

Aus dem Institut für Veterinär-Anatomie
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin
Laboratorium Prof. Dr. K.-D. Budras

STRUKTUR UND FUNKTION DES BOVINEN KLAUENBEINTRÄGERS

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Ilka Westerfeld

Tierärztin aus Petaling Jaya / Malaysia

Berlin 2003

Journal Nr. 2727

Gedruckt mit Genehmigung
des Fachbereiches Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan:	Univ.-Prof. Dr. L. Brunnberg
Erster Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. K.-D. Budras
Zweite Gutachterin:	Univ.-Prof. Dr. K. Müller
Dritter Gutachter:	Univ.-Prof. Dr. K. Dämmrich

claws; bovines; claw suspensory apparatus; distal phalanx; dermo-epidermal borderline; four-
zonal insertion area; dermo-subcutaneous system; supporting and anchoring system;
mechanical load; force transformation; claw mechanism; wall segment, solear segment;
weight-bearing apparatus; shock-absorbing apparatus

Tag der Promotion: 04.07.2003

Meinen Eltern,

die stets in meinem Herzen sind

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. EINLEITUNG	1
B. LITERATURÜBERSICHT	3
1. Die Klaue	3
1.1 Die Definition der Klaue	3
1.2 Die Modifikationen in den einzelnen Segmenten der Klaue	4
2. Der Klauenbeinträger	12
2.1 Die Definition des Klauenbeinträgers	12
2.2 Das Klauenbein	12
2.3 Der bindegewebige Teil des Klauenbeinträgers	14
2.3.1 Das Binde- und Stützgewebe	14
2.3.2 Die Ansatzzone des Klauenbeinträgers am Klauenbein	17
2.3.2.1 Die Funktion der faserknorpeligen Ansatzzone des Klauenbeinträgers	21
2.4 Die dermoepidermale Grenzfläche	22
2.5 Der epidermale Teil des Klauenbeinträgers mit seiner Verankerung am inneren Kronhorn	24
3. Der Klauenmechanismus	27
C. MATERIAL UND METHODEN	32
1. Untersuchungsmaterial	32
1.1 Probeentnahmestellen	33
2. Makroskopische und mesoskopische Untersuchungen an der unbelasteten Klaue	35
3. Methoden für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen	35
3.1 Vorbereitende Kunststoffinjektion und Probengewinnung	35
3.2 Trennung von Dermis und Epidermis	37
3.3 Kontrolle der Trennung von Dermis und Epidermis	37
3.4 Herstellung der Präparate für die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung	37
4. Methoden für die lichtmikroskopischen Untersuchungen	38
4.1 Anfertigung histologischer Präparate	38

	Seite
4.2 Methoden zur Untersuchung der geformten Interzellulärsubstanz im Bindegewebe	38
4.3 Histochemische Nachweisverfahren der ungeformten Interzellulärsubstanz im Bindegewebe	39
4.3.1 Darstellung der sauren Mukosubstanzen	39
4.3.2 Darstellung der neutralen Mukosubstanzen	40
5. Methoden für die transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchungen	40
6. Morphometrische Untersuchungen des unbelasteten Klauenbeinträgers	42
7. Methoden für die lichtmikroskopischen Untersuchungen des belasteten Klauenbeinträgers	46
8. Morphometrische Untersuchungen an der belasteten und unbelasteten Klaue	47
9. Statistische Methoden	56
9.1 Methoden der beschreibenden Statistik	56
D. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	57
1. Makroskopische und mesoskopische Befunde an der Klaue des Rindes	57
1.1 Die Verlaufsrichtung und Stärke der Kollagenfaserbündel in der Sagittalebene der Klaue	57
1.2 Die Verlaufsrichtung und Stärke der Kollagenfaserbündel in der Transversalebene 1 bis 3 der Klaue	59
2. Ergebnisse der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen	61
2.1 Die Klauenbeinoberfläche	62
2.2 Voruntersuchung über die Trennungsfläche von Dermis und Epidermis und den Injektionsgrad der Lamellen- und Papillengefäße für die rasterelektronenmikroskopische (SEM) Auswertung	64
2.3 Die Form der dermalen Oberflächenmodifikationen im Wandsegment	64
2.4 Die dermoepidermale Grenzfläche des Wandsegmentes	66
2.5 Die Form der dermalen Oberflächenmodifikationen im Sohlensegment	67
2.6 Die Epidermisformation des Sohlensegmentes	68
3. Ergebnisse der lichtmikroskopischen Untersuchungen des unbelasteten Klauenbeinträgers	68
3.1 Der bindegewebige, vornehmlich dermale Teil des Klauenbeinträgers im Wandsegment	68

	Seite
3.1.1 Die Zone des lamellären Knochens	69
3.1.2 Die Zone des verkalkten Faserknorpels	69
3.1.3 Die Zone des unverkalkten Faserknorpels	72
3.1.4 Die Zone des parallelfaserigen straffen Bindegewebes	73
3.1.5 Die Form und Ausrichtung der Lederhaut- und Epidermisblättchen	76
3.2 Die dermoepidermale Grenzfläche im Wandsegment	78
3.3 Der epidermale Teil des Klauenbeinträgers im Wandsegment mit seiner Verankerung am inneren Kronhorn	79
3.4 Das Sohlensegment	81
3.4.1 Der bindegewebige, vornehmlich dermale Teil des Klauenbeinträgers im Sohlensegment	81
3.4.2 Die dermoepidermale Grenzfläche im Sohlensegment	82
3.4.3 Die Epidermisformation im Sohlensegment	83
4. Ergebnisse der transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchungen	83
4.1 Die Ansatzzone des Klauenbeinträgers am Klauenbein	83
4.2 Die dermoepidermale Grenzfläche im Wandsegment	86
4.3 Strukturelle Besonderheiten der dermoepidermalen Grenzfläche	88
4.4 Die dermoepidermale Grenzfläche im Sohlensegment	89
5. Ergebnisse der morphometrischen Untersuchungen am Klauenbeinträger	89
5.1 Die Oberflächenverhältnisse der dermalen und epidermalen Teile des Klauenbeinträgers in den unterschiedlichen Bereichen des Wandsegmentes	90
5.2 Die strukturellen Parameter der chondroapophysären Ansatzzone am Klauenbein in den unterschiedlichen Bereichen des Wandsegmentes	94
6. Ergebnisse der Untersuchungen an der belasteten Klaue	100
6.1 Ergebnisse der lichtmikroskopischen Untersuchungen an der belasteten Klaue	100
6.2 Ergebnisse der morphometrischen Untersuchungen von den natürlichen Belastungsverhältnissen an der Klaue	101
6.2.1 Ergebnisse der Messungen in den sagittalen Schnittebenen 1 bis 3 an der unbelasteten und belasteten Klaue	103
6.2.2 Ergebnisse der Messungen in den transversalen Schnittebenen 1 bis 7 an der unbelasteten und belasteten Klaue	111
6.3 Zusammenfassung der Formveränderungen an der belasteten Klaue	117

	Seite
E. DISKUSSION	120
a. Diskussion der Methodik	120
b. Diskussion der Befunde	123
1. Das Klauenbein und die chondroapophysäre Insertionszone des Klauenbeinträgers	123
2. Die chondroapophysäre Insertionszone, der bindegewebige Teil des Klauenbeinträgers	125
3. Die dermoepidermale Grenzfläche	143
4. Der epidermale Teil des Klauenbeinträgers und seine Verankerung am inneren Kronhorn	145
5. Angewandte anatomische und funktionelle Betrachtung des Klauenbeinträgers	149
6. Die natürlichen Belastungsverhältnisse der Klaue mit Auswirkung auf den Klauenmechanismus	152
F. ZUSAMMENFASSUNG	160
G. SUMMARY	162
H. ABBILDUNGEN	164
I. LITERATURVERZEICHNIS	207
J. ANHANG	248

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A/Aa	Arteria, -ae
ab	abaxial, abaxialis, -e
Abb	Abbildung
ax	axial, axialis, -e
cm	Zentimeter
D	Dermis, Lederhaut
dist	distal, distalis, -e
dors	dorsal, dorsalis, -e
Eb	Epidermisblättchen
Ep	Epidermis
Fa	Firma
HE	Hämalaun-Eosin-Färbung nach MEYER
in Vorb	in Vorbereitung
Kb	Klauenbein
kg	Kilogramm
Kh	Kronhorn
kN	Kilonewton (1 kN = 1000 N)
kp	Kilopond (1 kp = 9,81 N)
LM	Lichtmikroskop(ische)
Mittel	Mittelwert
mm	Millimeter
MS	Messstrecke
MW	arithmetischer Mittelwert
n	Stichprobenumfang
nm	Nanometer
oG	osteochondrale Grenzlinie
PAS	Perjodsäure-Schiff-(Reaktion)/ (perjodic acid schiff-(reaction))
pH	potentia hydrogenii
Proc	Processus, Fortsatz
SEM	Rasterelektronenmikroskop(ische)/ (scanning electron microscope)
Stabw	Standardabweichung
TEM	Transmissionselektronenmikroskop(ische)/ (transmission electron microscope)
Textabb	Textabbildung
Tm	Tidemark, Mineralisationszone
uvFk	Zone des unverkalkten Faserknorpels
V/Vv	Vena, -ae
vFk	Zone des verkalkten Faserknorpels
Wd	Wandsegment
µm	Mikrometer

Abkürzungen, die ausschließlich in Tabellen und Abbildungen zur Anwendung kommen, werden dort aufgeführt.

DANKSAGUNG

Meinem Lehrer und Doktorvater Professor Dr. K.-D. Budras gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Themas der Dissertation, seine jederzeit gewährte wissenschaftliche Unterstützung und seinen menschlichen Rat.

Meinen Freundinnen, insbesondere Frau U. Westerfeld, Frau J. van Balkom, Frau B. Seeliger, Frau Dr. R. M. Hirschberg, Frau V. Eckert-Funke, Frau A. Köster, Frau P. Breuer und Frau Prof. Dr. J. Plendl möchte ich danksagen für ihre Begleitung und Anerkennung auf dem Weg, der mit Lektionen des Lebens gepflastert war.

Ein besonderer Dank *expressis verbis* gilt Frau Dr. R. M. Hirschberg für ihren fachlichen Rat, die vielen Diskussionsrunden, ihre professionelle Unterstützung und überdies für die Übersetzung der Zusammenfassung.

Für ihre Ermutigung und ihr kluges Urteil danke ich Frau Dr. F. Wiese und Herrn PD. Dr. H. Bragulla.

Dank an diejenigen vom harten Kern der Arbeitsgruppe 'Zehenendorgan', die mich seit der ersten Seite begleitet haben. Bei Frau A. Köster möchte ich mich für die stete Materialbeschaffung bedanken, die von Äpfeln bis zu Zehenendorganen reichte.

Einen ganz besonderen Dank gebührt Frau Dr. S. Buda, Frau Dr. T. Eggers und Herrn Th. Voges für ihr Engagement bei jedweder Problemlösung am Computer. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Randolf Raue für die vielen Festplatten und für die Leihgabe seines Computers im vergangenen Jahr bedanken. Durch den Einsatz von Herrn M. Rieß konnte ein Teil der Doktorarbeit gerettet werden, der sich in der Endphase auf mysteriöse Weise vollständig auflöste.

Frau I. Küster-Krehahn, Frau H. Kaminski und Frau M. Schaerig danke ich für die Einführung in die Grundlagen von histologischen Methoden und ihre stets gewährte Hilfeleistung.

Frau M. Sachtleben und Frau V. Eckert-Funke gebührt mein herzlicher Dank für die Anfertigung der SEM-Präparate und der sorgfältigen Bearbeitung des Filmmaterials, insbesondere ihr stets freundliches Entgegenkommen. Frau Ch. Schiel danke ich für ihre herzliche Einarbeitung am Rasterelektronenmikroskop und Frau G. Schröer gilt mein Dank für ihre Hilfe bei der Besputterung der SEM- Präparate.

Bedanken möchte ich mich ferner bei Frau T. Tarnowski und Herrn Ch. Barucker für ihre zahlreichen Hilfestellungen bei Kraftakten und dem Mazerationsverfahren.

Herrn Ch. Barucker danke ich für die hilfreiche Unterstützung beim Korrekturlesen des Manuskriptes.

Mein Dank gebührt Herrn Dr. F. Henke für die Bereitstellung des von ihm eigens konstruierten Belastungsgerätes.

SELBSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegenden Untersuchungen und die Erstellung der Dissertationsschrift unter Zuhilfenahme der angegebenen Hilfsmittel und Literaturstellen selbständig durchgeführt habe.

LEBENS LAUF

Name: Ilka Susanne Westerfeld
Geburtsdatum: 20.03.1967
Geburtsort: Petaling Jaya / Malaysia
Staatsangehörigkeit: deutsch
Eltern: Jutta Gudrun Ingeborg Westerfeld, geb. Seeliger
Kurt Heinz Westerfeld

Schulbildung:

1973-1977: Besuch der Philipp-Keim-Schule in Diedenbergen
1977-1983: Besuch der Elisabethenschule in Hofheim
1983-1986: Besuch des Main-Taunus-Gymnasiums in Hofheim
1986: Zeugnis der Allgemeinen Hochschulreife

Beruflicher Werdegang:

1986-1988: Studium der Humanmedizin am Cours de Luxembourg
1988-1989: Mitarbeit in einer Kleintierpraxis in Hessen
1989-1996: Studium der Veterinärmedizin an der Freien Universität Berlin
1992: Asienaufenthalt
01.11.1996 Approbation als Tierärztin
seit 01.11.1996 intermittierende Hospitanz und Mitarbeit in Kleintierpraxen in und um Berlin
seit 1998 Doktorandin am Institut für Veterinär-Anatomie Histologie und Embryologie der Freien Universität Berlin
WS 98/99 - WS 00/01 Lehraufträge am Institut für Veterinär-Anatomie Histologie und Embryologie der Freien Universität Berlin