an den Vorder-, als auch an den Hintergliedmaßen wiesen die Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphysen und die Fesselbeine der lateralen Zehen die größere Länge auf (siehe Abb. 49 und Tab. 34). Die Länge der Kronbeine der lateralen Zehen hingegen unterschied sich nicht von der Länge der medialen. Die Gelenkweiten von Fessel- und Krongelenk an den Vordergliedmaßen unterschieden sich nicht zwischen der lateralen und der medialen Zehe, (Tab. 33), an den Hintergliedmaßen war das Fesselgelenk der medialen signifikant weiter.

Tab. 34: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten (in mm) mit signifikantem Unterschied beim Vergleich der lateralen mit der medialen Klaue an den Vorder- bzw. Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Zehen)

Vordergliedmaße		N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Länge Metakarpusepiphyse	lateral	75	35,73	4,26	27,1	47,6
	medial	75	34,97	4,12	28,1	46,0
Länge Fesselbein	lateral	75	42,41	5,42	32,9	60,2
	medial	75	41,33	5,27	32,0	59,1
Hintergliedmaße						
Länge Metatarsusepiphyse	lateral	77	37,70	4,53	25,8	48,2
	medial	77	35,68	4,40	24,3	46,4
Länge Fesselbein	lateral	77	44,16	5,61	31,2	60,1
	medial	77	42,95	5,38	29,9	58,1
Breite Fesselgelenkspalt	lateral	77	2,26	0,51	1,2	3,7
	medial	77	2,50	0,54	1,3	3,6

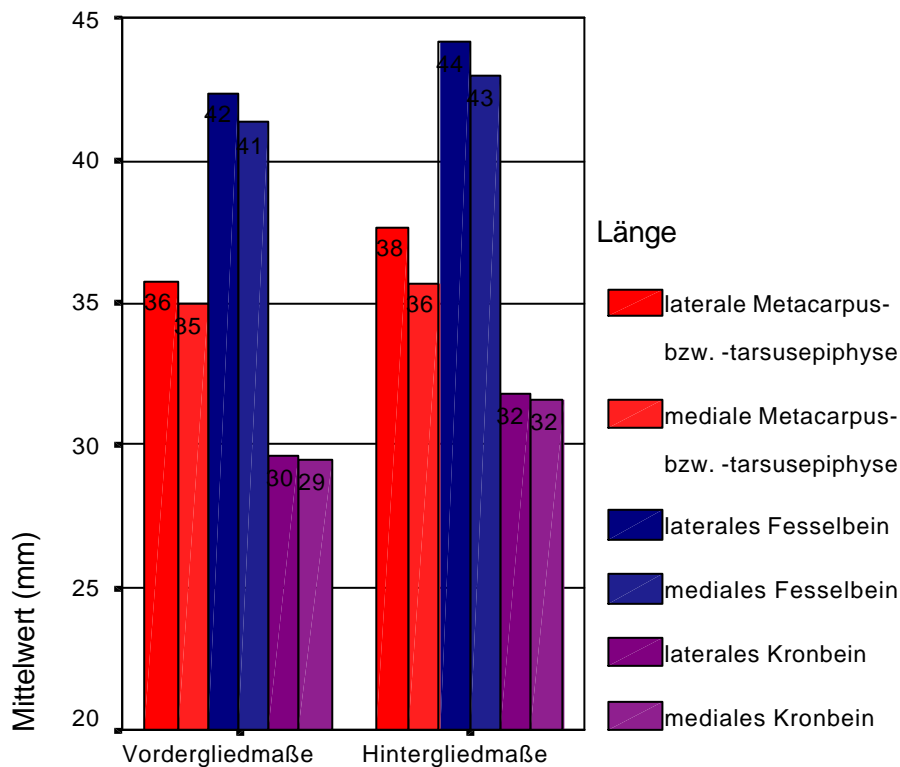


Abb.49: Am Röntgenbild gemessene Längen der Zehenknochen, Vergleich der Vorder- und Hintergliedmaßen bzw. lateralen und mediale Zehe

4.5.1.1.5 Altersgruppen

Die Knochen der Tiere über 7 Wochen waren signifikant länger als die der Tiere unter 7 Wochen, die Gelenkspalten waren enger (Tab. 35).

Tab. 35: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten (in mm) der Altersgruppen unter und über 7 Wochen (N: Anzahl der Zehen)

< 7 Wochen	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Länge Metakarpus/Metatarsusepiphyse	134	34,76	3,83	24,3	45,8
Länge Fesselbein	134	40,20	4,15	29,9	50,8
Länge Kronbein	134	28,48	3,18	21,7	36,0
Weite Fesselgelenk	134	2,51	0,49	1,3	3,6
Weite Krongelenk	134	1,86	0,35	0,8	2,7
> 7 Wochen	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Länge Metakarpus/Metatarsusepiphyse	170	37,03	4,62	27,1	48,2
Länge Fesselbein	170	44,71	5,61	33,9	60,2
Länge Kronbein	170	32,35	4,46	22,1	48,3
Weite Fesselgelenk	170	2,25	0,53	1,2	3,7
Weite Krongelenk	170	1,67	0,31	0,7	2,7

In der Altersgruppe **unter 7 Wochen** bestand noch kein Unterschied in den ermittelten Knochenlängen und den Weiten der Gelenkspalten der Vorder- und Hintergliedmaßen. In der Altersgruppe **über 7 Wochen** waren die Fesselbeine und Kronbeine an den Hintergliedmaßen jedoch signifikant länger als an den Vordergliedmaßen. Die Länge der Fesselbeine betrug an den Vordergliedmaßen 43,4 mm, an den Hintergliedmaßen 46,0 mm. An den Vordergliedmaßen waren die Kronbeine 31 mm lang, an den Hintergliedmaßen 33,7 mm. Die Gelenkspalten der Krongelenke waren an den Hintergliedmaßen mit 1,6 mm schmaler als an den Vordergliedmaßen, 1,8 mm. Ein Unterschied in der Länge der Metakarpus- und Metatarsusepiphysen und in der Breite der Fesselgelenkspalten bestand nicht. Sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen waren in beiden Altersgruppen die lateralen Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphysen und die Fesselbeine der lateralen Zehen signifikant länger als die der medialen. Die Längen der Kronbeine unterschieden sich nicht zwischen den beiden Zehen.

Tab. 36: Knochenlängen und Weite der Gelenkspalten (in mm) an den lateralen und medialen Zehen getrennt für Vorder- und Hintergliedmaßen bei den Altersgruppen unter und über 7 Wochen, Parameter mit signifikantem Unterschied fettgedruckt (N: Anzahl der Zehen)

< 7 Wochen	Vordergliedmaße	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Länge Metakarpusepiphyse	lateral	33	34,81	4,02	27,8	43,9
	medial	33	34,02	3,85	28,3	43,5
Länge Fesselbein	lateral	33	40,46	4,49	32,9	50,8
	medial	33	39,38	4,35	32,0	49,6
Länge Kronbein	lateral	33	27,74	3,32	21,7	35,7
	medial	33	27,71	3,45	22,6	35,6
Weite Fesselgelenk	lateral	33	2,43	0,55	1,3	3,3
	medial	33	2,47	0,51	1,5	3,5
Weite Krongelenk	lateral	33	1,88	0,36	1,1	2,6
	medial	33	1,78	0,39	0,8	2,4
< 7 Wochen	Hintergliedmaße	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Länge Metatarsusepiphyse	lateral	34	36,20	3,71	25,8	45,8
	medial	34	34,00	3,48	24,3	41,5
Länge Fesselbein	lateral	34	40,89	4,02	31,2	47,8
	medial	34	40,05	3,75	29,9	46,3
Länge Kronbein	lateral	34	29,23	2,79	24,1	36,0
	medial	34	29,18	2,91	23,6	35,8
Weite Fesselgelenk	lateral	34	2,46	0,42	1,6	3,2
	medial	34	2,69	0,47	1,7	3,6
Weite Krongelenk	lateral	34	1,92	0,32	1,2	2,7
	medial	34	1,87	0,32	1,4	2,7
> 7 Wochen	Vordergliedmaße	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Länge Metakarpusepiphyse	lateral	42	36,45	4,35	27,1	47,6
	medial	42	35,71	4,22	28,1	46,0
Länge Fesselbein	lateral	42	43,94	5,65	35,1	60,2
	medial	42	42,86	5,47	33,9	59,1
Länge Kronbein	lateral	42	31,11	4,40	22,1	41,4
	medial	42	30,88	4,29	22,4	40,4
Weite Fesselgelenk	lateral	42	2,22	0,49	1,4	3,6
	medial	42	2,35	0,53	1,6	3,5
Weite Krongelenk	lateral	42	1,77	0,31	1,1	2,7
	medial	42	1,73	0,30	1,2	2,3
> 7 Wochen	Hintergliedmaße	N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Länge Metatarsusepiphyse	lateral	43	38,89	4,81	27,8	48,2
	medial	43	37,01	4,63	27,5	46,4
Länge Fesselbein	lateral	43	46,73	5,37	33,9	60,1
	medial	43	45,24	5,40	33,9	58,1
Länge Kronbein	lateral	43	33,88	4,46	23,7	48,3
	medial	43	33,47	3,97	23,4	43,0
Weite Fesselgelenk	lateral	43	2,10	0,52	1,2	3,7
	medial	43	2,34	0,54	1,3	3,5
Weite Krongelenk	lateral	43	1,64	0,27	1,2	2,2
	medial	43	1,53	0,31	0,7	2,3

Bei den Tieren unter 7 Wochen zeigten die Gelenkspalten keinen Unterschied, bei den Tieren über 7 Wochen bestand an den Vordergliedmaßen kein Unterschied, an den Hintergliedmaßen war das mediale Fesselgelenk weiter als das laterale.

4.5.1.2 Höhenunterschiede zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich

An den dorsopalmar- bzw. plantaren Aufnahmen bestand bei 79,6% der Zehen ein Höhenunterschied im Fesselgelenk. Im Krongelenk bestand dieser bereits bei 92,7% und im Klauengelenk bei 92,1%. Dabei war in der Mehrzahl der Fälle der Messpunkt der lateralen Zehe der am weitesten distal gelegene (Tab. 37). Ein Geschlechtsunterschied bestand nicht.

Tab. 37: Auftreten eines Höhenunterschiedes zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Bereich der Zehengelenke in % der Gesamtzahl der Gliedmaßen

Höhenunterschied	im Fesselgelenk	im Krongelenk	im Klauengelenk
lateraler Messpunkt weiter distal gelegen	75,0%	91,4%	90,1%
medialer Messpunkt weiter distal gelegen	4,6%	1,3%	2,0%
Summe	79,6%	92,7%	92,1%
kein Unterschied	20,4%	7,3%	7,9%

Im Vergleich der Höhenunterschiede einer Zehe untereinander (Tab. 38) zeigten sich sowohl der Höhenunterschied im Krongelenk (2,11 mm) als auch der Höhenunterschied im Klauengelenk (2,24 mm) signifikant größer als der Höhenunterschied im Fesselgelenk (1,22 mm). Ein signifikanter Unterschied zwischen den Höhenunterschieden im Kron- und Klauengelenk fand sich hingegen nicht.

Tab. 38: Höhenunterschiede (in mm) zwischen den beiden Zehen im Gelenkbereich (N: Anzahl der Gliedmaßen)

Höhenunterschied	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
im Fesselgelenk	151	1,22	1,10	-1,8	4,6
im Krongelenk	152	2,11	1,42	-3,7	5,3
im Klauengelenk	152	2,24	1,57	-3,0	6,5

Eine Korrelation des Höhenunterschiedes mit dem Alter der Tiere bestand nicht. Zu den ermittelten Knochenlängen wiesen die Höhenunterschieden eine schwache positive Korrelation auf ($r = 0,2-0,3$), untereinander eine starke positive Korrelation ($r = 0,8-0,9$). Die Breiten der Gelenkspalten der Fessel- bzw. Krongelenke zeigten keine Korrelation zu den Höhenunterschieden.

Ein Unterschied zwischen den an den linken und rechten Gliedmaßen ermittelten Parametern bestand nicht.

Ein Unterschied von ca. 1,2 mm zwischen den Werten der Vorder- und der Hintergliedmaße zeigte sich in allen drei Höhenunterschieden. Die Hintergliedmaßen erreichten die signifikant höheren Werte (Tab. 39 und Abb. 50). Damit war der Höhenunterschied im Fesselgelenk an den Hintergliedmaßen um 86% größer, der Höhenunterschied im Krongelenk um 76% und der Höhenunterschied im Klauengelenk um 81% als an den Vordergliedmaßen.

Tab. 39: Höhenunterschiede (in mm) zwischen den Zehenknochen im Gelenkbereich an den Vorder- und Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)

Vordergliedmaße	N	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Höhendifferenz im Fesselgelenk	75	0,64	0,88	-1,6	2,6
Höhendifferenz im Krongelenk	75	1,52	1,34	-3,7	4,1
Höhendifferenz im Klauengelenk	75	1,59	1,47	-3,0	6,5
Hintergliedmaße					
Höhendifferenz im Fesselgelenk	77	1,83	1,01	-1,8	4,6
Höhendifferenz im Krongelenk	77	2,68	1,26	-2,6	5,3
Höhendifferenz im Klauengelenk	77	2,87	1,40	-2,7	5,5

Innerhalb der beiden Altersgruppen war abweichend davon in der Altersgruppe über 7 Wochen der Höhenunterschied im Krongelenk an den Hintergliedmaßen mit durchschnittlich 2,63 mm signifikant kleiner als der im Klauengelenk mit 2,89 mm ($p = 0,003$).

Zwischen den Altersgruppen bestanden keine signifikanten Unterschiede in den Werten.

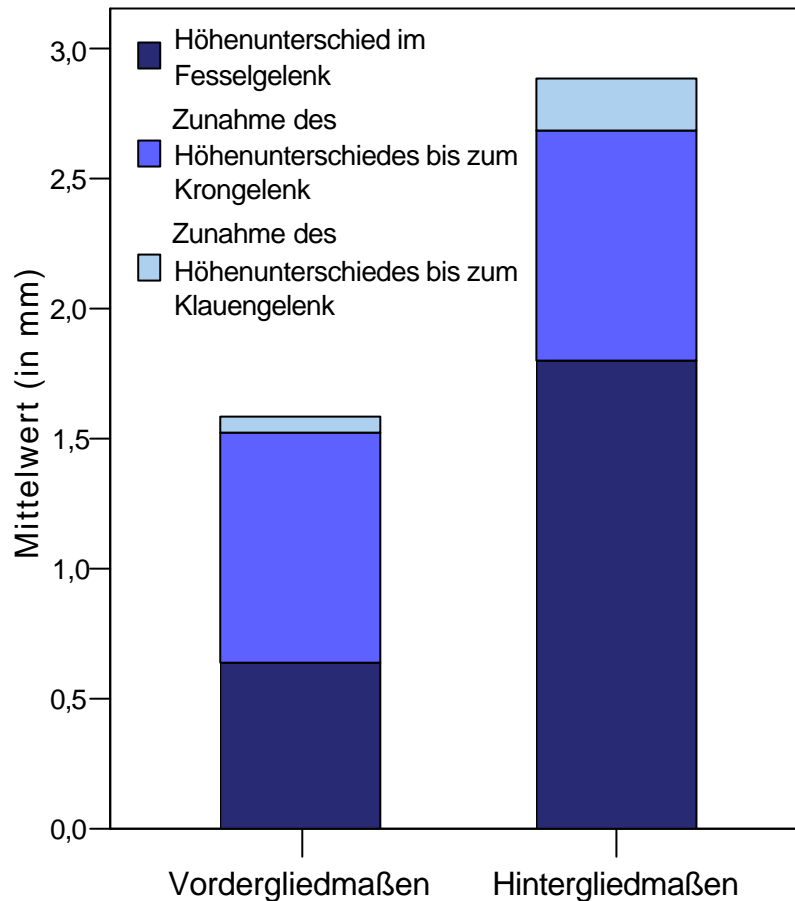


Abb. 50: Entwicklung des Höhenunterschieds zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich im Vergleich von Vorder- und Hintergliedmaßen

Den größten Anteil am hier bestimmten endgültigen Höhenunterschied im Klauengelenk bildete an der Vordergliedmaße der Bereich zwischen Fessel- und Krongelenk. Einen kleineren Anteil nahm der Bereich zwischen der distalen Metakarpusfuge und dem Fesselgelenk ein (Abb. 50). Zwischen Kron- und Klauengelenk kam es nur zu einem geringen Anstieg des Höhenunterschiedes.

An den Hintergliedmaßen ergab sich ein davon abweichendes Bild (Abb. 50), den weitaus größten Anteil am Höhenunterschied im Klauengelenk nahm hier der Bereich zwischen der distalen Metatarsusfuge und dem Fesselgelenk ein, gefolgt vom anschließenden Bereich zwischen Fessel- und Krongelenk. Bis zum Klauengelenk nahm der Unterschied wieder in geringerem Maße zu, auch wenn die Zunahme absolut höher war als an den Schultergliedmaßen.

Bei Betrachtung der Altersgruppen ergab sich in beiden dasselbe Bild (Abb.51), wobei bei den Tieren im Alter über 7 Wochen an den Vordergliedmaßen der Höhenunterschied im Bereich Krongelenk und Kronbein nicht mehr zunahm.

Tab. 40: Entwicklung des Höhenunterschiedes (in mm) zwischen den Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich in beiden Altersgruppen getrennt für Vorder- und Hintergliedmaßen (N: Anzahl der Gliedmaßen)

< 7 Wochen		N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Höhenunterschied im Fesselgelenk	vorne	33	0,53	0,80	0,14
	hinten	34	1,83	0,79	0,13
Zunahme des Höhenunterschiedes bis zum Krongelenk	vorne	33	0,90	0,95	0,17
	hinten	34	0,91	0,68	0,12
Zunahme des Höhenunterschiedes bis zum Klauengelenk	vorne	33	0,14	0,89	0,15
	hinten	34	0,11	0,79	0,14
Höhenunterschied im Klauengelenk (= Summe)	vorne	33	1,58	1,39	0,24
	hinten	34	2,85	1,26	0,22
> 7 Wochen		N	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Höhenunterschied im Fesselgelenk	vorne	42	0,73	0,93	0,14
	hinten	42	1,78	1,14	0,18
Zunahme des Höhenunterschiedes bis zum Krongelenk	vorne	42	0,87	1,13	0,17
	hinten	42	0,87	0,70	0,11
Zunahme des Höhenunterschiedes bis zum Klauengelenk	vorne	42	0,00	0,55	0,09
	hinten	43	0,26	0,54	0,08
Höhenunterschied im Klauengelenk (= Summe)	vorne	42	1,60	1,56	0,24
	hinten	43	2,89	1,52	0,23

Der Höhenunterschied im Fesselgelenk hatte an den Vordergliedmaßen bei den unter 7 Wochen alten Tieren einen Anteil von 34%, bei den über 7 Wochen alten einen Anteil von 46% am gesamten Höhenunterschied im Bereich des Klauengelenkes. An den Hintergliedmaßen nahm er dagegen einen Anteil von 64% (unter 7 Wochen) bzw. 61% (über 7 Wochen) ein.

Auffällig war in beiden Altersgruppen, dass der absolute Betrag der Zunahme des Höhenunterschiedes im Bereich Fesselgelenk und Fesselbein an Vorder- und Hintergliedmaßen gleich war (Abb. 51 und Tab. 40). Der prozentuale Anteil variierte.

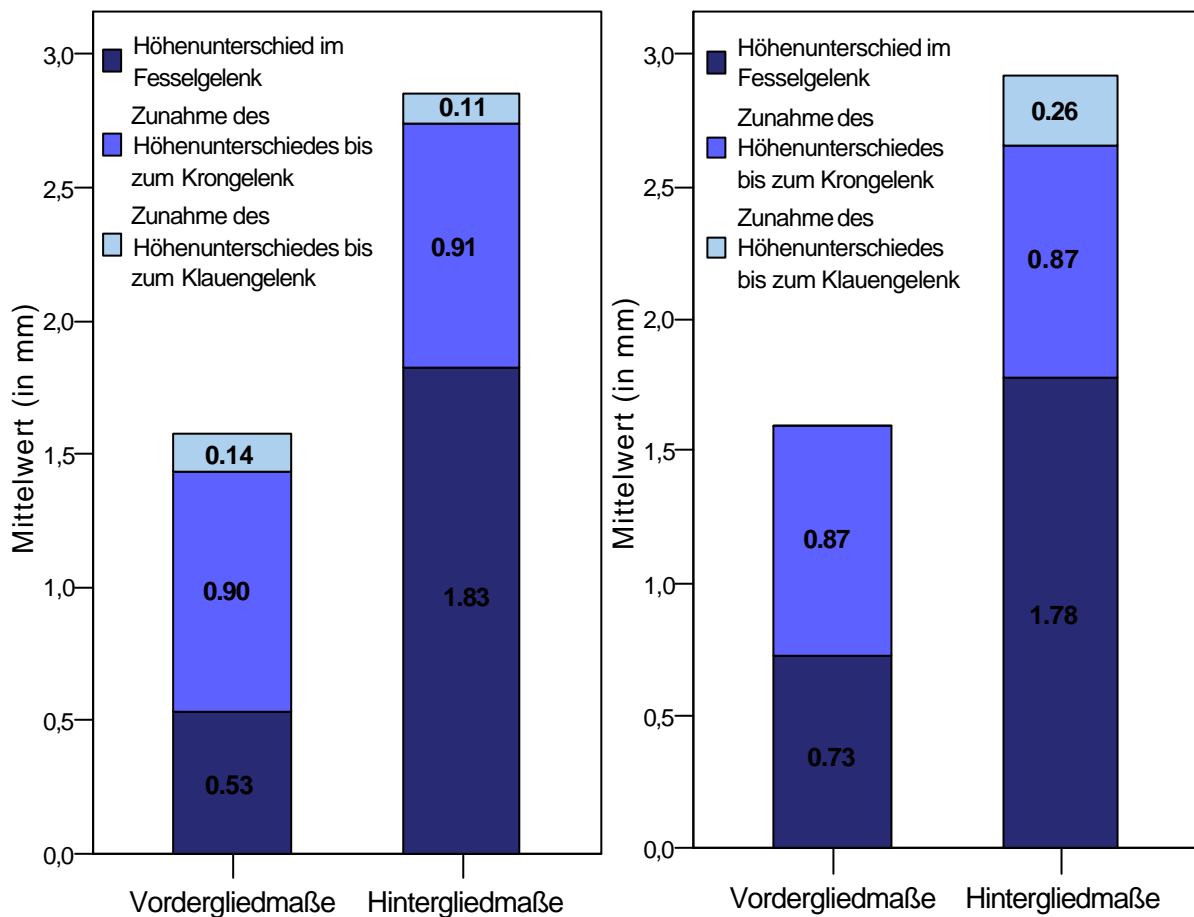


Abb. 51: Entwicklung des Höhenunterschieds zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich der beiden Altersgruppen im Vergleich von Vorder- und Hintergliedmaßen (links: Altersgruppe unter 7 Wochen, rechts: Altersgruppe über 7 Wochen, Balkenbeschriftung: Mittelwerte der Balkenelemente in mm)

An den Vordergliedmaßen der Tiere im Alter unter 7 Wochen betrug er 57%, an den Hintergliedmaßen 54%. Bei den Tieren im Alter über 7 Wochen hatte die Zunahme im Bereich des Fesselgelenkes und des Fesselbeines an den Vordergliedmaßen einen Anteil am Gesamtunterschied im Klauengelenk von 32%, an den Hintergliedmaßen war er ebenfalls geringer mit 30%. Die Zunahme des Höhenunterschiedes im Bereich Kron- bis Klauengelenk nahm an den Vordergliedmaßen der Tiere unter 7 Wochen nur 9% des Gesamtunterschiedes ein. An den Hintergliedmaßen betrug sein Anteil 4% bei den Tieren im Alter unter 7 Wochen und 9% bei den über 7 Wochen.

4.5.2 Abaxio-axiale Aufnahmeebene

Von 8 Tieren ohne Lahmheit wurden 128 Aufnahmen im abaxio-axialem Strahlengang ebenfalls nach den Gesichtspunkten Geschlecht, Alterszusammenhang, Vergleich der Gliedmaßen und Vergleich der Werte an den lateralen und medialen Klauen ausgewertet.

4.5.2.1 Geschlecht

Der Dorsalwinkel des Klauenbeines der männlichen Tieren war mit einem Wert von $55,4^\circ$ signifikant größer als der Winkel der weiblichen Tiere mit $53,5^\circ$. Die anderen Parameter wiesen keinen Geschlechtsunterschied auf.

4.5.2.2 Korrelationen

Die Parameter Dorsallänge, Sohlenlänge und Höhe des Klauenbeines zeigten zum Alter der Tiere eine starke positive Korrelation ($r = 0,8$). Der Winkel des Klauenbeines korrelierte hingegen nicht mit dem Alter.

Die Dorsallänge und die Sohlenlänge des Klauenbeines korrelierten sehr stark positiv ($r = 0,9$) miteinander. Der Winkel des Klauenbeines zeigte keine Korrelation zu einer der beiden

Längen. Auch bei diesen Parametern bestand ein starker Zusammenhang mit den entsprechenden der Partnerklaue.

4.5.2.3 Gliedmaßenvergleich

Es bestanden keine Unterschiede zwischen den Werten der Parameter an den rechten und linken bzw. den Vorder- und Hintergliedmaßen. Die Durchschnittswerte der Parameter sind in Tab. 41 aufgeführt.

Tab. 41: Dorsallänge, Sohlenlänge und Dorsalwinkel des Klauenbeines (Längen in mm und Winkel in °, N: Anzahl der Zehen)

	N	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum
Dorsallänge	64	37,09	4,66	29,9	47,4
Sohlenlänge	64	28,56	3,70	22,0	36,5
Winkel Klauenbein	64	54,67	1,94	51,1	59,2
Höhe	64	30,23	3,81	24,3	38,3

4.5.2.4 Vergleich laterales und mediales Klauenbein

Sowohl an den Vorder- als auch an den Hintergliedmaßen waren die drei gemessenen Parameter an der medialen Klaue signifikant größer als an der lateralen. Die durchschnittlichen Werte für beide Klauen sind getrennt für Vorder- und Hintergliedmaßen in Tab. 42 aufgeführt.

Tab. 42: Dorsallänge, Sohlenlänge und Dorsalwinkel des Klauenbeines im Vergleich des lateralen und medialen Klauenbeines an Vorder- und Hintergliedmaßen (Längen in mm und Winkel in °, N: Anzahl der Zehen)

Vordergliedmaße	Signifikanz		N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Dorsallänge	p < 0,01	lateral	16	35,84	4,61	30,1	41,3
		medial	16	37,42	5,12	29,9	44,4
Sohlenlänge	p < 0,05	lateral	16	28,38	4,15	22,4	35,4
		medial	16	29,92	3,83	23,8	35,6
Winkel Klauenbein	p < 0,05	lateral	16	54,40	1,71	51,1	57,0
		medial	16	55,48	2,02	51,6	59,2
Höhe	p < 0,05	lateral	16	29,09	3,46	24,3	33,8
		medial	16	30,19	4,36	24,6	35,7
Hintergliedmaße			N	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum
Dorsallänge	p = 0,009	lateral	16	37,10	4,06	31,4	43,8
		medial	16	38,62	4,76	32,5	47,4
Sohlenlänge	p < 0,01	lateral	16	27,26	3,33	22,0	33,0
		medial	16	29,00	3,43	24,7	36,5
Winkel Klauenbein	p < 0,05	lateral	16	53,86	1,82	51,4	57,6
		medial	16	55,24	1,84	52,0	58,0
Höhe	p < 0,01	lateral	16	29,96	3,46	25,1	35,9
		medial	16	31,69	3,79	27,0	38,3

4.5.2.5 Altersgruppen

Auf eine Auswertung der Daten **innerhalb** der Altersgruppen wurde aufgrund der geringen Fallzahl von jeweils vier Tieren verzichtet.

Ein signifikanter Unterschied **zwischen** den beiden Altersgruppen bestand bei der Dorsallänge, der Sohlenlänge und der Höhe des Klauenbeines, welche bei den älteren Tieren die größeren Längen aufwiesen. Die Länge der dorsalen Klauenbeinkontur verlängerte sich von 33,2 mm bei den Tieren unter 7 Wochen auf 41 mm bei den Tieren über 7 Wochen. Die Sohlenlänge nahm von 25,6 mm auf 31,6 mm zu und die Höhe von 27,1 mm auf 33,3 mm. Der Winkel des Klauenbeines zeigte keinen Unterschied, er betrug in beiden Gruppen 54,7°.

4.6 Nebenuntersuchung: Messergebnisse der Tiere mit einer Lahmheit

4.6.1 Vergleich der Parameter der Tiere ohne und mit Lahmheit

4.6.1.1 Messungen am Klauenschuh

Insgesamt wurden die am Hornschuh erhobenen Werte von 320 Klauen der Hauptuntersuchung, Tiere ohne Lahmheit mit den an 294 Klauen der Tiere mit Lahmheit ermittelten Werten verglichen. Lediglich zum Parameter Ballenwinkel lagen nur Werte von 544 Klauen vor.

Der Vergleich erfolgte aufgrund des signifikant niedrigeren Durchschnittsalters der Tiere mit Lahmheit (Tab. 12, Kapitel 3.1) nach Gewichtung der Daten auf dasselbe Durchschnittsalter. Bei einer Signifikanz von $p < 0,005$ bestand kein Unterschied bezüglich der bei den Tieren ohne und bei Tieren mit einer Lahmheit ermittelten Parametern am Hornschuh: Dorsalwandlänge, Dorsalwandwinkel, Ballenlänge, Ballenhöhe, Ballenwinkel, Sohlenlänge und Sohlenbreite.

4.6.1.2 Messungen am Röntgenbild

Die ermittelten Werte an den dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahmen –Länge Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse, Fessel- und Kronbeinlänge, Breite der Gelenkspalten von Fessel- und Kron gelenk und die Höhenunterschiede- von 152 Aufnahmen der Hauptuntersuchung wurden mit 124 auswertbaren Aufnahmen der Tiere mit einer Lahmheit verglichen. Ebenso wurden die an 64 Aufnahmen der abaxio-axiale Ebene der Hauptuntersuchung mit den an 104 Aufnahmen der Tiere mit Lahmheit ermittelten Dorsal- und Sohlenlängen des Klauenbeines und die Klauenbeinwinkel verglichen.

Da auch bei diesen Daten das Durchschnittsalter der Tiere mit einer Lahmheit signifikant kleiner war als das der Tiere ohne Lahmheit (Tab. 18, Kapitel 3.4), wurden auch diese Daten jeweils für die beiden Aufnahmeebenen gewichtet.

Die an den dorsopalmaren bzw. –plantaren Aufnahmen ermittelten Parameter wiesen keinen signifikanten Unterschied zwischen den lahmen und den nicht lahmen Tieren auf.

An den Aufnahmen im abaxio-axialem Strahlengang war der Dorsalwinkel des Klauenbeines der lahmen Tiere signifikant größer.

4.6.2 Auswirkung der Lahmheit auf die gemessenen Parameter

4.6.2.1 Messungen am Hornschuh

Von den 37 Tieren mit einer Lahmheit bestand diese bei 20 Tieren (54%) an einer oder beiden Hintergliedmaßen, bei 9 Tieren (24%) an einer oder beiden Vordergliedmaßen und bei 8 Tieren (22%) an drei oder allen Gliedmaßen. Insgesamt waren 41% der Gliedmaßen betroffen. Eine Übersicht über die Verteilung der Lahmheitsgrade auf die Gliedmaßen ist in Tab. 44 dargestellt.

Tab. 44: Häufigkeit der Lahmheitsgrade in Bezug auf die betroffenen Gliedmaßen

Lahmheitsgrad	Häufigkeit (Zahl der Gliedmaßen)	Gültige Prozente
ohne	87	58,8
geringgradig	11	7,4
mittelgradig	20	13,5
hochgradig	30	20,3
Gesamt	148	100,0

Die durchschnittliche Lahmheitsdauer betrug 16 Tage (Minimum = 1 Tag, Maximum = 40 Tage, $s = 10,4$ Tage). Bei keinem der Parameter bestand eine Korrelation zum durchschnittlichen Grad der Lahmheit. Die Dorsalwandlänge wies eine mittlere positive, der Dorsalwandwinkel eine mittlere negative Korrelation zur Lahmheitsdauer auf. Die Sohlenlänge und -breite korrelierten schwach positiv mit der Dauer der Lahmheit. Es bestand kein Unterschied zwischen den Werten der von der Lahmheit betroffenen und der nicht betroffenen

Gliedmaßen eines Tieres. Zudem wies keiner der am Hornschuh gemessenen Werte einen signifikanten Unterschied zwischen den Tieren mit einer Lahmheit und den Tieren ohne Lahmheit der Hauptuntersuchung auf (siehe oben).

4.6.2.2 Messungen am Röntgenbild

Mit dem durchschnittlichen Grad der Lahmheit korrelierten die Breiten der Gelenkspalten schwach ($r = 0,25$, Korrelationskoeffizient nach Spearman). An den Aufnahmen mit abaxio-axialem Strahlengang korrelierte der Winkel des Klauenbeines in mittlerer Stärke positiv ($r = 0,4$, Korrelationskoeffizient nach Spearman) mit dem Lahmheitsgrad.

Eine mittlere positive Korrelation ($r = 0,5$) zur Lahmheitsdauer zeigten Dorsallänge und Sohlenlänge des Klauenbeines. Bei sämtlichen am Röntgenbild sowohl mit dorsopalmarem bzw. -plantarem, als auch mit abaxio-axialem Strahlengang erhobenen Parametern bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den an den betroffenen und den nicht betroffenen Gliedmaßen der Tiere ermittelten Parameter. Im Vergleich zu den in der Hauptuntersuchung ermittelten Werten bestand ein signifikanter Unterschied einzig in der Größe des Klauenbeinwinkels, welcher bei den Kälbern der Vergleichsgruppe größer war.

4.7 Zusammenfassung (der signifikanten und relevanten Werte)

4.7.1 Messungen am Hornschuh

Die **Dorsalwandlänge** des Hornschuhes unterschied sich zwischen der lateralen und der medialen Klaue, sie war medial länger. Ein Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen bestand hingegen nicht. Auch ein Geschlechtsunterschied war nicht festzustellen. **Ballenlänge** und **Ballenhöhe** waren bei den männlichen Tieren größer als bei den weiblichen und bei allen Tieren an den Vordergliedmaßen ebenfalls größer. Ein Unterschied zwischen der lateralen und medialen Klaue bestand nur bei der Ballenhöhe, welche lateral größer war. Bezüglich des **Ballenwinkels** war im Vergleich der Vorder- und

Hintergliedmaßen ein Unterschied festzustellen, er war vorne kleiner. Im Klauenvergleich und bezüglich des Geschlechts traten keine Unterschiede auf. Einen steileren **Dorsalwandwinkel** als die weiblichen zeigten die männlichen Tiere. An den Klauen der Beckengliedmaße war er bei allen Tieren steiler als an denen der Schultergliedmaßen. Ein Unterschied in der Größe des Dorsalwandwinkels zwischen der lateralen und der medialen Klaue bestand an der Beckengliedmaße der Tiere im Alter unter 7 Wochen. Er war an der medialen Klaue steiler. Ähnlich verhielt es sich auch mit der **Sohlenlänge**. Sie war bei den männlichen Tieren länger als bei den weiblichen, an den Schultergliedmaßen länger als an den Beckengliedmaßen. Ein Unterschied zwischen der medialen und der lateralen Klaue bestand zwischen den Klauen der Beckengliedmaßen, dort war die laterale länger. In der Altersgruppe über 7 Wochen trat der letztgenannte Unterschied jedoch nicht auf. Die Sohle war an den Klauen der Vordergliedmaße und an den lateralen Klauen breiter und von der Fläche größer als an den entsprechenden Partnerklauen. Ein Geschlechtsunterschied in der Sohlenbreite bestand nicht, die Fläche war aber bei den männlichen größer.

Insgesamt zeigten alle gemessenen Parameter mit Ausnahme der Dorsalwandlänge einen Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen. Ein in beiden Altersgruppen und an beiden Gliedmaßenpaaren bestehender Unterschied im Vergleich der lateralen und medialen Klauen einer Gliedmaße ergab sich nur bei der Dorsalwandlänge, der Sohlenbreite und der Sohlenfläche.

Die beiden am Hornschuh **berechneten** Verhältnisse, Dorsalwandlänge zu Ballenhöhe und Dorsalwandlänge zu Sohlenlänge, zeigten keine Veränderung mit zunehmendem Alter der Tiere. Beide Maße wiesen aber an den Klauen der Hintergliedmaßen das größere Verhältnis auf. Zudem zeigte sowohl an den Vorder- als auch an den Beckengliedmaßen die laterale Klaue das signifikant kleinere Verhältnis. Das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe der weiblichen Tiere war signifikant größer als das der männlichen, das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge hingegen war unabhängig vom Geschlecht der Tiere.

Im Vergleich der Parameter am Hornschuh zwischen den Altersgruppen unter und über 7 Wochen zeigten alle Längenparameter bei den jüngeren Tieren die niedrigeren Werte. Bezüglich des Ballenwinkels bestand kein Unterschied, der Dorsalwandwinkel war bei den jüngeren steiler. Mit Ausnahme des Dorsalwandwinkels, welcher keine Korrelation zum Alter aufwies, stimmt dieses Ergebnis mit den erhaltenen Alterskorrelationen überein.

4.7.2 Messungen im Röntgenbild

Die Höhenunterschiede zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich zeigten keine Altersabhängigkeit. Sie nahmen nur geringfügig mit zunehmender Länge der gemessenen Zehenknochen zu. Auch zwischen den beiden Altersgruppen bestand kein signifikanter Unterschied bezüglich der Größe des Höhenunterschiedes. Ein Zusammenhang mit der Breite der Gelenkspalten der beiden Zehen bestand nicht.

Der Höhenunterschied zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich war bereits im Fesselgelenk deutlich vorhanden. Er nahm an Schulter- und Beckengliedmaßen in unterschiedlichem Maße zu. Den Hauptanteil der Höhendifferenz verursachte an der Beckengliedmaße der Längenunterschied in den Metatarsusepiphysen der lateralen und medialen Zehe. An den Schultergliedmaßen lag der Hauptunterschied im Bereich Fesselgelenk und Fesselbein.

Ein Geschlechtsdimorphismus in Bezug auf die Knochenlängen bestand am Fessel- und Kronbein, die bei den männlichen Kälbern länger waren. Am Klauenbein war der Winkel bei den männlichen Kälbern steiler. Zwischen den Knochen der Vorder- und der Hintergliedmaße trat, bei den Tieren im Alter über 7 Wochen ein Längenunterschied am Kronbein mit einem höheren Wert an der Beckengliedmaße auf. Die Tiere hatten zudem an der Beckengliedmaße ein längeres Fesselbein. Die mediale Epiphyse des Metakarpus bzw. des Metatarsus und das mediale Fesselbein waren jeweils kürzer als die lateralen. Die Dorsalwand, die Sohle, die Höhe und der Winkel des medialen Klauenbeines waren jedoch jeweils länger bzw. größer als die entsprechenden Parameter der Partnerklaue.

Im Vergleich der am Röntgenbild gemessenen Parameter zwischen den Altersgruppen unter und über 7 Wochen waren die gemessenen Knochen der älteren Tiere erwartungsgemäß länger. Dies zeigte sich sowohl an den Aufnahmen im dorsopalmaren bzw. -plantaren Strahlengang, als auch an den Aufnahmen im abaxio-axialen Strahlengang gemessenen Längen der Dorsalwand und der Sohle des Klauenbeines und der berechneten Höhe des Klauenbeines. Der Winkel des Klauenbeines wies hingegen abweichend vom Dorsalwandwinkel des Hornschuhs keinen Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen auf. Die Gelenkspalten des Fessel- und Kron gelenkes der älteren Tiere waren enger als die der Tiere im Alter unter 7 Wochen.

5 Diskussion

5.1 Gliedmaßenstellung, allgemeine Untersuchung Hornschuh

5.1.1 Gliedmaßenstellung

Der Großteil der Kälber (90%) ohne eine Erkrankung der Gliedmaßen wies eine regelmäßige Stellung auf. In der hier untersuchten Altersgruppe waren durch übermäßiges Hornwachstum hervorgerufene oder überlastungsbedingte Stellungsänderungen noch nicht zu erwarten. Die kuhhessige bzw. bodenweite Stellung der beiden ansonsten an den Gliedmaßen gesunden Tiere und die steile Stellung des dritten Tieres dürften also angeborene Varianten darstellen. Auch die im Vergleich zu älteren Tieren steilere Fesselung (74% der Tiere mit normaler Stellung) ist darauf zurückzuführen, dass in der Altersgruppe der eigenen Untersuchung noch keine Überlastung des Bandapparates durch Stallklauenbildung stattfand. Dagegen bemerkte HUBER (1983) in seiner Arbeit einen recht hohen Anteil an Tieren, die von seiner als „normal“ definierten Stellungen abwichen. Bei der Beurteilung von vorne zeigten lediglich 26,9%, bei der von hinten 40,7% eine normale Stellung. Bei der seitlichen Beurteilung betrug der Anteil der normalen Gliedmaßenstellung 55,1% an den Hinter- und 63,4% an den Vordergliedmaßen. Die Tiere seiner Untersuchung (32) grenzten mit einem Alter von 6, 9 und 12 Monaten im Alter an die Tiere der eigenen Untersuchung. In Bezug auf altersbedingte Veränderung der Gliedmaßenstellung ist ein derart hoher Anteil an Abweichungen von der normalen Stellung wie bei obigem Autor noch nicht zu erwarten. Einen Teil macht sicherlich eine Abweichung durch beginnende Stallklauenbildung bei den älteren Tieren aus, ein anderer, wesentlicher Teil ist die lediglich subjektive Betrachtungsweise der einzelnen Untersucher. Diese zeigt sich deutlich in der unterschiedlichen Bewertung der steileren Fesselstellung, welche im Gegensatz zur eigenen Untersuchung von HUBER (1983) als unphysiologisch bewertet wurde (32).

5.1.2 Allgemeine Befunde am Hornschuh

5.1.2.1 Lage des Saumes zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße

Der in der eigenen Untersuchung bei 19% der 66 daraufhin untersuchten Kälber bemerkte Unterschied in der Lage des Saumes zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße ist bisher in der Literatur nicht beschrieben. In der Arbeit von PAULUS (2004) wurde auf diesen Unterschied auch in einer höheren Altersgruppe hingewiesen (54). Eine reproduzierbare Beurteilung war nur möglich, wenn beide Zehen entspannt gehalten wurden. Bei den z.T. nur geringen Unterschieden von 1 mm oder weniger bestand die Schwierigkeit darin, eine eindeutige Aussage über das Bestehen und die Höhe des Unterschiedes zu treffen. Damit liegt nahe, dass sich der Anteil der Gliedmaßen, die einen derartigen Unterschied aufweisen, bei einer Messung erhöht.

Eine Beeinflussung dieses Befundes durch die Art der Aufstallung konnte bei den untersuchten Kälbern nicht festgestellt werden. Ebenso kann die Tatsache, dass kein Unterschied zwischen den bei den lahmen und den nicht lahmen Kälbern erhobenen Daten besteht, daraufhin deuten, dass es durch Belastung zu keiner Änderung dieses Befundes kommt.

5.1.2.2 Einziehung im Hornschuh des Kronbereiches

Die Bildung einer Einziehung des Horns mit einem Verlauf parallel zum Kronsaum beruht nach GREENOUGH (1990) auf einer plötzlichen Futterumstellung auf Intensivration (28). Dies könnte auch die Ursache für das Auftreten einer ähnlichen Veränderung bei den 16,2% der Kälber im eigenen Tiermaterial sein. Jedoch wurde hierbei die Struktur bereits bei Tieren vor dem üblichen Beginn der Intensivmast beobachtet. Es ist anzunehmen, dass sie auf einer auf alle betroffenen Gliedmaßen gleich stark einwirkenden Ursache beruht, da sie an allen Klauen eines Tieres im annähernd gleichem Abstand zum Saum auftrat. Das Absetzen von der Milch dürfte als Ursache auszuschließen sein, da die Einziehung bereits in einem Alter von 17 Tagen mit einem Abstand zum Saum von durchschnittlich 10mm beobachtet wurde. Abgesehen von einer Futterumstellung als Ursache kommt auch eine Beeinträchtigung der Hornproduktion durch eine schwere Erkrankung des Kalbes in Frage. Ein entsprechend detaillierter Vorbericht, welcher den Zeitraum einschließt, der sich aus der Kombination aus

Hornwachstum, Hornabrieb und dem Abstand der Rinne zum Saum ergibt, wurde in der eigenen Untersuchung nicht erhoben. Die bei SCHULTZE (1909) beschriebene Theorie des Auftretens des Ringes im Hornschuh durch die Eintrocknung des Saumhornes nach der Geburt ist ebenfalls nicht vollkommen überzeugend, da diese Struktur demnach bei annähernd allen Tieren zu beobachten sein müsste, nicht nur bei 16,2% (65). Der zunehmende Abstand vom Saum mit steigendem Alter, welcher auf einen doch zeitlich nahen Punkt des Auftretens bei allen betroffenen Tieren hinweisen kann, spricht für einen bei allen betroffenen Tieren im annähernd gleichem Zeitraum gelegenen Auslöser. Damit dieser Zeitpunkt bestimmt werden könnte, müssten Daten zum Hornwachstum erhoben werden. Ein Bezug zu der Gliedmaßen-erkrankung, mit denen die Tiere eingeliefert worden waren, bestand in dieser Untersuchung nicht.

Zusammenfassend bleibt zu sagen, dass eine abschließende Beurteilung aufgrund der geringen Fallzahl und des nicht dieser Fragestellung entsprechenden Versuchsaufbaues nicht möglich ist. In Anbetracht der Möglichkeit, dass es bereits bei diesen sehr jungen Tieren zu einer Schädigung der Hornsubstanz durch Futterumstellung oder Krankheit gekommen sein kann, kann eine weitere Beobachtung dieses Phänomens interessant sein.

5.1.2.3 Eponychium

Das äußere Erscheinungsbild des Klauenpolsters der Kälber der vorliegenden Untersuchung stimmte mit der Beschreibung in der Literatur überein. Laut NICKEL et al. (1984) wird das Eponychium jedoch nach spätestens einem Tag abgestoßen, SCHULTZE (1909) fasst den Zeitraum etwas weiter, nämlich vier Tage (48, 65). In der eigenen Untersuchung war das jüngste Tier, bei dem keinerlei Anteile des Eponychiums mehr festgestellt werden konnten, bereits 15 Tage alt, das älteste Tier sogar 37 Tage. Im Durchschnitt war bei Tieren im Alter von 18 Tagen das Eponychium eingetrocknet, bedeckte aber noch annähernd die komplette Sohle. Festzustellen war, dass die Tiere mit hohen Anteilen an noch vorhandenem Eponychium diejenigen waren, die auf Einstreu gehalten wurden. Bei den Tieren mit Spaltenbodenhaltung war in der eigenen Untersuchung maximal ein Drittel der Sohle noch bedeckt. Dies kann auf den höheren Abrieb auf dem Spaltenboden zurückzuführen sein, jedoch wiesen diese Kälber mit 102,6 Tagen ein wesentlich höheres Durchschnittsalter auf.

Die bei 21 der 40 Tiere, welche Eponychiumsanteile aufwiesen, an den Vordergliedmaßen stärkere Ausprägung deutet auf einen höheren Abrieb an den Hintergliedmaßen hin. Dies dürfte, da insgesamt bei Kälbern die Belastung an den Vordergliedmaßen größer ist (66, 74), auf das Aufstehverhalten der Kälber zurückzuführen sein. Ein Unterschied zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße zeigte sich hingegen nicht. In der Gruppe der Tiere mit einer Erkrankung der Gliedmaßen bestand kein signifikanter Unterschied zwischen der Ausprägung am betroffenen und am nicht betroffenen Bein. Die Auswirkung der Lahmheitsdauer auf die Ausprägung des Klauenpolsters kann aufgrund der Überlagerung mit den Alterseinflüssen nicht bewertet werden, da die älteren Kälber auch die längere Lahmheitsdauer aufwiesen. Zusammengefasst lag die Zeit bis zum vollständigen Abrieb des Eponychiums deutlich über den Angaben der beiden oben genannten Autoren (48, 65). An den Hintergliedmaßen wurde es schneller abgelaufen als an den Vordergliedmaßen. Der Einfluss des Aufstallungssystems kann in der eigenen Untersuchung nicht zweifelsfrei beurteilt werden. Nur 12,5% der Kälber aus der Laufstallhaltung wiesen noch Eponychiumanteile auf.

5.1.2.4 Weitere Befunde am Hornschuh bei Kälbern

Die in der Literatur beschriebenen Besonderheiten der Klauen von Kälbern, der deutlich sichtbare Übergang von der Sohle zum Ballen mit einem relativ konstanten Endpunkt der weißen Linie (63) und der Hautüberzug von der Krone aus über die Wand (65) bzw. das das Horn bedeckende Saumhorn (56), wurden nicht beobachtet.

Eine wie bei NICKEL et al. (1984) beschriebene vollständig plane Fußungsfläche (48) bestand meist nicht. Im Allgemeinen war die Sohlenfläche abhängig von der Ausbildung des Eponychiums, zeigte dabei aber eine mehr oder minder starke Neigung zum Zwischenklauenspalt hin. Lediglich bei 38% der Kälber lag sie parallel zur Bodenfläche, 11% gingen nicht in die Beurteilung ein, da bei diesen das frische, stark gewölbte Eponychium entfernt wurde.

BARGAI et al. (1992) beobachteten bei einem Reheausbruch eine an allen Seiten die Sohlenfläche überragende Wand (4). Bei dem im eigenen Untersuchungsmaterial beobachteten Überragen des Tragrandes bei 33% der Klauen ist aber wegen der fehlenden weiteren Symptomatik eine rehebedingte Ursache auszuschließen.

5.2. Messungen am Hornschuh

5.2.1 Statistische Bestimmung der Messgenauigkeit

Zur statistischen Bestimmung der Messgenauigkeit bzw. der Wiederholbarkeit einer Messung am Hornschuh der Klaue wurden verschiedene Vorgehensweisen in der Literatur beschrieben. Die Anzahl der durchgeführten Messungen, die Zahl der zur Bestimmung herangezogenen Klauen und der Tiere variierten ebenso wie die statistischen Methoden. Ein direkter Vergleich der Messgenauigkeit zwischen diesen und der eigenen Studie war deswegen nur mit Einschränkungen möglich. In der eigenen Untersuchung wurde die Signifikanz der Varianzanalyse als Maßzahl für die Messgenauigkeit definiert. Durch die Definition der Gruppe als jeweilige Messreihe war sichergestellt, dass zwischen den Gruppen keine Mittelwertunterschiede vorlagen. Innerhalb der einzelnen Gruppen bestanden natürlich Unterschiede, da es sich um verschiedene Tiere handelte. Die Nullhypothese, der zufolge kein Unterschied zwischen den Mittelwerten bestand, war im Fall dieser Untersuchung folglich gegeben. Die theoretische Signifikanz der Varianzanalyse beträgt $p=1$. Je näher der Wert also an dem Wert 1 liegt, desto größer ist die Genauigkeit der Messung. Mit einer einfachen Varianzanalyse ermittelten auch LEUENBERGER et al. (1978) den Messfehler. Als Messfehler wurde bei obigen Autoren das Mittel der Quadrate innerhalb der Gruppe definiert. Die in dieser Studie erhobenen Parameter Winkel der Dorsalwand und Länge der Dorsalwand erreichten sowohl bei der Vor- als auch bei der Nachuntersuchung eine der eigenen Untersuchung entsprechende Messgenauigkeit (36). Ein indirekter Vergleich der eigenen Methodik war mit solchen Untersuchungen, welche die Wiederholbarkeit der Messung bestimmten, möglich (5, 31, 32, 64). In der Studie von HAHN (1984) wurden auch die Unterschiede zwischen verschiedenen Untersuchern mit berücksichtigt (31). Die bei HUBER (1983) und in der Voruntersuchung bei BAUMGARTNER (1988) erzielten Werte entsprachen denen der Voruntersuchung der eigenen Untersuchung, lediglich die Werte für die Ballenlänge in der eigenen lagen etwas höher als die von HUBER (1983) (5, 32). Im Vergleich der am Ende der eigenen Untersuchung erhobenen Werte mit denen der Messreihe nach dem Feldversuch von BAUMGARTNER (1988) lag die Genauigkeit der Dorsalwandlänge im oberen Bereich, während der Wert für den Dorsalwandwinkel niedriger als der von ihm bestimmte Bereich lag (5). Die insgesamt höhere Messgenauigkeit der eigenen Studie lässt sich darauf zurückführen,

dass die Werte an Präparaten erhoben wurden. Die Schur des Kronsaumes dürfte eine zusätzliche Verbesserung der Messgenauigkeit bewirkt haben (Tab. 45).

Tab. 45: Übersicht über die in verschiedenen Studien ermittelten Messgenauigkeiten im Vergleich zur eigenen Untersuchung (5, 32, 64)

	Anzahl der Messungen		Wiederholbarkeit für		
			Dorsalwandlänge	Trachtenwandlänge/ Trachtenhöhe	Dorsalwandwinkel
HUBER (1983) (32)	4	10 Tiere, je vier Klauen	0.75-0.89	0.55-0.63/-	0.76-0.83
BAUMGARTNER (1988) (5)	3	20 Tiere vor Feldversuch	0.50-0.89	0.50-0.89	0.63-0.81
		40 Tiere nach Feldversuch	0.71-0.99	0.71-0.99	0.94-0.96
SCHMID (1990) (64)	2	45 Tiere vor Feldversuch	0,84	0,38/0,60	0,79
	3	12 Tiere nach Feldversuch	0,94	0,80/0,79	0,90
			Signifikanz		
Eigene Untersuchung	3	20 Tiere vor Versuch	0,77	0,69/0,59	0,83
		19 Tiere am Versuchende	0,99	0,82/0,85	0,92

AHLSTRÖM et al. (1986) erhoben den Variationskoeffizienten als Maß für die Genauigkeit. Mit einem Wert von 2,55% für die Zehenlänge und 2,40% für den Zehenwinkel konnten diese beiden Parameter auch in dieser Studie mit einer recht hohen Genauigkeit ermittelt werden. Die Ballenhöhe variierte bereits deutlich stärker. Die hohe Abweichung bei der Bestimmung der Sohlenfläche dürfte in der zweimaligen Übertragung, einmal auf halbdurchsichtiges und dann auf weißes Papier, liegen, da sich dadurch die Übertragungsfehler summieren können (1). Die Ergebnisse der Studie von SOHRT (1999) können mit denen der eigenen nicht verglichen werden. Er ermittelte einen Messfehler von 1mm in einem Doppelblindversuch an 30 Klauen bei dreimaliger Messung in unterschiedlicher Reihenfolge (68). Ein Fehler in dieser

Höhe ist bei Messungen an den Klauen von Jungtieren, die deutlich geringere Dimensionen aufweisen, nicht akzeptabel.

Eine Einübung der Methodik erscheint für die akkurate Messung der Ballenhöhe notwendig, da in der Studie von HAHN (1984) ein Anstieg der Wiederholbarkeit auf 0.75 erreicht wurde (31). Der Übungseffekt zeigte sich auch bei BAUMGARTNER (1988), SCHMID (1990) und in der eigenen Untersuchung (5, 64).

5.2.2 Ergebnisse der Messungen am Klauenschuh (Hauptuntersuchung)

5.2.2.1 Geschlechtsunterschied

Das Bestehen eines Geschlechtsunterschiedes in den Parametern am Hornschuh wird unterschiedlich beschrieben. Die meisten Parameter, insbesondere die Längen und die Sohlenfläche, wurden vom Alter der Tiere beeinflusst. In der eigenen Untersuchung war das Durchschnittsalter der männlichen Tiere höher als das der weiblichen. Der Vergleich der Daten der beiden Geschlechter erfolgte deshalb nach einer Alterskorrektur. Ein signifikanter Unterschied blieb bei den Parametern Ballenhöhe, Ballenlänge und dem Dorsalwandwinkel bestehen. Er war für diese Parameter also unabhängig vom Alter der Tiere. Eine ebenfalls gleichmäßige Altersstruktur beider Geschlechter war bei FESSL (1980) und POUGIN (1983) gegeben (24, 58). In der Untersuchung von MÜLLER et al. (1976) überwogen die männlichen Kälber mit 235 zu 31 deutlich, eine Angabe über das Durchschnittsalter im Vergleich der beiden Geschlechtsgruppen wurde nicht gegeben (47). NÜSSKE (2002) machte keine Angaben über die genaue Zusammensetzung und das Alter seiner Untersuchungsgruppe, er bemerkte hingegen eine Annäherung der Werte zwischen den Geschlechtern mit steigendem Alter der Tiere (51). Die Ergebnisse der beiden letzten Studien können folglich durch eine unausgewogene Zusammensetzung der Gruppe beeinflusst sein.

Übereinstimmend mit den eigenen Ergebnissen bemerkten MÜLLER et al. (1976) bezüglich der Dorsalwandlänge keinen signifikanten Geschlechtsunterschied (47). FESSL (1980) und NÜSSKE (2002) dagegen beschrieben bei den männlichen Tieren die signifikant größere Länge (24, 51). In Bezug auf Ballenhöhe und Ballenlänge zeigten in der eigenen Untersuchung, im Gegensatz zu den Ergebnissen von NÜSSKE (2002), welcher keinen Unterschied fand, die männlichen Tiere signifikant höhere Werte (51). Bei den wenige Tage

alten Kälbern war bei FESSL (1980) noch kein Unterschied zu erkennen, bei den 5-7 Wochen alten Kälbern wiesen aber ebenfalls die männlichen die höheren Längen im Trachten- und Ballenbereich auf (24). Zum Einfluss des Geschlechtes auf den Dorsalwandwinkel stimmten die eigenen Ergebnisse mit den Ergebnissen der anderen Studien (24, 51), mit Ausnahme der Untersuchung von MÜLLER et al. (1976) welche keinen Geschlechtsunterschied bemerkten (47), überein. NÜSSKE (2002) stellte bei den weiblichen Tieren, abweichend zur eigenen Untersuchung, die kleineren Ballenwinkel fest (51). Bei den sechswöchigen Tieren von FESSL (1980) scheint sich bei den Ballenwinkeln ein Geschlechtsunterschied darzustellen, die weiblichen Tiere zeigen die niedrigeren Werte (24). Dies kann aber bereits durch die doch deutlich voneinander abweichende Methodik bedingt sein. Es bestand kein Geschlechtsunterschied in der Größe der Sohlenfläche sowie Länge und Breite der Sohle (47, 52), übereinstimmend mit den eigenen Ergebnissen. Bei FESSL (1980) jedoch und noch deutlicher bei POUGIN (1983), in deren Untersuchung die Tiere allerdings deutlich älter waren als in der eigenen, wiesen die männlichen Kälber die größere Sohlenfläche auf (24, 58).

5.2.2.2 Alterseinfluss, Absolute Werte, Vergleich Messmethodik

Ein Vergleich der in der eigenen Untersuchung ermittelten absoluten Werten mit denen anderer Untersuchungen ist nur eingeschränkt möglich, da die verschiedenen Untersuchungen z.T. deutliche Abweichungen in der Methodik und insbesondere im Durchschnittsalter der Tiere aufweisen.

Dorsalwandlänge, Ballenhöhe und Ballenlänge

Eine alters- bzw. gewichtsabhängige Zunahme der Dorsalwandlänge (24, 32), der Ballenhöhe (24), und der Ballenlänge (24, 32) bei Jungtieren zeigte sich sowohl in der eigenen als auch in den genannten Untersuchungen. Bei erwachsenen Tieren konnten derartige Zunahmen ebenfalls noch beobachtet werden (1, 2). Nach FESSL (1980) nahmen die Wandlängen zwischen den wenige Tage alten und den mehrere Wochen alten Tieren um 4-5% zu (24). In der eigenen nahm die Dorsalwandlänge von den Tieren unter 7 Wochen zu denen über 7 Wochen bereits um 15% zu, die Ballenlänge um 13% und die Ballenhöhe um 11%. Das Verhältnis der

Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe blieb jedoch gleich. Die Zunahme der Wandlängen verlief an Vorder- und Hintergliedmaßen bei den Kälbern in gleichem Maß. Bei älteren Tieren nahm die Dorsalwandlänge an den Vorderklauen stärker zu (24). Diese stärkere Zunahme an den Vordergliedmaßen fand HUBER (1983) auch bei seinen 6, 9 und 12 Monate alten Tieren, wobei er in der Gewichtsstufe von 200 – 300 kg eine kurzfristige Abnahme bemerkte (32).

FESSL (1980) ermittelte, sowohl bei den wenige Tage alten Tieren mit durchschnittlich 40 mm als auch bei den fünf bis sieben Wochen alten Kälbern mit ca. 49-50 mm, für die Länge des Hornschuhes in der Mitte der Dorsalwand relativ hohe Werte (24). Die eigene Untersuchung ergab einen Mittelwert für die **Dorsalwandlänge** von 50,9 mm bei einem Durchschnittsalter von 12 Wochen. Es wird vermutet, dass die Unterschiede zwischen der eigenen und anderen Untersuchungen unter anderem rassebedingt sind. Die Tatsache, dass die Kälber im Vergleich zu den bei älteren Tieren, 65 mm bei 6-12 Monate alten Fleckviehriindern (32) bzw. 76 mm bei Jungkühen und 78 mm bei Kühen (54), bereits relativ große Längenwerte aufweisen, deutet einerseits auf ein starkes Wachstum der Klauen bei Kälbern hin, kann andererseits aber auch, insbesondere in Anbetracht des Richtwertes von 75 mm bei 450 kg schweren Schwarzbunten, auf das Bestehen von Rasseunterschieden hinweisen.

Die Dorsalwandlänge war von den Längenparametern am sichersten zu messen, was sich auch in der hohen Messgenauigkeit für diesen Parameter in allen Untersuchungen zeigte. Die von LEUENBERGER et al. (1978) angewandte Methode mit Einlegen eines Meterstabes in den Zwischenklauenspalt erscheint nicht geeignet, Unterschiede zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße zu ermitteln (36). Zudem ist fraglich, ob auf diese Weise wirklich die Länge der Dorsalwand bestimmt wird. In der eigenen Untersuchung wurde bei 19% der Gliedmaßen der Tiere ein deutlicher Höhenunterschied in der Lage des Kronsaumes beobachtet. Es ist als sicher zu erachten, dass der proximale Rand des Kronsaumes nicht unbedingt auf selber Höhe zu liegen kommt, wie das Interdigitalsegment der Klaue. Die weiteren Untersuchungen mit einer Bestimmung der Länge der Dorsalwand entsprechen in ihrer Methodik weitgehend der in der eigenen angewandten.

In der eigenen Untersuchung ergab sich ein Werte für die **Ballenhöhe** von 24,6 mm. FESSL (1980) ermittelte von der Lage der Messpunkte her lediglich ähnliche Strecken, die Höhe in der Mitte des Ballens und die senkrechte Länge an der Trachte. Er erzielte dabei für die Höhe in der Mitte des Ballens Werte von 17,2 mm bis 19,7 mm bei den wenige Tage alten und von 20,5 mm bis 28,7 mm bei den wenige Wochen alten Kälbern. Die senkrechte Länge an der Trachte hatte bereits eine Länge von 26,6 mm bis 28,8 mm bzw. 30,4 mm bis 34,8 mm (24).

Der proximale Messpunkt für die Ballenhöhe in der eigenen Untersuchung lag meist im abaxialen Bereich des palmaren bzw. plantaren Ballenbereiches, also zwischen den von obigem Autor gewählten proximalen Messpunkten dieser Längen. Ähnlich verhielt es sich mit der **Ballenlänge**, die im Vergleich zur von FESSL (1980) ermittelten Trachtenlänge (24) weiter palmar bzw. plantar am Hornschuh gelegen war. Die Ballenlänge wies in der eigenen Studie einen Mittelwert von 35,8 mm auf. Die von FESSL (1980) gemessene Trachtenlänge im Verlauf der Hornröhrchen erreichte bei den wenige Tage alten Kälbern Werte zwischen 31,2 mm bis 33,8 mm und 38,6 mm bis 42,4 mm bei den fünf bis sieben Wochen alten (24). Die Unterschiede in den Werten zwischen dieser und der eigenen Untersuchung sind folglich nicht alleine auf den Altersunterschied, sondern auch auf eine unterschiedliche Messmethodik zurückzuführen. Eine relativ geringe Abweichung in der Wahl des proximalen Messpunktes verursacht wegen der Abnahme der Wandlänge zum Ballen hin (24) bereits deutliche Veränderungen der Messwerte.

Diese Problematik, einen geeigneten reproduzierbaren proximalen Messpunkt am Ballen festzulegen, zeigte sich in allen bisherigen Studien, was einen Vergleich der absoluten Werte zwischen den Studien nicht zulässt. Zudem besteht bereits innerhalb einer Studie das Problem, den gewählten Punkt exakt erneut aufzufinden, was sich in der, im Vergleich zur Dorsalwandlänge, niedrigeren Messgenauigkeit der Ballenwerte zeigt. Bisher konnten die Methoden nicht überzeugen. Die Festlegung des proximal gelegenen Messpunktes als am weitesten palmar bzw. plantar gelegenen Punktes der Ballenwölbung (5, 71) kann nur bei exakt seitlicher Betrachtung der Klaue erfolgen. AHLSTRÖM et al. (1986) verlagerten das Problem, indem sie die Ballenhöhe in der Medianen des Ballens bestimmten, aber nicht erläuterten, wie diese festgelegt wurde (1). Sowohl axial als auch abaxial bestimmten GANTA et al. (1998) eine Ballenhöhe (27), damit mussten sie jedoch an beiden Seiten einen reproduzierbaren Punkt ermitteln. Den proximalsten Punkt des Margo palmaris bzw. plantaris abaxialis verwandten dagegen ANDERSSON und LUNDSTRÖM (1981) (2). In der eigenen Untersuchung wurde vergleichbar mit dem letzten Autor der proximalste Punkt des Saumes, unabhängig davon ob dieser am Übergang von der Seitenansicht zur palmaren bzw. plantaren Fläche oder an dieser selbst gelegen war, gewählt. Die bisher überzeugendste Lösung bietet PAULUS (2004), welcher mit einem modifizierten Messschieber arbeitete. Diese war auf einem Holzschenkel angebracht, auf welchem die Klaue platziert wurde. Die Ballenlänge wurde ermittelt, indem „der Messschieber mit der Kante des Holzschenkels senkrecht zum Zwischenklauenspalt an das plantare Ende der Belastungsfläche der Sohle angesetzt“ wurde.

Der bewegliche zweite Messschenkel wurde dann am höchsten Punkt des Ballens platziert. Dieser Punkt stellte auch den proximalen Messpunkt der Ballenhöhe dar, welche ebenfalls mit dem modifizierten Messschieber ermittelt wurde (54). Die Nachteile dieser Methode liegen allerdings darin, dass eine Messung nur an gut zugänglichen, fixierten Gliedmaßen möglich ist. Zudem sollte die Sohlenfläche möglichst plan sein.

Dorsalwand- und Ballenwinkel

Der Einfluss des Alters auf die Größe des **Dorsalwandwinkels** wurde bisher uneinheitlich beurteilt. In Übereinstimmung mit der eigenen Untersuchung, in der die Tiere unter 7 Wochen den signifikant größeren Winkel aufwiesen, stellte HUBER (1983) eine Abnahme bei zunehmendem Gewicht, und damit auch Alter, in seinem Tiermaterial im Alter von sechs bis zwölf Monaten fest (32). Im Gegensatz dazu bemerkte FESSL (1980) eine Zunahme des Winkels mit steigendem Gewicht und Alter bei den von ihm untersuchten Kälbern. Erst bei einer weiteren Gewichtszunahme in den höheren Altersgruppen bemerkte auch dieser Autor einen zunehmend spitzeren Winkel (24). Bei den Messungen des Dorsalwandwinkels bei älteren Tieren wurden niedrigere Winkelwerte ermittelt als bei den Studien an Jungtieren, vorne $47\text{-}54^\circ$ und hinten $49\text{-}55^\circ$ (1, 30), bzw. ein Mittelwert von 52° (24, 27, 29). Eine Abnahme des Dorsalwandwinkel im Verlaufe des Wachstums liegt damit nahe. Mit durchschnittlichen Winkelwerten für den Dorsalwandwinkel von $57,4^\circ$ wurden in der eigenen Untersuchung geringfügig niedrigere Werte gemessen als in den Studien von PENTEA (1998) und NÜSSKE (2002), welche einen Winkel von ca. 60° bzw. $58 - 60^\circ$ maßen (51, 56). Mit der Annahme, dass die Winkel mit steigendem Alter abnehmen, ist verständlich, dass die Tiere von PENTEA (1998) mit einem Alter von 2 Tagen bzw. 2 Monaten (56) und damit einem deutlich niedrigerem Durchschnittsalter als die eigenen einen geringfügig größeren Winkelwert aufweisen. NÜSSKE (2002) machte keine Angaben zur Altersstruktur seiner Tiere (51). Die Winkelwerte in der Altersgruppe der 5-7 Wochen alten Tiere von FESSL (1980) an den Vordergliedmaßen mit $56\text{-}59^\circ$ lagen ebenfalls in der Größenordnung der eigenen Winkelwerte, die Winkel an den Hintergliedmaßen, $52\text{-}54^\circ$ und die der wenige Tage alten Kälber, $50\text{-}52,5^\circ$, dagegen deutlich niedriger (24).

Die Messung des Dorsalwandwinkels bereitet im Allgemeinen keine großen Schwierigkeiten. Die Belastung der Klaue dürfte bei den noch relativ leichten Tieren nur eine unwesentliche,

mit konventionellen Methoden nicht erfassbare Veränderung der Winkelung am Hornschuh durch Kompression zur Folge haben. Ein Vorteil in der Messung am stehenden Tier soll im Ausgleich der Unebenheit der Sohle beim Bezug zur Standfläche bestehen (1), welche bei Kälbern noch keine große Rolle spielt. Das Problem einer unregelmäßigen Dorsalwand (1, 24) kann durch die Modifikation des Winkelmessers umgangen werden (31). Durch das Anbringen von mehreren kurzen Nägeln wurde ein Niveauunterschied ausgeglichen (31).

Der **Ballenwinkel** zeigte als einziger Parameter am Hornschuh keinen Zusammenhang mit dem Alter der Tiere. Die in der Literatur beschriebenen Werte für den Ballenwinkel lagen mit durchschnittlich 121-130° deutlich unter den in der eigenen Untersuchung bestimmten von 140-145° (24, 51). Jedoch unterschied sich die Messung des Winkels bei FESSL (1980) in der Methodik deutlich von der eigenen. Er bestimmte den Winkel durch Anlegen des zweiten Schenkels von kaudal an den Ballen (24). Dort findet sich eine deutliche Wölbung des Hornes, was eine Messung erschwert. Hinzukommt, dass das Horn in diesem Bereich durch ein starkes Polster eindrückbar ist. Dies kann dazu führen, dass steilere Winkel ermittelt werden. Ein Vergleich mit diesen Werten ist folglich nicht möglich. Ähnlich liegt es mit den bei NÜSSKE (2002) angegebenen Winkelwerten. Aufgrund der Größe seiner Werte kann angenommen werden, dass die bei FESSL (1980) beschriebene Methode angewandt wurde (51). Bei der Messung des Ballenwinkels in der eigenen Untersuchung bestand die Schwierigkeit in der Bestimmung der Lage des seitlichen Schenkels. Es wurde versucht, diesen am proximalen Ballenmesspunkt auszurichten, was sich durch dessen variable Lage schwierig gestaltete.

Sohlenparameter

Bei den Sohlenparametern war im Gegensatz zu FESSL (1980) in der eigenen Untersuchung eine deutliche Zunahme mit dem Alter zu bemerken, die beiden Altersgruppen zeigten einen signifikanten Unterschied. Die Tiere unter 7 Wochen hatten eine um 16,5% kürzere und um 19,6% schmälere Sohle sowie eine um 36,1% kleinere Fläche als die Tiere über 7 Wochen. DÄMMRICH et al. (1982) bemerkten ebenfalls eine Flächenzunahme mit dem Alter, erwogen jedoch belastungs- bzw. abnutzungsbedingte Schwankungen (12). Derartige Schwankungen in der Flächenzunahme bemerkte auch HUBER (1983), seine Ergebnisse weisen jedoch eine hohe Standardabweichung auf (32). Auch bei älteren Tieren wurden weitere Zunahmen von den bei Kalbinnen zu den bei Kühen ermittelten Flächen festgestellt (1).

Der Vergleich der **Sohlenlänge** der Kälber der eigenen Untersuchung mit den von FESSL (1980) an Kälbern ermittelten Sohlenlängen war, zum einen wegen des unterschiedlichen Alters, zum anderen wegen der unterschiedlichen Definition der Längen, kaum möglich. In Betracht gezogen wurden die Werte von L' , d.h. der schräg verlaufenden Verbindungslinie der Berührungspunkte von Ballenbereich und Klauenspitze mit dem um den Klauenabdruck gelegten Rechteck. Diese kommt der Bestimmung der Sohlenlänge in der eigenen Untersuchung näher als die Länge des Rechteckes. Er ermittelte Sohlenlängen (L') von 46,6 – 57,3 mm bei Kälbern (24). In der eigenen Untersuchung erreichten die Tiere unter 7 Wochen, Durchschnittsalter 4 Wochen, einen Mittelwert für die Sohlenlänge von 52,2 mm und die Tiere über 7 Wochen einen von 60,8 mm. Die von diesem Autor ermittelte **Breite der Sohle** lies sich nicht vergleichen, da es sich um keine tatsächliche durch den Abdruck gelegte Strecke handelt, sondern die Breite einen zusammengesetzten Wert darstellt (24). Vergleich man die **Sohlenflächen** der eigenen Untersuchung mit den in anderen Studien bei Kälbern (24) bzw. Jungtieren (7, 12) ermittelten, so liegen die Werte in den altersgemäßen Größenordnungen (Tab. 46).

Tab. 46: Größe der Sohlenfläche bei Kälbern und Jungtieren, Vergleich der Angaben in der Literatur mit den eigenen Ergebnissen

Alter der Tiere	Autor	Sohlenfläche in mm ²
4 – 5 Tage	Fessl (1980) (24)	830 – 1170
4 Wochen (Durchschnittsalter der Altersgruppe < 7 Wochen)	Eigene Untersuchung	918
5 - 7 Wochen	Fessl (1980) (24)	970 – 1310
12 Wochen (Durchschnittsalter)	Eigene Untersuchung	1104
16 Wochen (Durchschnittsalter der Altersgruppe > 7 Wochen)	Eigene Untersuchung	1249
16 – 26 Wochen	Dämmrich et al. (1982) (12)	1400 – 2100
26 Wochen	Brentano et al. (1979) (7)	1585 – 2234

Die Messungen an der Sohle wurden bei den meisten Untersuchungen an der angehobenen Gliedmaße durchgeführt (1, 12, 23, 24, 29, 36, 47). Außer bei GÜNTHER et al. (1970) und LEUENBERGER et al. (1978) wurden keine direkten Messungen an der Sohle durchgeführt (29, 36). In der eigenen Untersuchung wurde zur Ermittlung der Sohlenparameter ein möglichst genauer Abdruck der Sohle angefertigt. Wenn es dabei durch die Spontانبewegungen des Tieres zu einem Verrutschen kam, konnte problemlos erneut angesetzt werden. Eine Fehlerquelle stellten insbesondere eine ungleichmäßige Oberfläche der Sohle und eine seitliche Vergrößerung des Abdruckes durch ein „Anschmiegen“ des Papiers an die Klaue dar. HUBER (1983) dagegen war der Ansicht, dass, da die Sohlenfläche der Bodenberührungsfläche entspricht, eine Messung der tatsächlichen Sohlenfläche an der aufgehobenen Gliedmaße nicht möglich sei. Er fertigte deshalb Klauenabdrücke an, indem er die Tiere über eine befeuchtete, mit Sägemehl bestreute Gummimatte laufen lies. Das Problem dabei sah er selbst im rutschfreien Aufsetzen und Aufheben der Gliedmaßen (32). Er führte zwar eine Untersuchung zur Messgenauigkeit seiner Parameter durch, bezog die Sohle jedoch nicht mit ein. Es ist anzunehmen, dass diese eine sehr geringe Messgenauigkeit aufwies. Die Sohlenflächen der einzelnen Klauen wiesen eine sehr hohe Standardabweichung auf. Diese lag weit über 50% der Mittelwerte. Dieselbe Methodik fand sich auch bei BAUMGARTNER (1988) und SCHMID (1990) (5, 64). Betrachtet man bei BAUMGARTNER (1988) die ermittelte Messgenauigkeit für die Sohlenfläche, so liegt diese mit ca. 0,6 deutlich unter denen der anderen Parameter (5). Durch das sehr wahrscheinliche Gleiten bzw. unvollständige Aufsetzen der Klauen auf der präparierten Gummimatte werden die Parameter wohl wesentlich verändert und entsprechen nicht den tatsächlichen Verhältnissen, was sich im Vergleich zu anderen Untersuchungen bei Jungtieren auch zeigte. Die Bestimmung der Länge und insbesondere der Breite der Sohle waren aufgrund des Fehlens klarer Messpunkte schwierig. Die Sohlenlänge lässt sich dabei noch recht gut ermitteln, da die Klauenspitze einen guten Ausgangspunkt für die Abmessung darstellt. Die Breite wurde möglichst objektiv beziehungsweise auf die Sohlenlänge gemessen. Eine Summierung von Messfehlern oder deren Aufhebung ist jedoch möglich. Zudem ist die Ermittlung der breitesten Stelle bereits subjektiv. Dabei dürften sich jedoch Abweichungen lediglich im Bereich von 1-2 mm ergeben, welche im Rahmen der Standardabweichung liegen. Für die in der Arbeit angestrebten Ergebnisse sollte die Messgenauigkeit ausreichen. Sinnvoll wäre gewesen, bei den zur Bestimmung der Messgenauigkeit herangezogenen Tieren zusätzliche Abdrücke anzufertigen und die Messgenauigkeit der Sohlenparameter damit ebenfalls zu bestimmen. Eine

Ermittlung der Parameter anhand eines um den Abdruck gelegten Rechteckes (Methode nach HABACHER (1948)) ist nicht sinnvoll (23, 24). Es kann nicht die größte tatsächliche Länge bestimmt werden, die aus abaxialer und axialer Breite zusammengesetzte Sohlenbreite und die errechnete Fläche stellen lediglich Näherungswerte dar. MÜLLER et al. (1976) ermittelten bei dieser Methodik einen durchschnittlichen Abweichungsfaktor von 35% im Vergleich zur planimetrisch ausgemessenen Fläche. Die errechneten Flächen waren stets größer (47).

Abweichungen zwischen den Werten der Parameter der eigenen und den oben genannten Untersuchungen können außerdem durch die Aufstallung, das Geschlecht oder auch durch Rasseunterschiede (und damit auch bereits Gewichts- bzw. Größenunterschiede) bedingt sein. Einen geringen Einfluss der Rasse ermittelten AHLSTRÖM et al. (1980) in Bezug auf die Dorsalwandlänge und Ballenhöhe (1). Einen statistisch nachweisbaren Rasseunterschied fand FESSL (1969) nicht, hält ihn aber durchaus für möglich (23). Die Aufstallung wurde bei den Sohlenparametern in den Untersuchungen mit Jungtieren miteinbezogen. Nach DÄMMRICH et al. (1982) hatte diese keinen Einfluss auf die Flächengröße, zumindest im Vergleich von Tiefstreu und Rost (12). Eine deutliche Abnahme der Flächengröße und der Sohlenlänge bei auf Rost aufgestellten Tieren im Vergleich zur Haltung auf Stroheinstreu stellte dagegen POUGIN (1983) fest. Bei diesen Tieren nahm bei der Haltung auf Rost jedoch der Anteil der tatsächlichen Belastungsfläche an der Gesamtfläche deutlich zu, was er auf einen stärkeren Abrieb zurückführte. Damit stellte sich die belastete Fläche größer dar als auf Stroh (58). BRENTANO et al. (1979) bemerkten bei Aufstallung auf Stroh eine kleinere Fläche als auf Lattenrost (7). Ein Unterschied bezogen auf die Aufstallungsart scheint erst mit zunehmendem Alter deutlich zu werden. In der eigenen Untersuchung kann keine Aussage zur Aufstallung getroffen werden. Die Tiere entstammten einer Vielzahl von Betrieben mit unterschiedlichen Aufstallungssystemen.

5.2.2.3 Gliedmaßenvergleich

Bei einem Vergleich der Gliedmaßen der rechten mit denen der linken Seite bestand in Übereinstimmung mit der Literatur kein Unterschied in den gemessenen Werten (2, 24).

Der Vergleich der Hornschuhparameter fiel in der eigenen Untersuchung sowohl im Gesamtmaterial als auch in beiden Altersgruppen gleich aus. Mit Ausnahme der Dorsalwandlänge zeigten alle Parameter einen signifikanten Unterschied. HUBER (1983) stellte in Bezug auf die **Dorsalwandlänge** ebenfalls keinen Unterschied fest (32). Bei den von FESSL (1980) untersuchten Kälbern ergaben sich noch keine signifikanten Unterschiede. Bei den erwachsenen Tieren wiesen die Klauen der Vordergliedmaßen eine größere Dorsalwandlänge auf als die der Hintergliedmaßen. Er nahm deshalb an, dass bei Jungtieren durch die Gewichtsbelastung, welche sich in diesem Alter gleichmäßiger verteilt, der Abrieb hinten im Vergleich zu erwachsenen Tieren noch geringer ist (24). Zum selben Ergebnis, dass an den Vordergliedmaßen eine längere Dorsalwand vorlag, kamen MÜLLER et al. (1976) bei Jungtieren im Alter zwischen 5 und 17 Wochen (47). BAUMGARTNER (1988) bemerkte dies zumindest bezüglich der medialen Klaue (5).

In allen Untersuchungen bestand insofern Übereinstimmung zur eigenen, als dass an den Hinterklauen eine geringere **Länge des Ballens** (16, 24, 32) und eine geringere **Ballenhöhe** (1, 16) als an den Vorderklauen auftrat. Dieser Unterschied nahm mit steigendem Alter der Tiere noch zu, wie in der eigenen Untersuchung übereinstimmend mit FESSL (1980), festgestellt wurde (24). Betrag der Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen der eigenen Untersuchung bei den Tieren unter 7 Wochen noch 19% bei der Ballenhöhe und 11,1% bei der Ballenlänge, so stieg er bei den Tieren über 7 Wochen auf 26% bzw. 14,9% an.

In der eigenen Untersuchung wiesen die Klauen der Vordergliedmaßen mit $55,7^\circ$ einen spitzeren **Dorsalwandwinkel** auf, als die der Hintergliedmaßen mit $59,0^\circ$. Einen an den Vordergliedmaßen spitzeren Winkel als an den Klauen der Hintergliedmaße fanden auch MÜLLER et al. (1976), DISTL und SCHMID (1994) sowie SCHMID (1990) bei Jungtieren und AHLSTRÖM et al. (1986) bei erwachsenen Tieren (1, 16, 47, 64). Dagegen ermittelten GANTA et al. (1998), BAUMGARTNER (1988), HUBER (1983), FESSL (1980) und GÜNTHER (1970) an den Klauen der Vordergliedmaßen die größeren Werte (5, 24, 27, 29, 32). Bei den wenige Tage alten Tieren der Untersuchung von FESSL (1980) war der Unterschied in den Winkelwerten zwischen den Gliedmaßen zwar noch gering, verstärkte sich jedoch mit zunehmenden Alter, insbesondere bei den männlichen schneller wachsenden Tieren. Der Autor führt dies auf eine generelle Winkeländerung am Hornschuh zurück, welche durch das Ungleichgewicht in der Zunahme von Kron- und Tragrand begründet liegt. In der Entwicklung nimmt der Kronrand schneller zu als der Tragrand, die Winkel an der

Klauenwand werden größer (24). In der eigenen Untersuchung betrug der Unterschied bei den Kälbern unter 7 Wochen 4,5%, in der Gruppe über 7 Wochen nahm er auf 6,3% zu. HUBER (1983) bemerkte keinen Unterschied zwischen den Gliedmaßen, jedoch wiesen seine Ergebnisse mit ca. 20° eine extrem hohe Standardabweichung auf, obwohl er für die Messgenauigkeit des Dorsalwandwinkels eine Wiederholbarkeit von 0.76-0.83 angab (32).

Die Ergebnisse von FESSL (1980) zeigten auch einen Unterschied zwischen den Werten des **Ballenwinkels** der Vorder- und Hintergliedmaßen. Der Winkel an den Vordergliedmaßen zeigte, wie in der eigenen Untersuchung, die kleineren Werte (24).

Übereinstimmend mit der Literatur (7, 12, 24, 32, 47, 58) zeigten die Klauen der Vordergliedmaßen die größeren **Flächen**. Zu bemerken ist, dass bereits bei den Tieren unter 7 Wochen ein deutlicher Unterschied von 10,5% zu festzustellen war. FESSL (1980) registrierte diesbezüglich nur geringe Unterschiede (24). Der Unterschied nahm bei den Tieren über 7 Wochen zu. Er betrug in dieser Gruppe 14,7%. DÄMMRICH et al. (1982) fanden diesen Unterschied nur bei auf Rost aufgestellten Tieren, nicht jedoch bei denen, die auf Stroh-einstreu gehalten worden waren (12). POUJIN et al. (1983) stellte fest dass dieser Unterschied auf Spaltenboden stärker ausgeprägt war (58). Daraus ist zu folgern, dass der Größenunterschied zwischen den Klauen der Vorder- und denen der Hinterklauen mit zunehmenden Alter und Abrieb zunimmt. In Untersuchungen, die auch die Länge und Breite der Sohlenfläche ermittelten, wies die Vordergliedmaße, wie bei der eigenen, die größere Länge und Breite auf (24, 47). Dabei nahm dieser Unterschied ebenfalls mit dem Alter der Tiere zu, bei den eigenen von einem Unterschied in der Länge von 5,3% auf 7,3% und in der Breite von 9,8% auf 11,7%. Der Größenunterschied der Sohlenfläche zwischen den Gliedmaßen beruht demnach auf einer Zunahme sowohl der Länge als auch der Breite der Klaue.

5.2.2.4 Vergleich laterale und mediale Klaue

Im Vergleich der lateralen und der medialen Klauen fiel in dieser Studie auf, dass keine Unterschiede zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen bestanden, d.h. war der Parameter an der medialen oder lateralen Klaue größer, so war er dies sowohl an der Vorder- als auch an der Beckengliedmaße. Dies steht in klarem Widerspruch zu der Aussage anderer Autoren, dass die Tiere ihrer Untersuchung, Kühe (2, 5) bzw. Stiere (24) hinten lateral und vorne

medial die größeren Klauen aufweisen, wobei in Betracht gezogen werden muss, dass die Klauen von erwachsenen Tieren einer Vielzahl von Einflussfaktoren ausgesetzt waren.

In der eigenen Untersuchung wies die **Dorsalwandlänge** der medialen Klauen die signifikant größeren Werte auf, unabhängig ob Vorder- oder Hintergliedmaße. Dagegen sind die bei FESSL (1980) für die Kälber angegebenen Werte medial sowohl vorne als auch hinten kleiner (24). Bei erwachsenen Tieren wurde hingegen übereinstimmend an den Vordergliedmaßen an der medialen Klaue und an den Hintergliedmaßen an der lateralen Klaue der, verglichen mit der Partnerklaue, höhere Wert in Bezug auf die Dorsalwandlänge ermittelt (2, 5, 27, 69). Einzig PAULUS (2004) bemerkte an den Hintergliedmaßen nach funktioneller Klauenpflege bei Jungbullen und -kühen ebenfalls an der medialen Klaue die signifikant längere Dorsalwand (54). In Bezug auf die Klauen der Vordergliedmaßen ergab sich damit in allen Alterstufen dasselbe Verhältnis, während an den Klauen der Hintergliedmaßen die Literaturangaben nicht übereinstimmen. Da jedoch bei Kälbern, bei welchen die Klauen durch übermäßiges Wachstum noch nicht beeinträchtigt waren, und bei Tieren, deren Klauen vor der Messung gepflegt worden waren, die lateralen Klauen die kürzere Dorsalwandlänge aufwiesen, kann davon ausgegangen werden, dass die bei den anderen Autoren (2, 5) beschriebenen Verhältnisse durch das Vorliegen von Stallklauen an den Hintergliedmaßen hervorgerufen werden.

Da in der eigenen Untersuchung bei 82% der 77 Tiere beide Klauen einer Gliedmaße gleichmäßigen Bodenkontakt hatten, muss der Unterschied zwischen den Dorsalwandlängen der lateralen und medialen Klauen im Bereich des Kronsaumes lokalisiert sein. Wie bereits ausgeführt weist dieser bei 19% der untersuchten 66 Tiere einen adspektorisch sichtbaren Unterschied auf. Dabei war, passend zum Unterschied in den Dorsalwandlängen der Saum der medialen Klaue weiter proximal gelegen. Dieser Anteil war zwar gering im Vergleich zur ermittelten Differenz der Dorsalwandlängen, jedoch ist anzunehmen, dass er sich bei einer genauen Messung erhöht.

Die Diskrepanz zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße bezüglich der Länge der Dorsalwand blieb in der eigenen Untersuchung an den Hintergliedmaßen konstant bei 2,2%, an den Vordergliedmaßen nahm er von 2,9% bei den Tieren unter 7 Wochen auf 3,6% bei den Tieren über 7 Wochen zu. Eine generelle Zunahme des Längenunterschiedes bei Kälbern stellte dagegen NÜSSKE (2002) fest. Er bemerkte unterschiedliche Zunahmen der Dorsal-

wandlänge bezogen auf die einzelnen Klauen, die medialen wiesen die geringste Zunahme auf, was die Diskrepanz zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße verstärkte (51).

Bei der **Ballenhöhe** trat in der Auswertung nur im Gesamtmaterial ein Unterschied auf. Der Ballen der lateralen war sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmaße höher, wobei dieser Unterschied an der Vordergliedmaße deutlicher war. In den beiden Altersgruppen hingegen bestand kein signifikanter Unterschied. Die Signifikanz für diesen Unterschied lag an beiden Gliedmaßenpaaren nur knapp unter 5%. Bei Betrachtung des Verhältnisses der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe zeigte immer die mediale das größere Verhältnis. Sollte also die Ballenhöhe an der lateralen Klaue größer sein, verstärkt sie diesen Unterschied in den Verhältnissen noch, da die Dorsalwandlänge medial ja immer größer war als lateral. Da bei älteren Tieren (1, 2, 5, 54) ebenfalls ein Unterschied in der Ballenhöhe zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße besteht, wird angenommen, dass dies bei Kälbern, wenn auch in wesentlich geringerem Maße, ebenfalls der Fall ist. Die **Ballenlänge** hingegen weist keinen signifikanten Unterschied auf. An den Messungen der Ballenhöhe und der Ballenlänge an den Hintergliedmaßen bei FESSL (1980) ist dagegen die Tendenz zu erkennen, dass die laterale Klaue, insbesondere an den Hintergliedmaßen, die größeren Ballenwerte aufweist (24). Bei erwachsenen Tieren war dagegen an den Vordergliedmaßen der Ballen an der medialen Klaue höher (2, 27), an den Hintergliedmaßen, übereinstimmend mit den eigenen Ergebnissen, die laterale (1, 2, 27, 54).

An den Klauen der Hintergliedmaßen war der **Dorsalwandwinkel** der medialen Klaue in der eigenen Untersuchung signifikant größer. Dieser Unterschied verschwand mit zunehmendem Alter der Tiere, betrug er in der Gruppe unter 7 Wochen noch 2,4%, so war er bei den Tieren im Alter über 7 Wochen nicht mehr vorhanden. Bei den bisherigen Studien mit Jungtieren zeigten sich keine Unterschiede. NÜSSKE (2002) zeigte eine Tabelle zum Vergleich der beiden Klauen, aus der für seine Untersuchung für beide Klauen einer Gliedmaße fast gleiche Werte hervorgehen (51). Auch HUBER (1983) fand keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße (32). Bei erwachsenen Tieren wiesen ANDERSSON und LUNDSTRÖM (1981) und GANTA et al. (1998) ebenfalls einen Unterschied zwischen den Klauen einer Gliedmaße nach, jedoch erreichten in ihren Studien die Klauen vorne medial und hinten lateral die jeweils größeren Werte (2, 27). MARTIG et al. (1983) hingegen beschrieben generell an den medialen Klauen den steileren Winkel (44).

Der **Ballenwinkel** zeigte in der eigenen wie auch in der Untersuchung von NÜSSKE (2002) keinen Unterschied (51).

In Bezug auf die **Sohlenfläche** stellte sich bei BRENTANO et al. (1979), bei DÄMMRICH et al. (1982) und bei FESSL (1980) übereinstimmend mit den eigenen Ergebnissen die mediale Klaue kleiner dar (7, 12, 24), wobei dies bei FESSL (1980) nur an den Hintergliedmaßen signifikant war (24). Bei DÄMMRICH et al. (1982) ergab sich dieser Unterschied jedoch lediglich bei auf Rost aufgestellten Tieren. Die auf Stroh gehaltenen zeigten keinen Unterschied (12). HUBER (1983) stellte keine Unterschiede fest, jedoch weisen seine Daten, wie bereits oben erwähnt, eine hohe Standardabweichung auf (32). Bei erwachsenen Tieren war an den Vordergliedmaßen die Fläche der medialen, an der Hintergliedmaße die Fläche der lateralen größer (1).

Der Flächenunterschied nahm in der eigenen Untersuchung mit dem Alter der Tiere zu, wiederum hinten stärker als vorne. An den Vordergliedmaßen stieg er von 5,5% auf 6,5%, an den Hintergliedmaßen von 10,8% auf 14,6%. Eine Zunahme des Unterschiedes zwischen den Klauen fand auch FESSL (1980) mit zunehmendem Alter. Zudem stellte der Autor anhand seines Materials fest, dass der Unterschied zwischen den beiden Klauen bei ungepflegten Klauen wesentlich größer ist (24). Der Flächenunterschied zwischen den beiden Klauen beruhte in der eigenen Untersuchung auf der unterschiedlichen Breite der Sohlenfläche. Im Gegensatz zur Sohlenlänge wies die Sohlenbreite an der medialen Klaue immer die geringeren Werte auf. Der ohnehin nur geringe Unterschied von 2,8% in der Länge der Fußungsfläche der Kälber unter 7 Wochen verschwand bei den älteren Tieren vollständig. Der Unterschied in der Breite nahm dagegen mit dem Alter zu, vorne von 8% bei den Tieren im Alter unter 7 Wochen auf 10,1% bei den über 7 Wochen alten und hinten von 13% auf 14,1%. Der Unterschied war dennoch an den Klauen der Hintergliedmaßen stärker ausgeprägt als an denen der Schultergliedmaßen. Auch FESSL (1980) stellte einen Unterschied zwischen der lateralen und medialen Klaue sowohl in der Breite als auch in der Länge fest. An den Hintergliedmaßen dagegen stimmte er mit den eigenen Ergebnissen insofern überein, als dass die medialen Klauen die geringere Breite und Länge aufwiesen (24).

5.2.2.5 Zusammenfassung

Bei Kälbern im Alter von einer Woche bis sechs Monaten besteht ein Geschlechtsunterschied in Bezug auf den Dorsalwandwinkel, die Ballenhöhe und die Ballenlänge. Die Sohlenwerte differieren, jedoch werden diese bei den jungen Kälbern noch durch das Eponychium beeinflusst und der Einfluss eines unterschiedlich starken Abriebs desselben kann ebenfalls einen Faktor darstellen.

Eine starke Zunahme mit dem Alter weisen die Dorsalwandlänge, Ballenhöhe und Ballenlänge auf. Die Zunahme ist in dieser Altersstufe an allen Klauen noch gleichmäßig. In Bezug auf die beiden Winkel, Dorsalwandwinkel und Ballenwinkel, ist bei Kälbern keine deutliche Tendenz zu erkennen. Die Sohlenparameter, Länge, Breite und Fläche, nehmen bei Kälbern ebenfalls zu, jedoch zeigen sich bereits früher als bei anderen Parametern der Einfluss des Abriebs und damit der Aufstallung

Der Unterschied zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen in Bezug auf die Längenparameter und die Fläche nimmt mit steigendem Alter zu, bzw. tritt bei der Dorsalwandlänge erst bei älteren auf. Dabei zeigen die Parameter an den Vordergliedmaßen übereinstimmend in allen Untersuchungen die größeren Werte. Bei Dorsalwandwinkel und Ballenwinkel findet sich hingegen keine klare Tendenz.

Die Dorsalwandlänge war in der eigenen Untersuchung und in der von PAULUS (2004) an den Hintergliedmaßen an der medialen Klaue signifikant länger als an der lateralen (54). Diese Feststellung steht im Widerspruch zu den übrigen Literaturangaben (2, 5, 24, 27, 69), bei denen zumeist die laterale Klaue die längere Dorsalwand aufweisen. Es ist jedoch zu anzumerken, dass in der eigenen Untersuchung sowie bei Paulus kein Unterschied im Sohlenniveau zwischen lateraler und medialer Klaue bestand. Zu diesem Punkt findet sich bei den genannten Autoren keine Angaben, so dass nicht klar wird, ob bei ihnen die Sohlen das gleiche Niveau aufwiesen. Ein unterschiedliches Sohlenniveau, beispielsweise durch ungleiches Wachstum oder Abrieb, hat aber Einfluss auf die Dorsalwandlänge.

Dieses konträre Bild kann demzufolge durchaus auf ein unterschiedlich starkes Wachstum bzw. Abrieb zurückzuführen sein. NÜSSKE (2002) bemerkt auch bei den medialen Klauen eine geringere Wachstumsrate (52).

Ein Unterschied in der Ballenhöhe und der Ballenlänge der lateralen und medialen Klaue trat erst mit zunehmenden Alter auf, die laterale Klaue besitzt dann die größeren Werte. Die Winkel zeigen insbesondere bei Kälbern noch keine Unterschiede, bei erwachsenen Tieren kann ein Unterschied auftreten, wobei dieser wahrscheinlich auch durch Umweltfaktoren hervorgerufen wird. Die Sohlenfläche ist bereits bei Kälbern an den Hintergliedmaßen medial kleiner, was v. a. durch die geringere Breite bedingt ist. Mit zunehmenden Alter verstärkt sich dieser Unterschied. An den Vordergliedmaßen verschiebt sich das Verhältnis. Während bei Kälbern auch hier die mediale kleiner ist, weist sie bei erwachsenen Tieren häufiger die größere Fläche im Vergleich zur Partnerklaue auf.

5.2.2.6 Berechnete Parameter

Verhältnis von Dorsalwandlänge zu Ballenhöhe

Nach AHLSTRÖM et al. (1986) ist bei einem Verhältnis der Dorsalwandlänge zu einem der Ballenwerte der Höhe des Ballens der Vorzug zu geben, da eine Veränderung der Höhe eine differenziertere Aussage über eine Formveränderung der Klaue zuließe. Eine größere Ballenlänge konnte nämlich sowohl einen positiven als auch einen negativen, im Sinne eines „underrun heel“, Effekt auf die Klauenform haben. In der eigenen Untersuchung wiesen die Werte Dorsalwandlänge und Ballenhöhe keine signifikante Korrelation auf. Sie verändern sich unabhängig vom anderen Wert. Werden diese beiden zueinander in Bezug gesetzt, geben sie demnach genauere Auskunft über eine stattfindende Formveränderung (1).

Das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Ballenhöhe betrug in der eigenen Studie an den Vordergliedmaßen 1,9:1 und 2,4:1 an den Hintergliedmaßen. Als einzige Untersuchung in annähernd der selben Altersgruppe kann nur die Habilitation von FESSL (1980) betrachtet werden. Es war aber nicht klar ersichtlich, welche Länge im Bereich des Ballens dieser Autor für sein Verhältnis herangezogen hatte. Zudem lagen die von ihm gewählten proximalen Bezugspunkte in anderen Bereichen am Saum als der in der eigenen Untersuchung gewählte. Ein Vergleich der absoluten Werte ist demzufolge nicht sinnvoll (24). Bei den Studien mit erwachsenen Tieren stellt sich ein Vergleich ebenfalls schwierig dar. ANDERSSON und LUNDSTRÖM (1981) maßen die Ballenhöhe an vergleichbarer Lokalisation. Sie ermittelten ein Verhältnis von durchschnittlich 1,78 (laterale Klaue) bzw. 1,88 (mediale Klaue) an den

Klauen der Vordergliedmaßen und 2,05 (laterale) bzw. 2,54 (mediale) an den Klauen der Hintergliedmaßen (2). Diese Werte liegen, obwohl sie an ungepflegten Klauen erhoben wurden, nahe an den bei den Kälbern der eigenen Untersuchung erhaltenen. Die Unterschiede können durch die unterschiedlichen Rassen bedingt sein, ANDERSSON und LUNDSTRÖM (1981) bemerkten zwischen den beiden Rassen ihrer Untersuchung Rasseunterschiede bezüglich des Verhältnisses (2). Die in der Untersuchung von PAULUS (2004) an gepflegten Klauen ermittelten Verhältnisse lagen niedriger als in der eigenen Untersuchung. Er empfahl aufgrund seiner Untersuchung ein Verhältnis von 2:1 bei Jungbullen und 2,2:1 bei Kühen als Orientierung für eine gute Klauenform der Hintergliedmaßen (54).

Darin, dass die Klauen der Vordergliedmaße das niedrigere und damit für die Klauen günstigere Verhältnis aufweisen, stimmen die Untersuchungen von AHLSTRÖM et al. (1986) und ANDERSSON und LUNDSTRÖM (1981) mit der eigenen Untersuchung überein (1, 2). Dies war bei allen Klauen auf die größere Höhe der Ballen an den Vorderklauen zurückzuführen. In der eigenen Untersuchung waren sie um 25% höher als an den Hintergliedmaßen. Im Vergleich der beiden Klauen der eigenen Untersuchung war sowohl an den Vorder- als auch an den Hinterklauen medial das Verhältnis größer als lateral. Da sich die Ballenhöhe in den beiden Altersgruppen nicht signifikant unterschied, ist das höhere Verhältnis medial auf die längere Dorsalwand zurückzuführen. Ein Unterschied im Verhältnis zwischen den beiden Altersgruppen bestand nicht, es blieb also mit zunehmendem Alter konstant. Zu diesem Ergebnis kam auch FESSL (1980) bei den Kälbern (24). Eine Zunahme mit dem Alter wurde bei erwachsenen Tieren beobachtet, jedoch ist dies meist auf einen schlechten Pflegezustand (1) oder auf das Vorliegen von Klauenerkrankungen zurückzuführen (2).

Verhältnis von Dorsalwandlänge zu Sohlenlänge

PAULUS (2004) bemerkte in allen von ihm untersuchten Altersgruppen ein konstantes Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge von 1:1,4 an den medialen Klauen. An den lateralen Klauen erhielt er nach Klauenpflege ebenfalls in allen Altersgruppen einen Wert von 1:1,6. Seine Ergebnisse lassen darauf schließen, dass das größere Verhältnis an der Innenklau auf einen flacheren Ballenverlauf an der medialen im Vergleich zur lateralen zurückzuführen ist (54). In der eigenen Untersuchung unterschied sich das Verhältnis der Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge ebenfalls nicht zwischen den Altersgruppen, es betrug

jedoch an den Klauen der Hintergliedmaße 1:1,08. An den Klauen der Vordergliedmaßen war es signifikant größer mit einem Wert von 1:1,17. Die lateralen und medialen Klauen unterschieden sich ebenfalls signifikant. Das Verhältnis zeigte wie bei obigem Autor an den lateralen Klauen den kleineren Wert. In der eigenen Untersuchung wird dies durch die Dorsalwandlängendifferenz verursacht, und nicht wie bei PAULUS (2004) durch eine unterschiedlich starke Winkelung des Ballens (54). Der Ballenwinkel wies in der eigenen Untersuchung keinen signifikanten Unterschied zwischen der lateralen und medialen Klaue auf.

Der Vergleich dieses Verhältnisses zwischen Kälbern und erwachsenen Tieren gestaltet sich problematisch. Die beiden Parameter werden durch die Umwelt stark beeinflusst, und dieser Einfluss tritt natürlich bei älteren Tieren wesentlich deutlicher in Erscheinung. Dies erklärt auch den Größenunterschied in den Werten im Vergleich der eigenen Untersuchung zu der von PAULUS (2004)

5.3 Allgemeine Befunde Röntgen

5.3.1 Klauensesambein

Die Lage und Ausbildung des distalen Sesambeines entsprach bei den Kälbern der eigenen Untersuchung den Beschreibungen der Literatur. Im Vergleich zu EBEID (1996) war lediglich festzustellen, dass das Sesambein in dieser Altersgruppe an beiden Aufnahmeebenen gut zu definieren war (20). Unsicherheiten in der Bestimmung der genauen Größenausdehnung an den Aufnahmen in dorsoplantarer bzw. –plantarer Aufnahmeebene traten in der eigenen Untersuchung durch die noch ablaufende Ossifikation und die dadurch bedingte unregelmäßige Begrenzung des röntgenologisch darstellbaren Anteiles des Os sesamoideum distale auf.

Der von LINDSAY et al. (1973) geschätzte Zeitrahmen für das erstmalige Auftreten des Klauensesambeines von 7 bis 89 Tage post partum an den Vorder- und 2 bis 59 Tage post partum an den Hintergliedmaßen lies sich weiter eingrenzen. In der vorliegenden Unter-

suchung betrug der Zeitraum für das erstmalige Auftreten eines Ossifikationskerns 4 bis 48 Tage post partum an den Hintergliedmaßen und 11 bis 49 Tage an den Vordergliedmaßen. Der frühere Nachweis eines Verknöcherungskernes an den Klauen der Hintergliedmaßen bestätigte sich. Zudem wurde der Ossifikationskern bei allen 47 Tieren, bei denen ein Klauensesambein in Ossifikation vorlag, an den Hintergliedmaßen größer beurteilt. LINDSAY et al. (1973) führten das frühere Auftreten des Verknöcherungskernes an den Hintergliedmaßen auf frühzeitiger eintretenden und mechanisch höheren Stress zurück. Dies begründeten sie mit dem Aufstehverhalten der Jungtiere. Dem von diesen Autoren beschriebenen, paarweise gleichmäßigen Auftreten der Sesambeine an beiden Klauen einer Gliedmaße widersprachen die Ergebnisse dieser Studie, da bei 23 der 30 Tiere mit einem Sesambein in Verknöcherung ein Unterschied in der Größe des Ossifikationskernes bestand (37).

Auffällig war, dass bei 19% der Kälber der eigenen Untersuchung das laterale Klauensesambein stärker verknöchert war als das mediale. Dies kann auf eine stärkere Belastung und damit bessere Versorgung der lateralen Zehe hindeuten.

5.3.2 Auffälligkeiten am Röntgenbild

Die an den Aufnahmen mit abaxio-axialem Strahlengang beobachtete raue Kontur im Bereich der palmaren Gelenkfläche (Abb. 46, Kapitel 4.4.4) an den Klauenbeinen der Vordergliedmaßen von drei Kälbern standen in keinem erkennbaren Zusammenhang zu der Erkrankung, mit der die Tiere eingeliefert wurden. Ein Verknöcherungskern im Bereich des distalen Sesambeines war bei diesen Tieren noch nicht zu erkennen. Die Tiere waren im Alter von 12, 27 und 28 Tagen in die Untersuchung eingegangen. Eines der Tiere wurde wegen einer schwerwiegenden Nabelerkrankung, eines aufgrund einer Femurfraktur und das dritte mit Polyarthrit der Vordergliedmaßen eingeschläfert. Bei zwei Tieren traten röntgenologisch erkennbare Einziehungen (Abb. 47, Kapitel 4.4.4) im Bereich der Wachstumszonen des Röhrbeines auf. Auch bei diesen war kein Zusammenhang zur Grunderkrankung zu erkennen.

Da beide Veränderungen nur bei einer geringen Zahl der Kälber beobachtet werden konnten, und da keine weitergehenden pathologisch-histologischen Untersuchungen erfolgten, konnte hier nicht abschließend geklärt werden, worum es sich bei diesen Strukturen handelte.

5.4 Ergebnisse der Messungen am Röntgenbild

5.4.1 Messgenauigkeit und Methodik

Einfluss der Röntgentechnik auf die Messwerte

Die Untersuchung zur Auswirkung von geringfügigen Abweichungen in der Aufnahmetechnik - Ausrichtung des Zentralstrahles, Aufnahmeebene - ergab keine signifikanten Unterschiede in den ermittelten Längen (Tab. 19, Kap. 3.5.1.2). Bei der Bestimmung der Abweichung durch verschiedene Aufnahmetechniken fiel lediglich auf, dass die im Bereich des Klauenbeines bzw. Hornschuhes erreichte Standardabweichung größer war als die im proximalen Bereich. Jedoch wies der im Bereich des Klauenbeines ermittelte Mittelwert für die Länge der angebrachten Markierung den geringsten Unterschied zur tatsächlichen Länge, also die geringste Vergrößerung auf. Letzteres ist auf die geringere Schichtdicke und damit eine niedrigere radiologische Vergrößerung zurückzuführen (41). Die größere Standardabweichung dürfte auf einen höheren Anteil an Streustrahlung durch die größere Dichte des Hornschuhes und auf die abnehmende Schichtdicke in diesem Bereich zurückzuführen sein.

CRIPPS und EUSTACHE (1999) bemerkten bei den von ihnen angefertigten Aufnahmen, bei denen der Zentralstrahl im Vergleich zum Huf in der Höhe verschoben war zwar im Gegensatz zur eigenen Untersuchung einen Unterschied, maßen diesem jedoch keine Relevanz bei. Die Abweichung in dorsopalmarer bzw. -plantarer Richtung (Schrägaufnahmen) zeigten auch bei diesen Autoren keinen Unterschied (11).

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass durch geringe Abweichungen in der Ausrichtung des Zentralstrahls in der vorliegenden Studie keine wesentlichen Schwankungen in den Ergebnissen der Messungen auftraten.

Festlegung der Messpunkte

Bei der Festlegung der Messpunkte an der dorsopalmaren bzw. -plantaren Aufnahmeebene wurde v.a. darauf geachtet, sicher auffindbare Messpunkte zu wählen. Da ein

dreidimensionales Objekt auf zwei Dimensionen reduziert wurde, kann keine definitive Aussage dahingehend getroffen werden, ob beide Messpunkte dorsal oder palmar bzw. plantar liegen und nicht etwa diagonal. Demzufolge ist nicht auszuschließen, dass, anstelle der gewünschten Knochenhöhe stattdessen eine Diagonallänge des Knochens ermittelt wurde. An den abaxio-axialen Aufnahmen waren die Messpunkte recht gut aufzufinden, insbesondere der Endpunkte an der Sohle war durch die röntgendichtere Linie der Kortikalis recht gut definiert. Dadurch wurde jedoch nicht die maximale Sohlenlänge bestimmt, sondern lediglich die Länge der deutlich ausgebildeten Kortikalis.

Messprogramm

Zur genauen Festlegung der Messpunkte am Bild ist die Wahl der entsprechenden Vergrößerung der Aufnahme von Bedeutung. Das Programm bietet die Möglichkeit zwischen der Darstellung 25%, 50%, 75%, 100%, 150% und 200% zu wählen. Grundlage ist jedoch die Größe der eigenen Datei, d.h. ist diese selbst sehr groß, kann bereits mit einer niedrigen Vergrößerung eine für die Messung ausreichende Größe erreicht sein, bzw. eine Darstellung bei 100% bietet keinen Überblick mehr über den zu untersuchenden Bereich. Es kann also entgegen der Aussage von VARGAS (2003) keine allgemein gültige optimale Vergrößerung angegeben werden (70). Als Anhaltspunkt ist zu nennen, dass bei der Wahl einer starken Vergrößerung die Knochenkonturen verschwimmen und bei einer zu geringen die vom Programm vorgegebenen Messpunkte bzw. -linien zu breit sind, um den gewünschten Punkt exakt zu treffen. Die voreingestellte Linienstärke wurde in der eigenen Untersuchung immer auf Linienstärke 1 herabgesetzt, was hier bei einer Vergrößerung von 75% eine gute Durchführung der Messungen ermöglichte.

In der eigenen Untersuchung wurde für die Längenmessung eine hohe Messgenauigkeit erreicht (Tab. 20, Kap. 3.5.1.2). Dies entsprach auch den Ergebnissen der Untersuchung von VARGAS (2003), welcher eine Evaluation des hier verwendeten Messprogramms Metron PX™ durchführte (70). Durch die Verwendung des computergestützten Programms konnte er eine wesentlich höhere Messgenauigkeit am Röntgenbild erzielen, als bisher in Studien erreicht wurden, welche die Längen direkt am Röntgenbild maßen (11, 70).

Die Messung am Röntgenbild kann aber nicht genauer sein, als die Messung an der Kalibrierstrecke, d.h. in diesem Fall eine Genauigkeit von 0,5 mm. Eine exakte Bestimmung der Skala/Kalibrierstrecke ist die Grundvoraussetzung, da sich ansonsten ein systematischer Fehler durch die Messungen zieht.

In dieser Untersuchung konnten aufgrund der radiologischen Vergrößerung keine absoluten Knochenlängen ermittelt werden. Der Vergrößerungsfaktor ließe sich zwar bei bekanntem Fokus-Film- und Fokus-Objekt-Abstand berechnen (41), jedoch variiert der letztere. Die Feststellung von VARGAS (2003), dass mit Hilfe dieses Messprogramms eine Längenbestimmung ohne spätere Verbesserung durch einen errechneten Vergrößerungsfaktor erfolgt, ist problematisch. Bei einer computergestützten Messung dient die Skala unter anderem der Umrechnung der vom Computer gezählten Pixel in eine Maßeinheit. Das Programm bietet bei der Kalibrierung von Röntgenaufnahmen zwei Möglichkeiten. Zum einen über eine auf Filmebene liegende Skala, zum anderen über eine in der Ebene der gemessenen Punkte angebrachte Skala. Es ist anzunehmen, dass dies zusätzlich eine Berücksichtigung der radiologischen Vergrößerung ermöglichen soll. Die Frage ist nun, wie wurde die Vergrößerung kalkuliert, wenn die Eckdaten Fokus-Objekt- und Fokus-Film-Abstand nicht mit berücksichtigt werden. Bei VARGAS (2003) traten signifikante Unterschiede zwischen den anatomischen Messungen und den Messungen am Röntgenbild trotz eindeutiger Skalierung auf (70).

Eine Berechnung des Vergrößerungsfaktors in dieser Untersuchung unter Berücksichtigung der ermittelten Längen der Messgenauigkeitsmarkierungen gestaltet sich schwierig, da für jeden Bereich an der Gliedmaße ein eigener Faktor berechnet werden müsste. Zudem befand sich die Markierung nicht in derselben Ebene des Objektes wie die interessierenden Knochenlängen, was wiederum zu einer Abweichung führen würde. Entsprechendes gilt für die als Skala verwendete Seitenmarkierung, welche sich zudem abseits vom Zentralstrahl befand. Eine weitere Möglichkeit, den Vergrößerungsfaktor zu bestimmen, ist eine vergleichende Messung an anatomischen Präparaten. Dort stellt sich jedoch das Problem der Definition der den Messpunkten am Röntgenbild entsprechenden Knochenpunkten. Um die Ausdehnung der Zehenknochen zu bestimmen, ermittelte RANFT (1936) mehrere Längen an jedem Knochen (60). Die gemessenen Längen dürften in ihrer ungefähren Dimension den tatsächlichen Längen entsprechen. Vergleicht man die an den Röntgenaufnahmen ermittelten Längen der Markierungen, ergaben sich bei den im Bereich von Fessel- und Kronbein

gelegenen um 7% größere Längen, bei der im Bereich des Klauenbein gelegenen eine um 3% größere Länge als tatsächlich bestand. Da die im Bereich der behaarten Haut gelegenen dieselbe Abweichung zeigten, dürften die am Röntgenbild ermittelten Längen, welche ja nicht über das Klauengelenk hinweg nach distal reichten, sich ebenfalls ungefähr in dieser Größenordnung bewegen. Dies stellt aber lediglich eine Schätzung dar.

Hinzu kommt noch das Problem der variierenden Belichtung und damit der Veränderung der äußeren Konturen. Dies wirkte sich insbesondere stark am Hornschuh aus, weshalb auf Messungen in diesem Bereich verzichtet worden war. Doch auch an den Knochen, v. a. im Bereich des knorpeligen Gelenkspaltes, dürfte es dadurch zu geringfügigen Veränderungen kommen.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Messung mittels dieses computergestützten Programms der direkten vorzuziehen ist. Dennoch wird in der eigenen Untersuchung vorsichtshalber davon ausgegangen, dass keine 100%ige Bestimmung der absoluten Längen erfolgte, die Werte der Realität aber sehr nahe kommen. Ein Vergleich der lateralen und der medialen Zehe bzw. der Vergleich von Vorder- und Hintergliedmaße war in der Studie jedoch durchaus aussagekräftig.

5.4.1 Eigene Ergebnisse

Die ermittelten Knochenlängen zeigten erwartungsgemäß eine Zunahme mit steigendem Alter der Kälber. Im Vergleich der beiden Altersgruppen nahm dabei die Länge des distalen Metakarpus- bzw. Metatarsuskondylus mit 6,4% vergleichsweise am geringsten zu. Das Fesselbein und das Kronbein zeigten bereits eine Zunahme von 11,2% bzw. 13,5%. Die stärkste Zunahme wiesen die beiden am Klauenbein gemessenen Längen auf. Sie nahmen beide um 23,5% zu. Die berechnete Höhe des Klauenbeines nahm ebenfalls um 22,9% zu.

Die Gelenkspalten von Fessel- und Kron gelenk wurden mit steigendem Alter enger. Der Gelenkknorpel weist bei Jungtieren einen sehr hohen Wassergehalt auf, welcher bis zum Erwachsenenalter auf ca. 70% abnimmt (72). Es ist anzunehmen, dass er sich wegen dieses sehr hohen Wassergehaltes röntgenologisch nur schwer darstellen bzw. vom Synovialraum trennen lässt. Hinzu kommt der zunehmende Ossifikationsgrad im gelenknahen Knochen. Der Gelenkspalt des Kron gelenkes war mit 1,8 mm signifikant schmaler als der des

Fesselgelenkes, welcher eine Breite von 2,4 mm aufwies. Dies lässt sich damit erklären, dass das Krongelenk von beiden das straffere Gelenk darstellt, die im Krongelenk enthaltene Synoviamenge ist erheblich geringer als die des Fesselgelenkes. EBEID (1992) ermittelte zum Vergleich eine normale Weite des Klauengelenkspaltes von 1- 2 mm (18).

Beim Vergleich der in der vorliegenden Untersuchung an den Röntgenaufnahmen ermittelten absoluten Werte für die Knochenlängen war festzustellen, dass sie sich in der von RANFT (1936) an mazerierten Kälberknochen von Tieren im Alter bis ca. 4 Monaten gemessenen Größenordnung bewegten. Der Autor erhob an Fessel- und Kronbein mehrere Längen, zum einen jeweils die axiale und abaxiale Höhe, zum anderen drei bzw. zwei schräg zur Knochenachse liegende Strecken. Für das Fesselbein maß er Höhen zwischen 3,72 cm und 4 cm und bei den schräg verlaufenden Längen von 4,34 cm bis 5,58 cm. Die Länge des Fesselbeines der eigenen Untersuchung lag mit 4,27 cm zwischen diesen Strecken, wobei keine der von RANFT (1936) gemessenen Längen in ihren Messpunkten der eigenen entsprach. Beim Kronbein verhielt es sich entsprechend. In der eigenen Untersuchung wurde eine Länge von 3,06 cm, bei obigem Autor von 2,25 cm bis 2,6 cm für die Höhen und 3,12 cm bis 3,4 cm für die Schrägen ermittelt

Die in der eigenen Untersuchung am Klauenbein ermittelte Sohlenlänge von 2,86 cm war dagegen deutlich kürzer als die von RANFT (1936) gemessenen abaxiale bzw. axiale Länge der Sohle von 3,51 cm bis 4,04 cm. Dies ist jedoch verständlich, da in der eigenen Untersuchung das Ende der Kortikalis den palmaren bzw. planteren Endpunkt darstellte, obiger Autor jedoch bis zum entsprechenden Knochenrand maß. Die der eigenen Dorsallänge, 3,7 cm, entsprechende Messung der Strecke zwischen der Klauenbeinspitze und dem höchsten Punkt des Processus extensorius lag mit Werten von 3,2 cm geringfügig niedriger, was sich mit der radiologischen Vergrößerung, aber auch mit Altersunterschieden erklären lässt. Die Klauenbeinhöhe war in der eigenen Untersuchung mit 3 cm ebenfalls etwas größer als die bei RANFT (1936) ermittelte abaxiale Höhe mit 2,7 cm. Im Vergleich zu SIMON (1963), welcher ein Verhältnis der Länge des Klauenbeines zur Höhe von 2,10 ermittelte, lag dieses in der eigenen Untersuchung mit einer Dorsallänge von durchschnittlich 37,1 mm und einer Höhe von 30,2 mm deutlich niedriger (67). Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass mit steigendem Alter die Dorsallänge deutlich stärker zunimmt, als die Höhe des Klauenbeines, da RANFT (1936) in seinem Material eine stärkere Zunahme des Knochens in seiner Breite als in seiner Höhe feststellte.

Der Winkel der Klauenbeinspitze war in der eigenen Untersuchung mit $54,7^\circ$ stumpfer als bei RANFT (1936) mit 52° bei den Kälbern (60). Bei den erwachsenen Tieren weist das Klauenbein einen deutlich spitzeren Winkel mit Werten unter 40° auf (27, 60, 67). Ein Zusammenhang mit dem Dorsalwandwinkel konnte in der eigenen Untersuchung nicht zweifelsfrei ermittelt werden. GANTA et al. (1998) stellten eine Korrelation zwischen dem Winkel an der Hornschuhspitze und an der Spitze des Klauenbeines fest, und auch SIMON (1963) stellte eine Abnahme des Klauenbeinwinkels mit der Zunahme der Dorsalwandlänge und damit wahrscheinlich auch einer Verkleinerung des Dorsalwandwinkels fest (27, 67). Da die erwachsenen Tiere einen kleineren Dorsalwandwinkel aufweisen ist dann zu folgern, dass auch der Winkel an der Klauenbeinspitze im Vergleich zu den Kälbern abnimmt. In der eigenen Untersuchung bestand zwar keine Alterskorrelation auftrat, jedoch waren ausschließlich Jungtiere untersucht worden.

5.4.2 Geschlechtsunterschiede

Die Weiten der Gelenkspalten unterschieden sich nicht zwischen den Geschlechtern.

Die männlichen Tiere besaßen, übereinstimmend mit RANFT (1936), die längeren Fessel- und Kronbeine. Auch das distale Ende des Metakarpus bzw. Metatarsus ab der distalen Fuge war bei ihnen länger als bei den weiblichen Tieren. Wohingegen FOCK (1966) in der Länge der Röhreibe zwischen Kühen und Bullen annähernd Übereinstimmung feststellte (25). RANFT (1936) bemerkte bei den männlichen Tieren insgesamt eine gedrungener Form von Fessel- und Kronbein im Vergleich zu den weiblichen Tieren, also ein zugunsten der Knochenbreite verschobenes Längen-Breitenverhältnis. Einen auch am Metakarpus bzw. Metatarsus bestehenden Geschlechtsunterschied in der Breite der Epi- und Diaphysen stellte FOCK (1966) fest (25). Die Breite dieser Knochen wurde in der vorliegenden Arbeit nicht beurteilt, es ist aber mit Berücksichtigung obiger Autoren davon auszugehen, dass diese ebenfalls bei den männlichen Tieren größer ist. Damit weisen sie den stärkeren Knochenbau auf.

Die vergleichende Beurteilung des Klauenbeines ist mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung nicht möglich. Einzig der Klauenbeinwinkel zeigte einen Geschlechtsunterschied, die gemessenen Knochenlängen unterscheiden sich aber nicht zwischen den Geschlechtern. Zudem liegen in der eigenen Untersuchung keine Breitenmaße oder Sohlenflächenmaße vor. RANFT (1936) stellte bei den Knochen der Kälber noch keinen

Geschlechtsunterschied fest. Bei den erwachsenen Tieren zeigten sich die Klauenbeine der männlichen in der Sohlenfläche, bei annähernd gleichen Längen, breiter als bei den weiblichen. Da der Winkel der Klauenbeinspitze der männlichen Tiere ebenfalls größere Werte aufwies, war das Klauenbein der Bullen und Ochsen von seiner Gesamtform eher gleichschenkelig-dreieckig, ähnlich dem der Kälber (60). Der in der eigenen Untersuchung im Vergleich zu den weiblichen Tieren festgestellte, größere Winkel an der Klauenbeinspitze, deutet bereits einen Geschlechtsunterschied im Sinne RANFT's (1936) an.

5.4.3 Gliedmaßenvergleich

Im Lehrbuch der Anatomie von NICKEL et al. (1992) wird angegeben, dass Fessel- und Kronbein an der Hintergliedmaße kürzer sind als an der Vordergliedmaße. Im Gegensatz dazu ermittelte RANFT (1936) an den Hintergliedmaßen für diese beiden Knochen die größere Länge (60). Die eigene Untersuchung ergab ebenfalls, jedoch nur bei den Tieren im Alter über 7 Wochen, dass an den Hintergliedmaßen das Kronbein um 8,6% und das Fesselbein um 5,9% länger als an den Vordergliedmaßen war. Auch ENGEL (1919) stellte fest, dass das Fesselbein meist an der Hintergliedmaße länger und auch schmaler war (22). RANFT (1936) bemerkte zudem, dass der Unterschied im Fesselbein bei den männlichen Tieren geringer war als bei den weiblichen. Beide Knochen waren an der Hintergliedmaße zwar schlanker, bei einer Wägung erreichten die hinteren Knochen dennoch das größere Gewicht (60). Durch den Unterschied zwischen den Altersgruppen der eigenen Untersuchung liegt der Schluss nahe, dass der Längenunterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen erst mit zunehmenden Alter deutlich wird. Ein Geschlechtsunterschied, wie bei RANFT (1936) beschrieben, sollte in der eigenen Untersuchung keine ausgeprägte Rolle spielen, da die Geschlechterverteilung innerhalb der beiden Altersgruppen relativ ausgewogen war.

Die gemessenen Parameter am Klauenbein zeigten keinen Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen. EBEID (1992) bemerkte anhand seiner Untersuchung, dass im Röntgenbild eine Unterscheidung der Klauenbeine der Vorder- und Hintergliedmaße möglich ist, da sich das Klauenbein der Vorderklauen breiter und kürzer darstellt (18). Diese Beurteilung nahm er allerdings anhand der dorsopalmaren bzw. – plantaren Aufnahmeebene vor. Da in der eigenen Untersuchung die Grundfläche des Klauenbeines in ihrer Breite, Länge

und Flächengröße nicht beurteilt worden war, kann dazu keine Aussage gemacht werden. Hinzu kommt, dass durch die geringe Gruppengröße bei den Aufnahmen in abaxio-axialer Aufnahmeebene keine Unterteilung in ausreichend große Altersgruppen möglich war. Es bestand jedoch eine starke positive Korrelation der gemessenen Längenwerte am Klauenbein. Es ist folglich durchaus möglich, dass die Klauenbeine der Vorder- und Hintergliedmaße unterschiedlich stark an Größe zunehmen und damit bei älteren Tieren ein deutlicher Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen auftreten. Aufgrund der eigenen Ergebnisse kann lediglich beigetragen werden, dass eine Unterscheidung anhand der abaxio – axialen Aufnahmeebene in den hier untersuchten Altersstufen nicht möglich war. RANFT (1936) bemerkte bei seinem Material, dass die Größenverhältnisse bei den Kälbern stark schwankten. Die begründete er mit der noch stattfindenden Verknöcherung. Durch das vermehrt auf den Vordergliedmaßen lastende Gewicht verknöcherten die Klauenbeine an den Vordergliedmaßen schneller, was sich auch in der Studie von NÜSSKE (2002) zeigte, der an den Hintergliedmaße die geringere Mineraldichte ermittelte (52, 60). Im Gegensatz zu EBEID (1992) waren bei RANFT (1936) die Klauenbeine der Vordergliedmaße nicht nur breiter, sondern auch länger (18, 60). Die Höhe der Klauenbeine unterschied sich in seinem Material kaum, sie war an den Vorder-gliedmaßen wenig größer. In Bezug auf den Klauenbeinwinkel stimmten seine Ergebnisse mit den eigenen überein, dieser unterschied sich nicht zwischen den Gliedmaßen (60).

5.4.4 Zehenvergleich

Bereits PETERSEN (1921) bemerkte einen Längenunterschied zwischen den Ossa metacarpalia bzw. metatarsalia III und IV. Es war sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmaße der Knochen der lateralen Zehe der längere (57). In der eigenen Untersuchung wurde zwar nicht die Gesamtlänge dieser beiden Anteile des Röhrbeines bestimmt, dieser Unterschied zeigte sich hier aber auch in den distalen Knochenenden. Es ist anzunehmen, dass der von obigem Autor bemerkte Unterschied sich v. a. auf das distale Ende bezieht, da die beiden Knochen im Diaphysenbereich fest verbunden sind. Zudem ergab die eigene Untersuchung einen Längenunterschied in den beiden Fesselbeinen sowohl der Vorder- als auch der Hintergliedmaßen, wobei ebenfalls jeweils das laterale der signifikant längere Knochen war. Dies stimmt mit den Ergebnissen von RANFT (1936) überein, der

zudem am Kronbein denselben Unterschied feststellte. In Bezug auf die Knochenbreite, welche nicht Teil der eigenen Untersuchung war, stellte er sowohl am Fesselbein als auch am Kronbein fest, dass das mediale breiter als das laterale war (60).

Im Vergleich zwischen den beiden Altersgruppen nahm der Unterschied zwischen den beiden Metakarpalenden von 2,4% bei den Kälbern unter 7 Wochen auf 2,1% bei den über 7 Wochen alten, und der Unterschied an den Metatarsalenden von 6,5% auf 5,1% geringfügig ab. Der Längenunterschied in Bezug auf die Fesselbeine gestaltete sich variabler, er nahm an den Vordergliedmaßen von 2,7% auf 2,4% wenig ab, an den Hintergliedmaßen von 2,2% auf 3,8% zu. Es ist anzunehmen, dass auch der Unterschied zwischen den Fesselbeinen einer Gliedmaße zunimmt. Dies könnte bedeuten, dass die Längenzunahme an der Hintergliedmaße insbesondere am lateralen Fesselbein erfolgt.

Am Klauenbein fand sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße. Das mediale Klauenbein hatte sowohl an der Vorder- als auch an der Hintergliedmaße die längere Dorsalwand, die längere Sohle und den größeren Winkel an der Klauenbeinspitze. Es war auch höher als das laterale, was durch die längere Dorsalwand in Kombination mit dem größeren Winkel zu erwarten war. Die beiden gemessenen Längen zeigten eine Zunahme mit steigendem Alter, der Winkel hingegen war nicht altersabhängig. Daraus kann geschlossen werden, dass die Höhe mit steigendem Alter noch zunimmt.

Bei den Kälbern im Alter bis zu 4 Monaten bemerkte RANFT (1936) noch keinen Unterschied zwischen den Klauenbeinen der Vorder- und Hintergliedmaßen. Bei den erwachsenen Tieren zeigte sich in seiner Untersuchung bezüglich der Dorsal- und Sohlenlängen zumindest an den Klauenbeinen der Vordergliedmaßen ein der eigenen Untersuchung entsprechendes Ergebnis. An den Hintergliedmaßen lies sich kein Unterschied feststellen. In Bezug auf die hier nicht ermittelte Breite des Klauenbeines stellte der Autor bei den weiblichen Tieren eine deutliche Variation fest, wobei häufiger das mediale Klauenbein v.a. an den Vordergliedmaßen breiter war. Bei den männlichen Tieren zeigte dagegen das laterale der Vordergliedmaßen die größere Breite. Einzig in der Höhe der abaxialen Wand bestand in seinem Material ein eindeutiger Unterschied, die medialen Klauenbeine waren höher als die lateralen, was sich wiederum mit den eigenen Ergebnissen deckt. Der Winkel war dagegen an allen Klauenbeinen gleich. Insgesamt kam er zu der Feststellung, dass lediglich an den Vordergliedmaßen das mediale Klauenbein sicher größer war als das laterale (60). SIMON (1963) ermittelte an Sagittalschnitten durch die Klauen ebenfalls an den medialen Klauen der Vordergliedmaße eine größere Schnittfläche für das Klauenbein als an

der lateralen. Mit den eigenen Ergebnissen, größere Werte für Dorsallänge, Sohlenlänge, Höhe und Winkel, ergibt sich ebenfalls eine größere Fläche. An den Klauen der Hintergliedmaßen fand der obige Autor ein uneinheitliches Bild (67), in der eigenen Untersuchung ergab sich jedoch derselbe Sachverhalt wie an den Vorderklauen, das mediale Klauenbein war anhand der abaxio-axialen Aufnahmen größer als das laterale. Im Gegensatz zu allen bisher erwähnten Autoren stellte SOHRT (1999) keinen Unterschied in der Dorsallänge über dem Klauenbein fest (68).

5.4.5 Höhenunterschied der beiden Zehen im Gelenkbereich

Die Messgenauigkeit für die am Röntgenbild ermittelten Knochenlängen erwies sich als sehr hoch. Die in Bezug auf die Höhenunterschiede bestehenden hohen Standardabweichungen v.a. an den Vordergliedmaßen waren dadurch bedingt, dass z. T. auch Werte mit negativem Vorzeichen, auftraten. In diesem Fall sagen die Standardabweichungen also nichts über die Genauigkeit der Messungen aus.

Die Höhenunterschiede traten unabhängig vom Geschlecht der Tiere auf. Dabei bestand ein Unterschied zwischen den beiden Zehen im Klauengelenk bei 90,1% der Tiere. In dieser Altersgruppe, Tiere im Alter unter 6 Monaten, zeigte er keinen Zusammenhang mit dem Alter der Tiere.

Der ermittelte Höhenunterschied war im Fesselgelenk mit 1,22 mm am geringsten, jedoch summierte er sich zu dem gemessenen Höhenunterschied im Krongelenk hinzu. Entsprechend verhielt es sich bezüglich des Höhenunterschiedes im Klauengelenk. Deshalb wurden zusätzlich die Zunahmen bis zum Kron- und des weiteren bis zum Klauengelenk berechnet. Da die Breite der Gelenkspalten von Fessel- und Krongelenk nicht mit den Höhenunterschieden korrelierten und, mit Ausnahme des Fesselgelenkes der Hintergliedmaße bei den Kälbern im Alter über 7 Wochen, welches medial breiter war als lateral, keinen Unterschied zwischen der lateralen und medialen Zehe aufwies, muss der Höhenunterschied durch die signifikant unterschiedlichen Knochenlängen verursacht worden sein. Die Knochenlängen zeigten eine Korrelation zu den Höhenunterschieden im Gelenkbereich.

Die stärkste Zunahme im Höhenunterschied zwischen den beiden Zehen trat an der Vordergliedmaße im Bereich Fesselgelenk und Fesselbein auf (Abb. 51, Kap. 4.4.2). Da sich die Breiten der Fesselgelenke der lateralen und medialen Zehe nicht unterschieden, wurde

dieser Unterschied durch die Längendifferenz zwischen den Fesselbeinen der beiden Zehen verursacht. An den Hintergliedmaßen dagegen bestand der größte Anteil des Unterschiedes aus der Längendifferenz zwischen den Metatarsuskondylen der beiden Zehen (Abb. 51, Kap. 4.4.2). In den beiden Altersgruppen zeigte sich dasselbe Bild.

Auffällig war lediglich, dass bei den Tieren unter 7 Wochen die Breite des Krongelenkspaltes und die Kronbeinlänge zum Gesamthöhenunterschied im Klauengelenk sowohl der Vorder- als auch der Hintergliedmaßen beitrugen. Bei den älteren Tieren war dies jedoch nur noch an den Hintergliedmaßen, dort aber in stärkerem Maße der Fall. Es liegt der Verdacht nahe, dass bei den älteren Tieren auch ein zunehmender Unterschied in den Kronbeinlängen der beiden Zehen auftritt, was sich beim Vergleich der gemessenen Längen jedoch nicht bestätigte.

Was zudem auffiel war, dass die absolute Zunahme im Bereich um das Fesselbein an Hinter- und Vordergliedmaßen gleich war. Der Unterschied zwischen den Fesselbeinen der lateralen und medialen Zehen sollte also jeweils an Hinter- und Vordergliedmaßen gleich sein.

Zusammenhang/Verbindung zu anderen Parametern

Betrachtete man die weiteren Ergebnisse dieser Arbeit, stellte sich die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen dem Bestehen dieses Höhenunterschiedes der beiden Zehenknochen einer Gliedmaße und dem unterschiedlichen **Verlauf des Saumes** der beiden Zehen bestand. Zudem, da diese beiden Punkte gleichgerichtet auftraten, d.h. der Saum der lateralen Zehe weiter distal verlief, und auch die lateralen Zehenknochen die längeren waren.

Der unterschiedliche Verlauf des Saumes wurde jedoch bei wesentlich weniger Tieren beobachtet, 19%, als ein Höhenunterschied in den Knochen gemessen wurde, 90%. Auch war der Unterschied im Saum an den Hintergliedmaßen nicht, entsprechend des Höhenunterschiedes zwischen den beiden Zehen im Gelenkbereich, deutlicher ausgeprägt. Zudem trat in Bezug auf den Saum ein Geschlechtsunterschied auf. Statistisch bestand lediglich eine schwache positive Korrelation ($r=0.22$, Korrelation nach Spearman) zwischen diesen beiden Punkten.

Eine sichere Aussage über einen Zusammenhang dieser beiden Beobachtungen kann aber mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie nicht gemacht werden, da der „Saumunterschied“ lediglich adspektorisch bei 66 Tieren ermittelt wurde. Es besteht die Möglichkeit, dass sich bei einer akuraten Messung ein klarer Zusammenhang herstellen lässt. In dieser Untersuchung

korrelierte der Unterschied im Saum nicht mit dem Alter der Tiere, es ist jedoch nicht auszuschließen dass sich dies mit dem Erwachsenwerden der Tiere ändert. Da der Saumunterschied auch bei adulten Tieren zu beobachten ist (54), bleibt zu prüfen, ob eine Zunahme der Häufigkeit seines Auftretens und seiner Größe besteht und in der Folge bei erwachsenen Tieren ein Zusammenhang zum Längenunterschied der Zehenknochen auftritt.

Ähnlich verhielt es sich mit dem **Ossifikationskern des distalen Sesambeines**. Dieser war an 19% der Gliedmaßen an der lateralen und medialen Zehe unterschiedlich groß, wobei mit der Ausnahme von 3 Gliedmaßen immer derjenige der lateralen Zehe der größere war. Dies lässt auf eine bessere Durchblutung und stärkere Belastung der lateralen Zehe schließen. Eine Korrelation zum Höhenunterschied im Bereich des Klauengelenkes bestand jedoch nicht. Der Ossifikationskern wurde aber lediglich adspektorisch beurteilt. Es besteht die Möglichkeit dass bei einer objektiven Messung bei wesentlich mehr Gliedmaßen ein Unterschied festgestellt wird und dann auch ein Zusammenhang zur Längendifferenz der beiden Zehen nachgewiesen werden kann.

Wird der Höhenunterschied im Klauengelenk ausgeglichen?

Weiterhin stellt sich die Frage, da lediglich bei 18% der Gliedmaßen ein adspektorischer Unterschied in der Sohlenfläche zwischen den beiden Klauen einer Gliedmaße bestand, ob der Längenunterschied der Knochen, der bis zum Klauengelenk auftritt, durch andere Parameter wieder ausgeglichen wird. Näher betrachtet wurden lediglich die 90,1% der Tiere der Hauptuntersuchung, bei denen die laterale Zehe sich bis zum Klauengelenk länger darstellte. Bei den Fällen, in denen die mediale Zehe weiter nach distal reichte (2% der Tiere) und auch bei 7,9% bei denen kein Höhenunterschied im Klauengelenk auftrat, verhielten sich die im Folgenden in Betracht gezogenen Parameter nicht abweichend von den Fällen, in denen die laterale Zehe länger war. Auch in diesen Fällen waren die Parameter medial größer als lateral und verstärkten bzw. schufen einen Höhenunterschied.

Es besteht die Möglichkeit, dass der Ausgleich des Längenunterschiedes durch das **Klauenbein** erfolgt. Vom statischen Gesichtspunkt müsste dies durch die Höhe des Klauenbeines erfolgen. Wie oben angeführt, stellten mehrere Autoren fest, dass das mediale Klauenbein größer bzw. höher ist (60, 67). Auch in der eigenen Untersuchung war das

mediale Klauenbein höher als das laterale. Der Unterschied war aber geringer als der bestehende Höhenunterschied im Gelenkbereich. Ein Problem im direkten Vergleich ergibt sich hier aufgrund der Tatsache, dass keine absoluten Werte gemessen wurden, bzw. dass in Bezug auf das Klauenbein wahrscheinlich ein geringerer radiologischer Vergrößerungsfaktor besteht als bei den weiter proximal ermittelten Längen. In Abb. 52 wurden diese beiden Parameter in Bezug zum Höhenunterschied im Klauengelenk grafisch dargestellt, ebenso wie die aus den Differenzen und dem Höhenunterschied gebildeten Summen. Die Klauenbeinhöhe und bei den älteren Tieren die Dorsallänge des Klauenbeines scheinen zwar einen großen Teil des Höhenunterschiedes auszugleichen, schaffen dies aber nicht vollständig, selbst wenn man annimmt, dass der Höhenunterschied stärker vergrößert dargestellt wurde.

Eine weitere Ausgleichsmöglichkeit besteht in den **Maßen des Hornschuhes**. Ein bei allen Tieren auftretender signifikanter Unterschied, bei dem als Ausgleich für den Höhenunterschied im Klauengelenk der mediale Wert größer war, bestand nur in Bezug auf die Dorsalwandlänge. Eine statistisch nachweisbare Korrelation zum Auftreten oder der Größe des Höhenunterschiedes bestand hier aber ebenfalls nicht. In der grafischen Darstellung (Abb. 52) sieht man auch, dass die Dorsalwandlänge bei den Tieren unter 7 Wochen kaum einen Einfluss hat. Auch in der zweiten Altersgruppe, über 7 Wochen, reicht der Unterschied in den Dorsalwandlängen für einen Ausgleich nicht aus.

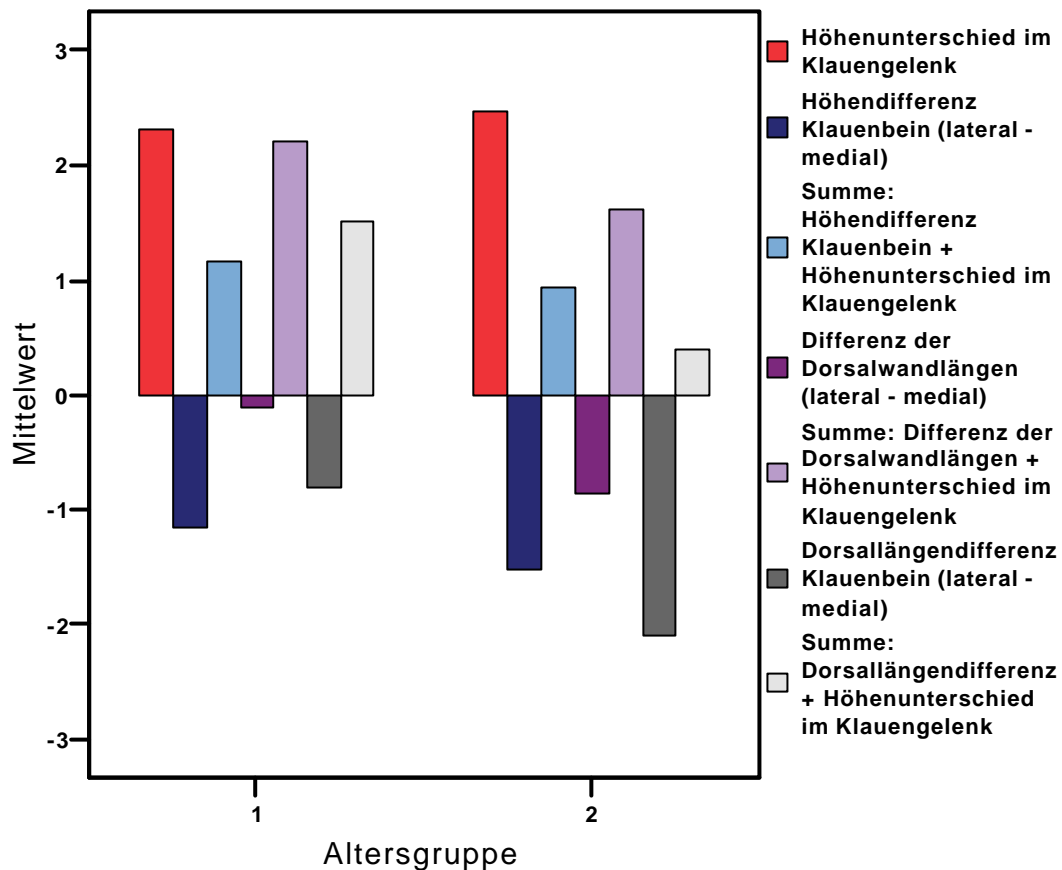


Abb. 52: Darstellung der Mittelwerte (in mm) für den Höhenunterschied im Klauengelenk, laterale Zehe länger (90,1% der Fälle), im Vergleich zu den Differenzen (in mm) der Klauenbeinhöhe, der Dorsalwandlänge des Hornschuhs und der Dorsallänge des Klauenbeines für die Altersgruppen unter 7 Wochen (1) und über 7 Wochen (2)

Die unterschiedliche Dorsalwandlänge kann selbstverständlich nicht der einzige Ausdruck eines Ausgleichs des im Klauengelenk bestehenden Höhenunterschiedes der beiden Zehen sein. Zu erwarten ist ein entsprechender Ausgleich an weiter palmar bzw. plantar gelegener Stelle, also auch der Ballenhöhe. Diese wies jedoch keinen Unterschied auf.

Der einzige Parameter, welcher am Hornschuh noch in Frage kommt ist die Sohlenstärke. Um den Unterschied vollständig auszugleichen, muss die Lederhaut und/oder der Hornschuh der medialen Klaue dicker sein. PAULUS (2004) bemerkte bei allen Tieren seiner Untersuchung, bei gleichem Sohlenniveau beider Klauen der Hintergliedmaßen, an den lateralen eine signifikant geringere Sohlenstärke des Hornschuhs (54). Dasselbe Bild zeigte sich auch in Studien, welche die Klauensohlendicke am histologischen Schnitt bestimmten (7, 12). In

diesen wurde zudem die Dicke sowohl der Lederhaut, als auch des Hornschuhs bestimmt. Dabei bestand in Bezug auf die Lederhaut kein deutlicher Unterschied zwischen der lateralen und medialen Klaue (7, 12). Zudem kam PAULUS (2004) unter der Voraussetzung, dass beide Klauen dieselbe Sohlenstärke, aber nicht dasselbe Sohlenniveau, aufwiesen, zum Ergebnis, dass kein Unterschied in der Dorsalwandlänge zwischen den beiden Klauen bestand (54). Auch RÄBER (2000) fand keine signifikanten Unterschiede in der Schichtdicke von Korium und Subkutis an der Klauensohle (59).

Als Ausgleichsmechanismus kommt außerdem noch die **Gliedmaßenstellung** in Frage. In dieser Untersuchung wiesen die meisten Tiere eine regelmäßige Stellung auf, jedoch reichen leichte Abweichungen von der Geraden aus, um die im Millimeterbereich liegenden Längenunterschiede auszugleichen. Besteht ein Ausgleich durch die Gliedmaßenstellung, sollten die Knochen keine einer unterschiedlichen Belastung folgenden morphologischen Veränderungen, wie der Knochendichte, aufweisen. Besteht hingegen ein Unterschied im Skelettsystem, müssen die Knochen der beiden Zehen aufgrund der unterschiedlich stark auf sie einwirkenden Last Veränderungen in ihrem Aufbau und ihrer Struktur erfahren. Eine Studie in diese Richtung führte NÜSSKE (2002) an 49 Kälber ab 4 Tagen post partum durch. Er ermittelte an den medialen Kron- und Klauenbeinen der Hintergliedmaßen eine signifikant geringere Mineraldichte. An den Vordergliedmaßen war sie medial nicht signifikant größer als an der Partnerklaue. Er schloss aus der stärkeren Mineralisation auf eine größere Lastaufnahme hinten außen und vorne innen (51). Jedoch fehlte diesbezüglich an den Vordergliedmaßen die Signifikanz.

Als ein zusätzliches Kriterium kann angesehen werden, dass der Höhenunterschied im Klauengelenk an den Hintergliedmaßen wesentlich größer ist als an den Vordergliedmaßen. Weshalb die diesen Unterschied ausgleichenden Parameter ebenfalls an den Hintergliedmaßen einen wesentlich größeren Unterschied aufweisen müssten, als an den Vordergliedmaßen. Einzig bei der Höhe des Klauenbeines ist dies der Fall, wobei der Unterschied zwischen Vorder- und Hintergliedmaßen nicht in derselben Größenordnung liegt wie in Bezug auf den Höhenunterschied. Auch hier bleibt die Sohlenstärke als mögliche Größe, die diesen Unterschied ausgleicht.

Schlussfolgerung:

Der Längenunterschied, welcher bei 90% der Tiere in dieser Untersuchung bestand und sich nur bei 18% auch im Sohlenniveau zeigte, wurde bei den meisten Tieren dieser Altersgruppe wahrscheinlich durch mehrere Parameter ausgeglichen. Einen relativ hohen Anteil hatte das medial größere, v.a. höhere Klauenbein, einen wesentlich geringeren die medial längere Dorsalwand des Hornschuhs. Es wird vermutet, dass den Hauptanteil aber die an der medialen Klaue stärkere Hornplatte an der Sohle ausmacht.

Zieht man das Auftreten und die Pathogenese mancher Klauenerkrankungen in Betracht, erscheint es wahrscheinlicher, dass der Längenunterschied zumindest an den Hintergliedmaßen nicht komplett ausgeglichen wird. Klauenerkrankungen, welche unter anderem durch Überlastung einzelner Klauen verursacht werden, wie das Rusterholzsche Sohlengeschwür oder Sohlenwandgeschwüre, treten überdurchschnittlich oft an den hinteren Außenklauen auf (2, 6, 10, 14, 38, 39, 45, 69). Dies wird damit begründet, dass die auf die Klauen einwirkende Kraft nicht gleichmäßig auf beide Klauen der Hintergliedmaßen verteilt wird, insbesondere auf hartem Boden und in der Bewegung (53, 62, 69). Die laterale Klaue trägt dabei das meiste Gewicht (53, 69), wobei das Verhältnis bei jüngeren Tieren noch ausgewogener ist (53). SCOTT (1988) bemerkte bei Kälbern im Alter von ca. drei bis sechs Monaten ebenfalls eine stärkere Belastung der hinteren Außenklauen während der Bewegung (66). Durch den Belastungsunterschied soll über eine stärkere Durchblutung bzw. auch durch eine Irritation des Koriums die Hornproduktion gesteigert werden und damit der Größenunterschied zwischen den Klauen hervorgerufen bzw. vergrößert (39, 62). Auch durch übermäßiges Hornwachstum bedingte pathologische Klauenformen werden vermehrt an diesen Klauen beobachtet (14). Bereits bei Kälbern wurde das gehäufte Auftreten an bestimmten Klauen in Bezug auf regressive Veränderungen, chronische Blutungen und Dyskeratosen, beobachtet. Bei diesen waren jedoch stets die lateralen Klauen stärker betroffen, unabhängig ob Vorder- oder Hintergliedmaßen (12).

Da sich der Höhenunterschied im Klauengelenk an den Hintergliedmaßen wesentlich stärker darstellt, er war im Fesselgelenk um 86%, im Krongelenk um 76% und im Klauengelenk um 81% größer, liegt es nahe, die vermehrte Belastung zum Teil, wenn nicht gar vollständig, auf diesen zurückzuführen. Ausgehend von dieser Theorie müssten an den Vordergliedmaßen ebenfalls die lateralen Klauen vermehrt belastet werden und damit häufiger erkranken als die medialen. Bei Kälbern scheint dies auch der Fall zu sein (12). In den Untersuchungen an älteren Tieren wurde jedoch an den Vordergliedmaßen eine Bevorzugung der medialen Klaue

festgestellt (6, 14, 38, 39). Es kann nur vermutet werden, dass der geringere Höhenunterschied an den Vordergliedmaßen kompensiert werden kann und die Häufung an den medialen Klauen durch andere Faktoren bedingt wird. Betrachtet man die Belastungsverteilung an den Vordergliedmaßen, so zeigte sich diese bei Kälbern ausgewogen (66). Bei Erstlaktierenden erhoben DISTL et al. (1990) an den medialen Klauen der Vordergliedmaßen eine höhere Belastung als an den lateralen, bei Zweitlaktierenden wurden aber die lateralen stärker belastet (15).

Eine andere Erklärung liefert SAGUES (2002). Er erklärte die stärkere Belastung der Außenklaue der Hintergliedmaßen als Folge der Entlastungswechsel des Tieres im Stand. An den Hintergliedmaßen erweisen sich die medialen Klauen wegen der starken Konkavität ihrer Sohlenfläche als relativ instabil, was auf hartem Boden zum tragen kommt. Durch die Gewichtsverlagerung in der Hüfte konzentriert sich die Belastung v.a. auf die lateralen Klauen, die medialen hingegen werden wenig beeinflusst. An den Vordergliedmaßen stellen sich dagegen die Sohlenflächen beider Klauen und damit die Belastungsverhältnisse ausgeglichener dar (62).

5.6 Vergleich der Messungen bei Tieren ohne und mit Gliedmaßenproblemen

5.6.1 Messergebnisse am Klauenschuh

Die Parameter Dorsalwandlänge, Sohlenlänge und –breite wiesen aufgrund einer mittleren bis starken Korrelation eine Zunahme mit steigendem Alter auf. Dagegen zeigten die Ballenlänge und Ballenhöhe eine schwache, der Dorsalwandwinkel nur eine sehr schwache negative Korrelation zum Alter der Tiere. Signifikante Unterschiede in den Parametern, die bei Tieren mit einer Lahmheit im Vergleich zu Tieren ohne Lahmheit ermittelt wurden, können deshalb bei deutlichen Abweichungen im Durchschnittsalter dieser beiden Gruppen auftreten. Die Tiere mit Lahmheit wiesen in dieser Untersuchung mit nur 38,1 Tagen ein wesentlich geringeres Durchschnittsalter auf. Die lahmheitsfreien Tiere waren durchschnittlich 75,1 Tage alt. Bei der Auswertung der auf gleiches Durchschnittsalter gewichteten Daten ergaben sich weder bei den Vorder- noch bei den Hintergliedmaßen signifikante Unterschiede bezüglich der Parameter der Tiere mit und ohne Lahmheit. Die durchschnittliche Lahmheitsdauer von

16 Tagen führte als in dieser Untersuchung zu keinen wesentlichen Änderungen der am Hornschuh gemessenen Parameter. Es ist daraus abzuleiten, dass eine kurzfristige Lahmheit keine Formveränderungen der Klauen nach sich zieht.

5.6.2 Messergebnisse am Röntgenbild

Auch die am Röntgenbild erhobenen Daten wurden gewichtet, damit der Alterseinfluss auszuschließen war. Es bestand kein signifikanter Unterschied in der Länge der Knochen, der Breite der Gelenkspalten und in der Größe des Höhenunterschiedes zwischen der lateralen und medialen Zehe im Gelenkbereich zwischen den lahmen und nicht lahmen Tieren. An den seitlichen Aufnahmen zeigten die lahmen Tiere allerdings den größeren Winkel des Klauenbeines. Während bei den lahmheitsfreien Tieren das Geschlechterverhältnis relativ ausgewogen war, waren von den Tieren mit einer Lahmheit, von denen Aufnahmen im abaxio-axialem Strahlengang angefertigt worden waren, 10 von 14 Kälbern männlich. Die männlichen Tiere zeigten sowohl bei nicht lahmen, als auch bei den lahmen Tieren den größeren Klauenbeinwinkel. Diese Tatsache kann auch den größeren Winkel bei den lahmen Tieren erklären.

6 Zusammenfassung

Die Untersuchungen der vorliegenden Studie erfolgten an den Klauen und Zehenknochen von 77 Deutschen Fleckviehkälbern im Alter unter 6 Monaten. Am Hornschuh von 40 gliedmassengesunden Kälbern wurden an allen Klauen die Dorsalwandlänge, die Ballenhöhe, die Ballenlänge, der Dorsalwandwinkel, die Sohlenlänge, -breite und -fläche ermittelt. Bei 38 dieser Tiere wurde zudem die Winkelung des Ballens gemessen. Als Vergleichsgruppe dienten 37 Kälber mit Erkrankung einer oder mehreren Gliedmassen; bei ihnen wurden die entsprechenden Masse erhoben.

Bei Kälbern im Alter von einer Woche bis sechs Monaten bestand ein Geschlechtsunterschied in Bezug auf den Dorsalwandwinkel, die Ballenhöhe und die Ballenlänge. Die Sohlenwerte zeigten keinen Geschlechtsunterschied, jedoch wurden diese bei den jungen Kälbern noch durch das Eponychium und durch dessen unterschiedlich starken Abrieb beeinflusst. Es war zu befinden, dass bei den Kälbern der vorliegenden Untersuchung das Eponychium wesentlich länger, nämlich durchschnittlich 18 Tage, als die bisher angegebenen ein bis vier Tage nach der Geburt an der Sohle nachweisbar blieb. Es bestanden keine signifikanten Unterschiede in den Werten der gliedmassengesunden und der lahmen Tiere.

Alle gemessenen Parameter mit Ausnahme der Dorsalwandlänge zeigten einen Unterschied zwischen den Vorder- und Hintergliedmaßen. Die Abmessungen des Hornschuhes an den Vordergliedmaßen waren bei den Kälbern meist größer als an den Hintergliedmaßen. Die Winkel der Dorsalwand und des Ballens erreichten an den Hintergliedmaßen jedoch größere Werte, womit die Dorsalwand steiler stand, der Ballen jedoch flacher verlief. Dieser Unterschied nahm mit steigendem Alter der Tiere zu. Signifikante Unterschiede zwischen der lateralen und medialen Klaue einer Gliedmaße ergaben sich bei der Dorsalwandlänge, der Sohlenbreite und der Sohlenfläche. Die Dorsalwand der medialen Klaue war, unabhängig davon ob an der Schulter- oder Beckengliedmaße, signifikant länger als die der lateralen. Die Sohlenbreite und -fläche waren an allen Gliedmaßen lateral signifikant größer. An den Hintergliedmaßen wies die laterale Klaue auch die größere Sohlenlänge auf. Der Unterschied in den Sohlenparametern nahm, mit Ausnahme der Sohlenlänge, mit dem Alter der Kälber zu. Bezüglich der Dorsalwandlänge nahm diese Differenz lediglich an den Vordergliedmaßen zu, an den Hintergliedmaßen blieb sie gleich. Die beiden am Hornschuh berechneten Verhältnisse, Dorsalwandlänge zu Ballenhöhe und Dorsalwandlänge zu Sohlenlänge, wiesen

an den Klauen der Hintergliedmaßen die größeren Werte auf. Allerdings zeigte sowohl an den Vorder- als auch an den Beckengliedmaßen die laterale Klaue verglichen mit der medialen das signifikant kleinere Verhältnis. Erwartungsgemäß nahm der Hornschuh mit zunehmendem Alter der Tiere in der Größe zu. Die beiden berechneten Verhältnisse, Dorsalwandlänge zu Ballenhöhe und Dorsalwandlänge zur Sohlenlänge sowie der Ballenwinkel blieben jedoch gleich. Der Dorsalwandwinkel war bei den jüngeren steiler.

Für die Messungen an den Zehenknochen wurden 152 Röntgenaufnahmen in dorsopalmarer bzw. -plantarer Strahlenrichtung mit der Software Metron PX ausgewertet. Bei acht gestorbenen oder getöteten Tieren wurden zusätzlich lateromediale Aufnahmen der 64 präparierten Einzelzehen angefertigt.

Bei Tieren im Alter von mehr als 7 Wochen waren die Fessel- und die Kronbeine an den Hintergliedmaßen signifikant länger als an den Vordergliedmaßen. An allen Gliedmaßen wies die laterale Zehe die längere Metakarpus- bzw. Metatarsusepiphyse und das längere Fesselbein im Vergleich zur medialen auf. Das Klauenbein der medialen Zehe hatte dagegen die größere Dorsallänge, Sohlenlänge und Höhe. Bei den Zehenknochen nahmen die ermittelten Knochenlängen mit dem Alter der Tiere zu. Der Winkel des Klauenbeines wies hingegen abweichend vom Dorsalwandwinkel des Hornschuhes keinen Unterschied zwischen den beiden Altersgruppen auf. Die Gelenkspalten des Fessel- und Kron gelenkes der älteren Tiere waren enger als die der jüngeren.

Aufgrund der Unterschiede in der Knochenlänge bei gleicher Gelenkspaltenweite trat im Bereich des Klauengelenkes ein deutlicher Niveauunterschied zwischen den beiden Zehen auf. Die laterale Zehe war, unabhängig ob Schulter- oder Beckengliedmaße, länger als die mediale. Dieser Höhenunterschied zeigte keine Altersabhängigkeit. Der Höhenunterschied zwischen den beiden Zehen einer Gliedmaße im Gelenkbereich war bereits im Fesselgelenk deutlich vorhanden. Er nahm an Schulter- und Beckengliedmaßen in unterschiedlichem Maße zu. Den Hauptanteil der Höhendifferenz im Klauengelenk lag an der Beckengliedmaße in den Metatarsusepiphyse der lateralen und medialen Zehe. An den Schultergliedmaßen lag der Hauptunterschied im Bereich des Fesselbeines. Er stellte sich an den Hintergliedmaßen, mit durchschnittlich 2,9 mm Höhenunterschied, wesentlich deutlicher als an den Vordergliedmaßen, mit 1,6 mm Unterschied, dar.

Es konnte in dieser Arbeit nicht vollständig geklärt werden, ob dieser Niveauunterschied zwischen den Zehenknochen, der in der vorliegenden Untersuchung bis zum Klauengelenk gemessen werden konnte, durch den Hornschuh und seine inneren Strukturen wieder kompensiert wird. Die längere Dorsalwand der medialen Klaue und das höhere Klauenbein deuten darauf hin. Jedoch bleibt zu vermuten, dass der Ausgleich zumindest an den Hintergliedmaßen aufgrund des großen Höhenunterschiedes in den Zehengelenken nicht gelingt. Es liegt nahe, zu vermuten, dass die Überlastung der Außenklaue an den Beckengliedmaßen und die Prädisposition für Klauenerkrankungen mit durch diesen anatomischen Längenunterschied verursacht wird.

7 Summary

Measurements at the claws, the condyles of metacarpale and metatarsale bone and the phalangeal bones in calves

In this study, the claws and phalanges of the foot of 77 calves of the German Fleckvieh breed younger than 6 months were examined. In the hooves of 40 calves that had no signs of a limb disease, the length of the dorsal wall, bulb height, bulb length, toe angle, sole length, sole width and sole area were determined for all claws. Additionally, the bulb angle was measured in 38 of these animals. In 37 calves that were affected by a lameness, the measures were taken accordingly, and compared to those of the 40 calves.

There was a gender dimorphism concerning toe angle, bulb height and bulb length in calves aged one week up to 6 months. The sole measures showed no difference between male and female calves; but in the young calf they were influenced by the eponychium, and a varying wear rate of the eponychium may also have had an effect. According to the results of this study the eponychium could be seen as a means 18 days after calving. This is considerably longer than than previously reported. There were no significant differences in the measured parameters between the calves that were lame and those that were not.

Altogether, all parameters measured showed a difference between the fore limbs and the pelvic limbs, except for the length of the dorsal wall. The hoof of the fore limbs appeared larger than of the pelvic limbs. Both angles yielded higher values in the pelvic limbs, the dorsal wall being steeper, yet the bulb being flatter. With increasing age of the animals, this difference also grew stronger. We found significant differences between the lateral and the medial claw of a limb regarding length of the dorsal wall, sole width and sole area. Sole width and sole surface area were significantly larger in the lateral claws in all limbs. In the pelvic limbs, the lateral claw had also a greater sole length. The difference of the sole parameters increased with the age of the calves, with the exception of the sole length. Referring to the length of the dorsal wall, this difference increased only in the fore limbs, it remained unchanged in the pelvic limbs. Two calculated proportions, length of the dorsal wall to bulb height, and length of the dorsal wall to sole length, exhibited a higher rate in the pelvic limbs. In addition, the lateral claws showed a significantly lower proportion in the fore limbs as well as in the pelvic limbs in comparison with the medial claws.

As expected, the size of the hoof increased with the age of the animals. Yet the calculated ratios of the length of the dorsal wall to bulb height, and the length of the dorsal wall to sole

length as well as the bulb angle remained unchanged. The angle of the dorsal wall was steeper in the younger population.

For the measurement of the phalanges of the foot, 152 radiographs with dorsopalmar and dorsoplantar view, respectively, were evaluated with software Metron PX. Additionally, interdigital views of 64 digit specimens were made in 8 of the animals that died or were euthanased. In animals older than 7 weeks, the proximal and middle phalanges of the pelvic limbs were significantly longer than of the fore limbs. In all limbs, the lateral digit exhibited a longer condyle of metacarpale and metatarsal bone, respectively, and a longer proximal phalanx in comparison to the medial digit. On the other hand, the distal phalanx of the medial claw showed a greater dorsal length, sole length and height. Also, in the phalanges of the foot, the measured bone lengths increased with the age of the animals. However, the apical angle of the distal phalanx did not exhibit a difference between both age groups, differing from the toe angle. The joint gaps of the fetlock joint and the pastern joint of the older animals were tighter.

Due to the bone length differences with constant width of joint gap, a distinct difference of levels between both digits appeared. The lateral digit was longer, unconcerned whether fore or pelvic limb. This height difference did not show any age dependency. The height difference between both phalanges of a limb in the joint area was strongly pronounced already in the fetlock joint. It increased to a different degree in the fore and pelvic limbs. The main part of the height difference in the pelvic limbs occurring in the coffin joint was due to a length difference in the condyles of metatarsal bones of the lateral and medial phalanges. Concerning the fore limbs, the main difference was found in the region of the proximal phalanx. The difference in height was greater in the pelvic limbs with an average of 2.9 mm than in the fore limbs with an average of 1.6 mm.

It could not be totally clarified in this study whether this difference in the level of the joints and the length of the phalanges between the medial and lateral digit was compensated by the hoof and its inner structures, as indicated by the longer dorsal wall of the medial claws. Yet at least, this was presumably not the case in the pelvic limbs in which the difference was almost 3 mm. It is hypothesized that overload of the lateral claw in the pelvic limbs of cattle is also caused by this anatomic difference in length.

8 Literaturverzeichnis

1. Ahlström G, Ral G, Berglund B, Swensson C. Hoof and leg traits of swedish dairy cattle. *J. Vet. Med. A* 1986; 33: 561-587.
2. Andersson L, Lundström K. The influence of breed, age, body weight and season on digital diseases and hoof size in dairy cows. *Zbl. Vet. Med* 1981; 28(A): 141-51.
3. Bach P. Klauenbeschlag und Klauenpflege. Inaugural-Dissertation. Hannover: Tierärztliche Hochschule 1950.
4. Bargai U, Pharr JW, Morgan JP. *Bovine radiology*. Iowa: Iowa State University Press 1989.
5. Baumgartner CF. Untersuchungen über Klauenmasse als Hilfsmerkmal für die Selektion auf Klauengesundheit an Töchtergruppen von Deutschen Fleckviehbullen. Inaugural - Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität 1988.
6. Berger G. Art und Verteilung von Klauenerkrankungen auf die einzelnen Zehen bei Kühen in einstreuloser Laufstallhaltung. *Monatsh Vet Med* 1988; 43(Heft 23): 821-825.
7. Brentano G, Dämmrich K, Unshelm J. Untersuchungen über Gelenk- und Klauenveränderungen bei auf Lattenrost und auf Stroheinstreu gehaltenen Mastkälbern. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 1979; 92(12): 229-233.
8. Bruhnke J. Vergleichende Studie der statisch beanspruchten Lederhautteile des Pferdehufes und der Rinderklaue. *Arch. f. Tierheilk.* 1928: 324-334.
9. Burt JK, Myers V, Hillmann D, Getty R. The radiographic locations of epiphyseal lines in bovine limbs. *J. Am. Vet. Med. Ass* 1968; 152: 168-174.
10. Collick DW. Pododermatitis circumscripta (Sole Ulcer); White Line Disease at the Heel. In: Greenough PR, ed. *Lameness in Cattle*. 3 ed. Philadelphia: W.B. Saunders 1997; 101-107.
11. Cripps PJ, Eustace RA. Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. *Equ. Vet. J* 1999: 427-432.
12. Dämmrich K, Unshelm J, Andreae U, Bader R. Untersuchungen über Klauenveränderungen bei in Einzeltier- und Gruppenhaltung aufgezogenen Mastkälbern. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 1982; 95: 21-26.
13. Dietz O, Heyden H. Zur Entstehung der Sohlenlederhautquetschung beim Rind. *Monatsh. Vet. Med.* 1990; 45: 14-17.
14. Dirksen G. Krankheiten im Bereich der Zehen. In: Dirksen G, Gründer H-G, Stöber M, eds. *Innere Medizin und Chirurgie des Rindes*. 4 ed. Berlin: Parey 2002; 912-978.
15. Distl O, Kräusslich H, Mair A, Spielmann C, Diebschlag W. Computergestützte Analyse von Druckverteilungsmessungen an Rinderklauen. *Dt Tierärztl Wschr* 1990; 97(11): 474-79.
16. Distl O, Schmid D. Einfluß einer Zufütterung von Biotin auf die Klauenform, -härte und -gesundheit bei Milchkühen. *Tierarzt Umsch* 1994; 49: 581-8.

17. Douglas SW, Herrtage ME, Williamson HD. Principles of veterinary radiography. 4th ed: Bailliere Tindall 1987.
18. Ebeid M. Radiographic appearance of the healthy and diseased claws in Swiss Braunvieh Cattle. Inaugural-Dissertation. Zürich: Universität Zürich 1992.
19. Ebeid M, Steiner A. Guidelines for taking and interpreting radiographs of the bovine foot. *Vet Med* 1996; 268-272.
20. Ebeid M, Steiner A. Recognizing the radiographic features of some common bovine foot problems. *Vet Med* 1996; 274-277.
21. Ellenberger, Baum. Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18 ed. Berlin: Springer-Verlag 1943.
22. Engel E. Vergleichend-anatomische Untersuchung über die Zehenknochen von Pferd, Rind, Ziege und Schaf. Inaugural-Dissertation. Dresden: Universität Leipzig 1919.
23. Fessl L. Biometrische Untersuchungen der Bodenfläche der Rinderklauen und die Belastungen auf die Extremitätenpaare. *Zbl. Vet. Med. A* 1969; 15: 844-60.
24. Fessl L. Die Normalklaue des Österreichischen Fleckviehrindes. Habilitationsschrift. Wien: Veterinärmedizinische Universität 1980.
25. Fock J. Metrische Untersuchungen an Metapodien einiger europäischer Rinderrassen. Dissertation. München 1966.
26. Fürst A. Makroskopische und mikroskopische Anatomie der Rinderklaue. Inaugural-Dissertation. Zürich: Universität Zürich 1992.
27. Ganta C, Pentea M, Bolte S, Jivcoc S. The morphopathological aspects of the claw and the distal phalanx in the chronic diffuse pododermatitis. In: 10th International Symposium on Lameness in Ruminants 1998; Lucerne; 171-172.
28. Greenough PR. Observations on bovine laminitis. *In Practice* 1990; 169-3.
29. Günther M, Panndorf H, Schleiter H. Zum Problem der orthopädischen Überwachung der Besamungsbullen. *Monatsh Vet Med* 1970; (25): 418-427.
30. Habacher F. Der Huf- und Klauenbeschlag. 8 ed. Wien: Urban und Schwarzenberg 1948.
31. Hahn MV, McDaniel BT, Wilk JC. Description and Evaluation of Objective Hoof Measurements of Dairy Cattle. *J Dairy Sci* 1984; 67: 229-236.
32. Huber M. Untersuchungen über Klauenparameter an Jungbullen in den Bayerischen Eigenleistungsprüfanstalten. Inaugural-Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität 1983.
33. Kasari TR. The principles of trimming the bovine hoof. *Vet Med* 1991; 12: 1218-26.
34. Kofler J, Kübber P, Henninger W. Ultrasonographic imaging and thickness measurement of the sole horn and the underlying soft tissue layer in bovine claws. *Vet J* 1998; 1-12.
35. Landerer R, Lischer C, Geyer H, Wehrle M, Hofstetter H. Hoof shape and horn growth/wear in relation to foot lesions in Brown Swiss cattle on alpine pasture. In: 10th International Symposium on Lameness in Ruminants 1998; Lucerne; S. 53-55.

36. Leuenberger W, Dozzi W, Martig J. Meßfehler verschiedener Methoden zur Bestimmung der Klauenbelastung und der Klauenform beim Rind. *Zbl Vet Med A* 1978; 25: 837-44.
37. Lindsay FEF, Boyd JS, Hogg DA. Time of appearance of the distal sesamoidean loci of ossification of the calf. *Res. vet. Sci.* 1973; 15: 292-298.
38. Lischer C. Sohlengeschwüre beim Rind, Pathogenese und Heilungsverlauf. Habilitationsschrift. Zürich: Universität Zürich 2000.
39. Lischer C, Geyer H, Ossent P, Friedli K, Näf I, Pijl R. Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind. 2 ed. Berlin: Verlag Paul Parey 2000.
40. Lischer CJ, Ossent P, Räber M, Geyer H. The Significance of the suspensory mechanism of the third phalanx and its fat bodies in the pathogenesis of sole ulcers in cattle. Part I: macroscopic findings. In: C.M. Mortellaro LDV, A. Brizzi, ed. XI International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit and III International Conference on Bovine Lameness 2000; Parma; 222-225.
41. Lissner J. Radiologie 1. 3 ed. Stuttgart: Enke Verlag 1986.
42. Maclean CW. A post-mortem x-ray study of laminitis in barley beef animals. *Vet Rec* 1970; 86: 457-62.
43. Maierl H, Tiefenthaler I. The third phalanx in cattle: anatomical and radiological investigations on the postnatal development. In: 10th International Symposium on Lameness in Ruminants 1998; Lucerne; 200-201.
44. Martig J, Leuenberger W, Tschudi P, Dozzi M. Untersuchungen über die Ursachen des spezifisch traumatischen Sohlengeschwürs der Kuh. *Zentralbl Vetmed* 1983; 30(A): 214-222.
45. Martig J, Leuenberger WP, Dozzi M. Häufigkeit und Art von Klauenläsionen in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 1979; (121): 577-591.
46. Meyer K, Galbraith H. Claw dimensions and rates of hoof growth and wear in Holstein dairy cows before and after turnout to pasture from concrete cubicles and straw yards. In: 10th International Symposium on Lameness in Ruminants 1998; Lucerne; 49-50.
47. Müller H-W, Spindler G, Schleiter H. Messungen an Klauen von auf Vollspaltenboden gehaltenen Mastkälbern. *Monatsh Vet Med* 1976; 31: 693.
48. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd.3 Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. 2 ed. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey 1984.
49. Nickel R, Schummer A, Seiferle E. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. 1 Bewegungsapparat. 6 ed. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey 1992.
50. Nuss K. Stadienorientierte Sequenztherapie der septischen und paraseptischen Monarthritis beim Rind. Habilitationsschrift. München: Ludwig-Maximilians-Universität 2000.

51. Nüsske S. Development of the horny shoe in new born calves (Poster). In: 12th International Symposium on Lameness in Ruminants 2002 9.1. - 13.1.2002; Orlando, Florida; 237.
52. Nüsske S. Studies on the growth of the claws in new born calves using Dual Energy X-Ray Absorptiometry (DEXA). In: 12th International Symposium on Lameness in Ruminants 2002 9.1. - 13-1. 2002; Orlando, Florida; 199-201.
53. Ossent PP, D.J.; Schamhardt H.C. Distribution of load between the lateral and medial hoof of the bovine hind limb. *J. Vet. Med. A* 1987; 34(A): 296-300.
54. Paulus N. Ermittlung von Hornschuh- und Lederhautabmessungen an den Klauen der Beckengliedmaßen von Fleckviehrindern. Inaugural - Dissertation. Zürich: Universität Zürich 2004.
55. Paulus N, Nuss K. Claw measures at defined sole thickness. In: 12th International Symposium on Lameness in Ruminants 2002 9.1. - 13.1 2002; Orlando, Florida; 428-430.
56. Pentea M, Ganta C. The morphology of the claws in the new-born and two months old calves (Poster). In: 10th International Symposium on Lameness in Ruminants 1998; Lucerne; S. 239.
57. Petersen G. Untersuchungen über das Fußskelett des Rindes. *Morphologisches Jahrbuch* 1921; 51: 291-337.
58. Pougin M, Andreae U, Unshelm J, Smidt D. Zur Anpassung von Jungrindern an die Spaltenbodenhaltung unter Berücksichtigung von Verhaltensmerkmalen, Klauenveränderungen und Blutserumenzymen. *Landbauforschung Völkenrode* 1983; 33. Jahrgang(Heft 3): 158-168.
59. Räber M. Das Ballenpolster beim Rind. Ein Beitrag zur funktionellen Anatomie der Klaue. Inaugural-Dissertation. Zürich: Universität Zürich 2000.
60. Ranft WH. Die feineren anatomischen Merkmale der Zehenknochen, speziell der Klauenbeine, des Rindes. *Morphologisches Jahrbuch* 1936; 78: 377-420.
61. Rusterholz A. Das spezifisch traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes. *Schweiz Arch Tierheilk* 1920; (62): 421-446 und 505-525.
62. Sagues AG. The Biomechanics of Weight Bearing and its Significance with Lameness. In: 12th International Symposium on Lameness in Ruminants 2002 9.1. - 13.1. 2002; Orlando, Florida; 117-121.
63. Schleiter H, Müller H-W, Spindler G. Untersuchungen zur Klauengesundheit bei Kälbern auf Vollspaltenböden. *Monatsh. Vet. med.* 1974; 28: 657-662.
64. Schmid D. Untersuchungen über Klauenmaße und Klauenkrankheiten in der Rinderherde des Lehr- und Versuchsgutes Oberschleißheim. Inaugural-Dissertation. München: Ludwig-Maximilians-Universität 1990.
65. Schultze. Die Altersbestimmung bei Kälbern nach den Merkmalen an den Zähnen, am Zahnfleisch, am Nabel, an den Klauen und an den Hornanlagen. Dissertation. Bern: Universität Bern 1909.
66. Scott G. Studies of the gait of Friesian heifer cattle. *Vet Rec* 1988; 123: 245-8.

67. Simon G. Untersuchungen über altersbedingte Veränderungen der Klauenbeine des Rindes. Inaugural-Dissertation. Zürich: Universität Zürich 1963.
68. Sohr JT. Ermittlung von Standardmaßen für die Klauenpflege durch Untersuchungen über die Beziehung der anatomischen Innenstrukturen zum Hornschuh an Klauen der Hintergliedmaße Deutsch Schwarzbunter Rinder mit Berücksichtigung von Reheveränderungen. Inaugural-Dissertation. Hannover: Tierärztliche Hochschule 1999.
69. Toussaint-Raven E, Haalstra RT, Peterse DJ. Cattle Foot Care and Claw Trimming. Ipswich, UK: Farming Press 1985.
70. Vargas JR. Evaluation des Messprogramms Metron PX zur Darstellung der Position des Hufbeines in der Hufkapsel auf dem Röntgenbild. Inaugural Dissertation: Universität Zürich 2003.
71. Vermunt J, Greenough P. Structural characteristics of the bovine claw: Horn growth and wear, horn hardness and claw conformation. Brit Vet J 1995; 151: 157-80.
72. Weaver AD. Joint Conditions. In: Greenough PR, ed. Lameness in Cattle. Third ed. Philadelphia: W. B. Saunders Company 1997; 162 - 180.
73. Wilkens H. Zur makroskopischen und mikroskopischen Morphologie der Rinderklaue mit einem Vergleich der Architektur von Klauen- und Hufröhrchen. Zbl. Vet. Med. 1964; (A 11): 163-234.
74. Witzmann P. Untersuchung über die Belastung der Extremitätenpaare. Dissertation. München 1969.
75. Wyssman E. Anatomie der Klauenlederhaut. Berlin 1902.

Lebenslauf

Birgit Schwarzmann, geboren am 06.Mai 1973 in Zwiesel

Vater Rudolf Michael Schwarzmann, Hohlglasfeinschleifer

Mutter Maria Schwarzmann, geb. Hirtreiter, Hohlglasfeinschleiferin

1979-1983 Grundschule Frauenau

1983-1992 Gymnasium Zwiesel

1992 Abitur

1992-1999 Studium der Tiermedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität München

1999 3. Staatsexamen

März 1999 Approbation als Tierarzt

März 1999 Beginn der Doktorarbeit an der Chirurgischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

01.12.99 – 30.11.03 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Rinderabteilung der Chirurgischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Danksagungen

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

An erster Stelle Herrn PD Dr. med. vet. Karl Nuss für die Themenstellung und die intensive und unermüdliche Betreuung. Er stand mir stets mit Ratschlägen zur Seite. Dafür möchte ich ihm herzlich danken.

Frau Professor Matis für die Benutzung der Einrichtungen an der Rinderabteilung der Chirurgischen Tierklinik München.

Herrn Professor Köstlin für die Überlassung des Themas und die Unterstützung bei der Einreichung dieser Arbeit.

Den Mitarbeitern der Rinderabteilung, insbesondere den Tierpflegern und den anderen Doktorandinnen, aber auch den PraktikantInnen, welche mir jederzeit hilfsbereit zur Seite standen.

Herrn Dr. Schrott, Landesuntersuchungsamt Oberschleißheim, für die Bereitstellung des Materials für die Voruntersuchung.

Allen meinen Freunden für Ihre Unterstützung, insbesondere Dr. Klaus Schuller, für die Mithilfe bei der Sohlenflächenmessung und für seine Diskussionsbereitschaft; Dr. Ümit Bapisch, meiner Schwester Beate und meiner Nichte Alicia für die Hilfe beim Korrekturlesen. Nicht zuletzt möchte ich Rene Wagner danken, ohne dessen technische Ausstattung und dessen Mithilfe bei Computerproblemen diese Arbeit nie ein Ende gefunden hätte.

Meinen Eltern und meiner Tante Edeltraud Kech, die mir das Studium und die Anfertigung dieser Arbeit erst ermöglicht und mich immer unterstützt haben