

Aus dem
Veterinär-Anatomischen Institut
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

und dem

Institut für Veterinär-Anatomie
des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin

**Die Huflängenregulation bei im Semireservat gehaltenen Liebenthaler Pferden durch
saisonale Einflüsse auf Hornbildung und Hornverlust**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)
durch die Veterinärmedizinische Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von
Claudia Herrmann
aus Berlin

Leipzig, 2015

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Manfred Coenen

Betreuer: Prof. Dr. Christoph Mülling
Prof. Dr. Klaus-Dieter Budras

Gutachter: Prof. Dr. Christoph Mülling
Veterinär-Anatomisches Institut
Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig

Prof. Dr. Klaus-Dieter Budras
Institut für Veterinär-Anatomie
Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin

Prof. Dr. Hans Geyer
Veterinär-Anatomisches Institut
Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich

Tag der Verteidigung: 03.02.2015

Für meinen lieben Opa in Erinnerung

sowie in Erinnerung an die beiden wundervollsten Pferde der Welt:

Bento und Finesse

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1 Einleitung	1
2 Literaturübersicht	2
2.1 Die Liebenthaler Pferdeherde – Ursprung und Portrait.....	2
2.1.1 Evolution und Domestikation des Pferdes.....	2
2.1.2 Der Tarpan.....	2
2.1.3 Das Liebenthaler Pferd.....	3
2.1.4 Andere „Wildpferde“-Herden.....	5
2.2 Der Huf – Definition und Begriffsbestimmung.....	6
2.2.1 Der Huf.....	6
2.2.2 Die Hufsegmente.....	6
2.2.3 Die Hufkapsel.....	7
2.2.4 Die Hufform.....	8
2.3 Das Kronsegment – Aufbau und Struktur.....	10
2.3.1 Tela subcutanea unguulae (Unterhaut).....	10
2.3.2 Dermis unguulae (Lederhaut).....	10
2.3.3 Basalmembran.....	12
2.3.4 Epidermis unguulae.....	12
2.3.4.1 Allgemeiner Aufbau der Epidermis.....	12
2.3.4.2 Architektur des Hornzellverbandes.....	13
2.3.4.3 Röhrenchorn.....	14
2.3.4.3.1 Röhrenchornrinde.....	14
2.3.4.3.2 Röhrenchornmark.....	15
2.3.4.4 Zwischenröhrenchorn.....	15
2.4 Keratinisierung und Verhornung in der Epidermis – biochemische Vorgänge.....	16
2.4.1 Verhornungstypen.....	16
2.4.2 Biochemische Differenzierungsvorgänge.....	16
2.5 Die Hornqualität – Möglichkeiten der Messung und Einflussfaktoren.....	17
2.6 Ringe in der Hufwand – Entstehung und Bedeutung.....	19
2.7 Krafteinwirkungen auf die Hufwand – Spannungen und Hufdeformationen.....	20
2.7.1 Hufbeinträger.....	20
2.7.2 Hufmechanismus.....	22
2.7.3 Bildung von Rissen und Entstehung von physiologischen Tragrandausbrüchen.....	23
2.7.4 Hornspalten.....	25
2.8 Regulierung der Hufwandlänge – Mechanismen und Einflussfaktoren.....	26
2.8.1 Hufwandlänge am Zehenrücken.....	26
2.8.2 Hornbildungsrate.....	26
2.8.2.1 Physiologische Einflussfaktoren.....	27
2.8.2.2 Alimentäre Einflussfaktoren.....	29
2.8.2.3 Haltungsbedingte Einflüsse.....	29
2.8.2.4 Saisonale Einflussfaktoren.....	30
2.8.3 Hornverlust.....	31
2.8.3.1 Physiologische Einflussfaktoren.....	31
2.8.3.2 Haltungsbedingte Einflussfaktoren.....	32
2.8.3.3 Saisonale Einflussfaktoren.....	33

2.8.4 Regulierungsmechanismus der Hufwandlänge.....	33
3 Material und Methoden	34
3.1 Untersuchungsmaterial.....	34
3.1.1 Pferde.....	34
3.1.1.1 Ausgewählte Tiere.....	34
3.1.1.2 Haltung der Pferde.....	36
3.2 Bestimmung von Dorsallänge, Hornbildungsrate und Hornverlust.....	36
3.3 Monatliche fotografische Erfassung von Hornspalten und Hornchips.....	37
3.3.1 Erstellung der Fotografien.....	37
3.3.2 Auswertung der Fotografien.....	38
3.4 Statistische Methoden.....	39
3.4.1 Deskriptive Statistik.....	39
3.4.2 Explorative Statistik.....	39
4 Untersuchungsergebnisse	42
4.1 Hufwandlänge am Hufrücken.....	42
4.1.1 Saisonalität.....	42
4.1.2 Einfluss von Alter und Geschlecht.....	43
4.1.3 Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf.....	45
4.2 Hornbildungsrate des äußeren Kronhorns.....	46
4.2.1 Saisonalität.....	46
4.2.2 Einfluss von Alter und Geschlecht.....	48
4.2.3 Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf.....	49
4.3 Gesamthornverlust und Hornabrieb an der Hufwand.....	50
4.3.1 Saisonalität.....	51
4.3.2 Einfluss von Alter und Geschlecht.....	53
4.3.3 Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf.....	55
4.4 Zusammenhang zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust.....	56
4.5 Auftreten von Hornspalten.....	60
4.5.1 Saisonalität.....	61
4.5.2 Einfluss von Alter und Geschlecht.....	61
4.5.3 Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf.....	63
4.6 Auftreten von Hornchips und Tragrandausbrüchen.....	64
4.6.1 Hornchips – fotografische Auswertung.....	64
4.6.2 Tragrandausbrüche – Auswertung anhand der Messwerte.....	67
5 Diskussion	71
5.1 Diskussion der Methoden.....	71
5.1.1 Bestimmung von Dorsallänge, Hornbildungsrate und -verlust.....	71
5.1.2 Fotodokumentation von Hornspalten und Hornchips.....	73
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	74
5.2.1 Hufwandlänge am Hufrücken.....	74
5.2.1.1 Direkter Vergleich mit dem Przewalskipferd.....	74
5.2.1.2 Befunddiskussion.....	76
5.2.2 Hornbildungsrate des äußeren Kronhorns.....	78
5.2.2.1 Direkter Vergleich mit dem Przewalskipferd.....	78
5.2.2.2 Befunddiskussion.....	79
5.2.3 Gesamthornverlust und Hornabrieb an der Hufwand.....	84

Inhaltsverzeichnis

5.2.3.1 Direkter Vergleich mit dem Przewalskipferd.....	84
5.2.3.2 Befunddiskussion.....	87
5.2.4 Zusammenhang zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust.....	90
5.2.5 Hornspalten.....	91
5.2.6 Hornchips und Tragrandausbrüche.....	94
5.2.6.1 Tragrandausbrüche im direkten Vergleich mit dem Przewalskipferd.....	94
5.2.6.2 Vergleich der Befunde der gemessenen Tragrandausbrüche mit den Befunden der fotografisch dokumentierten Hornchips und Befunddiskussion.....	96
5.2.6.3 Ätiologie des Chipping – Entstehung von Hornchips und Tragrandausbrüchen.....	97
5.2.7 Bedeutung der Huflängenregulation im Hinblick auf Physiologie und Nutzung der Liebenthaler Pferde.....	99
6 Zusammenfassung.....	102
7 Summary.....	104
8 Literaturverzeichnis.....	106
9 Anhang I.....	123
9.1 Anhang I – Abbildungen.....	123
9.2 Anhang I – Tabellen.....	137
10 Anhang II.....	153
11 Danksagung.....	162

ABKÜRZUNGEN

Abbildung	Verweis auf Abbildung im Anhang I (Abbildungsteil)
Aug.	August
$\alpha = 0,05$	festgesetztes Signifikanzniveau
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Zentimeter
d.h.	das heißt
Dez.	Dezember
DNA	Desoxyribonukleinsäure
dors.	dorsal
e.V.	eingetragener Verein
EGF	epidermal growth factor
et al.	et alii (lat. „und andere“)
Feb.	Februar
geb.	geboren
ges.	gesamt
gGmbH	gemeinnützige Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
h^2	Heritabilität (Erblichkeit)
ha	Hektar
HH	Hinterhuf
hl	hinten links
hr	hinten rechts
inkl.	inklusive
IZW	Institut für Zoo- und Wildtierforschung Berlin
Jan.	Januar
KFAP	Keratinfilament-assoziierte Proteine
km	Kilometer
lat.	lateral
Lfd. Nr.	laufende Nummer
lt.	laut
m	Meter
MCGs	membrane coating granules
MCM	membrane coating material
med.	medial
mm	Millimeter
MW	Mittelwert
μm	Mikrometer
n	Anzahl
NABU	Naturschutzbund Deutschland e.V.
Nov.	November
Nr.	Nummer
o.g.	oben genannt(e)

Abkürzungen

OHV	Landkreis Oberhavel, Brandenburg
Okt.	Oktober
r	Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson
resp.	respektive
S ²	Varianz
SD	Standardabweichung /-differenz
Sept.	September
TGF- α	transforming growth factor-alpha
u.	und
u.a.	unter anderem
usw.	und so weiter
v.u.Z.	vor unserer Zeit
vgl.	vergleiche
VH	Vorderhuf
vl	vorne links
vr	vorne rechts
z.B.	zum Beispiel

1 EINLEITUNG

„Zuerst sind also beim Körper die Füße zu betrachten. Denn wie ein Haus wertlos und ohne Nutzen ist, wenn zwar die oberen Teile ganz schön gebaut sind, aber nicht auf einem festen Baugrund stehen, so ist auch ein Kriegspferd zu nichts nütze, wenn alles sonst an ihm gut und wohlgestaltet ist, die Füße dagegen schwach und hässlich.“ (XENOPHON 430 – 355 v.u.Z., „Über die Reitkunst“)

Dieser Auszug aus einer der weltweit ersten hippologischen Schriften zeigt, welche enorme Bedeutung der Huf für das Fluchttier Pferd hat. Auch wenn heutzutage glücklicherweise die Pferde kaum noch zu kriegerischen Auseinandersetzungen genutzt werden, so ist es nun der moderne (Hochleistungs-)Sport, der höchste Anforderungen an die Gliedmaßen und an die mechanisch stark beanspruchten Hufe stellt. Weltweit hat das Pferd auch eine nicht zu unterschätzende Bedeutung als Arbeitstier und dient zum Erwerb des Lebensunterhaltes vieler Menschen. Aus diesem Grund haben sich rund um das Thema „Huf“ Forschungs- und Industriezweige mit dem Ziel der stetigen Optimierung der Hufpflege und der Hufgesundheit gebildet, so dass heute für jedes Pferd individuelle Hufzubereitungs- und -beschlagsmethoden angeboten werden können. Der dynamische Vorgang der Hornbildung und des Hornverlustes an der Hufkapsel wird bei Pferden in menschlicher Obhut alle sechs bis acht Wochen durch die Arbeit des Hufschmiedes (Nachschneiden, Hufkorrektur, Beschlag mit Hufeisen) reguliert.

Vom einzigen rezenten Wildpferd, dem Przewalskipferd, sind Regulationsmechanismen bekannt, durch welche die Huflänge und -form ohne menschliche Hilfe innerhalb einer physiologischen Spannweite konstant gehalten wird. Hornwachstum und -abrieb weisen hierbei eine ausgesprochene Saisonalität auf, ein eventuell nötiger zusätzlicher Hornverlust wird durch das Auftreten von physiologischen Tragrandausbrüchen erreicht. Bei Hauspferden in überwiegender Stallhaltung ist die Saisonalität von Hornbildung und Hornverlust deutlich geringer ausgeprägt, ein physiologischer Ausbruchmechanismus zur Längenregulation ist weitgehend unbekannt. Hufhornausrüche gelten meistens als pathologisch. Mit dem zunehmenden Einsatz einiger robuster Pferderassen zur Landschaftspflege gegen die Verbuschung von landwirtschaftlichen Extensivflächen ändern sich diesbezüglich auch die Anforderungen an den Huf. Nicht die Pferde sind im Vorteil, die durch optimale Hufzubereitung oder perfekten Beschlag Höchstleistungen bringen, sondern diejenigen, bei welchen der Huf auch über Jahre hinweg ohne menschliches Zutun gesund bleibt. Weil die Areale vorwiegend groß sowie teils sehr unübersichtlich sind und die dort angesiedelten Pferde kaum menschlichen Kontakt haben, ist eine herkömmliche Hufpflege praktisch nur unter der Belastung einer Narkose durchführbar. Es ist jedoch davon auszugehen, dass es bei veränderter Pferdehaltung im Sinne einer ganzjährigen, menschlich nahezu unbeeinflussten Weidehaltung unter bestimmten Voraussetzungen zu ähnlichen Prozessen am Huf kommt, wie es bei den Przewalskipferden der Fall ist.

Diese Arbeit dient zur Überprüfung der Hypothese, dass sowohl die Längenregulation am Huf als auch die stark ausgeprägte Saisonalität von Hornbildung und -abrieb sowie die Entstehung von physiologischen Tragrandausbrüchen eher durch die Art der Pferdehaltung als durch die Domestikation und Genetik der verschiedenen Rassen bedingt ist. Außerdem sollen alters- und geschlechtsabhängige Einflüsse auf Hornwachstum und -verlust sowie der Mechanismus der Tragrandausbrüche bei den wildlebenden Hauspferden untersucht und mit den entsprechenden Verhältnissen beim Przewalskipferd verglichen werden. Hierfür steht eine unter Semireservat-ähnlichen Bedingungen lebende Herde von Liebenthaler Pferden in der brandenburgischen Schorfheide zur Verfügung. Es soll zusätzlich geklärt werden, ob und unter welchen Bedingungen sich diese Pferde für den Einsatz bei Landschaftspflege-Programmen eignen. Auch vor dem Hintergrund der bei reiterlich genutzten Hauspferden immer mehr Verbreitung findenden Haltungsalternativen zur klassischen Pferdebox (Offenstallhaltung, ganzjährige Weidehaltung) sind die Ergebnisse dieser Arbeit von Bedeutung, wenn es um die Festlegung der Intervalle für Hufkorrekturen geht oder die Tierschutzaspekte bei der halbwilden Haltung von Hauspferden diskutiert werden sollen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 DIE LIEBENTHALER PFERDEHERDE – URSPRUNG UND PORTRAIT

2.1.1 Evolution und Domestikation des Pferdes

Die Evolution der Pferde wurde aufgrund reichhaltiger fossiler Funde intensiv untersucht und dient als Modell für Evolutionsprozesse (ORLANDO et al. 2013), da eine für heutige Gattungen einmalige Entwicklungsreihe aufgestellt werden konnte (SCHÄFER 2000). Die ersten bekannten fossilen Funde von Pferdevorfahren stammen aus den Jahren 1838 und 1939, in denen in England ein Zahn sowie ein Schädel gefunden wurden (SIMPSON 1977). Der erste Berichterstatter Richard Owen erkannte noch keine Verwandtschaft zum heutigen Pferd, sondern sah eher eine Ähnlichkeit mit einem Nagetier und nannte es Hyracotherium. Knapp 40 Jahre später wurde von mehreren amerikanischen Forschern bestätigt, dass die Hauptevolutionslinie der Pferde auf dem amerikanischen Kontinent liegt. Sie erkannten in den dort gefundenen Fossilien den Stammvater der heutigen Pferde und nannten ihn Eohippus („Morgenrötepferdchen“) als amerikanischen Vertreter des Hyracotheriums (SIMPSON 1977; SCHÄFER 2000). Die europäischen Urformen sind als Seitenzweige der Evolution zu verstehen, die zu verschiedenen späteren Zeiten ausstarben. Eohippus lebte im Eozän, einem Zeitalter am Anfang des Tertiärs, vor ca. 60 Millionen Jahren. Er war etwa fuchsgroß, lebte in sumpfigen Waldgebieten und ernährte sich von weichen Blattpflanzen (SCHWARK 1988). Morphologisch war es durch Mehrzehigkeit (vorne vier, hinten drei Zehen) sowie unspezialisierte, flache Backenzähne gekennzeichnet (SCHÄFER 2000). Der Entwicklungsprozess zum Pferd verlief nicht geradlinig, denn in jeder Epoche existieren verwandte Gattungen nebeneinander. Die stärksten Veränderungen während der Evolution erlebte das Urpferd hinsichtlich seiner Größe, seines Gliedmaßen- und seines Kopfskelettes (SCHWARK 1988). Nach SCHWARK (1988) und SIMPSON (1977) verlief die Entwicklung vom Ballengänger Eohippus zum Zehenspitzengänger Equus über die Stufen Meshippus (vor ca. 35 Millionen Jahren, frühes Oligozän, dreizehiger Laubfresser), Miohippus (spätes Oligozän, Laubfresser, etwas größer), Parahippus (vor ca. 25 Millionen Jahren, frühes Miozän, Laubfresser mit komplexerer Zahnstruktur), Merychippus (Miozän, dreizehiger Grasfresser) und Pliohippus (vor ca. 10 Millionen Jahren, Pliozän, erster einzehiger Vertreter). Dieser Prozess folgte den mit den Zeitepochen einhergehenden Veränderungen von Klima und Vegetation. Die Equus-Linie, aus der alle heutigen lebenden Equiden (Pferde, Esel, Zebras) stammen, entstand vor 4 bis 4,5 Millionen Jahren (ORLANDO et al. 2013; SCHÄFER 2000). Im vor ca. 3 Millionen Jahren folgenden Pleistozän gelangten die Pferde der Gattung Equus über die Behringbrücke auf den europäischen Kontinent, während sie in Amerika vor ca. 10 000 Jahre ausstarben (SCHWARK 1988).

Die erste Domestikation der Pferde, zunächst vorrangig zur Nutzung als Fleischlieferanten, erfolgte 3000 bis 4000 Jahre v.u.Z. großräumig in Mittel- und Südosteuropa, erst später auch im südländischen Bereich (SCHWARK 1988). Auf den amerikanischen Kontinent gelangte das Pferd erst wieder mit den spanischen Eroberern, wobei Hernán Cortés 1519 als erster 17 Pferde nach Mexiko einführte (SIMPSON 1977). Seitdem wurde die Nutzung der Pferde stark intensiviert und an die Erfordernisse der jeweiligen Zeit angepasst. Aber auch unter Berücksichtigung der sich durch Haustierwerdung und Züchtung stark erweiternden Merkmalsvariation bleiben die biologischen Grundsätzlichkeiten, die in der Evolution bedingt sind, erhalten (SCHWARK 1988).

2.1.2 Der Tarpan

In der heutigen Zeit sind drei Wildpferdearten bekannt: das Przewalskipferd, der Waldtarpan und der Steppentarpan. Während die beiden Tarpanarten bereits ausgestorben sind, repräsentiert das Przewalskipferd das letzte überlebende Wildpferd, welches sich an 29 genomischen Regionen vom Hauspferd unterscheidet

(GOTO et al. 2011; ORLANDO et al. 2013) und somit zwar mit diesem gemeinsame Vorfahren hat, aber nicht als direkter Vorfahre des Hauspferdes anzusehen ist (GOTO et al. 2011). Auch konnte keine evolutionäre Wiedervermischung der Blutlinien von Przewalskipferden und Hauspferden gefunden werden (ORLANDO et al. 2013), obwohl beide Arten untereinander fertile Nachkommen hervorbringen (LAU et al. 2009).

Tarpan bedeutet auf Russisch „wildes Pferd“. Der Waldtarpan kam in Litauen und Nordostpolen vor. Die letzten Waldtarpane wurden bis 1812/1813 im Tierpark des Fürsten Zamojski in Gefangenschaft gehalten, der dann aus wirtschaftlichen Gründen schließen musste. Die Pferde wurden deshalb an Bauern der Gegend um Zamość abgegeben, wo sie sich mit den Hauspferden vermischten und ihre Reinrassigkeit verloren ging (SCHÄFER 2000). Der Einfluss des Waldtarpans auf die polnische Pferderasse Konik (polnisch: „kleines Pferd“) ist bis heute nicht zu übersehen. Koniks unterscheiden sich in ihrem Exterieur anhand biometrischer Charakteristika deutlich von Voll- oder Halbblutpferden (KOMOSA et al. 2013). Der Steppentarpan kam in den Steppen der heutigen Ukraine im 17. Jahrhundert in großen Herden vor (SCHÄFER 2000). Er wurde in der Ukraine domestiziert, denn schon damals schätzten die Menschen ihre Schnelligkeit und die Hufqualität (RUDIK 2003). Durch wachsende Herden an Hauspferden, den daraus resultierenden Platzmangel und die Vermischung beider Arten sowie immer stärker werdende Bejagung wurde die Anzahl an Steppentarpanen zunehmend reduziert (SCHÄFER 2000), bis schließlich das letzte Pferd dieser Art 1898 getötet wurde (RUDIK 2003). Im Gegensatz zum Przewalskipferd werden die Tarpane als direkte Vorfahren der europäischen Hauspferderassen angesehen (RUDIK 2003).

Nachdem beide Tarpanarten in ihrer ursprünglichen Genetik ausgestorben waren, gab es im vergangenen 20. Jahrhundert mehrere Versuche, „tarpanähnliche“ Pferde auf der genetischen Grundlage von polnischen Koniks und (teilweise) Przewalskipferden zurückzuzüchten. Professor Tadeusz Vetulani begann damit 1936 in einem Gehege bei Bialowieza (Polen) und benutzte 15 Konikstuten und 4 Konikhengste, die im Exterieur deutliche Waldtarpan-Merkmale aufwiesen (JEZIERSKI u. JAWORSKI 1995). Ebenfalls in den 30er Jahren begannen die Brüder Lutz und Heinz Heck mit einer Abbildzüchtung des Tarpans unter Benutzung von Przewalskipferden sowie isländischen und gotländischen Pferden. Die Produkte dieser Rückzüchtung sind heutzutage in den Zoos und Wildparks als „Tarpan“ (Heckpferd) zu sehen.

2.1.3 Das Liebenthaler Pferd

Die Liebenthaler Pferde geht auf einen privaten Rückzüchtungsversuch aus den 60er Jahren des Verhaltensforschers Jürgen Zutz zurück (SCHNEIDER 2004). Er wollte ein Pferd züchten, das in seinem Exterieur, Verhalten sowie auch seinem genetischen Material dem ausgestorbenen Waldtarpan entspricht. Als Grundlage der Zucht dienten eine Stute aus dem Münchener Zoo, die dem Rückzüchtungsprogramm der Brüder Heinz und Lutz Heck entstammte und genetische Anteile von Koniks, Dülmener Pferden und Przewalskipferden in sich vereinte, sowie 4 Fjordpferde, da bei diesen eine enge Verwandtschaft mit dem Tarpan vermutet wurde (SCHULZE 2005). Fjordpferde gelten als ursprüngliche Pferderasse und besitzen bezüglich der Merkmale Farbe, Aalstrich, Zebrastrifen an den Gliedmaßen und Schulterkreuz auch viele Gemeinsamkeiten mit dem Przewalskipferd.

Auf einem Gelände im Bayrischen Wald wurden die Pferde ganzjährig den natürlichen Witterungsbedingungen ausgesetzt und weitgehend sich selbst überlassen (SCHEIBE 2005). Lediglich Tiere, die zu schwach erschienen, wurden aussortiert oder der natürliche Tod kam zuvor. So entstand innerhalb einiger Jahre eine größere Population falbfarbener, tarpanähnlicher Pferde, die sich durch natürliche Selektion an die Umweltfaktoren ihres Lebensraumes angepasst hatten. Diese verwilderten Hauspferde zeigen Verhaltensweisen, die auf das Überleben auch unter schwierigen Bedingungen ausgelegt waren (z.B. das Scharren nach Wasser unter zugefrorenen Pfützen).

Nach der politischen Wende in Deutschland zog Jürgen Zutz mitsamt seinen mittlerweile fast 60 Pferden in die brandenburgische Ostprignitz nach Friesack um. Im Jahr 1996 starb der Begründer der Herde plötzlich

und seine Familie musste die Pferde aufgeben. Die Zukunft der Pferde war plötzlich unsicher, es wurde sogar über die Verwertung der gesamten Herde durch den Schlachter gesprochen (RÖDL 2005). Letztendlich konnte jedoch durch die brandenburgische Landesregierung eine andere Lösung gefunden werden. Die Pferde wurden von der Gemeinde Liebenthal (Landkreis OHV) noch im selben Jahr erworben und auf ein ca. 80 Hektar großes Areal in der Schorfheide, ca. 3 km vom Ort Liebenthal entfernt, umgesiedelt. Dort leben sie naturnah und vom Menschen weitgehend unbeeinflusst unter Semireservat-ähnlichen Bedingungen unter der Obhut des Landwirtes Arne Broja. Die Eingriffe durch Menschen in die Herde beschränken sich auf die jährliche Wurmkur, den Weideumtrieb sowie die Zufütterung von Heu im Winter. Zur Unterstützung des Projektes und zum Erhalt der Herde wurde 2001 der Verein „Liebenthaler Pferdeherde e.V.“ gegründet. Dabei beteiligt waren insbesondere Mitarbeiter der Gemeinde Liebenthal, Verhaltensforscher des Institutes für Zoo- und Wildtierkunde sowie Mitarbeiter der Firma PRENZL KOMM gGmbH, die damit begonnen hatte, die Anziehungskraft einer solchen natürlichen Pferdeherde mit intakten Sozialstrukturen in die Therapie psychiatrischer Patienten einzubeziehen. Nach der Einweihung vom „Haus der Hundert Pferde“ im Jahr 2002 auf dem Gelände des Haustierparks im Liebenthal können sich darin auch Touristen über die Entstehung der Herde und über die momentan dort vorhandenen Familienverbände der Pferde informieren. Inzwischen befindet sich die Pferdeherde im Eigentum der Stadt Liebenwalde, der die Gemeinde Liebenthal in Zuge der Gemeindegebietsreform 2003 zugeordnet wurde.

Innerhalb der letzten Jahre wurden zwei Konikhengste und ein Dülmener in die Herde integriert um Inzucht zu vermeiden und das tarpanähnliche Aussehen der Pferde zu vervollkommen (SCHULZE 2005). Zurzeit befinden sich auf dem Gelände ca. 100 Pferde, die untereinander komplexe Sozialstrukturen und Verhaltensrhythmen aufgebaut haben. Es gibt mehrere Hengste in der Herde, die jeweils ihre eigene kleine Gruppe von Stuten mit Fohlen besitzen sowie eine Gruppe von Junghengsten, von denen sich bisher noch keiner eine Stute erobern konnte (SCHNEIDER 2004). Alte oder kranke Hengste geben ihre Stutengruppe oft nach nur wenigen Rankämpfen ab, die Stuten ordnen sich dann in neue Familienverbände ein. Diese Koexistenz von mehreren festen Familienverbänden über Jahrzehnte hinweg ist in Deutschland einzigartig (Abbildung 1). Aufgrund des natürlichen Sozialgefüges ist die Liebenthaler Pferdeherde Gegenstand zahlreicher verhaltensbiologischer Studien (z.B. WOLLENWEBER 2007).

Die Liebenthaler Pferde besitzen mit einem Stockmaß von ca. 1,30 m bis 1,45 m Ponygröße und sind kompakt und quadratisch gebaut (RÖDL 2005). Nach SCHULZE (2005) kann man einen feineren Typ mit elegantem Kopf und einen kräftigeren Typ mit breiter Brust und stärkerem Kopf unterscheiden (Abbildungen 2 und 3). Die dominierende Farbe ist graufalb, in verschiedenen dunklen oder hellen Schattierungen, einige Pferde sind jedoch auch braunfalsch oder isabellfarben. Das Maul, der Augenbereich, die Beine und die Hufe sind meist dunkler gefärbt. Weiße Abzeichen am Kopf kommen mitunter bei wenigen Fohlen vor, sind jedoch unerwünscht, da sie in der phänotypischen Ausprägung des Tarpans nicht vorgekommen sein sollen. Deshalb dürfen sich diese Pferde nicht fortpflanzen und werden baldmöglichst aus der Herde entfernt (SCHULZE 2005). Typisch ist der über den gesamten Rücken bis in den Schweif hineinreichende dunkle Aalstrich, der sich auch als dunkel gefärbter Mittelteil in der ansonsten hellen Mähne fortsetzt. Nur die Fohlen besitzen eine Stehmähne, bei den älteren Pferden fällt die Mähne zur Seite (SCHNEIDER 2004). Ein Wechsel des Langhaars, wie er bei den Przewalskipferden auftritt, kommt bei den Liebenthaler Pferden nicht vor. Viele Pferde weisen an den Beinen eine Querstreifung auf (Abbildung 4 (b)). Diese Zebraastreifung kommt auch bei den genetisch eng verwandten Fjordpferden vor und gilt nach Meinung einiger als Merkmal einer ursprünglichen Rasse, von anderen wird sie jedoch als Atavismus angesehen. Vereinzelt besitzen die Pferde auch ein dunkel gefärbtes Schulterkreuz. Der Kopf der Pferde ist eher kurz, die kleinen Ohren sind an ihren Spitzen dunkel gefärbt. Der Hals ist kräftig und recht kurz.

Vom äußeren Erscheinungsbild her entsprechen die Liebenthaler Pferde also durchaus den Vorstellungen über den ausgestorbenen europäischen Tarpan (SCHULZE 2005). Genetisch gesehen jedoch muss man einen

Unterschied zwischen diesen beiden Pferdepopulationen annehmen (RÖDL 2005). Bisher sind alle Versuche, aus domestizierten Haustieren ausgestorbene Wildtierrassen zu züchten, gescheitert. Da auch der genealogische Anteil von Przewalskipferden bei den Liebenthalern sehr gering ist, entsprechen diese Pferde domestizierten, aber wildlebenden Hauspferden. Sie sind als eigenständige Population anerkannt (SCHULZE 2005) und werden seit 1999 auf dem linken Schenkel mit einem eigenen Brandzeichen (die ineinander verschlungenen Buchstaben L und P sowie die Jahreszahl des Geburtsjahres) versehen (Abbildung 4 (a)).

Die Liebenthaler Pferde dienen in ihrer weitgehend unter Naturschutz stehenden Heimat vor allem der Landschaftspflege. Die robusten Tiere erfreuen sich aufgrund ihres freundlichen und ruhigen Wesens sowie ihrer geringen Krankheitsanfälligkeit auch außerhalb der Ursprungsherde großer Beliebtheit. So wurde vor einigen Jahren ein ganzer Familienverband an die Landschaftspflege GmbH Lenzen verkauft. Auf den Elbewiesen bei Lenzen versucht man, einen extensiv bewirtschafteten Überflutungsgrünlandkomplex in einem Rückdeichungsgebiet zu schaffen und nutzt die Pferde zur Beweidung einer Stromtalaue. Werden die Pferde unter menschlicher Obhut gezähmt, können sie als robuste, freundliche Reit- und Fahrpferde eingesetzt werden.

2.1.4 Andere „Wildpferde“-Herden

Die Haltung von Pferden in ihrem natürlichen Familiengefüge wie in Liebenthal ist deutschlandweit einzigartig, es gibt jedoch auch noch andere extensiv gehaltene Pferdeherden. Sie dienen vor allem der Landschaftspflege und auch als touristischer Anziehungspunkt. Die Dülmener Wildpferde stellen die wohl bekannteste Pferdeherde in Deutschland dar. Sie sind im Merfelder Bruch (Westfalen) beheimatet. Diese Pferde sind den Liebenthalern in Größe und Statur sehr ähnlich, jedoch sind bei ihnen deutlich mehr verschiedene Ponyrassen eingekreuzt worden. Auf der Halbinsel Geltinger Birk (Schleswig-Holstein) leben seit 2002 Konikpferde, die das Naturschutzgebiet beweidet sollen, um so den Bewuchs mit Büschen und Bäumen zu begrenzen und eine halboffene Weidelandschaft zu schaffen. Von dort wurde auch über anfängliche gesundheitliche Probleme der Pferde wie Hyperlipidämie, Kolik und Hufrehe berichtet (NABU 2013). Außerdem werden in der Geltinger Birk Pferde mit starkem Hufwachstum mehrfach im Jahr gefangen, um Hufschmiedearbeiten durchführen zu lassen. Ein ähnliches Projekt mit Koniks gibt es im Wöhrdener Loch (Meldorfer Speicherkoog, Schleswig-Holstein). Auch auf der Ostseeinsel Greifswalder Oie (Mecklenburg-Vorpommern) wurde gegen die zunehmende Verbuschung auf die Hilfe von Pferden zurückgegriffen. Die seit 1977 eingesetzten Shetland-Ponys wurden jedoch 2004 aufgrund von sich häufenden Krankheitsfällen und zunehmendem Betreuungsaufwand wieder zurück aufs Festland in andere Haltungsformen verbracht.

Im Naturentwicklungsgebiet Oostvaardersplassen (Provinz Flevoland, Niederlande) leben seit den 90er Jahren Koniks in Europas größter, sich selbst überlassener Pferdeherde, zusammen mit Heckrindern und Rothirschen. Sie sollen der Strukturierung des Landschaftsbildes dienen und schaffen durch ihr selektives Fressverhalten ökologische Nischen für andere Arten (WERNICKE u. VAN DIERENDONCK 2002). In Polen gibt es bei Popielno ein Waldschutzgebiet, in dem an ebenfalls freilebenden Koniks Verhaltensstudien durchgeführt werden (JEZIERSKI u. JAWORSKI 1995). Andere freilebende Pferdeherden gibt es außerdem in Rumänien und Frankreich (Carmargue-Pferde). Außerhalb Europas sind vor allem die verwilderten Hauspferdeherden in den USA (Mustangs) und Australien (Brumbys) bekannt. Studien über Hufform und Hufgesundheit bei australischen Wildpferden wurden insbesondere durch POLLITT und HAMPSON durchgeführt. Auch bei Garub im Südwesten Namibias existiert eine Herde verwilderter Pferde, die wahrscheinlich deutschen Ursprungs sind und dort seit über 80 Jahren ein selbst bestimmtes Leben unter den widrigen afrikanischen Umweltbedingungen führen.

2.2 DER HUF – DEFINITION UND BEGRIFFSBESTIMMUNG

2.2.1 Der Huf

Der Huf kann auf zwei verschiedene Weisen definiert werden. Im weiteren Sinn werden durch den Begriff die Hornkapsel und die von ihr eingeschlossenen Teile der distalen Gliedmaße bezeichnet (LEISERING u. HARTMANN 1876; BUDRAS u. RÖCK 2008). Vergleichend-anatomisch wurde für den modifizierten Hautüberzug am Zehenende und die zentralen Stützteile durch ZIETZSCHMANN (1918) auch die Bezeichnung „Zehenendorgan“ geprägt. Innerhalb der Hornkapsel befinden sich die im Hufgelenk artikulierenden Knochen Kron-, Huf- und Strahlbein, Hufknorpel, Bänder, Beuge- und Strecksehnen sowie die Bursa podotrochlearis (HABERMEHL 1996). In der weitgefassten Definition sind auch die von der Hufkapsel umschlossenen Gefäße, Nerven, Fettpolster und das Bindegewebe mit einbezogen (REILLY 1995; BUDRAS u. RÖCK 2008). Als „Huf“ im engerem Sinne ist nach BOAS (1881) und ZIETZSCHMANN (1918) nur die nach Mazeration vom Pferdefuß gelöste Hornkapsel zu betrachten, die auch als Hornschuh des Hufes oder Hufkapsel (Capsula unguiae) bezeichnet wird und dem verhornten Anteil der Epidermis entspricht (HABERMEHL 1996; PARKS 2003). BUDRAS und RÖCK (2008) bezeichnen in Übereinstimmung mit den NOMINA ANATOMICA VETERINARIA (2012) die gesamte modifizierte Haut über der Zehenspitze als Huf im engeren Sinn (homolog zum menschlichen Finger- bzw. Zehennagel).

Die Funktion des Hufes besteht zum einem im Schutz des distalen Gliedmaßenendes, zum anderen dient er als eine Art „Stoßdämpfer“ bei Füßen (ZIETZSCHMANN 1913) sowie der Kraftübertragung und Kraftumwandlung vom Hufbein auf die Hufplatte (MOELLER 1877; ZIEROLD 1910; PELLMANN et al. 1997). Durch seine Beschaffenheit ist er aber auch als wehrhafte Waffe bei innerartlichen oder artübergreifenden Kämpfen einsetzbar (ZIETZSCHMANN 1913). Im Laufe der Evolution hat der Wandel vom mehrstrahligen Zehengänger zum einstrahligen Zehenspitzenwandler außerdem einen erheblichen Beitrag zu der Entwicklung von Schnelligkeit und Beweglichkeit des Fluchttieres Pferd geliefert (SIMPSON 1977; POLLITT 1999).

2.2.2 Die Hufsegmente

Die Hufhaut stellt eine stark verhornte Modifikation des Integumentum commune (allgemeine Körperdecke) dar und besteht nach ZIETZSCHMANN (1913) wie dieses aus Subcutis (Unterhaut), Dermis (Lederhaut) und Epidermis (Oberhaut). Die unbehaarte Hufhaut ist bis auf wenige modifizierte Schweißdrüsen (Strahl-Ballendrüsen bzw. Glandulae tori) drüsenlos (BOLLIGER u. GEYER 1992; BUDRAS und RÖCK 2008).

Je nach ihrer Lokalisation sind die Schichten der Hufhaut unterschiedlich modifiziert, woraus eine Einteilung des Pferdehufes in fünf Segmente resultiert. Diese Segmente werden als Limbus (Saumsegment), Corona (Kronensegment), Paries (Wandsegment), Solea (Sohlensegment) und Torus bzw. Cuneus (Ballen-Strahl-Segment) bezeichnet (BOLLIGER u. GEYER 1992; BUDRAS u. RÖCK 2008). Ballen und Strahl werden von HABERMEHL (1996) als einzelne Segmente aufgefasst, während ZIETZSCHMANN (1913) bei beiden eine Zusammengehörigkeit erkennt und für diese vergleichend-anatomisch den Begriff „Zehenballen“ benutzt.

Eine Unterhaut ist im Saum- und Kronsegment als Saum- bzw. Kronwulst und im Strahl-Ballensegment als Ballen- bzw. Strahlpolster ausgebildet. Sowohl im Wand- als auch im Sohlensegment ist keine Unterhaut vorhanden, sie entspricht nach HABERMEHL (1996) dem Periost des Hufbeines. Das Periost fehlt jedoch an den parietalen Insertionsbereichen des Hufbeinträgers (BUDRAS et al. 1997). Vergleichend-anatomische Studien lassen auch den Schluss zu, dass es im Laufe der Evolution zu einer funktionsangepassten Unterhautverknöcherung im Wand- und Sohlensegment kam, bei welcher der subkutane Blutgefäßplexus zwischen apikaler Subcutis und Krallenbein knöchern eingeschlossen wurde (HIRSCHBERG et al. 2005).

Die Lederhaut stellt eine mechanisch feste Verbindung zwischen Epidermis und den darunter gelegenen Anteilen des Hufes her und sichert durch ihre starke Vaskularisation die Ernährung der darüber liegenden Epidermis (BOLLIGER u. GEYER 1992) sowie die sensible und sympatische Innervation (STUMP 1967). Sie bildet

in nahezu allen Segmenten oberflächenvergrößernde Lederhautzotten (Papillae dermales) aus, lediglich im Wandsegment werden primäre und sekundäre Lederhautblättchen (Lamellae dermales) geformt. Auf den Firsten der primären Blättchen werden jedoch zusätzlich proximal und distal Kappenpapillen gebildet. An ihrem distalen Ende setzen sich die Blättchen in Terminalpapillen fort (BUDRAS u. RÖCK 2008).

Die Struktur der Lederhaut gibt die Ausformung der segmentspezifischen Epidermis wie durch einen Prägestempel vor. Durch die von BAIER (1950) auch als epidermale Matrix bezeichnete basale Epithelzellschicht werden entweder Hornröhrchen (Tubuli corneales/epidermales) oder Wandhornblättchen (Lamellae corneales/epidermales parietis) gebildet. Die Wandhornblättchen werden ebenso wie das terminale Röhrchenhorn (Füllhorn) und die Kappenhornröhrchen erst bei einem Blick auf die Sohlenfläche (Facies solearis) als Weißer Linie (Zona alba) am Tragrand als Verbindungszone zwischen Wand- und Sohlensegment sichtbar (BOLLIGER 1991). Die Breite, Höhe und Zusammensetzung der weißen Linie variieren sehr stark in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation in der Semizirkumferenz des Hufes (VON ZADOW 2008).

Der Verhornungstyp der Epidermisschichten ist segmentspezifisch verschieden, im Saum-, Ballen- sowie in Teilen des Strahlsegmentes findet eine weiche Verhornung mit Ausbildung eines charakteristischen Stratum granulosum statt, während in den anderen Segmenten das Schema der harten Verhornung abläuft (LARSSON et al. 1956; BUCHER 1987). Form und Struktur der Hornzellmassen sind in den unterschiedlichen Segmenten nicht einheitlich, die hierdurch bedingten verschiedenen Horneigenschaften lassen auf eine segmentspezifische Funktion schließen (PELLMANN et al. 1993; PATAN u. BUDRAS 2003). Eine Übersichtstabelle für die Besonderheiten zur Differenzierung der einzelnen Hufsegmente findet sich im Anhang II (Tabelle 1).

2.2.3 Die Hufkapsel

Die Hufkapsel wird von Hornsohle, Hornballen, Hornstrahl und Hornplatte gebildet (WISSDORF et al. 1987). Abbildungen mit Benennungen der einzelnen Anteile der Hufkapsel gibt es reichlich in der Literatur (z.B. BUDRAS u. MÜLLING 2014), so dass hier auf grafische Darstellung bewusst verzichtet wird.

Die Hornsohle besteht aus einem konkav in Richtung Hufbein gewölbten Sohlenkörper (Corpus solea) sowie den beiden Sohlenschenkeln (Crura soleae) (BUDRAS u. RÖCK 2008). Diese flankieren den keilförmig in die Hornsohle hineinreichenden Hornstrahl. Die Spitze des Strahls (Apex cunei) zeigt zur Spitze des Hufes (STASHAK 1989). Die beiden Strahlschenkel (Crus cunei lateralis/medialis) sind durch die mittlere Strahlfurche (Sulcus cunealis centralis) voneinander abgegrenzt und werden durch die beiden seitlichen Strahlfurchen von den Eckstreben und der Sohle getrennt (KAINER 1989). Palmar bzw. plantar geht der Strahl in den Hornballen (Torus unguiae) über, der durch die Ballengrube (Fossa intratorica), eine Fortsetzung der mittleren Strahlfurche, in zwei Ballenwülste unterteilt ist (BUDRAS u. KÖNIG 1999).

Die verhornten Anteile der Saum-, Kron- und Wandepidermis bilden funktionell eine Einheit, die als Paries corneus (Hufplatte oder auch Huf- bzw. Hornwand) bezeichnet wird (NOMINA ANATOMICA VETERINARIA, 2012). Diese Hornschichten werden in Bezug auf die Hufplatte deshalb auch als Stratum externum (Eponychium), Stratum medium (Mesonychium) und Stratum internum (Hyponychium) benannt (BUDRAS u. RÖCK 2008). Funktionell stellt das Saumhorn hierbei eine dünne Glasurschicht, das Kronhorn eine relativ dicke, widerstandsfähige Schutzschicht und das Wandhorn die Verbindungsschicht mit der Wandlederhaut und dem Hufbein dar. Das Saumhorn zeigt zusätzlich nach BUDRAS et al. (2002) einen proximalen Saumhornkeil, welcher sich bei Feuchtigkeitssättigung aufwölbt, und überzieht als dünne Glasurschicht das Hufhorn meist bis nach distal zum Tragrand (BOLLIGER u. GEYER 1992). Es schützt durch seine hohe Wasseraufnahmekapazität das darunter liegende Kronhorn vor Austrocknung (PATAN u. BUDRAS 2003). Anderen Autoren zufolge soll das Saumhorn nur bis zu 2 cm distal des Kronrandes nachzuweisen sein (BRUHNKE 1931), sein distales Verschwinden wird vor allem dem Beraspeln beim Beschlag zugeschrieben (BUCHER 1987). Der größte und stabilste Anteil der Hufplatte, das Kronhorn, hat im Zehenbereich eine Dicke von etwa 10 mm, gegen palmar bzw. plantar wird es allmählich dünner, so dass die Stärke im

Trachtenbereich nur noch ca. 6 bis 8 mm beträgt (BOLLIGER u. GEYER 1992). HENKE (1997) erkennt in proximodistaler Richtung eine geringe Dickenzunahme aller Bereiche der Hufplatte.

Die Begrenzung der Hufplatte wird proximal am Übergang zur behaarten Haut durch den Margo coronalis (Kronrand) und distal durch den Margo solearis (Tragrand) gebildet. Der Kronrand verläuft von der Seite gesehen in einem gleichmäßig abfallendem Bogen von dorsoproximal nach palmar bzw. plantar und distal. Von vorne gesehen ist er symmetrisch sowie lateral und medial gleich hoch (KÖRBER 2006). Der Tragrand besteht nach KROON (1915) in Übereinstimmung mit BUDRAS und MÜLLING (2014) nicht nur aus dem Kronhorn sowie der weißen Linie sondern auch noch aus einem Anteil von angrenzendem Sohlenhorn (Margo soleae, Sohlenrand). Durch senkrecht in Hornröhrchenrichtung zum Boden verlaufende Linien teilen WISSDORF et al. (1987) die Hufplatte in 7 verschiedene Anteile ein: Pars dorsalis (Rücken-/Zehenteil), Pars lateralis/medialis (Seitenteile), Pars mobilis lateralis/medialis (Trachtenteile) und Pars inflexa lateralis/medialis (Eckstrebenanteile). Die Eckstrebenanteile sind nach innen abgebogene Hornplattenränder und erstrecken sich ungefähr bis zur Mitte des Hornstrahls (STUMP 1967). Die proximodistale Verbindungslinie zwischen Trachten- und Eckstrebenanteil jeder Seite heißt Margo plantaris/palmaris (Eckstrebenrand), an der Sohlenfläche wird durch die beiden Anteile der Angulus parietis palmaris/plantar lateralis/medialis (Eckstrebenwinkel) gebildet (NOMINA ANATOMICA VETERINARIA 2012).

2.2.4 Die Hufform

Der Huf ist sowohl in seiner Größe als auch in seiner Form kein statisches Gebilde. Krafteinwirkungen auf die Hufwand verändern ihn fortlaufend. Trotzdem wurden schon zu früher Zeit (z.B. BOURGELAT 1813) lineare und goniometrische Messungen am Huf durchgeführt, um physiologische Bereiche zu definieren und pathologische Abweichungen schneller erkennen zu können (KÖRBER 2006).

Während STASHAK (1989) den regelmäßigen Pferdehuf im funktionellen Zusammenhang mit seiner gleichmäßigen Belastung definiert (beidseitige Bodenflächen sollen beim Fußen gleichzeitig und plan aufgesetzt werden, Huf soll in Stützbeinphase gleichmäßig belastet sein), stellt KÖRBER (2006) formale Kriterien für einen regelmäßig geformten Huf auf (siehe Anhang II, Tabelle 2). Die größte Stärke der Hufwand ist im Bereich der Zehenspitze, in Richtung der Trachten hin verjüngt sie sich (STASHAK 1989). Die Sohle soll auf hartem Boden keinen Dauerkontakt mit dem Untergrund haben und weist eine mäßig konkave Form auf, welche die Kapazität zum Gewichtstragen steigern soll (HOOD 1999).

Der regelmäßige Vorderhuf sollte an der Zehenwand einen kreisrunden Tragerand besitzen (KÖRBER 2006) und einen breit ausgebildeten Trachtenbereich haben (STASHAK 1989). Er ist nach KÖRBER (2006) im Durchschnitt 7 cm hoch. Der Hinterhuf in seiner regelmäßigen Form stellt sich mit einem Durchschnittswert von 7,5 cm höher und enger als Huf der Vordergliedmaße dar (KÖRBER 2006). Die Form der Sohlenfläche ist mehr längsoval mit entsprechend eiförmigem Tragrand. Auch bei Przewalskipferden stellt sich der Hinterhuf mehr oval, aber insgesamt kleiner dar als der Vorderhuf und ist (im Gegensatz zur Darstellung von KÖRBER [2006]) in seiner Zehenrückenlänge durchschnittlich etwas kürzer (SCHNITKER 2004). Die Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhuf begründen sich in den unterschiedlichen Druckverteilungen auf die Hufe durch das gegebene Exterieur der Pferde (KÖRBER 2006). So besitzen neugeborene Fohlen vorne und hinten annähernd die gleiche Hufform, welche sich erst mit der unterschiedlichen Belastung durch das Aufußen ändert (KÖRBER 2006).

Größtenteils übereinstimmend in der Literatur beschrieben, ist die Winkelung der Hufplatte zur Fußungsfläche des Hufes am Hinterhuf steiler als am Vorderhuf. Außerdem unterscheidet sie sich auch innerhalb der einzelnen Bereiche am Huf. Der jeweils flachste Winkel zum Untergrund befindet sich am Rückenteil, in Richtung der Trachten hin wird die Winkelung steiler, wobei die Steigerung in die mediale Richtung nach Meinung der meisten Autoren noch ausgeprägter ist als in die laterale. Die stärkste Winkelung findet sich am Eckstrebenwinkel. Die mediale Steilstellung der Hufwand im Vergleich zur lateralen Seite führt STASHAK

(1989) auf die vergleichsweise stärkeren Kompressionskräfte der medialen Gliedmaße zurück. Wenn zudem in der Bewegung die mediale Trachten- und Seitenwand vor der lateralen Seite mit dem Boden in Kontakt kommt, entwickelt die mediale Seite eine steilere Stellung in gleichzeitigem Zusammenhang mit einer Vorwölbung auf der lateralen Seite (STASHAK 1989). Eine Übersicht über die physiologischen Werte der Winkel an Vorder- und Hinterhufen in den verschiedenen Bereichen findet sich in der Arbeit von WISSDORF et al. (1987) (siehe Anhang II, Tabelle 3). Die Angaben über absolute Messwerte des dorsalen Zehenwinkels an den Hufen variieren bei verschiedenen Autoren (siehe Anhang II, Tabelle 4). Es werden Formunterschiede bei verschiedenen Rassen- und Altersgruppen beschrieben (LEU 1987; PRIETZ u. SCHREYER 1999). Die oft steilere Vorderwandwinkelung bis über 55° bei Wildpferden (amerikanischer Mustang) wie von HUGELSHOFER (2001) darstellt, wurde in der Arbeit von SCHNITKER (2004) bei den wilden Przewalskipferden nicht gefunden. Dafür wurde bei diesen Pferden eine Saisonalität der Hufform nachgewiesen, bei der es besonders im Frühjahr zu spitzwinkligen Hufen kommt, deren Vorderwandwinkel im Verlauf der Sommermonate wieder stumpfer wird (SCHNITKER 2004). Über die absoluten Winkelwerte der Seitenwände liegen ähnlich unterschiedliche Angaben wie für den Zehenwinkel vor (siehe Anhang II, Tabelle 5). Sie schwanken je nach Autor, Pferderasse und Messmethode größtenteils in einem Bereich zwischen 70° und 83°. Die Trachtenwinkelung findet vergleichsweise wenig Beachtung in der Literatur. Da sich jedoch die meisten Autoren darüber einig sind, dass Zehenrückenwand und Trachtenwand parallel verlaufen (HÜNI, 1883; PRIETZ, 1986, KÖRBER, 2006) lässt sich die Winkelung der Trachtenwände zur Fußungsfläche vom ermittelten dorsalen Zehenwinkel ableiten. Zeigen die Trachten eine stärkere Neigung zur Horizontalebene als die Zehenwand, spricht man von „untergeschobenen Trachten“, was besonders bei spitzen Hufformen zu beobachten ist (KÖRBER 2006). Dieses kann ein Zeichen von pathologischen Vorgängen sein, kommt aber auch bei 52 % von ansonsten normalen Hufen vor (TURNER und STORCK 1989).

Ähnlich der Winkelmaße differieren auch die in der Literatur beschriebenen Längenparameter am Huf. Wie schon FISCHER (1933) formulierte, nimmt die Wandlänge von der Zehe bis zur Umbiegungsstelle allmählich ab, was an den Vorderhufen noch deutlicher als an den Hinterhufen ausgeprägt ist. Die verschiedenen Längenangaben regelmäßiger, gesunder Hufe begründen sich in Unterschieden in Rasse, Alter, Gebrauch und Gliedmaßenstellung der Pferde (FISCHER 1933). Als gängige Längenparameter sind die Hufrückenlänge (gemessen vom vordersten Punkt des Kronrandes bis zum vordersten Punkt des Tragrandes), die mediale und laterale Seitenwandlänge (gemessen jeweils vom weitesten medialen bzw. lateralen Kronrandpunkt am Haaransatz bis zum entsprechend weitesten Punkt des Tragrandes) sowie die mediale und laterale Trachtenwandlänge (zwischen palmaren/plataren medialen bzw. lateralen Punkt des Kronrandes und der gleichseitigen Eckstrebenkante) beschrieben. Erste Werte für Warmblutpferde an Vorder- und Hinterhufen lassen sich bei MEIER (1917) finden, der die Zehenrückenlänge mit 9,16 cm, die laterale bzw. mediale Seitenwandlänge mit 7,4 cm bzw. 7,2 cm und die laterale bzw. mediale Trachtenwandlänge mit 3,1 cm bzw. 3,3 cm angibt. Bei VOGT (1938) finden sich für den regelmäßigen Huf noch höhere Werte (Hufrückenlänge Vorderhuf 10 cm bzw. Hinterhuf 11 cm, Trachtenwandlänge 4 cm). Weist ein Pferd untergeschobene Trachten auf, so ist die Trachtenwandlänge höher, als es bei einer Parallelität von Trachten- zu Zehenwand der Fall wäre (absolute und relative Trachtenwandlänge, beschrieben bei VOGT [1938]). Aus den gemessenen Längenparametern ergeben sich Längenverhältnisse von Zehen- zur Seiten- und zur Trachtenwand, die für den regelmäßigen Vorderhuf von KÖRBER (2006) mit 3:2:1 angegeben werden. Die meisten Autoren beschränken die Angabe der Längenverhältnisse jedoch auf das Verhältnis von Hufrückenwand zu Trachtenwand und machen hierbei einen Unterschied zwischen Vorder- und Hinterhufen deutlich. Über die Vielfältigkeit der Literaturangaben gibt Tabelle 6 im Anhang II Auskunft.

Als weitere Messwerte am Huf lassen sich Kron- und Tragranddurchmesser sowie Kron- und Tragrandumfang bestimmen. Auch diese Werte charakterisieren die Hufgröße und sind anscheinend rasseabhängig verschieden. Es treten hierbei Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhufen auf, was auf die ovalere Form

der Hinterhufe zurückzuführen ist. Einen exemplarischen Überblick über die Hufdurchmesser und -umfänge verschiedener Pferderassen gibt Tabelle 7 im Anhang II.

2.3 DAS KRONSEGMENT – AUFBAU UND STRUKTUR

2.3.1 Tela subcutanea ungulae (Unterhaut)

Im Kronsegment bildet die Unterhaut ein deutliches Unterhautpolster (Pulvinus coronae) aus, das sich gegen die darüberliegende Kronlederhaut vorwölbt. Dieses wird am ausgeschuhten Huf als 7-8 mm dicker Kronwulst sichtbar (BUDRAS u. RÖCK 2008). Durch eine proximal davon verlaufende, semizirkuläre Furche, dem Saumfalz, erfolgt die Abgrenzung zum benachbarten Saumsegment. FINDEISEN (1922) findet im Seitenteil eine kräftiger ausgeprägte Subcutis, die hier mit durchschnittlich 0,85 mm wesentlich dicker ist als im Trachtenteil (0,3 mm). Das Unterhautgewebe besteht vorwiegend aus einem Netzwerk kollagener und elastischer Fasern sowie Fettzellen. Außerdem sind Gefäße, Nerven und einige Tastkörperchen enthalten (BUDRAS u. RÖCK 2008). Die abführenden Gefäße bilden im Unterhautpolster einen Venenplexus aus (GREYER 1911; PARKS 2003).

2.3.2 Dermis ungulae (Lederhaut)

Die Lederhaut des Kronsegmentes weist durch die unterlagernde Subcutis eine Konvexwölbung auf (SCHNEIDER 1910) und besitzt im Zehenrückenteil beim Hauspferd eine proximodistale Ausdehnung von 12-15 mm (ZIEGLER 1951; BUCHER 1987) bzw. 16-20 mm (NÖRNER 1886). Die beim Przewalskipferd von PATAN (2001) bestimmten Werte von 15-19 mm liegen innerhalb der Schwankungsbreite dieser Angaben. Zu den Seiten- und Trachtenteilen hin nimmt die Ausdehnung allmählich ab (BUCHER 1987). In Analogie zum Integumentum commune erfolgt eine zweischichtige Einteilung in das der Epidermis zugewandten Stratum papillare und das an die Subcutis grenzende Stratum reticulare, welches aufgrund seiner starken Vaskularisation am Huf auch Stratum vasculosum genannt wird (NÖRNER 1886; SCHNEIDER 1910).

Das Stratum reticulare besteht hauptsächlich aus fibrillärem Bindegewebe, das in Bündeln und Strängen bis 0,6 mm Dicke irregulär als dichtgeflochtenes Netz angeordnet ist. Außerdem sind auch elastische Fasern und, vor allem im distalen Drittel der Kronlederhaut, einige Fettzellinseln zu finden (FINDEISEN 1922). Darin eingebettet sind viele dickwandige Arterien und Venen, die durchgehend dünnwandig sowie klappenlos sein sollen und zur Bildung von Anastomosen neigen (SCHNEIDER 1910). Des Weiteren finden sich im Stratum reticulare Nervenverzweigungen, die Äste in das Stratum papillare entsenden, sowie wenige Lymphgefäße (FINDEISEN 1922). Das Stratum papillare besteht im Kronsegment aus kegelförmigen, sich nach abwärts hin verjüngenden Papillen (Zotten) mit abgerundetem oder auch spitzem Ende und wird in seiner Gesamtheit auch als Corpus papillare (Papillarkörper) bezeichnet (NÖRNER 1886; SCHNEIDER 1910). Die Zotten sind nach distal ausgerichtet (BUCHER 1987) und stehen dicht gedrängt (NÖRNER 1886; KÖNIG 2001).

Die Abgrenzung zum proximal gelegenen Saumsegment erfolgt durch eine schmale Zone mit wenigen, besonders feinen und im Vergleich zur Saumlederhaut deutlich kürzeren Zotten (Saumfalz) (BUCHER 1987). Aus dem distal gelegenen Wandsegment gehen die Papillen aus reihenförmig angeordneten Lederhautleisten hervor (PELLMANN 1995). Nach palmar bzw. plantar gehen die Terminalpapillen der Wandlederhaut-Blättchen ohne sichtbare Grenze in die Papillen der Sohlenlederhaut über (BUCHER 1987). Die Papillen bestehen aus feinem, fibrillärem Bindegewebe, welches eine unregelmäßige Verteilung zeigt und in das Gefäße und Nerven (FINDEISEN 1922), jedoch keine Fettzellen (SCHNEIDER 1910) eingelagert sind.

Eine gute Vaskularisation der Zotten ist nötig, um die Versorgung der gefäßfreien Epidermis zu gewährleisten. Sie erfolgt durch an der Basis der Zotten abzweigende Gefäße aus dem Stratum reticulare. In jede Papille zieht zentral eine Arterie hinein (NÖRNER 1886), die von POLLITT und MOLYNEUX (1990) als Axialarterie benannt wird und von einer Vene begleitet wird. Die beiden Autoren erkennen eine spiralförmige Win-

zung der beiden Gefäße umeinander, während NASU et al. (1998) eine parallele Anordnung beschreiben. Die Axialarterie entlässt ein Netzwerk aus oft geschlängelt verlaufenden Kapillaren, welche die beiden zentralen Gefäße wie ein Mantel umgeben (SCHUMMER 1949) und die nach NÖRNER (1886) in Nähe der epidermalen Grenzschicht ein wenig anschwellen. Papillenarterie und -vene werden durch zahlreiche arteriovenöse Anastomosen miteinander verbunden. Die Anastomosen sind besonders stark an der Papillenbasis und damit vor Eintritt in das Kapillarnetz ausgeprägt (NASU et al. 1998), kleinere und kürzere Verbindungen sind aber auch im proximalen Papillendrittel zu finden (POLLITT u. MOLYNEUX 1990). Die Anastomosen sind nach POLLITT (1999) durch periodische Öffnung bei kalten Temperaturen an der Thermoregulation des Hufes beteiligt und regulieren die kapilläre Durchblutung der Papillenperipherie (NICKEL 1941; HIRSCHBERG et al. 2001).

In Begleitung der zentralen Gefäße ziehen Nervenfasern in die Papille, die im oberen Zottenabschnitt meist geschlängelt verlaufen (NÖRNER 1886) und dicht unter der Epidermis oft kolbenartig anschwellen (SCHNEIDER 1910). Außerdem finden sich in der Papille noch Lymphgefäße (FINDEISEN 1922).

Die Länge der dermalen Papillen im Kronsegment wird von unterschiedlichen Autoren mit einer Spannweite von 2 bis 8 mm angegeben (KUNSIEN 1882; STUMP 1967; FINDEISEN 1922; LEISERING u. HARTMANN 1876; NÖRNER 1886). ZIMMERMANN (1903) unterscheidet bei der Längenangabe die Papillen des Rückenteils (4-5 mm) von den Papillen des Seiten- und Trachtenteils (2,5-4 mm). Für auf den Papillen verlaufenden Längsleisten, welche nach distal hin auslaufen, führte KUNSIEN (1882) den Begriff „Kannelierung“ ein. Diese kann rings um die Papille, manchmal jedoch nur an bestimmten Stellen ausgeprägt sein (NÖRNER 1886). Die Leisten weisen eine Höhe von 30-50 µm sowie einen Abstand von 10-40 µm auf (KÖNIG 2001). Daneben berichtet SCHNEIDER (1910) in Übereinstimmung mit NÖRNER (1886) und KÖNIG (2001) von Sekundärzöttchen sowie zahlreichen kleineren Nebenpapillen, die vor allem an der Papillenbasis sowie im interpapillären Raum vorkommen und schwächer kanneliert sind. Neben der Oberflächenvergrößerung durch Kannelierung und Neben- bzw. Sekundärpapillen ist, wie auch im Sohlen- und Ballen-Strahl-Segment (FROHNES 1999), das Vorhandensein von longitudinalen Mikroleisten auf den Kronpapillen nachgewiesen. Ihre Höhe wird mit etwa 5 µm angegeben (KÖNIG 2001). Beim Przewalskipferd kommen außerdem netzartige und ringförmige Mikroleisten vor (PATAN 2001). Die Mikroleisten stellen ein einheitliches Bauprinzip zur Oberflächenvergrößerung dar (MÜLLING 1993) und verankern die Epidermiszellen durch wulstförmige Verdickungen der Mikroleistenfirste (HASHIMOTO 1971a). Die beschriebene Zergliederung der dermalen Oberfläche kommt durch epidermale Zytoplasmafortsätze der Basalschicht (Wurzelfüßchen) zustande (HASHIMOTO 1971a; DIRKS 1985). Diese sind Orte der regen Stoffaufnahme (MÜLLING 1993), was besonders in Bereichen mit hoher Hornbildungsrate von Bedeutung ist.

Aufgrund struktureller Unterschiede bei den Papillen innerhalb der Krondermis erfolgte durch SCHNEIDER (1910) eine Einteilung in etwa 3 gleich große Zonen, die auch von PATAN (2001) beim Przewalskipferd angewendet wurde. Die äußere Zone schließt sich an die Dermis des Saumsegmentes an. Die Lederhautzotten sitzen in einem leicht schrägen Winkel dem Stratum reticulare auf und knicken kurz unterhalb der Basis nach distal ab (KÖNIG 2001). Die gesamte Zottenlänge wird durch LUNGWITZ und SCHNEIDER (1910) mit 1-1,5 mm angegeben. PATAN (2001) ermittelte beim Przewalskipferd eine Zottenlänge von 4-7 mm, die jedoch in Richtung Saumsegment auf 1,5-4 mm abnimmt. Die Papillen der mittleren Zone stehen etwas weiter auseinander und sind vorwiegend rundlich (SCHNEIDER 1910). Beim Przewalskipferd sind diese Zotten oval mit oberflächenparalleler Ausrichtung und weisen eine Länge von 5-8 mm auf (PATAN 2001). Die proximal der Wandlederhaut gelegen innere Zone weist längliche, zum Teil auch spindelförmige Papillenquerschnitte auf (SCHNEIDER 1910). Hier finden sich die stärksten Papillen, die auch einen größeren Abstand zueinander aufweisen (SCHNEIDER 1910) und bis zu 10 mm (BUDRAS u. RÖCK 2004) bzw. beim Przewalskipferd bis zu 8 mm (PATAN 2001) lang werden können. Die Zotten entspringen nahezu rechtwinklig aus der Lederhautoberfläche und weisen im Vergleich zur äußeren und mittleren Zone eine sehr deutliche

Kannelierung und Besetzung mit Mikroleisten auf (KÖNIG 2001). Die Anordnung der Papillen ist hier ebenso wie in den anderen Zonen unregelmäßig, lediglich die innersten ordnen sich zu Reihen an (LUNGWITZ u. SCHNEIDER 1910). Gegen das Wandsegment wachsen diese Zotten dann zu kleinen Leisten zusammen, die kontinuierlich in die Wandblättchen übergehen (BUCHER 1987; PATAN 2001).

2.3.3 Basalmembran

Die dermoepidermale Grenze wird durch eine Basalmembran gebildet. Diese dient der mechanischen Anheftung der Epidermiszellen und als selektive Permeabilitätsbarriere für bestimmte Moleküle, stellt aber auch einen bedeutenden Ausgangspunkt für pathologische Veränderungen dar, wie z.B. im Initialstadium der Hufrehe (MONTEIRO-RIVIERE et al. 1993). Die Basalmembran im Kronsegment verläuft leicht gewellt (KÖNIG 2001). Ihre Oberfläche ist in zahlreiche längsverlaufende Leisten gefaltet und formt dazwischen sich verzweigende, netzartige Strukturen aus (POLLITT 1994). Damit folgt sie in ihrer Oberflächenausprägung dem Relief der Dermis. Die Basalmembran ist als ein Netzwerk aus Kollagen und verschiedenen Glycoproteinen aufzufassen (INOUE 1989), deren hauptsächliche Bestandteile Kollagen Typ IV und VII sowie Laminin sind (POLLITT 1994). Sie ist dreischichtig aufgebaut und besteht aus einer an die epidermale Plasmamembran anschließende Lamina lucida, einer Lamina densa (beide werden zusammen auch als Basallamina bezeichnet) und einer Pars fibroreticularis (POLLITT 1994). Im Wandsegment ist an der Spitze der sekundären dermalen Lamellen teilweise auch eine doppelte Basalmembran mit zentraler Lamina densa und seitlichen Laminae lucidae ausgebildet (POLLITT 1994). Dieses wird als Ausdruck starker Festigkeit gewertet (siehe Kapitel 2.7.1).

2.3.4 Epidermis unguulae

2.3.4.1 Allgemeiner Aufbau der Epidermis

Die Architektur der Epidermis ist stets durch die Ausbildung des Papillarkörpers der Dermis vorgegeben (WEYRAUCH u. SMOLLICH 1998). Die Epidermis besteht aus mehrschichtigem, verhorntem Plattenepithel, ihre Dicke weist regionale Unterschiede auf und korreliert mit der mechanischen Beanspruchung (WEYRAUCH u. SMOLLICH 1998). Nach LEONHARDT (1990) befinden sich neben den verhornenden Epithelzellen (Keratinocyten) auch noch Melanozyten, Langerhanszellen und Merkel'sche Tastscheiben in der Epidermis. Es lassen sich bis zu fünf Epithelschichten aus morphologisch verschiedenen Zellen unterscheiden, die im Grad ihrer Ausbildung je nach Lokalisation differieren (LIEBICH 1999):

Stratum basale (Basalzellschicht)	}	Stratum profundum
Stratum spinosum (Stachelzellschicht)		
Stratum granulosum (Körnerschicht)		
Stratum lucidum (Glanzzellschicht)		
Stratum corneum (Hornzellschicht)	}	Stratum superficiale

Stratum basale und Stratum spinosum werden zusammen auch als Stratum germinativum bezeichnet, da sie für den ständigen Zellnachschub zur Bildung von Hornsubstanz verantwortlich sind (LEONHARDT 1990; BOLLIGER u. GEYER 1992). Das Stratum basale besteht aus einer Lage hochprismatischer Zellen, die über Hemidesmosomen mit fingerförmigen Zellfortsätzen fest mit der Basalmembran in Verbindung stehen (LIEBICH 1999). Nach ANTHAUER (1996) stellen sich diese Zellen im Kronhorn palisadenartig dicht aneinandergedrängt dar, mit großem, längsovalen Zellkern, der häufig am oberen Zellpol liegt. Besonders im inneren und mittleren Kronhornbereich wurde auch vom Auftreten sogenannter Suprabasalzellen berichtet, die den Basalzellen optisch ähneln, aber in ihrer Orientierung bereits senkrecht zu ihnen gerichtet sind (LEACH 1993). Die fortwährende mitotische Zellreproduktion im Stratum basale gewährleistet den Zellnachschub (DEMOULIN 1923; ELIAS u. FRIEND 1975). Dabei bleibt eine Tochterzelle mitotisch im Stratum basale aktiv,

während die andere spezifische Differenzierungsprozesse in den folgenden Strata durchläuft, um schließlich an der Grenze zum Stratum corneum als Hornzelle programmiert abzusterben (BUDRAS u. RÖCK 2008).

Das Stratum spinosum besteht meist aus isoprismatischen, polygonalen Zellen, die zahlreiche Zellverbindungen über zytoplasmatische Ausläufer miteinander eingehen und an ihren Enden durch Desmosomen fest verbunden sind (LIEBICH 1999). Im Kronhorn ist es mehrlagig ausgebildet (BUCHER 1987). Dabei sind die unteren Zelllagen von länglich-ovaler Gestalt und ähnlicher Größe wie die Basalzellen (ANTHAUER 1996). Die mittleren Zelllagen weisen 3- bis 4-mal so große Zellen auf, die polygonal ausgeformt sind und in ihrem Zelleib ungeordnet vorliegende Keratinfilamentbündel aufweisen. Die Zellen im oberen Drittel des Stratum spinosum sind polyedrisch geformt mit spitz zulaufenden Zellenden und fester Verzahnung untereinander. Hier liegen die Keratinfilamentbündel dicht gepackt nebeneinander vor und nehmen fast die gesamte Zelle ein (LEACH 1993; ANTHAUER 1996).

Im Stratum granulosum beginnt der Verhornungsprozess, erkennbar an einer beginnenden Degeneration von Kernen und Zellorganellen sowie vermehrter Einlagerung von basophilen, histidinreichen Keratohyalin granula (LIEBICH 1999), als Vorläufer der Hornzellsubstanz Keratin (LEONHARDT 1990). Das Stratum lucidum stellt sich schmal dar und ist oft nur in einer hohen Epidermis durchgehend sichtbar (LEONHARDT 1990). Aufgrund des speziellen Verhornungstyps im Kronsegment (siehe Kapitel 2.4.1) ist in diesem (wie auch in der Wand-, Sohlen- und Strahlepidermis) unter Umgehung der Strata granulosum und lucidum nur das Stratum corneum ausgeprägt (LARSSON et al. 1956; PARKS 2003). Die Verhornungsgrenze an der Krone liegt nach HAASE (1919) im Zehenbereich 2 – 3 mm vom Corium entfernt, in Richtung Trachten ist dieser Abstand geringer. Den kernlosen Hornzellen im Stratum corneum fehlen die typischen Zellorganellen, sie weisen eine auffallend verdickte Zellwand auf (LIEBICH 1999). Die dort vorhandenen Keratinfilamente sind eingebettet in eine amorphe Matrix (ELIAS u. FRIEND 1975; BRAGULLA u. HOMBERGER 2009). Hornzellen und -substanzen verbacken zu Platten, die schließlich als Hornschuppen abgestoßen werden (LEONHARDT 1990).

2.3.4.2 Architektur des Hornzellverbandes

Der Hornzellverband im Stratum corneum ist als Röhrenhorn ausgebildet, das aus Hornröhrchen (bestehend aus Rinde und Mark) und dazwischenliegendem Zwischenröhrenhorn besteht (GROSSBAUER u. HABACHER 1923; NICKEL 1938). Die Hornröhrchen verlaufen gerade und parallel, sie setzen sich aus dem zentral gelegenen Mark und der peripheren Röhrenrinde zusammen (BRUHNKE 1931) und verlaufen kontinuierlich proximodistal vom Kronrand zum Tragrand (POLLITT 1999). Diese Architektur wird bedingt durch den dermalen Papillarkörper: Suprapapillär entsteht das Röhrenmark, während peripapillär die Rinde und interpapillär das Zwischenröhrenhorn gebildet wird (SCHNEIDER 1910; ZIETZSCHMANN 1918). Aufgrund einer unterschiedlichen Hornröhrenmorphologie (bedingt durch die dermalen Papillen) wird das Kronhorn sowohl beim Hauspferd als auch bei Wildequiden in drei Zonen eingeteilt (TSCHERNE 1910; BOLLIGER u. GEYER 1992; PATAN 2001). BOLLIGER und GEYER (1992) geben an, dass sich beim Dünnerwerden der Hornwand an der Seiten- und Trachtenwand vor allem die Dicke der Mittel- und Außenzone verringert, während die Innenzone ein weitgehend konstantes Maß behält.

Die Querschnittsfläche der Hornröhrchen nimmt von der äußeren Kronhornzone zur inneren Kronhornzone zu (PATAN 2001; KÖNIG 2001), während die Röhrendichte von außen nach innen abnimmt (POLLITT 1998). Auch in den physikalischen Eigenschaften unterscheiden sich die Kronhornzonen. So nimmt von außen nach innen die Hornhärte ab, während das Wasseraufnahmevermögen ansteigt (PATAN u. BUDRAS 2003). Die Elastizität und der Feuchtigkeitsgehalt des Hornes steigt ebenfalls von außen nach innen an (KÖNIG 2001). Eine Gegenüberstellung der drei Kronhornzonen in ihrer Histometrie aus verschiedenen Literaturangaben findet sich in Tabelle 8 im Anhang II.

Die äußere Kronhornzone ist vor allem durch ovale, abgeflachte, ellipsoide Röhren mit platten, länglichen Zellen, deren maximaler Durchmesser oft parallel zur Hornoberfläche liegt, gekennzeichnet (BUCHER 1987;

BOLLIGER u. GEYER 1992; ANTHAUER 1996). In der mittleren Kronhornzone finden sich größere, rundlichere Röhrrchen als in der Außenzone (ANTHAUER 1996), mit einem runden bis maximal querovalen Durchmesser (TSCHERNE 1910). Die inneren Kronhornzone weist vor allem große Röhrrchen mit rundem Durchmesser und engem Markraum auf (BOLLIGER 1991; ANTHAUER 1996). Im Grenzbereich zum mittleren Kronhorn finden sich nach SCHMITT (1998) entlang der Zellgrenzen Mikrorisse, die häufig am Übergang vom Röhrrchen- zum Zwischenröhrrchenhorn lokalisiert sind. Eine Besonderheit im inneren Kronhorn ist die Reihenbildung der Hornröhrrchen, die beim Hauspferd deutlich im Seiten- und im Trachtenteil zu erkennen ist, während im Rückenteil eine meist unregelmäßige Verteilung der Hornröhrrchen auftritt (TSCHERNE 1910; BUCHER 1987). Die Anordnung der Reihen erfolgt in einer Verlängerungslinie der Blättchen des Wandsegmentes und soll die Widerstandskraft des Hornes verstärken und seine Elastizität fördern (KROON u. DEMOULIN 1922). Außerdem trägt die Kronepidermis im Grenzbereich zum Wandsegment auch zur Bildung der Hornblättchen bei (ZIEGLER 1951; BUDRAS u. PREUSS 1979). In diesem Verbindungshorn zwischen Wand- und Kronsegment entsteht im Wandsegment die lateroapikale Hülle des Blättchens, während das Kronsegment den basozentralen Blättchenkern bildet (BUDRAS u. PREUSS 1979).

Die Architektur als Röhrrchenhorn stellt bei geringem Materialaufwand eine sehr belastungsfähige Konstruktion dar (BUCHER 1987) und ist auf eine überwiegende Beanspruchung auf Druck differenziert (BUDRAS u. HUSKAMP 1995). Der Zug des Hufbeinträgers (siehe Kapitel 2.7.1) wird vom inneren Zwischenröhrrchenhorn übernommen, auf die gesamte Hufplatte verteilt und auf die festen äußeren Anteile des Kronhorns übertragen (BUDRAS u. HUSKAMP 1999; PELLMANN et al. 1997). Die äußeren Hornröhrrchen können dann den Druck wie Hohlzylinder aufnehmen. Das innere Kronhorn dient dabei der Abfederung der Kräfte beim Aufpußen, die äußeren Kronhornzonen haben auch eine Schutzfunktion der inneren Hufanteile gegen horizontal eintreffende Kräfte (KÖNIG 2001).

2.3.4.3 Röhrrchenhorn

Die Rinden- und Markzellen der Hornröhrrchen im Kronhorns weisen je nach Zone, Lage und Alter eine unterschiedliche Form und Zytoarchitektur auf (NICKEL 1938; WILKENS 1963; BOLLIGER u. GEYER 1992).

2.3.4.3.1 Röhrrchenrinde

Die Anordnung der Zellen und die Ausrichtung der in ihnen enthaltenen Fibrillen in der Röhrrchenrinde veranlasste einige Autoren, eine Unterteilung in verschiedene Röhrrchentypen vorzunehmen. Ausführliche Arbeiten darüber führte NICKEL (1938) durch. Er unterscheidet zwei Röhrrchentypen, die er als vorwiegend steilspiralig bzw. als vorwiegend flachspiralig gewickelt bezeichnet. WILKENS (1963) erkannte dahingegen drei Röhrrchentypen, was später von mehreren Autoren (BUCHER 1987; BOLLIGER 1991) bestätigt wurde. Die Tonofibrillen in den Rindenzellen verlaufen in alle Richtungen und sind trajektorieell ausgerichtet. Bei besonders dichtem Zellgefüge gibt es demnach Zonen in der Hornröhrrchenwand, in denen ein überwiegend steiler oder ein überwiegend flacher Tonofibrillenverlauf besteht. Zusätzlich wurden Röhrrchen beschrieben, deren Rinde nur aus abgeplatteten Zellen, ohne auffällige Verlängerung in eine Richtung, besteht (WILKENS 1963). Eine Übersicht über die Röhrrchentypen gibt Tabelle 9 in Anhang II.

Im Kronsegment des Przewalskipferdes besteht die Röhrrchenrinde aus einem inneren und einem äußeren Anteil, welche klar voneinander abgrenzbar sind (PATAN 2001). ANTHAUER (1996) kann im Kronsegment in den einzelnen Zonen unterschiedliche Rindenzellen finden. So sind im äußeren Kronhorn die länglichen Rindenzellen zwiebelschalenartig um das Mark herum gewickelt, während im mittleren Kronhorn die Zellen auch eine polygonale Form annehmen können und zirkulär um das Mark angeordnet liegen. Nach ANTHAUER (1996) sind die Rindenzellen in der inneren Kronhornzone polygonal bis spindelförmig und mit ihrer Längsachse quer zur Röhrrchenlängsachse ausgerichtet.

2.3.4.3.2 Röhrenmark

Das Röhrenmark stellt eine Masse aus locker aufeinanderliegenden, nicht vollständig verhornten Zellen sowie deren Zerfallsmassen dar (FISCHER, 1933). Im weit proximalen Bereich der Hufkapsel ragen die Lederhautpapillen über eine kurze Distanz in den Markraum hinein (BRUHNKE 1931; CALHOUN u. STINSON 1981). Die Markzellen sind deutlich marmoriert und besitzen eine aufgelockerte Zytoarchitektur mit vereinzelt paraplastischen Einschlüssen und strichförmigen Zellkernresten (ANTHAUER 1996). Die enthaltenen Keratinfilamente sind unregelmäßig angeordnet (PELLMANN et al. 1993; FROHNES 1999). In einiger Entfernung von der Papillenspitze erfolgt eine Umwandlung der Markzellen, die schon von LEISERING und HARTMANN (1876) als „fettige Degeneration“ bezeichnet wurde. Neueren Untersuchungen (BOLLIGER 1991) zufolge gibt es im Röhrenmark Lipide, die wahrscheinlich aus der Zellmembran zerfallener Markzellen stammen. Des Weiteren besitzen die Markzellen einige paraplastische Glykogeneinschlüsse (BUDRAS u. SCHIEL 1996) sowie vermehrt Glykoproteine (BOLLIGER 1991).

Der Zerfall der Markzellen setzt im Kronhorn in den oberen Lagen des Stratum corneum ein (ANTHAUER 1996). Der durch die ständige Neubildung von Hornzellen ausgelöste Distalschub der Markzellen lässt diese sich schnell von der ernährenden Dermis entfernen und führt dadurch zu einer Zellschrumpfung und Atrophie (BOLLIGER u. GEYER 1992). Mit zunehmender Hornalterung werden die Zellgrenzen der Markzellen undeutlicher (PATAN 2001). Ein hoher Enzymgehalt im Interzellularkitt zwischen den Markzellen bewirkt letztendlich den Zerfall und das Herausbröckeln der Zellmassen (ANTHAUER, 1996), so dass das Röhrenmark distal oft durch einen luftgefüllter Hohlraum ersetzt wird (LEISERING u. HARTMANN 1876). In den verschiedenen Kronhornzonen beginnt der Markzellzerfall zu jeweils spezifischen Zeitpunkten (KÖNIG 2001): im inneren Kronhorn sind oft bereits 1 cm unterhalb des Haaransatzes leere Markräume oder nur noch randständige, rissige Markzellen zu finden, während im mittleren Kronhorn in der oberen Hälfte des Hufrückens noch größtenteils intakte Markzellen im gesamten Lumen oder randständig zu finden sind. Im äußeren Kronhorn sind auch noch kurz oberhalb des Tragrandes gefüllte Markräume erkennbar (KÖNIG 2001). Beim Przewalskipferd ist der Markzerfall deutlich geringer ausgeprägt als beim Hauspferd (PATAN 2001).

Die funktionelle Bedeutung des Röhrenmarks besteht in einem Ausgleich der auf das Horn einwirkenden Kompressionen und Dehnungen durch die Markräume (KÜNG 1991), andererseits kann der hohe Lipidgehalt einer Austrocknung entgegenwirken (MÜLLING 1993). Dieses wird durch eine gewisse Wasserspeicherfähigkeit des Marks noch unterstützt (DIETZ et al. 1971; WALZ 1980). Des Weiteren bietet das Mark eine begrenzte Barrierefunktion gegen eine aufsteigende Bakterienbesiedlung (BUDRAS u. SCHIEL 1996).

2.3.4.4 Zwischenröhrenhorn

Das Zwischenröhrenhorn formt eine keratinisierte, zelluläre Matrix, in welche die Hornröhren eingebettet sind (POLLITT 1998), und stellt somit die Verbindung zwischen den einzelnen Hornröhren her (WILKENS 1963). Es hat eine große funktionelle Bedeutung für den Hufmechanismus (PELLMANN et al. 1997). Die Zellen des Zwischenröhrenhorns sind in ihrer Gestalt nicht so einheitlich beschrieben wie die des Röhrenhorns. Es gibt sowohl Angaben über eine spindelförmige (SCHNEIDER 1910; BOLLIGER 1991; PELLMANN et al. 1993) als auch über eine eher polygonale (BUCHER 1987) Form. KÖNIG (2001) erklärt diese unterschiedliche Morphologie mit strukturellen Veränderungen in Abhängigkeit von der Zellreifung. So lassen die jungen Zellen noch Reste eines Zellkernes erkennen, welche bei den gereiften Zellen nicht mehr nachzuweisen sind (KÖNIG 2001). Meist sind die Zwischenröhrenhornzellen größer als die Zellen der Röhrenrinde (BRUHNKE 1931; BUCHER 1987). Die Anordnung der Zwischenröhrenhornzellen erfolgt häufig in etwa senkrecht zur Röhrenachse (BOLLIGER u. GEYER 1992; POLLITT 1998) und zusammen mit ihrer multidirektionalen Filamentanordnung verleiht dies der Hufwand den Charakter eines sehr belastungsfähigen Gewebes (BERTRAM u. GOSLINE 1987).

2.4 KERATINISIERUNG UND VERHORNUNG IN DER EPIDERMIS – BIOCHEMISCHE VORGÄNGE

Die epidermalen Zellen unterliegen auf ihrem Weg vom Stratum basale bis zum Stratum corneum einem Differenzierungsprozess, der durch eine Vielzahl an morphologischen und biochemischen Veränderungen gekennzeichnet ist (MATOLTSY 1975). Als Keratinisierung, die auch in nicht verhornenden, mehrschichtigen Epithelien auftritt (BRAGULLA 1996), wird hierbei die Synthese der gewebetypischen Zellbestandteile bezeichnet, während unter Verhornung die nachfolgende Modifikation dieser Strukturen verstanden wird (BUDRAS u. MÜLLING 1998). Im Laufe des gesamten Differenzierungsprozesses ändern sich somit Lage, Form und Struktur der keratinisierenden und verhornenden Zellen (BRAGULLA 1996) und es entstehen hierdurch morphologisch unterscheidbare, übereinanderliegende Zelllagen (BALL et al. 1978).

Die Produkte des Keratinisierungsvorganges sind vor allem Keratinfilamente sowie Keratinfilament-assoziierte Proteine. Außerdem kommt es zu Modifikationen an der Plasmamembran im Sinne einer Membranverstärkung (cornified cell envelope) sowie zur Bildung von membrane coating granules (MCGs), die ihren Membranhalt, das membrane coating material (MCM), später in den Interzellularraum als zellverbindenden Interzellularkitt ausschleusen (MATOLTSY 1976). Zur Veranschaulichung der Architektur des Hornzellverbandes wird dieser oft mit einer Ziegelmauer verglichen: hierbei stellen die toten, verhornten Zellen die Ziegelsteine dar, während der sie verbindende Interzellularkitt dem Mörtel entspricht (BUDRAS u. RÖCK 2008).

2.4.1 Verhornungstypen

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Arten der Verhornung, die sich sowohl biochemisch als auch morphologisch unterscheiden (LARSSON et al. 1956; KORTE 1987). Bei der weichen Verhornung wird ein Stratum granulosum ausgebildet, welches durch das Vorkommen zahlreicher membranloser, basophiler Keratohyalingranula in den Zellen gekennzeichnet ist (LARSSON et al. 1956). Diesen Verhornungstyp findet man unter anderem in der menschlichen Haut (MATOLTSY 1976) und am Pferdehuf im Saumsegment sowie im Ballen und in Teilen des Strahlsegmentes (LARSSON et al. 1956; BUDRAS u. RÖCK 2008; BUCHER 1987). Hauptbestandteile der Keratohyalingranula sind verschiedene schwefelhaltige Proteine (MATOLTSY, 1975) wie der phosphor- und histidinreiche Vorläufer des Keratinfilament-assoziierten Proteins Filaggrin und das cysteinreiche Loricrin, welches am Aufbau des cornified cell envelope beteiligt ist (STEVEN et al. 1989). Auf das Stratum granulosum folgt ein Stratum lucidum bei diesem Verhornungstyp. Im menschlichen Fingernagel (HASHIMOTO 1971b) als auch beim Pferdehuf im Kronsegment sowie im Wand-, Sohlen- und Teilen des Strahlhorns kommt es hingegen zur harten Verhornung, bei der keine Keratohyalingranula gebildet werden (BUCHER 1987, BUDRAS u. RÖCK 2008). Die im Modus der harten Verhornung gebildeten Keratine weisen einen höheren Gehalt an schwefelhaltigen Aminosäuren auf als die Keratinproteine, die im Zuge der weichen Verhornung entstehen (WARD und LUNDGREN 1954). So ist zum Beispiel der Cystein-Gehalt dieser Proteine im Modus der harten Verhornung höher (GROSENBAUGH u. HOOD 1992). In Richtung Verhornungsgrenze steigt der Gehalt an Schwefel und Sulfhydrylgruppen zusätzlich an.

2.4.2 Biochemische Differenzierungsvorgänge

Im Rahmen der Zelldifferenzierung erfolgt zunächst durch Aggregation von Zytokeratinen die Bildung von Keratinfilamenten, die als wesentlicher Bestandteil des Zytoskeletts ein dreidimensionales Stützgerüst der Zelle bilden (STEINERT u. ROOP 1988). Außerdem werden Keratinfilament-assoziierte Proteine wie die Filaggrine synthetisiert, welche die Keratinfilamente mit anderen Zellbestandteilen (Zellkern, Zellmembran) verknüpfen (WANG 1984). Beide Proteinkomponenten unterliegen posttranslationalen Modifikationen (STEINERT u. ROOP 1988) und aggregieren dann zu intrazellulären Makrofibrillen (DALE et al. 1978). Die nun eng nebeneinander liegenden Keratinfilamente werden dann an ihren Sulfhydrylgruppen durch das Enzym Sulfhydroxylase über Disulfidbrücken fest miteinander verbunden (BUDRAS u. HUSKAMP 1995). Als

weiterer Schritt in der Differenzierung zur Hornzelle erfolgt die Bildung eines „cornified cell envelope“ als Stützgerüst an der Innenseite der Zellmembran (BADEN u. KVEDAR 1993). Dieses besteht aus einem inneren Proteinanteil (marginales Band) und einer äußeren Lipidschicht (MEHREL et al. 1990), die als Monolayer kovalent an die Proteinhülle gebunden ist (WERTZ et al. 1989). Bei diesen Vorgängen wird die ursprüngliche Zellmembran aufgelöst. Die Lipide des „cornified cell envelope“ stammen aus „membrane coating granules“ (MCGs), die von den Zellorganellen während der Differenzierung gebildet werden (WERTZ u. DOWNING 1982). Diese Vesikel geben ihren Inhalt, das membrane coating material (MCM, auch Interzellularkitt genannt) durch Exozytose in den Interzellularspalt ab (LANDMANN 1980). Die MCGs besitzen in der Haut eine lamelläre Binnenstruktur, die hauptsächlich durch den Gehalt an Ceramiden, Cholesterol, freien Fettsäuren und Cholesterylsulfat bedingt ist (LANDMANN 1988). Außerdem befinden sich in den MCGs lysosomale Enzyme wie die saure Phosphatase (FREINKEL u. TRACZYK 1983), die zusammen mit den Lipiden in eine amorphe Matrix aus Glykoproteinen und Glykolipiden eingebettet sind. Hinsichtlich der Menge, der Binnenstruktur und der Inhaltstoffe der MCGs gibt es segmentspezifische Unterschiede. So kommen im Kronsegment vergleichsweise wenige MCGs vor, die einen hohen Anteil an amorpher Matrix und eine nur geringe Aktivität der sauren Phosphatase aufweisen (ANTHAUER 1996). Das MCM sorgt für eine feste Verbindung zwischen den Hornzellen, hält die semipermeable Barriere aufrecht und hat durch den Gehalt an Hydrolasen auch lysosomale Funktionen (BUDRAS u. BRAGULLA 1991). Im Kronsegment hat es einen hohen Anteil an Glykoproteinen als stabilisierende Komponente (ANTHAUER 1996). Damit haben Glykoproteine einen entscheidenden Einfluss auf die mechanische Festigkeit des Hufhorns (HASHIMOTO et al. 1992). Im Anschluss an die Verhornung findet ein Prozess der Hornreifung und -alterung statt. Dieser ist nach KÖNIG und BUDRAS (2003) charakterisiert durch einen Zerfall der Hornröhrchenmarkzellen sowie Um- und Abbauvorgänge der interzellulären Verbindungen. Beim Przewalskipferd ist der Markzerfall hingegen deutlich geringer ausgeprägt (PATAN 2001).

2.5 DIE HORNQUALITÄT – EINFLUSSFAKTOREN UND MÖGLICHKEITEN DER MESSUNG

Die Eigenschaften des Hufhorns sind aufgrund unterschiedlicher funktioneller Anforderungen in den einzelnen Segmenten des Hufes verschieden ausgeprägt. Die Definition von guter Hornqualität erfolgt über eine möglichst optimale Schutzfunktion gegenüber mechanischen, chemischen und mikrobiellen Noxen (FROHNES 1999). Horn schlechter Qualität stellt somit eine Prädispositionsstelle für Erkrankungen dar. Makroskopisch kann es dabei zu einer spröden, brüchigen Oberfläche sowie zu Hornspalten und massiven Tragrandausbrüchen kommen (WINTZER 1986). Zur Objektivierung dieser Befunde teilten PELLMANN et al. (1993) die strukturellen Parameter, welche die mechanischen Eigenschaften bedingen und somit auf die Hornqualität einen entscheidenden Einfluss haben, in drei Gruppen ein: Architektur des Hornzellverbandes, interzelluläre Faktoren und intrazelluläre Faktoren.

Die Architektur des Stratum corneum ist im Kronhorn durch Röhrchenhorn, bestehend aus dem zentral liegenden Mark, dessen Zellen oft kurz nach ihrer Entstehung bereits wieder zerfallen, und aus der stabilen Röhrchenrinde (BOLLINGER u. GEYER 1992), geprägt. Größe und Dichte der Hornröhrchen wirken sich ebenso wie Größe und Füllung des Markraumes auf die Hornqualität aus. Je geringer der Markdurchmesser und der Anteil an Zwischenröhrchenhorn und je dicker die Röhrchenrinde ist, desto stabiler ist das Horn (RÖSSNER 1940). Auch der Hornröhrchendurchmesser spielt eine Rolle. So soll nach PELLMANN et al. (1993) eine besonders gute Formstabilität durch große Hornröhrchen gewährleistet werden. Auf die Wasseraufnahmekapazität, und damit auf die Hornhärte, hat auch der Anteil an Zwischenröhrchenhorn einen Einfluss (DIETZ u. PRIETZ 1981).

Die für die Hornqualität wichtigsten interzellulären Faktoren sind Menge, Verteilung und Zusammensetzung des Interzellularkitts (MÜLLING et al. 1994a). Dieser ist für den Zusammenhalt der Hornzellen verantwort-

lich (LANDMANN 1988; BUDRAS u. HUSKAMP 1995) und stellt eine Barriere gegen das Eindringen von Bakterien dar (BUDRAS et al. 1998a). Bei Zerreiversuchen verlaufen die Risslinien im äußeren Kronhorn hauptsächlich entlang der Zellgrenzen (ZENKER et al. 1995). Je mehr Interzellularkitt sich zwischen den Hornzellen befindet, also je weiter sich der Interzellularspalt darstellt, desto geringer ist die mechanische Hornfestigkeit (BUDRAS u. BRAGULLA 1991). Im Kronhorn guter Stabilität befinden sich die Zellen dicht nebeneinander, der Interzellularspalt ist gleichmäßig eng. Das Auftreten von blasigen Erweiterungen ist nach PATAN (2001) ein Zeichen von minderer Kronhornqualitt mit qualitativ schlechterem Interzellularkitt. Zu den intrazellulären Faktoren mit Einfluss auf die Hornqualität werden hauptsächlich die Keratinproteine gerechnet (PELLMANN et al. 1993). Sie prägen die Architektur der einzelnen Hornzellen, indem sie als Stützgerüst dienen (BUDRAS u. HUSKAMP 1995). Bei den intrazellulären Proteinen unterscheidet man zwischen den eigentlichen Zytokeratinen (Intermediärfilamente) und Keratinfilament-assoziierten Proteinen (KFAP). In den Zellen des Kronhorns kommen langkettige, schwere Zytokeratine vor, die in Bündeln angeordnet sind (PELLMANN et al. 1993). Keratine sind genetisch stark konsolidierte Proteine, die sich in ihrer Art und Anzahl beim Haus- und Przewalskipferd kaum voneinander unterscheiden (KÖNIG 2001; PATAN 2001). Sie sind eingebettet in eine Matrix aus KFAP (GROSENBAUGH u. HOOD 1992). Für die Stabilität der Hornzelle ist neben Art, Menge und Anordnung der Proteine auch die Art und Anzahl der Bindungen zwischen ihnen von Bedeutung (BUDRAS u. HUSKAMP 1995). Hierbei spielen insbesondere Disulfidbindungen eine Rolle: je mehr davon gebildet werden, umso fester ist das Horn (YU et al. 1993). Auch der Gehalt an nicht-kovalenten Wasserstoffbrückenbindungen ist nach BERTRAM und GOSLINE (1987) vor allem für die Stabilisierung bestimmter KFAP von Bedeutung. Ist im inneren Kronhorn der Wassergehalt des Horns hoch, wird die Anzahl der Wasserstoffbrücken reduziert und die Stabilität der Hornzellen ist somit geringer. Neueren Untersuchungen zufolge ist der Wassergehalt der Hufkapselwand auch in verschiedenen feuchter Umgebung konstant (HAMPSON et al. 2012).

Als Einflussfaktoren auf die Hornqualität werden verschiedene Gegebenheiten diskutiert. Nach PATAN (2001) ist die Jahreszeit der Hornbildung hierbei von herausragender Bedeutung. Sie stellte beim Przewalskipferd im so genannten Sommerhorn (im Sommerhalbjahr gebildet) eine geringere Rhrchendichte mit größeren Hornröhrchen und einem größeren Markraum fest als im Winterhorn (im Winterhalbjahr gebildet). Auch beim Hauspferd sind diese Unterscheide ausgeprägt, wenn auch in abgeschwächter Form (KÖNIG 2001). Der Interzellularspalt weist im Sommerhorn zahlreiche blasige Erweiterungen und Mikrorisse auf, die im Winterhorn kaum zu finden sind. Die intrazellulären Proteine jedoch bleiben vom Wechsel der Jahreszeiten weitgehend unbeeinflusst (PATAN 2001). Weiteren Einfluss auf die Hornqualität haben ernährungsbedingte Faktoren. Insbesondere durch einen hohen Cystein- und Zink-Gehalt (COENEN u. SPITZLEI 1996), eine ausreichende Linolsäure-Zufuhr (ELIAS 1981) und eine Biotin-Supplementierung (WINTZER 1986; GEYER u. BUDRAS 1989; GEYER u. SCHULZE 1994) kann die Hornqualität verbessert werden. Auf eine rassebedingte genetische Disposition für unterschiedliche Hornqualität wird von JOSSECK (1991) hingewiesen. Umwelteinflüsse können ebenso die Hornqualität beeinflussen, so führt bei prädisponierten Pferden das Wechselspiel zwischen Feuchte und Trockenheit zu massiven Hornschden (SPITZLEI 1996). Besonders das Rhrchenmark ist anfällig gegenüber chemischen Umwelteinflüssen (BUDRAS et al. 1998a) und der Stabilität gebende Interzellularkitt kann durch ein Kot-Harnstoff-Gemisch aus dem Interzellularspalt herausgelöst werden (MÜLLING 1993). Als weitere mögliche Einflüsse auf die Hornqualität wurden mit unterschiedlichen und teils differierenden Ergebnissen die Hornpigmentation (DIETZ u. PRIETZ, 1981; CLARK u. RAKES 1982), das Pferdealter (JOSSECK 1991; SPITZLEI 1996) und das Geschlecht (BUTLER u. HINTZ 1977; MIYAKI et al. 1974) genannt.

Die Messung der Hornqualität kann mit verschiedenen Arten der Materialprüfung erfolgen. Die größte Bedeutung hat hierbei die Härtemessung, da sie die physiologische Belastbarkeit des Horns bei der Fuung wiedergibt (NAUMANN et al. 1987; MÜLLING 1993). Hierfür ist die Kugeleindruckmethode geeignet, bei der

eine Stahlkugel mit definierter Kraft auf die Hornprobe gedrückt wird (PELLMANN et al. 1993). Bei maximal feuchtem Horn nimmt die Hornhärte von der äußeren zur inneren Kronhornzone stetig ab (KÖNIG 2001; PATAN 2001). Während KÖNIG (2001) beim Hauspferd keine Abhängigkeit der Härte vom Bildungszeitpunkt des Hufhorns feststellt, zeigt sich bei den Untersuchungen von PATAN (2001) an Przewalskipferden, dass die im Winter gebildeten Hornmassen härter als das so genannte „Sommerhorn“ (im Sommer gebildetes Horn) sind. Der Feuchtigkeitsgehalt übt einen großen Einfluss auf die Härte und die Bruchfestigkeit des Horns aus (BERTRAM u. GOSLINE 1987; PATAN 2001; KÖNIG 2001). Umgekehrt proportional zur Härte steigt der physiologische Feuchtigkeitsgehalt vom äußeren zum inneren Kronhorn an. Ein sehr niedriger Wassergehalt jedoch führt nicht zur Verbesserung der Hornqualität, da das Hufhorn dann an Elastizität verliert und spröde wird. Zur weiteren Objektivierung der Hornqualität ist auch eine Messung des Wasseraufnahme- und Wasserabgabevermögens sinnvoll (BERTRAM u. GOSLINE 1987; SPITZLEI 1996). Aufwendigere mechanisch-physikalische Prüfverfahren sind die Bestimmung der Zugfestigkeit (KÜNG 1991) sowie die Messung des Elastizitätsmoduls (HINTERHOFER et al. 1998).

2.6 RINGE IN DER HUFWAND – ENTSTEHUNG UND BEDEUTUNG

Als Hornringe werden in der Hufwand befindliche, wellenartige Strukturen bezeichnet, die aufgrund ihrer Gestalt in Erhabenheiten (Vorwölbungen, konvexe Ringe) und Furchen (Einkerbungen, konkave Ringe) eingeteilt werden können (SCHNITKER 2004). Sie stellen keine Zusammenhangstrennung der Hufwand dar und sind quer zur Hornröhrchenachse ausgerichtet. STASHAK (1989) differenziert die Ringe aufgrund ihrer Genese in physiologische und pathologische Erscheinungen. Glatte, parallel zum Kronrand verlaufende Ringe spiegeln unterschiedliche Wachstumsraten wieder (HERTSCH et al. 1996) und sind zum Beispiel durch Witterungseinflüsse und Futterwechsel bedingt (STASHAK 1989). Physiologische Futterringe treten an allen vier Hufen gleichmäßig auf (FISCHER 1933), nach KÖRBER (2006) sind jedoch die Vorderhufe deutlicher betroffen. Diese Ringe sind wenig auffallend und betreffen den ganzen Umfang der Hufwand (LUNGWITZ 1913). Bei Przewalskipferden ist die physiologische Ringbildung makroskopisch auf das äußere Kronhorn beschränkt und tritt bei Semireservathaltung deutlich häufiger als bei Zoohaltung auf (SCHNITKER 2004). Die häufigste pathologische Ringbildung findet sich bei der Hufrehe (STASHAK 1989). Solche Ringe sind gekennzeichnet durch auffällige Lage- und Richtungsänderungen oder treten an einer Wandstelle deutlich hervor. Diese hervortretenden Ringe werden als Belastungsringe bezeichnet, wenn sie an der jeweils mehr belasteten Hufhälfte auftreten (FISCHER 1933). Bei der Hufrehe verlaufen die Ringe konvergierend zum Hufrücken und divergierend zum Trachtenbereich (SCHNITKER 2004). Es sind besonders die Vorderhufe betroffen und alle Kronhornzonen involviert. „Umgekehrt“ verlaufende Reheringe kommen gelegentlich vor (BUDRAS u. HUSKAMP 1999). Des Weiteren kommt pathologische Ringbildung auch bei Hufkrebs und Strahlfäule, besonders im Trachtenwandbereich, vor (DIETZ u. HUSKAMP 1999). Bei der chronischen Selenvergiftung kommt es nach Schwellung des Kronsaumes ebenfalls zur Verformung des Hufes mit ringartigen Einziehungen, da das Selen den Schwefel in den schwefelhaltigen Aminosäuren der Keratine verdrängt und diese somit in ihrer Qualität stark gemindert sind (KÖRBER 2006; COENEN 2012).

Ursache für die Entstehung der Ringe ist nach FAMBACH (1933) eine veränderte Durchblutung der Kronlederhaut. Durch einen arteriell erhöhten Zufluss zum Kapillargefäßbezirk bildet sich eine erhabene Ringform mit starkwandigen Hornzellenzyklindern ohne wesentliche Veränderung der Zwischenröhrchenhornschichten (Kapillarringe). Als Stauungsringe bezeichnet FAMBACH (1933) hingegen die Ringe, die bei Blutstau in den Venennetzlagern der Subkutis durch Ausdehnung der Zwischenzottenflächen entstehen. GUTENÄCKER (1933) macht für die Ringentstehung eine wechselnde Ernährung oder eine Verlagerung der Kronlederhaut verantwortlich. Bei gutem Nährstoffangebot kommt es zu einer Aufrichtung der Lederhautzotten und einer mäßigen Umfangsvermehrung am Kronrand mit dem

Ergebnis eines konvexen Ringes. Sind Ringe durch Verlagerungen der Kronlederhaut entstanden, so müssen sie nicht immer parallel mit der Krone liegen. Dies ist der Fall bei Verschiebung der Hornwand (Stauchung) durch ungleiche Belastung, bei Lageveränderungen des Hufbeines (Senken/Heben), bei Entzündungszuständen der Kronlederhaut sowie bei Exostosenbildung am Gelenkrand des Huf-/Kronbeines und Auftreibung der Hufknorpel (GUTENÄCKER 1933).

SCHNITKER (2004) weist bei Przewalskipferden eine unterschiedliche Mikrostruktur bei erhabenen und gefurchten Hufkapselringen nach. Besonders in den Erhabenheiten der äußeren Kronhornzone haben sowohl die Hornröhrchen als auch das Röhrchenmark einen größeren Durchmesser als in den Furchen. Die konkaven Ringe, die im Semireservat vor allem im Frühjahr und Frühsommer auftreten, erscheinen im äußeren Kronhorn röhrchendichter, wohingegen im inneren Kronhorn teilweise größere Röhrchen (im Vergleich zu den konvexen Ringen) auftreten. Im äußeren Kronhorn sind in den Erhabenheiten im Elektronenmikroskop vermehrt blasige interzelluläre Erweiterungen, ähnlich wie beim Sommerhorn, nachweisbar (SCHNITKER 2004). Auch die mechanische Belastbarkeit zwischen Ringen und Furchen ist verschieden. In der äußeren Zone ist das Horn in der Furche um durchschnittlich 9,09 SHORE C-Einheiten härter als in der Erhabenheit. Im inneren Kronhorn liegt ein umgekehrtes Verhältnis der Härte vor. Aufgrund der Unterschiede zwischen konkaven und konvexen Ringen haben laut SCHNITKER (2004) die Erhabenheiten unabhängig vom Bildungszeitpunkt Sommerhornqualität, während die Furchen eher dem Winterhorn entsprechen.

Im Verlauf des Hornnachsches von proximal werden die Ringe nach distal geschoben und dienen in Tragrandnähe teilweise als Bruchstelle für physiologische Tragrandausbrüche (SCHNITKER 2004). Durch den bei den konvexen Ringen erweiterten Interzellularraum können sich Risse fortsetzen, werden aber bei Auftreten eines konkaven Ringes durch dessen kompakte Struktur „ausgebremst“. Die Furche dient zugleich als Sollbruchstelle, ähnlich einer Kerbe, wie sie beim Baumfällen eingeschlagen wird (SCHNITKER 2004). Für einen gerichteten Tragrandausbruch und eine Selbstregulation der Huflänge ist somit die Ausprägung beider Ringarten mit einem deutlichen Wechsel der Hornqualität bedeutsam. Nach SCHNITKER (2004) ist dieser Mechanismus bei Przewalskipferden in Semireservathaltung suffizient, während bei Zoonhaltung aufgrund der eingeschränkten Bewegungsaktivität eine Hufkorrektur erforderlich ist.

2.7 KRAFTEINWIRKUNGEN AUF DIE HUFWAND – SPANNUNGEN UND HUFDEFORMATIONEN

2.7.1 Hufbeinträger

Der Hufbeinträger stellt die Verbindung zwischen dem Hufbein und der Innenfläche der dieses umgebenden Hufkapsel dar. Er gewährleistet eine feste Aufhängung des Hufbeins (ähnlich wie in einer Hängematte) und damit sogar des gesamten Pferdekörpers in der Hufkapsel (BUDRAS 2012). Der Ausdehnungsbereich des Hufbeinträgers entspricht der Reichweite von Lederhaut- und Oberhautblättchen des Wandsegmentes und ist demnach radiär um das gesamte Hufbein angelegt (mit Ausnahme der Ansatzstelle der tiefen Beugesehne an der Tuberositas flexoria des Hufbeins) (BUDRAS u. MÜLLING 2014). Die Tragefunktion des Hufbeinträgers ist im Zehenrücken- und im Seitenteil am größten, sein Differenzierungsgrad nimmt in dorsopalmarer bzw. dorsoplantarer Richtung ab (HENKE 1997). Der Hufbeinträger besteht aus einem dermalen, bindegewebigen und einem epidermalen Anteil und dient dazu, die auf dem Hufbein liegende Druckkraft des Tiergewichtes in eine Zugkraft umzuwandeln (BUDRAS u. RÖCK 2008). Am Tragrand erfolgt dann wieder die Rückumwandlung in Druckkraft, die auf dem Untergrund lastet. Diese Kräftemodulation schützt das Hufbein vor Druckbelastung (PELLMANN et al. 1997; BUDRAS et al. 2002).

Der Hufbeinträger weist vier Verankerungszonen auf: die Anfangsverankerung am Hufbein, eine erste Zwischenverankerung an der dermo-epidermalen Basalmembran, die zweite Zwischenverankerung zwischen den verhornten und den unverhornten Epidermisschichten sowie eine Endverankerung an der Hufkapsel (BUDRAS 2012). Das Hufbein weist feine, periostfreie Knochenkämme an seiner Oberfläche aus, aus denen

zur Anfangsverankerung des Hufbeinträgers Kollagenfasern austreten (BUDRAS u. MÜLLING 2014). Nach PELLMANN (1995) entspricht die Anfangsverankerung am Hufbein einem vierzonalen chondral-apophysärem Bandansatz und enthält somit faserknorpelige, mineralisierte und nicht-mineralisierte Komponenten. Sie dient dem Ausgleich unterschiedlicher Elastizitätsmodule zwischen den Kollagenfaserbündeln und dem Knochen und hat damit eine dehnungsdämpfende Wirkung (PELLMANN 1995). Im Bereich des Eckstrebenwinkels erfolgt die Anfangsverankerung der Kollagenfasern nicht am Hufbein, sondern am Hufknorpel (BUDRAS 2012). Somit kann an dieser Lokalisation von einem Hufknorpelträger gesprochen werden (BUDRAS u. MÜLLING 2014), der aufgrund der Deformierbarkeit des Knorpels eine große Bedeutung für den Hufmechanismus hat. Die Fasern bestehen im Wesentlichen aus parallelfaserigem straffem Bindegewebe mit Kollagen Typ I und III sowie auch elastischen Fasern (PELLMANN 1995). Diese ermöglichen eine stark dämpfende, elastisch-federnde Kraftübertragung. Die Kollagenfasern durchkreuzen sich im Stratum reticulare der Lederhaut und ziehen dann radiär in die primären und in die sekundären Lederhautblättchen (BUDRAS 2012), wo sie an der Basalmembran inserieren (BUDRAS u. MÜLLING 2014). Der Richtungswinkel der Kollagenfasern ist je nach Lage und dementsprechend wirkender Angriffskräfte unterschiedlich (BRUHNKE 1928; PELLMANN 1995). Nach BRUHNKE (1928) wirkt im proximalen Teil der stärkste Zug des Hufbeins an der Hufwand. An der Hufbeinspitze tritt eine fächerförmige Verstärkung des Hufbeinträgers auf, dessen Kollagenfasern die Verankerung an der weißen Linie bewirken.

Die erste Zwischenverankerung an der Basalmembran ist die korioepidermale Verbindung zwischen den sekundären Leder- und Oberhautblättchen. Sie muss aufgrund der enormen einwirkenden Zugkräfte eine mechanisch stark belastbare Verbindung darstellen. Die Ausprägung des Papillarkörpers in Blättchenform ist ein morphologisches Äquivalent der hohen mechanischen Belastung (MÜLLING 1993; BUDRAS u. HUSKAMP 1995). Es ergibt sich aus der Aufteilung in Sekundärblättchen sowie die ihnen aufsitzenden Mikroleisten (POLLITT 1994; PELLMANN 1995) eine enorme Oberflächenvergrößerung, deren absoluter Wert in der Literatur jedoch unterschiedlich angegeben wird (z.B. von MÖLLER (1877): Gesamtblättchenoberfläche 7500 cm²). Die Basalmembran ist ähnlich der des Kronsegmentes gestaltet. Sie weist eine hohe Konzentration von Mikrofibrillenbündeln und elastischen Fasern auf, die der sanften, elastischen Zugkraftübertragung dienen (PELLMANN 1995). Im Gegensatz zu anderen Lokalisationen sind am Hufbeinträger häufig auch Verdopplungen und Looping-Bildungen der Basalmembran zu finden (POLLITT 1994). Dieses wird als Zeichen hoher mechanischer Belastung gewertet und ist somit Ausdruck von besonderer Zugfestigkeit (BUDRAS u. MÜLLING 2014). Von der Basalmembran aus wird die Zugkraft im epidermalen Hufbeinträgeranteil von den aufliegenden Sekundärblättchen auf die primären Hornblättchen übertragen (BUDRAS 2012). Diese Kraftübertragung geschieht durch die hier ausgeprägten intensiven Zell-Zell-Kontakte. Während die jungen Basalzellen noch über Hemidesmosomen mit der Basalmembran und die darüber liegenden Spinosazellen über Desmosomen untereinander verbunden sind, wird die Zell-Zell-Verbindung mit zunehmender Verhornung durch den Interzellularkitt hergestellt (BUDRAS et al. 1989; PELLMANN et al. 1993), wobei auch das Ausmaß der Verzahnung der Zellen untereinander eine Rolle für die mechanische Belastbarkeit spielt (LEACH u. OLIPHANT 1983). Im epidermalen Anteil des Hufbeinträgers ist eine zweite Zwischenverankerung ausgeprägt. Sie befindet sich zwischen den vitalen und avitalen (verhornten) Epidermiszellen (BUDRAS u. MÜLLING 2014) und funktioniert nach einem Gleit-Haft-Mechanismus. Hierbei wird einerseits für eine Verbindung der Zellschichten untereinander gesorgt, während andererseits auch ein Aneinandervorbeigleiten der Zellen im Rahmen des Distalschubs der zusätzlich von proximal kommenden Kronhornmassen ermöglicht wird. Dieses wird begünstigt durch den Interzellularkitt der verhornenden Wandhornzellen: Er enthält Enzyme, die für eine Auflösung der Desmosomen sorgen, was die verhornenden Zellen aus ihrer Verankerung löst und ermöglicht gleichzeitig vor seiner endgültigen Aushärtung das langsame Vorbeigleiten der Zellen (BUDRAS 2012). Aufgrund der elastischen Zugbelastung durch den Interzellularkitt weisen die langen, hintereinander angeordneten Hornzellen in den Hornblättchen

eine schwammige Struktur auf und dienen der Dämpfung von Erschütterungen und der Flüssigkeitsregulierung im Horn.

Die Endverankerung an der Hufkapsel als Verbindung des Wandhorns mit dem Kronhorn geschieht über eine Verflechtung des Blättchenhorns mit dem nach distal geschobenen Zwischenröhrchenhorn (NICKEL 1938; PELLMANN et al. 1993). Dabei werden die inneren, schwammigen Kronhornröhrchen von den schwammig-elastischen Wandhornzellen umschlungen und so bildet sich eine federnd-elastische Verankerung aus (BUDRAS 2012; BUDRAS u. MÜLLING 2014).

Wird der Hufbeinträger belastet, kommt es zu einer Ausrichtung seiner Anteile in Zugrichtung (PELLMANN 1995) und entsprechend zu Veränderungen in Form und Richtung der Kollagenfaserbündel sowie der Dermis- und Epidermisblättchen.

2.7.2 Hufmechanismus

Der Hufbeinträger ist die strukturelle Voraussetzung für die Kräfteübertragung im Rahmen des Hufmechanismus (HINTERHOFER et al. 1996). Darunter versteht man nach APPELBAUM (2001) reversible elastische Formveränderungen des gesamten Hufes, die Ausdruck der Belastung des Zehenendorgans bei Bodenkontakt sind. Möglich werden sie durch die Eigenelastizität des Hufhorns und der im Inneren befindlichen Strukturen wie Hufknorpel und Strahlpolster (BUCHNER 2012). Eingeleitet werden diese Formveränderungen bei Belastung durch die damit verbundene Abwärtsbewegung sowie Rotation des Hufbeins (FISCHERLEITNER 1975). Dieses Geschehen übt über die Druckkraft der Körperlast durch den Hufbeinträger eine Zugkraft auf die Hornkapsel aus (HENKE 1997) und löst dadurch den Hufmechanismus aus. Der Zug verformt die Hufkapsel nicht nur im proximalen Zehenrückenteil, sondern aufgrund ihrer Eigenverformbarkeit auch im Seiten-, Trachten- und Eckstrebenbereich. Diese Verformbarkeit erklärt sich einerseits durch den unterschiedlichen Aufbau der Hornröhrchen, die auf Druck- oder Zugbelastung verschieden reagieren können (NICKEL 1938), andererseits auch durch die unterschiedliche Dicke der Hornwand an verschiedenen Stellen (die Zehenwand ist dicker als die Seitenwand) und die unterschiedliche Länge der Hornröhrchen (HENKE 1997). Ein kleinerer Teil der einwirkenden Körperlast wird allerdings auch als Druckkraft weitergeleitet: durch die Hufgelenksbeugung bei Belastung der Gliedmaße senkt sich das Kronbein ebenfalls ein wenig nach unten (BUCHNER 2012). Dadurch übt es eine seitliche Druckkraft auf die Krone und die Hufknorpel aus, was ein Auseinanderweichen dieser Strukturen bedingt. Zusätzlich gibt es noch einen geringen vertikalen Druck von Kron- und Strahlbein auf die tiefe Beugesehne und das darunter liegende Strahlpolster, welche dadurch nach unten gedrängt werden (BUCHNER 2012).

Bei Belastung des Hufbeines und dementsprechenden Zug am Hufbeinträger wird der korrespondierende Wandanteil nach distal gezogen (BUCHNER 2012). Dabei weicht die Dorsalwand des Hufes um den Fixpunkt der Hufspitze am Kronrand um bis zu 1,5 mm zurück in Richtung Boden und es verringert sich geringgradig die Höhe des Hufes (BUCHNER 2012). Die Bewegung der Hufkapsel nach hinten-unten wird im proximodistalen Verlauf der Hufwand immer weniger und ist am Tragrand im Zehen- und Seitenteil des Hufes nicht mehr ausgeprägt. Nach palmar bzw. plantar endet sie an der indifferenten Linie, welche lateral und medial die weitesten Stellen des Tragrandes und des Kronrandes miteinander verbindet (BUDRAS u. MÜLLING 2014). Gleichzeitig spreizen sich die Trachtenwände unterschiedlich stark nach außen (APPELBAUM 2001; BAYER 1882) und die Hufballen weichen auseinander. Die höhere Elastizität im Trachtenbereich ist einerseits durch eine dünnere Hornwand, andererseits auch durch jüngeres und damit elastischeres Horn bedingt (STASHAK 1989). Die Eckstreben regulieren das Auseinanderweichen im palmaren bzw. plantaren Hufkapselbereich (GEYER 1996). Zusätzlich erfolgt eine Absenkung der Hufsohle und vom Hufstrahl, wobei hierbei ursächlich vor allem die Drehbewegung vom Hufbein mit verbundener Abwärtsbewegung von Kron- und Strahlbein beteiligt sind (FISCHERLEITNER 1975, BUCHNER 2012).

Die mechanischen Eigenschaften der Hornkapsel haben enorme Bedeutung für den Hufmechanismus und damit auch für die Hufgesundheit. Die Hornkapsel muss einen Belastungsschutz für das lebende Gewebe des Hufbeinträgers bieten (DOUGLAS 1997). In ihrem Inneren muss sie die vom Skelett übertragenen Kräfte aufnehmen, der Außenbereich muss widerstandsfähig und tragfähig sein. Auftretende Erschütterungen bei der Landung der Gliedmaße auf dem Boden werden durch den Hufmechanismus gedämpft und erreichen deshalb nur zu einem geringen Teil die Zehengelenke. Dieses beugt der Überlastung der Gelenkknorpel vor und dient somit dem Schutz vor arthrotischen Veränderungen (BUCHNER 2012). Zur Belastungsreduktion trägt dabei auch die in den Hornschichten von außen nach innen zunehmende Feuchtigkeit bei (DOUGLAS et al. 1996). Zusätzlich wird durch einen funktionierenden Hufmechanismus die Nährstoff- und Sauerstoffversorgung der Gewebe im Huf positiv unterstützt, da durch die widerkehrende Kompression und Dekompression ähnlich einer Pumpe die Blutzirkulation im Huf gefördert wird (BUCHNER 2012).

Auf die Deformation der Hornkapsel haben mehrere Faktoren Einfluss. So differieren die ursächlichen Krafteinwirkungen auf den Huf je nach Masse (des Pferdes) und Belastung (BUCHNER 2012). Aus einer höheren Gesamtbelastung, wie es z.B. in einer schnelleren Gangart vorkommt, folgt eine stärkere Deformation der Hufkapsel (VERSCHOOTEN 1993). Auch gibt es deutliche Unterschiede in den Spannungsverhältnissen bei unterschiedlich gewinkelten Hufen oder verschiedenen Gliedmaßenstellungen (MCCLINCHEY et al. 2003). So steigen bei einem langen Huf die Spannungen im distalen Bereich, während sie am Kronrand abnehmen. Die Hornqualität hat ebenfalls Einfluss auf die physiologische Verformbarkeit des Hufes (BUCHNER 2012). Setzt man sehr trockenes Horn einer Belastungssituation aus, so wird man eine geringere Elastizität und zunehmende Brüchigkeit feststellen, aber auch bei sehr feuchtem Horn ist die Rissigkeit erhöht (LEACH u. ZOERB 1983; BERTRAM und GOSLINE 1987; DOUGLAS et al. 1996). Außerdem haben Bodenbeschaffenheit (Härte, Verformbarkeit, Oberflächenstruktur) und die Art der Hufbearbeitung (z.B. Hufbeslag) einen erheblichen Effekt auf die Größe der Kontaktfläche zwischen Huf und Boden und somit ebenfalls einen Einfluss auf die Deformation der Hornkapsel im Rahmen des Hufmechanismus (BUCHNER 2012).

2.7.3 Bildung von Rissen und Entstehung von physiologischen Tragrandausbrüchen

Die Hornkapsel muss über eine hohe Stabilität verfügen. Wenn sie an einer Stelle ihre Integrität verliert, kann die Reparatur nur über das von proximal nachwachsende, neugebildete Hufhorn geschehen. Risse in Wand der Hufkapsel sind entweder als Querrisse (Hornkluft) oder als Längsrisse (Hornspalte) bekannt (KÖRBER 2006). Des Weiteren gibt es pathologische Zusammenhangstrennungen im Bereich des Hufes als lose Wand (zwischen Hornwand und Hornsohle in der weißen Linie), hohle Wand (als flächenhafte Trennung der einzelnen Kronhornschichten voneinander) und hohle Sohle (flächenhafte Höhlenbildung innerhalb des Sohlenhorns) (KÖRBER 2006; STASHAK 1989).

Risse stellen ein Materialversagen der primär auf Druckbelastung ausgelegten Hornkapsel dar (DOUGLAS 1997). Physiologischerweise besitzt sie eine gewisse „fracture toughness“, einen Bruchwiderstand, und die Fähigkeit, entstandene Brüche (= Risse) auf eine für das Zehenendorgan minder gefährliche Route umzuleiten (KASAPI u. GOSLINE 1997). Die Fähigkeiten von Bruchwiderstand und -ablenkung sind bedingt durch die Struktur des Kronhorns aus Röhren- und Zwischenröhrenhorn. Das äußere Kronhorn weist auch durch die elliptische Röhrenform und die flachspiralig gewundene Röhrenrinde eine gewisse Resistenz gegen Brüche auf (KASAPI u. GOSLINE 1997). Selbst bei erhöhter Belastung wie bei einer schnellen Gangart wird der Bruchwiderstand nicht gemindert (KASAPI u. GOSLINE 1996; DOUGLAS 1997) und die Hufkapsel bleibt für den Hufmechanismus elastisch verformbar (VERSCHOOTEN 1993). Die Bruchablenkung erfolgt überwiegend im Bereich des Interzellularraumes parallel zum Tragrand schräg aufwärts zur Hufoberfläche (BERTRAM u. GOSLINE 1986; KASAPI u. GOSLINE 1997). Durch eine erhöhte Belastung der Hornkapsel entsteht durch die Bruchablenkung ein spezifisches Bruchmuster: im inneren und

äußeren Kronhorn finden sich die Brüche entlang der Röhrrchen, im mittleren Kronhorn senkrecht zu Röhrrchen im Zwischenröhrrchenhorn (KASAPI u. GOSLINE 1996). Nach SCHNITKER (2004) wirken auch die konkaven Hornringe aufgrund ihrer kompakteren Struktur sowie ein höherer Feuchtigkeitsgehalt im proximalen Hufkapselbereich als zusätzliche Bruchablenkmechanismen.

Der Entstehung von Rissen im Hornzellverband ist auf eine Strukturschwäche des Hornmaterials zurückzuführen, bei welcher der Bruchablenkmechanismus versagt (DOUGLAS 1997). Es liegen mehrere prädisponierende Ursachen zugrunde. So soll das Aneinandergrenzen der verschiedenen Röhrrchentypen (BOLLIGER u. GEYER 1992) sowie der von außen nach innen gerichtete Feuchtigkeitsgradient zwischen den Kronhornschichten (DOUGLAS et al. 1996; DOUGLAS 1997) die Rissentwicklung begünstigen. Auch eine Dehydratation der Hornschichten wird als Ursache angenommen, da Hufhorn die größte Viskoelastizität im mittleren Feuchtigkeitsgehalt besitzt (BERTRAM u. GOSLINE 1987). Ein Feuchtegradient besteht ebenfalls in proximo-distaler Richtung, wobei hier die Feuchtigkeit abnimmt, während die Hornhärte und damit die Hornbrüchigkeit gleichzeitig größer wird (KÖNIG 2001; PATAN 2001; LEACH 1980). Distal der Hufbeinspitze jedoch tritt eine Härteabnahme auf, bedingt durch einen Feuchtigkeitsanstieg in Horn (KÖNIG u. BUDRAS 2003). Die absolute Ausprägung dieser Prozesse ist abhängig von der Bodenfeuchte des Untergrundes, auf dem die Pferde gehalten werden. Mechanisch zeigen die Ergebnisse von LEU (1987), dass die Zerreißfestigkeit von Hornproben aus der Seitenwand oft höher ist als die der Dorsalwand, wohingegen DOUGLAS (1997) kaum veränderte Horneigenschaften beider Lokalisationen beobachtete. Zu einer strukturellen Instabilität der Hornkapsel kann vor allem im distalen Bereich auch der von KÖNIG (2001) beobachtete Markzerfall beitragen. Mikroskopisch zeigen Hauspferde häufig interzelluläre Risse kurz oberhalb des Tragrandes und insbesondere im inneren Kronhorn, was sich mit einem Alterungsprozess des Kronhorns im Rahmen des Distalschubs erklären lässt (KÖNIG u. BUDRAS 2003). Auch ZENKER et al. (1995) beobachteten Mikrorisse und Strukturdefekte häufig in der mittleren und inneren Kronhornzone an der distalen Hornplatte. Diese Risse verlaufen im Zwischenröhrrchenhorn am Übergang in das Röhrrchenhorn (KÖNIG 2001) und bewirken eine Abnahme der Widerstandskraft des Hornes hinsichtlich einwirkender Zugspannung (DOUGLAS et al. 1996). Auch wenn diese Risse häufig nur den distalen Hornplattenanteil betreffen, können sich doch rissige und absplitternde Tragränder im äußeren Kronhornbereich destabilisierend auf gesamten Huf auswirken.

SCHNITKER (2004) unterscheidet deutlich zwischen physiologischen und pathologischen Rissen der Hufkapsel. Die physiologischen Risse kommen nur im distalen Bereich der Hufkapsel unterhalb der Hufbeinspitze vor und pflanzen sich nicht in proximale Richtung fort. Im Gegensatz dazu sind pathologische Risse auch proximal in zumeist minderwertigem Horn zu finden, in dem die „fracture toughness“ und Bruchwiderstand eingeschränkt sind (SCHNITKER 2004; DOUGLAS 1997). Da Hornqualität auch im Genom fixiert ist, treten sie in manchen Blutlinien gehäuft auf (POLLITT 1999; JOSSECK 1991). Die physiologischen Risse sind essentiell für die Huflängenregulation bei Pferden in menschlich unbeeinflusster Haltung, da sie die Voraussetzung für physiologische Tragrandausbrüche (Chipping) bilden (SCHNITKER 2004).

Beteiligt an den für Tragrandausbrüche prädisponierenden Hornrissen sind bei den langen Hufen lediglich das Kronhorn und das Blättchenhorn des Wandsegmentes, das dünne Saumhorn ist distal schon abgerieben und das Sohlenhorn frühzeitig abgeschilfert (SCHNITKER 2004; FROHNES 1999). Mehrere Faktoren bewirken nun das Auseinanderweichen der Hornzellen und damit die Rissentstehung (SCHNITKER, 2004):

1. die schlechte Wasserspeicherkapazität von innerem Kron- und Wandhorn (PATAN u. BUDRAS 2003), welche deshalb ohne den Schutz des Sohlenhorns zur Austrocknung neigen, was einen Elastizitätsverlust und Zellschrumpfung zur Folge hat (BUDRAS u. HUSKAMP 1995; BUDRAS u. HULLINGER 1990);
2. die Neigung des Horns zum Zusammenziehen durch die Zellschrumpfung, was jedoch durch die Hufform verhindert wird (PATAN 2001);

3. erhöhte Zugspannungen im distalen Hufbereich (HINTERHOFER et al. 1996) sind durch die lange Hufwand verstärkt (MCCLINCHEY et al. 2003);
4. die Kraffteinwirkungen durch den Hufmechanismus

Zunächst klafft das innere Kronhorn auseinander und spaltet sich in Längsrichtung. Zur Separierung von Hornteilen im Bereich des Tragrandes kommt es, wenn sich diese longitudinalen Risse in Richtung Huf Rücken fortsetzen und dort als Sagittalrisse sichtbar werden (SCHNITKER 2004). Die Risse verlaufen im Zwischenröhrenhorn größtenteils im Interzellularraum, lediglich im inneren Kronhorn kommen auch intrazelluläre Risse vor, was auf die unterschiedliche Anordnung der Keratinfilamente in den verschiedenen Kronhornzonen zurückzuführen ist. Durch die oben beschriebenen Bruchablenkmechanismen werden die Risse an einer proximalen Fortpflanzung sowie an einem tieferen Eindringen in die Hornschichten gehindert (SCHNITKER 2004). Die Querrisse, die dann zur Separierung des Hornchips führen, entstehen durch Zugkräfte, die ihrerseits durch die vom inneren Kronhorn wirkenden Druckkräfte der longitudinalen Risse verursacht sind. Die Erklärung hierfür liefert Poisson's Phänomen, nach der eine Druckbelastung eine zeitgleiche senkrecht dazu verlaufende Zugbelastung auslöst (DOUGLAS 1997). Die Querrisse sind in einem konvexen Hornring (mit dementsprechender Qualitätsminderung) zu finden und weisen eine unregelmäßige Bruchkante auf (SCHNITKER 2004).

2.7.4 Hornspalten

Als Hornspalten im klinischen Sinne bezeichnet man vertikale Zusammenhangstrennungen (= Risse) im Bereich der Hornwand in Längsrichtung der Hornröhren (LUNGWITZ 1913; KÖRBER 2006). Dabei kann ein vorhandener Riss in der Hornsubstanz ohne Bruchablenkung bis in die vaskularisierte Lederhaut vordringen, was zu Lahmheit und Keiminvansion mit Blutungen und nachfolgenden Infektionen führen kann (KASAPI u. GOSLINE 1997; STASHAK 1989). Hornspalten legen nicht selten den Grundstein für die Entstehung von Hornsäulen (RASCH 2007).

Eine Einteilung der Hornspalten ist anhand ihrer Lokalisation sowie ihrer Längen- und ihrer Tiefenausdehnung in der Hornwand möglich (KÖRBER 2006). An der Hufplatte kann man Vorderwand-, Seitenwand- und Trachtenwandhornspalten unterscheiden (STASHAK 1989). Des Weiteren können auch an der Hufsohle, im Strahl und im Eckstrebenbereich Hornspalten auftreten (KÖRBER 2006). Entsprechend ihrer Längenausdehnung unterscheidet man Tragrand-, Kronrand- und durchlaufende (bzw. durchgehende) Hornspalten, wobei die Tragrandspalten den Kronrand nicht erreichen, die Kronrandspalten ihrerseits nicht den Tragrand. Durchgehende Hornspalten stellen eine Trennung der Hornschichten vom Kronrand bis zum Tragrand her (KÖRBER 2006). Die Einteilung nach der Eindringtiefe der Hornspalten unterscheidet Windrisse (nur die Glasurschicht betroffen), oberflächliche Hornspalten (Spalt durch Glasur- und pigmentierte Röhrenchschicht), tiefe Hornspalten (Spalt in gesamter Röhrenchschicht) und durchdringende Hornspalten (Spalt bis zur Huflederhaut). Überlappende Hornspalten entstehen, wenn sich die Spaltränder dachziegelartig überlagern (HINTERHOFER 1997).

Nach RASCH (2007) kann man die Ursachen für Hornspalten in drei verschiedenen Gruppen zusammenfassen: traumatische Einwirkungen auf die Hufkapsel oder die Lederhaut, minderwertige Hufhornqualität sowie Spannungen innerhalb der Hornkapsel, die auf die Hufform und/oder Fehlbelastungen zurückzuführen sind. Traumatische Ursachen können z.B. Kronritte mit darauffolgender Zerstörung der hornbildenden Matrix sein (KÖRBER 2006), eine minderwertige Hornqualität kann aufgrund starker Austrocknung entstehen (STASHAK 1989) und ist auch genetisch bedingt (SCHMITT 1998). Prädisponierend ist auch eine dünne Hufwand (STASHAK 1989), wie sie an den Seiten- und Trachtenwänden vorkommt. Trotz der genetischen Komponente sind Hornspalten stets erworben und nie angeboren (ZIER 1910). Ungleiche Belastungsverhältnisse der Hufwand mit dementsprechend auftretenden hohen Spannungen sind die häufigste Ursache von klinisch apparenten Hornspalten, hierbei reißt das Horn ein, weil es der übermäßigen

Beanspruchung nicht mehr standhält (RASCH 2007). Die ungleichen Belastungen können durch unregelmäßige Gliedmaßenstellungen und Hufformen, aber auch durch fehlerhafte Hufkorrektur, mechanische Überbeanspruchung oder Huf- und Gliedmaßenerkrankungen hervorgerufen werden (KÖRBER 2006). Hierbei neigt stets der mehrbelastete Hufanteil zu Hornspalten, so zeigen spitzgewinkelte Hufformen vermehrte Rissbildung in den Trachten (HARDERS 1985). Jeder einzelne Defekt der Hufwand übt zusätzlich einen schädigenden Einfluss auf die noch intakten Teile der Hornwand aus. So fördert ein Defekt in der Glasurschicht das Austrocknen der tieferen Schichten und Bewegungen der Spaltränder beschädigen die umliegende Hornsubstanz sowie bei tiefen und durchdringenden Spalten die Lederhaut (KÖRBER 2006). Die Bewegungen der Spalten werden durch den Hufmechanismus verursacht, wobei sich Vorderwandhornspalten bei Belastung verengen und Trachtenwandhornspalten erweitern (STASHAK 1989). Vorderhufe sollen häufiger von Hornspalten betroffen sein als Hinterhufe, und hierbei die mediale Seitenwand häufiger als die laterale, während an den Hinterhufen häufiger dorsale Zehenwandhornspalten auftreten (ZIER 1910). Bei der Behandlung von Hornspalten ist die Abstellung der Ursache von großer Wichtigkeit (BOWE 2011).

2.8. REGULIERUNG DER HUFWANDLÄNGE – MECHANISMEN UND EINFLUSSFAKTOREN

Die Hufwandlänge resultiert aus Produktion und Verlust von Hornzellen. Die ständige Zellteilung im Stratum basale der Kronepidermis sorgt für eine Zunahme an Hornzellen, die nach distal geschoben werden (BRUHNKE 1931). Gleichzeitig treten während der Bewegung des Pferdes Reibungskräfte zwischen dem Tragrand und dem Boden auf, die zu einer Abnutzung des Hornes am Tragrand führen (HERZBERG 1996). Diese Abnutzung erfolgt in Form von Hornabrieb und Tragrandausbrüchen (Chipping) (PATAN 2001).

2.8.1 Hufwandlänge am Zehenrücken

Die verschiedenen Angaben zur absoluten Länge des Zehenrückens finden bereits in der Literaturübersicht über die Hufform Berücksichtigung (Kapitel 2.2.4). Die Zehenrückenlänge ist nach FISCHER (1933) abhängig von Rasse, Alter, Gebrauch und Gliedmaßenstellung der Pferde. Nach UM et al. (1997) erfolgt auch eine proportionale Zunahme der Zehenrückenlänge mit steigender Körpermasse bei Rennpferden. Bei Wildequiden soll die Zehenlänge oftmals ausgeprägter sein als bei Hauspferden, was auch auf eine dickere Sohle zurückzuführen ist (SCHNITKER 2004).

Oft wird mit der Bezeichnung „Huf mit langer Zehe“ auch eine niedrige Trachte sowie ein spitzer Vorderwandwinkel verbunden (STASHAK 1989). Dabei kommt es meist zur Brechung der Hufachse. Durch den verlängerten Hebelarm wird das Abrollen erschwert (STASHAK 1989). Im Huf kommt es dann dabei zu einer Verlagerung des Strahlbeins sowie einer verstärkten Belastung der tiefen Beugesehne, welche wiederum zu einer deutlichen Druckzunahme auf das Strahlbein führt (STASHAK 1989; PAGE u. HAGEN 2002). Gesundheitliche Folgen dieser vermehrten Belastung können einerseits Podotrochlose sein (EBERLEIN 1908; STASHAK 1989), andererseits kann auch eine Belastungshufrehe durch Überlastung des Hufbeinträgers im Zehenrückenbereich auftreten (STASHAK 1989; BUDRAS u. HUSKAMP 1999; THOMASON et al. 2001).

2.8.2 Hornbildungsrate

Der ständige Zellnachschub durch mitotische Teilung im Stratum basale der Oberhaut sorgt für die Neubildung von Hufhorn (BUDRAS u. RÖCK 2008). Die Bestimmung der Hornbildungsrate war schon früh im Interesse der Forschung (z.B. LEISERING u. HARTMANN 1876). Am häufigsten ist bei diesen Wachstumsmessungen das äußere Kronhorn im Fokus der Betrachtungen, da dieses als stabile Schutzschicht für den Huf eine besonders große Bedeutung hat. Die Bestimmung der Hornbildungsrate erfolgt meist durch das Beobachten und Ausmessen einer festen Markierung auf der Hufplatte, die im Laufe einer bestimmten Zeit eine gewisse Strecke vom Kronrand in Richtung Tragrand durch das proximal von ihr gebildete Horn distal geschoben wird (KNEZEVIC 1959; JOSSECK 1991). Obwohl das Saumhorn über dem Kronhorn liegt, ist es für

derartige Betrachtungen des Hufwachstums ungeeignet. Die Gründe hierfür liegen in der sehr geringen Dicke des Saumhorns sowie in seinem häufigen distalen Verschwinden aufgrund exogener Einflüsse (BRUHNKE 1931; BUCHER 1987).

Nach RUTHE et al. (1997) erfolgt das Längenwachstum des Kronhorns in Übereinstimmung mit LUNGWITZ (1913) und FISCHER (1933) gleichmäßig vom Kronrand bis zum Tragrand. Auch LEU (1987) stellte keine Unterschiede in der Wachstumsrate der Vorder-, Seiten- und Trachtenwand fest. Im Gegensatz dazu stellten SCHREYER (1997) und BECKER (1998) ein in Richtung Seiten- und Trachtenwand abnehmendes Hufhornwachstum fest. Die Angaben über die Hornbildungsrate divergieren in der Literatur, wobei viele Autoren von einem Durchschnitt von 8 bis 10 mm pro Monat berichten (KAINER 1989). Nähere Angaben zu den von verschiedenen Autoren bestimmten Hornbildungsraten des äußeren Kronhorns sind Tabelle 10 in Anhang II zu entnehmen. Eine Vergleichbarkeit der Literaturangaben ist jedoch insofern erschwert, weil einige Autoren die Hornbildungsrate in mm pro Monat, andere in mm pro 28 Tage angeben. Soweit es aus den gegebenen Literaturangaben möglich war, erfolgte eine Umrechnung der dort ermittelten Hornwachstumswerte in mm pro 28 Tage.

Die Hornbildungsrate, die durch Messungen am äußeren Kronhorn ermittelt wird, ist jedoch nicht auf alle Kronhornzonen übertragbar. Durch Markierung mit radioaktiven Isotopen ermittelte POLLITT (1990) unterschiedliche Wachstumszonen im Zehenrückenteil, wobei das innere Kronhorn mit 10 mm pro 28 Tage schneller wächst als das äußere Kronhorn mit 7 mm pro 28 Tage. Auch ist die Hornbildungsrate des Kronhorns nicht auf andere Hufsegmente übertragbar. Für das Sohlenhorn gelten z.B. geringere Wachstumsraten. So ermittelten JOSSECK und SCHULZE (1991) beim Lipizzaner Werte von 4,8 mm pro 28 Tage, was je nach Sohlendicke eine Erneuerungszeit von 3 bis 4 Monaten bedeutet.

Als Huferneuerungszeit wird die Zeitspanne bezeichnet, in der das am Kronrand gebildete Horn den Tragrand erreicht (BOLLIGER u. GEYER 1992). Sie ist abhängig von der Hufwandlänge des Zehenrückens sowie von der Hornbildungsrate (LEU 1987). Besondere klinische Bedeutsamkeit erlangt sie nach der Exungulation (Verlust der Hornkapsel) infolge einer schweren Hufrehe. Die Angaben zur Huferneuerungszeit des äußeren Kronhorns schwanken in der Literatur zwischen minimal 7 Monaten beim Warmblüter (WINTZER 1986) und maximal 20 Monaten beim Islandpferd (LEU 1987; GEYER u. SCHULZE 1994).

Folgende Faktoren sollen nach LOCKARD und REINERTSON (1986) sowie KÖRBER (2006) das Hufhornwachstum beeinflussen: Zehenwinkel, Erbanlagen und Rasse, Jahreszeit, Ernährung, Feuchtigkeitsgehalt des Hornes, Alter und Verwendung des Pferdes, Einwirkung von Irritantien sowie Geschlecht und Stoffwechselgeschehen des Pferdes.

2.8.2.1 Physiologische Einflussfaktoren

Bei den physiologischen Einflussfaktoren auf die individuelle Hufhornbildung ist zunächst die Bedeutung der Rasse sowie der Genetik zu betrachten (LEISERING u. HARTMANN 1876). Die verschiedenen in der Literatur angegebenen Hornbildungsraten sind zunächst auch Ausdruck der unterschiedlichen Rassen, die für die jeweiligen Messungen verwendet wurden (siehe Anhang II, Tabelle 10). Aber auch innerhalb einer Studie konnten rasseabhängige Unterschiede festgestellt werden, so z.B. bei LEU (1987), die bei Islandpferden eine im Vergleich zu Kalt- und Warmblütern nur halb so große Hornbildungsrate feststellte. Ähnliche Ergebnisse erzielten auch GEYER und SCHULZE (1994). Nach SUSTMANN (1913) zeigen Vollblutpferde gegenüber Kalt- und Warmblutpferden eine erhöhte Hornproduktion.

Einen indirekten genetischen Einfluss auf die Hornproduktion übt das Exterieur des Pferdes aus, dessen Heritabilität (Erblichkeit) z. B. beim Englischen Vollblut mit $h^2 = 0,35$ im mittleren Bereich liegt (DUŠEK 1970). Das Exterieur hat Einfluss auf die Gliedmaßen- und Hufstellung, diese wiederum beeinflusst die Hornproduktion. So zeigen stumpfgewinkelte Hufe mit kurzer Zehe ein geringeres Hornwachstum als spitzgewinkelte Hufe (GLADE u. SALZMAN 1985). Werden infolge fehlerhafter Gliedmaßenstellung oder

unregelmäßiger Hufform bestimmte Hufwandabschnitte ungleichmäßig belastet, folgt hieraus auch ein ungleichmäßiges Hufwachstum. Hierbei führt eine vermehrte Belastung zu einer sinkenden Wachstumsrate (HABACHER 1948; HERTSCH et al. 1996; RUTHE et al. 1997).

Die Farbe des Fells der untersuchten Pferde hat keinen Einfluss auf die Hornbildungsrate (BECKER 1998). Bei der Huffarbe stellte BECKER (1998) eine Tendenz für schnelleres Wachstum von unpigmentierten Hufen fest, wohingegen gemischtfarbige Hufe das geringste Wachstum zeigen. Andere Autoren können keinen Einfluss der Pigmentierung auf das Hufwachstum erkennen (LEISERING u. HARTMANN 1882; FISCHER 1933; LUNGWITZ 1913).

Bei dem Vergleich der Wachstumsraten zwischen Vorder- und Hinterhufen herrscht wenig Einigkeit. SCHREYER (1997) bemerkte zwar ein durchschnittlich höheres Hornwachstum an den Hinterhufen, konnte dieses aber nicht statistisch signifikant absichern. Eine höhere Hornproduktion der Hinterhufe im Vergleich zu den Vorderhufen stellten auch ANDRIST (1953), KNEZEVIC (1959), BUTLER und HINTZ (1977) sowie BECKER (1998) fest. Demgegenüber sehen RICHTER (1990) und HERZBERG (1996) keinen Effekt der Huflokalisierung auf das Hornwachstum.

Auch das Geschlecht spielt bei den Betrachtungen über das Hufwachstum eine Rolle. So sollen Stuten und Hengste ein stärkeres Hornwachstum zeigen als Wallache (KÖRBER 2006), wohingegen LEISERING und HARTMANN (1882) sowie LUNGWITZ (1913) bei Hengsten ein geringeres Wachstum feststellen. Die Hornbildungsrate von Stuten wird von GRAHAM et al. (1994) als geringer, von RICHTER (1990) bei Haflingern als höher im Vergleich zu Hengsten bewertet. Nachteilig ist bei diesen Betrachtungen sicher die geringe Anzahl an untersuchten Hengsten im Vergleich zu Stuten und Wallachen, was auch bei den von PATAN (2001) untersuchten Przewalskipferden der Fall war. BECKER (1998) stellte bei der Hornbildungsrate folgende Rangierung fest: Hengste > Stuten > Wallache, spricht aber dennoch nicht von geschlechtsbezogenen Wachstumsunterschieden, da die Gruppengrößen zu unterschiedlich sind. Keinen statistisch signifikanten Einfluss des Geschlechtes auf die Hornbildungsrate stellten BUTLER und HINTZ (1977) sowie SCHREYER (1997) fest.

Hormonwirkungen beeinflussen ebenfalls die epidermale Proliferation und somit das Hornwachstum. Eine stimulierende Wirkung haben insbesondere das in Abhängigkeit von Tageslichtlänge und Umgebungstemperatur gebildete Prolaktin (GEBBIE et al. 1999; LINCOLN u. RICHARDSON 1998) sowie Wachstumsfaktoren wie EGF (epidermal growth factor) und TGF- α (transforming growth factor-alpha) (FINZI et al. 1991; RHEINWALD u. GREEN 1977; WYNN et al. 1995). Die Beeinflussung der Hornproduktion durch den hormonabhängigen Reproduktionsstatus ist bei Rindern ausführlicher untersucht. Nach DIETZ und PRIETZ (1981) ist ein geringeres Hornwachstum im letzten Trächtigkeitsdrittel sowie in der Hochlaktation zu beobachten. Die metabolischen Belastungen von Laktation und Trächtigkeit beeinflussen somit andere StoffwechsellLeistungen wie die Hornproduktion (DIETZ u. KOCH 1972). Keinen Einfluss durch die Laktation auf das Hornwachstum stellten HAHN et al. (1986) fest während GOTO et al. (1995) sogar im zweimonatigen Zeitfenster um den Partus herum sowie in der Trockenstehphase die größten Hornbildungsraten ermittelten.

Einen nach vielen Autoren entscheidenden Einfluss auf die Hornbildungsrate hat das Alter der Tiere (PRENTICE 1973). Bei Jährlingen wurden oftmals höhere Wachstumswerte ermittelt als bei adulten Pferden (siehe Anhang II, Tabelle 10). Mit zunehmendem Alter nimmt die Wachstumsgeschwindigkeit des Hornes ab (BUTLER und HINTZ 1977), auch bei verschiedenen Rassen haben jüngere Pferde somit eine erhöhte Hornbildungsrate (KNEZEVIC 1959). Gleichlautende Ergebnisse gibt es von PRIETZ (1986) und auch von RICHTER (1990) bei Haflingern und JOSSECK (1991) bei Lipizzanern. Auch MEYER (1995) behauptet, dass das Hufwachstum primär abhängig vom Alter ist und gibt folgende Wachstumsraten an: Fohlen 15 mm pro Monat, Jährlinge 10 mm pro Monat und adulte Pferde 9 mm pro Monat. Die Untersuchungsergebnisse von BECKER (1998) an Warmblutpferden und PATAN (2001) an Przewalskipferden lassen hingegen keine

Aussage hinsichtlich der Altersabhängigkeit der Hornproduktion zu. Eine Schwierigkeit beim Vergleich dieser Studien liegt allerdings auch in der unterschiedlichen Definition der Altersgruppen.

2.8.2.2 Alimentäre Einflussfaktoren

Die Nährstoffversorgung über die verabreichten Futtermittel beeinflusst das Hufwachstum (PRIETZ 1986). Dies geschieht einerseits über die reine Futtermenge. So stellten BUTLER und HINTZ (1977) bei einer ad-libitum-Fütterung von Ponys ein um 50 % gesteigertes Hufwachstum fest. Aber auch die Futterzusammensetzung und enthaltene Zusatzstoffe können einen fördernden Einfluss auf die Hornbildung haben. So ist sie bei Eiweißüberschuss erhöht, allerdings dann bei geringerer Hornfestigkeit (MEYER 1995). Ein Eiweißmangel und besonders ein Mangel an schwefelhaltigen Aminosäuren führen hingegen zu einer Verzögerung des Hornwachstums (MEYER 1995). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen CLARK und RAKES (1982), welche die Hornproduktionsrate durch den Nahrungszusatz von schwefelhaltigen Aminosäuren wie Cystein stimulierten. Eine Eiweißzufütterung in Form von Gelatine hat bei Shetlandponys eher einen tendenziell negativen Einfluss auf die Hornbildungsrate (BUTLER u. HINTZ 1977), während bei Absatzfohlen eine um 37 % gesteigerte Hornproduktion durch Fütterung von Gelatinehydrolysat beobachtet wurde (TIMM 1993). Dieses ist zurückzuführen auf die dadurch verbesserte Versorgung mit den für die Keratinsynthese benötigten Aminosäuren wie Cystein, Arginin und Leucin (TIMM 1993).

Supplementierungsversuche mit Biotin (Vitamin H) zur Verbesserung von Hornwachstum und Qualität wurden vielfach durchgeführt. Hierbei ließ sich jedoch meist keine positive Beeinflussung der Hornproduktion nachweisen (WINTZER 1986; LEU 1987; GEYER u. BUDRAS 1989; GEYER u. SCHULZE 1994; JOSSECK et al. 1995). In nur wenigen Veröffentlichungen wurde auch von einem gesteigerten Hornwachstum beim Pferd nach Biotinfütterung berichtet (BUFFA et al. 1992). Beim Rind ist eine positive Beeinflussung des Klauenhornwachstums durch Biotinfütterung von DA SILVA (2010) nachgewiesen. Bei einer kombinierten Gabe von Biotin mit schwefelhaltigen Aminosäuren konnte GEYER (1993) eine pro Monat um 1,8 mm erhöhte Hornbildungsrate feststellen. BECKER (1998) kombinierte die Biotingabe mit Gelatinehydrolysat und erzielte dadurch auch eine höhere Hornproduktion, die sie aber aufgrund der Literaturangaben allein auf die Gelatine zurückführte.

Eine Zufütterung von Zink wurde zunächst zur Verbesserung der Hufhornqualität durchgeführt, denn qualitativ schlechteres Hufhorn unterschied sich von dem guter Qualität durch niedrigere Zink- und höhere Kupfer-Werte (COENEN u. SPITZLEI 1995). Die kombinierte Fütterung eines Gelatine-Zink-Präparates führte bei einer definierten Untersuchungsgruppe zu einer signifikanten Erhöhung der Hufwachstumsrate (BECKER 1998), wobei auch hier die Effekte auf der Wirkung der Gelatine beruhen könnten.

2.8.2.3 Haltungsbedingte Einflussfaktoren

Den größten haltungsbedingten Einfluss auf das Hornwachstum bei Hauspferden hat die Hufbearbeitung durch den Hufschmied. Das Kürzen der Hufe und regelmäßige Hufpflege wirken dabei stimulierend auf das Wachstum (LUNGWITZ 1913; KNEZEVIC 1959; PRIETZ 1986; BECKER 1998; HERTSCH et al. 1996) ebenso wie ein erhöhter Abrieb (NAUMANN 1984). Übereinstimmend wird in der Literatur auch ein hemmender Einfluss auf das Hufwachstum durch den Hufbeslag angegeben (LEISERING u. HARTMANN 1882; KNEZEVIC 1959; PRIETZ 1986), wobei nach ANDRIST (1953) unbeschlagene Hufe im Vergleich zu beschlagenen Hufen nahezu doppelt so schnell wachsen. Nach LUNGWITZ (1913) wird durch den Beslag der Hufmechanismus teilweise außer Kraft gesetzt, die daraus resultierende Durchblutungsreduktion führt zu einer Minderversorgung mit folglich geringerem Hornwachstum. HERTSCH et al. (1996) verbinden mit dem Beslag eine vermehrte Belastung des gesamten Hufes und erklären hiermit das geringere Wachstum.

Die Bewegungsintensität des Pferdes hat ebenfalls einen Einfluss auf das Hufhornwachstum. Eine Förderung durch viel Bewegung (meist in Zusammenhang mit einem weichen Untergrund) wird von mehreren Autoren

beschrieben (LUNGWITZ 1913; HERTSCH et al. 1996). Dieser Effekt wurde auch bei beschlagenen Pferden auf mäßig eindrückbarem Boden beschrieben (FISCHER 1933). WINTZER (1986) erklärt diesen positiven Effekt mit einer durch die Bewegung auftretenden Durchblutungssteigerung der Huflederhaut.

Eine Durchblutungssteigerung der Huflederhaut mit folglich vermehrter Hornproduktion kann auch mit verschiedenen hyperämisierenden Einreibungen am Kronrand erreicht werden (LOCKARD u. REINERTSON 1986; STASHAK 1989). Eine pathologische vermehrte Hornproduktion, die auf dem gleichen Effekt beruht, ist nach Kronrandverletzungen zu beobachten (SUSTMANN 1913). Die größte praktische Bedeutung der möglichen Einreibungen hat das Lorbeerfruchtöl, da keine äußerlich sichtbaren Reizungen am Kronrand nach der Applikation auftreten (BECKER 1998). Der von BECKER (1998) festgestellte deutlich positive Wachstumseffekt ließ jedoch im Laufe einer zunehmenden Behandlungsdauer etwas nach.

Andere Eingriffe, die eine Steigerung der Hornproduktion bewirken sollen, sind Hufumschläge mit Leinsamenbrei (SCHULZE 1911) und die Verabreichung von Stilbenpräparaten (KRUYT 1952). Auch nach einer Neurektomie wurde ein vermehrtes Hornwachstum beobachtet (SCHULZE 1911; KNEZEVIC 1959).

Schnelleres Hornwachstum wird auch durch eine erhöhte Feuchtigkeitszufuhr hervorgerufen, demzufolge wirkt sich Trockenheit hemmend auf das Hufhornwachstum aus (STASHAK 1989). Ebenso äußern sich LUNGWITZ (1913), FISCHER (1933) und HERTSCH et al. (1996). Bewegung in heißem Sand (FISCHER 1933) und kältere Klimazonen (GEYER u. SCHULZE 1994; HERTSCH et al. 1996) haben ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Hornproduktion. Auch bei Schafen nimmt die Klauenhornproduktion bei kälterer Umgebung ab (WHEELER et al. 1972).

2.8.2.4 Saisonale Einflussfaktoren

Obwohl die Hufhornproduktion schon früh im Fokus von wissenschaftlichen Untersuchungen stand, ist über lange Zeit den saisonalen Aspekten des Hufwachstums kaum Aufmerksamkeit entgegengebracht worden. Dabei unterliegt die Hornproduktion erheblichen saisonalen Schwankungen mit Maximalwerten im Sommer und Minimalwerten im Winter. LEU (1987) sowie GEYER und SCHULZE (1994) ermittelten bei verschiedenen Rassen eine um 1 bis 2 mm pro 28 Tage verringerte Hornbildungsrate im Winter, die Reduktion der Hornbildung beim Lipizzaner (JOSSECK 1991) mit einem Wert von 1,5 mm pro 28 Tage liegt dabei im Schwankungsbereich. Auch beim Deutschen Reitpferd konnte durch PRIETZ und SCHREYER (1999) eine mit 0,4 mm pro 28 Tage geringere Hornproduktion im Winter nachgewiesen werden. RICHTER (1990) konnte bei Haflingern im Sommer ein deutlich höheres Hufwachstum als im Winter nachweisen. Für die Rinderklaue gibt es ähnliche Befunde (CLARK u. RAKES 1982; HAHN et al. 1986). Sogar bei an Hufrehe erkrankten Pferden, die allgemein eine höhere Hornbildungsrate aufweisen, kommt es im Winter zu einer weniger ausgeprägten Hornproduktion als im Sommer (RYAN 2001). Bei Eseln stellte sich jedoch kein jahreszeitlicher Unterschied in der Hornbildungsrate dar (VILSMEIER 2004).

PATAN (2001) belegte für unter Semireservat-Bedingungen gehaltenen Prezewalskipferden eine deutlich ausgeprägte jahreszeitliche Rhythmik in der Hufhornproduktion. Sie stellte im Winter eine mit 3,71 mm pro 28 Tage signifikant niedrigere Rate als in den Sommermonaten (7,62 mm pro 28 Tage) fest. Hierbei ergab sich auch eine positive Korrelation mit der täglichen Bewegungsintensität und der mittleren Außentemperatur (PATAN 2001). Angaben über die Hufhornproduktion ohne Berücksichtigung der Jahreszeit erscheinen nach PATAN-ZUGAJ et al. (2013) nahezu wertlos.

Die Ursache der saisonalen Schwankungen wird von den meisten Autoren in der verminderten Lederhautdurchblutung durch die geringeren Temperaturen gesehen (GEYER u. SCHULZE 1994; KAINER 1989; VERMUNT u. GREENOUGH 1995; WHEELER et al. 1972). Aber auch der Einfluss der Tageslichtlänge (CLARK u. RAKES 1982; LINCOLN u. RICHARDSON 1998) sowie jahreszeitlich bedingte Management- und Verhaltensänderungen (HAHN et al. 1986) werden als Ursachen diskutiert. Bei den von PATAN (2001) untersuchten Wildequiden wird die jahreszeitliche Rhythmik ebenfalls auf Veränderungen der

Umgebungstemperatur und der Tageslichtlänge zurückgeführt, welche die dermale Durchblutungsrate und den Hormonhaushalt beeinflussen. Verstärkende Wirkung auf die Saisonalität haben die unterschiedliche Bewegungsaktivität sowie die von der Jahreszeit variierende Nährstoffversorgung (PATAN 2001).

2.8.3 Hornverlust

Der Verlust von Hornsubstanz der Hufwand kann durch zwei verschiedene Vorgänge erfolgen: Hornabrieb und Tragrandausbrüche (PATAN 2001). Hier erfolgt eine Betrachtung zum reinen Hornabrieb, da die Literaturangaben zu den absoluten Werten sowie den jeweiligen Einflussfaktoren nahezu ausschließlich hierauf beruhen. Die Literaturangaben zur Entstehung von Tragrandausbrüchen sind in Kapitel 2.7.3 zu finden.

Die Hornabnutzung des unbeschlagenen Hufes an der Hufwand wird durch Reibung zwischen Hufbodenfläche und Boden in der Bewegung verursacht (FRIEDRICH 1930). Das Sohlen- sowie das Ballen- und Strahlhorn nutzen sich durch Abschliffung der obersten, losen Hornschichten (Zerfallshorn) ab, welche teilweise auch einer Fußungsreibung ausgesetzt sind (FRIEDRICH 1930). Bei der Reibung zwischen Hufwand und Boden kann man zwei Phasen unterscheiden: Fußungsreibung und Abschwungreibung (FISCHER 1933). Die Fußungsreibung wird bei FISCHER (1933) nochmals in zwei Reibungsarten aufgeteilt: die Auftrittreibung, die beim Auftreten auf den Boden entsteht, und die Belastungsreibung, welche während der Belastung durch gleitende und drehende Bewegungen des Hufes in der Zeit entsteht, in der die ganze Hufbodenfläche Bodenkontakt hat. Bei planer Fußung kommt es zu einem gleichmäßigen Abrieb an der gesamten Bodenfläche der Hufwand (GÖRTE u. SCHEIBNER, 1940), ansonsten ist der Abrieb durch Fußungsreibung dort am größten, wo der Huf beim Aufsetzen zuerst den Boden berührt (FISCHER 1933). Die Abschwungreibung entsteht durch das Abrollen über den Rückenteil der Wand beim Abfüßen (FISCHER 1933). Hierdurch wird besonders an den Vorderhufen die vordere Tragrangkante vermehrt abgerieben und es kommt damit zum Anlaufen einer Zehenrichtung (GÖRTE u. SCHEIBNER 1940). An den Hinterhufen dagegen ist eine deutliche Zehenrichtung ein Hinweis auf einen schleifenden Gang oder Pathologien wie Spat oder Schale (FRIEDRICH 1930; FISCHER 1933).

Dementsprechend finden LEISERING und HARTMANN (1882), dass bei unbeschlagenen Hufen die Abnutzung am Zehenrücken stärker ist als an den Trachten. Neuere Untersuchungen von RICHTER (1990) an Haflingern stellen jedoch eine relativ gleichmäßige Abnutzung aller Wandabschnitte von 4 bis 6 mm pro 28 Tage fest. Ein ähnliches Ergebnis bei der Ermittlung des Hornverlustes von durchschnittlich 5 mm pro 28 Tage erzielte HERZBERG (1996) bei unbeschlagenen Shetlandponys. Bei Przewalskipferden beträgt der Hornverlust im Jahresmittel 5,48 mm pro 28 Tage (PATAN 2001). Für Esel wurde an den dorsalen und lateralen Wandabschnitten des Vorderhufes ein Hornverlust von 6 mm pro 28 Tage ermittelt, an der medialen Seitenwand der Vorderhufe und an allen Wandabschnitten der Hinterhufe betrug der Verlust 7 mm in 28 Tagen (VILSMEIER 2004).

Die Einflussfaktoren auf die Hornabnutzung sind vielfältig. Von verschiedenen Autoren wurden dabei für unbeschlagene Hufe besonders Arbeitsintensität, Bodenbeschaffenheit, Körpergewicht des Pferdes, Widerstandsfähigkeit des Hufhorns und die Größe der Bodenfläche des Hufes genannt (FRIEDRICH 1930; SCHWENDIMANN 1937; RUPPERT 1941; HERTSCH u. CARSTENSEN 1983).

2.8.3.1 Physiologische Einflussfaktoren

Die Genetik und die Rassezugehörigkeit haben unbestritten Einfluss auf den Hornverlust (LEISERING u. HARTMANN 1876; KIND 1961). Dies liegt zum einen an den genetisch bestimmten Exterieurmerkmalen, zum anderen an der genetisch determinierten Hornqualität.

Nach FRIEDRICH (1930) werden stärker belastete Wandabschnitte mehr abgenutzt als schwächer belastete. Weist das Exterieur des Pferdes nun im Fundament Stellungsanomalien auf, die zu einer Mehrbelastung

einzelner Hufwandabschnitte führen, ist hier auch der Abrieb größer. RUPPERT (1941) wies das für steilstehende Hufwände nach. Einen genetischen Einfluss auf die Hornqualität beschreibt JOSSECK (1991) bei Lipizzanerfamilien. Bei weichem und brüchigem Hufhorn, das als qualitativ schlechter eingeschätzt wird, ist der Abrieb vermehrt, während sich festes Horn nicht so schnell abnutzt (RUPPERT 1941; JOSSECK 1991). Die Festigkeit des Horns soll dabei auch durch seinen histologischen Aufbau bedingt sein (MÖLLER 1915; DIETZ u. PRIETZ 1981). Das Hufhorn ist umso härter, je dichter die Röhrenchen beieinander stehen und je weniger Zwischenröhrenhorn vorkommt (MÖLLER 1915; PATAN 2001). Nach KIND (1961) setzt die engere Röhrenchenstruktur in steiler gestellten Hufwänden dem Abrieb einen größeren Widerstand entgegen. Bei Rindern ist hingegen die Erbllichkeit der Klauenhärte recht gering, eine Selektion auf dieses Zuchtziel scheint deshalb wenig erfolgversprechend (GRAVERT et al. 1969).

Einen Unterschied im Abrieb bei Vorder- und Hinterhufen vermutet MÖLLER (1915). Aufgrund der stärkeren Belastung der Vorderhufe soll hier auch der Abrieb größer sein (MÖLLER 1915; FISCHER 1933). Bei Rindern ist die Hornabnutzung an den Klauen der Hintergliedmaße höher als an der Vordergliedmaße (HAHN et al. 1986). Sowohl RICHTER (1990) bei Haflingern als auch HERZBERG (1996) bei Shetlandponys und SCHREYER (1997) bei Warmblutpferden konnten dies jedoch nicht signifikant bestätigen. Auch bei Przewalskipferden ist ein solcher Unterschied nicht aufgetreten (PATAN 2001).

Die Abrasionsfestigkeit des Hufhorns und damit die Schnelligkeit des Hornabriebs scheint auch von der Hornbildungsrate abhängig zu sein. So gibt SCHRÖDER (1970) bei Rindern an, dass schneller wachsendes Horn eine geringere Widerstandsfähigkeit hat. Auch PATAN (2001) beobachtete bei Przewalskipferden eine positive Korrelation zwischen monatlicher Hornbildungsrate und Hornverlust, wobei das schneller gebildete Horn auch histologisch Merkmale geringerer Qualität aufwies.

Der Einfluss einer Hufpigmentierung auf Hufhornhärte und Abriebfestigkeit wird in der Literatur unterschiedlich bewertet. Während RUPPERT (1941) keinen Einfluss der Pigmentierung auf den Hornabrieb nachweisen konnte, ist nach SASSEN (1938) und KÖRBER (2006) pigmentiertes Horn in jedem Fall widerstandsfähiger als unpigmentiertes. Dieses wurde von KOPPENHÖFER (1940) auch für Klauenhorn bestätigt. Dem widersprechend fand SCHREYER (1997) an der Vorderwand pigmentierter Pferdehufe einen stärkeren Abrieb. Das Geschlecht hat nach RICHTER (1990) und SCHREYER (1997) keinen Einfluss auf den Hornverlust der Vorderwand. Bei den von PATAN (2001) untersuchten Przewalskipferden ist dahingehend keine eindeutige Aussage möglich, da lediglich ein Hengst für die Beurteilung zur Verfügung stand. Dieser wies jedoch ein im Vergleich zu den untersuchten Stuten wesentlich geringeren Hornabrieb auf. Ein Einfluss des Alters auf die Hornabnutzung ist nach PATAN (2001) ebenfalls unwahrscheinlich. Ebenso ist die Widerstandsfähigkeit des Horns nicht von Geschlecht und Alter des jeweiligen Pferdes abhängig (SASSEN 1938).

Oft wird auch ein Einfluss des Körpergewichtes auf den Hornabrieb angenommen, so soll nach FISCHER (1933) „große Köperschwere“ die Abnutzung fördern. PATAN (2001) weist eine positive Korrelation zwischen dem durchschnittlichen monatlichen Körpergewicht und dem mittleren monatlichen Hornabrieb der untersuchten Population von Przewalskipferden nach, dies jedoch bei erheblichen individuellen Schwankungen.

2.8.3.2 Haltungbedingte Einflussfaktoren

Die Bodenbeschaffenheit hat nach Meinung der meisten Autoren einen deutlichen Einfluss auf den Hornabrieb (HOOD et al. 1997; ROONEY 1999). Hierbei soll ein harter, steiniger Boden förderlich sein, weicher Boden wie Weide oder Stroheinstreu hingegen den Abrieb hinauszögern (HERZBERG 1996).

Eine gesteigerte Bewegungsaktivität führt zu vermehrt auftretenden Reibungskräften, was demnach ebenfalls den Hornabrieb fördert (FISCHER 1933). Bei Wildpferden im Semireservat konnte jedoch kein statistisch relevanter Zusammenhang zwischen intensiver körperlicher Bewegung und einem hohen Hornabrieb gefunden werden (PATAN 2001). Trotzdem scheint sie einen modulierenden Einfluss auf den Hornabrieb zu haben. So

ist am Jahresanfang bei den Przewalskipferden bei geringem Hornabrieb eine gleichzeitige starke Einschränkung der Bewegungsaktivität im Sinne einer Energiesparstrategie festzustellen (PATAN et al. 2013). Den deutlichsten haltungsbedingten Einfluss auf den Hornabrieb hat der Hufbeschlag. Er ist als Hufschutz dafür verantwortlich, einen übermäßigen Abrieb, der durch höhere Arbeitsleistung des Pferdes auftritt, zu verhindern (MÖLLER 1915; FISCHER 1933). Durch den Beschlag wird die Abnutzung jedoch nicht völlig aufgehoben. Keinen bzw. einen minimalen Abrieb kann man im Bereich der vorderen Wandabschnitte beobachten (RUPPERT 1941). Durch Wirkung des Hufmechanismus und die damit verbundene Bewegung des Hufes auf dem Eisen kommt es im Bereich der hinteren seitlichen Wand und der Trachten zum Hornabrieb am Tragrand (LEISERING u. HARTMANN 1882; FISCHER 1933; RUPPERT 1941; SCHREYER 1997). Dieser ungleichmäßige Abrieb führt im Laufe einer Beschlagsperiode zu Formveränderungen am Huf, die sich nach HERTSCH und CARSTENSEN (1983) vor allem in einem um 1° bis 2° verkleinerten Zehenwinkel sowie einer im Vergleich zur Trachtenwand längeren Zehenwand äußern.

2.8.3.3 Saisonale Einflussfaktoren

Beim Przewalskipferd unterliegt auch der Hornverlust jahreszeitlichen Schwankungen. Im Sommer ist er deutlich höher als im Herbst oder Winter, was auf einen etwas höheren Hornabrieb als auch auf massive Tragrandausbrüche zurückzuführen ist (PATAN, 2001). Bei Rindern sind ebenfalls verschiedene Hornabnutzungsraten in Abhängigkeit von der Jahreszeit beobachtet worden (CLARK u. RAKES 1982; HAHN et al. 1986). Bei Eseln waren jedoch keine saisonalen Einflüsse auf den Hornabrieb zu beobachten (VILSMEIER 2004).

2.8.4 Regulierungsmechanismus der Hufwandlänge

Wachstum und Abreibung der Hornwand sollen sich unter natürlichen oder naturnahen Bedingungen (etwa bei geringer Arbeitsleistung) im Gleichgewicht befinden (MÖLLER 1915), so dass die natürliche Hufform meist erhalten wird (HERTSCH u. CARSTENSEN 1983). Ein Gleichgewicht zwischen Hornproduktion am Kronrand und Hornabnutzung am Tragrand der Hufe ist insbesondere bei Wildequiden wichtig, um einer übermäßigen Längenzunahme des Hufes entgegenzuwirken (KNEZEVIC 1959). Dieses Gleichgewicht stellt sich bei Przewalskipferden in Semireservat-Haltung nach einer ca. einjährigen Anpassungsphase ein (BERGER et al. 2006). Eine Kürzung der Hufwand ist bei diesen Pferden in Zoohaltung oft nur mit vorhergehender zwangsläufiger Narkotisierung möglich, was eine zusätzliche Belastung der Tiere darstellt (PATAN 2001; WANDRUSZKA 1998).

Nach SCHNITKER (2004) unterliegt die Regulation der Hufwandlänge bei Przewalskipferden folgendem saisonalen Geschehen: Im Frühling (März bis Mai) kommt es durch die erhöhte Hornbildung und den vergleichsweise verminderten Hornverlust zu einer Längenzunahme des Hufrückens. Anschließend erfolgt eine deutliche Längenreduktion der Hufe aufgrund eines verstärkten Hornverlustes, hauptsächlich bedingt durch Tragrandausbrüche (Chipping). Diese Ausbrüche werden durch einen langen Hebelarm beim Abrollen mit Spannungszunahme im Bereich der distalen Hufkapsel und eine witterungsbedingte Austrocknung des Horns im Frühsommer begünstigt. Auch die Hornhärteunterschiede zwischen im Sommer und im Winter gebildeten Horn und die physiologische Hufkapselringe tragen zu den Tragrandausbrüchen bei (PATAN 2001; SCHNITKER 2004). Aufgrund qualitativer Unterschiede im Horngefüge der konvexen und konkaven Ringe treten sie an den Übergangsstellen bevorzugt auf (SCHNITKER 2004). Ohne den ausgeprägten Hornqualitätswechsel kann somit kein gerichteter Tragrandausbruch stattfinden. Im Winter reicht der alleinige Abrieb am Tragrand bei signifikant geringerer Hornbildungsrate zur Huflängenregulation aus (PATAN 2001; SCHNITKER 2004).

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 UNTERSUCHUNGSMATERIAL

3.1.1 Pferde

3.1.1.1 Ausgewählte Tiere

Für die Untersuchungen zu Hornbildung und -verlust als auch für die Ermittlung von dorsaler Huflänge, Tragrandausbrüchen sowie für die Dokumentation von Spaltenbildung in der Hufwand und Hornchips standen insgesamt 26 Liebenthaler Pferde zur Verfügung, deren Geburtsjahr, Geschlecht und individueller Untersuchungszeitraum der Tabelle 3.1 zu entnehmen sind. Die sichere Identifizierung der Pferde erfolgte durch den auf der linken Halsseite implantierten Mikrochip sowie durch angelegte Halsriemen mit eingraviertes Nummer zum schnelleren Auffinden der zu untersuchenden Pferde in der großen Herde (Abbildung 3). Ein Rasseportrait der verwendeten Pferde findet sich in der Literaturübersicht (Kapitel 2.1.3).

Der Auswahl der Pferde aus der ca. 100-köpfigen Herde waren durch mangelnde Kooperation der Tiere zwar Grenzen gesetzt, jedoch wurde versucht, auf eine gleichmäßige Verteilung sowohl der Alters- als auch der Geschlechtsstruktur zu achten. Die genaue Datierung des Geburtsjahres bei einigen älteren Pferden war leider aufgrund fehlender Aufzeichnungen und nur ungenauer Zahnalterbestimmung durch mangelnde Akzeptanz nicht möglich. Die größte Sicherheit der Altersangabe liegt bei den ab 1999 geborenen Pferden vor, da ab diesem Zeitpunkt das Brandzeichen eingeführt wurde, welches auch das Geburtsjahr enthält (Abbildung 4 (a)). Aufgrund der guten Erfassbarkeit dieses Merkmals erfolgte die Trennung nach Altersgruppen in vor 1999 und ab 1999 geborene Pferde (siehe Tabelle 3.2).

Das frühzeitige Untersuchungsende von Pferd Nr. 15 beruhte auf der zunehmenden Aggressivität dieser Stute, Hengst Nr. 6 schied leider vorzeitig durch Schlachtung aus. Bei dem zunächst mit Halsriemen Nr. 18 markierten Tier ließ sich der Mikrochip auch nach mehreren Versuchen und mit verschiedenen Lesegeräten nicht auslesen, zudem verlor dieses Pferd innerhalb des ersten Messmonats den Halsriemen. Da es sich in der großen Herde nur schwer und unsicher wieder auffinden ließ, die Nummerierung der anderen Pferde jedoch schon abgeschlossen war, wurde die Nr. 18 nicht weiter berücksichtigt und auch nicht an ein anderes Pferd weitergegeben. Das späte Hinzukommen der Pferde mit den laufenden Nummern 26 und 27 soll das Ausscheiden der Pferde mit den Nummern 6 und 15 ausgleichen und wurde durch zunehmende Kooperation und Akzeptanz der Messungen begünstigt.

Für die vergleichenden Betrachtungen im Diskussionsteil wurden zusätzlich die von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) erhobenen Daten von Przewalskipferden verwendet. PATAN (2001) standen in einem Gesamtzeitraum von Januar 1996 bis September 1998 zur Ermittlung von Hornbildungsrate und -verlust bzw. -abrieb 15 Przewalskipferde mit jeweils unterschiedlichen individuellen einzelnen Untersuchungszeiträumen zur Verfügung. SCHNITKER (2004) dokumentierte die jahreszeitlichen Unterschiede der dorsalen Huflänge durch Messungen an insgesamt acht Przewalskipferden in einem Untersuchungszeitraum von Januar 2002 bis Dezember 2002. Die Przewalskipferde werden im Rahmen des Europäischen Erhaltungszuchtprogrammes (EEP) im Semireservat Schorfheide-Liebenthal in direkter räumlicher Nähe zu den Liebenthaler Pferden mit dem Ziel der Anpassung an die Natur ohne menschliche Hilfe für eine eventuelle Wiederauswilderung gehalten. Bei beiden Untersuchern war aufgrund der geringeren Tieranzahl und der anderen Herdenstruktur die Geschlechts- und Altersverteilung der verwendeten Pferde nicht so ausgeglichen wie bei den untersuchten Liebenthaler Pferden. So befand sich in den Untersuchungsgruppen jeweils nur ein Hengst. Aus diesem Grund können nur beide Gesamtpopulationen miteinander verglichen werden, ein Vergleich hinsichtlich des Alters oder des Geschlechts ist nicht möglich.

Tabelle 3.1: Untersuchte Pferde

Lfd. Nr. (Name)	Mikrochip- Nummer	Geschlecht	Geburtsjahr	Untersuchungszeitraum
1 (Horst)	276098101191292	Hengst	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
2 (Frilla)	276098101191317	Stute	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
3 (Max)	276098500101018	Hengst	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
4 (Mida)	276098101198606	Stute	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
5 (Medina)	276098101190810	Stute	1998	Okt. 2004 – Okt. 2005
6 (Domenik)	276098101210215	Hengst	2000	Okt. 2004 – Apr. 2005
7 (Mirabella)	276098500117178	Stute	2001	Okt. 2004 – Okt. 2005
8 (Karla)	276098101192573	Stute	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
9 (Tobi)	276098101199269	Hengst	1994/95	Okt. 2004 – Okt. 2005
10 (Kneli)	276098101197943	Stute	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
11 (Mia)	968000001790996	Stute	2003	Okt. 2004 – Okt. 2005
12 (Raufbold)	968000001816930	Hengst	2003	Okt. 2004 – Okt. 2005
13 (Tatar)	968000001820149	Hengst	2003	Okt. 2004 – Okt. 2005
14 (Merkur)	968000001184892	Hengst	2002	Okt. 2004 – Okt. 2005
15 (Mary)	276098101186315	Stute	1999	Okt. 2004 – Mai 2005
16 (Miriam)	276098101210217	Stute	1999	Okt. 2004 – Okt. 2005
17 (Botan)	968000001808390	Hengst	2003	Nov. 2004 – Okt. 2005
19 (Bienelina)	276098101204765	Stute	1997	Okt. 2004 – Okt. 2005
20 (Weißer)	968000001814552	Hengst	2003	Okt. 2004 – Okt. 2005
21 (Franzi)	968000001794988	Stute	Vor 1996	Okt. 2004 – Okt. 2005
22 (Mariona)	276098100529491	Stute	1999	Okt. 2004 – Okt. 2005
23 (Raiko)	276098101183251	Hengst	2000	Okt. 2004 – Okt. 2005
24 (Bienela)	276098101186544	Stute	1998	Nov. 2004 – Okt. 2005
25 (Frohna)	276098101182775	Stute	2000	Okt. 2004 – Okt. 2005
26 (Mutan)	968000001831090	Hengst	2003	Mai 2005 – Okt. 2005
27 (Friduline)	276098101190464	Stute	Vor 1996	Juli 2005 – Okt. 2005

Tabelle 3.2: Alters- und Geschlechtsstruktur der untersuchten Liebenthaler Pferde

	geb. vor 1999	geb. ab 1999 (davon geb. 2003)	gesamt
Hengste	3	8 (5)	11
Stuten	9	6 (1)	15
gesamt	12	14 (6)	26

3.1.1.2 Haltung der Pferde

Die Haltung der Liebenthaler Pferde erfolgt auf einem knapp 80 Hektar großen Areal in der brandenburgischen Schorfheide, welches zur Stadt Liebenwalde, Ortsteil Liebenenthal, (Landkreis OHV) gehört. Auf dem Gelände sind verschiedene geschützte Biotope vorhanden, ein Grund, warum die Niedermoorlandschaft unter Naturschutz steht. Die Grünfläche ist dreigeteilt, um bei Bedarf die Herde von einer Weidefläche auf die nächste treiben zu können. Die hierfür benötigten Treibewege verbinden die Wiesen miteinander. Die nördliche Weidefläche hat eine Größe von 25 Hektar, die mittlere ist 33,5 Hektar groß und die südliche Weide ist mit 19 Hektar am kleinsten (Abbildung 5).

Durch die angrenzenden Bewässerungsgräben ist ein Austrocknen des Bodens selten, während der Vegetationsperiode steht den Pferden somit ständig frisches Grünfutter zur Verfügung. Eine begrenzte Zufütterung mit Heu erfolgt daher nur im Winter (Zeitraum Ende Dezember bis Mitte April), wenn das Vegetationswachstum zum Erliegen kommt oder nicht ausreichend zu sein scheint. Das verwendete Heu wird im Sommer von den Wiesenflächen des Geländes gewonnen, ein Zukauf von anderer Herkunft erfolgt nicht. Diese Zufütterung im Winter ist neben der jährlichen Wurmkur und dem regelmäßigen Weideumtrieb der einzige menschliche Eingriff in das Leben der Pferdeherde und ist aufgrund des abgegrenzten Areals, in dem sich im Winter keine anderen Möglichkeiten zur Deckung des Nährstoffbedarfs finden, aus Tierschutzgründen unumgänglich.

Zur Deckung des Wasserbedarfes gibt es Brunnen, die mit einem Pumpmechanismus ausgestattet sind und ähnlich einer Selbsttränke von den Pferden bedient werden müssen. Außerdem stehen je nach Wetterlage mehrere Wasserpfützen sowie Schnee und Eis zur Verfügung.

Abgesehen von wenigen notwendigen Maßnahmen in der Herde (Markierung der Fohlen mittels Brandzeichen und Mikrochip, Verabreichung der jährlichen Wurmkur durch Injektion, Umtrieb und Aussortieren der überzähligen Pferde) sowie der Heufütterung im Winter bleiben die Pferde vom Menschen weitgehend unbeeinflusst und leben naturnah unter Semireservat-ähnlichen Bedingungen. Damit ist die Haltung vergleichbar mit derjenigen der Przewalskipferde, die PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) für ihre Untersuchungen nutzten. Diese Przewalskipferde wurden sogar in direkter örtlicher Nähe, ebenfalls in der Schorfheide, gehalten und sind somit sehr ähnlichen natürlichen Bedingungen ausgesetzt wie die hier untersuchten Liebenthaler Pferde. Anders als bei den Liebenthaler Pferden erfolgt jedoch keine Heuzufütterung im Winter. Ihren Nährstoffbedarf müssen die Przewalskipferde komplett aus der zur Verfügung stehenden Weidefläche decken, weshalb ihr ca. 42 ha großes Gehege eine geringere Besatzdichte als bei den Liebenthaler Pferden aufweist. Zusätzlich, und ebenfalls im Unterschied zu der Haltung der Liebenthaler Pferde, weist das Gehege der Przewalskipferde neben dem Grünland noch ca. 18 % Waldfläche sowie ein Nebenareal mit befestigtem Boden und einer Tränke auf. Auf diesem Nebenareal befindet sich auch eine Messstation des Institutes für Zoo- und Wildtierforschung (IZW), Berlin, die zur Ermittlung von Körpergewicht und Bewegungsaktivität der Przewalskipferde sowie von meteorologischen Kenngrößen (Umgebungstemperatur usw.) verwendet wird.

3.2 BESTIMMUNG VON DORSALLÄNGE, HORNBILDUNGSRATE UND HORNVERLUST

Die Gesamtlänge der dorsalen Hufwand wurde mittels eines Maßbandes mit Millimetereinteilung in der Mitte der Dorsalwand, vom vordersten Punkt des Kronrandes bis zum vordersten Punkt des Tragrandes parallel zum Verlauf der Hornröhren direkt an jedem Huf bei den unter 3.1.1.1 genannten Pferden im monatlichen Abstand gemessen. Zur Ermittlung von Hornbildung und Hornverlust (bedingt sowohl durch Abrieb als auch durch Tragrandausbrüche) im Kronsegment wurde am Rückenteil der Hufplatte dieser Pferde parallel zum Kronrand eine bis maximal 2 mm tiefe und ca. 2 cm lange Markierung mit einer Metallsäge (Alpha Tools Handsäge, BAUHAUS) angebracht (Abbildung 6). Diese Art der Markierung

erwies sich als dauerhaft und war innerhalb mehrerer Messperioden sicher wieder aufzufinden. Von den Pferden wurde sie gut toleriert, außerdem verursachte sie keine gesundheitlichen Nebenwirkungen bei ihnen. Von der angebrachten Markierung ausgehend wurde monatlich mit einem Maßband mit Millimetereinteilung der Abstand zum vordersten Punkt des Kronrandes (an der Stelle des Überganges zur behaarten Haut) gemessen (Wert a). Der Abstand zwischen Tragrand und Markierung (Wert b) wurde durch Subtraktion des ersten Messwertes von der direkt gemessenen Gesamtlänge berechnet. Beide Messungen erfolgten stets mittig der Markierung, das Maßband wurde dabei immer parallel zum Längsverlauf der Hornröhrchen ausgerichtet (Abbildung 7).

Durch den Distalschub des Kronhornes wurde die Markierung zunehmend tragrandwärts geschoben, dadurch erfolgte eine monatliche Erhöhung von Wert a, während Wert b abnahm. Aus der monatlichen Differenz der sich jeweils entsprechenden Messwerte errechneten sich die Hornbildungsrate sowie der Hornverlust im Messintervall. Zur besseren Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer Autoren wurden die errechneten Werte dann auf einen Zeitraum von 28 Tagen bezogen. Um einem Verlust der im Verlauf der Zeit nach distal geschobenen Markierungen vorzubeugen, wurden diese je nach Erfordernis im Abstand von 3 bis 9 Monaten proximal im zwischenzeitlich neu gebildeten Kronhorn erneuert.

Es wurden jeweils alle vier Hufe der Pferde markiert und gemessen. Lediglich in einem Fall (Pferd Nr. 15) musste aufgrund zunehmender Aggressivität des Tieres im Laufe des Untersuchungszeitraumes mit dem Vermessen aufgehört werden, so dass es bei diesem Pferd auch einen Monat gibt, in dem nicht für alle Hufe Werte vorliegen.

Die erhaltenen Messwerte zu Dorsallänge, Hornbildungsrate und Hornverlust wurden anschließend im Hinblick auf Saisonalität, Geschlechts- und Alterabhängigkeit sowie Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhufen ausgewertet. Beim Hornverlust erfolgte zusätzlich noch eine Unterscheidung in Hornabrieb und Tragrandausbrüche, wobei als Tragrandausbruch jeder monatliche Hornverlust über 15 mm definiert wurde (Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Werte mit denen von PATAN (2001) beim Przewalskipferd). Ein Vergleich der hier erhobenen Daten mit den bereits bekannten Ergebnissen beim Przewalskipferd erfolgt in der Diskussion.

3.3 MONATLICHE FOTOGRAFISCHE ERFASSUNG VON HORNSPALTEN UND HORNCHIPS

3.3.1 Erstellung der Fotografien

Während des Messzeitraumes wurden die untersuchten Hufe monatlich fotografiert. Dieses erfolgte mittels einer Digitalkamera (FUJI, Fujifilm FinePix F440). Es wurden sowohl 0° (a.p.-Aufnahmen), als auch 90° (lateral)- und 270° (medial)-Aufnahmen angefertigt. Die Positionierung der Kamera für eine optimale Darstellung war bodennah in der Horizontalebene zum Huf. Durch die Fotografie können die erfassten Merkmale, wie aktuelle Hornspalten und Hornchips dauerhaft festhalten werden. Eine spätere Auswertung ist somit erleichtert und objektiver. In einigen Fällen konnten zusätzlich auch Fotografien von palmar bzw. plantar angefertigt werden (Abbildung 8).

Ebenso wie die Messungen an den Hufen ist auch diese Methode im Wesentlichen abhängig von der Toleranz und Kooperation der Pferde. Da die Messungen Priorität vor den Fotos hatten, existieren besonders von den ersten Untersuchungsmonaten nur wenige Fotos (Tabelle 3.3). In den Wintermonaten war durch Schneefall und eine daraus resultierende hohe Schneedecke das Fotografieren erschwert, was sich besonders im Monat Februar zeigt. Die beiden hier angefertigten Fotos waren zudem in der Qualität so schlecht, dass dieser Monat keinen Eingang in die fotografische Auswertung finden kann. Im Frühjahr, der Hauptsaison für Fortpflanzung und Geburt, war die Kooperation durch erhöhten Bewegungsdrang bei den Hengsten und deutliches Abwehrverhalten bei den Stuten ebenfalls sehr begrenzt. Deshalb konnten erst in den Monaten Juni bis Oktober von nahezu allen Pferden und Hufen Fotografien angefertigt werden. Die fotografischen

Aufnahmen dieser Monate dienen als Grundlage der beschreibend-statistischen Auswertung für Hornspalten und Hornchips.

Tabelle 3.3: Gesamtanzahl der fotografierten Hufe pro Monat

Monat	Nov. 2004	Dez. 2004	Jan. 2005	Feb. 2005	März 2005	April 2005	Mai 2005	Juni 2005	Juli 2005	Aug. 2005	Sept. 2005	Okt. 2005
Anzahl	14	25	21	2	37	28	24	92	96	95	96	92

3.3.2 Auswertung der Fotografien

Zur Auswertung von Lokalisation und Ausdehnung der Hornspalten wurde für jeden Monat eine Tabelle der untersuchten Hufe erstellt. Anhand der Fotos wurde ermittelt, ob sich an dem jeweiligen Huf ein Hornspalt befindet, wo er lokalisiert ist (lateral, medial oder dorsal) und welche Ausdehnung er hat (durchgehend, proximal oder distal). Jeder ermittelte Hornspalt wurde daraufhin entsprechend seiner Spezifikation in der Tabelle eingetragen. Entgegen zur klinischen Einteilung von Hornspalten (siehe Kapitel 2.7.4) aufgrund ihrer Lokalisation in Vorderwand-, Seitenwand- und Trachtenwandhornspalten wurden für die Auswertung die Vorderwandhornspalten als dorsale Hornspalten definiert. Seitenwand- und Trachtenwandhornspalten sind aufgrund unterschiedlicher Kamerapositionen auf den Fotografien nicht immer klar voneinander abzugrenzen, deshalb wurde auf eine solche Differenzierung verzichtet und statt dessen die Gesamtzahl der Hornspalten auf der medialen sowie der lateralen Hufkapselseite angegeben. Tragrandhornspalten wurden als distale, Kronrandhornspalten als proximale Hornspalten bezeichnet. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl an Fotografien in den jeweiligen Monaten kann bis Mai nur eine begrenzte Auswertung erfolgen, ab Juni ist eine deskriptiv-statistische Aussage für die untersuchte Pferdepopulation möglich. Hierbei wurde auch berücksichtigt, dass ein Huf durchaus mehrere Hornspalten haben kann.

Ebenso wurden die Fotografien auf das Vorhandensein von Hornchips durchgemustert. Dabei wurden nur deutlich sichtbare, lose Hufwandteile berücksichtigt, die sich bereits über ein- oder beiderseitige Longitudinalrisse von der Hufkapsel gelöst hatten, jedoch in der Horizontalebene noch locker mit dieser verbunden waren. Es erfolgte eine monatliche tabellarische Auswertung hinsichtlich der Lokalisation der Hornchips (lateral, medial oder dorsal) wobei zu beachten war, dass auch mehrere Hornchips an einem Huf zum gleichen Zeitpunkt vorkommen können. Wie bei den Hornspalten ist auch hier eine deskriptiv-statistische Auswertung erst ab Juni möglich.

Die erhaltenen Ergebnisse zu Hornspalten und Hornchips wurden anschließend im Hinblick auf ihre Lokalisation, eine eventuelle Alters- und Geschlechtsabhängigkeit sowie Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhufen betrachtet. Die Ergebnisse bei den Hornchips wurden zusätzlich mit den Ergebnissen des Hornverlustes, insbesondere der Tragrandausbrüche, in Beziehung gebracht.

Dahingehend muss nochmals auf den hier definitionsgemäß verwendeten Unterschied zwischen Hornchips und Tragrandausbrüchen sowie ihren physiologischen Zusammenhang hingewiesen werden:

Hornchips: alle fotografisch erfassten, deutlich sichtbaren, losen Anteile der Hufkapselwand, die, ausgehend vom Tragrand, mit ein- oder beiderseitigen Longitudinal- (bzw. Längs-)rissen von der daneben fest stehenden Hornwand getrennt sind und in der Horizontalebene nahezu senkrecht zum Hornröhrchenverlauf nach außen abgelenkt erscheinen (Querrisse), jedoch noch über wenige Hornanteile locker mit der Hufkapsel verbunden sind

Tragrandausbruch: jeder gemessene Hornverlust über 15 mm / 28 Tagen an der dorsalen Hufkapselwand. Jedem Tragrandausbruch geht die Bildung von einem oder mehreren Hornchips voraus, die Entstehung von Hornchips ihrerseits erfolgt zunächst durch Spaltenbildung im distalen Kronhorn. Der Prozess der

Entstehung von Hornchips, ihrer Abspaltung von der distalen Hufwand sowie ihrem letztendlichen Abbrechen von dieser mit dem Ergebnis einer „Lückenbildung“ am Tragrand, dem sichtbaren Tragrandausbruch, wird im angloamerikanischen Raum auch „Chipping“ genannt. Die Entstehung von Tragrandausbrüchen schließt demnach die Hornchipbildung mit ein, denn ein reiner Hornabrieb von über 15 mm in 28 Tagen ist bei Betrachtung der bereits existierenden Literaturangaben unrealistisch. Insoweit kann auch bei einem einmal beobachteten Hornchip von einem nachfolgenden Tragrandausbruch ausgegangen werden, da nach seitlicher Abspaltung des Chips von der Hufwand der Bodenkontakt dieses Tragrandanteils verloren geht und demzufolge auch kaum mehr Abrieb erfolgen kann. In wenigen Fällen kann jedoch auch ein Hornchip aus der Hufwand herausbrechen, der in seiner proximodistalen Höhenausdehnung das hier definierte Maß von 15 mm unterschreitet. Diese kleinen Chips rufen dementsprechend einen Tragrandausbruch hervor, der mit einem kleineren Wert als 15 mm / 28 Tage gemessen wird und in dieser Arbeit somit als Hornabrieb erfasst wird (obwohl ein Chippingprozess vorausgegangen ist). Die Grenze von 15 mm / 28 Tage wurde gewählt, um eine Vergleichbarkeit der eigenen Ergebnisse mit denen von PATAN (2001) beim Przewalskipferd zu gewährleisten.

3.4 STATISTISCHE METHODEN

Die statistische Auswertung der erhaltenen Daten wurde am Computer unter Zuhilfenahme der Programme EXCEL® (Microsoft Office 97-2003) sowie Statistic Calculators Version 3.0 (SOPER 2014) ausgeführt. Es wurden sowohl Methoden der deskriptiven (beschreibenden) als auch der explorativen (analytischen) Statistik angewandt.

3.4.1 Deskriptive Statistik

Es erfolgte eine Aufbereitung der Daten in Form von Tabellen und Grafiken. Bei der Auswertung der Fotografien im Hinblick auf Hornspalten und Hornchips wurde zur Charakterisierung der Daten die Häufigkeitsverteilung genutzt sowie die relative Häufigkeit einzelner Merkmalsausprägungen in Prozent angegeben. Zur numerischen Beschreibung der metrisch skalierten Merkmale wurden Kennzahlen ermittelt, die diese charakterisieren.

Der arithmetische Mittelwert (MW) als Quotient aus der Summe aller beobachteten Werte und der Anzahl der Werte (n) kennzeichnet hierbei die durchschnittliche Größe der Einzelwerte. Als Maß für die Streuung der Daten um den Mittelwert herum wurde die Varianz (S^2) sowie ihre Wurzel, die Standardabweichung (SD), berechnet. Die grafische Darstellung erfolgte mittels Säulen-, Linien- und Kreisdiagrammen.

Als Maß für Art und Intensität eines vermuteten linearen Zusammenhanges zwischen den Ausprägungen zweier Merkmale wurde der Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient nach Pearson (r) bestimmt. Dieser ist eine dimensionslose Zahl zwischen 1 und -1. Bei einer positiven Korrelation tritt eine Zunahme der Werte des einen Merkmals zusammen mit einer Erhöhung der Werte des anderen Merkmals auf. Ein negativer Korrelationskoeffizient bedeutet, dass eine Zunahme der Werte des einen Merkmals mit der Abnahme der Werte des anderen Merkmals verbunden ist. Zur Darstellung von linearen Zusammenhängen wurden Punktediagramme mit integrierten Regressionsgeraden und Regressionsgleichungen erstellt.

3.4.2 Explorative Statistik

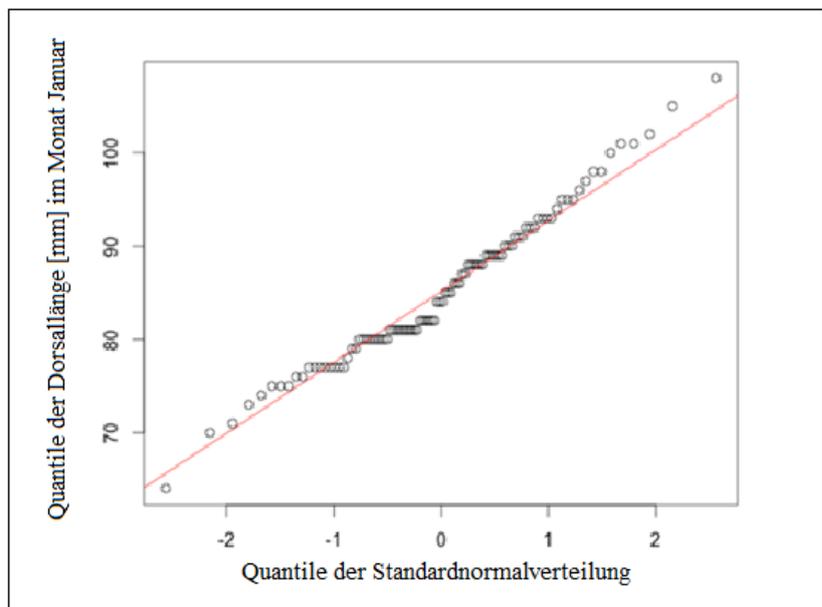
Durch explorative (analytische) Statistik werden mittels deskriptiver Verfahren sowie Testmethoden aus der schließenden Statistik systematisch mögliche Zusammenhänge und Unterschiede in den zuvor ermittelten Datenbeständen gesucht und diese dann in ihrer Intensität und Ergebnissicherheit beurteilt. Sämtliche Aussagen, die hieraus abgeleitet werden, sind als Hypothesen zu verstehen und beziehen sich deshalb ausschließlich auf die untersuchte Population an Liebenthaler Pferden im beschriebenen Habitat sowie in

dem angegebenen Untersuchungszeitraum und können nicht ohne weiteres auf andere Populationen übertragen werden.

Das Vorliegen einer statistischen Normalverteilung der gemessenen Werte für Dorsallänge, Hornbildung und Hornverlust als Voraussetzung für die angewandten induktiven Testmethoden wurde mittels grafischer Darstellung und visueller Abschätzung mit dem Programm R (<http://www.r-project.org>) sowohl in Q-Q-Plots als auch im Histogramm überprüft. Beispielhaft hierfür sind nachfolgend die Diagramme für die Dorsallänge der Hufe dargestellt (Textabbildungen 3.1 und 3.2). Eine Verteilung ist normal, wenn im Q-Q-Plot die Datenpunkte auf der eingezeichneten Linie liegen bzw. sich dicht um sie herum verteilen (Textabbildung 3.1). Im Histogramm zeigt sich bei Auftragung der Messwerte jeweils ein Maximum mit beiderseitigem gleichmäßigem Abfall, vergleichbar mit der darüber liegenden Normalverteilungskurve (Textabbildung 3.2). Somit kann bei den Messwerten für Dorsallänge, Hornbildung und Hornverlust von einer Normalverteilung ausgegangen werden. Etwaige geringe Abweichungen der Werte haben zudem bei der hier vorliegenden großen Fallzahl und den verwendeten, gegen Deviationen relativ robusten Testmethoden keine relevanten Auswirkungen auf die Modellaussagen. Auch die im Vergleich mit dem Przewalskipferd verwendeten Daten von PATAN (2001) zu Hornwachstum und Hornverlust sind nachgewiesenermaßen normalverteilt.

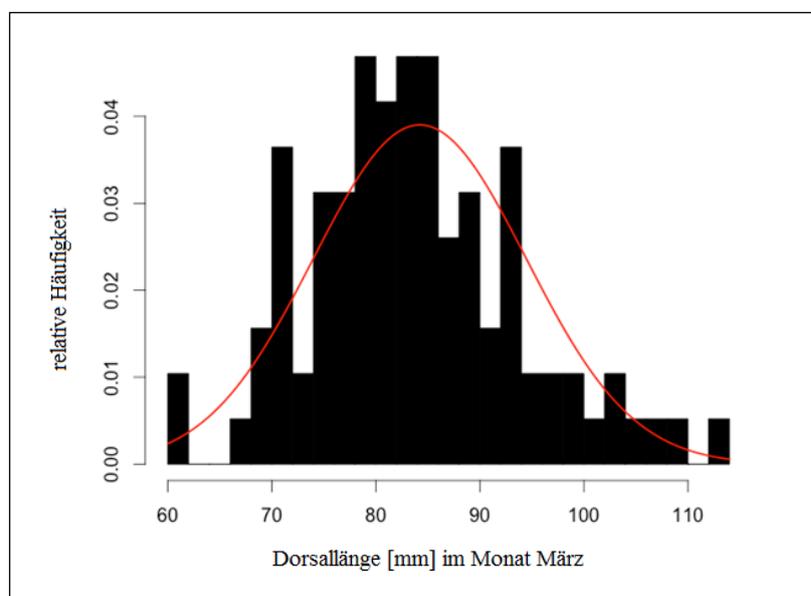
Textabbildung 3.1:

Q-Q-Plot zum Nachweis einer Normalverteilung der Messwerte für die Dorsallänge der Hufe aller Pferde im Monat Januar



Textabbildung 3.2:

Histogramm zum Nachweis einer Normalverteilung der Messwerte für die Dorsallänge der Hufe aller Pferde im Monat März



Die entsprechenden Testmethoden wurden mit den Rohdaten für Dorsallänge, Hornwachstum und Hornverlust resp. -abrieb durchgeführt, die der jeweiligen Aufgabenstellung entsprechend gruppiert wurden. In die Analysen für den Hornabrieb gingen nur Hornverlust-Messwerte ≤ 15 mm / 28 Tage ein, um eine Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen beim Przewalskipferd (PATAN 2001) zu gewährleisten.

Zur Zusammenfassung der Werte und damit für eine bessere Darstellbarkeit im Punktdiagramm wurde vor der Korrelationsberechnung für jedes Pferd pro Monat aus den jeweils vier Einzelmesswerten ein gemeinsamer Mittelwert für Hornwachstum resp. -abrieb gebildet. Zur Signifikanzprüfung der ermittelten Korrelationskoeffizienten wurde ein zweiseitiger Wahrscheinlichkeitstest mittels des Rechners p-Value Calculator for Correlation Coefficients (Statistics Calculators, SOPER 2014) durchgeführt. Liegt der erhaltene p-Wert unter dem festgesetzten Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$, kann die ermittelte Korrelation als statistisch signifikant betrachtet werden. Das bedeutet, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % ein Zusammenhang zwischen beiden Merkmalswerten besteht. Ist der p-Wert höher als das Signifikanzniveau, ist die ermittelte Korrelation nicht statistisch abgesichert.

Zur Überprüfung, ob sich die jeweilig definierten Gruppen in ihrem Mittelwert statistisch signifikant unterscheiden, wurde eine einfaktorische Varianzanalyse mit Berücksichtigung des jeweiligen Faktors (verwendet wurden die Faktoren „Monat“, „Quartal“, „Geschlecht“, „Alter“, „Vorder- bzw. Hinterhuf“) durchgeführt. Hierbei erfolgte die Definition des Faktors „Quartal“ folgendermaßen (analog zu PATAN 2001):

Winter:	Januar bis März
Frühling:	April bis Juni
Sommer:	Juli bis September
Herbst:	Oktober bis Dezember

Der Faktor „Geschlecht“ wird in die zwei Gruppen „Stuten“ und „Hengste“ geteilt, der Faktor „Alter“ in die beiden Gruppen „geboren ab 1999“ sowie „geboren vor 1999“. Der durch die Varianzanalyse erhaltene F-Wert (Prüfgröße) wird mit dem jeweils berechneten kritischen F-Wert verglichen. Ist die Prüfgröße größer als der kritische F-Wert, so ist davon auszugehen, dass mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5 % die Nullhypothese abgelehnt wird. Das bedeutet, dass die Varianz der Werte innerhalb einer Gruppe kleiner ist als die Varianz zwischen den Gruppen und Gruppenunterschiede somit signifikant sind. Die zusätzlich ermittelten P-Werte geben an, wie hoch die genaue Irrtumswahrscheinlichkeit ist. Die Ergebnisse der Varianzanalysen wurden tabellarisch aufgelistet.

Als Post-hoc-Test nach der Varianzanalyse bezüglich des Faktors „Quartal“ wurde ein Paarvergleichstest (6 vorhandene Paare) nach Scheffé durchgeführt. Dieser dient zur Klärung, welche der ermittelten Mittelwerte sich signifikant ($\alpha = 0,05$) voneinander unterscheiden.

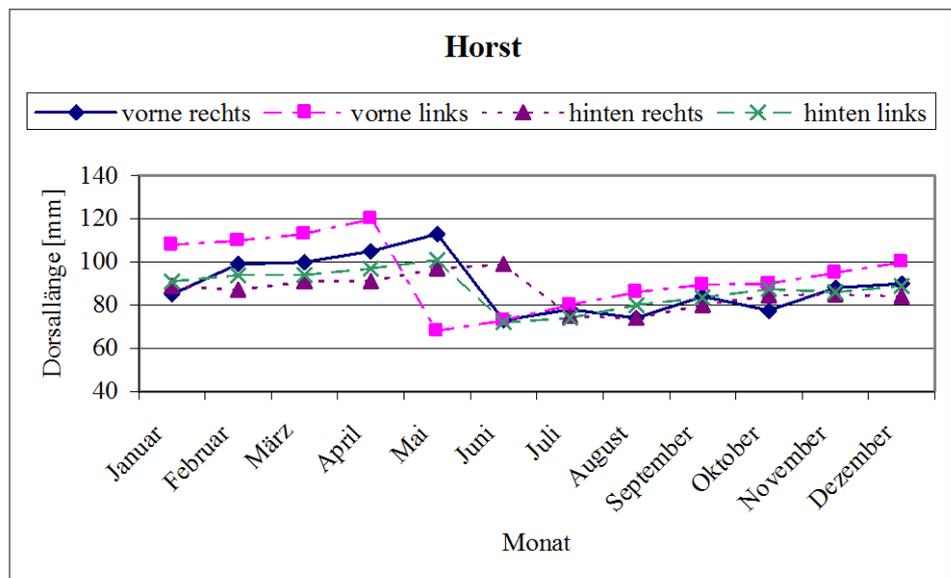
4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

4.1 HUFWANDLÄNGE AM HUFRÜCKEN

Die Dorsallänge bei den insgesamt 1333 Messungen an den Hufen der Liebenthaler Pferde beträgt im durchschnittlichen Jahresmittel 82,04 mm bei einer Standardabweichung von $\pm 9,23$ mm. Jedoch kann dieser Wert nur als grobe Orientierung dienen, denn es wurden deutliche Schwankungen der Hufwandlänge in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren registriert. Die Einzelwerte der jeweiligen Pferde können der Tabelle 1 im Anhang I entnommen werden. Um die Unterschiede in der Dorsallänge darzulegen, wurden die gemessenen Werte für jedes Pferd zunächst einzeln grafisch dargestellt. Als Beispiel hierfür sind in Textabbildung 4.1 die Werte für das Pferd „Horst“ dargestellt.

Textabbildung 4.1:

Monatliche Dorsallänge der Hufwand bei Vorder- und Hinterhufen von Althengst „Horst“



Anschließend wurden einfaktorielle Varianzanalysen im Hinblick auf die verschiedenen Parameter Monat bzw. Quartal, Alter, Geschlecht und anatomische Lokalisation (Vorderhuf resp. Hinterhuf) durchgeführt.

4.1.1 Saisonalität

Wie in der beispielhaften Abbildung von „Horst“ ersichtlich, ist die Dorsallänge der Hufe über das Jahr hinweg dynamisch. Zur Zusammenfassung der Daten wurden aus allen vorhandenen Werten monatliche Mittelwerte gebildet. Für die Monate September und Oktober liegen Messwerte aus zwei Jahren vor, die einander größtenteils ähnlich sind. Eine Varianzanalyse bestätigte, dass kein Unterschied zwischen den beiden Jahren hinsichtlich der Hufwandlänge erkennbar ist. Deshalb wurden für diese Monate die Mittelwerte aus beiden Jahren gebildet (Tabelle 1 im Anhang I). Die Textabbildung 4.2 zeigt die Mittelwerte der Dorsallänge im Jahresverlauf.

In den ersten Monaten des Jahres wird der Hufrücken länger, ein Maximum wird im Mai erreicht. Danach kommt es zu einer rapiden Verkürzung des Zehenrückens, das Minimum wird im August erreicht. Anschließend folgt ein gleichmäßiger, flacher Anstieg der Zehenlänge bis zum Jahresende. Um diese saisonalen Unterschiede darzustellen, sind in der Tabelle 4.1 die Quartalsmittelwerte sowie die Standarddifferenz der monatlichen Zehenlängen aufgeführt.

Textabbildung 4.2:

Jahresverlauf der Dorsallänge der Hufwand bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1333$ Messungen)

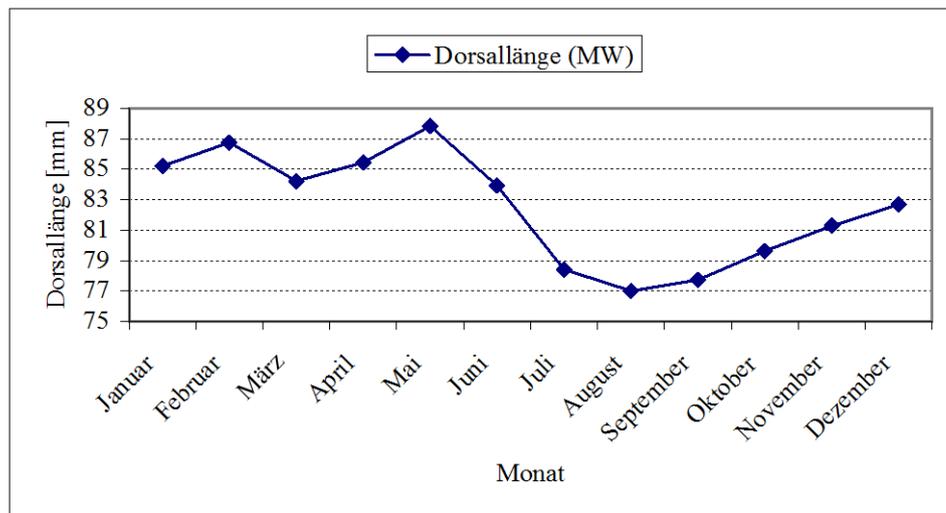


Tabelle 4.1: Einfluss der Jahreszeit auf die Dorsallänge der Hufwand bei Liebenthaler Pferden (Mittelwerte MW und Standarddifferenzen SD) [mm]

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
MW Dorsallänge	85,39	85,73	77,78	80,89
SD Dorsallänge	9,14	11,07	7,42	7,06

Sowohl die monatlichen als auch die jahreszeitlichen Schwankungen der Hufwandlänge wurden ebenfalls statistisch mittels Varianzanalyse bestätigt, wobei die Irrtumswahrscheinlichkeit unter 5 % liegt. Der daraufhin durchgeführte Scheffé-Test zur Signifikanzprüfung des Quartalseffektes zwischen den einzelnen Quartalen ergab, dass bis auf den Längenunterschied zwischen Winter und Frühling alle Unterschiede signifikant sind ($\alpha = 0,05$) (Tabelle 4.2). Der größte Längenunterschied tritt zwischen den Quartalen Frühling und Sommer auf, der geringste signifikante Unterschied ist zwischen Sommer und Herbst zu finden. Das typische Muster im Jahresverlauf der Dorsallänge der Hufwand bei diesen Pferden muss auch bei den Betrachtungen weiterer Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Tabelle 4.2: Mittlere Differenz der Dorsallänge der Hufwand bei Liebenthaler Pferden zwischen den Quartalen ($Q - Q'$) (Scheffé-Test) [mm], die grau unterlegten Werte sind statistisch signifikant

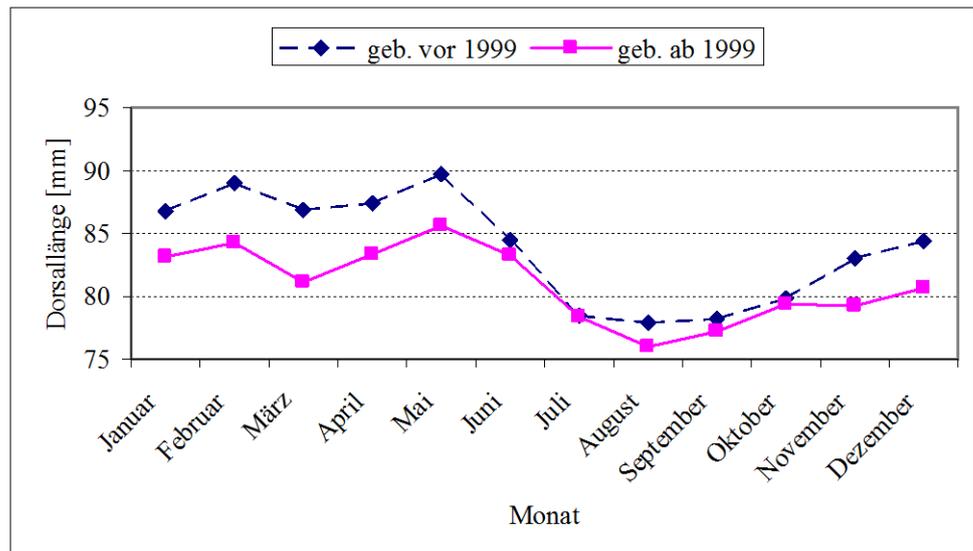
$Q \backslash Q'$	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Winter	0			
Frühling	0,34	0		
Sommer	-7,61	-7,95	0	
Herbst	-4,49	-4,84	3,11	0

4.1.2 Einfluss von Alter und Geschlecht

Um den Einfluss des Alters der Pferde auf die Dorsallänge der Hufwand zu klären, wurde zunächst von beiden Altersgruppen (ab 1999 geboren bzw. vor 1999 geboren) jeweils ein Mittelwert für den gesamten Untersuchungszeitraum berechnet. Dieser beträgt für die jüngeren Pferde 80,9 mm (SD \pm 9,4 mm) und für die älteren Pferde 83,8 mm (SD \pm 9,1 mm). Daraufhin wurden die monatlichen Mittelwerte für beide Altersgruppen berechnet und grafisch dargestellt (Textabbildung 4.3).

Textabbildung 4.3:

Einfluss des Alters auf die Dorsallänge der Hufwand bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1333$ Messungen)



Auf der Grafik ist ersichtlich, dass die Dorsallänge der älteren Pferde im Mittel größer ist als die der jüngeren Pferde. Daraufhin wurde für jeden Monat eine Varianzanalyse bezüglich des Faktors „Alter“ durchgeführt und die ermittelten Werte in folgender Tabelle aufgelistet (Tabelle 4.3).

Tabelle 4.3: F-Werte und kritische F-Werte zur Klärung der Signifikanz des Alterseinflusses auf die Dorsallänge (wenn Prüfgröße > kritischer F-Wert, dann besteht signifikanter Unterschied mit $\alpha = 0,05$, P-Wert: Höhe der genauen Irrtumswahrscheinlichkeit)

	F-Wert (Prüfgröße)	Kritischer F-Wert	P-Wert
Januar	7,3657	3,9423	0,0079
Februar	6,5237	3,9457	0,0123
März	8,4777	3,9423	0,0045
April	4,4874	3,9381	0,0367
Mai	4,7165	3,9423	0,0324
Juni	0,7224	3,9423	0,3975
Juli	0,1024	3,9423	0,7497
August	1,8937	3,9423	0,1721
September	4,5724	3,8931	0,0338
Oktober	0,9539	3,8919	0,33
November	10,052	3,9423	0,0021
Dezember	7,4710	3,9423	0,0075

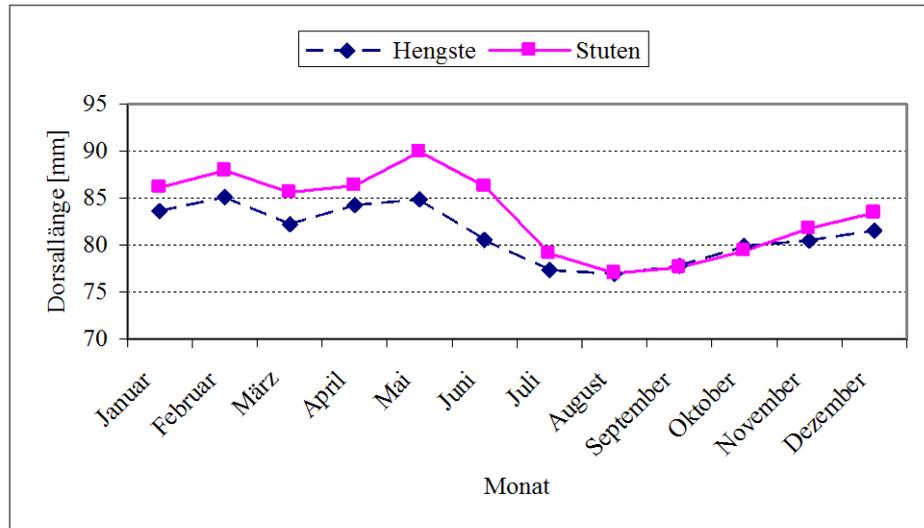
In den Monaten Juni bis August sowie im Oktober (grau unterlegt) stellt sich die Varianz innerhalb der beiden Gruppen als ähnlich der zwischen den beiden Gruppen dar. Für diese Monate kann also ein Alterseinfluss auf die Dorsallänge nicht nachgewiesen werden. Eine ebenfalls durchgeführte Varianzanalyse bezüglich der vordefinierten Jahreszeiten (Winter, Frühling, Sommer und Herbst) ergab jedoch, dass sich im gesamten jahreszeitlichen Rhythmus durchaus eine Altersabhängigkeit der Dorsallänge ergibt. Die größte absolute Differenz zwischen den Mittelwerten beider Altersgruppen ergab sich dabei mit einem Wert von 6,35 mm im Monat März.

Zur Klärung des Einflusses des Geschlechtes auf die Hufwandlänge wurden ebenfalls zunächst die Jahresmittelwerte für Stuten ($82,79 \text{ mm} \pm 9,05 \text{ mm}$) und Hengste ($80,99 \text{ mm} \pm 9,38 \text{ mm}$) berechnet.

Hinsichtlich dieser Werte ergab sich ein durch Varianzanalyse bestätigter Unterschied zwischen beiden Geschlechtern. Die gebildeten Monatsmittelwerte wurden danach mittels Liniendiagramm dargestellt (Textabbildung 4.4).

Textabbildung 4.4:

Einfluss des Geschlechts auf die Dorsallänge der Hufwand von Liebenthaler Pferden (basierend auf n = 1333 Messungen)



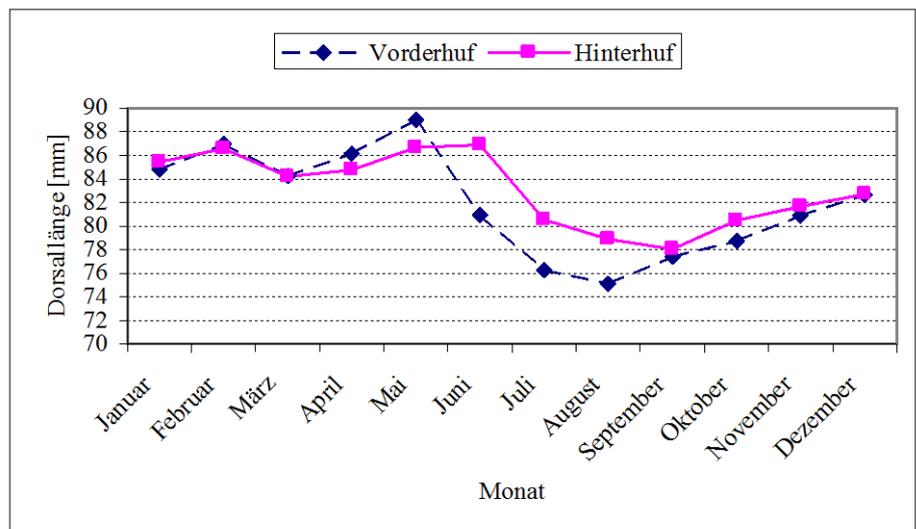
Offenbar liegt die Dorsallänge der Hufwand der Stuten in weiten Teilen des Jahres über der Hufrückenlänge der Hengste. Für die Quartale Winter und Frühling, hier insbesondere für die Monate Mai und Juni, konnte dieses auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt werden. Die größte absolute Mittelwertsdifferenz tritt dabei mit 5,69 mm im Monat Juni auf.

4.1.3 Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf

Es wurde sowohl für die Vorderhufe als auch für die Hinterhufe zunächst Jahres- und Monatsmittelwerte bestimmt. Im Jahresmittel beträgt die Hufwandlänge bei den Vorderhufen 81,51 mm (SD \pm 9,84 mm) und bei den Hinterhufen 82,56 mm (SD \pm 8,55 mm). Dieser Unterschied erweist sich durch die Varianzanalyse als statistisch signifikant ($\alpha = 0,05$). Für die Monatsmittelwerte erfolgte die grafische Aufbereitung mittels Diagramm (Textabbildung 4.5). Hier lässt sich in den meisten Monaten eine Überlagerung der beiden Graphen erkennen.

Textabbildung 4.5:

Dorsallänge der Hufwand von Liebenthaler Pferden bei Vorder- und Hinterhufen (basierend auf n = 1333 Messungen)



Die durchgeführte Varianzanalyse bestätigt eine durchschnittliche höhere Dorsallänge der Zehenwand an den Hintergliedmaßen in den Monaten Juni, Juli und August sowie im Quartal „Sommer“, wobei die größte Mittelwertsdifferenz mit 5,96 mm im Monat Juni auftritt. Diese deutlichen Unterschiede sind verantwortlich

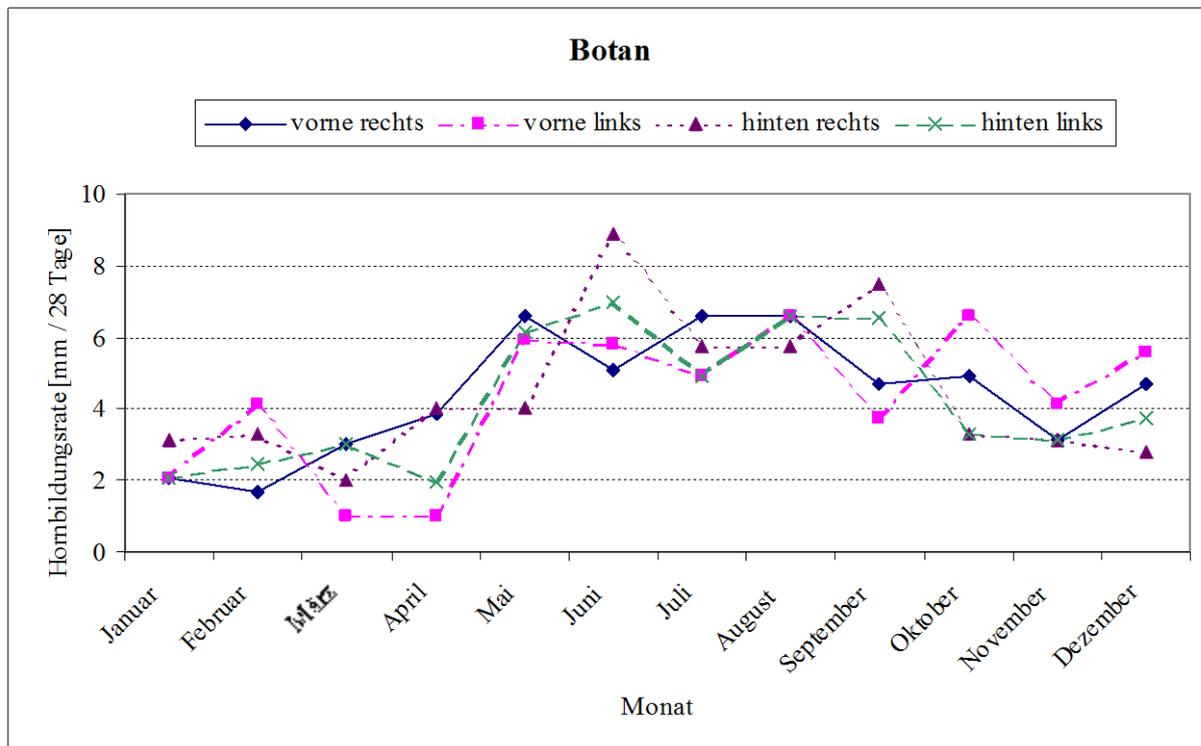
für die auch im Jahresmittel signifikant geringere Vorderwandlänge der Vorderhufe im Vergleich zu den Hinterhufen. Für die anderen Monate bzw. Quartale lässt sich kein anatomisch bedingter Unterschied zwischen Vorder- und Hinterhufen feststellen.

4.2 HORNBILDUNGSRATE DES ÄUSSEREN KRONHORNS

Das bei den Liebenthaler Pferden gemessene Kronhornwachstum beträgt in Jahresmittelwert 4,40 mm / 28 Tage mit einer Standardabweichung von $\pm 2,4$ mm / 28 Tage. Insgesamt konnten dafür 1230 Werte erhoben werden. Schon durch die recht hohe Standardabweichung ist ersichtlich, dass die Werte eine große Streuung aufweisen. Die Einzelwerte sind in der Tabelle 2 im Anhang I ersichtlich. Um Tendenzen bei den Unterschieden in der Hornbildungsrate bei den einzelnen Pferden aufzuzeigen, wurde für jedes Pferd ein Diagramm erstellt, in dem die monatlichen Werte für jeden Huf aufgetragen wurden. Als Beispiel hierfür dient in der Textabbildung 4.6 der Junghengst „Botan“.

Textabbildung 4.6:

Monatliche Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Vorder- und Hinterhufen von Junghengst „Botan“



Zur Klärung möglicher signifikanter Unterschiede wurden anschließend einfaktorielle Varianzanalysen im Hinblick auf die verschiedenen Parameter Monat bzw. Quartal, Alter, Geschlecht und anatomische Lokalisation (Vorderhuf resp. Hinterhuf) durchgeführt.

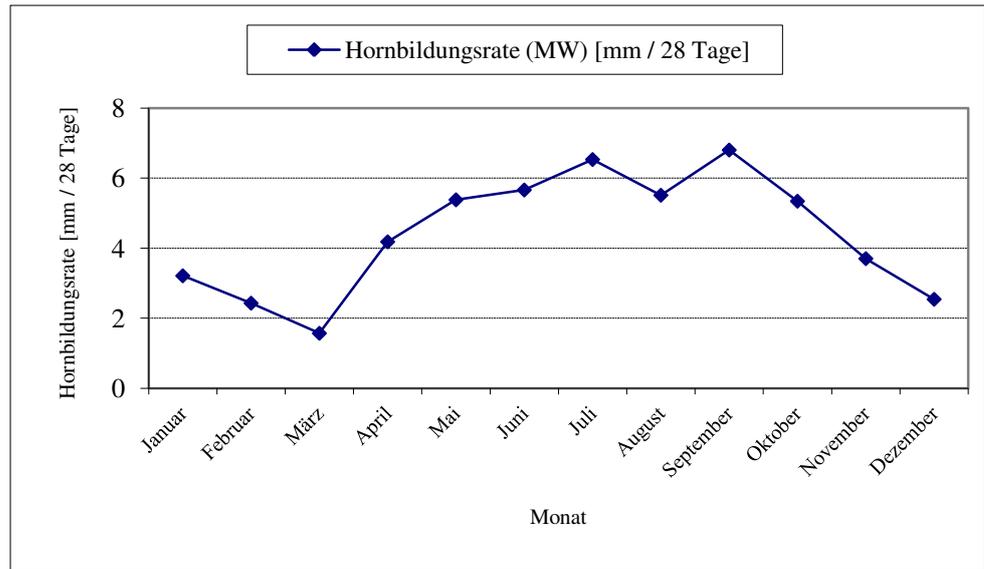
4.2.1 Saisonalität

Einen ersten Eindruck der anscheinend unterschiedlichen Hornbildungsraten in den verschiedenen Monaten gibt die Grafik von „Botan“, die sich im Kurvenverlauf sehr mit den Abbildungen der anderen Pferde ähnelt. Daraufhin wurden die Werte der Hornbildungsrate aus den jeweiligen Monaten für alle Pferde zu einem monatlichen Mittelwert zusammengefasst. Für den Monat Oktober, in dem Daten aus zwei Jahren vorliegen, wurde ebenfalls ein gemeinsamer Mittelwert gebildet, da der Nachweis eines Jahreseffektes anhand nur eines

Monats nicht möglich ist. Eine Darstellung der erhaltenen Mittelwerte als Liniendiagramm zeigt die Textabbildung 4.7.

Textabbildung 4.7:

Jahresverlauf der monatlichen Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1230$ Werten)



Wie man erkennen kann, ist in den ersten Monaten des Jahres die Hornbildungsrate relativ gering, mit einem Minimum im März. Eine höhere Hufhornproduktion ist in den Sommermonaten zu beobachten, wobei das Maximum im September liegt. Dann sinken die Werte der monatlichen Hornbildungsrate im letzten Jahresabschnitt kontinuierlich ab. Eine Bestätigung dieser monatlichen Unterschiede lieferte die durchgeführte Varianzanalyse. Es folgte eine Kategorisierung der Monate in Quartale, für die dann ebenfalls signifikante Unterschiede in der Hornbildungsrate nachgewiesen wurden. Die Tabelle 4.4 zeigt die errechneten Quartalsmittelwerte sowie die Standardabweichungen der monatlichen Hornbildungsrate.

Tabelle 4.4: Einfluss der Jahreszeit auf die monatliche Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (Mittelwerte MW und Standarddifferenzen SD) [mm / 28 Tage]

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
MW Hornbildungsrate	2,4	5,07	6,28	4,2
SD Hornbildungsrate	1,75	1,85	1,78	2,33

Um die jahreszeitlich bedingten Unterschiede in der monatlichen Hornbildungsrate zu verdeutlichen, wurden die Differenzen zwischen den jeweiligen Quartalsmittelwerten bestimmt. Im Scheffé-Test ergab sich dabei eine statistische Signifikanz ($\alpha = 0,05$) der Unterschiede für alle Quartale (Tabelle 4.5).

Tabelle 4.5: Mittlere Differenz der monatlichen Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden zwischen den Quartalen ($Q - Q'$) (Scheffé-Test) [mm / 28 Tage], die grau unterlegten Werte sind statistisch signifikant

$Q \backslash Q'$	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Winter	0			
Frühling	2,66	0		
Sommer	3,88	1,21	0	
Herbst	1,8	-0,87	-2,08	0

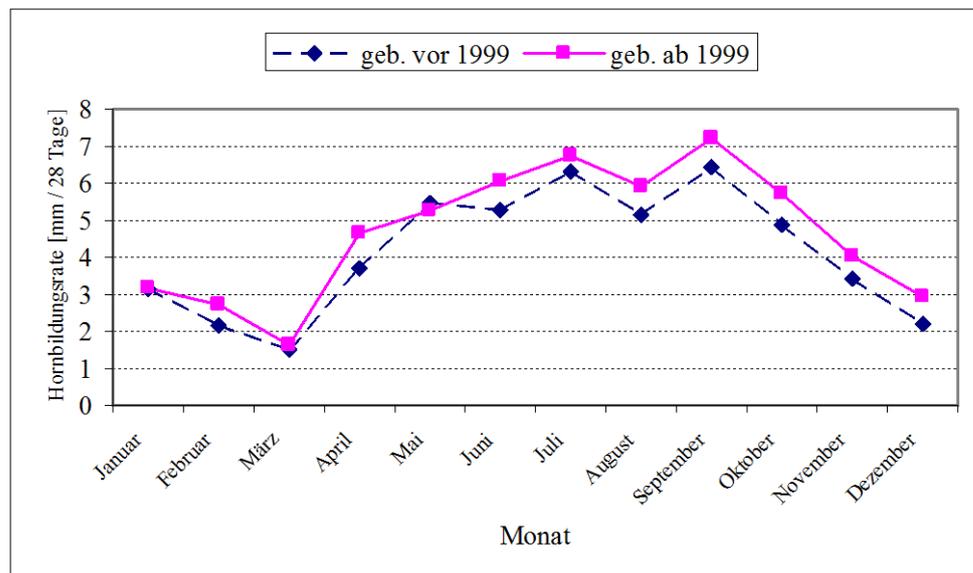
Der größte Unterschied in der durchschnittlichen monatlichen Hornproduktion lässt sich zwischen Sommer und Winter feststellen, während der geringste Unterschied zwischen den Quartalen Frühling und Herbst liegt. Da der saisonale Effekt bei der Hornproduktion sehr deutlich ist, muss er auch bei der Auswertung der anderen möglichen Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

4.2.2 Einfluss von Alter und Geschlecht

Zur Beurteilung des Alterseinflusses auf die monatliche Hornproduktion wurde zunächst von beiden definierten Altersgruppen (junge Pferde = geboren ab 1999, ältere Pferde = geboren vor 1999) ein jeweiliger Jahresmittelwert bestimmt. Dieser beträgt für die jungen Pferde 4,62 mm / 28 Tage (SD \pm 2,42 mm / 28 Tage) und für die älteren Pferde 4,31 mm / 28 Tage (SD \pm 2,36 mm / 28 Tage). Es folgte für beide Altersgruppen die monatliche Mittelwertberechnung und grafische Darstellung mittels Liniendiagramm (Textabbildung 4.8).

Textabbildung 4.8:

Einfluss des Alters auf die monatliche Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf n = 1230 Werten)



Es scheint, als wäre die Hornbildungsrate bei jüngeren Pferden besonders in der zweiten Jahreshälfte im Durchschnitt höher als bei älteren Tieren. Eine Varianzanalyse jedes Quartals bezüglich des Faktors „Alter“ ergab eine Signifikanz dieses Ergebnisses für den Sommer und für den Herbst. Daraufhin wurden die einzelnen Monate nach signifikanten Mittelwertsunterschieden in der monatlichen Hornbildungsrate zwischen beiden Altersgruppen überprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4.6 dargestellt, wobei gilt: ist die Prüfgröße größer als der kritischer F-Wert, ist der Mittelwertsunterschied zwischen beiden Gruppen signifikant ($\alpha = 0,05$).

Es kann demnach für die Monate September, Oktober und Dezember ein signifikanter Unterschied der Hornproduktion hinsichtlich der beiden Altersgruppen nachgewiesen werden. Dieser Unterschied ist jedoch recht gering, die größte absolute Differenz zwischen den Mittelwerten beiden Altersgruppen im Dezember beträgt lediglich 0,95 mm / 28 Tage.

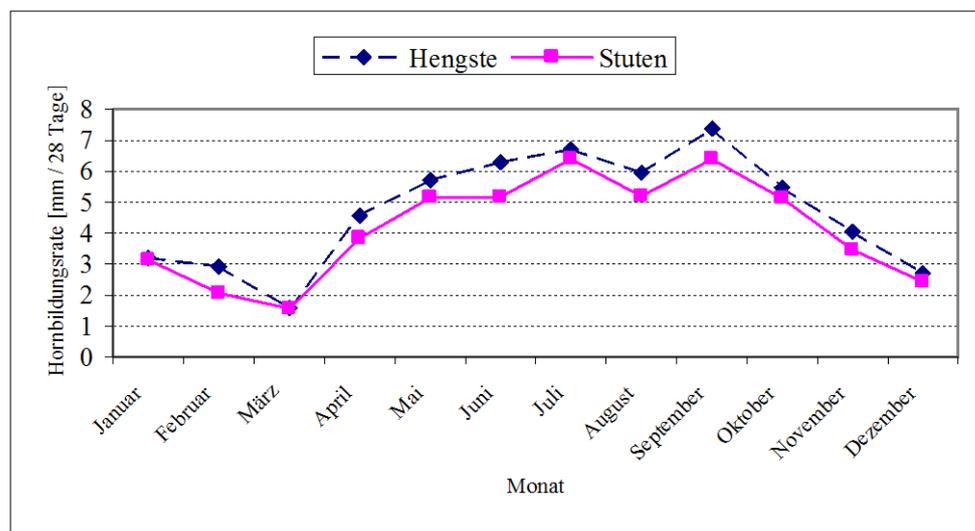
Tabelle 4.6: F-Werte und kritische F-Werte zur Klärung der Signifikanz des Alterseinflusses auf die monatliche Hornbildungsrate bei Liebenthaler Pferden (grau unterlegte Felder liegen unterhalb des Signifikanzniveaus)

	F-Wert (Prüfgröße)	Kritischer F-Wert	P-Wert
Januar	0,0009	3,9423	0,9766
Februar	1,1139	3,9457	0,2940
März	0,0208	3,9423	0,8855
April	0,5350	3,9423	0,4663
Mai	2,3942	3,9423	0,1252
Juni	1,1727	3,9457	0,2817
Juli	1,9793	3,9423	0,1628
August	3,2441	3,9423	0,0749
September	5,3311	3,9423	0,0231
Oktober	4,3884	3,8942	0,0376
November	0,7238	3,9423	0,3970
Dezember	7,8943	3,9423	0,0060

Für die Untersuchung des geschlechtsspezifischen Einflusses auf die monatliche Hornproduktion ergaben die Berechnungen Jahresmittelwerte von $4,26 \pm 2,3$ mm / 28 Tage (Stuten) sowie $4,77 \pm 2,5$ mm / 28 Tage (Hengste). Die gemeinsame Darstellung der jeweiligen Monatsmittelwerte im Diagramm (Textabbildung 4.9) verdeutlicht die nur geringgradig höhere monatliche Hornbildungsrate bei den Hengsten im Vergleich zu den Stuten.

Textabbildung 4.9:

Einfluss des Geschlechts auf die monatliche Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1230$ Werten)



Die geringere Hornproduktionsrate der Stuten kann durch Varianzanalyse für die Quartale Frühling und Sommer auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ bestätigt werden. Betrachtet man die Unterschiede in jedem Monat einzeln, so sind sie lediglich für die Monate Februar, Juni, August und September gesichert. Der größte absolute Unterschied in der monatlichen Hornbildungsrate zwischen Stuten und Hengsten ist mit einer Mittelwertsdifferenz von $1,13$ mm / 28 Tage im Monat Juni zu beobachten.

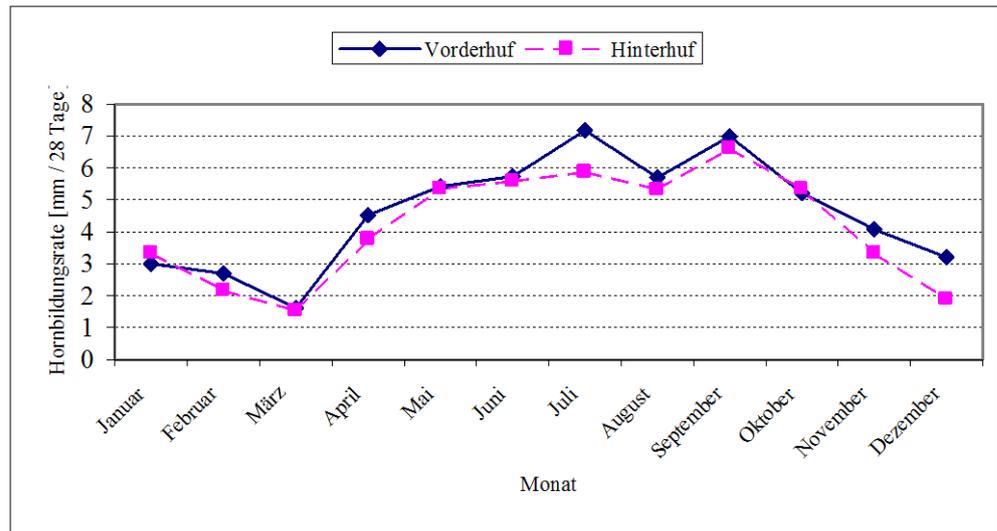
4.2.3. Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf

Der Jahresmittelwert der monatlichen Hornbildungsrate bei den Vorderhufen beträgt $4,66 \pm 2,45$ mm / 28 Tage, bei den Hinterhufen liegt er bei $4,28 \pm 2,33$ mm / 28 Tage. Hier ist der Unterschied erkennbar gering.

In der grafischen Darstellung (Textabbildung 4.10) liegen beide Wertereihen dicht nebeneinander, teilweise überlappen sie sogar.

Textabbildung 4.10:

Monatliche Hornbildungsrate der Vorder- und Hinterhufe an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf n = 1230 Werten)



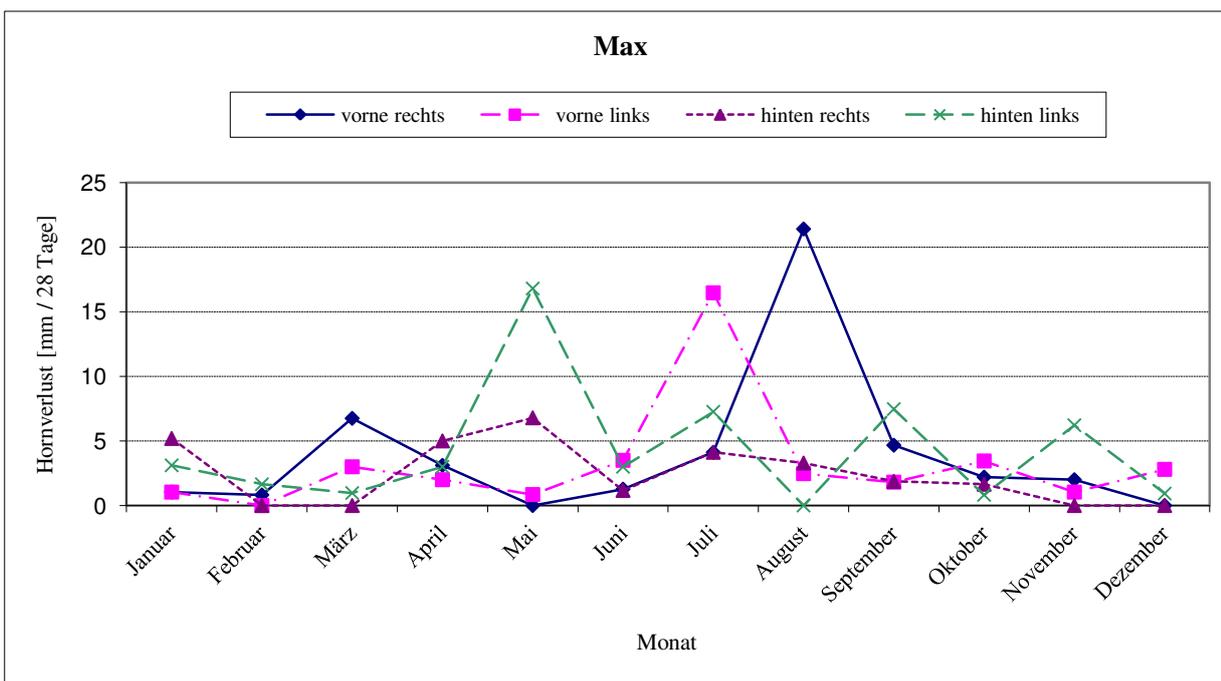
Eine Varianzanalyse ließ lediglich für die Monate Juli und Dezember signifikante Unterschiede in der Hornbildungsrate an Vorder- und Hinterhufen erkennen, wobei die größte Mittelwertdifferenz mit 1,31 mm / 28 Tage im Monat Dezember zu finden ist. Für die anderen Monate lässt sich kein durch anatomische Unterschiede zwischen Vorder- und Hinterhufen bedingtes verändertes Hornwachstum feststellen.

4.3 GESAMTHORNVERLUST UND HORNABRIEB AN DER HUFWAND

Analog zur Auswertung der dorsalen Hufwandlänge und des Hornwachstums wurde zunächst für den Hornverlust für jedes Pferd ein Diagramm erstellt, in dem die Werte für jeden Huf monatlich dargestellt worden sind. Beispielhaft sei das hier an der Textabbildung 4.11 von Althengst „Max“ verdeutlicht.

Textabbildung 4.11:

Monatlicher Hornverlust an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Vorder- und Hinterhufen von Althengst „Max“



Der Wert für den Gesamthornverlust liegt im Jahresmittel bei 4,29 mm / 28 Tage, weist allerdings mit einer Standardabweichung von $\pm 6,59$ mm / 28 Tage eine recht große Schwankungsbreite auf. Insgesamt konnten 1229 Einzelwerte erhoben werden, die in der Tabelle 3 im Anhang I ersichtlich sind.

Im Anschluss wurden einfaktorielle Varianzanalysen im Hinblick auf die verschiedenen Parameter Monat bzw. Quartal, Alter, Geschlecht und anatomische Lokalisation (Vorderhuf resp. Hinterhuf) zur Klärung möglicher signifikanter Unterschiede durchgeführt. Da sich die Werte zum Hornverlust und die Einflussfaktoren darauf beim Hauspferd in der Literatur meist nur auf den reinen Hornabrieb beziehen und um eine Vergleichbarkeit dieser Arbeit mit anderen Angaben zu gewährleisten, wurden die erhaltenen Werte zum Hornverlust zunächst als Gesamt-Hornverlust ausgewertet und anschließend nochmals nur der Hornabrieb (definiert als Hornverlust von ≤ 15 mm / 28 Tage) betrachtet. In die Auswertung zum Hornabrieb gingen 1158 Einzelwerte ein. Es konnte hier ein Jahresmittelwert von $2,97 \pm 3,25$ mm / 28 Tage berechnet werden.

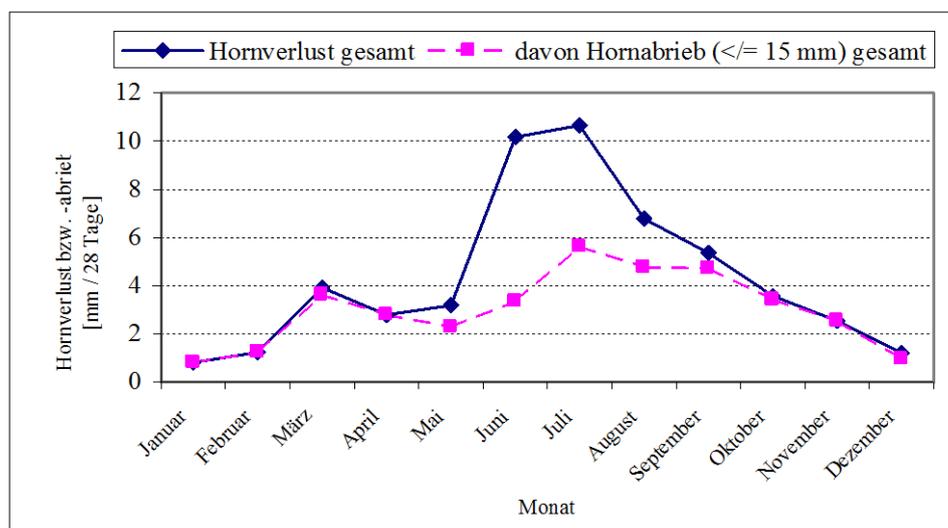
4.3.1 Saisonalität

Bei Vergleich der Einzeldiagramme fällt auf, dass die Streuung der Einzeldaten in den Frühlings- und Sommermonaten besonders hoch ist, während in den kühleren Jahreszeiten eher geringere Unterschiede zwischen den Pferden auftreten. Ein Vergleich zwischen den monatlichen Standardabweichungen bestätigt diesen Eindruck. Die höchste Streuung findet sich demnach mit einer Standardabweichung von 13,21 mm / 28 Tage im Juni, während die geringste Standardabweichung mit 1,35 mm / 28 Tage im Januar auftritt. Die individuellen Schwankungen sind insbesondere auf die in den Frühlings- und Sommermonaten vermehrt auftretenden Tragrandausbrüche (Chipping) zurückzuführen, die neben dem reinen Hornabrieb auch zu einer Verkürzung der dorsalen Hufwand beitragen. Besonders betroffen von diesen Ausbrüchen sind hierbei die Monate Mai bis September, ein Maximum ist im Juli zu verzeichnen. Aber auch im Winter können bei den Liebenthaler Pferden gelegentlich Tragrandausbrüche auftreten.

Zur Zusammenfassung der Werte für den Hornverlust wurden monatliche Mittelwerte gebildet. Da für den Monat Oktober Messwerte aus zwei Jahren vorliegen, erfolgte die Bildung eines gemeinsamen Mittelwertes. Eine vorherige Varianzanalyse hatte ergeben, dass sich hier kein Jahreseffekt auf den Hornverlust nachweisen lässt. Analog wurden Mittelwerte für den reinen monatlichen Hornabrieb gebildet. Die erhaltenen Mittelwerte wurden anschließend zur Verdeutlichung der monatlichen Schwankungen und des Unterschiedes zwischen Hornverlust und Hornabrieb grafisch in Textabbildung 4.12 dargestellt.

Textabbildung 4.12:

Jahresverlauf des monatlichen Hornverlustes und des monatlichen Hornabriebs (Mittelwerte) an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1229$ Werten)



Erkennbar ist ein Minimum sowohl an Hornverlust als auch an Hornabrieb im Januar sowie ein Maximum beider Werte im Juli. Während sich in den Winter- und Herbstmonaten beide Kurven weitestgehend überlagern, ist der oben erwähnte Unterschied zwischen Hornverlust und reinem Abrieb in den Frühlings- und Sommermonaten deutlich erkennbar. Die durchgeführte Varianzanalyse ergab sowohl für den Gesamthornverlust als auch für den Hornabrieb signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen den einzelnen Monaten. Bei der folgenden Kategorisierung der Werte zu ihrer Zusammenfassung in Quartale ergaben sich ebenfalls für die beide Parameter Hornverlust und Hornabrieb signifikante Unterschiede in den Quartalsmittelwerten (Tabelle 4.7).

Tabelle 4.7: Einfluss der Jahreszeit auf den monatlichen Hornverlust (1) bzw. -abrieb (2) an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (Mittelwerte = MW und Standarddifferenzen = SD) [mm / 28 Tage]

	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
1 MW Hornverlust	2,00	5,32	7,60	2,70
1 SD Hornverlust	3,07	9,10	7,83	3,19
2 MW Hornabrieb	1,90	2,77	5,00	2,57
2 SD Hornabrieb	2,79	2,76	3,92	2,80

Um festzustellen, zwischen welchen Quartalen die gezeigten Unterschiede des monatlichen Hornverlustes sowie des monatlichen Hornabriebs signifikant sind, wurden die Differenzen zwischen den jeweiligen Quartalsmittelwerten bestimmt und jeweils ein Scheffé-Test durchgeführt. Hierbei ergab sich eine Signifikanz ($\alpha = 0,05$) der Unterschiede im Hornverlust (Tabelle 4.8) für alle Quartale, beim Hornabrieb (Tabelle 4.9) lag lediglich die Differenz zwischen Frühling und Herbst unterhalb des statistischen Signifikanzniveaus.

Tabelle 4.8: Mittlere Differenz des monatlichen Hornverlustes an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden zwischen den Quartalen ($Q - Q'$) (Scheffé-Test) [mm / 28 Tage], die grau unterlegten Werte sind statistisch signifikant

$Q \backslash Q'$	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Winter	0			
Frühling	3,31	0		
Sommer	5,59	2,28	0	
Herbst	0,70	-2,61	-4,89	0

Tabelle 4.9: Mittlere Differenz des monatlichen Hornabriebs an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden zwischen den Quartalen ($Q - Q'$) (Scheffé-Test) [mm / 28 Tage], die grau unterlegten Werte sind statistisch signifikant

$Q \backslash Q'$	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
Winter	0			
Frühling	0,87	0		
Sommer	3,10	2,23	0	
Herbst	0,67	-0,20	-2,43	0

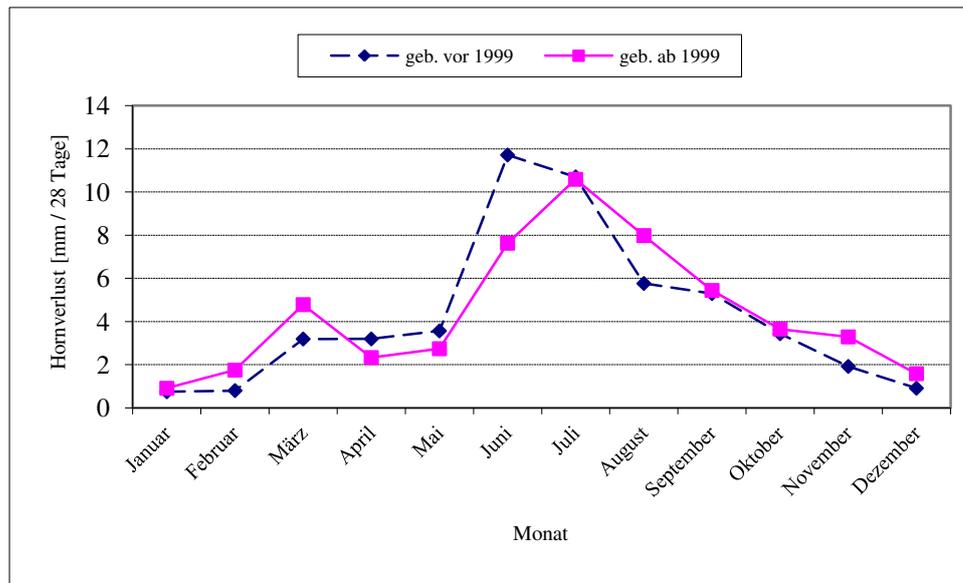
Die größten signifikanten Unterschiede zwischen den Quartalsmittelwerten sind sowohl beim Hornverlust als auch beim Hornabrieb zwischen Sommer und Winter zu finden, während die geringsten Unterschiede für beide Parameter zwischen Herbst und Winter liegen. Hornverlust und Hornabrieb weisen demnach im Vergleich zu den Herbst- und Wintermonaten signifikant höhere Werte in den Frühlings- und Sommermonaten auf. Der Nachweis des deutlichen monatlichen und Quartalseffektes auf Hornverlust bzw. Hornabrieb bedingt eine Berücksichtigung dieser Saisonalität bei der Auswertung der anderen möglichen Einflussfaktoren.

4.3.2. Einfluss von Alter und Geschlecht

Die Gruppeneinteilung zur Klärung des Alterseinflusses auf den Hornverlust erfolgte wie bei der Hornbildungsrate. Es ergab sich für den Hornverlust ein Jahresmittelwert von $4,21 \pm 6,06$ mm / 28 Tage bei den jüngeren Pferden und von $4,38 \pm 7,14$ mm / 28 Tage bei den älteren Pferden. Der reine Hornabrieb beträgt bei den jüngeren Pferden $3,08 \pm 3,31$ mm / 28 Tage und bei den älteren Pferden $2,81 \pm 3,13$ mm / 28 Tage. Damit scheint der Hornabrieb bei den jüngeren Pferden über das ganze Jahr hinweg betrachtet größer zu sein, während der gesamte Hornverlust in dieser Gruppe etwas geringer ausfällt als bei den älteren Pferden. Um dieses zu prüfen, wurden erneut monatliche Mittelwerte gebildet und grafisch jeweils für den Hornverlust (Textabbildung 4.13) und den reinen Hornabrieb (Textabbildung 4.14) dargestellt.

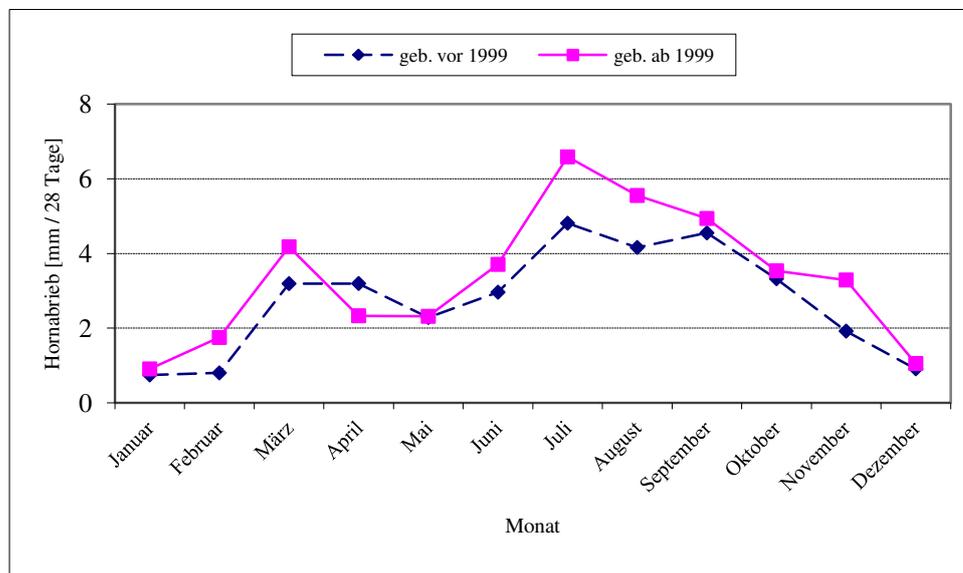
Textabbildung 4.13:

Einfluss des Alters auf den monatlichen Hornverlust an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf n = 1229 Werten)



Textabbildung 4.14:

Einfluss des Alters auf den monatlichen Hornabrieb an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf n = 1158 Werten)



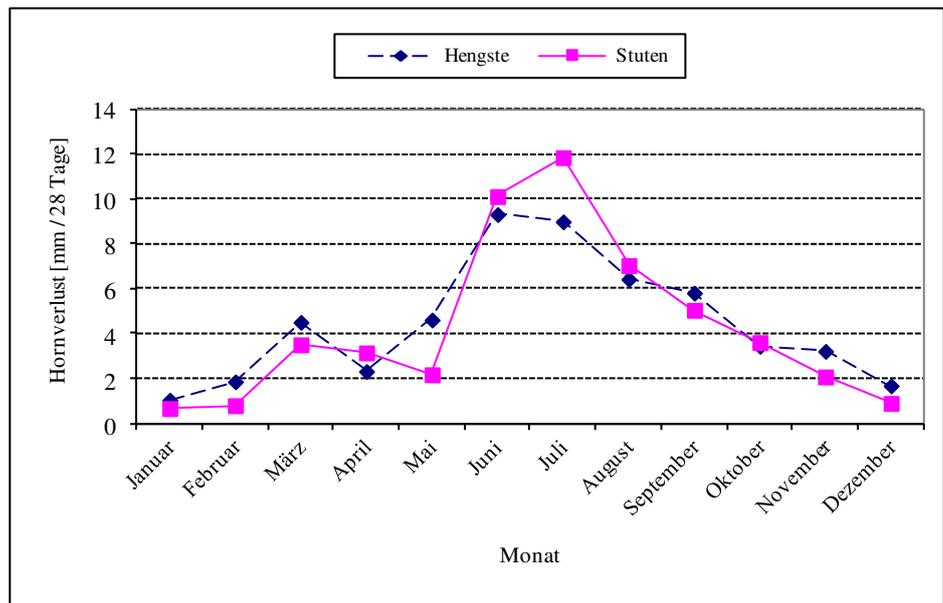
Sowohl beim Hornverlust als auch beim Hornabrieb liegen die Kurven für beide Altersgruppen dicht beieinander und haben mehrmals im Verlauf des Jahres gemeinsame Berührungspunkte. Die durchgeführten Varianzanalysen ergaben, dass sich sowohl für das gesamte Jahr als auch für die einzelnen Quartale keine signifikanten ($\alpha = 0,05$) altersbedingten Unterschiede der beiden Parameter nachweisen lassen.

Zu Überprüfung des Einflusses vom Geschlecht der Liebenthaler Pferde auf den Hornverlust sowie den Hornabrieb wurden ebenfalls zunächst für beide Gruppen die Jahresmittelwerte berechnet. Beim Hornverlust ergaben sich dabei $4,19 \pm 6,62 \text{ mm} / 28 \text{ Tage}$ für die Stuten und $4,44 \pm 6,56 \text{ mm} / 28 \text{ Tage}$ für die Hengste. Das Jahresmittel für den reinen Hornabrieb beträgt bei den Stuten $2,86 \pm 3,24 \text{ mm} / 28 \text{ Tage}$ und bei den Hengsten $3,09 \pm 3,24 \text{ mm} / 28 \text{ Tage}$. Die grafische Darstellung erfolgt für den Hornverlust in Textabbildung 4.15, für den Hornabrieb in Textabbildung 4.16.

Die Tendenz, die sich aus den Jahresmittelwerten ergibt, dass bei Stuten sowohl Hornverlust als auch -abrieb geringer sind als bei den Hengsten, kann aus dem Kurvenverlauf der Monatsmittelwerte nicht bestätigt werden. Auch die durchgeführten Varianzanalysen für das gesamte Jahr sowie für die einzelnen Quartale ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen Stuten und Hengsten bezüglich des Hornverlustes und des Hornabriebs.

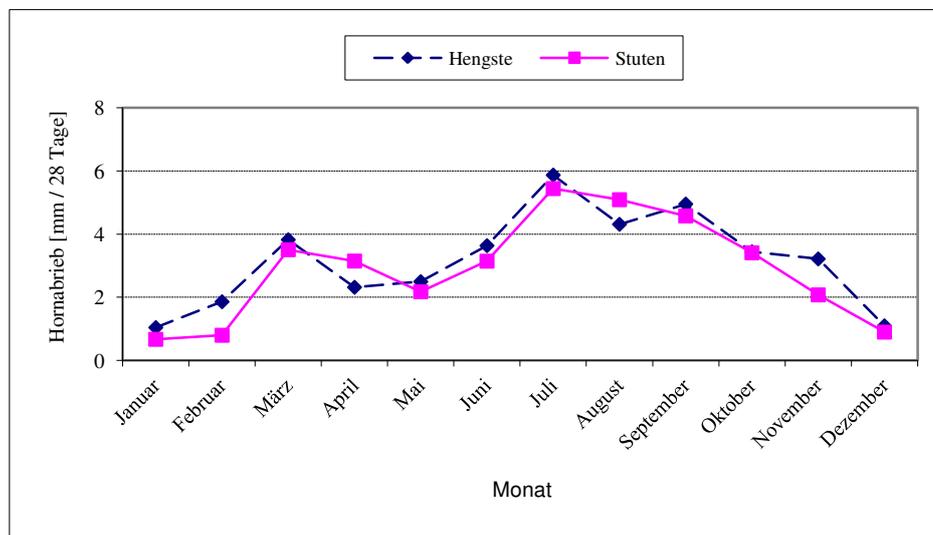
Textabbildung 4.15:

Einfluss des Geschlechts auf den monatlichen Hornverlust an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1229$ Werten)



Textabbildung 4.16:

Einfluss des Geschlechts auf den monatlichen Hornabrieb an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1158$ Werten)

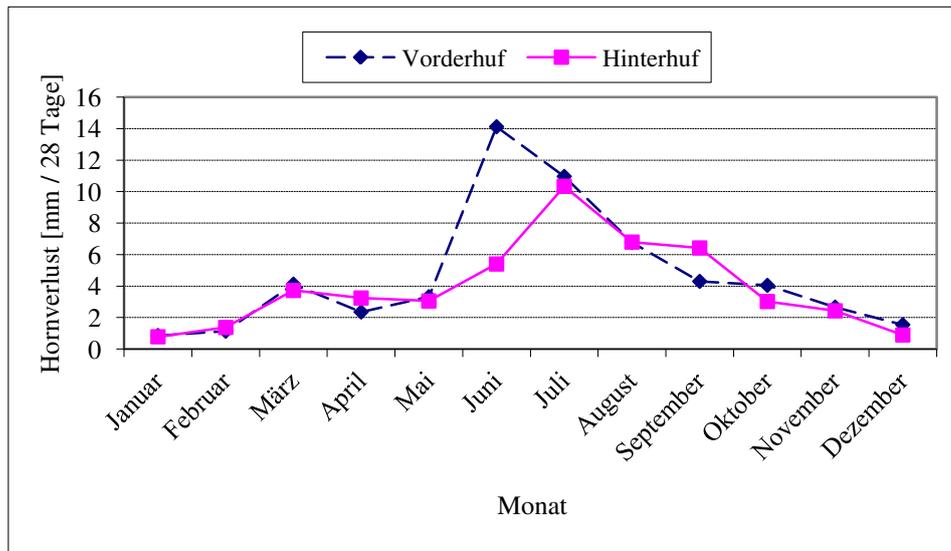


4.3.3. Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf

Der durchschnittliche Hornverlust an den Vorderhufen beträgt im Jahr $4,67 \pm 7,62$ mm / 28 Tage, an den Hinterhufen ist er im Mittel mit $3,92 \pm 5,36$ mm / 28 Tage etwas geringer. Wie die Darstellung der Monatsmittelwerte im Liniendiagramm (Textabbildung 4.17) jedoch zeigt, ist nur im Monat Juni ein dermaßen großer Unterschied zwischen Vorder- und Hinterhufen zu verzeichnen (Mittelwertdifferenz: 9,54 mm / 28 Tage), dass er sich auch deutlich auf die Jahresmittelwerte auswirkt. Die durchgeführten Varianzanalysen bestätigten dieses, denn sie konnten, außer im Juni, keine signifikanten Mittelwertsunterschiede nachweisen.

Textabbildung 4.17:

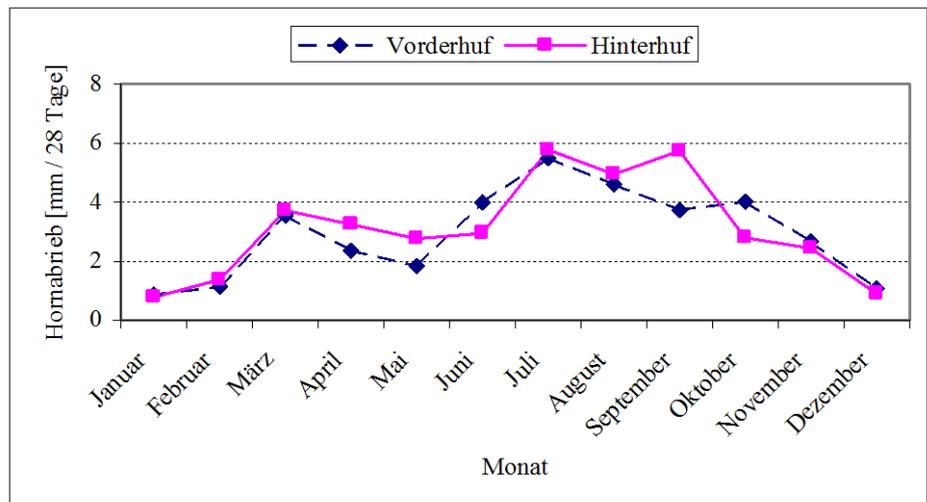
Monatlicher Hornverlust der Vorder- und Hinterhufe an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1229$ Werten)



Betrachtet man den reinen Hornabrieb (Textabbildung 4.18), so ergeben sich mit $2,91 \pm 3,18$ mm / 28 Tage bei den Vorderhufen und $3,0 \pm 3,29$ mm / 28 Tage bei den Hinterhufen etwas geringere Werte als beim gesamten Hornverlust ermittelt. Auffallend ist, dass, im Gegensatz zum Hornverlust, beim Hornabrieb für die Hinterhufe geringgradig höhere Werte festgestellt wurden. Eine Signifikanz dieses geringen Unterschiedes konnte jedoch durch die Varianzanalyse nicht bestätigt werden. Bei der grafischen Darstellung der monatlichen Mittelwerte liegen beide Kurven nahezu übereinander, die monatlichen Unterschiede sind als sehr gering einzustufen. Demzufolge lässt sich kein anatomisch bedingter Einfluss auf den Hornabrieb nachweisen. Der deutliche Unterschied zwischen Vorder- und Hinterhufen beim Hornverlust im Monat Juni ist durch vermehrte Tragrandrandausbrüche in diesem Monat an den Vorderhufen zustande gekommen.

Textabbildung 4.18:

Monatlicher Hornabrieb der Vorder- und Hinterhufe an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (basierend auf $n = 1158$ Werten)

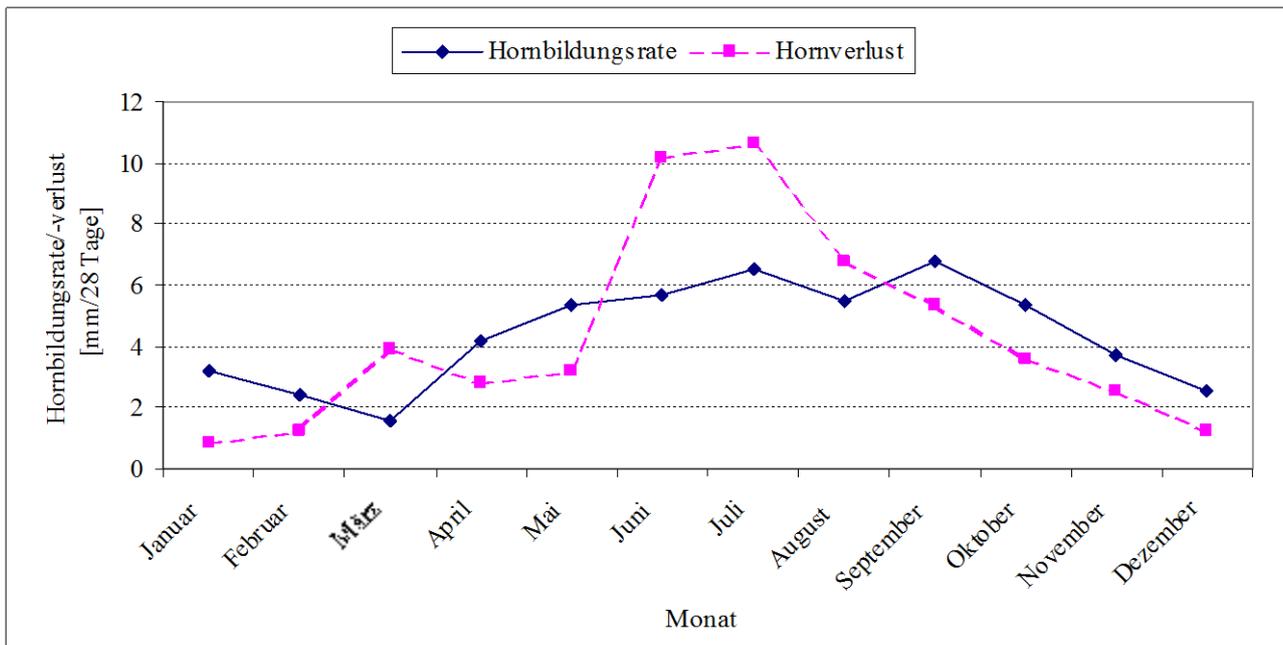


4.4 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN HORNBILDUNGSRATE UND HORNVERLUST

Der Jahresmittelwert für die Hornbildungsrate ist mit $4,40 \pm 2,4$ mm / 28 Tage bei den Liebenthaler Pferden nahezu gleich dem des durchschnittlichen Hornverlustes von $4,29 \pm 6,59$ mm / 28 Tage. Zum Vergleich beider Parameter wurden die jeweiligen monatlichen Mittelwerte gebildet und zusammen grafisch aufgetragen (Textabbildung 4.19).

Textabbildung 4.19:

Vergleich der Jahresrhythmik von Hornbildungsrate (n = 1230) und Hornverlust (n = 1229) beim Liebenthaler Pferd

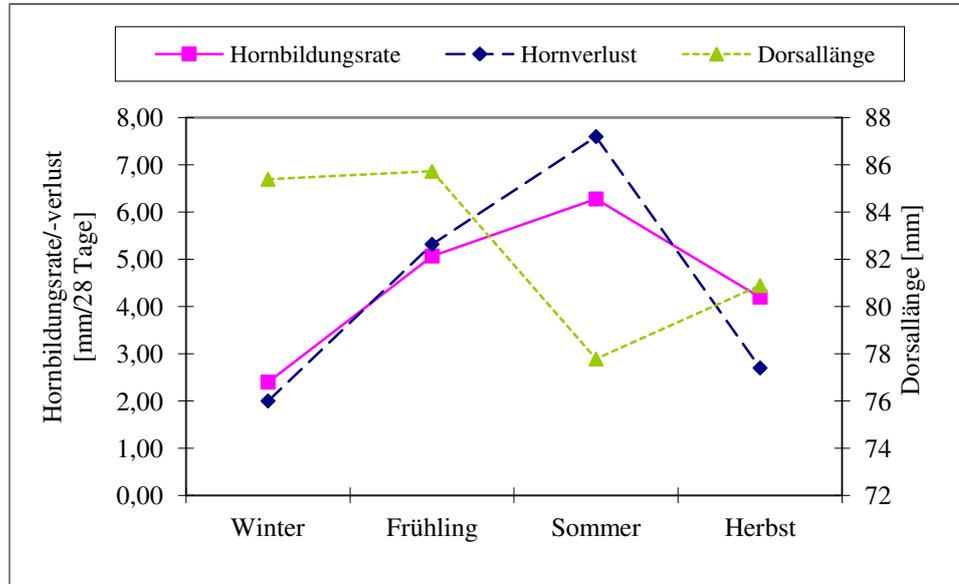


Es wird hierbei offensichtlich, dass beide Kurven einen ähnlichen Verlauf aufweisen und sich mehrmals im Jahresverlauf schneiden. Die niedrigeren Werte finden sich sowohl bei der Hornbildungsrate als auch beim Hornverlust in den späten Herbst- und in den Wintermonaten, während die höchsten Werte beim Hornverlust im Juli und bei der Hornbildungsrate im September zu beobachten waren. Das mehrfache Schneiden der Kurven untereinander zeigt, dass in einigen Monaten die Hornbildung deutlich höher ist als der Hornverlust, während in anderen Monaten der Hornverlust dominiert.

Im Ergebnis stellt sich eine dynamische Dorsallänge der Hufwand ein. Im Frühling wird relativ viel Hornmasse produziert, der Hornverlust ist dagegen noch nicht so hoch. Im Ergebnis wird der Huf Rücken länger, mit einem Maximum im Mai. Im Sommer kommt es dann zu vermehrtem Hornverlust, der zu einer plötzlichen Abnahme der Huf Länge führt. In den Herbst- und Wintermonaten ist das Hufwachstum geringgradig größer als der Hornverlust, so dass es hier dann zu einem gleichmäßigen, flachen Anstieg der Huf Rückenlänge kommt. Besonders deutlich wird dieser Rhythmus in der quartalsweisen Darstellung von Hornbildung, Hornverlust sowie dorsaler Zehenlänge im Kombinationsdiagramm mit 2 y-Achsen (Textabbildung 4.20).

Textabbildung 4.20:

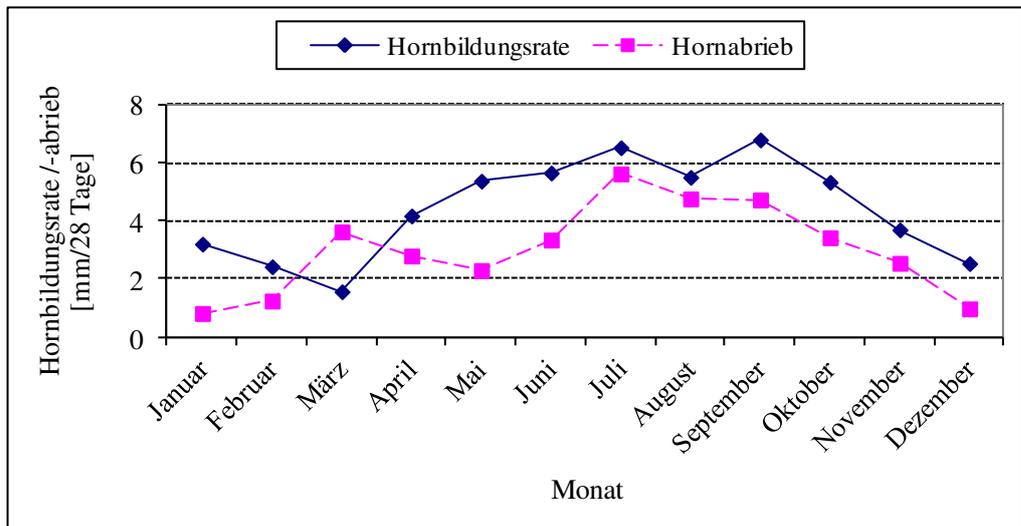
Vergleich von Hornbildungsrate (n = 1230) und Hornverlust (n = 1229) beim Liebenthaler Pferd im Verhältnis zur Dorsallänge (n = 1333) der Hufwand



Für den Vergleich von Hornbildungsrate mit dem reinen Hornabrieb ergeben sich ähnliche Bilder, bei denen lediglich die hohen Werte des Hornverlustes besonders in den Sommermonaten etwas reduziert sind (Textabbildung 4.21). Die Werte des Hornabriebs liegen größtenteils unter denen für die Hornbildungsrate, was zeigt, dass die Selbsterhaltung der Huflänge allein durch Hornabrieb beim Liebenthaler Pferd unter den gegebenen Haltungsbedingungen nicht möglich ist. Das Verhältnis beider Kurven zueinander ändert sich jedoch außerhalb der Frühjahrs- und Sommermonate kaum, die Kurvenverläufe sind ähnlich.

Textabbildung 4.21:

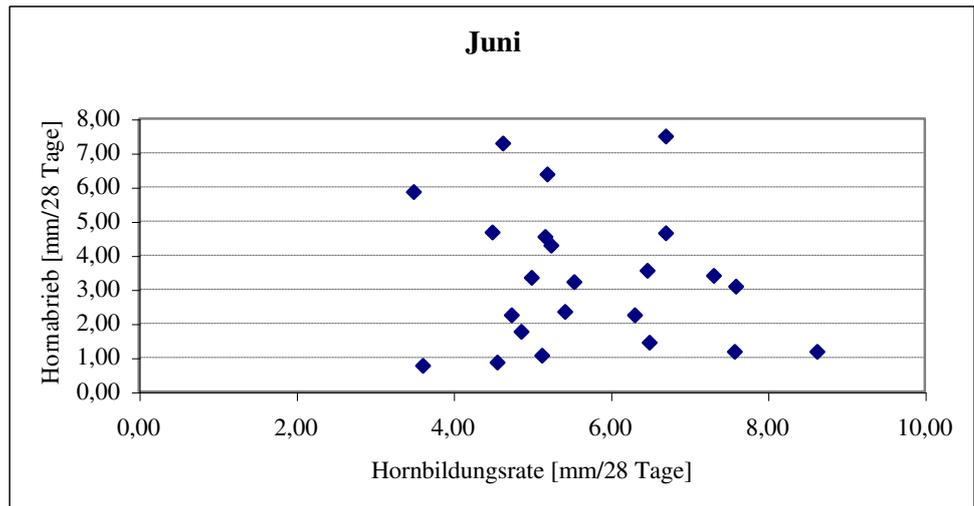
Vergleich der Jahresrhythmik von Hornbildungsrate (n = 1230) und Hornabrieb (n = 1158) beim Liebenthaler Pferd



Zur Klärung einer möglichen Korrelation zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust sowie -abrieb wurden die jeweiligen Daten gegeneinander in einem Streudiagramm aufgetragen. Für eine bessere Übersichtlichkeit der Diagramme wurden hierfür zunächst die erhobenen Einzeldaten zu einem monatlichen Mittelwert je Pferd zusammengefasst. In der grafischen Darstellung sowohl der einzelnen Monate als auch der definierten Quartale und im gesamten Jahresverlauf fällt eine erhebliche Streuung der Werte auf. Als Beispiel dafür ist in Textabbildung 4.22 das Streudiagramm von monatlicher Hornbildungsrate und Hornabrieb im Monat Juni dargestellt.

Textabbildung 4.22:

Streudiagramm der Werte von monatlicher Hornbildungsrate und monatlichem Hornabrieb bei Liebenthaler Pferden im Monat Juni, dargestellt sind die Monatsmittlerwerte jedes untersuchten Pferdes (n = 24)



Die hohe Streuung der Werte verdeutlicht, dass eine hohe Hornproduktionsrate nicht zwingend mit einem hohen Hornverlust oder Hornabrieb assoziiert sein muss. Es wurden für die Klärung der Zusammenhänge zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust sowie zwischen Hornbildungsrate und Hornabrieb in die Streudiagramme der jeweiligen Quartale und des Jahresverlaufes Regressionsgeraden eingezeichnet und die Korrelationskoeffizienten (r) bestimmt. Im Anschluss wurden die Korrelationskoeffizienten der Quartale auf ihre Signifikanz hin untersucht (Tabelle 4.10).

Tabelle 4.10: Korrelationskoeffizienten (r) zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust sowie Hornabrieb in den einzelnen Quartalen (grau unterlegte Werte sind signifikant auf einem Niveau von $\alpha = 0,05$)

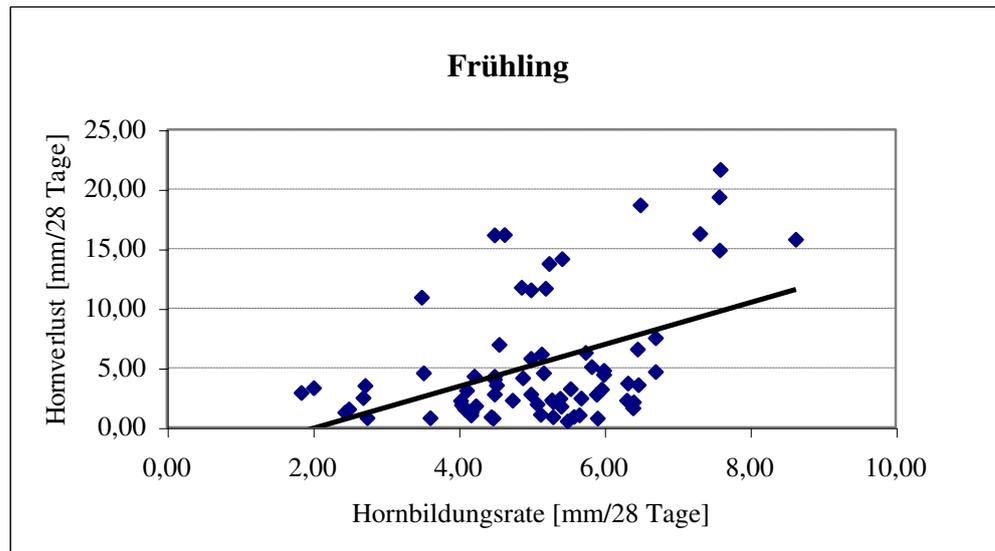
Korrelationskoeffizient zwischen Hornbildungsrate und...	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
...Hornverlust	-0,20	0,45	0,13	0,42
...Hornabrieb	-0,14	0,03	0,18	0,43

Die Tabelle zeigt, dass es nicht immer eine positive Korrelation zwischen Hornbildung und Hornverlust gibt, bei der beide Werte synchron ansteigen. Im Winter zeigt sich zusammenhängend mit einem steigenden Hornverlust bzw. Hornabrieb eine abnehmende Hornproduktion, wobei hier die statistische Korrelation recht gering ist. Deutlich positive Korrelationen zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust bzw. -abrieb sind hingegen im Herbst festzustellen. Für das Quartal Sommer lassen sich keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust bzw. -abrieb herstellen.

Auffallend ist, dass es bei Betrachtung des Zusammenhanges sowohl zwischen Hornverlust als auch bei Hornabrieb und Hornbildungsrate größtenteils zu ähnlichen Korrelationskoeffizienten kommt. Eine Ausnahme bildet hierbei der Frühling, in dem zwischen Hornabrieb und Hornbildungsrate fast kein Zusammenhang hergestellt werden kann, während sich für den gesamten Hornverlust und die Hornproduktion eine sehr deutliche und statistisch abgesicherte Beziehung aufweisen lässt. Dieser Unterschied lässt sich auf die im Frühling besonders hohen Absolutwerte der Tragrandausbrüche zurückführen. Beispielhaft sind deshalb die Streudiagramme mit eingezeichneten Regressionsgeraden für den Frühling abgebildet (Textabbildungen 4.23 und 4.24).

Textabbildung 4.23:

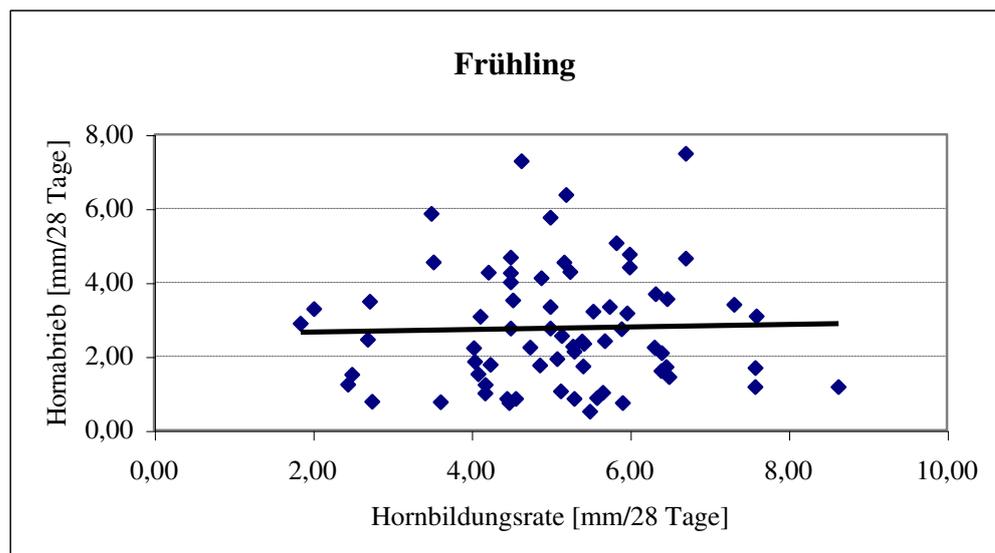
Korrelation zwischen der monatlichen Hornbildungsrate und dem monatlichen Hornverlust bei Liebenthaler Pferden im Quartal „Frühling“, dargestellt sind jeweils die Monatsmittelwerte ($n = 72$) jedes untersuchten Pferdes



Die Funktionsgleichung der Regressionsgeraden für die Korrelation zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust im Frühling lautet: $y = 1,7601x - 3,6162$.

Textabbildung 4.24:

Korrelation zwischen der monatlichen Hornbildungsrate und dem monatlichen Hornabrieb bei Liebenthaler Pferden im Quartal „Frühling“, dargestellt sind jeweils die Monatsmittelwerte ($n = 72$) jedes untersuchten Pferdes



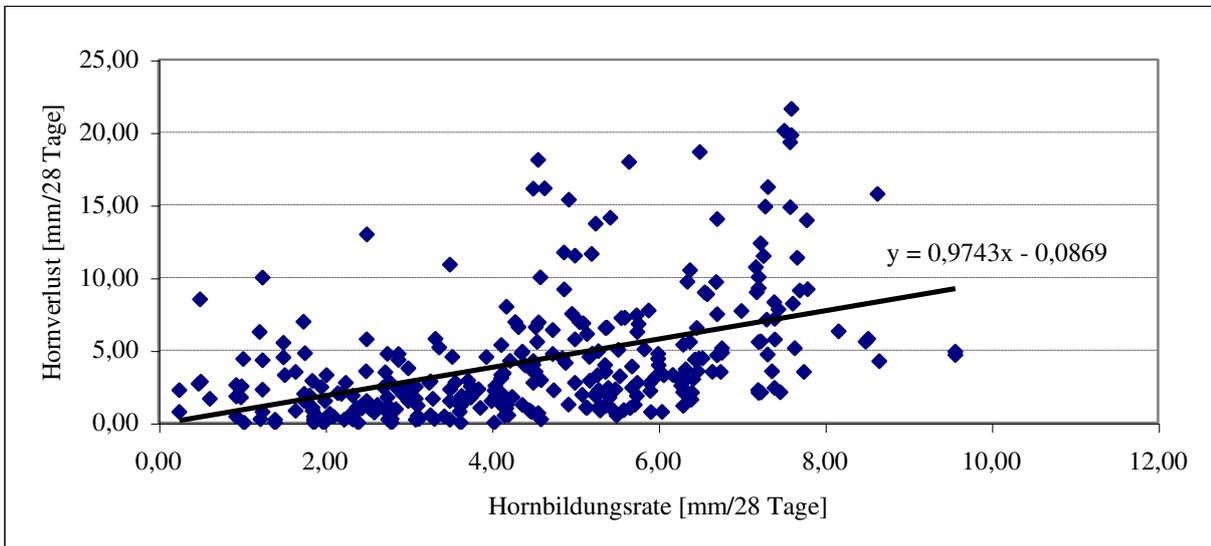
Die Funktionsgleichung der Regressionsgeraden für die Korrelation zwischen Hornbildungsrate und Hornabrieb im Frühling lautet: $y = 0,0344x + 2,5838$.

Im gesamten Jahresverlauf ist eine deutliche positive Korrelation für den Zusammenhang zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust ($r = 0,47$) (Textabbildung 4.25) sowie zwischen Hornbildungsrate und Hornabrieb ($r = 0,42$) (Textabbildung 4.26) festzustellen. Beide Korrelationen liegen statistisch überhalb des Signifikanzniveaus von $\alpha = 0,05$. Die jeweilige Regressionsgerade weist grafisch ebenfalls in jedem der beiden Diagramme einen positiven Zusammenhang nach, wobei sich die Steigungen der Geraden jedoch unterscheiden (Steigung der Regressionsgeraden zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust: $0,97$; Steigung der Regressionsgeraden zwischen Hornbildungsrate und Hornabrieb: $0,46$). Dass die Regressionsgerade zwischen Hornproduktion und Hornverlust mit einer Steigung von $s \approx 1$ annähernd bei Null die y-Achse schneidet, ist ein bedeutsamer Hinweis auf die Ausgeglichenheit der beiden Parameter im

Jahresverlauf. Dies heißt, dass auch bei Betrachtung über mehrere Jahre hinweg der Jahresmittelwert der dorsalen Zehenlänge weder zu- noch abnimmt.

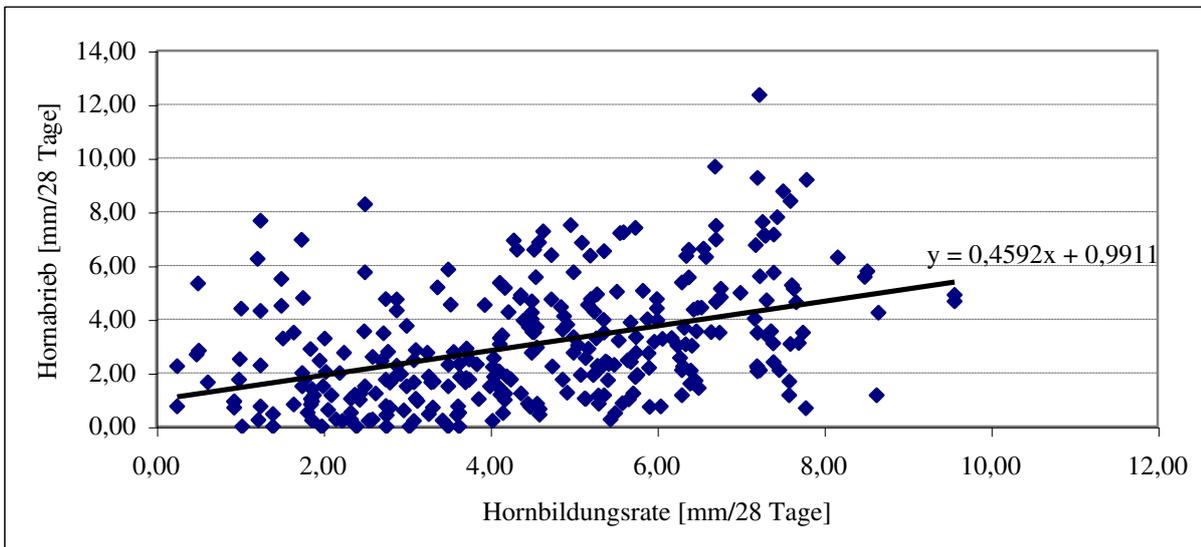
Textabbildung 4.25:

Korrelation zwischen der monatlichen Hornbildungsrate und dem monatlichen Hornverlust beim Liebenthaler Pferden im Jahresverlauf, dargestellt sind die jeweiligen Monatsmittelwerte ($n = 290$) jedes untersuchten Pferdes sowie die Funktionsgleichung der Regressionsgeraden



Textabbildung 4.26:

Korrelation zwischen der monatlichen Hornbildungsrate und dem monatlichen Hornabrieb beim Liebenthaler Pferden im Jahresverlauf, dargestellt sind die jeweiligen Monatsmittelwerte ($n = 290$) jedes untersuchten Pferdes sowie die Funktionsgleichung der Regressionsgeraden



4.5 AUFTRETEN VON HORNSPALTEN

Hornspalten sind häufig bei der untersuchten Population an Liebenthaler Pferden zu beobachten, oft befinden sich an einem Huf auch mehrere Spalten. Es traten distale und durchgehende Hornspalten auf. Proximale Hornspalten, die von Kronsaum ausgehend nicht den Tragrand erreichen, kamen im Beobachtungszeitraum nicht vor. Eine Übersicht über die beobachteten Hornspalten (n (ges.) = 250) in den Monaten Juni bis Okto-

ber 2005 sowie ihre Ausdehnung und Lokalisation geben Tabelle 4.11 sowie die Tabellen 4 und 5 im Anhang I. Eine statistische Auswertung der beobachteten Hornspalten in den vorhergehenden Monaten Oktober 2004 bis Mai 2005 entfällt, da nicht genügend auswertbares Daten- bzw. Fotomaterial vorhanden ist.

Tabelle 4.11: Übersicht über die Hornspalten

		Juni	Juli	August	September	Oktober
Anzahl fotografierte Tiere		24	24	24	24	24
Anzahl fotografierte Hufe		92	96	95	96	92
Anzahl Hornspalten		65	41	46	50	48
Anzahl Hufe mit mehreren Hornspalten		11	5	8	9	7
Anzahl Hufe ohne Hornspalten		39	61	59	56	51
Ausdehnung	durchgehend	20	21	25	28	29
	distal	45	20	21	22	19
Lokalisation	lateral	47	36	39	43	42
	dorsal	7	2	1	1	0
	medial	11	3	6	6	6

Bei Pferden mit durchgehenden Hornspalten blieben diese meist über den Beobachtungszeitraum erhalten. Einige distale Hornspalten konnten sich jedoch durch Verlängerung der longitudinalen Zusammenhangstrennung nach proximal zu durchgehenden Hornspalten entwickeln. Andere distale Hornspalten wurden aufgrund der fortwährenden Hornabnutzung in Verbindung mit dem stetigen Hornnachschieben immer kürzer und verschwanden schließlich ganz. Ebenfalls konnte bei durchgehenden Hornspalten auch in wenigen Fällen ein deutlicher Zusammenhalt der vom Kronrand nachwachsenden Hornmassen nachgewiesen werden, womit sich ein durchgehender Hornspalt hin zu einem distalen Hornspalt entwickelt.

Die häufigste Lokalisation am Huf für sowohl durchgehende als auch distale Hornspalten der untersuchten Population ist lateral, am wenigsten kamen dorsale Hornspalten vor. Fünf Pferde wiesen dauerhaft an allen vier Hufen Hornspalten auf, davon waren drei Altstuten (Frilla, Kneli, Friduline), eine Jungstute (Frohna) und ein Junghengst (Mercur) betroffen. Bei einer Jungstute (Mirabella) und einem Junghengst (Raiko) konnte während des gesamten Untersuchungszeitraumes an keinem der vier Hufe ein Hornspalt festgestellt werden.

4.5.1 Saisonalität

Aufgrund der ungleichmäßigen Verteilung der fotografierten Hufe über den gesamten Untersuchungszeitraum mit deutlicher Häufung der fotografischen Aufnahmen in den Monaten Juni bis Oktober ist über die Saisonalität der Hornspalten keine schließend-statistische Aussage möglich. Als Trend lässt sich jedoch die relative Häufung distaler Hornspalten im Monat Juni angeben, während in den anderen Monaten sowohl distale als auch durchgehende Hornspalten in ähnlicher Anzahl auftraten.

4.5.2 Einfluss von Alter und Geschlecht

Das Auftreten von Hornspalten war im Auswertungszeitraum bei den älteren Pferden ($n = 12$) in jedem Monat deutlich häufiger als in der jüngeren Untersuchungsgruppe ($n = 14$). Auch die Verteilung von distalen und durchgehenden Hornspalten war in beiden Altersgruppen verschieden, wie aus Tabelle 4.12 zu entnehmen ist.

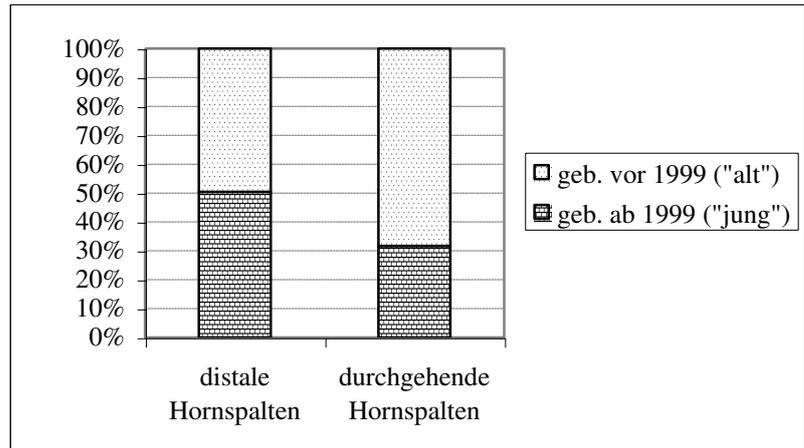
Tabelle 4.12: Altersabhängige Verteilung der Hornspalten in den Monaten Juni bis Oktober

	geb. ab 1999	geb. vor 1999
Hornspalten gesamt	103	147
distale Hornspalten	64	63
durchgehende Hornspalten	39	84

Das Auftreten von durchgehenden Hornspalten ist somit deutlich häufiger bei älteren Pferden, während distale Hornspalten in nahezu gleicher Häufigkeit in beiden Altersgruppen vorkommen. Dies zeigt auch die prozentuale Verteilung der beiden Altersgruppen auf die aufgetretenen Hornspalten in Textabbildung 4.27.

Textabbildung 4.27:

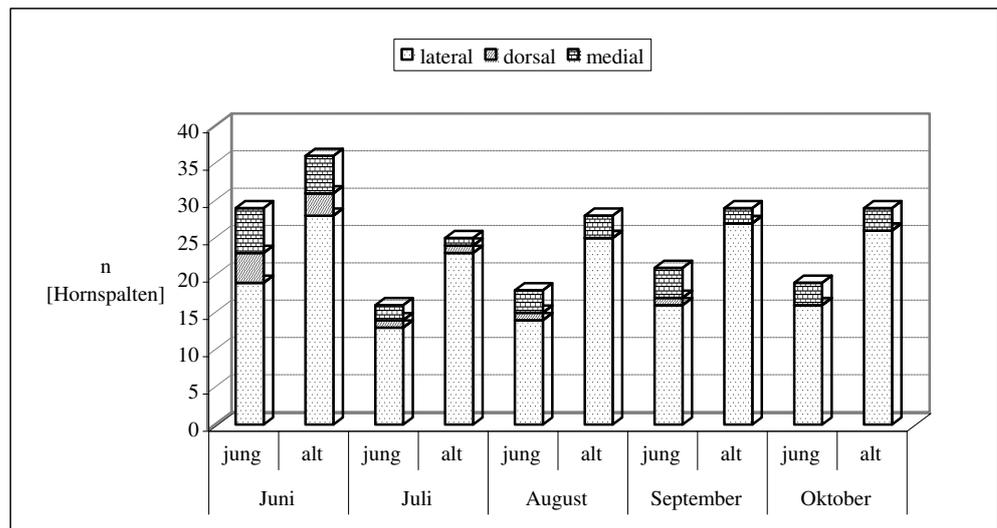
Prozentuale Verteilung der Altersgruppen in Bezug auf die Ausdehnung der Hornspalten (n = 250)



Für die Lokalisation der Hornspalten am Huf lässt sich keine Altersabhängigkeit nachweisen (Textabbildung 4.28). Über die untersuchten Monate hinweg war in beiden Altersgruppen stets lateral die größte Anzahl an Hornspalten zu finden, während es dorsal am wenigsten Hornspalten gab.

Textabbildung 4.28:

Darstellung der Lokalisation der aufgetretenen Hornspalten (n = 250) in Abhängigkeit vom Alter



Über den Untersuchungszeitraum kamen bei Stuten fast doppelt so viele Hornspalten vor wie bei den männlichen Tieren (Tabelle 4.13). Während die Hengste dabei häufiger distale Hornspalten aufwiesen, waren die Stuten öfter von durchgehenden Spalten betroffen.

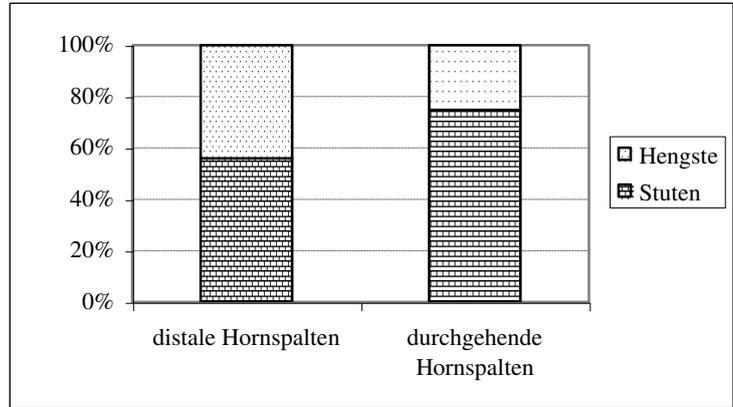
Ebenso wie bei den beiden Altersgruppen, bleibt jedoch auch bei der geschlechtsspezifischen Betrachtung die prozentuale Verteilung der distalen Hornspalten nahezu ausgewogen (Textabbildung 4.29).

Tabelle 4.13: Geschlechtsabhängige Verteilung der Hornspalten in den Monaten Juni bis Oktober

	Stuten	Hengste
Hornspalten gesamt	163	87
distale Hornspalten	71	56
durchgehende Hornspalten	92	31

Textabbildung 4.29:

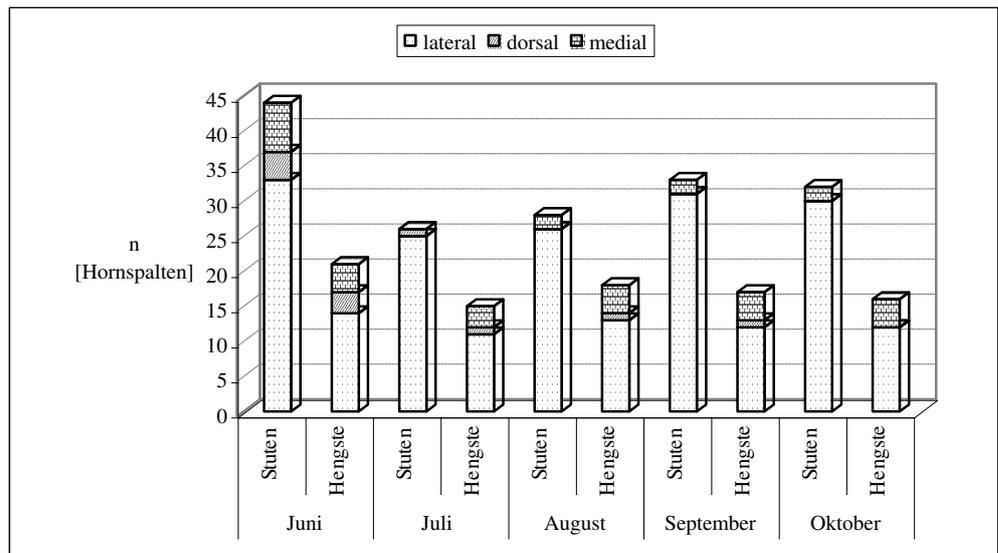
Prozentuale Verteilung der Geschlechter in Bezug auf die Ausdehnung der Hornspalten (n = 250)



Eine Geschlechtsabhängigkeit der Lokalisation von Hornspalten am Huf ist nicht nachweisbar. Wie auch in der Gesamtpopulation ist bei beiden Geschlechtern stets lateral die größte Anzahl an Hornspalten zu finden, während dorsal am wenigsten Spalten auftraten (Textabbildung 4.30).

Textabbildung 4.30:

Darstellung der Lokalisation der aufgetretenen Hornspalten (n = 250) in Abhängigkeit vom Geschlecht



4.5.3 Vergleich Vorderhuf / Hinterhuf

Die Verteilung der Hornspalten in Bezug auf Vorder- und Hinterhufe war während des gesamten Untersuchungszeitraumes ausgeglichen (Tabelle 4.14).

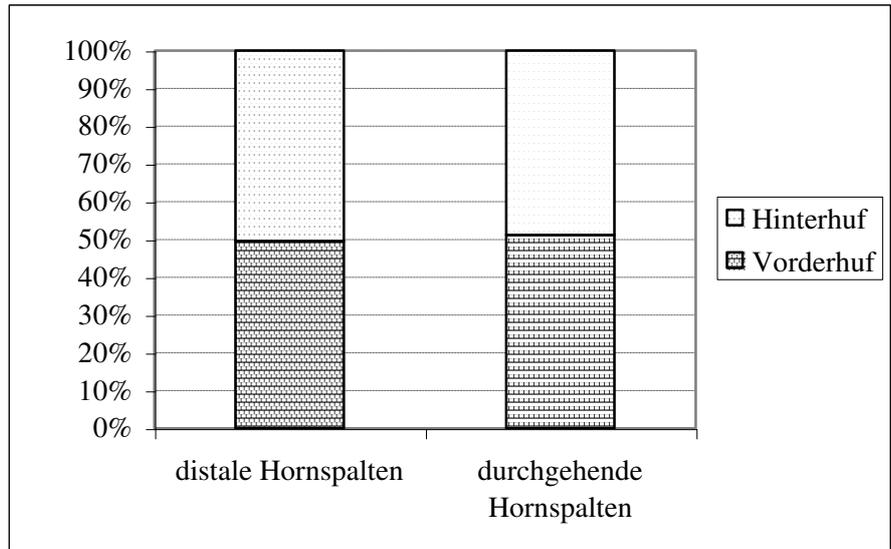
Tabelle 4.14: Anzahl der Hornspalten an Vorder- und Hinterhufen

Monat	n [Hornspalten Vorderhuf]	n [Hornspalten Hinterhuf]	n [Hufe] vorne / hinten
Juni	33	32	25 / 26
Juli	22	19	19 / 16
August	23	23	16 / 18
September	25	25	17 / 22
Oktober	23	25	14 / 20

Wie bei Betrachtung der Gesamtanzahl an Hornspalten tritt sowohl an den Vorder- als auch an den Hinterhufen eine Häufung im Monat Juni auf. Distale und durchgehende Hornspalten kamen im Untersuchungszeitraum an Vorder- und Hinterhufen in nahezu gleicher Häufigkeit vor (Textabbildung 4.31).

Textabbildung 4.31:

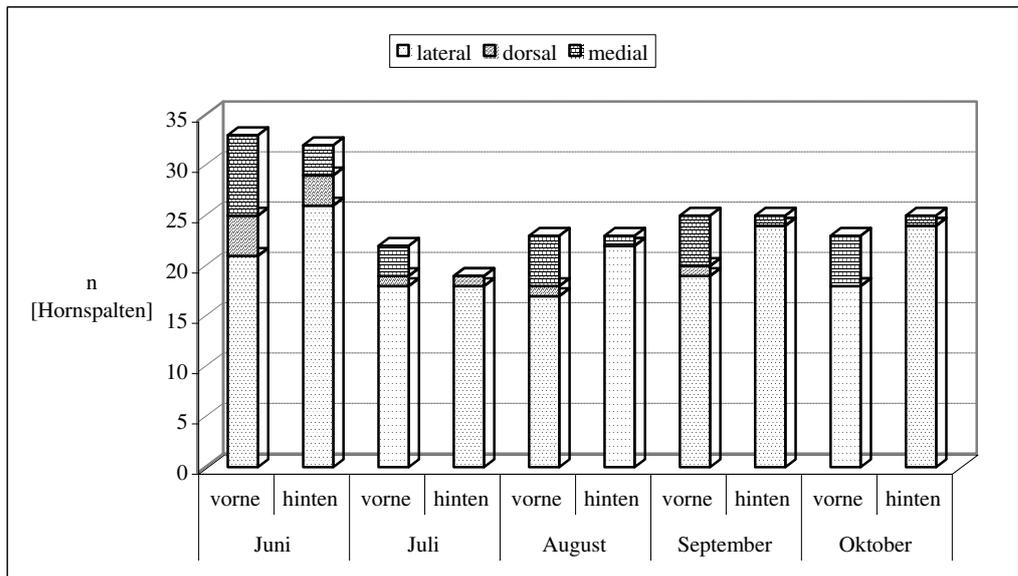
Prozentuale Verteilung von Vorder- und Hinterhufen in Bezug auf die Ausdehnung der Hornspalten (n = 250)



An beiden Extremitäten kamen lateral die meisten und dorsal die wenigsten Hornspalten vor (Textabbildung 4.32). Ein anatomischer Effekt in Bezug auf Vorder- oder Hinterextremitäten auf die Häufigkeit des Auftretens von Hornspalten kann somit weder für ihre Lokalisation noch für ihre Ausdehnung nachgewiesen werden.

Textabbildung 4.32:

Darstellung der Lokalisation der aufgetretenen Hornspalten (n = 250) in Bezug auf Vorder- und Hinterhufe



4.6 AUFTRETEN VON HORNCIPS UND TRAGRANDAUSBRÜCHEN

4.6.1 Hornchips – fotografische Auswertung

Die fotografische Auswertung des Auftretens von Hornchips stellt eine Momentaufnahme dar, die nur für den jeweiligen Zeitpunkt der fotografischen Aufnahme gilt. Es wurde nur ein am Huf vorhandener Hornchip gewertet, bereits vorher erfolgte Tragrandausbrüche (siehe Definition in Material und Methoden) flossen nicht in die Auswertung mit ein. Insgesamt konnten für den Zeitraum Juni bis Oktober 2005 n = 81 Hornchips fotografisch dokumentiert werden, wobei es in zwei Fällen vorkam, dass an einem Huf zwei

Hornchips unterschiedlicher Lokalisation zu finden waren. Eine Übersicht über die Anzahl der beobachteten Hornchips in den Monaten Juni bis Oktober sowie ihre Lokalisation gibt Tabelle 4.15.

Tabelle 4.15: Übersicht über die fotografierten Hornchips

		Juni	Juli	August	September	Oktober
Anzahl fotografierte Tiere		24	24	24	24	24
Anzahl fotografierte Hufe		92	96	95	96	92
Anzahl Hornchips		24	16	11	15	15
Anzahl Hufe mit mehreren Hornchips		2	0	0	0	0
Anzahl Hufe ohne Hornchips		70	80	84	81	77
Lokalisation	lateral	12	8	7	9	9
	dorsal	6	4	2	6	4
	medial	6	4	2	0	2

Während des Untersuchungszeitraumes traten bei nahezu allen Pferden an mindestens einem Huf Hornchips auf, lediglich bei zwei Pferden (Junghengst „Mutan“ und Altstute „Bienelina“) war von Juni bis Oktober an keinem Huf ein Hornchip nachweisbar (siehe auch Tabelle 6 im Anhang I). An der dorsalen und medialen Hufwand war das Auftreten von Hornchips ähnlich häufig, während auf der lateralen Seite insgesamt am meisten Hornchips vorhanden waren.

Wie bei den Hornspalten gilt auch für die Dokumentation der Hornchips, dass eine deskriptiv-statistische Aussage nur in den Monaten Juni bis Oktober möglich ist. Ein Einfluss der Jahreszeit auf ihre Entstehung lässt sich somit durch die Fotodokumentation in diesem Zeitraum nicht beweisen. Als Trend fällt jedoch eine deutliche Häufung von Hornchips im Monat Juni auf, während in den folgenden Monaten ihre Anzahl geringer und nahezu konstant blieb. Die Verteilung der Hornchips auf die verschiedenen Lokalisationen ist jedoch auch im Juni mit der in den anderen Monaten vergleichbar (siehe Tabelle 4.15). Auf den von November 2004 bis Mai 2005 angefertigten Fotos fällt auf, dass es auch in den Wintermonaten zum Auftreten von Hornchips kommt. Diese scheinen jedoch im Durchschnitt deutlich kleiner zu sein als die in den Sommermonaten auftretenden Chips. Aufgrund der geringen Fotoanzahl lässt sich keine statistische Aussage über ihre relative Häufigkeit machen. Die absolute Anzahl an fotografisch dargestellten Hornchips ist jedoch in diesen Monaten deutlich geringer als im Auswertungszeitraum (z.B. November 2004: $n = 4$, März 2005: $n = 3$).

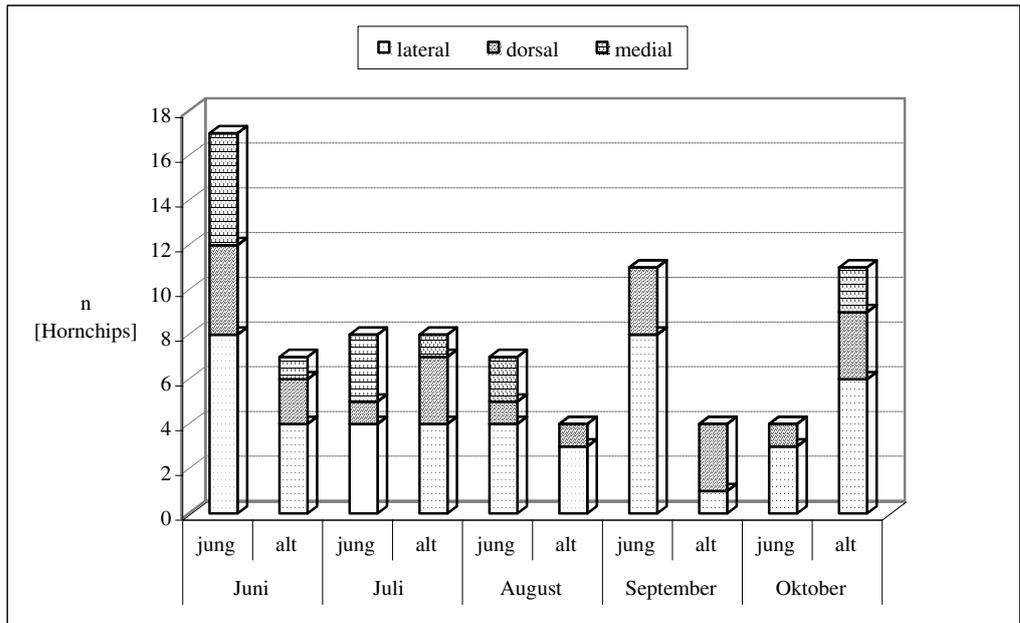
Bezüglich der Altersabhängigkeit ist auffällig, dass offensichtlich bei jüngeren Pferden häufiger Hornchips zu beobachten sind (Tabelle 4.16). Dies fällt insbesondere an der lateralen Hufwand auf, während die dorsale und mediale Seite bei diesen Tieren annähernd genauso häufig vom Auftreten von Hornchips betroffen sind, wie bei älteren Pferden. Bei Betrachtung der monatlichen Verteilung der Hornchips in den beiden Altersgruppen (Textabbildung 4.33) ist diese Tendenz lediglich in den Monaten Juli und Oktober nicht zu beobachten.

Tabelle 4.16: Altersabhängige Verteilung des Auftretens von Hornchips in den Monaten Juni bis Oktober

	geb. ab 1999	geb. vor 1999
n (gesamt)	47	34
n (laterale Hornchips)	27	18
n (dorsale Hornchips)	10	12
n (mediale Hornchips)	10	4

Textabbildung 4.33:

Darstellung der fotografierten Hornchips (n = 81) in Abhängigkeit vom Alter



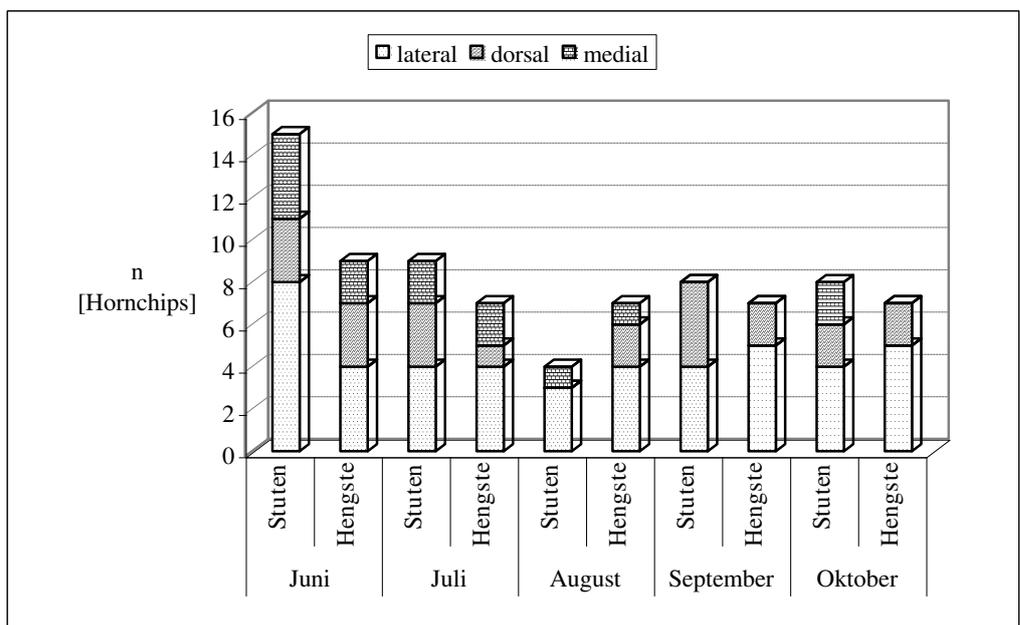
Geschlechtsspezifische Differenzen im Auftreten von Hornchips sind über den gesamten Untersuchungszeitraum nicht zu erfassen. Da etwas mehr Stuten (n = 15) als Hengste (n = 11) für die Untersuchung zur Verfügung standen, ist die geringgradig höhere absolute Hornchipanzahl bei den Stuten kein Anzeichen für deutliche Unterschiede zwischen den beiden Geschlechtern. Die Gesamtverteilung der Hornchips sowie auch ihre Lokalisation an der Hufwand sind in Tabelle 4.17 dargestellt und bei beiden Geschlechtern nahezu identisch.

Tabelle 4.17: Geschlechtsabhängige Verteilung des Auftretens von Hornchips in den Monaten Juni bis Oktober

	Stuten	Hengste
n (gesamt)	44	37
n (laterale Hornchips)	23	22
n (dorsale Hornchips)	12	10
n (mediale Hornchips)	9	5

Textabbildung 4.34:

Darstellung der fotografierten Hornchips (n = 81) in Abhängigkeit vom Geschlecht



Auch über die einzelnen Monate verteilt ergibt sich ein nahezu ausgewogenes Verhältnis zwischen Stuten und Hengsten beim Auftreten von Hornchips (Textabbildung 4.34). Lediglich im Monat Juni waren mehr Stuten (n = 15, im Vergleich Hengste n = 9) betroffen, während im August etwas mehr Hengste (n = 7, im Vergleich Stuten n = 4) Hornchips aufwiesen.

In Bezug auf die Verteilung von Hornchips auf Vorder- und Hinterhufe war das Gesamtverhältnis ebenfalls nahezu ausgewogen. Bei den unterschiedlichen Lokalisationen war jedoch das Auftreten von dorsalen Hornchips an den Vordergliedmaßen häufiger, wie in Tabelle 4.18 ersichtlich ist.

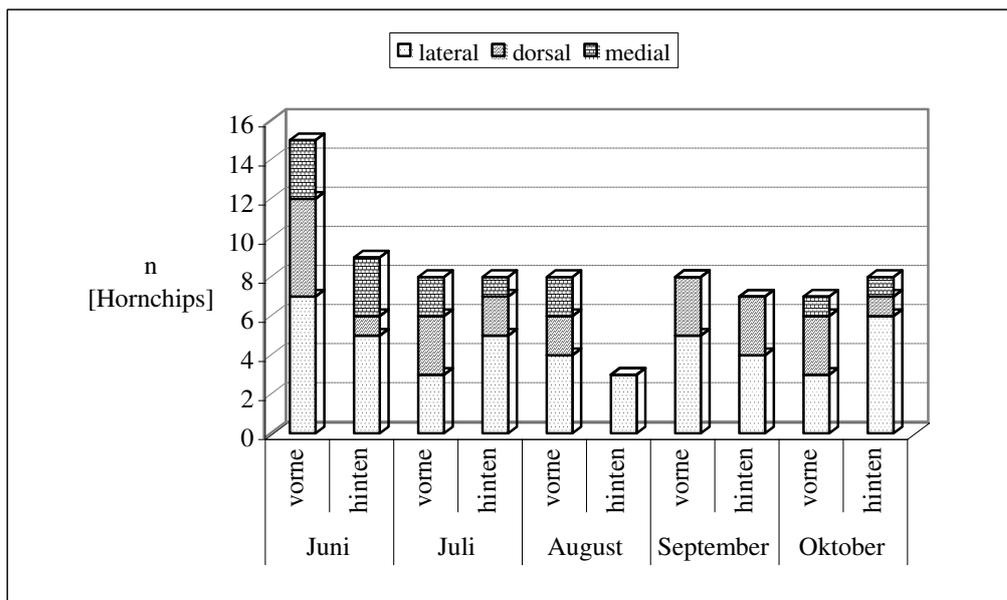
Tabelle 4.18: Anzahl der Hornchips an Vorder- und Hinterhufen in den Monaten Juni bis Oktober

	Vorderhuf	Hinterhuf
n (gesamt)	46	35
n (laterale Hornchips)	22	25
n (dorsale Hornchips)	16	7
n (mediale Hornchips)	8	5

Bei Betrachtung der einzelnen Monate ist die relative Häufung dorsaler Hornchips an den Vordergliedmaßen im Vergleich zu den Hintergliedmaßen ebenfalls zu beobachten (Textabbildung 4.35). Lediglich im Monat September traten vorne als auch hinten gleich viele Hornchips auf.

Textabbildung 4.35:

Darstellung der fotografierten Hornchips (n = 81) in Bezug auf Vorder- und Hinterhufe



4.6.2 Tragrandausbrüche – Auswertung anhand der Messwerte

Mit der Definition der Tragrandausbruches als gemessener Hornverlust über 15 mm / 28 Tage wurden insgesamt im Untersuchungszeitraum n = 71 Tragrandausbrüche festgestellt. Zu beachten ist, dass, aufgrund der Messung an der dorsalen Hufkapselwand (siehe Material und Methoden), nur Ausbrüche des Hufrückens registriert wurden. Da im Monat Oktober sowohl 2004 als auch 2005 jeweils ein Tragrandausbruch ähnlicher Größe auftrat und dies der einzige Monat war, für den Ergebnisse aus zwei Jahren vorliegen, wurde hier für die Auswertungen hinsichtlich der monatlichen Verteilung der Mittelwert aus beiden Einzelwerten gebildet (d.h. im Mittel trat im Monat Oktober ein Tragrandausbruch auf). Durchschnittlich wurde dabei die dorsale Hufwand um $25,87 \pm 9,28$ mm / 28 Tage kürzer. Die meisten Tragrandausbrüche kamen in den Monaten Juni (n = 23) und Juli vor (n = 25), die wenigsten in den Monaten Oktober und Dezember (n = 1). Die durchschnittlich größten Tragrandausbrüche sind in den Monaten Mai und Juni zu beobachten, der absolut

größte Messwert trat mit einem Hornverlust von 54,73 mm in 28 Tagen bei einer Altstute im Monat Juni auf (siehe Abbildung 20, Anhang Abbildungen). Die durchschnittlich geringsten Werte finden sich im Monat Oktober. Für die Monate Januar, Februar, April und November konnten mit dieser Auswertung keine Tragrandausbrüche nachgewiesen werden. Die Einzelauswertung der Tragrandausbrüche ist in Tabelle 4.19 einsehbar.

Tabelle 4.19: Anzahl der Tragrandausbrüche der dorsalen Hufwand bei Liebenthaler Pferden (n), Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) [mm/28 Tage] ihrer proximodistalen Höhenausdehnung, für den Monat Oktober sind die Gesamtmittelwerte der Jahre 2004 und 2005 aufgeführt, für Dezember entfällt die Angabe der Standardabweichung (nur ein Wert vorhanden)

	März	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	Dezember
n	2	2	23	25	12	3	1	1
MW	17,50	30,70	30,62	24,90	20,83	24,96	16,99	24,39
SD	0,71	20,55	10,25	6,80	6,36	7,14	1,59	–

Bei den Tragrandausbrüchen wurde die Anhängigkeit von den verschiedenen Faktoren rein deskriptiv überprüft, da für eine analytische Untersuchung die Anzahl der Werte zu gering ist. Die Gesamtanzahl der Tragrandausbrüche sowie die jeweiligen Mittelwerte und Standardabweichungen der proximodistalen Höhenausdehnung im Beobachtungszeitraum sind für die jeweils zwei Gruppen der Merkmale „Alter“ und „Geschlecht“ in Tabelle 4.20 dargestellt.

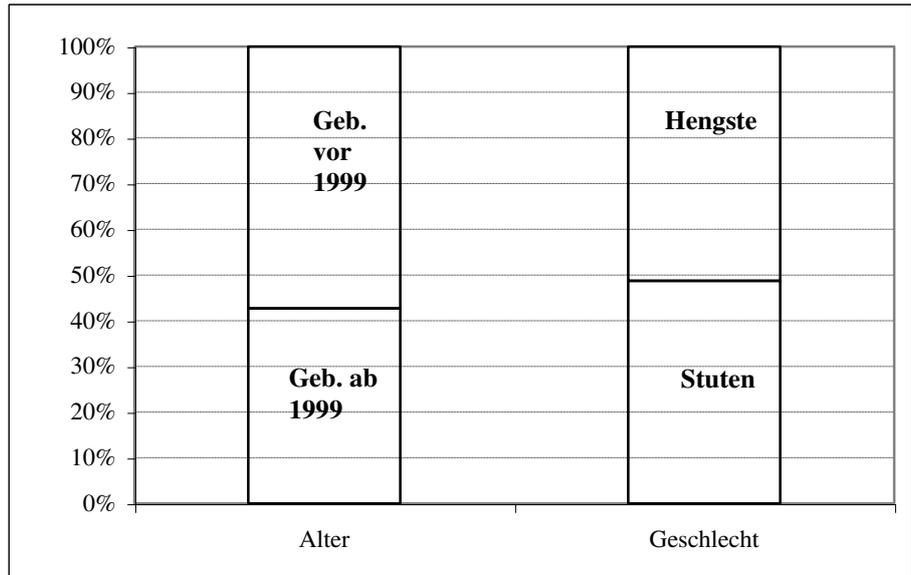
Tabelle 4.20: Gesamtzahl der Tragrandausbrüche (n), Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) [mm/28 Tage] ihrer proximodistalen Höhenausdehnung bei Liebenthaler Pferden für die Merkmale „Alter“ und „Geschlecht“

Merkmal	Alter		Geschlecht	
	Geb. ab 1999 („jung“)	Geb. vor 1999 („alt“)	Stuten	Hengste
Gruppengröße	14	12	15	11
n	33	38	40	31
MW	24,53	27,04	26,54	25,01
SD	8,64	9,77	8,93	9,80

Um die geringfügig verschiedenen Gruppengrößen hinsichtlich des Alters und des Geschlechtes mit einzubeziehen, wurden jeweils die Quotienten aus Anzahl der Tragrandausbrüche und Gruppengröße gebildet. Anschließend wurden diese dann als relative Häufigkeiten mittels Säulendiagramm dargestellt (Textabbildung 4.36). Es ließen sich hierbei für die Merkmale Alter und Geschlecht keine bedeutsamen größeren Unterschiede feststellen, lediglich die älteren Pferde scheinen etwas mehr Tragrandausbrüche auszubilden als die jüngeren. Diese Tendenz lässt sich aber durch die geringe Anzahl an Werten nicht statistisch sichern. Das deckt sich mit den Ergebnissen von Gesamthornverlust und Hornabrieb, wobei sich der etwas höhere Hornabrieb bei den jüngeren Pferden nicht auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ nachweisen ließ (siehe Kapitel 4.3.2).

Textabbildung 4.36:

Einfluss von Alter und Geschlecht auf die relative Häufigkeit der Tragrandausbrüche (n = 71) bei Liebenthaler Pferden



Um einen eventuellen anatomischen Einfluss auf die Häufigkeit der Tragrandausbrüche zu untersuchen, wurden jeweils für die Vorder- und Hinterhufe die Gesamtanzahl der Ausbrüche sowie der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt (Tabelle 4.21). Hierbei lässt sich erkennen, dass an den Vorderhufen deutlich häufiger Tragrandausbrüche auftreten als an den Hinterhufen. Auch ist die mittlere Größe (proximodistale Höhengausdehnung) der Ausbrüche an den Vordergliedmaßen deutlich höher als an den Hintergliedmaßen.

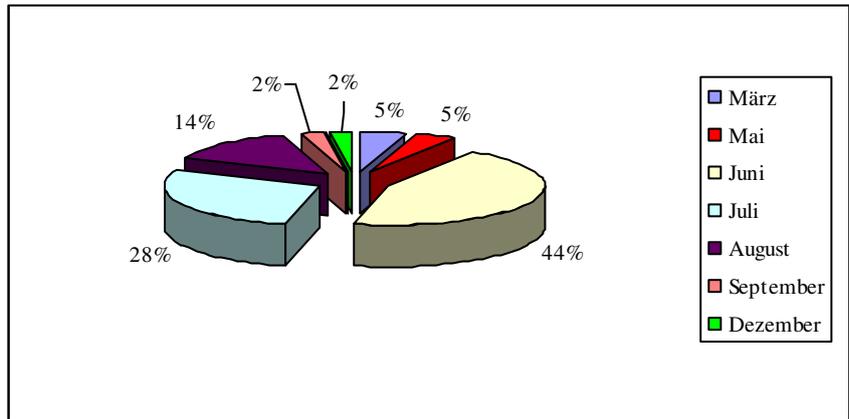
Tabelle 4.21: Gesamtzahl der Tragrandausbrüche (n), Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) [mm/28 Tage] ihrer proximodistalen Höhengausdehnung bei Liebenthaler Pferden in Bezug auf Vorder- und Hinterhufe

	Vorderhufe	Hinterhufe
n	43	28
MW	28,03	22,56
SD	10,45	5,89

Bei der monatlichen Auswertung der anatomischen Lokalisation der Tragrandausbrüche fällt auf, dass an den Vorderhufen auch in den kälteren Monaten, wie März und Dezember, Ausbrüche auftraten, während die Hinterhufe eher nur im Frühling und Sommer betroffen waren. Die meisten Tragrandausbrüche lassen sich vorne im Juni (n = 19) und hinten im Juli (n = 13) finden. Zur Veranschaulichung der prozentualen Verteilung der Tragrandausbrüche auf die einzelnen Monate bei Vorder- und Hinterhufen sind Kreisdiagramme angefertigt worden (Textabbildung 4.37 und Textabbildung 4.38).

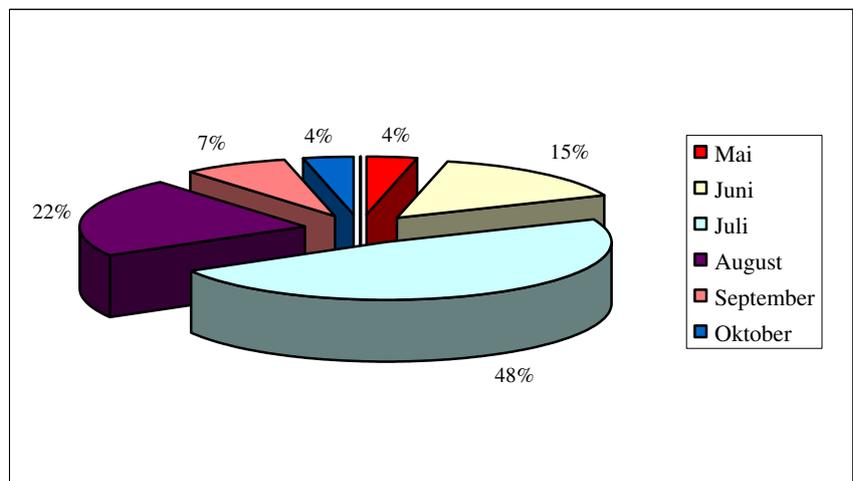
Textabbildung 4.37:

Relative monatliche Häufigkeit von Tragrandausbrüchen (n = 43) an den Vorderhufen beim Liebenthaler Pferd



Textabbildung 4.38:

Relative monatliche Häufigkeit von Tragrandausbrüchen (n = 28) an den Hinterhufen beim Liebenthaler Pferd



5 DISKUSSION

Die hier vorliegende Arbeit über die Huflängenregulation bei wildlebenden Hauspferden der Rasse „Liebenthaler Pferd“ sowie über die saisonalen Unterschiede bei Hornbildung und Hornverlust soll die Lücke zwischen den bereits vorliegenden Kenntnissen bei gezähmten Hauspferden und wilden Przewalskipferden schließen und dabei klären, inwieweit sich eine suffiziente Huflängenregulation bei nahezu unbeeinflusst vom Menschen lebenden Hauspferden ausbilden kann. Eine solche Haltung wird insbesondere bei der Nutzung von Pferden zur extensiven Landschaftspflege angestrebt, wobei eine nicht ausreichende Huflängenregulation durch das Auftreten von pathologisch deformierten Hufen Tierschutzrelevanz erreicht. Domestikations- und genetisch bedingte Unterschiede sollen erörtert werden. Die hierfür verwendeten Tiere eignen sich ideal als Untersuchungspopulation, da ihre Haltung vergleichbar ist mit der von Przewalskipferden in einem Semireservat (Untersuchungen von PATAN 2001 und SCHNITKER 2004) und durch die örtliche Nähe auch noch die gleichen klimatischen Bedingungen vorherrschten. Außerdem ist die untersuchte Population genetisch ausreichend homogen, da sie auf nur wenige Stamtiere zurückgeht und aufgrund des angestrebten Ziels einer Tarpanrückzüchtung nur sehr begrenzt Fremdblut eingekreuzt wurde. Hierbei muss jedoch betont werden, dass es sich bei jeder Rückzüchtung lediglich um eine im Phänotyp ähnliche Abbildzüchtung handelt. Die komplette Wiederherstellung eines einmal ausgestorbenen Genotyps ist mit Hilfe züchterischer Maßnahmen, die sich vorrangig auf die Selektion äußerer Merkmale konzentrieren, nicht möglich. Im Vergleich zu den Przewalskipferden, bei denen sich sämtliche heute existierenden Pferde auf 13 Stamtiere zurückführen lassen, ist der Genpool bei den Liebenthaler Pferden durch die genetisch verschiedenen Ausgangspferde größer. Dieses kann eine erhöhte Variabilität der Messwerte im Vergleich zum Urwildpferd bedingen.

Zunächst sollen die angewandten Methoden kritisch betrachtet werden, um eventuelle Fehlerquellen aufzuzeigen und die Befundauswertung besser zu verstehen. Es schließt sich daran die Diskussion der erhobenen Befunde an, welcher jeweils eine Auswertung zum Vergleich der eigenen Messwerte mit den bereits vorhandenen Ergebnissen beim „echten Wildpferd“ (Przewalskipferd) vorangestellt ist.

5.1 DISKUSSION DER METHODEN

Die durchgeführten Messungen orientierten sich methodisch in Anlehnung an die Literaturangaben (vgl. PATAN 2001), um eine Vergleichbarkeit mit bereits vorhandenen Daten zu gewährleisten. Einige Modifikationen ergaben sich jedoch durch die speziellen Anforderungen, die eine wildlebende Herde ungezähmter Pferde an den Untersucher stellt.

5.1.1 Bestimmung von Dorsallänge, Hornbildungsrate und -verlust

Die Dorsallänge, die Hornbildungsrate sowie der Hornverlust wurden ausschließlich durch die vorgenommenen Messungen am Hufrücken bestimmt. Messungen an den Seitenwänden wurden aufgrund des erhöhten Gefahrenpotentials für die Untersucherin unterlassen, zumal die Hufhornproduktion am Hufrücken nach LEU (1987) repräsentativ für die gesamte Hornplatte ist. Ob dieses für den Hornverlust bei unbeschlagenen Hufen ebenfalls gilt, sollte durch weiterführende Untersuchungen sicher abgeklärt werden. Es ergaben sich durch die Auswertung der Fotos Anhaltspunkte dafür, dass Abrieb und Ausbrüche nicht synchron entlang des gesamten Tragrandes erfolgen. Somit repräsentieren die ermittelten Werte für Hornabrieb und Ausbrüche nicht den Hornverlust entlang des gesamten Tragrandes, sondern nur den Hornverlust der dorsalen Hufwand.

Als Maß für die Hornbildungsrate wurde die Distalverlagerung einer Markierung auf dem Hufrücken vom Kronsaum in Richtung Tragrand (und damit eine Abstandszunahme im Messintervall) angesehen. Die Abstandsabnahme von der Markierung zum Tragrand wurde zur Bestimmung des Hornverlustes benutzt. Die

Markierung stellte eine maximal 2 cm lange und maximal 2 mm tiefe Kerbe im äußeren Kronhorn des Zehenrückens dar, die parallel zum Kronrand verlief. Eine solche Kerbe erwies sich schon bei anderen Untersuchern (z.B. SCHREYER, 1997) als praktikabel, da sie dauerhaft am Huf angebracht und einfach wiederaufzufinden ist. Lediglich eine rechtzeitige Erneuerung der Kerbe auf einem weiter proximal gelegenen Hufabschnitt vor dem Herauswachsen der alten Markierung war nötig. Die Art der Markierung mit einer kleinen Metallsäge wurde von den Pferden gut toleriert, durch die feine Zahnung wurde der bearbeitete Huf kaum merklich erschüttert. Andere Markierungsmöglichkeiten wie Klebepunkte oder eine Thermomarkierung mittels LötKolben (vgl. PATAN, 2001) erwiesen sich in Vortests bei den hier untersuchten Pferden entweder als wenig haltbar oder als unpraktikabel und gefährlich.

Die Kerbe selbst ist ebenfalls als Fehlerquelle denkbar, denn durch sie wurde der Hufrücken an einer definierten Stelle beschädigt. Beim Herunterwachsen der Kerbe nach distal könnte sie damit als Prädilektionsstelle für einen Tragrandausbruch dienen und somit die Ergebnisse für Hornverlust und Ausbrüche verfälschen. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Hufwanddicke von 10 mm im Zehenrückensbereich sollte die maximal 2 mm tiefe Kerbe jedoch keine relevanten Einflüsse auf die Statik und Dynamik der Hufwand haben. Auch die Auswertung des Fotomaterials zeigt, dass ein Chipping (Tragrandausbruch) sowohl überhalb als auch unterhalb der heruntergewachsenen Kerbe stattfinden kann. Fand der Chippingprozess unterhalb der artifiziellen Kerbe statt, ließen sich jedoch häufig noch geringe Ausbrüche nur der äußeren Kronhornanteile bis zur Kerbe beobachten, die aber an der Gesamtlänge der Zehenwand nichts änderten.

Als Messpunkt an der angebrachten Kerbe wurde ihre Mitte gewählt, die auf der Höhe der Mitte des Zehenrückens lag. Dieses ist insofern bedeutsam, als dass sich bei Abweichungen des Messpunktes nach lateral oder medial durch die Krümmung der Hufplatte, die von der geraden Markierung nicht mit aufgenommen wird, ein gewisses Fehlerpotential bei den Messwerten ergibt. Auf die mittige Messung in Richtung des Hornröhrchenverlaufes wurde stets geachtet. Es kann jedoch nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass einige wenige Messungen etwas weiter lateral bzw. medial der Mitte erfolgten, weil die begrenzte Kooperativität der Pferde während der Messungen enge zeitliche Grenzen setzte. Da jedoch Einzelmesswerte in hoher Anzahl vorliegen und Messungen ähnlicher Art auch vielfach beim gezähmten Hauspferd durchgeführt wurden (z.B. SCHREYER 1997), erscheint diese Fehlerquelle tolerierbar.

Zur Messung der Länge der dorsalen Hufwand sowie des Abstandes der angebrachten Markierung zum Kronrand wurde als Messpunkt an der Krone die Haaransatzlinie, der Übergang zur behaarten Haut, gewählt. Diese wird von den meisten Untersuchern als Bezugspunkt gewählt (z.B. JOSSECK 1991; SCHREYER 1997) und sichert auch die Vergleichbarkeit mit den Daten von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004). Ein anderer Messpunkt ist die Kronrinne, eine fühlbare Vertiefung zwischen Haut und Huflederhaut, welche z.B. in der Untersuchung von HERZBERG (1996) Verwendung findet. Deshalb ist ein direkter Vergleich der hier erhobenen Werte mit den bereits von anderen Untersuchern ermittelten Ergebnissen mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet, wenn ein anderer Messpunkt als Bezug genommen wurde oder die Angabe des verwendeten Messpunktes fehlt.

Wie bei SCHNITKER (2004), PATAN (2001) und auch SCHREYER (1997) wurden die Längenmessungen an der belasteten Gliedmaße durchgeführt. Bei SCHNITKER (2004) und PATAN (2001) erfolgte diese indirekt über einen beigelegten Maßstab und anschließende fotografische Dokumentation, was als Kompromiss aufgrund des unberechenbaren Verhaltens der verwendeten Przewalskipferde zu sehen ist und eine gewisse Ungenauigkeit beinhaltet. Zur Ausschaltung dieser Messungenauigkeit wurde bei den Liebenthaler Pferden eine direkte Messung an den Hufen durchgeführt, was sich anfangs etwas schwierig gestaltete, aber mit viel Geduld von den meisten Pferden im Laufe der Messperiode immer besser toleriert wurde. Die unterschiedlichen Messmethoden bei beiden Populationen ermöglichen dennoch einen Vergleich der erhaltenen Messwerte. Durch den von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) beigelegten Maßstab und

mehrere Gegenkontrollen sind die Werte der von ihnen verwendeten indirekten Messmethode mit der hier verwendeten direkten Methode vergleichbar.

Eine vollständige Belastung der Gliedmaße des gemessenen Hufes wie bei SCHREYER (1997) durch Aufheben des kontralateralen Beines konnte jedoch bei den hier verwendeten Pferden nicht erreicht werden, da das Hufaufheben nicht geduldet wurde. Insofern beschränkt sich die Messungenauigkeit dieser Untersuchung auf die unterschiedliche Gliedmaßenbelastung durch das Vor- bzw. Zurückstellen der verschiedenen Gliedmaßen, wie es bei der natürlichen Futteraufnahme der Pferde der Fall ist. Die gleiche Messungenauigkeit tritt auch bei den Messwerten von PATAN (2001) und SCHNITKER (2004) auf.

Die direkte Bestimmung der Wandlängen erfolgte in dieser Untersuchung, wie bei den meisten anderen auch (LEU 1987; JOSSECK 1991; HERZBERG 1996), mit dem Maßband. Dieses Messinstrument erwies sich insofern als praktikabel, als dass es genügend flexibel ist und sich bei plötzlicher Bewegung des Pferdes dieser anpassen kann. Ein starres Lineal, wie es z.B. SCHREYER (1997) verwendet hat, oder eine Schublehre (vgl. GRIMM 1942; MUTZHAS 1942) stellt bei den wildlebenden Pferden eine größere Verletzungsgefahr dar und kann bei plötzlichen Bewegungen leicht zerstört oder deformiert werden. Das hier zum Einsatz gekommene Maßband wurde während der gesamten Messperiode weder zerstört noch verformt und musste daher nicht ausgetauscht werden. Die als Fehlerquelle in Betracht kommende thermische Verformung des Fiberglas-Maßbandes durch die unterschiedlichen Außentemperaturen kann aufgrund des kleinen, im Zentimeterbereich liegenden Messintervalls als unbedeutend angesehen werden.

Der durch die Messungen bestimmte Hornverlust ist die Ursache von Hornabrieb sowie Tragrandausbrüchen. Um zwischen diesen beiden Parametern einen Unterschied darzustellen, wurde jeder Hornverlust über 15 mm / 28 Tage als Tragrandausbruch definiert (analog: PATAN 2001). Diese Angabe muss als hinreichend genau angesehen werden, zumal die meisten Tragrandausbrüche deutlich stärkere Hornverluste nach sich ziehen. Trotzdem wurden bei den Liebenthaler Pferden auch (seltener) kleine Tragrandausbrüche unter 15 mm Länge beobachtet, die als solche in den vorliegenden Auswertungen der Messwerte für die Tragrandausbrüche nicht berücksichtigt werden konnten und in die Ergebnisse zum Hornabrieb eingingen. Ein höherer Wert für den reinen Hufhornabrieb als 15 mm / 28 Tage erscheint hingegen (auch nach Vergleich der Literaturangaben) unwahrscheinlich. Der Abrieb des Hufhornes erfolgt primär bei Kontakt des Tragrandes mit dem Untergrund. Sobald jedoch ein Hornchip aus dem Tragrand herausbricht, ist die Fußungsfläche des Hufes verändert und somit verringert sich die Bodenreibung an dieser Stelle oder ist sogar gänzlich aufgehoben (Abbildung 15). Demzufolge kann davon ausgegangen werden, dass nach einem solchen Chipping der Hornabrieb an der Stelle geringer ist. Diese Tatsache stellt ebenfalls eine Fehlerquelle dar, die mit der angewandten Methodik nicht ausgeschaltet werden kann. Sie ist auch verantwortlich für die in einigen Monaten bei Null liegende Werte für den Hornverlust mancher Pferde.

5.1.2 Fotodokumentation von Hornspalten und Hornchips

Die Methodik der Fotodokumentation wurde von anderen Untersuchern (PATAN 2001; SCHNITKER 2004) auch zum Erlangen von Messwerten genutzt. In der vorliegenden Untersuchung dient sie nur exemplarisch zur Bestimmung der Hauptlokalisation von Hornspalten und Hornchips sowie zur Beschreibung der Huflängenregulation als monatliche Momentaufnahme.

Durch den Vorgang des Chippings bilden sich Hornchips, die bei Abspaltung vom Huf am Tragrand einen Tragrandausbruch nach sich ziehen. Deshalb lässt sich die Anzahl der Hornchips praktisch mit der Anzahl an zwingend direkt auf sie folgenden Tragrandausbrüchen gleichsetzen. Die beiden unterschiedlichen Methoden zur Bestimmung von Tragrandausbrüchen bzw. Hornchips waren nötig, da auch die Lokalisation der Hauptausbruchsstellen bestimmt werden sollte und zwar unabhängig von der Größe der Hornchips (bzw. der proximodistalen Höhenausdehnung der Tragrandausbrüche). Bei der Auswertung der Messwerte wurden nur dorsale Tragrandausbrüche mit einer Länge von über 15 mm in 28 Tagen erfasst (siehe Kapitel 5.1.1). Mit

der fotografischen Darstellung wurde jeder sichtbare Chip, egal welcher Größe und Lokalisation dokumentiert. Für einen genaueren Vergleich des Auftretens der fotografierten Hornchips mit den gemessenen Tragrandausbrüchen wäre eine Messung der Höhenausdehnung der Chips sinnvoll. Dieses könnte ebenso wie in den Arbeiten von PATAN (2001) und SCHITKER (2004) mittels beigelegter Größenmaßstäbe geschehen oder aber direkt am jeweiligen Huf. Beide Verfahren wurden zunächst ausprobiert, erwiesen sich aber bei der Population wild gehaltener Pferde als unpraktikabel (deutliche Größenverzerrung, wenn der Maßstab nicht direkt neben dem Huf liegt) und gefährlich (besonders das Ausmessen der medialen Hornchips an den Hinterhufen). Deshalb wurde auf eine Größenangabe der Hornchips verzichtet.

Schwierigkeiten bei der Auswertung der Fotos machte der unterschiedliche Untergrund, auf dem sich die Pferde zum Zeitpunkt der Fotografie befanden. Es wurde versucht, sie möglichst auf eine ebene Fläche zu locken oder den Tragrand durch Entfernen des umliegenden Materials (Sand, Schlamm, Gras, Blätter oder Schnee) frei einsehbar zu machen, was aber nicht immer gelang. So waren auf den Fotos einige Hufe am Tragrand bedeckt und damit die Auswertung hinsichtlich der Hornchips erschwert, weil kleinere Chips möglicherweise nicht sichtbar waren. Eine erhöhte Schwierigkeit dieser Art ergab sich außerdem im Monat Februar, in dem aufgrund einer sehr hohen Schneedecke und damit verbundenem flächendeckendem Einsinken der Hufe das Fotografieren dieser keine auswertbaren Bilder ergab. Im Hinblick auf die Auswertung der Hornspalten war die Unterscheidung zwischen distalen und durchgehenden Hornspalten bei einigen Pferden durch starken Haarwuchs über dem Kronsaum schwierig. Sobald nicht genau erkennbar war, ob ein Hornspalt tatsächlich bis zum Kronsaum reicht, wurde dieser deshalb als distaler Hornspalt gewertet. Ebenso wie bei den Hornchips bestanden durch den eindrückbaren Untergrund Schwierigkeiten, sehr kurze Tragrandspalten zu detektieren, da diese potentiell verdeckt waren. Die Gefahr eines systematischen Fehlers in Bezug auf die Anzahl der distalen Hornspalten ist dementsprechend existent. Da es aufgrund der unterschiedlichen Aufnahmewinkel auch sehr schwierig war, die lateralen und medialen Hornspalten genau der Seitenwand oder der Trachtenwand zuzuordnen, wurde eine solche Unterteilung unterlassen, obwohl sie vielleicht genauere Informationen geben könnte. Eine weitere Unterteilung der beobachteten Hornspalten hinsichtlich ihrer Tiefenausdehnung (KÖRBER 2006) ist durch die Fotoauswertung ebenfalls nicht machbar. Da auch eine klinische Exploration nicht möglich war, kann dieser Aspekt in der Auswertung nicht berücksichtigt werden. Fotodokumentationen dieser Art sind mit erheblichem Fehlerpotential belastet. Aufgrund der recht eigenwilligen Untersuchungspopulation und der Notwendigkeit der Gewinnung von Messwerten (die Priorität vor dem Ablichten der Hufe hatte) war das fotografische Festhalten eines jeden Hufes nicht möglich. Auch konnte die Fotoperspektive aus diesen Gründen nicht konsequent einheitlich gestaltet werden. Von einigen Hufen existieren Fotos, die jedoch nicht am Tag der Messung, sondern erst einige Tage später aufgenommen werden konnten, in denen sich der Huf im Vergleich zum Messungstag schon wieder verändert hatte (z.B. durch Chipping). Deshalb erfolgte die Auswertung der Fotos rein deskriptiv, eine definitive schließend-statistische Aussage lässt sich daraus nicht ableiten. Für Untersuchungen dieser Art an Hauspferden, die menschlichen Umgang gewöhnt sind, sollte man auf jeden Fall genaueren Methoden (inkl. genauer Adspektion des Tragrandes bei aufgehobener Gliedmaße und Ausmessung der Hornspalten und Hornchips) den Vorzug geben.

5.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

5.2.1 Hufwandlänge am Hufrücken

5.2.1.1 Direkter Vergleich mit dem Przewalskipferd

Aufgrund der geringen Stichprobenanzahl bei den Przewalskipferden ($n = 8$) kann die Auswertung des Vergleichs der Dorsallänge der Hufwand bei Liebenthaler Pferden und Przewalskipferden lediglich deskriptiv erfolgen. Es wurden von beiden Populationen die monatlichen Mittelwerte tabellarisch aufgelistet

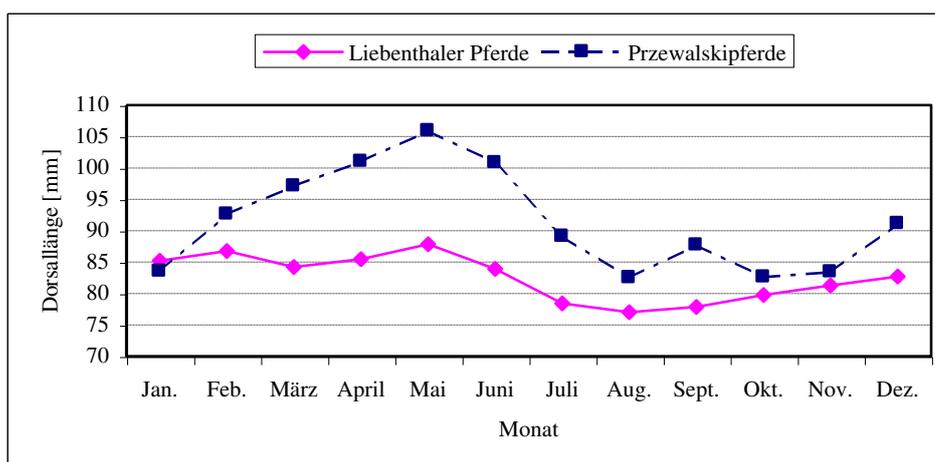
(Tabelle 5.1) und anschließend mittels Liniendiagramm (Textabbildung 5.1) dargestellt. Die Mittel- und Einzelwerte für die Dorsallängen der Przewalskipferde entstammen der Arbeit von SCHNITKER (2004). Der Jahresgang der dorsalen Huflänge scheint bei beiden Populationen ähnlich zu sein, mit jeweils den größten Werten im Mai und den geringsten Werten im August. Jedoch deutlich erkennbar ist, dass die Liebenthaler Pferde eine im Durchschnitt kürzere dorsale Hufwand haben als die Przewalskipferde. Lediglich im Monat Januar ist die Huflänge der Liebenthaler Pferde im Durchschnitt größer, allerdings hat der hier ermittelte Wert eine nur geringe Differenz zum Längenwert der Przewalskipferde. Auffällig ist weiterhin eine geringere Schwankungsbreite der Hufrückenlänge bei den Liebenthaler Pferden im Vergleich zu den Przewalskipferden.

Tabelle 5.1: Monatliche Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) der Zehenlänge bei Liebenthaler Pferden (1) und Przewalskipferden (2, Ergebnisse von SCHNITKER 2004) [mm]

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1 MW	85,21	86,76	84,23	85,45	87,84	83,92	78,42	77,01	77,86	79,77	81,28	82,69
1 SD	8,17	8,82	10,22	10,86	10,85	11,27	8,89	7,23	6,65	6,50	7,41	7,42
2 MW	83,5	92,6	97,1	101,0	105,9	100,8	89,1	82,5	87,7	82,6	83,4	91,1
2 SD	6	12	15,8	16	15	19,2	21	10,6	10,3	7,8	9,6	10,7

Textabbildung 5.1:

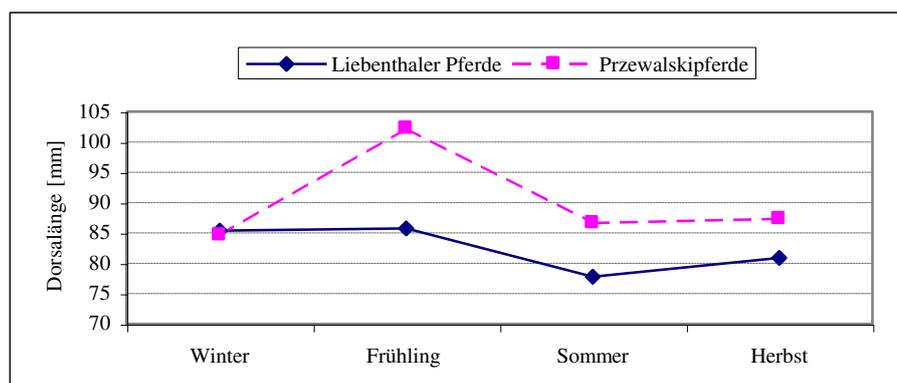
Dorsallänge der Hufwand von Liebenthaler Pferden und Przewalskipferden



Zur Zusammenfassung der Werte und zum Ausgleich der Schwankungen wurden Quartalsmittelwerte berechnet und ebenfalls grafisch dargestellt (Textabbildung 5.2). Hier weisen die Kurven beider Populationen einen sehr ähnlichen Verlauf auf, der bei den Liebenthaler Pferden jedoch auf einem niedrigeren Wertenniveau liegt. Lediglich im Winter sind ähnliche Absolutwerte der Dorsallänge für beide Pferderassen feststellbar, während im Frühjahr die Messwerte besonders stark divergieren.

Textabbildung 5.2:

Quartalsvergleich der Dorsallänge der Hufwand von Liebenthaler Pferden und Przewalskipferden



Ein Vergleich der Längenparameter zwischen Vorder- und Hinterhufen beiden Populationen ergab, dass bei den Przewalskipferden tendenziell eine geringere Dorsallänge am Hinterhuf gemessen wurde (Hinterhuf: $7,00 \pm 0,55$ mm; Vorderhuf: $8,42 \pm 1,38$ mm). Bei den Liebenthaler Pferden war ein Längenunterschied nur in den Sommermonaten signifikant, wobei hier die Vorderhufe einen relativ kürzeren Zehenrücken aufwiesen.

5.2.1.2 Befunddiskussion

Die Messung der Hufwandlänge an der dorsalen Zehenwand bei den nahezu unbeeinflusst vom Menschen lebenden Hauspferden ist insofern bedeutsam, dass mit den Ergebnissen ein Anhaltspunkt für einen physiologischen Längebereich bei Hauspferden unter Ganzjahresweide-Bedingungen geliefert werden kann. Dies ist besonders für die Durchsetzung tierschutzrechtlicher Fragen bei dieser Art von Pferdehaltung nötig. Der Jahresmittelwert für die dorsale Huflänge liegt mit 82,04 mm bei den Liebenthaler Pferden noch unter den meisten Werteangaben zum Hauspferd in der Literatur (siehe Tabelle 6 im Anhang II). Hierbei ist aber zu beachten, dass die Längenangaben auch rassespezifisch variieren können. Bei einem Vergleich der hier untersuchten Pferde mit Pferden ähnlicher Größe (z.B. Connemara Pony, SCHROTH 2000) liegen die Messwerte der Zehenlänge etwa auf gleicher Höhe, einzig bei PÜTZ (2006) wurden auch für Ponys Zehenlängen von über 12 mm festgestellt. Deshalb sollte der hier beschriebene Längbereich nur auf Pferde ähnlicher Größe übertragen werden, für ein Shetlandpony (HERZBERG 1996) ist er zu hoch, für Deutsche Reitpferde (SCHREYER 1997) oder Kaltblüter (LEU 1987) zu niedrig. Des Weiteren gibt es mit Zehenlängen von 60 mm bis 120 mm eine große Spannweite, der bei der Beurteilung der Hufform von Hauspferden unter Ganzjahresweide-Bedingungen beachtet werden muss.

Saisonale Unterschiede bei der Hufwandlänge wurden beim Przewalskipferd schon von SCHNITKER (2004) beschrieben, mit der vorliegenden Arbeit sind sie nun auch bei halbwild lebenden Hauspferden nachgewiesen worden. Dabei nimmt die Zehenlänge im Frühling leicht zu, gefolgt von einer starken Abnahme ab dem Monat Mai. Zu einem erneuten leichten Ansteigen der Hufwandlänge kommt es anschließend in den Herbst- und Wintermonaten. Der größte Längenunterschied kommt dabei, vor allem durch massive Tragrandrandausbrüche, zwischen Frühling und Sommer vor, während die geringste Längendifferenz durch das langsame Nachwachsen von Hufhorn zwischen Sommer und Herbst zu verzeichnen ist. Bei einem direkten Vergleich der Liebenthaler Pferde mit den Przewalskipferden (siehe Kapitel 5.2.1.1) fällt auf, dass die saisonalen Schwankungen bei der hier untersuchten Population nicht so deutlich ausgeprägt sind, wie bei den Urwildpferden. Da die Habitatbedingungen durch die örtliche Nähe der beiden Pferdepopulationen nahezu die gleichen waren, müssen andere Ursachen für diese weniger deutlichen saisonalen Unterschiede verantwortlich sein. Genetische Unterschiede und ein domestikationsbedingter Verlust der hochgradigen Anpassungsfähigkeit an verschiedene Habitate sind hierfür als Faktoren denkbar. In wie weit die saisonale Längenänderung bei den untersuchten Pferden auch mit anderen Parametern der Hufform korreliert, sollte durch weiterführende Studien untersucht werden. So wies SCHNITKER (2004) bei Przewalskipferden mit steigender Vorderwandlänge einen abnehmenden Vorderwandwinkel nach. Durch den längeren Hufrücken und den spitzeren Winkel ändern sich die Druckkräfte auf die Hufwand beim Aufpußen, was bei den von ihr untersuchten Pferden zu vermehrten Tragrandausbrüchen führt. Über das ganze Jahr hinweg betrachtet, ist die Vorderwandlänge bei den Liebenthaler Pferden im Vergleich zu den Przewalskipferden deutlich kürzer. Als Grund hierfür wird auch die im Vergleich zum Hauspferd größere Sohlenhorndicke beim Przewalskipferd angenommen (PATAN-ZUGAJ et al. 2013), die bei etwa gleich großen Hufinnenstrukturen die Zehenlänge der Wildpferde zwangsläufig vergrößern muss. Auch bei Rindern steht die Länge der Dorsalwand in direkter Beziehung zur Sohlendicke, wobei sich bei einer längeren Zehe eine dickere Sohle nachweisen lässt (VAN AMSTEL u. SHEARER 2001). Bei den Przewalskipferden soll die dicke Hufsohle physiologisch als Wärmeisolator und damit der Thermoregulation des Zehenendorgans dienen.

Abweichungen in der Vorderwandlänge bei gesunden Hufen können nach FISCHER (1933) vielfältig bedingt sein, wobei er den Faktor „Alter“ als einen Grund angibt. Genauere Angaben über die Altersabhängigkeit macht er jedoch nicht. Bei den Liebenthaler Pferden ließen sich in der Gruppe der jüngeren Pferde signifikant niedrigere Werte der dorsalen Zehenlänge feststellen als bei den älteren Tieren. Dieser Unterschied war lediglich in den Sommermonaten aufgrund stark differierender Längen nicht statistisch abzusichern. Hier wirken dementsprechend andere Faktoren deutlich stärker auf die Hufwandlänge, wie etwa die Häufung der Tragrandausbrüche in dieser Zeit. Literaturangaben zu altersabhängig differierenden Zehenlängen sind spärlich. Das Wachstum des sich in der Embryonalentwicklung bildenden Zehenendorgans ist mit der Geburt noch lange nicht abgeschlossen (BRAGULLA 1998). SCHROTH (2000) gibt bei 6- bis 8-monatigen Fohlen der Rasse Englisches Vollblut kürzere Zehenlängen als bei den adulten Tieren an. Für Esel wurde von VILSMEIER (2004) bei den jüngeren Tieren (1 bis 3 Jahre) eine signifikant niedrigere Vorderwandlänge sowie ein insgesamt kleinerer Huf nachgewiesen. In die vorliegende Untersuchung fanden junge Pferde ab einem Alter von ca. 1,5 Jahren bis zu maximal 5,5 Jahren Eingang. Es ist also davon auszugehen, dass sich bei Jungpferden nach dem ersten Lebensjahr die Hufform noch weiter entwickelt und zusammen mit dem körperlichen Wachstum auch der Huf insgesamt an Länge zunimmt. Bei gleichzeitiger Betrachtung von Hornbildung und Hornverlust fällt auf, dass es tatsächlich ein höheres Hornwachstum bei den jüngeren Pferden zu geben scheint (signifikant vor allem im Herbst), während der Hornverlust geringgradig kleiner ist als der bei älteren Pferden. Obwohl diese Unterschiede sehr gering ausgeprägt und nur teilweise statistisch abgesichert werden können, scheinen sie doch auszureichen, den Huf in den ersten Lebensjahren zu verlängern. Ob die höhere Hornbildungsrate und der geringere Hornverlust bei den jüngeren Pferden mit einer besseren Hornqualität und einer stärkeren Nährstoffausnutzung dieser in Zusammenhang stehen, sollte durch weiterführende Untersuchungen genauer geklärt werden. PATAN (2001) kann beim Przewalskipferd keinen Alterseinfluss auf die Hornqualität nachweisen. Ebenso ist es von Interesse, ab welchem Zeitpunkt der junge Huf als ausgewachsen betrachtet werden kann und durch ein sich einstellendes Gleichgewicht von Hornbildung und Hornverlust im Jahresrhythmus seine endgültige physiologische Länge erreicht hat. KÖRBER (2006) gibt dazu an, dass der Fohlenhuf mit 18 bis 20 Monaten seine endgültige Größe erreicht hat. Da für die vorliegende Untersuchung die Gruppe der jungen Pferde zu Beginn der Untersuchungen 1 ½ bis 5 ½ Jahre alt war, kann diese Zeitangabe als unwahrscheinlich angenommen werden. Für eine Klärung wäre die jahrgangsweise Betrachtung größerer Pferdegruppen in extensiver Haltung mit Bestimmung der Längen- und Winkelparameter am Huf sinnvoll.

Einflüsse des Geschlechtes auf die Hufwandlänge haben bisher noch wenig Eingang in die Literatur gefunden. Auch bei den Liebenthaler Pferden scheint dieser Punkt eine untergeordnete Rolle zu spielen und wird lediglich zu Ende des Winters und im Frühling mit einer relativ längeren Hufwand bei den Stuten offenbar. Da das Geschlecht auf die Hornbildung in Übereinstimmung mit PATAN (2001) keinen Einfluss zu haben scheint, muss der Hornverlust bei den Hengsten in diesem Zeitraum stärker sein, um eine kürzere Hufwand zu erreichen. Bei einem Mittelwertsvergleich in den genannten Quartalen bestätigt sich diese Vermutung. Die Gründe hierfür sind wahrscheinlich in der Natur der Pferde zu suchen: zu Ende des Winters und im Frühling sind die meisten Stuten hochtragend und damit eher träger, was zu einer verminderten Bewegungsaktivität führt. Mit dem Abfohlen und der darauf folgenden erneuten Paarungsbereitschaft steigt die Bewegungsaktivität der Hengste an und damit vermutlich auch die Wahrscheinlichkeit von Tragrandausbrüchen sowie höherem Hornabrieb. Sowohl PATAN (2001) als auch SCHNITKER (2004) konnten jedoch bei Przewalskipferden keinen Einfluss der Bewegungsaktivität auf den Hornabrieb sowie die Zehenrückenlänge feststellen, wobei sie ihre Untersuchungen auch nicht nach Geschlechtern differenzieren konnten und der Gesamthornverlust unberücksichtigt blieb.

Bei einem Vergleich der Zehenlänge von Vorder- und Hinterhufen ergeben sich im Jahresmittel recht geringe, aber dennoch signifikante Unterschiede hinsichtlich größerer Werte an den Hinterhufen. Bei einer

monatlichen Betrachtung der Zehnlänge fällt auf, dass diese Unterschiede nur noch in den Sommermonaten auftreten, während in den anderen Monaten in Übereinstimmung mit LEU (1987), RICHTER (1990), HERZBERG (1996), SCHREYER (1997) und SCHROTH (2000) keine signifikant verschiedenen Längen bei Vorder- und Hinterhufen vorhanden sind. Auch bei anderen Equiden (Eseln) sind diese nicht feststellbar (VILSMEIER, 2004). Studien an im Semireservat lebenden Przewalskipferden zeigten im Gegensatz zu den Befunden bei den Liebenthaler Pferden die Tendenz einer eher längeren Zehe bei den Vorderhufen (SCHNITKER, 2004), gleiches gilt für Hauspferde in einer Extensivhaltung (PÜTZ, 2006). Dass sich bei den Liebenthaler Pferden nur in den Sommermonaten eine kürzere dorsale Hufwand an den Vorderhufen zeigt, liegt an den massiven Tragandausbrüchen, die vor allem im Juni an den Vordergliedmaßen beobachtet wurden.

5.2.2 Hornbildungsrate des äußeren Kronhorns

5.2.2.1 Direkter Vergleich mit dem Przewalskipferd

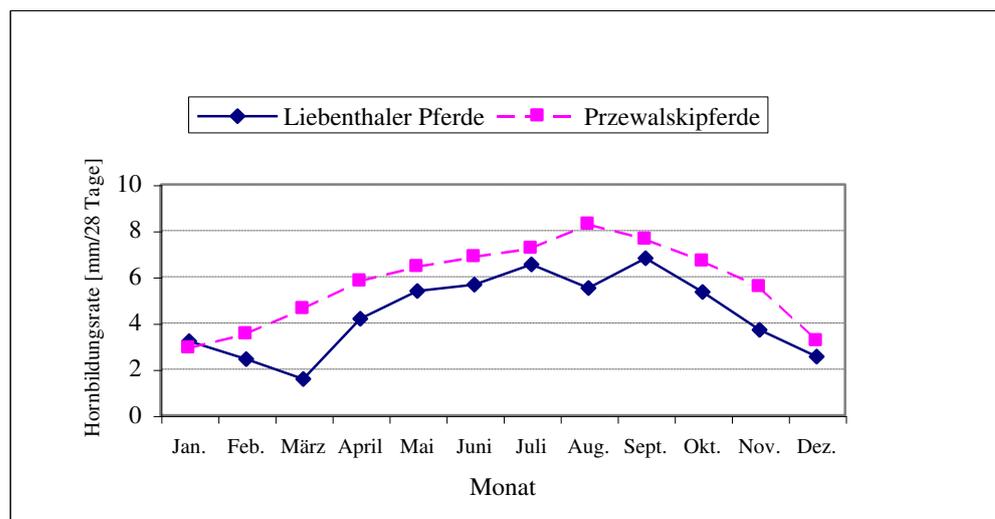
Die diesem Vergleich der Hornbildungsraten zwischen Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd zugrunde liegenden Mittelwerte (genutzt für die tabellarische sowie grafische Darstellung) sowie Einzelwerte (genutzt für die Varianzanalysen) für das Przewalskipferd entstammen der Arbeit von PATAN (2001) und sind dort im Anhang einsehbar. Zunächst wurden die monatlichen Mittelwerte der Hornproduktion für beide Populationen tabellarisch angeordnet (Tabelle 5.2) sowie mittels Liniendiagramm dargestellt (Textabbildung 5.3).

Tabelle 5.2: Monatliche Mittelwerte (MW) sowie Standardabweichungen (SD) der monatlichen Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (1) und Przewalskipferden (2, Ergebnisse von PATAN 2001) [mm / 28 Tage]

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1 MW	3,21	2,43	1,57	4,18	5,38	5,66	6,53	5,51	6,80	5,34	3,70	2,54
1 SD	1,60	1,73	1,55	1,78	1,44	1,95	1,86	1,60	1,61	2,33	1,86	1,70
2 MW	2,91	3,52	4,61	5,81	6,43	6,86	7,22	8,27	7,62	6,67	5,56	3,22
2 SD	1,25	1,81	1,83	1,71	1,6	1,39	1,45	1,71	1,67	1,91	1,79	1,38

Textabbildung 5.3:

Monatliche Hornbildungsrate an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns von Liebenthaler Pferden und Przewalskipferden [mm / 28 Tage]



Der Jahresgang in der Hornproduktion lässt aufgrund des Kurvenverlaufes auf eine Ähnlichkeit in beiden Populationen schließen. Jedoch unterscheiden sich die absoluten Werte, denn die Messwertkurve der Hornbildungsrate der Przewalskipferde liegt in allen Monaten, außer dem Januar, über der Kurve für die

Liebenthaler Pferde. Auch im Jahresmittel weisen die Liebenthaler Pferde mit $4,40 \pm 2,4$ mm / 28 Tage eine geringere Hornbildungsrate auf als die Przewalskipferde mit $5,81 \pm 2,1$ mm / 28 Tage. Da bei den Liebenthaler Pferden die Kurve der Hornbildungsrate einen größeren Schwankungsbereich aufwies, wurde zusätzlich ein Quartalsvergleich zwischen den beiden Populationen durchgeführt (Textabbildung 5.4).

Durch die Zusammenfassung der Messwerte stellt sich hier der Kurvenverlauf der Liebenthaler Pferde homogener dar. Die Hornbildungsrate der Przewalskipferde liegt hier immer deutlich über der Hornproduktion der Liebenthaler Pferde. Die beiden Kurven für die monatliche Hornbildungsrate können beim Quartalsvergleich nahezu als Parallelverschiebungen angesehen werden. Um diesen optischen Eindruck auch objektiv nachzuweisen, wurde von jeder Kurve die Steigung der Geraden zwischen zwei aufeinanderfolgenden Quartalen bestimmt. Durch Differenzbildung der Steigung beider Rassen lässt sich eine Ähnlichkeit nachweisen, je näher die Differenz an Null ist, desto ähnlicher sind sich die Kurven. Wie in Tabelle 5.3 ersichtlich, sind die ermittelten Steigungen bei beiden Pferderassen fast identisch. Dementsprechend weisen beide Populationen nahezu identische saisonale Schwankungen in der Hornbildungsrate auf.

Textabbildung 5.4:

Quartalsvergleich der monatlichen Hornbildungsrate von Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd

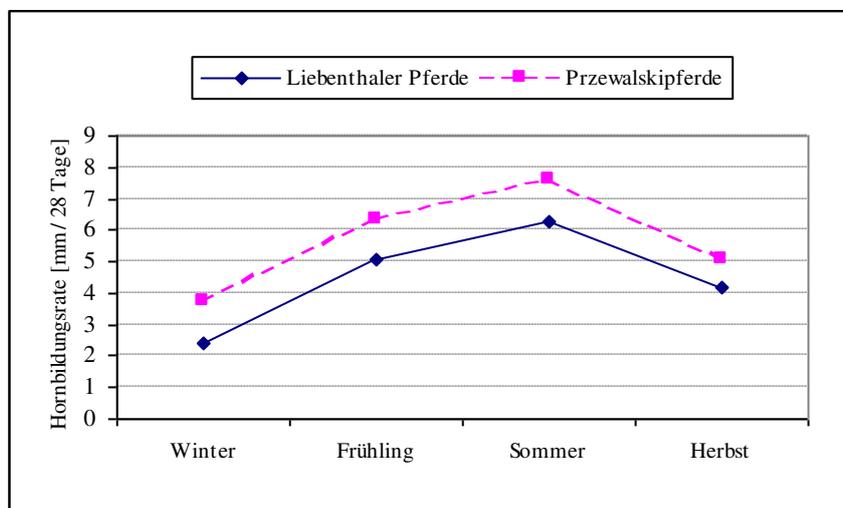


Tabelle 5.3: Vergleich der Geradensteigung bei der Hornbildungsrate zwischen zwei aufeinanderfolgenden Quartalen bei Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd

Untersuchte Quartale	Liebenthaler Pferd	Przewalskipferd	Differenz
Winter und Frühling	2,67	2,64	0,03
Frühling und Sommer	1,21	1,27	-0,06
Sommer und Herbst	-2,08	-2,52	0,44
Herbst und Winter	-1,8	-1,39	-0,41

Zusätzlich wurde eine Varianzanalyse für den Faktor „Pferd“ mit den zwei Gruppen „Liebenthaler Pferd“ und „Przewalskipferd“ für jeden Monat sowie jedes Quartal durchgeführt. Diese ergab, dass die erläuterten Unterschiede in der Hornbildung für alle Jahreszeiten und alle Monate, außer den Monat Januar, signifikant ($\alpha = 0,05$) sind. Die mittlere monatliche Hornbildungsrate der Liebenthaler Pferde ist im Vergleich zu den Przewalskipferden im Jahresverlauf geringer.

5.2.2.2 Befunddiskussion

Von hoher klinischer Wichtigkeit ist die Hornbildungsrate bei der Prognose der Heilungsdauer von Hufkrankungen oder nach Hufoperationen (z.B. der Hornsäule), da mit ihr die Hufenerungszeit

bestimmt werden kann (PATAN, 2001). Mit einer durchschnittlichen Hornbildungsrate von 4,4 mm / 28 Tage und einer mittleren Vorderwandlänge von 82,04 mm benötigt es bei den Liebenthaler Pferden einen Zeitraum von gut 1 ½ Jahren, um die Hornkapsel im Dorsalbereich komplett zu erneuern. Damit liegt die Huferneuerungszeit vom Liebenthaler Pferd noch unter der vom etwa gleich großen Islandpferd (LEU, 1987; GEYER und SCHULZE, 1994). Durch die hier verwendete Methodik ist jedoch nur eine Aussage zum Wachstum des äußeren Kronhorns möglich. Rückschlüsse auf die Vorgänge im mittleren und inneren Kronhorn müssen unterbleiben, da die Wachstumsraten im Vergleich zum äußeren Kronhorn verschieden sind (POLLITT, 1990). Insofern gelten die Angaben zur Huferneuerungszeit nur unter der von POLLITT (1990) bestätigten Voraussetzung, dass die innere und mittlere Kronhornschicht schneller wachsen als die äußere und somit die Hornbildungsrate des äußeren Kronhorns den limitierenden Faktor darstellt.

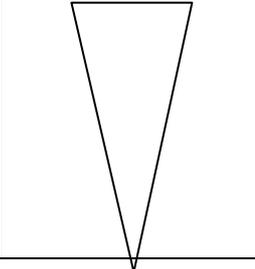
Die hier ermittelte Hornbildungsrate von durchschnittlich 4,4 mm / 28 Tage liegt bei einem Vergleich mit den vielen Literaturangaben eher im unteren Bereich. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass es sich bei den untersuchten Pferden um Kleinpferde, etwa in der Größe eines Fjordpferdes, handelt, die in Größe und Gewicht nicht mit den bei den meisten Untersuchungen verwendeten Warmblütern vergleichbar sind. Ponys ähnlicher Größe wie das Islandpferd (LEU, 1987; GEYER und SCHULZE, 1994) oder das Welshpony (REILLY et al., 1998) weisen Hornbildungsraten im gleichen Wertebereich zwischen 4 und 5 mm / 28 Tage auf (vgl. Tabelle in der Literaturübersicht).

Die Hornbildungsrate vom gleichen Haltungsbedingungen ausgesetzten Przewalskipferd liegt mit 5,81 mm / 28 Tage (PATAN, 2001) geringgradig über dem Hornwachstum der Liebenthaler Pferde. Auffällig ist die im Gegensatz zum Przewalskipferd hohe individuelle Variabilität der Messwerte, die auf eine höhere genetische Vielfalt innerhalb der Population hinweist, da die Hornbildungsrate auch von der genetischen Disposition beeinflusst wird und somit rasseabhängig ist (LEISERING u. HARTMANN, 1876; LEU, 1987; PATAN, 2001). Dahingehend wäre eine Untersuchung über die genotypische Varianz beim Liebenthaler Pferd und ein Vergleich mit dem Przewalskipferd sicher aufschlussreich. Wie auch bei PATAN (2001) konnten mit dieser Arbeit jedoch keine domestikationsbedingte Beeinflussung der Hornbildungsrate hinsichtlich des Jahresdurchschnittes erkannt werden.

Entgegen den Untersuchungen von VILSMEIER (2004) an Eseln aber in Übereinstimmung mit den Ergebnissen bei verschiedenen Hauspferderassen von LEU (1987), GEYER und SCHULZE (1994), JOSSECK (1991), RICHTER (1990) und SCHREYER (1997) sowie den Ergebnissen von PATAN (2001) am Przewalskipferd konnten beim Liebenthaler Pferd deutliche saisonale Unterschiede in der Hornbildungsrate festgestellt werden, wobei im Sommer mehr Hornsubstanz produziert wird als im Winter. Die Differenzen zwischen diesen beiden Jahreszeiten bei den bisher in der Literatur untersuchten Hauspferderassen betragen 0,4 bis 2 mm / 28 Tage, lediglich RICHTER (1990) beobachtet bei Haflingern maximale Differenzen von 3 mm / 28 Tage. PATAN (2001) beschreibt für das Przewalskipferd eine statistisch signifikante Differenz zwischen Sommer- und Winterhornbildungsrate von 3,91 mm / 28 Tage und liegt damit deutlich über den bisher beim Hauspferd beschriebenen Werten. Sie führt dies auf die unterschiedlichen Haltungsbedingungen der verschiedenen untersuchten Populationen zurück und gibt an, dass die von ihr untersuchten Pferde im Semireservat wesentlich intensiver jahreszeitlichen Einflüssen ausgesetzt sind.

Die Ergebnisse der hier vorliegenden Arbeit bestätigen diesen Verdacht. Die statistisch signifikante Differenz zwischen Sommer- und Winterhornbildungsrate von 3,88 mm / 28 Tage bei den unter Semireservat-ähnlichen Haltungsbedingungen lebenden Liebenthaler Pferden entspricht nahezu dem bei den Przewalskipferden beobachteten Wert und liegt deutlich über den Werten der anderen, unter Stallbedingungen lebenden, Hauspferde. Bei einem Vergleich von den Beträgen der Differenzen zwischen allen 4 Quartalen (die in dieser Untersuchung genauso eingeteilt wurden wie bei der Untersuchung von PATAN (2001) an den Przewalskipferden) fällt auf, dass die Rangierung, beginnend bei der größten und endend bei der kleinsten Differenz, bei beiden Populationen gleich ist und auch ähnliche Werte aufweist (Tabelle 5.4).

Tabelle 5.4: Rangierung und Beträge der Quartalsdifferenzen in der Hornbildungsrate von Przewalskipferden (Werte aus PATAN 2001) und Liebenthaler Pferden [mm / 28 Tage], alle Differenzen liegen oberhalb des Signifikanzniveaus von $\alpha = 0,05$

Rang	Differenz zwischen		Betrag der Differenz	
			Liebenthaler Pferd	Przewalskipferd
1	Sommer-Winter		3,88	3,91
2	Frühling-Winter		2,66	2,63
3	Herbst-Sommer		2,08	2,52
4	Herbst-Winter		1,8	1,39
5	Sommer-Frühling		1,21	1,28
6	Herbst-Frühling		0,87	1,25

Dieses untermauert die These, dass die Ausbildung eines deutlichen Jahresrhythmus in der Hornbildungsrate beider Pferderassen weniger von ihrer unterschiedlichen Genetik, als vielmehr von den ähnlichen Umwelt- und Haltungsbedingungen der Pferde abhängt. Auffallend ist jedoch, dass im gesamten Jahresrhythmus die absoluten Werte der Hornbildung bei den Liebenthaler Pferden stets mit ca. 1 mm pro 28 Tage signifikant niedriger waren als bei den Przewalskipferden. Dieses lässt auf genetische Unterschiede zwischen beiden Pferdepopulationen schließen. Genetische Untersuchungen an mitochondrialer DNA belegen zwar einen engen Verwandtschaftsgrad zwischen Przewalski- und Hauspferden, was sich auch in Ähnlichkeiten in den Blutgruppen und Blut-Serumproteinen widerspiegelt (MCGREEVY 2012), aber der auftretende Chromosomen-Dimorphismus (diploider Chromosomensatz: Przewalskipferde: $n = 66$, Hauspferde: $n = 64$) zeigt eindeutig, dass es auch Unterschiede zwischen beiden untersuchten Populationen der Gattung „Equus“ gibt (SCHÄFER 2000). Bis vor einigen Jahren wurde aufgrund der nachgewiesenen genetischen Ähnlichkeit (BOWLING u. RYDER 1987) das Przewalskipferd als direkter Vorfahre der Hauspferde gesehen (VOLF 1996). Die heutzutage für wahrscheinlicher gehaltene polyphyletische Abstammungstheorie geht aufgrund von Unterschieden bei Knochenuntersuchungen aber davon aus, dass sich spätestens zu Beginn der Eiszeit Przewalskipferde von den Hauspferdevorfahren entwicklungsgeschichtlich getrennt haben müssen (SCHÄFER 2000). Demzufolge ist anscheinend die verschieden hohe monatliche Hornbildungsrate, nicht aber die Ausprägung saisonaler Schwankungen im Genom der Pferde verankert. Ob die reine Tatsache, dass es jahreszyklische Schwankungen der Hornproduktion gibt, ebenfalls genomisch festgelegt ist, bleibt fraglich, denn bei der Untersuchung von Eseln, die eine andere Art der Gattung „Equus“ darstellen, wurden keine saisonalen Unterschiede gefunden (VILSMEIER 2004). Diese Untersuchung beschränkte sich jedoch auf nur wenige Tiere (8 Esel), die in menschlicher Obhut ganzjährig auf Sandboden gehalten wurden.

Die Tatsache, dass Haltungs- und Umweltbedingungen zur Ausprägung eines Jahresrhythmus bei Pferden in Ganzjahresweide-Haltung führen, ist nicht nur bei der Hornbildungsrate bekannt (PATAN 2001). Bei Przewalskipferden führt die Verbringung aus einer Zoonhaltung (bei Pferden mit Stallhaltung vergleichbar) in ein Semireservat nach einer gewissen Anpassungszeit zu deutlichen jahreszyklischen Veränderungen von Körpergewicht, Bewegungsaktivität und Nahrungsaufnahmedauer (SCHEIBE et al. 1999; BERGER et al. 1999). Einen solchen Jahresgang hinsichtlich Nahrungsaufnahme, Aktivität und Komfortverhalten kann man in abgeschwächter Form auch bei domestizierten Araberpferden bei Haltung auf einer Ganzjahresweide beobachten, obwohl die dortige Rhythmik durch die Zufütterung von Heu stark beeinflussbar ist (KUHNE 2003). Bei den hier untersuchten Liebenthaler Pferden gibt es ebenfalls einen deutlichen erkennbaren Jahresrhythmus hinsichtlich Bewegungsaktivität, Nahrungsaufnahme-, Trink-, Komfort- und Ausruhverhalten (WOLLENWEBER 2007). Vermutlich steht dieser Jahresgang ebenso wie bei den von PATAN (2001) beobachteten Przewalskipferden mit den festgestellten zyklischen Veränderungen am Huf in Zusammenhang.

Als Umweltfaktoren, die auf die jahreszeitlichen Unterschiede in der Hornproduktion Einfluss nehmen, werden in der Literatur insbesondere Umgebungstemperatur, Tageslichtlänge, körperliche Bewegungsaktivität sowie das Nahrungsangebot angeführt. PATAN (2001) fand für die Umgebungstemperatur eine hohe Korrelation mit der Hornbildungsrate heraus, stellte aber eine direkte Beeinflussung dieser in Frage, da die Korrelation auch durch das Einwirken eines weiteren Faktors wie der Tageslichtlänge bedingt sein kann. Bei den Liebenthaler Pferden ließ sich wie bei den Przewalskipferden in den warmen Monaten mit einer großen Tageslichtlänge eine höhere Hornbildungsrate nachweisen. Der Temperatureinfluss könnte zunächst nur rein biochemisch begründet sein, denn mit steigender Temperatur laufen biochemische Reaktionen (wie die Keratinbildung) deutlich schneller ab (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel oder van 't Hoff'sche Regel). Wahrscheinlicher ist jedoch ein Einfluss auf die Durchblutungssituation der Zehe. Zur Konstanzhaltung der Körperinnentemperatur kommt es bei kalten Außentemperaturen besonders an den Extremitäten zu einer Vasokonstriktion oberflächlicher Gefäße (MOGG und POLLITT 1992). An der Zottenbasis der Huflederhautzotten befinden sich zahlreiche arteriovenöse Anastomosen, die dem Kapillarbett vorgeschaltet sind (NASU et al. 1998; POLLITT und MOLYNEUX 1990). Deren Öffnung erfolgt temperaturabhängig zur lokalen Thermoregulation, somit wird bei Dilatation der Anastomosen das Kapillarbett der Zottenspitze umgangen (MOLYNEUX et al. 1994; ROBINSON 1990; POLLITT 1990; NICKEL 1941). Demzufolge wird nur durch den Verschluss der basal an den Zotten gelegenen arteriovenösen Anastomosen arterielles Blut zur Aufrechterhaltung der Temperatur oberhalb des kritischen Bereiches in die Peripherie verbracht. Dieses bewirkt eine intermittierende Minderdurchblutung in der Zottenspitze und damit auch Minderversorgung des Kapillarbettes mit Nährstoffen und Sauerstoff der Huflederhaut. POLLITT (1993a) sieht dieses in Übereinstimmung mit GEYER und SCHULZE (1994) sowie TIMM (1993) als Ursache der reduzierten Hornbildung bei kühleren Außentemperaturen. Das höhere Hornwachstum im Sommer ist somit durch eine bessere Durchblutung der Lederhautzotten bedingt. Da die Unterschiede bei der Hufhornproliferation zwischen Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd in etwa gleich groß sind, ist nicht davon auszugehen, dass die Anzahl der arteriovenösen Anastomosen durch die Domestikation zurückgegangen ist und nun in beiden Populationen genetisch verschieden ist.

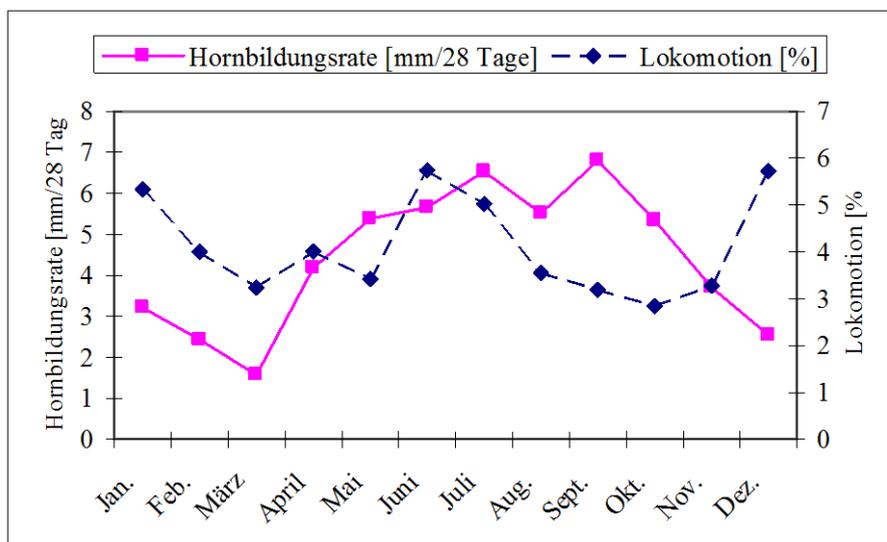
Die für die Temperaturschwankungen in den verschiedenen Jahreszeiten verantwortliche Tageslichtlänge kann ebenfalls über eine an sie gekoppelte Hormonausschüttung einen Einfluss auf die Hornbildungsrate haben. So weisen LINCOLN und RICHARDSON (1998) einen stimulierenden Effekt der Blutkonzentration des Hormons Prolaktin auf die Hornbildungsrate nach. Die Prolaktinfreisetzung wird durch Melatonin reguliert, welches tageslichtabhängig in der Epiphyse gebildet und ins Blut abgegeben wird (LINCOLN und CLARKE 1995). Auch andere Wachstumshormone wie das growth hormon, der epidermal growth factor (EGF) oder der transforming growth factor-alpha (TGF- α) sollen tageslichtabhängig auf das Hornwachstum wirken (LINCOLN und RICHARDSON 1998; PATAN 2001). Um hier den tatsächlichen Nachweis einer Wirkung auf das saisonale Geschehen der Hornbildung zu erbringen, sind weitere Untersuchungen inklusive eines Hormon- und Blutstatus der Pferde notwendig.

Eine Durchblutungssteigerung der Lederhautzotten und damit ein vermehrtes Wachstum des Hufhorns kann nach BECKER (1998) auch artifiziell durch das Aufbringen von hyperämisiertem Lorbeerfruchtöl auf den Kronsaum erfolgen. Ebenfalls einen Zusammenhang zwischen gesteigertem Wachstum und vermehrter Durchblutung sieht WINTZER (1986) durch eine vermehrte Bewegungsaktivität. Auch PATAN (2001) konnte bei Przewalskipferden eine hohe positive Korrelation zwischen motorischer Aktivität und Hornwachstum feststellen, weist aber auch auf die Möglichkeit zufallsbedingter Ähnlichkeiten hin, und schreibt damit der Bewegungsaktivität eher einen modulierenden Einfluss auf die Jahresrhythmik der Hornbildung zu. Auch bei gleichmäßiger Bewegung über das ganze Jahr hinweg kann es zu saisonalen Unterschieden in der Hornproduktion kommen (TIMM 1993). Bei Trabern beobachtete FARAMARZI (2009) unter leichter Bewegung kein höheres Hornwachstum und schrieb der Bewegung deshalb keinen starken adaptiven

Stimulus auf die Hornproduktion zu. Bei einem Vergleich der Hornbildungsrate der Liebenthaler Pferde mit deren Bewegungsaktivität in Textabbildung 5.5 (Lokomotion in % des gesamten Verhaltensspektrums aus WOLLENWEBER, 2007; siehe Tabelle 7 im Anhang I) fallen gemeinsame hohe Werte im Sommer auf, wohingegen im Winter, bei geringer Hornbildungsrate, die Bewegungsaktivität ebenfalls recht ausgeprägt vorhanden ist. Przewalskipferde zeigen hingegen in der kalten Jahreszeit eher eine Bewegungsruhe im Sinne einer Energiesparstrategie (PATAN-ZUGAJ et al. 2013), haben aber ähnlich den Liebenthaler Pferden ausgeprägte jahreszyklische Veränderungen in der Hornbildungsrate.

Textabbildung 5.5:

Vergleich von Hornbildungsrate und Bewegungsaktivität von Liebenthaler Pferden im Jahresverlauf (Lokomotion in % des gesamten Verhaltensspektrums, Werte aus WOLLENWEBER 2007)



Aufgrund des Wertevergleiches ist wie bei den Przewalskipferden allenfalls von einem modulierenden Einfluss der Bewegungsaktivität auf die Hornbildungsrate der Liebenthaler Pferde auszugehen.

Als ebenfalls modulierenden Einfluss auf die Hornproduktion vermutet PATAN (2001) die Nährstoffversorgung der Pferde. Bei Haltung unter Semireservat-Bedingungen nahezu unbeeinflusst vom Menschen, ist diese sehr von der Vegetation abhängig und somit im Sommer reichlich und im Winter eher spärlich. MEYER (1995) und TIMM (1993) erwähnen hierbei insbesondere die Bedeutung des Rohproteingehaltes, der bei steigendem Alter der Futterpflanzen sinkt. Allerdings erkennt TIMM (1993) auch bei gleichmäßiger Fütterung über das ganze Jahr hinweg saisonale Unterschiede in der Hornbildung. Da die Liebenthaler Pferde im Winter eine Heuzufütterung erhielten und die saisonalen Schwankungen in der Hornbildung trotzdem in gleicher Höhe wie bei den Przewalskipferden auftraten, ist bei ihnen nicht von einer alimentären Beeinflussung der Hornbildungsrate auszugehen.

Physiologische und anatomische Einflüsse auf das Hornwachstum sind in der Literatur umstritten. So wurde schon von KNEZEVIC (1959) sowie BUTLER und HINTZ (1977), wie auch später von PRIETZ (1986), RICHTER (1990) und JOSSECK (1991) eine bei jungen Hauspferden höhere Hornbildungsrate angegeben. Dieses steht im Widerspruch zu den Untersuchungen von BECKER (1998), die keine Altersabhängigkeit erkennen konnte. Auch beim Przewalskipferd (PATAN 2001) und beim Esel (VILSMEIER 2004) zeigten jüngere und ältere Tiere keinen signifikanten Unterschied. Bei den Liebenthaler Pferden ist im Jahresdurchschnitt die Hornbildungsrate der jüngeren Pferde signifikant größer als die der älteren Tiere. Dieser Unterschied geht allein auf signifikante Differenzen in den Quartalen Sommer und Herbst zurück, die in ihren absoluten Werten jedoch relativ gering sind. Dieser Alterseinfluss kann an einer saisonal erhöhten Stoffwechselaktivität bei den jüngeren Tieren oder einer saisonal erniedrigten Stoffwechselaktivität bei den älteren Pferden liegen und müsste durch weitere Untersuchungen abgeklärt werden. Da die Lokomotion nur modulierende Wirkungen auf das Hornwachstum zu haben scheint, ist die zumeist höhere Bewegungsaktivität der jüngeren Pferde nicht für den Altersunterschied in der Hornbildungsrate verantwortlich zu machen.

Über den Einfluss des Geschlechtes auf die Hornbildungsrate gibt es nur wenig Angaben, da bei den meisten Untersuchungen, wie auch bei PATAN (2001) zu wenig Hengste zur Verfügung standen. Bei FISCHER (1933) heißt es, dass bei Hengsten die Hornwand langsamer wächst als bei den übrigen Pferden. Auch MÖLLER (1922b) und ANDRIST (1953) sprechen von einem schnelleren Wachstum des Hufhorns bei Stuten und Wallachen. Demgegenüber können BUTLER und HINTZ (1977) sowie RICHTER (1990) keinen Einfluss des Geschlechtes auf das Hornwachstum nachweisen. Bei den Liebenthaler Pferden kann in den Quartalen Frühjahr und Sommer ein geringer, aber dennoch signifikanter Unterschied nachgewiesen werden, wobei die Stuten hier die geringere Hornproduktion aufweisen. Vermutlich wird die Stoffwechselleistung der Hornproduktion von anderen Stoffwechselleistungen, die von den Stuten in dieser Zeit vollbracht wird (Hochträchtigkeit, Laktation), beeinträchtigt. Da für diese Untersuchung keine Wallache zur Verfügung standen, lässt sich ein eventueller Einfluss des Testosterons auf die Hornproduktion nicht klären.

Unterschiede in der Hornbildungsrate der Liebenthaler Pferde zwischen Vorder- und Hinterhufen konnten nur in den Monaten Juli und Dezember nachgewiesen werden, wobei bei relativ geringen Differenzen die Vorderhufe ein etwas schnelleres Wachstum zeigen. Diese Unterschiede können aber auch zufallsbedingt sein, da in allen anderen Monaten das Wachstum der Vorder- und Hinterhufe durchaus vergleichbar ist. Dieses würde die Angaben von HERZBERG (1996), RICHTER (1990), PATAN (2001) und VILSMEIER (2004) stützen, die ebenfalls keine anatomisch bedingten Unterschiede gefunden haben. Frühere Untersuchungen von BUTLER und HINTZ (1977), die bei Hinterhufen ein genetisch bedingtes schnelleres Wachstum beschrieben, sind somit nicht als ausschließlich zu betrachten.

5.2.3 Gesamthornverlust und Hornabrieb an der Hufwand

5.2.3.1 Direkter Vergleich mit dem Przewalskipferd

Analog zum Vergleich der Hornbildungsraten bei den Populationen „Liebenthaler Pferd“ und „Przewalskipferd“ stammen die Mittelwerte und Einzeldaten des Hornverlustes und -abriebs vom Przewalskipferd aus der Arbeit von PATAN (2001) und sind dort im Anhang einsehbar. Durch den Vergleich der Jahresmittelwerte des Hornverlustes von $5,48 \pm 4,26$ mm / 28 Tage (Przewalskipferde) und $4,29 \pm 6,59$ mm / 28 Tage (Liebenthaler Pferde) ist die Tendenz erkennbar, dass der monatliche Gesamthornverlust bei den Liebenthaler Pferden geringer zu sein scheint. Auch beim Hornabrieb ist dieser Trend offensichtlich (Przewalskipferd $4,85 \pm 2,67$ mm / 28 Tage, Liebenthaler Pferd $2,97 \pm 3,25$ mm / 28 Tage). Die durchgeführten Varianzanalysen stellten für diese Mittelwertunterschiede eine statistische Signifikanz ($\alpha = 0,05$) fest.

Anschließend wurden jeweils die monatlichen Mittelwerte für Hornverlust und Hornabrieb bei Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd tabellarisch aufgelistet (Tabelle 5.5 und 5.6) und mittels Liniendiagramm dargestellt (Textabbildung 5.6 und 5.7).

Tabelle 5.5: Monatliche Mittelwerte (MW) sowie Standardabweichungen (SD) des monatlichen Hornverlustes an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (1) und Przewalskipferden (2, Ergebnisse von PATAN 2001) [mm / 28 Tage]

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1 MW	0,82	1,25	3,92	2,80	3,19	10,17	10,65	6,78	5,36	3,58	2,55	1,22
1 SD	1,35	2,10	4,05	2,72	6,19	13,21	9,72	6,90	5,32	3,49	2,31	2,78
2 MW	3,38	4,56	3,14	4,43	6,26	8,40	9,45	8,32	5,90	4,04	3,25	2,82
2 SD	2,56	2,89	1,80	2,44	5,02	5,70	8,90	3,28	3,07	2,57	2,02	1,88

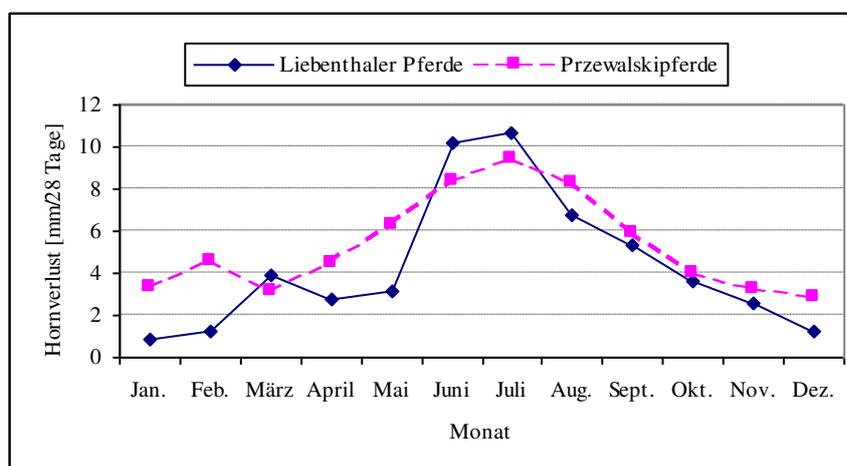
Tabelle 5.6: Monatliche Mittelwerte (MW) sowie Standardabweichungen (SD) des monatlichen Hornabriebs an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns bei Liebenthaler Pferden (1) und Przewalskipferden (2, Ergebnisse von PATAN 2001) [mm / 28 Tage]

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
1 MW	0,82	1,25	3,63	2,80	2,30	3,35	5,63	4,77	4,73	3,43	2,55	0,98
1 SD	1,35	2,10	3,56	2,72	2,20	3,34	3,77	4,06	3,90	3,20	2,31	1,42
2 MW	3,38	4,56	3,14	4,43	5,32	6,88	6,60	7,77	5,90	4,04	3,25	2,82
2 SD	2,56	2,89	1,80	2,44	3,32	3,57	3,44	2,53	3,07	2,57	2,02	1,88

In beiden Diagrammen kann man ähnliche Kurvenverläufe bei den untersuchten Populationen beobachten. Dabei liegen sowohl der monatliche Hornverlust als auch der Hornabrieb der Przewalskipferde meist über dem der Liebenthaler Pferde, wobei dieser Trend beim Hornabrieb noch deutlicher ist. Lediglich im Monat März liegt in beiden Parametern der Wert für die Liebenthaler Pferde etwas höher, was sich aber nach Varianzanalyse statistisch als nicht signifikant herausstellte. Im Juni und Juli ist außerdem der Gesamthornverlust beim Liebenthaler Pferd höher, aber auch dieser Mittelwertsunterschied erwies sich nach der Varianzanalyse in beiden Monaten als nicht signifikant ($\alpha = 0,05$).

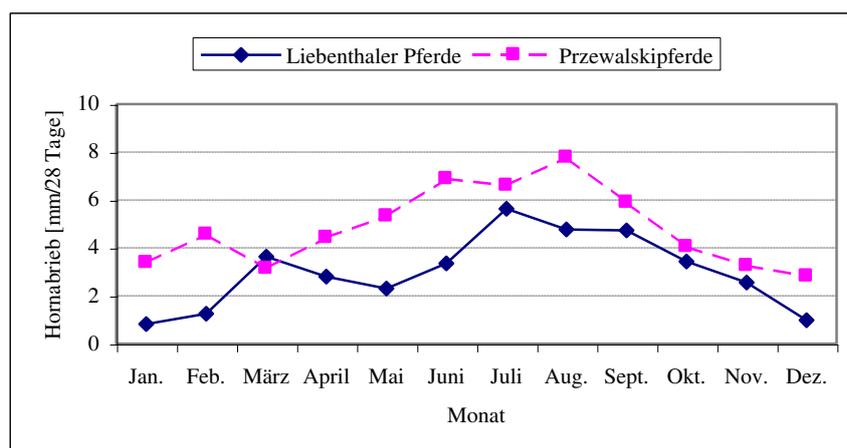
Textabbildung 5.6:

Monatlicher Hornverlust an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns von Liebenthaler Pferden und Przewalskipferden [mm / 28 Tage]



Textabbildung 5.7:

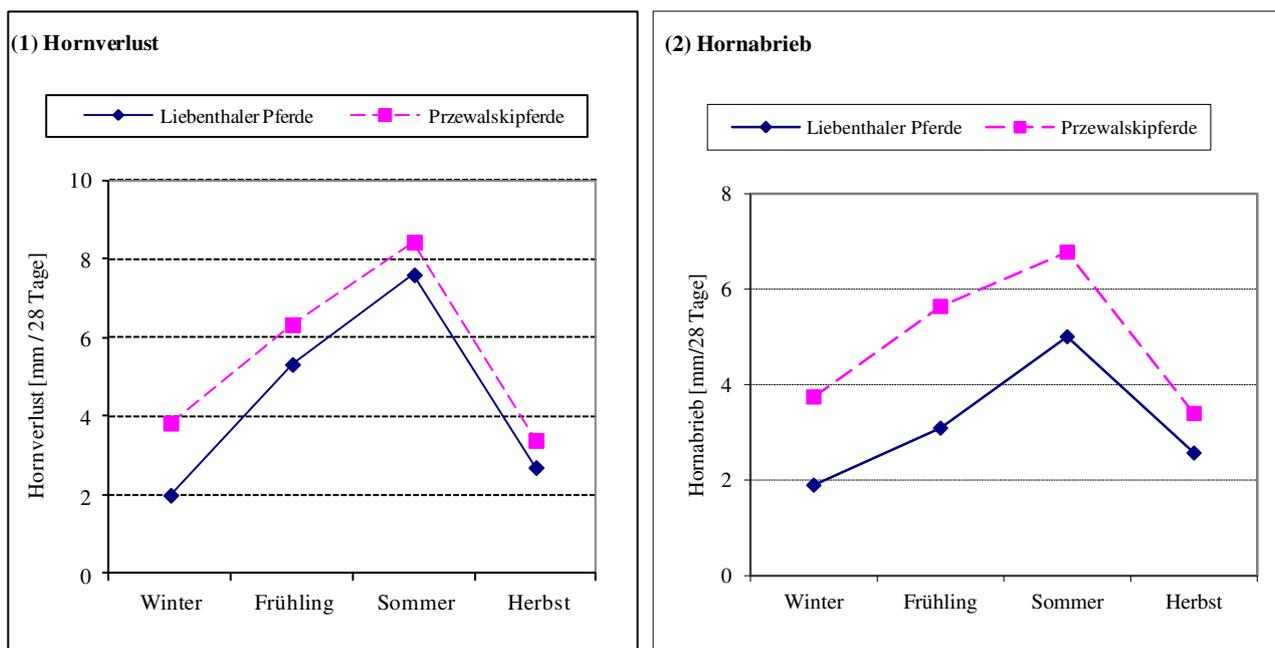
Monatlicher Hornabrieb an der Dorsalwand des äußeren Kronhorns von Liebenthaler Pferden und Przewalskipferden [mm / 28 Tage]



Wie bei der Hornbildungsrate wurden auch für Hornverlust und -abrieb zur Verdeutlichung des Quartalseffektes und zur Homogenisierung des Kurvenverlaufes Quartalsvergleiche zwischen beiden Populationen durchgeführt. Für beide untersuchten Parameter lassen sich hierbei in jedem Quartal deutlich höhere Werte bei den Przewalskipferden finden. Der Kurvenverlauf ist für die Liebenthaler Pferde ähnlich dem der Przewalskipferde, die Kurven für Hornverlust und -abrieb sind lediglich in einen niedrigeren Wertebereich verschoben (Textabbildung 5.8).

Textabbildung 5.8:

Quartalsvergleich des monatlichen Hornverlustes (1) sowie des monatlichen Hornabriebs (2) von Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd



Um die Ähnlichkeit der Kurven und somit die vergleichbare Jahresrhythmik beider Populationen sowohl für den Hornverlust als auch den Hornabrieb zu verifizieren, erfolgte hier, wie bei der Hornbildungsrate, eine Analyse der Geradensteigung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Quartalen (Tabelle 5.7). Es zeigen sich dabei ebenfalls ähnliche Steigungen, wobei die absoluten Differenzen etwas größer sind als bei der Hornbildungsrate.

Es wurden anschließend sowohl für den Hornverlust als auch für den Hornabrieb Varianzanalysen hinsichtlich des Faktors „Pferd“ durchgeführt. Im Ergebnis konnte beim Hornabrieb für alle Quartale ein signifikanter Mittelwertsunterschied zwischen den beiden Pferderassen bestätigt werden. Somit ist gesichert, dass die Liebenthaler Pferde in jedem Quartal einen im Durchschnitt geringeren Hornabrieb haben als Przewalskipferde. Beim Hornverlust liegen lediglich die Werte im Frühjahr unterhalb des Signifikanzniveaus von $\alpha = 0,05$. In allen anderen Quartalen ist auch der gesamte Hornverlust beim Liebenthaler Pferd signifikant geringer als beim Przewalskipferd.

Tabelle 5.7: Vergleich der Geradensteigung beim Hornverlust und Hornabrieb zwischen zwei aufeinanderfolgenden Quartalen bei Liebenthaler Pferd und Przewalskipferd

Parameter	Untersuchte Quartale	Liebenthaler Pferd	Przewalskipferd	Differenz
Hornverlust	Winter und Frühling	3,32	2,5	0,82
	Frühling und Sommer	2,28	2,1	0,18
	Sommer und Herbst	-4,9	-5,04	0,14
	Herbst und Winter	-0,7	0,44	-1,14
Hornabrieb	Winter und Frühling	1,19	1,9	-0,71
	Frühling und Sommer	1,91	1,34	0,57
	Sommer und Herbst	-2,43	-3,38	0,95
	Herbst und Winter	-0,67	0,35	-1,02

5.2.3.2 Befunddiskussion

Durch die bei den Liebenthaler Pferden durchgeführten Messungen wurde zunächst der Gesamthornverlust bestimmt. Die vorhandenen Literaturangaben konzentrieren sich jedoch nur auf den reinen Hornabrieb, da sie an in menschlicher Obhut gehaltenen Hauspferden durchgeführt wurden, bei denen Tragrandausbrüchen durch rechtzeitig durchgeführte Hufpflegearbeiten zuvorgekommen wurde. Um eine Vergleichbarkeit der hier ermittelten Werte zu schaffen, wurde wie in der Arbeit von PATAN (2001) jeglicher Hornverlust über 15 mm pro 28 Tage nicht mehr als Hornabrieb gesehen und gesondert als Tragrandausbruch ausgewertet. Mit Jahresmittelwerten bei den Liebenthaler Pferden von 4,29 mm / 28 Tage (Hornverlust) bzw. 2,97 mm / 28 Tage (Hornabrieb) lassen sich die hier aufgeführten Ergebnisse eher in den unteren Wertebereich der bisherigen Literaturangaben (HERZBERG 1996, Shetlandponys: 5 mm / 28 Tage; RICHTER 1990, Haflinger: 4 - 6 mm / 28 Tage, VILSMEISER 2004, Esel: 6 - 7 mm / 28 Tage) einordnen. Allerdings weisen die Messwerte erhebliche Varianzen auf, so dass es durch die hohen individuellen Unterschiede (hauptsächlich bedingt durch Tragrandausbrüche) auch teilweise zu weitaus höheren Werten beim Hornverlust kommt. Bei einem Vergleich mit den unter annähernd gleichen Bedingungen gehaltenen Przewalskipferden (PATAN, 2001), weisen die Liebenthaler Pferde um 1 bis 2 mm / 28 Tage geringere Hornverlust- sowie -abriebwerte in allen Monaten des Jahres auf. Wie bei der Hornbildungsrate lassen sich diese Unterschiede am ehesten mit einer nicht in allen Teilen gleichen Genetik beider Populationen erklären, die wichtige Einflussfaktoren auf die Hornabnutzung, wie das Verhalten und die Hornqualität, beeinflussen kann.

Wie bei den Przewalskipferden (PATAN 2001) stellt der Hornverlust bei den Liebenthaler Pferden ein regelmäßiges, jahreszyklisches Geschehen mit Maximalwerten im Sommer und Minimalwerten im Winter dar. Diese saisonalen Schwankungen wurden auch schon bei Haflingern (RICHTER 1990) und Rindern (HAHN et al. 1986) beschrieben. Die jahreszyklischen Unterschiede beim Hornverlust bzw. -abrieb weisen zwischen den einzelnen Quartalen beim Liebenthaler Pferd und beim Przewalskipferd ähnliche Differenzen auf (siehe Ergebnisteil). Somit können keine domestikations- oder genetisch bedingten Veränderungen hinsichtlich der saisonalen Schwankungen im Hornverlust nachgewiesen werden.

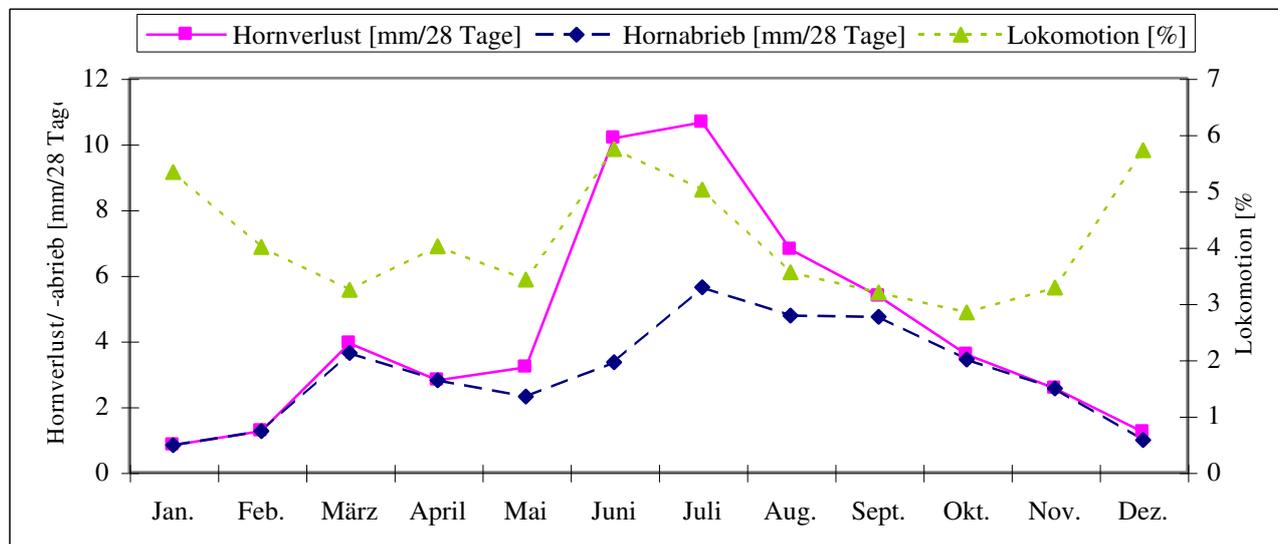
Als Ursachen für die starken saisonalen Schwankungen hinsichtlich des Hornabriebs werden das wechselnde Körpergewicht sowie die Bewegungsaktivität der Pferde und die Bodenbeschaffenheit angenommen (HOOD et al. 1997; ROONEY 1999; PATAN 2001; HERZBERG 1996). Es liegt die Vermutung nahe, dass bei steigendem Körpergewicht beim Auf- sowie Abfußen die am Boden stärker wirkende Gewichtskraft höhere Reibungskräfte am Huf verursacht. Jedoch ist fraglich, wie hoch die jahreszyklischen Gewichtsänderungen sein müssen, um einen Effekt auf das Hornabriebverhalten zu haben. PATAN (2001) stellte zwar eine deutlich positive Korrelation zwischen Körpergewicht und Hornabrieb in der Population der Przewalskipferde fest, die sich aber für die einzelnen Individuen nur in wenigen Fällen zeigte. Deshalb schreibt sie dem Körpergewicht in Hinblick auf den Hornabrieb eher eine modulierende Funktion zu, eine Beziehung zum gesamten Hornverlust wurde von ihr nicht untersucht. Dieser modulierende Effekt auf den Hornabrieb kann auch für die Liebenthaler Pferde angenommen werden, obwohl ihr Körpergewicht durch die Zufütterung von Heu im Winter nicht ganz so starken Schwankungen unterworfen ist. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Gesamthornverlust wesentlich stärker als der reine Hornabrieb vom Körpergewicht der Pferde beeinflusst wird.

Einen ähnlich modulierenden Effekt auf den Hornabrieb stellt PATAN (2001) für die Bewegungsaktivität der Pferde dar. Bei einem Vergleich des Jahresganges von Aktivität und Hornabrieb fand sie zwar deutliche Unterschiede, schloss aber dennoch einen Zusammenhang nicht aus. Auch bei den Liebenthaler Pferden kann man bei Hornabrieb und -verlust sowie der Bewegungsaktivität (siehe Tabelle 7 im Anhang I; Werte aus WOLLENWEBER 2007) gleichermaßen Höchstwerte in den Sommermonaten erkennen, wohingegen die

ebenfalls hohe Lokomotionsbereitschaft im Winter dem herabgesetzten Hornverlust bzw. -abrieb entgegensteht (Textabbildung 5.9).

Textabbildung 5.9:

Vergleich von Hornverlust sowie Hornabrieb und Bewegungsaktivität von Liebenthaler Pferden im Jahresverlauf (Lokomotion in % des gesamten Verhaltensspektrums, Werte aus WOLLENWEBER 2007)



Somit ist es wahrscheinlich, dass im Sommer die erhöhte Bewegungsaktivität zu einem höheren Hornverlust (insbesondere Tragrandausbrüche) beitragen kann, im Winter jedoch andere Faktoren diesen höheren Hornverlust anscheinend verhindern können. Wie bei den Przewalskipferden (PATAN 2001) wird auch für die Liebenthaler Pferde klar, dass der Hornverlust sowie -abrieb durch das Zusammenwirken verschiedener Faktoren entsteht. Einzelfaktoren sind deshalb nach dem Ursache-Wirkungs-Prinzip nicht mehr klar als solche abgrenzbar.

Der Einfluss der Bodenverhältnisse auf den Hornabrieb ist schon Gegenstand zahlreicher Studien gewesen (HOOD et al. 1997; ROONEY 1999), denn die beim Fußen und Abfüßen wirkenden Reibungskräfte treffen bei hartem Boden auf einen erhöhten Reibungswiderstand. Deshalb bestimmt die Untergrundhärte den Abrieb der Hufkapsel (BOYD et al. 1988). Gefrorener oder trockener Boden führt zu einer Senkung der Bodenelastizität, wohingegen feuchter Boden diese steigert (ROONEY 1999). Der Boden, auf dem die Liebenthaler Pferde gehalten werden, gehört zu einer Niedermoorlandschaft, und ist damit zumeist mit Wasser gesättigt. Einige Flächenabschnitte der insgesamt 80 ha großen Koppeln neigen jedoch auch aufgrund der Sand- und Lehmenteile im Boden zur Austrocknung. Eine jahreszeitlich unterschiedliche Bodenkonsistenz (im Sommer und Winter eher trockener und etwas härter, im Frühjahr und Herbst eher feucht und elastisch) war auch bei den in direkter räumlicher Nähe untersuchten Przewalskipferden zu finden (SCHNITKER 2004). Im Unterschied zur Haltung der Przewalskipferde war jedoch der Boden insgesamt etwas weicher, auch fehlten spezielle Areale mit besonders hartem Untergrund. Die geringeren Hornabriebwerte im Frühjahr und im Herbst können, ähnlich wie bei den Przewalskipferden (PATAN 2001), mit dem in diesen Quartalen weicheren Boden (durch frischen Pflanzenaufwuchs sowie feuchte Witterung) in Zusammenhang gebracht werden. Mit dem vergleichsweise festen Boden im Sommer können auch die hohen Werte beim Hornabrieb in diesem Quartal erklärt werden, nicht aber die geringen Werte im Winter, in dem der Boden auch eine hohe Festigkeit aufweist. Auch diese Tatsache ist ein Beweis für ein multifaktorielles Geschehen beim Hornabrieb, das sich nicht nur auf wenige Ursachen zurückführen lässt.

Ein Einfluss des Alters der untersuchten Pferde auf Hornverlust sowie -abrieb konnte nicht nachgewiesen werden. Damit stehen die hier aufgeführten Befunde im Einklang mit den Ergebnissen bei Przewalskipferden (PATAN 2001) und Eseln (VILSMEIER 2004). Im Unterschied dazu erkennen CAMARA und GRAVERT (1971) bei Junggrindern einen geringeren Klauenabrieb, was die Frage offen lässt, ob bei einer engeren Definition hinsichtlich der Altersobergrenze bei den verschiedenen Altersgruppen nicht doch Unterschiede zu erkennen sind oder ob dieser Unterschied tierartsspezifisch ist. Auch liegt die Vermutung nahe, dass noch nicht ausgewachsene Tiere aufgrund ihres geringeren Körpergewichts und der damit im Vergleich zu adulten Tieren reduzierten Last auf den Gliedmaßen kleinere Werte im Hornverlust und -abrieb zeigen könnten. In Übereinstimmung mit PATAN (2001) scheint das Geschlecht keinen Einfluss auf Hornverlust sowie -abrieb zu haben.

Der Hornabrieb ist bei den Liebenthaler Pferden an Vorder- und Hinterhufen nicht signifikant verschieden. Dieses trifft auch für Przewalskipferde (PATAN 2001), Shetlandponys (HERZBERG 1996) und Deutsche Reitpferde (SCHREYER 1997) zu. Bei Rindern ist hingegen der Abrieb an den Hintergliedmaßen höher als an den Vordergliedmaßen (HAHN et al. 1986). Betrachtet man jedoch den gesamten Hornverlust, stellen sich sehr wohl Unterschiede zwischen den Vorder- und Hinterhufen dar. Dieser signifikante Unterschied ist vor allem durch die hohe Rate an Tragrandausbrüchen an den Vordergliedmaßen im Juni gekennzeichnet. In den Sommermonaten ist das Futterangebot höher, was das Körpergewicht steigen lässt. Dieses stellt bei der Population des Przewalskipferdes einen modulierenden Faktor mit einer positiven Korrelation zum Hornabrieb dar (PATAN 2001), wobei der Zusammenhang zum Gesamthornverlust nicht untersucht wurde. Der Schwerpunkt des Pferdekörpers befindet sich leicht in Richtung Vorhand verschoben (SCHÄFER 2000). Da die Schultergliedmaße mit seiner Auffang- und Stützfunktion deshalb prozentual mehr Gewichtslast (60 bis 70 % des Körpergewichtes) trägt als die zur Schubentwicklung befähigte Hintergliedmaße (SCHÄFER 2000), ist davon auszugehen, dass bei steigendem Körpergewicht eine höhere Gesamtlast auf der Vorhand der Pferde liegt. Dieser Effekt wird verstärkt durch die im Sommer verlängerte Zeit des Grasens (KUHNE 2003), bei der die Pferde ebenfalls die Vorhand deutlich stärker belasten. Nach HAGEN (2014) wirken auch die jeweilige Seitenwand- und Hufwinkelung sowie die Hufsymmetrie, die durch Exterieur und Stellung der Pferde beeinflusst werden, auf die Belastungsverhältnisse am Huf. Dieses könnte Tragrandausbrüche an den Vorderhufen in den Sommermonaten durch stärker auf die Hufwand einwirkende Hebelkräfte begünstigen. Der Hornabrieb hingegen ist als multifaktorielles Geschehen im Vergleich zu den Tragrandausbrüchen weniger stark von der Gewichts- und Hebelkrafteinwirkung abhängig und damit bei Vorder- und Hinterhufen ähnlich. Ein weiterer Faktor, der auf die Stärke des Hornverlustes und des Hornabriebs einwirkt, ist die Hornqualität der Kronhornschichten am Tragrand. Hornmassen die qualitativ minderwertig sind, werden demnach schneller abgenutzt als qualitativ hochwertigeres Hufhorn (PATAN 2001). KÖNIG (2001) stellte eine zunehmende Qualitätsminderung des Hufhorns durch einen natürlichen Alterungsprozess fest. Deshalb ist das Horn am Tragrand deutlich weniger abriebfest als die weiter proximal liegenden Hornmassen. Diese von oben nach unten abnehmende Festigkeit der Hufkapsel ist physiologisch zweckmäßig, da bei ständigem Hornnachschub zum Erhalt der durchschnittlichen Zehenlänge eine Abnutzung des Hufhorns am Tragrand essentiell ist. Ähnliche Prozesse sind auch im Sohlensegment zu beobachten. Hier treten in den oberflächlichen Hornschichten Risse im Interzellularraum auf, die zum physiologischen Abschilfern von Hornzellverbänden als Zerfallshorn führen (FROHNES 1999). Es wäre möglich, dass der Prozess der Hornalterung im Sommer, z.B. durch Einwirkung höherer Temperaturen, schneller abläuft, was eine geringere Hornqualität und damit einen höheren Hornabrieb am Tragrand zur Folge hätte. PÜTZ (2006) entwickelte aus adspektorisch erfassbaren Merkmalen eine Hufscore zur klinischen Beurteilung der Hornqualität. In diesem Score schnitten Hinterhufe deutlich besser ab als Vorderhufe, was auch als zusätzliche Erklärung für die vorne vermehrt auftretenden Tragrandausbrüche herangezogen werden kann. Da es verschiedene Kriterien zur Erfassung struktureller Parameter der Hornqualität gibt (PELLMANN et al. 1993), ist eine Abgrenzung der

zu höherem Hornverlust führenden Einzelfaktoren sehr schwierig. Es ist jedoch anzunehmen, dass es auch genetische Unterschiede in der Hornqualität zwischen einzelnen Rassen und Populationen gibt. JOSSECK (1991) konnte dieses bei Lipizzanerfamilien bestätigen. Nach den Ergebnissen von KÖNIG (2001), die beim Vergleich der Hornqualität von Warmblutpferden aus konventionellen Haltungssystemen und Przewalskipferden eindeutige Qualitätsnachteile bei den Hauspferden sah, wäre eigentlich davon auszugehen, dass auch bei den domestizierten Liebenthaler Pferden gewisse Qualitätseinbußen im Vergleich zum Przewalskipferd-Hufhorn zu finden sein werden. Diese mindere Qualität würde dann aber im Gegensatz zu dem etwas geringeren Hornverlust der Liebenthaler Pferde im Vergleich zu den Przewalskipferden stehen. Deshalb ist zu vermuten, dass sich die Kronhornqualitäten beider Populationen ähneln und durch die naturnahe Selektion der Liebenthaler Pferde auch die Hornqualität dieser Hauspferde positiv beeinflusst wurde. Auch PATAN (2001) hält es für wahrscheinlich, dass sich trotz der großen genetischen Variabilität innerhalb der Hauspferde-Populationen nur geringe Hornqualitäts-Unterschiede zwischen Przewalskipferden und anderen Hauspferde-Typen in naturnahen Haltungssystemen (wie z.B. den Liebenthaler Pferden) nachweisen lassen, da die Haltung die Hornqualität positiv beeinflussen kann und eventuell sogar genetisch selektiert. In nachfolgenden Studien sollte diese These durch histometrische und mechanisch-physikalische Untersuchungen des Hufhorns von Liebenthaler Pferden aus der Stammherde überprüft werden.

5.2.4 Zusammenhang zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust

Im gesamten Jahresverlauf kann eine signifikante positive Korrelation zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust bzw. -abrieb festgestellt werden, die sogar noch deutlicher ausgeprägt ist, als es PATAN (2001) für die Przewalskipferde beschrieben hat. Über die Berechnung der Funktionsgleichung der Regressionsgeraden zwischen Hornbildungsrate und Hornverlust konnte sogar statistisch nachgewiesen werden, dass durch die Ausgeglichenheit beider Parameter die Jahresdynamik der dorsalen Zehenlänge über mehrere Jahre hinweg in einem konstanten Rahmen gehalten wird. Würde sich hingegen das Hufhorn der Liebenthaler Pferde ausschließlich über den Hornabrieb abnutzen, müsste die Zehe im Laufe der Jahre immer länger werden. Der Zusammenhang zwischen Hornproduktion und Hornverlust bzw. Hornabrieb ist direkter Art (PATAN 2001), ein zufälliges Geschehen ist unwahrscheinlich. Dass dieser Zusammenhang auch saisonalen Schwankungen unterworfen ist, beweisen die für die verschiedenen Quartale berechneten unterschiedlichen Korrelationen. Sie sind auch Ausdruck der Einwirkung der weiter oben besprochenen verschiedenen Einflussfaktoren auf Hornbildung und Hornverlust bzw. -abrieb. Dabei soll auch der Hornverlust selbst stimulierend auf die Hornproduktion wirken, wie nach Hufkorrekturen festgestellt (KNEZEVIC 1959; ROONEY 1999). Da die sich abschilfernden Hornzellen totes Material darstellen (BUDRAS u. RÖCK 2008), können sie nur einen indirekten Feedback-Mechanismus auslösen, der dann auf die lebenden, teilungsfähigen Kronhornepidermiszellen wirkt. Jede Veränderung der Hornkapsel, die auf die Basalzellen biomechanisch einwirkt, führt zu einer Stimulation der Zellteilung und damit zu einer vermehrten Hornbildung. So geht z.B. THOMASON (1998) von einer durch Hornverlust verursachten Spannungsänderung der Hufkapsel aus, die dann die Hornproduktion der Kronhornepidermis anregt. Da der Hornnachschieb nach distal, gegen die Gewichtskraft des Pferdekörpers, wächst, kann das Körpergewicht hierdurch auch eine Art „Bremseffekt“ auf das Wachstum ausüben. Demzufolge würde bei einem Hornverlust, der zur Aufhebung des Bodenkontakts eines bestimmten Tragrandabschnittes führt (Ausbruch, siehe Abbildung 15), dieser „Bremseffekt“ wegfallen bzw. bei einem starken Abrieb folgenden Mittragen der Sohlenfläche geringer werden. In der Folge wäre zu erwarten, dass es zu einer schnelleren Hornbildung am Kronsaum kommt. Eine Überprüfung dieser Hypothese sollte durch gezielte Hornwachstumsmessungen über Tragrandausbrüchen oder artifiziell freitragenden Abschnitten des Tragrandes im Vergleich zu vermehrt belasteten Abschnitten erfolgen. Sollte es hierbei tatsächlich zu unterschiedlichen Hornproduktionsraten entlang der Hufkapselwand kommen, so ist von der Existenz einer Verschiebeschicht im proximodistalen Verlauf der Hornmassen, ähnlich des Gleit-

Haft-Mechanismus im Hufbeinträger, auszugehen. Dafür kommt insbesondere das Zwischenröhrchenhorn in Frage, welches unter diesem Aspekt genauer histologisch untersucht werden sollte.

PATAN (2001) stellte noch einen anderen Zusammenhang zwischen Hornbildung und Hornabrieb dar. Sie stellte jahreszeitliche Schwankungen in der Hornqualität bei Przewalskipferden unter Semireservat-Haltungsbedingungen fest, wobei das im Sommer gebildete Horn deutlich qualitätsgemindert gegenüber dem im Winter gebildeten ist. Dies äußert sich in einer geringeren Hornhärte sowie strukturellen Abweichungen wie größeren Hornröhrchen, einer geringeren Röhrchenanzahl pro Flächeneinheit und häufig auftretenden Mikrorissen im Interzellulaspalt, durch welche die mechanische Stabilität des Hornzellverbandes gemindert wird. Auch bei Warmblutpferden aus konventionellen Haltungssystemen konnten diese Unterschiede zwischen dem sogenannten „Sommerhorn“ und dem „Winterhorn“ (in Abhängigkeit vom jeweiligen Bildungszeitpunkt), allerdings in deutlich geringer ausgeprägter Form, nachgewiesen werden (KÖNIG 2001). Da das im Sommer gebildete Horn weicher und qualitativ schlechter ist, folgt daraus eine höhere Abnutzungswahrscheinlichkeit. PATAN (2001) geht von einer ungefähren Huferneuerungszeit bei Przewalskipferden von einem Jahr aus und erklärt den hohen Hornverlust im Sommer mit einem minderwertigeren Hufhorn, das genau ein Jahr zuvor im Sommer am Kronrand gebildet wurde. Diese These kann für die Liebenthaler Pferde nicht übernommen werden, da die durchschnittliche Huferneuerungszeit ca. 1 ½ Jahre beträgt und somit im Sommer das vor 1 ½ Jahren im Winter gebildete (und damit wahrscheinlich qualitativ bessere) Horn den Tragrand erreicht. Demzufolge muss bei den Liebenthaler Pferden der Prozess der Hornalterung (KÖNIG 2001) einen höheren Einfluss auf den Hornverlust haben als die vom Hornbildungszeitraum abhängigen unterschiedlichen Hornqualitäten. Auch denkbar wären deutlich geringere Qualitätsunterschiede zwischen Sommer- und Winterhorns bei den Liebenthaler Pferden im Vergleich zu den Przewalskipferden, wie es KÖNIG (2001) bei Warmblütern beschrieben hat. Denkbar wären auch jahreszeitlich unabhängige Qualitätsunterschiede im Kronhorn durch die Bildung von Hornringen und -furchen, die nach SCHNITKER (2004) auch als Sollbruchstelle für Tragrandausbrüche dienen. Die These von SCHNITKER (2004), dass der alleinige Unterschied zwischen Sommer- und Winterhorn nicht zu den vermehrten Tragrandausbrüchen im Sommer führt, kann somit gestützt werden. Für eine genaue Klärung dieser Fragestellung bedarf es jedoch zusätzlicher Untersuchungen der mechanischen und strukturellen Eigenschaften des Kronhorns von Liebenthaler Pferden hinsichtlich des vermutlichen Bildungszeitraumes.

5.2.5 Hornspalten

Das Auftreten von Hornspalten bei den Liebenthaler Pferden war sehr häufig im Beobachtungszeitraum, von 24 Tieren waren 22 mindestens einmal davon betroffen. Von insgesamt 471 fotografierten Hufen wiesen 205 Hufe (43,52 %) vertikale Risse auf, die bei den betroffenen Pferden jedoch in keinem Fall eine Lahmheit verursachten. Bei einem Vergleich mit Literaturangaben über das Auftreten von Hornspalten bei in menschlicher Obhut gehaltenen Hauspferden hebt sich der hier gefundene Wert deutlich vom bisherigen Kenntnisstand ab. So konnten SLATER und HOOD (1997) unter 75 Pferden nur 10 mit vertikalen Spalten erkennen, SCHWYTER (1906) beobachtete bei 1276 jungen Pferden sogar nur 5 Tiere mit Hornspalten. Daraus lässt sich schließen, dass das Auftreten der Spalten durch den Einfluss der naturnahen Haltung ohne Hufkorrektur durch den Menschen forciert wird. Werden Wildpferde in sandigem Gebiet gehalten und fehlt dementsprechend der den Hornabrieb verursachende feste Boden, stellen sich bald deformierte und brüchige Hufe sowie Hornspalten ein (POLLITT 1999).

Nach SCHNITKER (2004) spielen Hornspalten für den Ausbruchmechanismus am Tragrand eine entscheidende Rolle, wobei sie zwischen physiologischen und pathologischen Rissen in der Hornsubstanz anhand ihrer Längenausdehnung und Hornqualität unterscheidet. Die physiologischen Risse werden in Höhe der Hufbeinspitze durch einen Wechsel in der Hornqualität und den physiologischen Feuchtigkeitsgradienten „ausgebremst“, während die pathologischen Risse auch weiter proximal vorkommen, da der

Bruchablenkmechanismus in qualitativ minderwertigem Horn geschwächt ist. Distale Hornspalten, die ausschließlich tragrandwärts vorkommen, stellen damit die erste Voraussetzung für einen gerichteten Ausbruchmechanismus dar (Abbildungen 12 und 13). Die durchgehenden Hornspalten bei den Liebenthaler Pferden sind zunächst den pathologischen Erscheinungen am Huf zuzuordnen und bedürfen hinsichtlich ihrer Entstehung und der histologischen Struktur ihrer Bruchränder einer nachfolgenden, genauen Untersuchung. Teilweise werden sie jedoch auch für den Ausbruchmechanismus genutzt (Abbildung 14). Da aufgrund der Haltungsform eine genaue klinische Untersuchung der Hornspalten bei den Liebenthaler Pferden nicht möglich war, konnte in der ausschließlich fotografischen Auswertung keine klinische Einteilung der Spalten hinsichtlich ihrer Tiefe vorgenommen werden. Klinische Relevanz erlangen Hornspalten, wenn sie eine Entzündung der Huflederhaut bedingen, diese mechanisch quetschen und daraufhin Blutungen, Sekretionen oder Lahmheiten erzeugen (KÖRBER 2006). Während der gesamten Messperiode ist bei den untersuchten Pferden jedoch nie ein mit einem Hornspalt verbundener Sekretaustritt oder eine Blutung am Huf aufgetreten, noch konnte eine mit einem Hornspalt verbundene Lahmheit beobachtet werden. Dies bedeutet entweder, dass die beobachteten Hornspalten nicht von klinischer Relevanz waren oder dass eine akute Symptomatik in einem kurzen Zeitraum außerhalb der Messtage auftrat. Auffallend ist, dass es in keinem Fall zum Auftreten von proximalen Spalten (Lokalisation ausschließlich am Kronrand) sowie von durchgehenden Hornspalten am Huf Rücken kam. Proximale Spalten können für einen gerichteten Ausbruchmechanismus des Tragrandes nicht genutzt werden und sind deshalb immer als pathologisch anzusehen. Da im dorsalen Tragrandbereich durchaus distale Hornspalten vorkommen, die auch für das Chipping bedeutsam werden können (Abbildung 9), ist davon auszugehen, dass ebenfalls ein Potential zur Entwicklung durchgehender Spalten am Huf Rücken gegeben ist und dass diese durchaus bei einer größeren Untersuchungsgruppe vorkommen könnten. Da der Huf Rücken eine dickere Hornwand aufweist als die Trachten- und Seitenwände, was der Fortentwicklung einer Hornspalte einen größeren Widerstand entgegengesetzt, sollte ihr Vorkommen aber relativ gering sein.

Die hier erhobenen Befunde lassen auf eine genetisch bedingte Prädisposition zur Bildung von Hornspalten schließen. Möglicherweise ist diese bedingt durch genetisch determinierte Unterschiede in der Hornqualität (SCHMITT 1998; JOSSECK 1991). Fünf Pferde zeigten dauerhaft an allen vier Hufen Spaltenbildung, während bei zwei Pferden im gesamten Beobachtungszeitraum kein einziger Hornspalt vorkam. Bei den Stuten mit gehäuftem Auftreten von Hornspalten zeigte auch ein großer Teil ihrer Nachkommen bereits nach einem Jahr die Entwicklung vertikaler Spalten am Huf.

Im Gegensatz zu ZIER (1910), der ein gehäuftes Vorkommen von Hornspalten an den Vorderhufen beschreibt, lässt sich bei den Liebenthaler Pferden kein anatomisch bedingter Unterschied nachweisen. Betrachtet man die Pferde innerhalb der beiden Altersgruppen oder geschlechtsspezifisch, fällt auf, dass es nur Unterschiede in Hinblick auf die Häufigkeit der durchgehenden Hornspalten gibt. Das Auftreten von distalen Hornspalten als eine Grundlage von Tragrandausbrüchen ist alters- und geschlechtsunabhängig und findet bei nahezu allen beobachteten Pferden regelmäßig statt. Ein saisonal vermehrtes Auftreten von Hornspalten in der warmen Jahreszeit wurde schon von PÜTZ (2006) bei Hauspferden dokumentiert. Dieses lässt sich für die Liebenthaler Pferde aufgrund der unregelmäßig über das Jahr verteilten Fotografien nicht beweisen, ist aber auch aufgrund der Befunde bei den Hornchips und Tragrandausbrüchen ebenfalls anzunehmen.

Das vermehrte Auftreten von durchgehenden Hornspalten bei den älteren Pferden ist begründet in ihrer Entwicklung. So können sich distale Hornspalten unter ungünstigen Einflüssen und bedingt durch die durch den Hufmechanismus verursachten Bewegungen der Spaltränder bis zum Kronsaum hin ausbreiten (Abbildung 10). Solange sich beide Hufteile unabhängig voneinander bewegen, bestehen wenige Chancen auf eine spontane Heilung. Bei Pferden in menschlicher Obhut erfolgt die Therapie mittels Ruhigstellung der Spaltenränder (meist durch Beschlag) (POLLITT 1999), was bei wild lebenden Pferden nicht möglich ist.

Erreicht der Spalt den Kronsaum und beschädigt ihn, resultiert daraus ein Restdefekt, der zeitlebens an der entsprechenden Stelle verändertes Horn oder aber einen Spalt bilden wird (POLLITT 1999). Da die Entstehung der distalen Spalten bei nahezu allen Pferden zur Huflängenregulation physiologisch ist, jeder distale Spalt sich potentiell zu einem durchgehenden Spalt entwickeln kann und durchgehende Spalten eine relativ geringe Heilungstendenz zeigen, steigt mit höherem Alter die absolute Anzahl an durchgehenden Hornspalten. Eine weitere Erklärung könnte auch im mit steigendem Alter insgesamt qualitätsgemindertem Hufhorn liegen. Für eine Beeinflussung der Hornqualität durch das Alter finden andere Autoren jedoch keine Hinweise (PATAN 2001; SPITZLEI 1996; BUTLER u. HINTZ 1977; SASSEN 1938). Ein einmal erworbener durchgehender Hornspalt blieb deshalb im gesamten Untersuchungszeitraum bei den Liebenthaler Pferden bestehen, nur in wenigen Fällen konnte eine Heilungstendenz mit kontinuierlich zusammenhängendem, nachwachsendem Hufhorn beobachtet werden.

Das vermehrte Auftreten von durchgehenden Hornspalten bei den Stuten der Liebenthaler Pferde könnte an einer hormonell bedingten minderen Hornqualität liegen, die jedoch ebenfalls von den o.g. Autoren verneint wird. Auch POLLITT (1999) erkannte in einer Wildpferdeherde vor allem bei Stuten Hornspalten. Es ist nicht auszuschließen, dass dieser Fakt mit der deutlichen Gewichtszunahme der Stuten im Rahmen der Gravidität zusammenhängt. Bei Rindern wurden vermehrt bei schwereren Kühen vertikale Klauenwanddefekte beobachtet (VAN AMSTEL u. SHEARER 2001), was mit der höheren Last auf den Klauen begründet wird (GREENOUGH 2001).

Hornspalten sind oft Ausdruck von Umwelteinflüssen, struktureller Schwäche des Hufhorns oder treten belastungsassoziiert auf (MOYER 2003). Die Genese der Hornspalten beim Liebenthaler Pferd lässt sich mit dieser Arbeit zunächst auf die Umweltbedingungen und die unterschiedlichen Belastungsverhältnisse am Huf zurückführen. Zur Abklärung eventueller struktureller Einflüsse sollten weitere, histologische Studien durchgeführt werden. Besonders im Frühling ist der Hufrücken der Pferde sehr lang, dadurch treten schon beim stehenden Pferd höhere Belastungen am Tragrand der dorsalen Hufwand auf (DAVIES 1996). In der Bewegung kommt es durch die Verlängerung des Hebelarms beim Abrollen zu einer weiteren Spannungszunahme im distalen Bereich der Hufkapsel (MCCLINCHEY 2003). Dadurch wird der Hufrücken nahe dem Tragrand ausgeweitet, was häufig noch von untergeschobenen Trachten begleitet ist (POLLITT 1999). Durch den ausgeweiteten Tragrand sowie den langen Hufrücken, bei der die Hufwand über das Niveau der Hufsohle hinauswächst, hat die Hufplatte mit der Sohle nur noch wenig bis gar keinen Kontakt mehr. So sind das innere Kronhorn und die Hornblättchenschicht des Wandhorns im distalen Hufbereich den Umwelteinflüssen ausgesetzt. Aufgrund ihrer schlechten Wasserspeicherkapazität (PATAN u. BUDRAS 2003) erfolgt eine schnelle Dehydratation dieser Hornwandanteile, was sie spröde werden lässt und dadurch einen Elastizitätsverlust bedingt (BUDRAS u. HUSKAMP 1995). Da das ausgetrocknete Horn dazu neigt, sich zusammenzuziehen (PATAN 2001), was auch an einer damit einhergehenden Zellschrumpfung liegt (BUDRAS u. HULLINGER 1990), werden die Spannungen im distalen Bereich noch verstärkt. Durch die zur Schrumpfung neigenden inneren Hufwandschichten treten an den korrespondierenden äußeren Kronhornanteilen Zugspannungen auf, welche in dieser härteren, aber auch weniger elastischeren Schicht zu einem Auseinanderweichen in Hornröhrchenrichtung führen. Sind die am Tragrand vorliegenden Hornmassen strukturell geschwächt (z.B. durch Austrocknung, Einwirken von Kot und Urin oder auch physiologisch durch Strukturunterschiede zwischen Sommer- und Winterhorn, unterschiedliche Hornqualitäten in den Hornringen oder den Prozess der Hornalterung) wird demnach die Spaltenbildung deutlich schneller erfolgen. Die somit anfänglich nur im äußeren Kronhorn auftretenden Spalten pflanzen sich dann in die tieferen Hufwandschichten und nach proximal (bis in Höhe des physiologischen Bruchablenkmechanismus) fort. Sind die physiologischen Bruchablenkmechanismen bei strukturell geschwächter Hornsubstanz nicht ausreichend, erfolgt die Bildung einer pathologischen Hornspalte. Hierbei ist meist das unterliegende Gewebe mehr geschädigt, als es von außen den Anschein hat (MOYER 2003).

Nach SCHNITKER (2004) kann die Entstehung von Hornspalten auch von innen nach außen erfolgen. Dabei kommt es zuerst zu einem Auseinanderweichen der inneren Kronhornschichten in Längsrichtung mit anschließender Fortpflanzung der Risse im Interzellularraum in Richtung Hufrücken. Dieser Mechanismus wirkt vor allem dann, wenn das äußere Kronhorn durch strukturelle Stärke eine hohe Elastizität und Festigkeit aufweist. Es ist also davon auszugehen, dass, je nachdem, wo sich die strukturell schwächste Stelle im tragrandnahen Horn befindet, die Entstehung von Rissen in der Hornsubstanz und damit folgend die Bildung von Hornspalten sowohl von außen nach innen, als auch von innen nach außen erfolgen kann.

An der Spaltenentstehung sowie -ausdehnung beteiligt ist auch der Hufmechanismus. Der ansonsten im Rahmen des Hufmechanismus indifferente distale Hufwandrücken- und Seitenwandteil erfährt durch die fehlende vollständige Integrität der Hufwand und die auftretenden Hebelkräfte aufgrund der distal über das Sohlenniveau gewachsenen Hufwand eine Bewegung, die an der Dorsalwand und den dorsalen Seitenwandanteilen zu einem Auseinanderweichen der (präformierten) Spalten führt (Abbildung 10). Insofern gelten sämtlich Aussagen zu den im Rahmen des Hufmechanismus unbeweglichen Hornkapselanteilen nur bei einer kompletten Hufhornintegrität in Verbindung mit einem regelmäßigen Huf. Die häufigste Lokalisation von Hornspalten bei den untersuchten Liebenthaler Pferden war die laterale Seitenwand. Dieser Fakt ist leicht zu erklären, denn nach HARDERS (1985) neigt stets der mehrbelastete Hufanteil zu Hornspalten und VAN HEEL et al. (2004) wiesen in Studien zur Hufbalance bei Pferden ein bevorzugtes Aufpassen auf der lateralen Wand nach. Dass diese Belastungsverhältnisse beim Liebenthaler Pferd ähnlich sind, wird anhand der hier vorliegenden Ergebnisse angenommen. Zur genaueren Abklärung der auf den Huf einwirkenden Druckkräfte, die letztendlich zu einem Hornspalt führen, sollten jedoch Studien zur Druckverteilung beim Fuß und zur Hufbalance folgen, die der eigenwilligen Population der naturnah gehaltenen Pferde angepasst sind.

Auch FÜRST et al. (2006) stellten bei Hauspferden an der Seitenwand im Vergleich zu anderen Lokalisationen die meisten Hornspalten fest. Die Entstehung der Seitenwandhornspalten kann folgendermaßen erklärt werden: Durch den weichen Untergrund kommt es im Trachten- und Eckstrebenbereich zu wenig Abrieb (POLLITT 1999) und zu einer Verbreiterung des Hufes (HOOD et al. 2001) (Abbildung 11). Es bilden sich daraufhin untergeschobenen, langen Trachten (POLLITT 1999), die meist mit Seitenwandhornspalten assoziiert sind (MOYER 2003). Außerdem verlängern sich die Eckstrebenwände und stellen sich hierbei mit zunehmender Länge schräger zum Boden, was (auch durch den Bodengegendruck) die im Trachten- und Seitenwandbereich im Rahmen des Hufmechanismus flexibel verformbare Hufwand vermehrt nach außen drückt (RASCH 2007) (Abbildungen 25 und 26). Bei Belastung werden dann die schräg stehenden Seitenwände zusätzlich verstärkt nach außen gehoben. Bestehen gleichzeitig noch strukturelle Schwächen der Hornsubstanz am Tragrand (siehe oben), kommt es hierdurch schnell zu Zerreißen der Hornkapsel im Seitenwandbereich des Tragrandes. Im Allgemeinen ist die mediale Seitenwand steiler gestellt als die laterale. Die schrägere laterale Seitenwand bietet dem Boden deshalb beim Aufpassen von vornherein eine deutlich größere Angriffsfläche als es auf der medialen Seite der Fall ist. Diese Tatsache kann zu einem vermehrten Auftreten von lateralen Seitenwandhornspalten führen.

5.2.6 Hornchips und Tragrandausbrüche

5.2.6.1 Tragrandausbrüche im direkten Vergleich mit dem Przewalskipferd

Es erfolgt ein rein deskriptiver Vergleich zwischen Tragrandausbrüchen beim Liebenthaler Pferd und beim Przewalskipferd, da für letzteres wesentlich weniger Werte (= alle Messwerte zum Hornverlust > 15 mm / 28 Tage; entnommen aus der Arbeit von PATAN 2001) zur Verfügung standen. Sowohl bei den Liebenthaler Pferden als auch bei den Przewalskipferden traten im Monat Juli die meisten Tragrandausbrüche auf. Bei der weiteren Verteilung über das Jahr fällt auf, dass die Ausbrüche bei den Przewalskipferden (Tabelle 5.8) nur in den Monaten Mai bis August auftreten.

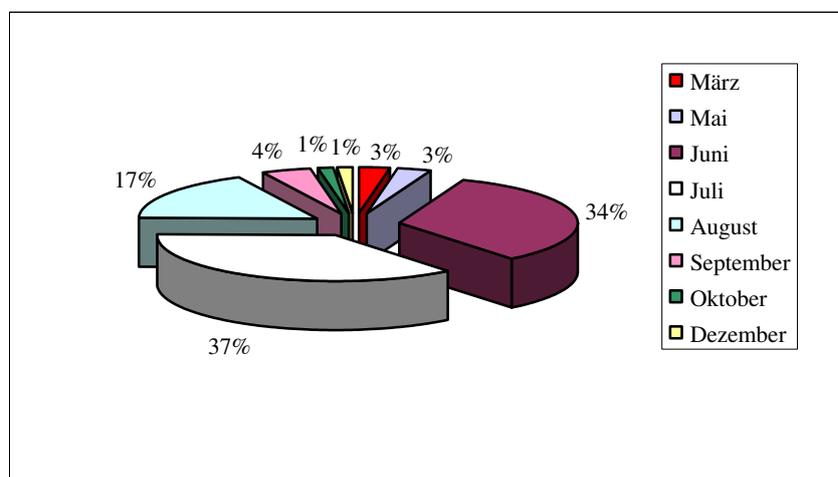
Tabelle 5.8: Tragrandausbrüche der dorsalen Hufwand beim Przewalskipferd, Anzahl (n), Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (SD) [mm], entnommen aus PATAN (2001)

	Mai	Juni	Juli	August
n	3	6	7	3
MW	21,03	20,86	28,60	16,58
SD	4,16	4,47	10,87	1,57

Für die Liebenthaler Pferde wurden hingegen auch Ausbrüche in den Herbst- und Wintermonaten dokumentiert, allerdings in deutlich geringerer Anzahl als in der warmen Jahreszeit (siehe Untersuchungsergebnisse, Tabelle 4.19). Wie in den Kreisdiagrammen der Textabbildungen 5.10 und 5.11 dargestellt, ist die relative Häufigkeit des Auftretens von Tragrandausbrüchen für beide Populationen in den Monaten Juni, Juli und August annähernd gleich. Im Mai sind weniger Ausbrüche bei den Liebenthaler Pferden dokumentiert.

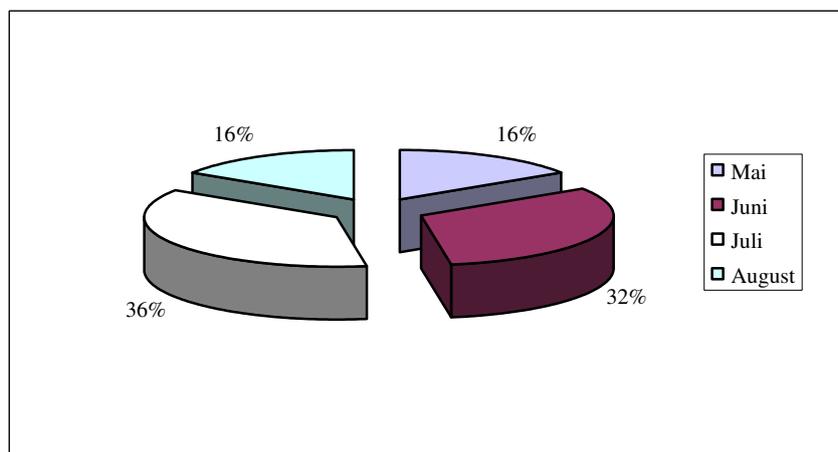
Textabbildung 5.10:

Relative monatliche Häufigkeit von Tragrandausbrüchen beim Liebenthaler Pferd



Textabbildung 5.11:

Relative monatliche Häufigkeit von Tragrandausbrüchen beim Przewalskipferd



Vergleicht man das Auftreten von Tragrandausbrüchen beim Przewalskipferd an Vorder- und Hinterhufen, lässt sich feststellen, dass von insgesamt 19 dokumentierten Fällen 15 Ausbrüche an den Vordergliedmaßen und nur 4 an den Hintergliedmaßen vorkamen. Dieser Befund deckt sich mit dem bei den Liebenthaler Pferden. Somit gilt für beide Rassen, dass es an den Vordergliedmaßen relativ häufiger zu Tragrandausbrüchen kommt.

5.2.6.2 Vergleich der Befunde der gemessenen Tragrandausbrüche mit den Befunden der fotografisch dokumentierten Hornchips und Befunddiskussion

Durch den Vergleich der Messwerte für die Tragrandausbrüche mit den angefertigten Fotografien der Hornchips bekommt man einen genaueren Überblick über das Vorkommen von Tragrandausbrüchen sowie der Bildung der ihnen vorausgehenden Hornchips. Es ist jedoch zu beachten, dass bei den Messwerten erst ein Hornverlust an der dorsalen Hufwand von über 15 mm / 28 Tage als Tragrandausbruch gewertet wurde, während auf den Fotografien der deutlich sichtbare Hornchip (sowohl dorsal, als auch lateral und medial) zählte, der in einigen, wenigen Fällen in seiner absoluten proximodistalen Höhenausdehnung auch deutlich kleiner als 15 mm war. Daher muss ein entstandener und fotografisch dokumentierter Hornchip nicht zwingend einen gemessenen Hornverlust von über 15 mm / 28 Tage nach sich ziehen, zumal die meisten Hornchips auf der lateralen Hufseite dokumentiert wurden. Da sich die Messwerte zu den Tragrandausbrüchen nur auf die dorsale Hufwand beziehen, werden die dorsalen Hornchips in der gemeinsamen Betrachtung die größte Berücksichtigung finden.

Die meisten dorsalen Hornchips finden sich in den Monaten Juni und September, während die meisten Tragrandausbrüche der dorsalen Hufwand im Monat Juli zu beobachten sind. Obwohl die saisonale Auswertung im Hinblick auf die Hornchips durch die ungleichmäßig über das Jahr verteilte Häufigkeit an angefertigten Fotografien erschwert ist, scheint sich mit beiden Methoden ein ähnlicher Trend herauszustellen. Wenn sich im Monat Juni recht viele dorsale Hornchips fotografisch darstellen lassen, ist davon auszugehen, dass einen Monat später der Ausbruch dieser Chips aus der Hufwand erfolgt ist und sich damit ein Tragrandausbruch messen lässt. Die im Monat September gebildeten dorsalen Hornchips erscheinen auf den Fotos sehr klein, so dass sie messtechnisch bei hier verwendeter Definition der Tragrandausbrüche nicht als Ausbruch erfasst werden konnten. Das vermehrte Auftreten von Tragrandausbrüchen in den Sommermonaten lässt sich somit auch durch die Fotodokumentation bestätigen. Auch PÜTZ (2006) stellte bei Hauspferden fest, dass Tragrandausbrüche in der warmen Jahreszeit öfter als in der kalten Jahreszeit vorkommen. Die Tragrandausbrüche treten tendenziell eher an den Vorderhufen auf, hier ist der Höhepunkt im Juni zu finden. Dieses deckt sich mit dem Befund, dass es an den Vordergliedmaßen häufiger zu dorsalen Hornchips kommt, ebenfalls mit einem Höhepunkt im Juni. Eine Abhängigkeit der Bildung von dorsalen Hornchips sowie der Tragrandausbrüche von Alter und Geschlecht kann weder bei der fotografischen Auswertung noch bei der Messwertanalyse nachgewiesen werden. Nahezu alle Pferde wiesen mindestens einmal im Jahr einen Hornchip auf. Dieser Befund ist vergleichbar mit dem für die Tragrandausbrüche, denn auch bei diesen gab es im Jahresverlauf nur zwei Pferde, bei denen es ausschließlich zu Hornverlusten unter 15 mm / 28 Tage kam. Auffällig ist, dass es bei den beiden Pferden „Mutan“ und „Bielina“, bei denen kein Hornchip fotografisch dokumentiert werden konnte, trotzdem zu messbaren Tragrandausbrüchen im Juli und August („Mutan“) bzw. im Juni und Juli („Bielina“) gekommen ist. Da die Fotografien nur Momentaufnahmen darstellen, ist dies ein Hinweis auf die Geschwindigkeit des Chippingprozesses. Während in einem Monat am Huf noch keine Hinweise auf die Bildung eines Hornchips vorhanden sind, ist im Folgemonat das Chipping (Bildung eines sichtbaren Hornchips mit anschließender Abspaltung vom Tragrand) an demselben Huf bereits vollzogen (Abbildungen 23 und 24). Für die Dauer des Gesamtprozesses ist somit ein physiologischer Zeitraum von unter einem Monat anzugeben.

Die beiden Pferde, die im gesamten individuellen Beobachtungszeitraum an allen Hufen einen Hornverlust von unter 15 mm / 28 Tage aufwiesen, waren Junghengst „Botan“ und Jungstute „Mary“. Wegen des frühzeitigen Ausscheidens von „Mary“ aufgrund zunehmender Aggressivität liegen von dieser Stute weder genügend Fotografien noch ausreichend Messwerte vor, um eine Aussage hinsichtlich des Chippings bei ihr zu treffen. Bei „Botan“ konnten fotografisch in den Monaten Juni, September und Oktober Hornchips nachgewiesen werden. Diese waren jedoch ausschließlich lateral lokalisiert, so dass sie nicht zu einer dorsalen Tragrandverkürzung durch Ausbruch beitragen konnten.

Die Ergebnisse der vergleichenden Auswertung der beiden Methoden, nämlich Vermessung der dorsalen Hufwand und Fotodokumentation, lassen darauf schließen, dass der Prozess des Chippings bei nahezu jedem Liebenthaler Pferd unter den hier gegebenen Bedingungen zu einer Verkürzung der dorsalen Hufwand beiträgt. Damit ist die Bildung von Hornchips mit darauf folgenden physiologischen Tragrandausbrüchen für die Längenregulation der Hufkapselwand bei Pferden in naturnaher Haltung essentiell. Bei einem Vergleich der Jahresmittelwerte für Hornverlust, Hornabrieb sowie Tragrandausbrüche stellt sich ebenfalls die Bedeutung des Chippings für die Hufkapselregulation heraus: über 30 % des gesamten Hornverlustes im Jahr entfallen auf Tragrandausbrüche ($> 15 \text{ mm}/28 \text{ Tage}$), während 69,2 % der Hornsubstanz am Tragrand durch den Hornabrieb abgetragen werden. Auch HAMPSON et al. (2010) beobachteten bei australischen Wildpferden häufig Hufwandausbrüche, wobei im Unterschied zu den Ergebnissen beim Liebenthaler Pferd in seiner Arbeit die Häufigkeit der dorsalen (90%) Ausbrüche die Häufigkeit der lateralen (85%) geringgradig übersteigt.

5.2.6.3 Ätiologie des Chipping – Entstehung von Hornchips und Tragrandausbrüchen

Der Prozess des Chipping ist in die Regulationsmechanismen für die Selbsterhaltung der Hufwandlänge (self-trimming, FLORENCE u. MCDONNELL 2006) einzuordnen. Bei ständigem Hornnachschieben vom proximalen Kronsaum muss diese Selbsterhaltung unter naturnahen Haltungsbedingungen durch erhöhten Abrieb sowie Hornrisse und Ausbrüche gewährleistet werden. Die hierfür nötigen jahreszyklischen Prozesse wurden in ähnlicher Weise auch schon bei anderen wild lebenden Pferden, wie Mustangs und Przewalskipferden beschrieben (PATAN 2001; FLORENCE u. MCDONNELL 2006; HAMPSON et al. 2013a). Erstmals werden mit dieser Arbeit jedoch auch Skizzen zum genauen Ablauf des Chippings vorgestellt, die auf Grundlage der fotografischen Dokumentation erstellt wurden (Abbildungen 28 bis 30 im Abbildungsanhang).

Der Untergrund, auf dem die Liebenthaler Pferde gehalten werden, weist nur wenig abrasive Qualität auf. Bei hartem Boden lastet das Gewicht des Pferdekörpers vor allem auf 3 bzw. 4 Punkten der Hufwand (HOOD et al. 2001). Dadurch, dass die Kontaktfläche der Hufe durch den weicheren Boden mehr auf den Sohlenbereich verteilt wird, wird der Tragrand weniger belastet und anscheinend auch weniger abgerieben, was die Notwendigkeit von Ausbrüchen bedingt. Es entsteht ein Hornüberstand am Tragrand, auch bedingt durch das im Vergleich zum Kronhorn geringere Wachstum des Sohlenhorns (in Verbindung mit seinem frühzeitigen Abschilfern in Form von Zerfallshorn). Zusätzlich bewirkt der weiche Boden eine Verbreiterung der Sohlenfläche, welche den gesamten Huf breiter werden lässt (HOOD et al. 2001). Auch HAMPSON et al. (2013a) beobachteten bei australischen Wildpferden eine unterschiedliche Form der Hufe in Abhängigkeit von Bodenbeschaffenheit und Bewegungsradius der Pferde. Hierbei bewirkte ein weicher Boden in Verbindung mit einem kleinen Bewegungsradius der Pferde (ähnlich der Liebenthaler Pferde, die nur ein begrenztes Gelände zur Verfügung haben) Hufe mit langen, nach außen erweiterten Hufwänden.

Durch den geringen Abrieb besonders der hinteren Hufkapselanteile, die Bildung von untergeschobenen Trachten bei breiter werdendem Huf, die dadurch schräger stehenden Eckstrebenwände und die im Rahmen des Hufmechanismus höhere Beweglichkeit der Trachten- und Seitenwände im Vergleich zum Huf Rücken (vgl. Entstehung von Hornspalten unter 5.2.5) sind zunächst die Seiten- und Trachtenwände von Spaltenbildung in der Hornsubstanz betroffen. Auch OVNICEK et al. (2003) beobachteten, dass bei Pferden, die auf weichem oder sandigem Untergrund gehalten wurden, die Seitenwände zunächst an der weitesten Stelle des Hufes wegbrechen. Ein Ausbruch von Hornsubstanz funktioniert jedoch nur, wenn die Haltbarkeit der Hornkapsel gemindert ist. Die in der Hornwand gebildeten Spalten machen die Hufkapsel an dieser Stelle instabil, die von oben auf den Huf einwirkenden Gewichtskräfte, die Hebel- und Spreizwirkung der Hornspalten sowie eine physikalische Materialermüdung der Hornsubstanz (unterstützt durch Alterungsprozesse im Horn) führen zu einem regelrechten „Weghebeln“ des betroffenen Wandabschnittes. Dadurch kommt es zur Bildung eines Querrisses im Horn, beginnend in den inneren Kronhornschichten in Höhe einer quer verlaufenden Sollbruchlinie entlang der Unterfläche des Sohlenhorns. Dementsprechend

folgt die Separierung eines Hornchips entlang zweier begrenzender Hornspalten. Weitere kleine Hornspalten, die nicht zur Separierung genutzt werden, sind innerhalb des Chips lokalisiert und können deshalb als „Intrachip-Spalten“ bezeichnet werden. Der Chip ist zuletzt nur noch mittels abgeknickter Hornröhrchen der äußeren Kronhornzone mit der Hufkapsel verbunden und bricht schließlich durch Materialermüdung des Horns vollständig ab. Der physiologische Ausbruch der Tragrandes erstreckt sich hierbei bis zum Niveau der Hufsohle (OVNICEK et al. 2003; PATAN-ZUGAJ et al. 2013).

SCHNITKER (2004) zeigte, dass beim Przewalskipferd für die Ermöglichung des Querrisses beim Chipping ein ausgeprägter Wechsel der Hornqualität, wie er in konkaven und konvexen Hornringen ausgeprägt ist und auch zwischen im Sommer und im Winter gebildeten Horn vorkommt, stattfinden muss. Im „Sommerhorn“ treten rissartige, optisch leer erscheinende Erweiterungen des Interzellularspaltes auf, die für das weniger feste Horn verantwortlich sein sollen (SCHNITKER 2004). Der eigentliche Querriss findet demnach im qualitativ schlechteren Horn (konvexer Ring oder Sommerhorn) nach Art eines „Baumfällprinzips“ statt. Ein solcher Hornqualitätswechsel ist auch bei Hauspferden in konventioneller Haltung nachgewiesen, allerdings in erheblich geringerem Ausmaß (KÖNIG 2001) und mit nur schwach erkennbaren Hornringen. Bei den Liebenthaler Pferden, die ebenso wie die Przewalskipferde den intensiven Umwelteinwirkungen ausgesetzt sind, liegt eine deutliche Ausprägung der Hufkapselringe (Abbildung 11) vor und die Hornproduktion weist hohe saisonale Schwankungen auf, beides ist vergleichbar mit den Verhältnissen beim Przewalskipferd. Durch die Untersuchungen von PATAN (2001) wurde eine hohe genetische Konsolidierung der Hufhornkeratine nachgewiesen. Deshalb ist davon auszugehen, dass die Qualitätsunterschiede des Hufhorns, die nach SCHNITKER (2004) für einen geregelten Chipping-Mechanismus notwendig sind, durch die Haltung der Pferde hervorgerufen werden und ebenso wie bei den Przewalskipferden auch bei den Liebenthaler Pferden ausgeprägt sind. Für einen genauen Nachweis dieser These sind weiterführende histologische Untersuchungen des Hufhorns sowie auch physikalische Materialprüfungen der Hornsubstanz nötig.

Da sich auf der lateralen Hufseite sowohl mehr Hornspalten als auch mehr Hornchips finden ließen, ist davon auszugehen, dass hier der Ausgangspunkt für eine plötzliche Längenreduktion der Hufe durch den Prozess des Chipping bei ansonsten nicht ausreichendem Hornabrieb zu suchen ist. Ein Grund hierfür könnte die im Vergleich zur medialen Wand schräger gestellte laterale Seitenwand als Prädisposition für Hornspalten in diesem Bereich sein (siehe 5.2.5). Aufgrund des flacheren Wand-Boden-Winkels auf der lateralen Hufseite treten zusätzlich auch größere Hebelwirkungen bei Belastung auf, die zur Separierung eines Hornchips führen können. Auch ist zu vermuten, dass die Liebenthaler Pferde beim Auffußen die lateralen Wandabschnitte mehr belastet werden, was durch eine weiterführende Druckmessung beim Fußungsvorgang dieser Pferde überprüft werden sollte. Bei anderen wild lebenden Hauspferden wurde jedoch auch eine vermehrte Ballenfußung festgestellt (OVNICEK et al. 2003). Sobald auf der lateralen Seite ein Hornchip bis auf das Sohlenniveau herausgebrochen ist, hat dieser Abschnitt nur noch wenig (oder gar keinen) Bodenkontakt und ist demnach nur geringen Gewichtsbelastungen ausgesetzt (Abbildung 15). Deutlich höhere Gewichtskräfte wirken dann auf der medialen Hufseite, wobei die Hebelwirkung durch die zumeist steilere Stellung der Wand (PRIETZ u. SCHREYER 1999) geringer sein muss als zuvor auf der lateralen Seite. Deshalb kommt es medial dann entweder zu verstärktem Hornabrieb oder bei entsprechenden strukturellen Voraussetzungen der Hornsubstanz (Hornalterung und Qualitätsunterschiede, siehe oben) ebenfalls zur Spaltenbildung mit anschließender Separierung eines Hornchips und vollständigem Ausbruch dieses Chips. Die nun noch nicht eingekürzte dorsale Hufwand ist dadurch starken Gewichts- und Hebelkräften ausgesetzt (Abbildung 19), so dass sie ebenfalls im Anschluss den Prozess des Chippings durchlaufen wird oder bei sehr starkem Hornzusammenhalt und stark abrasiven Untergrund einen hohen Hornabrieb aufweist. Im Ergebnis wird die vormals lange, überstehende Hufwand vor allem durch Chipping, aber auch durch vermehrten Abrieb auf das Niveau der Hufsohle eingekürzt, der Tragrand erscheint danach unregelmäßig gezackt (Abbildung 17 und 21). Da daraufhin die Sohle einen stärkeren Bodenkontakt

bekommt, wird sie zum Tragen des Körpergewichtes zusätzlich zum eingekürzten Tragrand hinzugezogen (OVNICEK et al. 2003). Zum Schutz der empfindlichen Sohlenlederhaut und der darunter liegenden Strukturen kommt es bei Belastung der Sohle zu einer Verfestigung des Sohlenhorns, für welche von OVNICEK et al. (2003) der Begriff „sole callus“ geprägt wurde. Der unregelmäßig konturierte Tragrand wird im Rahmen von Reibungskräften bei der Huf-Boden-Interaktion allmählich geglättet, so dass der Huf nach Durchlaufen der Längenregulation eine ähnliche Erscheinungsform hat, wie der eines Reitpferdes, bei dem im Rahmen der Hufbearbeitung der Tragrand durch Raspeln berundet wurde (Abbildung 24 (b)).

5.2.7 Bedeutung der Huflängenregulation im Hinblick auf Physiologie und Nutzung der Liebenthaler Pferde

Die vorliegende Arbeit weist bei wild lebenden Hauspferden einen Selbsterhalt der Huflänge innerhalb eines geringen Schwankungsbereiches nach. Dieser Selbsterhalt beruht auf einer im Jahresmittel nahezu gleichen Höhe von Hornbildungsrate und -verlust. Dieses lässt den Schluss zu, dass ein menschliches Eingreifen zur Hufpflege bei unter Semireservat-ähnlichen Bedingungen gehaltenen Hauspferden nur bei auftretenden Huferkrankungen notwendig wird. Wenn die physiologische Längenregulation durch pathologische Veränderungen (oder Haltungsmisstände in anderen Haltungsformen) zum Erliegen kommt, besteht die Gefahr der Bildung von überlangen Hufen, die POLLITT (1999) nach ihrer Form „Aladins Pantoffeln“ nennt. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Pferde für die regelrechte Ausprägung des sich selbst erhaltenden Hufes eine Adaptionszeit benötigen, in der sie den natürlichen Umweltbedingungen ausgesetzt sind. Bei Przewalskipferden, die aus Zoohaltung mit dem Ziel der Wiederauswilderung in ein Semireservat überführt werden, beträgt diese Zeitspanne ca. ein Jahr (PATAN 2001; SCHNITKER 2004). In dieser Zeit werden auch andere deutliche saisonale Rhythmen (wie Bewegungsintensität, Körpergewichtsentwicklung, Nahrungsaufnahme, Sozialverhalten) ausgeprägt, die für das Überleben ohne menschliche Unterstützung essentiell sind und die ihrerseits auch an der Ausprägung der physiologischen Huflängenregulation beteiligt sind (SCHEIBE et al. 1999; BERGER et al. 1999; PATAN 2001). Ein Rhythmus ist als wiederkehrendes Ereignis, das durch seine Periode, Frequenz, Amplitude und Phase gekennzeichnet ist, definiert (ASCHOFF 1981). Die funktionierende physiologische Huflängenregulation kann somit auch als biologischer Rhythmus aufgefasst werden. Darunter versteht man alle periodisch ablaufenden, endogen oder exogen bedingten Schwankungen physiologischer Parameter (ASCHOFF 1981), wobei die Periode bei der Huflängenregulation die Dauer eines Jahres (circaannualer Rhythmus) hat.

An der Hufwandverkürzung, die für eine suffiziente Huflängenregulation notwendig ist, sind sowohl der Hornabrieb, welcher von verschiedenen Faktoren beeinflusst unterschiedliche absolute Werte annehmen kann, als auch ein geregelter Ausbruchmechanismus des Hufhorns am Tragrand (physiologisches Chipping) beteiligt. Für den Beginn des Chippings ist die Ausbildung von Hornspalten im Tragrandbereich essentiell, denn ohne diese kann keine Separierung eines Hornchips erfolgen.

Die Entstehung der Hornspalten wird durch einen geringen Abrieb auf weichem Boden begünstigt. Erfolgt das Chipping nicht in direkter Folge der Spaltenbildung oder reichen die Bruchablenkmechanismen der Hornkapsel nicht aus, kommt es (u.a. durch den Hufmechanismus) zu andauernden Bewegungen der Spaltenränder beim Fußungsvorgang. Die Bewegungen schwächen das darüber liegende Horn mechanisch und führen zum weiteren Einreißen der Hornspalte nach proximal. Dieser Vorgang kann zum Entstehen von durchgehenden Hornspalten führen, verbunden mit einem Risikopotential für Lahmheiten und Huflederhautentzündungen sowie einer nur geringen Heilungstendenz. Das häufige Auftreten von durchgehenden Hornspalten vor allem bei den älteren Liebenthaler Pferden zeigt, dass die Hornspaltenbildung in dieser Population häufiger ist, als für die regelrechte Huflängenregulation benötigt. Durchgehende Hornspalten sind aufgrund ihrer Länge für den Prozess des Chippings weniger geeignet. Bei den einwirkenden Hebelkräften besteht stets die Gefahr, dass durch die durchgehenden Hornspalten beim Ausbrechen nahezu die gesamte

Hufwand herausgehoben wird, was einen äußerst schmerzhaften, pathologischen Vorgang darstellt. Physiologisch gebildete Hornchips brechen hingegen nur bis zum Sohlenniveau heraus (OVNICEK et al. 2003). Bei der Pferdehaltung unter semi-natürlichen Bedingungen sollte es ein Ziel sein, den physiologischen Prozess des Chippings zuzulassen, eine übermäßige Entstehung von durchgehenden Hornspalten jedoch zu verhindern. Eine Möglichkeit zur Erreichung dieses Ziels wäre die Einrichtung von Parzellen auf der ansonsten weichen Weidefläche, deren Untergrund eine hohe Abrasion des Hufhorns bedingt. Bei den in der Nachbarschaft gehaltenen Przewalskipferden gibt es dafür ein Nebenareal auf der Weidefläche, in dem der Boden befestigt ist. Um die Pferde dazu anzuhalten, sich auch auf diesem Areal zeitweise aufzuhalten, ist dort der Standort der Tränke lokalisiert. Aufgrund der dreigeteilten Weideflächen für die Liebenthaler Pferde wäre es sinnvoll, den Boden in der Umgebung der jeweiligen Pferdetränke dauerhaft zu verfestigen, zu betonieren oder zu pflastern. Dieses würde auch dem häufigen Auftreten von Matschstellen rund um den Tränkenbereich entgegenwirken.

Die physiologische Längenregulation beim Liebenthaler Pferd entspricht nicht vollständig den Prozessen, wie sie beim Przewalskipferd vorkommen. Deutliche Ähnlichkeiten bestehen bei Hornbildung und Hornabrieb, aber durch die häufige Hornspaltenbildung auch nach proximal verläuft das Chipping nicht so störungsfrei, wie es beim Przewalskipferd beschrieben ist (PATAN 2001; SCHNITKER 2004). Außerdem beginnt das Chipping bei den beobachteten Liebenthaler Pferden am häufigsten auf der lateralen Hufseite, während für das Przewalskipferd mehr dorsale Ausbrüche beschrieben werden (SCHNITKER, 2004). Ein Grund für die im Vergleich zum Przewalskipferd häufigere Hornspaltenbildung ist in den – trotz enger räumlicher Nähe der beiden Populationen – verschiedenen Untergrundqualitäten der Weideflächen zu suchen (siehe oben) Es ist deshalb zu vermuten, dass die Umweltparameter einen viel größeren Einfluss auf die Ausprägung der physiologischen Längenregulation haben als genetische Unterschiede zwischen den beiden Populationen. SCHNITKER (2004) vermutet sogar beim Przewalskipferd, dass auftretende Tragrandausbrüche nur ein zusätzlicher Mechanismus der Huflängenregulation bei in Gefangenschaft gehaltenen Tieren sind, da auch ein Semireservat nicht vollständig den natürlichen Bedingungen des Ursprungshabitates (hier: Wüstenregionen in der Mongolei) entspricht. Ob es bei ausgewilderten Przewalskipferden ebenfalls zum Chipping kommt oder ob der Hufhornabrieb ausreichend für die Konstanterhaltung der Huflänge ist, sollte durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Außerdem sollte untersucht werden, ob bei den unter natürlichen Bedingungen lebenden Liebenthaler Pferden ähnliche strukturelle Parameter (Hornqualität) sowie eine ähnliche Zusammensetzung des Hufhorns (insbesondere Lipidmuster und Keratine), auch hinsichtlich der unterschiedlichen Bildungszeiträume und der auftretenden Hufhornringe, wie bei den Przewalskipferden existieren. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit lassen die Vermutung zu, dass sich in der Hornsubstanz der beiden Populationen nur geringe Unterschiede finden lassen werden.

Die semi-natürliche Haltung der Liebenthaler Pferde geschieht jedoch im Gegensatz zu den Przewalskipferden nicht mit dem Ziel der Wiederauswilderung, sondern hauptsächlich zu Landschaftspflege von Naturschutz- und extensiv genutzten Landwirtschaftsflächen. Hierbei müssen neben der Besatzdichte (man rechnet pro Pferd zur Bedarfsdeckung mit Nahrung je nach Bewuchs mit einer Fläche von 0,5 bis 1 ha) auch gesundheitliche Aspekte berücksichtigt werden. Nicht jede Pferderasse ist robust genug und in der Lage, sich den Witterungs- und Umweltbedingungen des gesamten Jahres anzupassen. Hierfür ist die deutliche Ausprägung von saisonalen Rhythmen notwendig, die auch die Huflängenregulation mit einschließt. Bei den Liebenthaler Pferden sind diese Rhythmen sowohl hinsichtlich der am Huf ablaufenden Prozesse als auch in ihrem Verhaltensspektrum (WOLLENWEBER 2007) deutlich ausgeprägt, weshalb ihre Haltung zur Landschaftspflege ausdrücklich empfohlen werden kann. Im Vergleich zu den Przewalskipferden scheinen sie auch ein geringeres Aggressivitätspotential zu haben, was auch eine touristische Nutzung der von ihnen beweideten Flächen erlaubt sowie eine gleichzeitige Nutzung für die Therapie psychiatrischer Patienten (wie von der Firma PRENZL KOMM gGmbH in Liebenthal) ermöglicht. Im

Hinblick auf die Hufgesundheit sind die Przewalskipferde jedoch im Vorteil, denn ein gehäuftes Auftreten von durchgehenden Hornspalten ist bei ihnen weitgehend unbekannt. Deshalb sollte bei der extensiven Haltung von Liebenthaler Pferden darauf geachtet werden, dass eine ausreichende Fläche mit verfestigtem Untergrund zur Förderung des Hornabriebs zur Verfügung steht, die auch von allem Pferden genutzt werden muss (z.B. in räumlicher Nähe zur Tränke). Außerdem muss trotz funktionierender Selbstregulation der Hufgröße aus Tierschutzgründen eine regelmäßige optische Kontrolle der Pferde einschließlich der Hufe erfolgen. Dieses dient dazu, eventuell auftretende pathologische Zustände (Verletzungen, Lahmheiten etc.) schnell zu erkennen, um gegebenenfalls gegensteuern zu können.

Die Ergebnisse zur Hornbildung, Hornverlust und zur Selbstregulation der Hufwandlänge beim Liebenthaler Pferd sind nicht ohne weiteres auf andere wildlebende Hauspferdepopulationen übertragbar. Auch bei diesen sind Selbstregulationsvorgänge der Hufwandlänge bekannt, die aber teilweise von gravierenden pathologischen Erscheinungen begleitet werden. So liegt die Prävalenz für chronische Hufrehe bei australischen „Wildpferden“ je nach Habitat, Bodenverhältnissen und Bewegungsradius der Pferde bei 40 % bis 93 %, nur 3 % der Hufe waren ohne pathologische Veränderungen (HAMPSON 2013b). Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass der „Wildpferde“huf, entgegen früheren Vorstellungen (OVNICEK et al. 2003), nicht als Idealmodell für die Hufzubereitung beim Hauspferd und für die Hufgesundheit anzusehen ist (HAMPSON 2013b). Im Gegensatz dazu zeigt der Huf von Przewalskipferden besonders qualitativ deutliche Vorzüge im Vergleich mit dem der Hauspferde, was eine Zuchtauswahl im Hinblick auf gewisse Hufmerkmale von Urwildpferden für Hauspferde durchaus rechtfertigt. Der Huf der Liebenthaler Pferde ist zweckentsprechend ihren Habitatbedingungen angepasst und kommt zumeist ohne menschliche Hufpflege aus. Trotzdem sollte er nicht als Vorbild für anders genutzte Hauspferde dienen, da die Anforderungen an den Huf sich auch mit der Nutzungsrichtung und -intensität verändern. So besteht beim Auftreten von distalen Hornspalten bei den heutigen Hochleistungspferden (Renn- und Distanzsport, Spring- und Dressurpferde) durch die höhere Belastung eine viel größere Gefahr, dass sie sich zu pathologischen durchgehenden Spalten entwickeln und damit die Pferde lahm und für den Sport unbrauchbar werden. Die Hufzubereitung eines jeden Pferdes sollte daher individuell und den jeweiligen Erfordernissen angepasst erfolgen, um die Hufgesundheit zu erhalten und eventuelle Folgeerkrankungen zu vermeiden.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Claudia Herrmann

Die Huflängenregulation bei im Semireservat gehaltenen Liebenthaler Pferden durch saisonale Einflüsse auf Hornbildung und Hornverlust

Veterinär-Anatomisches Institut der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig und
Institut für Veterinär-Anatomie des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin
Eingereicht im September 2014

105 Seiten, 81 Abbildungen, 49 Tabellen, 295 Literaturangaben, 2 Anhänge (39 Seiten)

Schlüsselwörter: Pferdehuf, Hufhorn, Hornwachstum, Hornverlust, Liebenthaler Pferd, Przewalskipferd, Huflängenregulation

Einleitung

Huferkrankungen nehmen einen hohen Patientenanteil in der orthopädischen Pferdepraxis ein. Sie sind häufig begleitet von geringem Hornwachstum und/oder ständigen Tragrandausbrüchen. Hierbei stellt sich die Frage, in wie weit dieses Geschehen durch die jeweilige Pferdehaltung begünstigt wird und wie stark der genetische Einfluss hierauf ist. Vom einzigen rezenten Wildpferd, dem Przewalskipferd, sind Daten zum Hornwachstum und -abrieb mit ausgeprägter Saisonalität bekannt, außerdem existiert bei Haltung im Semireservat ein spezieller Mechanismus des Tragrandausbruches. Diese Faktoren führen zu einer selbstständigen Huflängenregulation ohne Einflussnahme des Menschen.

Ziele der Untersuchungen

Die Untersuchungen dienen dem Ziel, für das Hauspferd Daten über saisonale Hornproduktion und Hornabnutzung zu erheben und Aussagen über einen eventuell vorhandenen physiologischen Huflängenregulationsmechanismus (wie er auch bei den Przewalskipferden vorkommt) zu machen. Eine suffiziente Ausprägung eines solchen Mechanismus ist für die tierschutzgerechte Durchführung einer Haltungsform, bei der die Pferde weitgehend sich selbst überlassen sind, essentiell. Durch den Vergleich mit dem Przewalskipferd sollen außerdem genetische und umweltbedingte Einflüsse auf die Huflängenregulation geklärt werden, um die Kenntnisse der für eine extensive Pferdehaltung nötigen Umweltfaktoren zu verbessern und zu erweitern.

Materialien und Methoden

Für die Untersuchungen standen insgesamt 26 Liebenthaler Pferde (Hauspferde) unterschiedlichen Alters (12 Pferde vor 1999 geboren, 14 Pferde ab 1999 geboren) und Geschlechtes (11 Hengste, 15 Stuten) zur Verfügung, die in Semireservat-ähnlicher Haltung leben. Bei diesen Tieren wurden über einen Zeitraum von einem Jahr an jedem Huf in monatlichem Abstand die Länge des Rückenteils der Hufplatte, die Hornbildung, der Hornverlust sowie das Auftreten von Hornspalten und Hornchips erfasst. Die Messungen der Dorsallänge sowie der monatlichen Hornbildung und des monatlichen Hornverlustes wurden direkt an den Hufen der untersuchten Pferde durchgeführt, wobei zur Erfassung von Hornbildung und Hornverlust der Distalschub einer artifiziell angebrachten Markierung an der dorsalen Hufwand erfasst wurde. Die auftretenden Hornspalten und Hornchips wurden monatlich fotografisch dokumentiert und im Anschluss nach ihrer Ausdehnung und Lokalisation ausgewertet. Für die Aussagen im Ergebnisteil wurden Methoden der deskriptiven und explorativen Statistik angewendet (Berechnung von Mittelwerten, Streuungsmaßen, Korrelationen, Darstellung linearer Zusammenhänge mittels Regressionsgeraden, Varianzanalysen, Scheffé-Test).

Ergebnisse

Die dorsale Huflänge unterliegt bei den Liebenthaler Pferden einer Regulation, die es ermöglicht, sie nach Ausbildung ihrer individuellen Größe innerhalb einer gewissen Spannweite auch über Jahre hinweg konstant zu halten. Die Dynamik im Jahreszyklus äußert sich mit Höchstwerten im Mai und Minimalwerten im August. Dieses ist bedingt durch die im Verlauf der Jahreszeiten unterschiedlichen Werte bei Hufhornbildung und -verlust. Im Sommer sind sowohl die Hornproduktion als auch der Hornverlust signifikant höher als in den kälteren Monaten. Obwohl Hornbildungsrate und Hornverlust eine positive Korrelation zueinander aufweisen ($r = 0,47$), lassen sich auch Unterschiede erkennen: im Frühling und Sommer überwiegt der Hornverlust, während sich im Herbst und Winter eine höhere Hornbildung nachweisen lässt.

Für die Abnutzung des Hufhorns gibt es zwei sich ergänzende und saisonal unterschiedlich stark wirkende Mechanismen: den Hufhornabrieb und die Tragrandausbrüche als Endergebnis des Chippings. Der Hornabrieb wird vor allem durch die Untergrundhärte gefördert und tritt zu allen Jahreszeiten mit Höchstwerten im Sommer und Minimalwerten im Winter auf. Das Auftreten von Tragrandausbrüchen und den sie bedingenden Hornchips ist vor allem auf die Sommermonate konzentriert, während in den kälteren Jahreszeiten nur wenige und kleinere Ausbrüche stattfinden. Der Prozess des Chippings wird eingeleitet durch die Bildung von Hornspalten im Tragrandbereich zwischen denen es dann durch Spreiz- und Hebelwirkung beim Aufpußen zur Bildung eines Querrisses mit anschließender vollständiger Separierung eines Hornchips kommt. Der Tragrand wurde im Ergebnis dieses Ausbruchs auf das Niveau der Hufsohle eingekürzt. Die meisten Hornchips treten in Übereinstimmung mit der Ausbildung von Hornspalten an der lateralen Hufseite auf, außerdem werden die Vorderhufe deutlich öfter durch Tragrandausbrüche verkürzt als die Hinterhufe. Die Bildung von Hornspalten ist in der untersuchten Population deutlich höher, als es für einen regelrechten Chipping-Vorgang nötig wäre.

Schlussfolgerungen

Für die Liebenthaler Pferde wird die Schaffung von Bereichen mit abrasiven Untergründen auf dem ansonsten mit weichem Boden bedeckten Weidegelände empfohlen, um das häufige Auftreten von durchgehenden Hornspalten (mit der damit verbundenen Gefahr von Schmerz und Lahmheiten) zu minimieren.

Bei einem Vergleich mit unter ähnlichen Bedingungen gehaltenen Przewalskipferden lässt die Höhe von Hornbildungsrate und Hornverlust einen genetischen Einfluss auf diese Parameter vermuten. Die Ausprägung der saisonalen Unterschiede ist jedoch bei beiden Rassen gleich, so dass für diese am ehesten die Habitatbedingungen als auslösende Faktoren in Betracht kommen. Beim Liebenthaler Pferd stellt sich eine dem Przewalskipferd ähnliche Längenregulation am Huf ein, wobei einzelne hierfür notwendige Mechanismen auch Unterschiede aufweisen. Somit wird deutlich, dass die Grundlage für eine physiologische Selbsterhaltung der Huflänge die den Pferden angebotenen Haltungsbedingungen sind, während die Genetik und die Domestikation geringere Effekte auf die Längenregulation haben. Auftretende pathologische Erscheinungen (nicht nur am Huf) müssen jedoch auch bei Extensivhaltung der Pferde zur Landschaftspflege erkannt und behandelt werden.

7 SUMMARY

Claudia Herrmann

Regulation of hoof length in Liebenthaler Horses kept under semi-reserve conditions by seasonal influences on hoof horn growth and wear

Institute of Anatomy, Histology and Embryology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig and
Institute of Veterinary Anatomy, Department of Veterinary Medicine at the Freie Universität Berlin

Submitted in September 2014

105 pages, 81 figures, 49 tables, 295 references, 2 appendices (39 pages)

Keywords: equine hoof, hoof horn, horn growth, horn wear, Liebenthaler Horse, Przewalski Horse, self-regulating mechanism of hoof length

Introduction

Diseases of the hoof represent a high percentage of patients in equine orthopedic practice. They are often associated with a low rate of horn production and continuous cracking of the hoof wall. This raises the question, in how far these events are related to the housing or genetic influences. From the only recent wild horse, the Przewalski horse, data for the horn production rate and horn loss with pronounced seasonality are available. In addition a special mechanism of cracking in the hoof wall occurs under semi-feral keeping conditions. These factors lead to a self-regulation of the hoof length without human intervention.

Objectives of the study

The aim of the study was to investigate if the physiological self-regulating mechanism of the hoof length exists which has been described in Przewalski horses. A sufficient self-regulation of hoof wall length would be an important factor with regards to welfare in horses kept under semi-feral conditions. In addition, by comparing the Liebenthaler horse with the Przewalski horse, genetic and environmental influences on the regulation of the hoof length should be discussed to broaden and improve the knowledge about necessary environmental factors for keeping horses under semi-feral conditions.

Materials and methods

26 Liebenthaler horses (domestic horses) of different ages (12 horses born before 1999, 14 horses born 1999 or later) and sex (11 stallions, 15 mares) living under semi-feral conditions in a nature reserve were used for this study. Over a period of one year the following parameters were measured on every hoof at regular monthly intervals: the length of the dorsal hoof wall, the growth, as well as the wear and tear of the hoof wall and also the development of sand cracks, split or cracked hoofs. The measurements of the length of the dorsal hoof wall and the monthly horn growth and wear were performed directly on the hooves of the horses examined. For the detection of horn production and horn loss the distal movement of a marker permanently attached to the dorsal hoof wall was recorded. Hoof cracks and split hoofs were documented photographically, the site of the hoof wall deformity and their subsequent development were analysed. Methods of descriptive and exploratory statistics were applied to analyze the achieved data (averaging calculation, measures of dispersion, correlations, linear regression, one-way analysis of variance, Scheffé test).

Results

The length of the dorsal hoof wall, once it has reached a constant length (which is individual for each horse regarding the formation and size of the hoof wall) undergoes a regulatory process which keeps it constant over a period of several years. Seasonal variation occurs during the year, with maximum growth changes in

May and minimum changes in August. This is due to the differences in the rate of horn production. There is more horn growth as well as wear, during the summer months, whereas growth and wear are much lower during the winter. Over a period of one year, the ratio horn growth to wear is positive ($r = 0,47$), there are however differences, during the spring and summer there is more horn wear and during autumn and winter there is greater horn growth.

With regards to hoof wear, two other synergistic factors with a different impact depending on the season are important, the wear of the hoof and formation of distal wall cracks resulting in chipping. Wear on the hoof is promoted by hard abrasive ground and occurs throughout the year. There are however seasonal differences, with more wear occurring during the summer months and less wear during the winter. Cracks, splits and breaking away of the hoof wall occur mainly during the summer months and only occasionally and on a much smaller scale during the winter. The process of chipping is initiated by the development of cracks in the hoof wall close to the weight bearing margin. Pressure on the hoof forces the crack apart and leads to additional transverse cracks and subsequent separation of a chip of horn from the distal wall. As result of this chipping the weight bearing margin of the wall has been shortened to the level of the sole. Chipping most frequently occurs in the lateral hoof wall. Front hooves are more commonly affected by cracks and shortened by chipping. The formation of cracked hooves was considerably higher in this group of horses than required for the physiological self-regulation described in Przewalski horses.

Conclusions

In order to prevent cracks especially those that involve the complete hoof wall (coronary band to bearing surface) and can cause pain and lameness it is recommended to introduce areas with an abrasive surface if the overall underground surface is soft and covered by grass.

In comparison to Przewalski horses kept under similar conditions, the high rate of horn growth and wear in Liebenthaler horses suggests a genetic influence on these parameters. However the seasonal variations found are the same in both groups which suggests that the habitat most likely is causing these variations. In both Przewalski horses and the group of Liebenthaler horses the self-regulation of the length the dorsal hoof wall was similar, although there were individual differences regarding the process. It seems that the basis for a physiological self regulatory process regarding the preservation of the length of the dorsal hoof wall is much more dependant on environmental factors than genetics and / or domestication. However it must be emphasised that all pathological conditions in the hoof like any other disease must be recognised and treated in semi-feral horses that are used for extensive environmental conservation projects.

8 LITERATURVERZEICHNIS

- VAN AMSTEL S, SHEARER JK. Abnormalities of hoof growth and development. *Vet Clin N Am Food Anim Pract.* 2001;17(1):73-91
- ANDRIST F. Huf-, Horn- und Klauenpflege. Graz: Leopold Stocker Verlag; 1953
- ANTHAUER K. Der segmentspezifische Aufbau des Interzellularkittes in der Hufepidermis des Pferdes [Dissertation med. vet]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1996
- APPELBAUM F. Untersuchungen zum Hufmechanismus an Präparaten von Pferdegliedmaßen mit Messtastern und der computergestützten 3D-Rekonstruktion auf Basis von computertomographischen Serienschnitten [Dissertation med. vet]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2001
- ASCHOFF J. Handbook of behavioral neurobiology. New York, London: Plenum Pr.; 1981
- BADEN HP, KVEDAR JC. Epithelial cornified envelope precursors are in the hair follicle and nail. *J Invest Dermatol. (Suppl.)* 1993;101:72s-74s
- BAIER W. Über die Beziehungen zwischen Epidermis und Korium an Huf und Klaue. *Berl Münch. Tierärztl Wochenschr.* 1950;63:59-63
- BALL RD, WALKER GK, BERNSTEIN IA. Histidine-rich proteins as molecular markers of epidermal differentiation. *J Biol Chem.* 1978;253:5861-5868
- BAYER J. Experimentelles über Hufmechanik. *Österr. Monschr. Tierheilkd.* 1882;7:72-74
- BECKER C. Untersuchung zum Hornwachstum: Vergleichende Studie bei der Anwendung von äußerlich und oral anzuwendenden Mitteln [Dissertation med. vet]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1998
- BERGER A, SCHEIBE KM, EICHHORN K, SCHEIBE A, STREICH J. Diurnal and ultradian rhythms of behaviour in a mare group of Przewalski horse (*Equus ferus przewalskii*), measured through one year under semi-reserve conditions. *Appl Anim Behav Sci.* 1999;64:1-17
- BERGER A, SCHEIBE KM, WOLLENWEBER K, PATAN B, SCHNITKER P, HERRMANN C, BUDRAS KD. Jahresrhythmik von Aktivität, Nahrungsaufnahme, Lebendmasse und Hufentwicklung bei Wild- und Hauspferden in naturnahen Lebensbedingungen. *KTBL-Schrift 448: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung,* 2006;137-146
- BERTRAM JEA, GOSLINE JM. Fracture toughness design in horse hoof keratin. *J Exp Biol.* 1986;125.:29-47
- BERTRAM JEA, GOSLINE JM. Functional design of horse hoof keratin: The modulation of mechanical properties through hydration effects. *J Exp Biol.* 1987;130:121-136
- BOAS JEV. Ein Beitrag zur Morphologie der Nägel, Krallen, Hufe und Klauen der Säugethiere. *Morph Jahrbuch* 1881;9:389-399
- BOLLIGER C. The equine hoof: Morphological and histochemical findings [Dissertation med. vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1991
- BOLLIGER C, GEYER H. Zur Morphologie und Histochemie des Pferdehufes. *Pferdeheilkunde* 1992;8:269-286

- BOURGELAT (1813). Essai théoretique et pratique sur la ferrure. III. éd. Paris; 1813
- BOWE A. Hoof Wall Cracks Part 1. Horses and People Magazine, June 2011;42-45
- BOWLING AT, RYDER OA. Genetic studies of blood markers in Przewalski's horse. J Hered. 1987;78:75-80
- BOYD LE, CARBONARO DA, HOUPPT KA. The 24-hour time budget of Przewalski horses. Appl Anim Behav Sci. 1988;21:1-2,5-17
- BRAGULLA H. Zur fetalen Entwicklung des Pferdehufes [Habilschr. med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1996
- BRAGULLA H. Zur pränatalen Entwicklung der Hufkapsel. Wien Tierärztl Monatsschr. 1998;85:233-244
- BRAGULLA H, HOMBERGER DG. Structure and functions of keratin proteins in simple, stratified, keratinized and cornified epithelia. J Anat. 2009;214(4):516-559
- BRUHNKE J. Vergleichende Studie der statisch beanspruchten Lederhautteile des Pferdehufes und der Rinderklaue. Arch Wiss Prakt Tierheilk. 1928;57, 324-334
- BRUHNKE J. Vergleichende Untersuchungen der Hornwandstruktur des Zehenendes bei Huf- und Klautieren. Dtsch Tierärztl Wochenschr. 1931;39:4-10
- BUCHER K. Zum mikroskopischen Bau der Epidermis an umschriebenen Stellen des Pferdehufes [Dissertation med. vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1987
- BUCHNER HHF. Das Pferd in der Bewegung. In: LITZKE L, RAU B, Hrsg. Der Huf – Lehrbuch des Hufbeschlages. 6. vollst. überarb. Auflage, Stuttgart: Enke Verlag; 2012, p. 131-149
- BUDRAS KD, PREUSS F. Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Hornbildung im Hyponychium des Pferdehufes. Prakt Tierarzt 1979;60:729-731
- BUDRAS KD, HULLINGER RL, SACK OW. Light and electron microscopy of keratinization in the laminar epidermis of the equine hoof with reference to laminitis. Am J Vet Res. 1989;50:1150-1160
- BUDRAS KD, HULLINGER RL. Zur Struktur und Genese des Pferdehufes und der Rinderklaue. Verh Anat Ges. 1990;83:601-602
- BUDRAS KD, BRAGULLA H. Besonderheiten des Membrane Coating Materials (MCM; Kittsubstanz zwischen Keratinozyten) im harten Horn des Pferdehufes. Anat Anz. (Suppl.) 1991;170:435-436
- BUDRAS KD, HUSKAMP B. Die Hornqualität des Pferdehufes und deren Verbesserung nach einer orthopädischen Behandlung der Hufrehe. In: KNEZEVIC PF, Hrsg. Orthopädie bei Huf- und Klautieren. Stuttgart: Schattauer Verlag; 1995, p. 252-268
- BUDRAS KD, SCHIEL C. A comparison of horn quality of the white line in the domestic horse (*Equus caballus*) and the przewalski horse (*Equus przewalskii*). Pferdeheilkunde 1996;12:641-645
- BUDRAS KD, BRAGULLA H, PELLMANN R, REESE S. Das Hufbein mit Periost und Insertionszone des Hufbeinrähgers. Wien Tierärztl Monatsschr. 1997;84:241-247
- BUDRAS KD, MÜLLING C. Structure and function of the bovine claw. Proceedings of the 10th International Symposium on Lameness in Ruminants, 1998 Sep 7-10; Lucerne (CH), p. 189-191

- BUDRAS KD, SCHIEL C, MÜLLING C. Horn tubules of the white line: an insufficient barrier against ascending bacterial invasion. *Equine Vet Educ.* 1998;10:81-85
- BUDRAS KD, HUSKAMP B. Belastungshufrehe – Vergleichende Betrachtungen zu anderen systemischen Hufreheerkrankungen. *Pferdeheilkunde* 1999;15:89-110
- BUDRAS KD, KÖNIG HE (1999). Huf (Ungula) des Pferdes. In: KÖNIG HE, LIEBICH HG, Hrsg. *Anatomie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis, Bd. II*, Stuttgart: Schattauer Verlag; 1999, p. 365-376
- BUDRAS KD, PATAN B, MÜLLING C. Raster und Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen und physikalische Messungen zur Wasserbindungskapazität am Saumhorn des Pferdehufes. *Wien Tierärztl Monatsschr.* 2002;89:180-187
- BUDRAS KD, RÖCK S. *Atlas der Anatomie des Pferdes*, 6. überarb. Aufl. Hannover: Schlütersche Verlagsanstalt; 2008
- BUDRAS KD. Hufbeinträger. In: LITZKE L, RAU B Hrsg. *Der Huf – Lehrbuch des Hufbeschlages*. 6. vollst. überarb. Auflage, Stuttgart: Enke Verlag; 2012, p. 92-94
- BUDRAS KD, MÜLLING C. Der Huf. In: MÜLLING C, PFARRER C, REESE S, KÖLLE S, BUDRAS KD: *Atlas der Anatomie des Pferdes*. 7., vollst. neubearb. Aufl. Hannover: Schütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG; 2014, p. 84-99
- BUFFA EA, VAN DEN BERG SS, VERSTRAETE FJM, SWART NGN. Effect of dietary biotin supplement on equine hoof horn growth rate and hardness. *Equine Vet J.* 1992;24:472-474
- BUTLER D. *The principles of horseshoeing II. An illustrated textbook of Farrier Science and Craftmanship*. Maryville, USA: Published by D. Butler; 1985
- BUTLER KD, HINTZ HT. Effect of level of food intake and gelatine supplementation on growth and quality of hoofs of ponies. *J Anim Sci.* 1977;44:257-261
- CALHOUN ML, STINSON AW. Integument: Digital Organs and Horn. In: DELLMANN HD, BROWN EM, Hrsg. *Textbook of Veterinary Histology*, 2. Ed., Philadelphia: Lea & Febiger; 1981, p. 404-411.
- CAMARA S, GRAVERT HO. Untersuchungen über den Klauenabrieb bei Rindern. *Züchtungskunde* 1971;43:111-126
- CLARK AK, RAKES AH. Effect of methionine hydroxy analog supplementation on dairy cattle hoof growth and composition. *J Dairy Sci.* 1982;65:1493-1502
- CLAYTON HM. Comparison of the stride of trotting horses trimmed with a normal and a brocken-back hoof axis. *Proc. 33. Ann. Conv. Am. Ass. Eq. Pract.*; 1987, 289-298
- COENEN M, SPITZLEI S. Zur Zusammensetzung des Hufhorns in Abhängigkeit von Alter, Rasse und Hufhornqualität. *Pferdeheilkunde* 1996;12:279-283
- COENEN M. Bedeutung der Fütterung für die Hufgesundheit. In: LITZKE L, RAU B, Hrsg. *Der Huf – Lehrbuch des Hufbeschlages*. 6. vollst. überarb. Auflage, Stuttgart: Enke Verlag; 2012, p. 98-103
- DALE BA, HOLBROOK KA, STEINERT PM. Assembly of stratum corneum basic protein and keratin filaments in macrofibrils. *Nature* 1978;276:729-731

- DASILVA LA, FRANCO LG, ATAYDE IB, DACUNHA PH, DEMOURA MI, GOULART DS. Effect of biotin supplementation on claw horn growth in young, clinically healthy cattle. *Can Vet J.* 2010;51(6):607-610
- DAVIES HMS. A technical report on the distribution of strain in the hoof wall of a standing horse before and after trimming. *Pferdeheilkunde* 1996;12:679-680
- DEMOULIN F. Der Verhornungsprozeß der Haut und der Hautderivate. *Anat Anz.* 1923;56:461-467
- DIETZ O, GÄNGEL H, KOCH K. Die Erhaltung der Gliedmaßen- und Klauengesundheit unter modernen Produktionsbedingungen. *Monatsh Vet Med.* 1971;26:241-246
- DIETZ O, KOCH K. Zur Klauengesundheit bei einstreuloser Haltung. *Monatsh Vet Med.* 1972;27:269-273
- DIETZ O, PRIETZ G. Klauenhornqualität - Klauenhornstatus. *Monatsh Vet Med.* 1981;36:419-422
- DIETZ O, HUSKAMP B. *Handbuch Pferdepraxis.* Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag; 1999; p. 940
- DIRKS C. Makroskopische, licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über den Rückenteil der Rinderklaue [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1985
- DITTRICH JR, FLEMMING JS, MINARDI I. Efeito de níveis suplementares de biotina no crescimento, estrutura e integridade dos cascos de potros de 1 a 2 anos de idade. *Agrarias, Curitiba.* 1994;13:135-144
- DOUGLAS JE, MITTAL C, THOMASON JJ, JOFRIET JC. The modulus of elasticity of equine hoof wall: Implications for the mechanical function of the hoof. *J Exp Biol.* 1996;199:1829-1836
- DOUGLAS J. Structure and material properties of equine hoof wall: Implications for mechanical function. *Proceedings of the 11th Annual Bluegrass Laminitis Symposium, 1997 Jan 23-25, Louisville, Kentucky (USA), p. 1-6*
- DUŠEK J. Zur Heritabilität des Körperbaues und des Ganges bei Pferden. *Ztschr f Tierzücht u Züchtungsbiol.,* 1970;87:14-19
- EBERLEIN R. *Die Hufkrankheiten des Pferdes.* Wien, Leipzig: Verlag Braunmüller; 1908
- ELIAS PM, FRIEND DS. The permeability barrier in mammalian epidermis. *J Cell Biol.* 1975; 65:180-191
- ELIAS PM. Lipids and the epidermal permeability barrier. *Arch Dermatol Res.* 1981;270:97-117
- FAMBACH. Ringbildung. In: FISCHER A: *Der Fuß des Pferdes.* 14. Auflage, Hannover: Schaper-Verlag; 1933; p. 259
- FARAMARZI B, THOMASON JJ, SEARS WC. Changes in growth of the hoof wall and hoof morphology in response to regular periods of trotting exercise in Standardbreds. *Am J Vet Res.* 2009;70(11):1354-1364
- FINDEISEN M. Die Coriumverhältnisse am Pferdehuf mit Rücksicht auf die statischen und mechanischen Verhältnisse [Dissertation med. vet.]. Bern: Univ. Bern; 1922
- FINZI E, HARKINS R, HORN T. TGF- α is widely expressed in differentiated as well as hyperproliferative skin epithelium. *J Invest Dermatol.* 1991;96:328-332
- FISCHER A. *Der Fuß des Pferdes.* 14. Aufl. Hannover: Schaper-Verlag; 1933

- FISCHERLEITNER F. Röntgenographische Untersuchungen über den Einfluss der Lageveränderungen des Huf-, Strahl- und Kronbeines auf die Mechanik der Hornkapsel im Belastungsgerät. Wien Tierärztl Monatsschr. 1975;62:312
- FLORENCE L, MCDONNELL SM. Hoof growth and wear of semi-feral ponies during an annual summer 'self-trimming' period. Equine Vet J., 2006;38(7):642-645
- FREINKEL RK, TRACZYK TN. Acid hydrolases of the epidermis: Subcellular localization and relationship to cornification. J Invest Dermatol. 1983;80:441-446
- FRIEDRICH H. Leitfaden für den Hufbeschlagunterricht. Königsberg i.Pr.: Ostpreußische Druckerei und Verlagsanstalt A.-G.; 1930
- FRIEDRICH H. Wachstum des Hufhorns. Berliner Tierärztl Wochenschr. 1931;19:289-290
- FROHNES AK. Struktur, Verhornung und Hornqualität im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment des Pferdehufes [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1999
- FÜRST A, KUMMER M, LISCHER C, BERTOLLA R, AUER J, GEYER H. Sind Hornspalten ein oberflächliches Hufproblem? Schweiz Arch Tierheilkd. 2006;148(2):55-63
- GEBBIE FE, FORSYTH IA, ARENDT J. Effects of maintaining solstice light and temperature on reproductive activity, coat growth, plasma prolactin and melatonin in goats. J Reprod Fertil. 1999;116:25-33
- GEYER H, BUDRAS KD. Lichtmikroskopische und physikalische Befunde am normalen und pathologisch veränderten Kronhorn des Pferdehufes und Auswirkungen einer Biotinbehandlung auf die Hornqualität. Anat Histol Embryol. 1989;18:271
- GEYER H. Wie wirkt Biotin an der Hufkapsel des Pferdes? 2. Hufbeschlagstagung für Hufschmiede und Tierärzte, 17.4.1993, Bern (CH)
- GEYER H, SCHULZE J. The long-term influence of biotin supplementation on hoof horn quality in horses. Schweiz Arch Tierheilkd. 1994;136:137-149
- GEYER H. Anatomische Grundlagen des Hufes und des Hufmechanismus. Berlin: Tagungsband zur 4. Hufbeschlagstagung für Hufschmiede, Tierärzte, Trainer und Ausbilder am 24. Februar 1996
- GLADE MJ, RA SALZMAN. Effects of toe angle on hoof growth and contraction in the horse. J Equine Vet Sci. 1985;5:45-50
- GÖRTE C, SCHEIBNER O. Leitfaden des Hufbeschlages. Hannover: Verlag von M. & H. Schaper; 1940
- GOTO H, RYDER OA, FISHER AR, SCHULTZ B, KOSAKOVSKY POND SL, NEKRUTENKO A, MAKOVA KD. A massively parallel sequencing approach uncovers ancient origins and high genetic variability of endangered Przewalski's horses. Genome Biol Evol. 2011;3:1096-1106
- GOTO M, KATO T, OKADO Y, TOKITA N. Changes in amino acid composition in the horny hoof wall of dairy cows during periparturition period. J Japan Vet Med Assoc. 1995;48:250-253
- GRAHAM PM, OTT EA, BRENDEMUHL JH, TENBROECK SH. The effect of supplemental lysine and threonine on growth and development of yearling horses. J Anim Sci. 1994;72:380-386

- GRAVERT HO, ROSENHAHN E, RIEMANN U, CAMARA S. Die Erbllichkeit der Klauenabnutzung bei Rindern. *Züchtungskunde* 1969;41:194-196
- GREENOUGH PR. Sand cracks, horizontal fissures, and other conditions affecting the wall of the bovine claw. *Vet Clin N Am Food Anim Pract.* 2001;17(1):93-110
- GREYER W. Topographisch-anatomische Untersuchungen des Hufes vom Pferde [Dissertation med. vet]. Leipzig: Univ. Leipzig verstärkt durch die Tierärztl. Hochsch. zu Dresden; 1911
- GRIMM H. Der regelmäßige Huf und die Beeinflussung seiner Form durch das Kürzen [Dissertation med. vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1942
- GROSENBAUGH DA, DM HOOD. Keratin and associated proteins of the equine hoof wall. *Am J Vet Res.* 1992;53:1859-1863
- GROSSBAUER J. Bestimmung der Hufform durch Messung der Neigungswinkel der Hornwand. *Hufschmied* 1905;23:3-6
- GROSSBAUER J, HABACHER F. Der Huf und Klauenbeschlag. Wien, Leipzig: Verlag Braumüller; 1923
- GUTENÄCKER. Ringbildung. In: FISCHER A: Der Fuß des Pferdes. 14. Aufl. Hannover: Schaper-Verlag; 1933
- GUTSCHE. Messungen an Trakehner Pferden [Dissertation med. vet.]. Berlin: Tierärztl. Hochsch.; 1922
- HAASE H. Über die Epidermis am Huf des Pferdes, besonders über den feineren Bau des Hufhorns. [Dissertation med. vet]. Leipzig: Univ. Leipzig verstärkt durch die Tierärztl. Hochsch. zu Dresden; 1919
- HABACHER F. Der Huf- und Klauenbeschlag. Wien: Verlag Urban & Schwarzenberg; 1948
- HABERMEHL KH. Haut und Hautorgane. In: NICKEL R, SCHUMMER A, SEIFERLE E, Hrsg. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. III, 3. Aufl., Berlin: P. Parey Buchverlag; 1996. p. 443-570
- HAGEN J. Ansätze verschiedener Hufzubereitungsmethoden – Theorie, Wirkung und Nutzen. LBH: Leipziger Tierärztekongress – Tagungsband 2, 2014; p. 286-290
- HAHN MV, MCDANIEL BT, WILK JC. Rates of hoof growth and wear in Holstein cattle. *J Dairy Sci.* 1986;69:2148-2156
- HAMPSON B, RAMSEY G, MACINTOSH AM, MILLS P, DE LAAT M, POLLITT C. Morphometry and abnormalities of the feet of Kaimanawa feral horses in New Zealand. *Aust Vet J.* 2010;88(4):124-131
- HAMPSON B, CONELLY AD, DE LAAT M, MILLS P, POLLITT C. Sole depth and weight-bearing characteristics of the palmar surface of the feet of feral horses and domestic Thoroughbreds. *Am J Vet Res.* 2011;72(6):727-735
- HAMPSON B, DE LAAT M, MILLS P, POLLITT C. Effect of environmental conditions on degree of hoof wall hydration in horses. *Am J Vet Res.* 2012;73(3):435-438
- HAMPSON B, DE LAAT M, MILLS P, POLLITT C (a). The feral horse foot. Part A: observational study of the effect of environment on the morphometrics of the feet of 100 Australian feral horses. *Aust Vet J.* 2013;91(1-2):14-22

- HAMPSON B, DE LAAT M, MILLS P, WALSH D, POLLITT C (b). The feral horse foot. Part B: radiographic, gross visual and histopathological parameters of foot health in 100 Australian feral horses. *Aust Vet J.* 2013;91(1-2):23-30
- HANTUSCH P. Untersuchungen zur Hufwinkelung und Gliedmaßenstellung an Trabrennpferden [Dipl.]. Berlin: Humboldt-Univ. Berlin, Sekt. Tierprod. u. Veterinärmed.; 1987
- HARDERS T. Die elastische Verformung des Pferdehufes [Dissertation med. vet]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1985
- HASHIMOTO K (a). Ultrastructure of the human toenail. I. Proximal nail matrix. *J Invest Dermatol.* 1971;56:235-246
- HASHIMOTO K (b). Ultrastructure of the human toenail. II. Keratinization and formation of the marginal band. *J Ultrastruct Res.* 1971;36 :391-410
- HASHIMOTO Y, REESE S, BRAGULLA H, BUDRAS KD. Eine lectinhistochemische Untersuchung der Epidermis von Haut und Huf des Pferdes. *Anat Histol Embryol.* 1992;21:238-245
- VAN HEEL MC, BARNEVELD A, VAN WEEREN PR, BACK W. Dynamic pressure measurements for the detailed study of hoof balance: the effect of trimming. *Equine Vet J.* 2004;36(8):778-782
- HENKE F. Hufbeinträger und Hufmechanismus im Seiten-, Trachten- und Eckstreben teil des Pferdehufes [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1997
- HERTSCH B, CARSTENSEN V. Notwendiges Übel: Hufbeschlag. *Reiter Revue* 1983;5:520-527
- HERTSCH B, HÖPPNER S, DALLMER H. Der Huf und sein nagelloser Hufschutz. Möglichkeiten der Anwendung. Warendorf: FN-Verlag; 1996
- HERZBERG M. Untersuchungen über die Form und das Wachstum der Hufe von Shetlandponys [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 1996
- HINTERHOFER C. Hornspalten im Computermodell. Tagungsbericht, Tierklinik Salzhofen, 6. Gemeinsame Hufbeschlagstagung für Hufschmiede und Tierärzte; 1997
- HINTERHOFER C, STANEK C, HAIDER H. Erstellung eines Computermodells der Hornkapsel. Wiesbaden, 14. Arbeitstagung der Fachgruppe Pferdekrankheiten der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V.; 1996
- HINTERHOFER C, STANEK C, BINDER K. Elastic modulus of equine hoof horn, tested in wall samples, sole samples and frog samples at varying levels of moisture. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr.* 1998;111:217-221
- HIRSCHBERG RM, MÜLLING C, BUDRAS KD. Pododermal angioarchitecture of the bovine claw in relation to form and function of the papillary body: a scanning electron microscopic study. *Microsc Res Tech.* 2001;54(6):375-85
- HIRSCHBERG RM, VON SÜSSKIND-SCHWENDI M, BRAGULLA H, BUDRAS KD. 'Form Follows Function' - neue Erkenntnisse über das Unterhautgewebe des Zehenendorgans. 25. DVG-Kongress 2005, Berlin, Abstractband p. 97

- HOOD DM, BURT NW, BAKER SJ. Effects of ground surface on solar load distribution. Proceedings of the 43rd annual meeting of the American Association of Equine Practitioners; 1997; p. 360-362
- HOOD DM. The principles of equine hoof wall conformation. Geneva, 6th Geneva Congress of Equine Medicine and Surgery; 1999; Conference paper
- HOOD DM, TAYLOR D, WAGNER IP. Effects of ground surface deformability, trimming and shoeing on quasistatic hoof loading patterns in horses. *Am J Vet Res.* 2001;62:895-900
- HUGELSHOFER J. Huf nach Mass. Tagungsband der zehnten gemeinsamen Hufbeschlagstagung für Hufschmiede und Tierärzte am 17. November 2001 in Dortmund
- HÜNI K. Zur Kenntnis des normalen Pferdehufes. *Schweiz Arch Tierheilk.* 1883;25:87-90
- INOUE S. Ultrastructure of basement membranes. *Int Rev Cytol.* 1989;117:57-98
- JEZIEWSKI T, JAWORSKI Z. Polnische Koniks aus Popielno. Institut für Genetik und Tierzucht der Polnischen Akademie der Wissenschaften, Warszawa; 1995
- JOSSECK H. Hufhornveränderungen bei Lipizzanerpferden und ein Behandlungsversuch mit Biotin. Untersuchungen des makroskopischen Hufstatus und des Hornwachstums sowie zum Verlauf des Plasmabiotinspiegels und über genetische Grundlagen des Hufhornstatus [Dissertation med. vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1991
- JOSSECK H, SCHULZE J. Hufprobleme bei Lipizzanerpferden und erste Ergebnisse eines Behandlungsversuches mit Biotin. *Anat Histol Embryol.* 1991;20:271
- JOSSECK H, ZENKER W, GEYER H. Hoof horn abnormalities in Lipizzaner horses and the effect of dietary biotin on macroscopic aspects of hoof horn quality. *Equine Vet J.* 1995;27:175-182
- KAINER RA. Clinical anatomy of the equine foot. *Vet Clin N Am Equine Pract.* 1989;5:1-27
- KASAPI MA, GOSLINE JM. Strain-rate-dependent mechanical properties of the equine hoof wall. *J Exp Biol.* 1996;199:1133-1146
- KASAPI MA, GOSLINE JM. Design complexity and fracture control in the equine hoof wall. *J Exp Biol.* 1997;200:1639-1659
- KIND H. Vergleichende Untersuchungen über die Abnutzung der Hufe einiger Equiden auf Grund der Struktur der Hufkapselwand [Dissertation med. vet.]. Berlin: Humboldt-Univ. Berlin; 1961
- KNEZEVIC P. Untersuchungen über die beschleunigende Wirkung verschiedener Salben auf das Wachstum des Huf- und Klauenhorns. *Wien Tierärztl Monatsschr.* 1959;46:70-92
- KÖRBER HD. Hufkrankheiten. Gelting: Verlag Sandra Asmussen; 2006
- KOMOSA M, FRANCKOWIAK H, PURZYC H, WOJNOWSKA M, GRAMACKI A, GRAMACKI J. Differences in exterior conformation between primitive, Half-bred, and Thoroughbred horses: anatomic-breeding approach. *J Anim Sci.* 2013;91(4):1660-1668
- KÖNIG B. Struktur, Funktion und Qualität des Kronhorns im Pferdehuf [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2001

- KÖNIG B, BUDRAS KD. Struktur und klinisch-funktionelle Bedeutung der Kronhornstratifikation unter besonderer Berücksichtigung von Hornreifung, -alterung und -zerfall am Pferdehuf. Dtsch Tierärztl.Wochenschr. 2003;110: 438-444
- KOPPENHÖFER K. Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit von pigmentiertem und unpigmentiertem Hufhorn der Klauentiere [Dissertation med. vet.]. Berlin: Univ. Berlin; 1940
- KORTE B. Ein Beitrag zur Entwicklung der Klaue des Schafes mit besonderer Berücksichtigung der Hornbildung [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1987
- KRONACHER C, OGIRZEK A. Exterieur und Leistungsfähigkeit des Pferdes mit besonderer Berücksichtigung der Gliedmaßenwinkelung und Schrittlängenverhältnisse. Ztschr f Tierzücht u Züchtungsbiol. 1932;23:183-228
- KROON HM. Die weiße Linie am Huf. Berl Münch Tierärztl Wochenschr. 1915;51:601-604
- KROON HM, DEMOULIN EWK. Die Verbindung der Hornwand mit der Fleischwand, sowie das Wachstum der primären und sekundären Hornblättchen. Dtsch Tierärztl Wochenschr. 1922;30:224-228
- KRÜGER W. Über Wachstumsmessungen an den Skelettgrundlagen der Gliedmaßen- und Rumpfabschnitte beim lebenden Trakehner Warmblut- und Mecklenburger Kaltblutpferd mittels eines eigenen Messverfahrens. Ztschr f Tierzücht u Züchtungsbiol. 1939;43:145-163
- KRUYT KJ. Tschr. diergeneesk. 1952; 77:303, Utrecht; Zit. nach KNEZEVIK (1959)
- KUHNE F. Tages- und Jahresrhythmus ausgewählter Verhaltensweisen von Araberpferden in ganzjähriger Weidehaltung [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2003
- KÜNG M. Die Zugfestigkeit des Hufhorns von Pferden [Dissertation med. vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1991
- KUNSIEN L. Über die Entwicklung des Hornhufes bei einigen Ungulaten [Dissertation med. vet.]. Dorpat, Veterinärinst.; 1882
- LANDMANN L. Lamellar granules in mammalian, avian, and reptilian epidermis. J Ultrastruct Res. 1980;72 :245-263
- LARSSON B, OBEL N, ÅBERG B. On the biochemistry of keratinization in the matrix of the horse's hoof in normal conditions and in laminitis. Nord Vet Med. 1956;8:761-776
- LAU AN, PENG L, GOTO H, CHEMNICK L, RYDER OA, MAKOVA KD. Horse domestication and conservation genetics of Przewalski's horse inferred from sex chromosomal and autosomal sequences. Mol Biol Evol. 2009;26(1):199-208
- LEACH DH. Structure and function of the equine hoof wall [PhD thesis]. Saskatchewan: University, Department of Vet Anatomy; 1980
- LEACH DH, OLIPHANT LW. Annular gap junctions of the equine hoof wall. Acta Anat. 1983;116:1-9
- LEACH DH, ZOERB GC. Mechanical properties of equine hoof wall tissue. Am J Vet Res. 1983;44:2190-2194
- LEACH DH. Structural changes in intercellular junctions during keratinization of the stratum medium of the equine hoof wall. Acta anat. 1993;147:45-55

- LEISERING AGT, HARTMANN HM. Der Fuß des Pferdes in Rücksicht auf Bau, Verrichtungen und Hufbeschlag. 4. und 5. Aufl., Dresden: Schönfeld's Verlagsbuchhandlung; 1876 und 1882
- LEONHARDT H. Histologie, Zytologie und Mikroanatomie des Menschen, 8. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag; 1990; p. 35-39, 343
- LEU U. Vergleichende Untersuchungen über den Einfluss von oral verabreichtem Biotin auf das Hufhorn beim Pferd [Dissertation med. vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1987
- LIEBICH HG. Funktionelle Histologie. Farbatlas und Kurzlehrbuch der mikroskopische Anatomie der Haussäugetiere. 3. Aufl. Stuttgart, New York: Schattauer Verlag; 1999; p. 16, 274-277
- LINCOLN GA, CLARKE IJ. Evidence that melatonin acts in the pituitary gland through a dopamin-independent mechanism to mediate effects of daylength on the secretion of prolactin in the ram. *J Neuroendocrinol.* 1995;7:637-643
- LINCOLN GA, RICHARDSON M. Photo-neuroendocrine control of seasonal cycles in body weight, pelage growth and reproduction: lessons from the HPD sheep model. *Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol.* 1998;119:283-294
- LOCKARD AJ, REINERTSON EL. Stimulation of equine hoof wall growth using a counter irritant. *Iowa State Univ. Vet.* 1986;48:99-101
- LUNGWITZ M, SCHNEIDER H. Untersuchungen über die Huf- und Klauenkrone beim Pferd und Rind. *Anat Anz.* 1910;23:577-597
- LUNGWITZ A. Der Lehrmeister im Hufbeschlag. 14. Auflage, neu bearbeitet von LUNGWITZ M, Hannover: Verlag von M. & H. Schaper; 1913
- MATOLTSY AG. Desmosomes, filaments, and keratohyaline granules: their role in the stabilization and keratinization of the epidermis. *J Invest Dermatol.* 1975;65:127-142
- MATOLTSY AG. Keratinization. *J Invest Dermatol.* 1976;67:20-25
- MCCLINCHEY HL, THOMASON JJ, JOFRIET JC. Isolating the effects of equine hooof shape measurements on capsule strain with finite element analysis. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2003;16:67-75
- MCGREEVY P. *Equus caballus* and *Equus przewalski*. In: MCGREEVY P: *Equine behavior*. 2.ed., Edinburgh, London: Saunders; 2012; p. 2-3
- MEHREL T, HOHL D, ROTHNAGEL JA, LONGLEY M, BUNDMAN D, CHENG C, LICHTI U, BISHOP ME, STEVEN AC, STEINERT PM, YUSPA SH, ROOP DR. Identification of a major keratinocyte cell envelope protein, Loricrin. *Cell* 1990;61:1103-1112
- MEIER H. *Hoplometrie*. Berlin: Verlag Schötz; 1917
- MEYER H. *Pferdefütterung*. 3. aktualisierte Aufl. Berlin, Wien: Blackwell Wissenschaftsverlag; 1995
- MIYAKI H, OHNISHI T, YAMAMOTO T, KAMEYA T. Measurement of water contents of hoof wall, sole and frog in horses. *Exp Rep Equine Health Lab.* 1974;11:15-20
- MOELLER H. Zur Anatomie und Physiologie der Huflederhaut. *Arch Tierheilk.* 1877;3:169-194

- MOGG KC, POLLITT CC. Hoof and distal limb surface temperature in the normal pony under constant and changing ambient temperatures. *Equine Vet J.* 1992;24:134-139
- MÖLLER H. Hufpflege, Hufschutz und -beschlag. Berlin: Verlagsbuchhandlung P. Parey; 1915
- MÖLLER H. Handbuch der Pferdekunde. Berlin: Verlagsbuchhandlung P. Parey; 1919
- MÖLLER H. Grundriß des Hufbeschlages. Berlin: Verlag P. Parey; 1922
- MOLYNEUX GS, HALLER CJ, MOGG K, POLLITT CC. The structure, innervation and location of arteriovenous anastomoses in the equine foot. *Equine Vet J.* 1994;26:305-312
- MONTEIRO-RIVIERE NA, STINSON AW, CALHOUN HL. Integument. In: DELLMANN HD, Hrsg. *Textbook of Veterinary Histology*, 4. Aufl. Philadelphia: Lea & Febiger; 1993; p. 285-312.
- MOYER W. Hoof wall defects: chronic hoof wall separations and hoof wall cracks. *Vet Clin No Am Equine Pract.* 2003;19(2):463-477
- MÜLLING C. Struktur, Verhornung und Hornqualität in Ballen, Sohle und weißer Linie der Rinderklaue und ihre Bedeutung für Klauenerkrankungen [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1993
- MÜLLING C, BRAGULLA H, BUDRAS KD. The significance of the intercellular cementing substance for the quality of hoof horn. *Anat Histol Embryol.* 1994;23:56
- MUTZHAS K. Die Zusammenhänge zwischen der Hufform und den Maßnahmen beim Zubereiten des Hufes zum Beschlag [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1942
- NABU Schleswig-Holstein e.V. Konik-Pferde auf der Birk. (zit. vom 01.04.2013), <http://schleswig-holstein.nabu.de/naturerleben/zentren/geltingerbirk/beweidungskonzept/>
- NASU T, YAMANAKA T, NAKAI M, OGAWA H. Scanning electron microscopic study of the vascular supply of the equine hoof. *J Vet Med Sci.* 1998;60:855-858
- NAUMANN J. Untersuchungen zur Hornqualität bei Rind und Pferd unter besonderer Berücksichtigung der anorganischen Zusammensetzung [Dissertation med. vet.]. Berlin: Humboldt-Univ. Berlin; 1984
- NAUMANN J, DIETZ O, PRIETZ G. Untersuchungen zur anorganischen Zusammensetzung und zur Stabilität von Huf- und Klauenhorn. *Wien Tierärztl Monatsschr.* 1987;74:117-121
- NICKEL R. Über den Bau der Huf Röhrchen und seine Bedeutung für den Mechanismus des Pferdehufes. *Morph Jahrbuch* 1938;82:117-160
- NICKEL R. Anatomische Bemerkungen zur Hufrehe und zu den Durchströmungsversuchen am Huf. *Dtsch Tierärztl Wochenschr.* 1941;49:110-111
- NÖRNER C. Ueber den feineren Bau des Pferdehufes. *Archiv für mikroskopische Anatomie* 1886;28:171-224
- NOMINA ANATOMICA VETERINARIA. Herausgegeben und veröffentlicht durch: International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, 5. überarb. Aufl.; 2012

- ORLANDO L, GINOLHAC A, ZHANG G, FROESE D, ALBRECHTSEN A, STILLER M, SCHUBERT M, CAPPELLINI E, PETERSEN B, MOLTKE I, JOHNSON PL, FUMAGALLI M, VILSTRUP JT, RAGHAVAN M, KORNELIUSSEN T, MALASPINAS AS, VOGT J, SZKLARCZYK D, KELSTRUP CD, VINTHER J, DOLOCAN A, STENDERUP J, VELAZQUEZ AM, CAHILL J, RASMUSSEN M, WANG X, MIN J, ZAZULA GD, SEGUIN-ORLANDO A, MORTENSEN C, MAGNUSSEN K, THOMPSON JF, WEINSTOCK J, GREGERSEN K, RØED KH, EISENMANN V, RUBIN CJ, MILLER DC, ANTCZAK DF, BERTELSEN MF, BRUNAK S, AL-RASHEID KA, RYDER O, ANDERSSON L, MUNDY J, KROGH A, GILBERT MT, KJÆR K, SICHERITZ-PONTEN T, JENSEN LJ, OLSEN JV, HOFREITER M, NIELSEN R, SHAPIRO B, WANG J, WILLERSLEV E. Recalibrating Equus evolution using the genome sequence of an early Middle Pleistocene horse. *Nature* 2013;499(7456):74-78
- OTT EA, JOHNSON EL. Effect on trace mineral proteinates on growth, skeletal development and hoof development in yearling horses. *Proceedings of the 14th Equine Nutrition and Physiology Symposium*; 1995
- OVNICEK GD, PAGE BT, TROTTER GW. Natural balance trimming and shoeing: its theory and application. *Vet Clin N Am Equine Prac.* 2003;19(2):353-377
- PAGE BT, HAGEN TL. Breakover of the hoof and its effect on structures and forces within the foot. *J Equine Vet Science* 2002;22:258-264
- PARKS A. Form and function of the equine digit. *Vet Clin N Am Equine Pract.* 2003;19(2003):285-307
- PATAN B. Saisonaler Einfluß auf Hornbildungsrate, Hornabrieb und Hornqualität in der Hufwand von Przewalskipferden (*Equus ferus przewalskii*) [Dissertation med. vet.]. Berlin: , Freie Univ. Berlin; 2001
- PATAN B, BUDRAS KD. Segmentspezifitäten am Pferdehuf – Teil II : Zusammenhang zwischen Hornstruktur und mechanisch-physikalischen Horneigenschaften in den verschiedenen Hufsegmenten. *Pferdeheilkunde* 2003;19:177-184
- PATAN-ZUGAJ B, HERRMANN C, MÜLLING C, BUDRAS KD. Zur Geschichte des Przewalskipferdes (*Equus Przewalskii*) und morphologische Untersuchungen jahreszyklischer Veränderungen am Huf von Urwildpferden und wildlebenden Hauspferden. *Pferdeheilkunde* 2013;29:295-302
- PELLMANN R, REESE S, BRAGULLA H. Wechselwirkungen zwischen Hornstruktur und Hornqualität am Pferdehuf als Grundlage für das Verständnis von Verhornungsstörungen. *Monatsh Vet Med.* 1993;48:623-630
- PELLMANN R. Struktur und Funktion des Hufbeinträgers beim Pferd [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 1995
- PELLMANN R, BUDRAS KD, BRAGULLA H. Struktur und Funktion des Hufbeinträgers beim Pferd und seine Bedeutung bei der Hufrehe. *Pferdeheilkunde* 1997;13:53-64
- PFEIFFER W. Die Gliedmaßenwinkelung beim Berberpferd [Dissertation med. vet.]. Berlin: Friedrich-Wilhelms-Univ., Veterinärmed. Fak.; 1943
- PLISCHKE A. Anatomische Körpermessungen an lebenden Warmblutpferden, ausgeführt nach der Meßmethode von Schmaltz, unter vergleichsweiser Heranziehung des Trakehner Halbblutes [Dissertation med. vet.]. Berlin:Tierärztl. Hochsch.; 1927
- POLLITT CC. An autoradiographic study of equine hoof growth. *Equine Vet J.* 1990;22:366-368
- POLLITT CC, MOLYNEUX GS. A scanning electron microscopical study of the dermal microcirculation of the equine foot. *Equine Vet J.* 1990;22:79-87

- POLLITT CC. The dermal microcirculation of the equine foot. *Swiss Vet (Suppl.)* 1993;11:64-66
- POLLITT CC. The basement membrane at the equine hoof dermal epidermal junction. *Equine Vet J.* 1994;26:399-407
- POLLITT CC. The anatomy and physiology of the hoof wall. *Equine vet Educ.* 1998;10,6:318-325
- POLLITT CC. *Farbatlas Huf: Anatomie und Klinik.* Hannover: Schlütersche Verlag; 1999
- PRENTICE DE. Growth and weare rates of hoof horn in Ayrshire Cattle. *Res Vet Sci.* 1973;14 :133-141
- PRIETZ G. *Huf- und Klauenkunde.* 2. Auflage, Jena: Verlag VEB Gustav Fischer; 1986
- PRIETZ G, SCHREYER J. Zur Untersuchung von Hufhorn und Hufhornwachstum bei Pferden der Rasse Deutsches Reitpferd. Tagungsband der 7. Hufbeschlagstagung für Hufschmiede, Tierärzte, Trainer, Ausbilder und Besitzer am 9. Januar 1999 in Eutin
- PÜTZ AC. Monitoring von saisonalen, haltungs- und domestikationsbedingten Einflüssen auf die Hornqualität des Pferdehufes [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2006
- RASCH K. Hornrisse und Hornspalten – Ursachen, Entstehung und erfolgreiche Therapie. Tagungsmaterialien, Vortrag zur 1. Huftagung der DHG e.V. für Tierärzte und Hufbearbeiter am 13. Januar 2007 in Leipzig
- REILLY JD. ‘No hoof no horse?’ *Equine Vet J.* 1995;27:166-168
- REILLY JD, COLLINS SN, COPE BC, HOPEGOOD L, LATHAM RJ (a). Tubule density of the stratum medium of horse hoof. *Equine Vet J. (Suppl.)* 1998;26:4-9
- REILLY JD, COTTRELL DF, MARTIN RJ, CUDDEFORD DJ (b). Effect of supplementary dietary biotin on hoof growth and growth rate in ponies: a controlled trial. *Equine Vet J. (Suppl)* 1998;26:51-57
- RHEINWALD JG, GREEN H. Epidermal growth factor and the multiplication of cultured human epidermal keratinocytes. *Nature* 1977;265:421-424
- RICHTER OC. Ueber den Bau und die Funktionen der Fussenden der Perissodactyla unter besonderer Berücksichtigung der Bewegungsvorgänge am Hufe des Pferdes [Dissertation]. Zürich: Univ. Zürich, Hohe philosoph. Fak; 1905
- RICHTER G. Untersuchungen zum Hufhornwachstum und bestimmter Parameter am Huf beim Haflinger Pferd [Dipl. med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 1990
- ROBINSON NE. Digital blood flow, arteriovenous anastomoses and laminitis. *Equine Vet J.* 1990;22:381-383
- RÖDL M. Die Wilden aus der Schorfheide. *Freizeit im Sattel* 2/2005
- RÖSSNER G. Untersuchungen über die Verteilung von Hornröhrchen und Zwischenhorn in der Schutzschicht bei verschiedenen Wandstellungen am Hufe des Pferdes [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1940
- ROONEY JR. Surfaces, friction, and the shape of the equine hoof. *Online J Vet Res.* 1999;4:73-93
- RUDIK SK. Contribution to the history of the horse domestication and breeding in the Ukraine. *Hist Med Vet.* 2003;28(2):41-46

- RUPPERT E. Die Abnutzung des Tragerandes der Vorderhufe auf dem Hufeisen unter Berücksichtigung von Gliedmaßenstellung und Hufform [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1941
- RUTHE H, MÜLLER H, REINHARD F. Der Huf - Lehrbuch des Hufbeschlages. 5. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 1997
- RYAN TP. Hoof growth in normal and laminitic horses. The First International Equine Conference on Laminitis and Diseases of the Foot; Florida, Program book, 2001 Feb 8-9, p. 108-114
- SASSEN D. Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit pigmentierten und unpigmentierten Hufhornes [Dissertation med. vet.]. Berlin: Univ., Veterinärmed. Fak.; 1938
- SCHÄFER M. Handbuch Pferdebeurteilung. Stuttgart: Frankh-Kosmos Verlags-GmbH & Co.; 2000
- SCHEIBE KM, BERGER A, BUDRAS KD, BULL J, EICHHORN K, DEHNHARD M, KALZ B, LANGE B, PATAN B, SCHEIBE A, SIELING C, STREICH WJ, WEBER S. Verhaltensbiologische Untersuchungen an Przewalskipferden in einem Semireservat – was können wir für Wiederansiedlungsprojekte lernen? Vortragsband, Internationales Symposium “Naturschutz und Verhalten”, 4.-7. Oktober 1999, Göttingen
- SCHEIBE KM. Die Erben des Tarpan. Grünblick Juli 2005 (Umweltblatt Nr. 46 der Naturschutzstation Malchow)
- SCHMITT A. Verlaufsuntersuchungen zum Hufstatus von Lipizzanerpfeden mit und ohne Biotinbehandlung [Dissertation med. vet.]. Zürich: Univ. Zürich; 1998
- SCHNEIDER H. Über die Huf- und Klauenkrone beim Pferd und Rind [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig, verstärkt durch die Tierärztl. Hochschule zu Dresden; 1910
- SCHNEIDER R. Liebenthaler Pferde. Reiter Revue international 9/2004
- SCHNITKER P. Der Selbstregulierungsmechanismus der Huflänge und Hufform beim Przewalskipferd (*Equus ferus przewalskii*) [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2004
- SCHREYER J. Untersuchungen zum Hufhornwachstum und zur Hufform bei Pferden der Rasse Deutsches Reitpferd [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 1997
- SCHRÖDER A. Hornstruktur und Hornabnutzung – Untersuchungen am Klauenhorn der Harzer Rinder [Dissertation med. vet.]. Berlin: Univ., Veterinärmed. Fak.; 1970
- SCHROTH S. Anatomische und histologische Untersuchungen an den Hufen von Connemara-Ponys, Irischen Hunttern und Englischen Vollblütern [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 2000
- SCHULZE C. Untersuchungen über das Wachstum des Hufhorns der Pferde. Monatsh f prakt Tierheilk. 1911; 22
- SCHULZE PU. Liebenthaler Pferde. Pferde heute 1/2005
- SCHUMMER A. Zirkulationsfördernde Einrichtungen am Zehenendorgan des Pferdes. Dtsch Tierärztl Wochenschr. 1949;56:36-38
- SCHWARK H J. Pferdezucht. Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, DDR; 1988

- SCHWENDIMANN F. Leitfaden des Hufbeschlages. Bern: Verlag von Zimmermann & Cie. AG; 1937
- SCHWYTER H. Die Gestaltsveränderungen des Pferdefußes infolge Stellung und Gangart. Bern: Verlag von Stämpfli & Cie.; 1906
- SIMPSON GG. Die Geschichte der Pferdefamilie in der heutigen Zeit und in sechzig Millionen Jahren ihrer Entwicklung. Berlin und Hamburg: Verlag Paul Parey; 1977
- SLATER MR, HOOD DM. A cross-sectional epidemiological study of equine hoof wall problems and associated factors. *Equine Vet J.* 1997;29:67-69
- SPITZLEI S. Untersuchung zur Zusammensetzung des Hufhorns beim Pferd, deren Bedeutung für die Stabilität und Beziehung zur Nährstoffversorgung [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1996
- STASHAK TS. Adams' Lahmheit bei Pferden. 4. Auflage, Hannover: Verlag M.&H. Schaper; 1989
- STEINERT PM, ROOP DR. Molecular and cellular biology of intermediate filaments. *Annu Rev Biochem* 1988;57:593-625
- STEVEN AC, BISHOP ME, ROOP DR, STEINERT PM. Biosynthetic pathway of filaggrin and loricrin elucidated by immuno-labelling of newborn mouse epidermis. *J Cell Biol. (Suppl.)* 1989;109:258a
- STUMP JE. Anatomy of the normal equine foot, including microscopic features of the laminar region. *J Am Vet Med Assoc.* 1967;151:1588-1598
- SUSTMANN. Ein Beitrag zum Kapitel "Hufmessungen und Hufmessapparate". *Der Hufschmied* 1913;31:81-83, 96
- THOMASON JJ. Variation in surface strain on the equine hoof wall at the midstep with shoeing, gait, substrate, direction of travel, and hoof shape. *Equine Vet J. (Suppl.)* 1998;26:86-95
- THOMASON JJ, DOUGLAS JE, SEARS W. Morphology of the laminar junction in relation to the shape of the hoof capsule and distal phalanx in adult horses (*Equus caballus*). *Cells Tissues Organs* 2001;168:295-311
- TIMM A. Einfluß der Gelatinefütterung auf das Skelett-, Haar-, Knorpel- und Hufhornwachstum bei Absatzfohlen [Dissertation med. vet.]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1993
- TSCHERNE L. Über die Beziehungen der Qualität des Wandhornes der Pferdehufe zur histologischen Einrichtung desselben [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig, verstärkt durch die Tierärztl. Hochsch. zu Dresden; 1910
- TURNER TA, STORK C. Hoof abnormalities and their relation to lameness. *Proc. Ann. Conv. Am. Ass. Eq. Pract.*; 1989; 293-297
- UM YH, KIM TW, YANG IS. Relationship between hoof parameters and racing time in racehorses. *Korean J Vet Res* 1997;37:525-532
- VERMUNT JJ, GREENOUGH PR. Structural characteristics of the bovine claw: Horn growth and wear, horn hardness and claw conformation. *Br Vet J.* 1995;151:157-180
- VERSCHOOTEN FMA. Horn deformation and how it relates to load. *Swiss Vet (Suppl.)* 1993;11:50-52

- VILSMEIER A. Untersuchungen zur Hufform und zum Hufhornwachstum beim Esel (*Equus asinus*) [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig; 2004
- VOGT O. Messungen von Länge, Weite und Höhe bei verschiedenen Hufformen. *Z Veterinärk.* 1938;50:481-495
- VOLF J. Das Urwildpferd. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag; 1996
- WALZ J. Histologische Untersuchung zur Erfassung der Klauenhornqualität beim Rind [Dissertation med. vet.]. München: Univ., Tierärztl. Fak.; 1980
- WANDRUSZKA N. Hufpflege im Zoo. *Freizeitreiten und -fahren* 3, 1998; 40-46
- WANG E. Vimentin associated proteins function as structural linkage between intermediate filaments and other cellular components. *J Cell Biol. (Suppl.)* 1984;99:324a
- WARD WH, LUNDGREN HP. The formation, composition and properties of keratins. *Adv Protein Chem.* 1954;9:243-297
- WEHNER R. Lassen sich Beziehungen der Knochenachsen und Gliedmaßenwinkel zur Schrittlänge beim rheinisch-deutschen Kaltblutpferden nachweisen? [Dissertation med. vet.] Berlin: Friedrich-Wilhelm- Univ. Berlin; 1941
- WERNICKE R, VAN DIERENDONCK M. Soziale Organisation und Ernährungszustand der Konik-Pferdeherde des Naturresevates Oostvaardersplassen (NL) im Winter – eine Lehrstunde durch wild lebende Pferde. *KTBL-Schrift*, 2002; 418:78-85
- WERTZ PW, DOWNING DT. Glycolipids in mammalian epidermis: Structure and function in the water barrier. *Science* 1982;217:1261-1262
- WERTZ PW, SWARTZENDRUBER DC, KITKO DJ, MADISON KC, DOWNING DT. The role of the corneocyte lipid envelopes in cohesion of the stratum corneum. *J Invest Dermatol.* 1989;93:169-172
- WEYRAUCH KD, SMOLLIICH A. Histologie-Kurs für Veterinärmediziner. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag; 1998
- WHEELER JL, BENNETT JW, HUTCHINSON JCD. Effect of ambient temperature and daylength on hoof growth in sheep. *J Agric Sci., Camb.* 1972;79:91-97
- WILKENS H. Zur makroskopischen und mikroskopischen Morphologie der Rinderklaue mit einem Vergleich der Architektur von Klauen- und Hufhörchen [Habilschr. med. vet.]. Hannover: Tierärztl. Hochsch. Hannover; 1963
- WINTZER HJ. Der Einfluß einer Vitamin-H-Substitution auf Wachstum und Beschaffenheit des Hufhorns. *Tierärztl Praxis* 1986;14:495-500
- WISSDORF H, WILKENS H, HERTSCH B. Benennung der weißen Linie (Zona alba) des Pferdehufes. *Tierärztl Prax.* 1983;11:503-506
- WISSDORF H, HERTSCH B, WILKENS H. Beitrag zur Nomenklatur am Pferdehuf - Capsula unguulae. *Berl Münch Tierärztl Wochenschr.* 1987;100:400-404

WOLLENWEBER K. Das Verhalten einer Pferdeherde (Liebenthaler Pferde) unter naturbelassenen Lebensbedingungen im Hinblick auf chronobiologische Aspekte, klimatische Einflüsse sowie deren Raumnutzung [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2007

WYNN PC, BROWN G, MOORE GPM. Characterization and distribution of epidermal growth factor receptors in the skin and wool follicles of the sheep fetus during development. *Domest Anim Endocrinol.* 1995;12:269-281

YU J, YU D, CHECKLA DM, FREEDBERG IM, BERTOLINO AP. Human hair keratins. *J. Invest. Dermatol. (Suppl.)* 1993 ;101,No 1:565-595

VON ZADOW C. Linea alba unguis (Zona alba) - zur weißen Linie des Pferdehufes [Dissertation med. vet.]. Berlin: Freie Univ. Berlin; 2008

ZENKER W, JOSSECK H, GEYER H. Histological and Physical Assessment of Poor Hoof Horn Quality in Lipizzaner horses and a therapeutic trial with biotin and a placebo. *Equine Vet J.* 1995;27:183-191

ZIEGLER H. Über die Bildung des Hufhorns. *Schweiz Arch Tierheilkd.* 1951;93:295-307

ZIER M. Die Hornspalten des Pferdehufes und ihre Vererbung [Dissertation med. vet.]. Bern: Univ. Bern; 1910

ZIEROLD R. Über die Fleisch- und Hornblättchen der Hufhaut des Pferdes mit Ausnahme derjenigen der Eckstreben [Dissertation med. vet.]. Leipzig: Univ. Leipzig, verstärkt durch die Tierärztl. Hochsch. zu Dresden; 1910

ZIETZSCHMANN O. Zur Anatomie des Hufes vom Pferde. Betrachtungen über die Nomenklatur der Hufhautteile. *Berl Tierärztl. Wochenschr.* 1913;24:433-436

ZIETZSCHMANN O. Das Zehenendorgan der rezenten Säugetiere: Krallen, Nägel, Huf. *Schweiz Arch Tierheilkd.* 1918;60:241-272

ZIMMERMANN A. Beiträge zur Anatomie der Huf- und Klauenkrone. *Zeitschrift für Tiermedizin*, 1903;Band 7

9 ANHANG I – 9.1 ABBILDUNGEN

Abbildung 1:

Familienverband innerhalb der Liebenthaler Pferdeherde in ihrem Gehege in der brandenburgischen Schorfheide (Liebenthal / Landkreis OHV)



Abbildung 2:

Der kompakte, quadratisch gebaute Hengst „Horst“, in typischer graufalber Farbe, repräsentiert den kräftigeren Typ der Liebenthaler Pferde mit breiter Brust und stärkerem Kopf



Abbildung 3:

Stute „Mariona“ mit etwas hellerer graufalber Färbung als „Horst“ hat einen etwas eleganteren Kopf und steht hier beispielhaft für den feineren Typ der Liebenthaler Pferde. Der Halsriemen diente zur Markierung und zum schnellen Wiederauffinden der Pferde.



Abbildung 4:

Merkmale des Liebenthaler Pferdes:

(a) – Brandzeichen auf dem linken Schenkel: die ineinander verschlungenen Buchstaben L und P stehen für Liebenthaler Pferd, die Zahlen bezeichnen das Geburtsjahr (hier: Hengst „Weißer“, geboren 2003)

(b) – Zebrastreifen an den Gliedmaßen (Stute „Mariona“): diese Abzeichen werden vielfach als Merkmal einer ursprünglichen Rasse angesehen

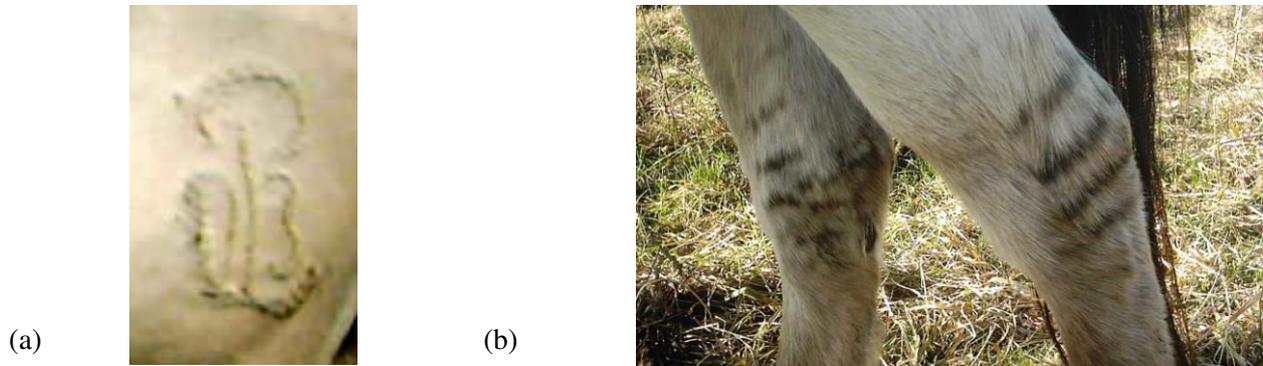


Abbildung 5:

Luftbild der Weideflächen für die Liebenthaler Pferde in der Schorfheide (modifiziert nach WOLLENWEBER, 2007)

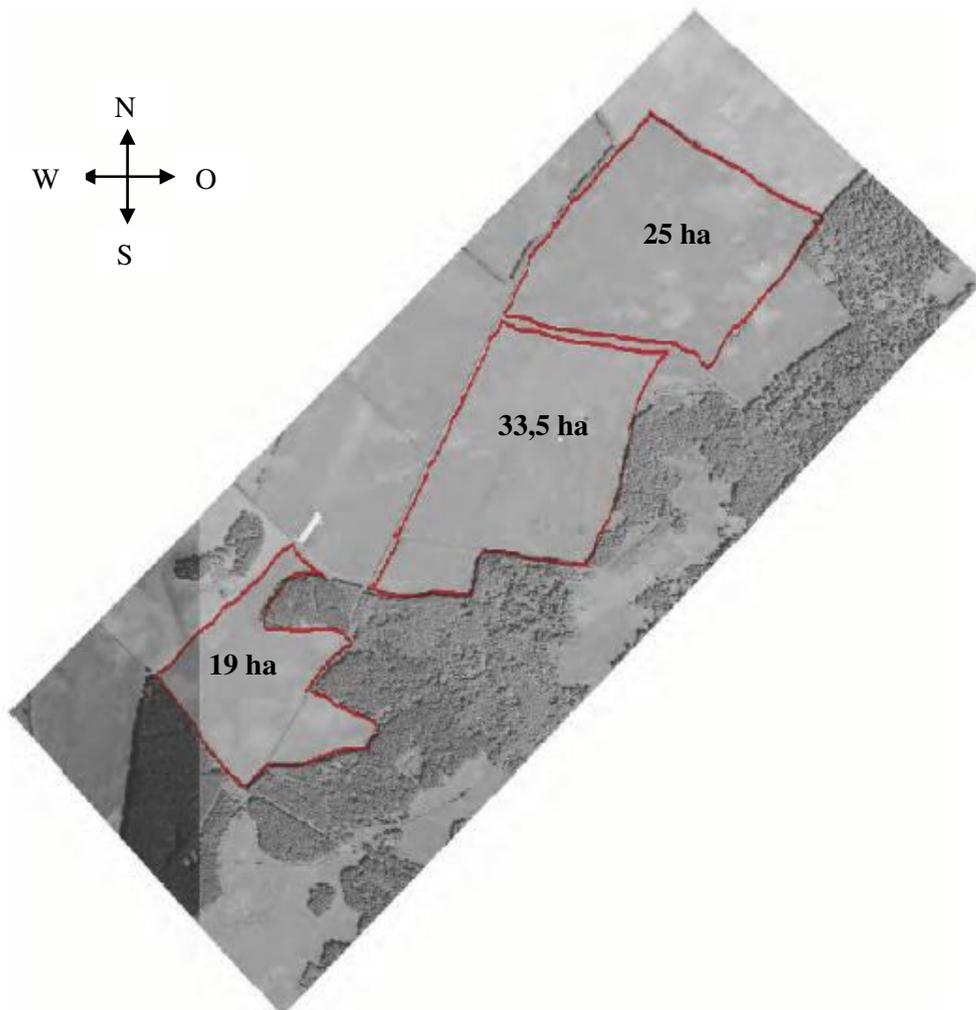


Abbildung 6:

Markierung der dorsalen Hufplatte bei einem Liebenthaler Pferd

- 1 – aktuelle Markierung
- 2 – nach distal geschobene vorhergehende Markierung



Abbildung 7:

Messung an der dorsalen Hufplatte des linken Vorderhufes bei einem Liebenthaler Pferd (Stute „Bienela“). Aufgrund der direkten Messung ist ein gewisses Gefahrenpotential erkennbar, dessen Minimierung nur durch viel Geduld und ruhigen Umgang mit den Pferden möglich war.

(Foto: S. Bartsch)



Abbildung 8:

Die Erstellung von Fotografien der Hufe war mit einigen Schwierigkeiten aufgrund der begrenzten Kooperativität der Pferde verbunden. In einigen Fällen jedoch ließen sich neben den beschriebenen Standardaufnahmen auch Aufnahmen der Sohlenfläche anfertigen (Stute „Franzi“).

(Foto: S. Bartsch)



Abbildung 9 – 12:

Verschiedene Hornspalten bei Liebenthaler Pferden und ihre Bedeutung für das Chipping



Abbildung 9



Abbildung 10

- 9 Dorsal lokalisierte, distale Hornspalte am linken Vorderhuf von Stute „Mia“. Dorsale Hornspalten sind vergleichsweise selten aufgetreten. Diese Hornspalte wird offenbar in den Chipping-Prozess mit eingebunden: Die mediale Hufkapselwand zeigt bereits eine Schrägstellung durch die von oben einwirkende Gewichtskraft, eine Sollbruchlinie zeichnet sich ausgehend von der Hornspalte in einem Übergang zwischen einem konkaven und konvexen Hornring ab (roter Pfeil). An der lateralen Hufseite ist bereits ein Tragrandausbruch vorhanden.
- 10 Lateral lokalisierte, durchgehende Hornspalte am rechten Vorderhuf von Stute „Friduline“ (grüner Pfeil = Kronsaum und Endpunkt der Spalte). Hornspalten dieser Art waren häufig, vor allem bei älteren Pferden, zu finden. Die Abbildung macht deutlich, dass durch einen langen Rückenteil der Hufplatte die Spreizwirkung aufgrund der einwirkenden Gewichtskraft beim Aufsetzen und Abrollen (blauer Pfeil) noch verstärkt wird und die Spaltenränder dementsprechend bei jedem Schritt auseinanderweichen (rote Pfeile). Durch diese ständige Bewegung der Spaltenränder besteht kaum Aussicht auf Ausheilung der Hornspalte. Das von oben zusammenhängend (der Kronsaum ist in diesem Fall nicht beschädigt) nachwachsende Horn wird zu sehr mechanisch belastet, was zu einem erneuten Auseinanderklaffen führt. Durchgehende Hornspalten sind in ihrer Gesamtausdehnung nicht für den Prozess des Chipping nutzbar. Der distale Teil dieser Spalten kann aber durchaus ein Chipping einleiten. In diesem Fall ist ein durch Chipping hervorgerufener Tragrandausbruch auf der lateralen Hufseite zwischen Spalt und Hufrücken sichtbar (weißer Pfeil), der den Tragrand in diesem Bereich bis zum Niveau der Hufsohle eingekürzt hat.

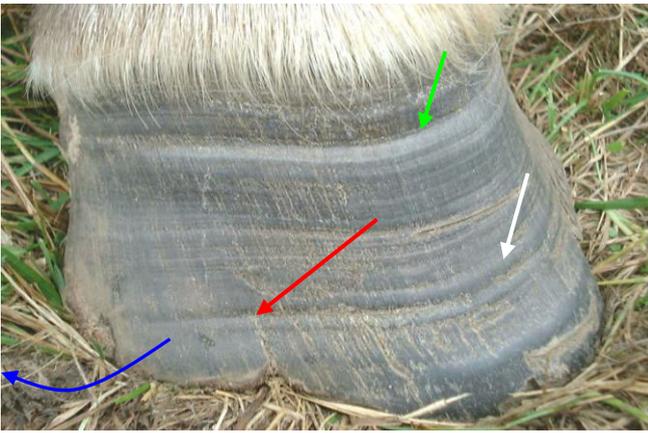


Abbildung 11



Abbildung 12

- 11 Lateral lokalisierte, distale Hornspalte am rechten Vorderhuf von Stute „Franzi“ (roter Pfeil). Mit Hornspalten dieser Art beginnt meist das Chipping (vgl. Abbildung 17). Gut zu erkennen ist die vorangegangene Verbreiterung des Hufes aufgrund einer Ausweitung und zunehmenden Schrägstellung der Seiten- und Trachtenwand (blauer Pfeil). Des Weiteren lassen sich die Hornringe (Areale unterschiedlicher Hornqualität nach SCHNITKER, 2004) gut erkennen (grüner Pfeil = konkaver Hornring, weißer Pfeil = konvexer Hornring). Sie sind bedeutend für einen funktionierenden physiologischen Ausbruchmechanismus.
- 12 Laterale lokalisierte, distale Hornspalten am linken Vorderhuf von Stute „Karla“ (rote Pfeile). Wie dieses Foto zeigt, können auch durchaus mehrere Hornspalten in einem Hufkapselareal auftreten. Wenn diese Spalten für das Chipping relevant werden, tritt der Ausbruch des Hornchips zwischen den beiden Spalten auf (gepunktete weiße Linie). Der Einlieger zeigt ein Beispiel, bei dem dieser Prozess bereits vollzogen ist (linker Vorderhuf von Stute „Mia“, weißer Pfeil).

Abbildung 13 – 24:

Entstehung von Hornchips und Tragrandausbrüchen bei Liebenthaler Pferden



Abbildung 13 (a)



Abbildung 13 (b)

- 13 Lateral lokalisierter Hornchip ((a); blauer Pfeil) mit darauf folgendem Tragrandausbruch ((b); roter Pfeil) am linken Hinterhuf von Stute „Bienela“. An der lateralen Hufseite erfolgt meist der Beginn der abrupten Einkürzung der Hufwand durch Chipping. Der Entstehung des Hornchips geht die Bildung einer distalen Hornspalte (weißer Pfeil, vgl. Abbildung 11) voraus. Diese Bilder zeigen, dass nicht unbedingt zwei nebeneinanderliegende Hornspalten zum Herausbrechen eines Chips benötigt werden. Die Fotografien sind am selben Tag aufgenommen.

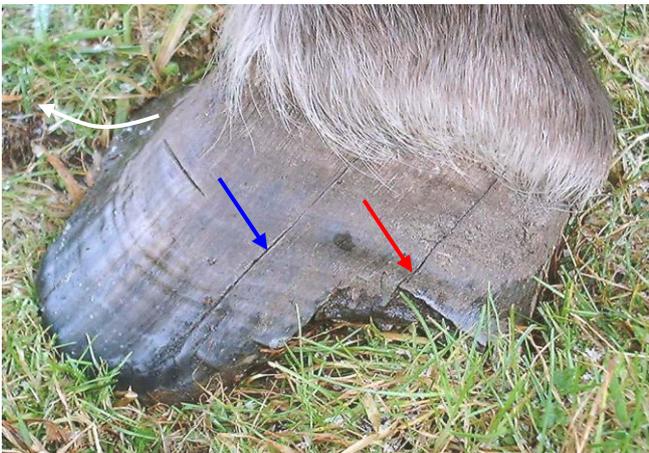


Abbildung 14

- 14 Lateraler Tragrandausbruch am linken Hinterhuf von Stute „Mida“. Für diesen Tragrandausbruch wurden eine der beiden durchgehenden lateralen Hornspalten (roter Pfeil) sowie mehrere kleinere distale Hornspalten genutzt. Die zweite durchgehende laterale Hornspalte (blauer Pfeil) war nicht in diesen Chipping-Prozess eingebunden. Sowohl der dorsale als auch der mediale Tragrandanteil weisen hier (noch) keine Tragrandausbrüche auf. Die mediale Seite weist allerdings schon erste Anzeichen des Chipping-Prozesses auf: es zeigt sich eine Hufverbreiterung im Seitenteil sowie eine vermehrte Schrägstellung der medialen Seitenwand (weißer Pfeil).



Abbildung 15



Abbildung 16

- 15 Rechter Hinterhuf einer nicht vermessenen Liebenthaler Stute. Erkennbar ist ein frischer Tragrandausbruch auf der lateralen Hufseite (rote Pfeile) mit einem ansonsten abgerundet und geradlinig verlaufendem Tragrand. Der Tragrand an der frisch herausgebrochenen Stelle ist noch nicht in Reibung mit dem Untergrund (weißer Pfeil), folglich kann hier zunächst kein Hornabrieb zur Glättung der unregelmäßigen Kontur erfolgen. Der daneben gefundene Hornchip (Einlieger) ist offenbar direkt vor Anfertigung der Fotografie herausgebrochen.
- 16 Linker Hinterhuf von Hengst „Weißer“ mit lateralem Tragrandausbruch. Sichtbar ist hier in geringem Maße freiliegendes Blättchenhorn (roter Pfeil). Durch die unterschiedlichen Hornqualitäten der einzelnen Kronhornzonen und des Wandhorns der Hufkapsel kann es bei einem Ausbruch zu einer Separation der Kron- und Wandhornschichten voneinander bis zur Höhe der Hufsohle kommen. Dadurch kann das Kronhorn ein wenig weiter proximal als das Wandhorn abbrechen, was Teile des Wandhorns dann auch von außen sichtbar macht.



Abbildung 17



Abbildung 18

- 17 Hornchipbildung an der medialen Seitenwand (roter Pfeil) am rechten Hinterhuf von Stute „Medina“. An der lateralen Wandseite ist das Chipping bereits erfolgt, erkennbar an dem gezackt erscheinenden Tragrand (blaue Pfeile). Der Tragrand der Dorsalseite (weißer Pfeil) ist glatt und regelmäßig geformt, hier hat noch kein vermehrter Hornverlust durch Chipping stattgefunden. Das Foto verdeutlicht die bei Liebenthaler Pferden vorkommende Reihenfolge beim Chipping: zuerst ist die laterale Seitenwand betroffen, dann die mediale und zum Schluss folgt die Einkürzung des Hufrückens.
- 18 Linker Hinterhuf von Stute „Franzi“ mit medialem Hornchip (roter Pfeil). Die laterale Seitenwand ist bereits deutlich kürzer, so dass hier bereits ein verstärkter Hornverlust erfolgt sein muss.



Abbildung 19



Abbildung 20

- 19 Rechter Vorderhuf von Hengst „Horst“. Nach Einkürzung der lateralen und medialen Seitenwände verbleibt ein langer Hufrücken (roter Pfeil), der in einem relativ flachen Winkel zum Boden steht. Dadurch vergrößern sich die Hebelkräfte, die beim Abfußen auf das Hufhorn wirken. Dies lässt das Chipping an der dorsalen Hufwand einsetzen.
- 20 Großer, dorsaler Hornchips am linken Vorderhuf von Stute „Frohna“ (roter Pfeil). Dieser Hornchip ist verantwortlich für den größten innerhalb dieser Untersuchung beobachteten Hornverlust von 54,73 mm / 28 Tage. Während am Messtag im Mai die dorsale Hufrückenlänge 114 mm betrug, war am Messtag im Juni nur noch ein Wert von 76 mm zu messen. Das Foto wurde am 28.05.2005 aufgenommen. Deutlich sichtbar sind die schon vor Herausbrechen des medialen Hornchips eingekürzten medialen und lateralen Hufwände sowie die hieran beteiligten Hornspalten.



Abbildung 21 (a)



Abbildung 21 (b)

- 21 Rechter Hinterhuf von Stute „Mida“, Fotografien am selben Tag aufgenommen. Ebenso wie der linke Hinterhuf (vgl. Abbildung 14) zeigt auch der rechte Hinterhuf der Stute zwei laterale Hornspalten (blaue Pfeile), von denen jedoch nur eine durchgehend bis zum Kronsaum ist (durchgezogener blauer Pfeil). An diesem Huf hat der Prozess des Chipping bereits lateral und medial einen zerfurchten Tragrand hinterlassen (weiße Pfeile). Es hat sich im Anschluss ein Hornchip an der dorsalen Hufkapselwand gebildet ((a); roter Pfeil), der kurz darauf abbricht und einen frischen Tragrandausbruch hinterlässt ((b); roter Pfeil). (vgl. Abbildung 20 zur unterschiedlichen Größe dorsaler Hornchips)



Abbildung 22 (a)



Abbildung 22 (b)

- 22 Rechter Vorderhuf von Stute „Miriam“. Diese Fotografien sind am selben Tag aufgenommen und zeigen, dass es nicht immer ein einziger Hornchip sein muss, dessen Abbrechen zur Verkürzung der dorsalen Hufwand führt. In diesem Fall kam es durch das Vorhandensein mehrerer kleiner Hornspalten am Huf Rücken zur Bildung mehrere kleiner Hornchips ((a); rote Pfeile), die nahezu zeitgleich von der Hufwand abbrachen und einen Tragandausbruch hinterließen ((b); blaue Pfeile). Nur ein Hornchip verblieb noch etwas länger an der Hufwand ((b), roter Pfeil). Auch an diesem Huf sind vor dem Chipping an der Dorsalseite die Seitenwände schon eingekürzt.



Abbildung 23 (a)



Abbildung 23 (b)

- 23 Rechter Vorderhuf von Hengst „Domenik“. Zwischen beiden Fotos liegt ein Zeitraum von einem Monat ((a) – November 2004, (b) – Dezember 2004). Diese Fotos zeigen, dass ein Chipping zur Huf Längenregulation bei den Liebenthaler Pferden (im Gegensatz zu den Przewalskipferden) auch in der kälteren Jahreszeit vorkommt. Nahezu die gesamte mediale und dorsale tragrandnahe Hufkapselwand ist von diesem Ausbruch betroffen, lateral fand bereits vorhergehend eine Einkürzung der Wand statt ((a); gelber Pfeil). Nach dem Herausbrechen des halbmondförmigen Hornchips (rote Linie) wird ein Huf in nahezu regelmäßiger Form hinterlassen (b), geringgradige Unregelmäßigkeiten des Tragrandes (weiße Pfeile) gelangen schnell durch Bodenkontakt in Reibung mit dem Untergrund und werden dadurch vermehrt abgerieben.

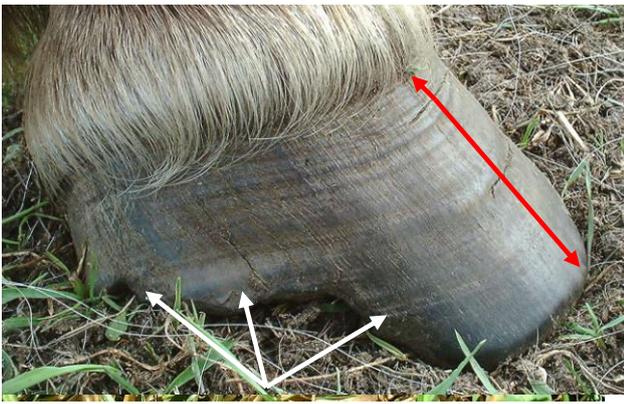


Abbildung 24 (a)



Abbildung 24 (b)

- 24 Rechter Hinterhuf von Hengst „Horst“. Abbildung (a) wurde im Mai aufgenommen, Abbildung (b) im Juni. Während der Huf im Mai (a) einen langen Hufrücken (roter Pfeil) mit eingekürzten Seitenwänden (weiße Pfeile) aufweist, ist im Juni (b) die Längenregulation bereits abgeschlossen. Der Tragrand ist auf das Niveau der Hufsohle gekürzt, durch den stets bei Kontakt mit dem Untergrund wirkenden Hornabrieb erscheint er schon gleichmäßig konturiert und ohne die nach frischen Ausbrüchen zu beobachtenden Zacken (vgl. Abbildung 17 und 21). Der Huf hat im Juni eine regelmäßige Form.

Abbildung 25 – 27:

Hufformveränderungen im Rahmen des Chipping von der Sohlenfläche aus betrachtet (am liegenden Pferd aufgenommen)

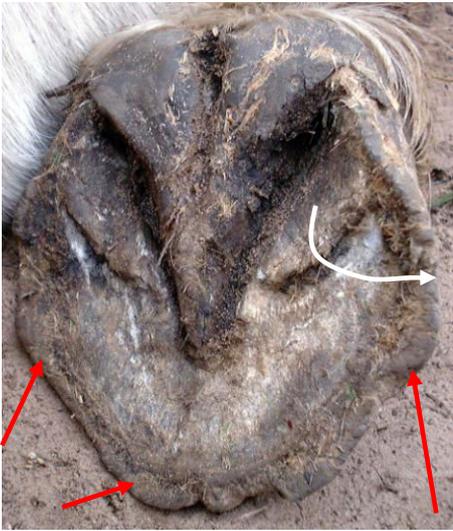


Abbildung 25



Abbildung 26

25 Rechter Vorderhuf von Hengst „Tatar“. Der Tragrand hat durch das im Verhältnis zum Hornverlust gesteigerte Hornwachstum der Hufwand allseits einen deutlichen Überstand (rote Pfeile) über die Hufsohle gebildet. Der Huf wirkt verbreitert, die laterale Eckstrebenwand bewirkt durch ihre vermehrte Schrägstellung einen zusätzlichen Druck auf Trachten- und Seitenwand nach außen (weißer Pfeil). Die anatomischen Voraussetzungen für das Chipping liegen somit vor. Durch die Verbreiterung entstehen leicht Hornspalten, die dann durch die beim Fußungsvorgang auftretenden Druck- und Hebelkräfte über Querrisse im Horn an prädisponierten Stellen miteinander verbunden werden und schließlich für die Herauslösung eines Hornchips sorgen.

26 Rechter Hinterhuf von Hengst „Weißer“, am liegenden Pferd aufgenommen. An der lateralen Seite hat das Chipping mit der Bildung von Hornspalten eingesetzt (weiße Pfeile), während die dorsale und mediale Seite jeweils noch einen deutlichen Tragrandüberstand haben (rote Pfeile).

27 Linker Vorderhuf von Hengst „Tatar“. Die laterale Seiten- und Trachtenwand ist bereits bis auf das Sohlenniveau eingekürzt (rote Pfeile), während der Tragrand auf der medialen und dorsalen Seite noch deutlich über die Sohlenhöhe herausgewachsen ist. Auf der medialen Seite setzt gerade das Chipping zur Hufkürzung ein, erkennbar an dem durch mehrere kleinere distale Hornspalten „ausgefranst“ erscheinenden Tragrand (blaue Pfeile).

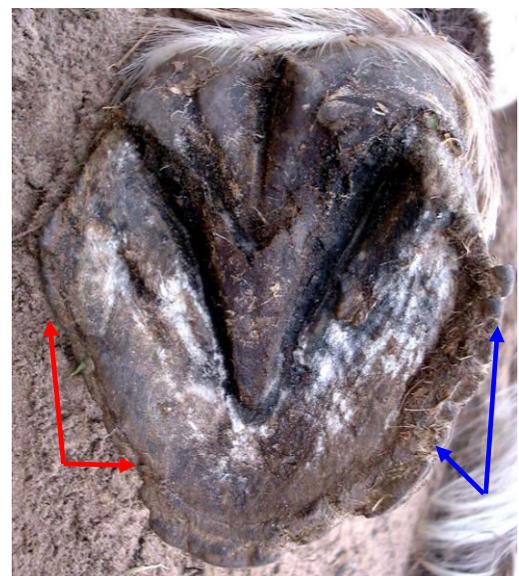
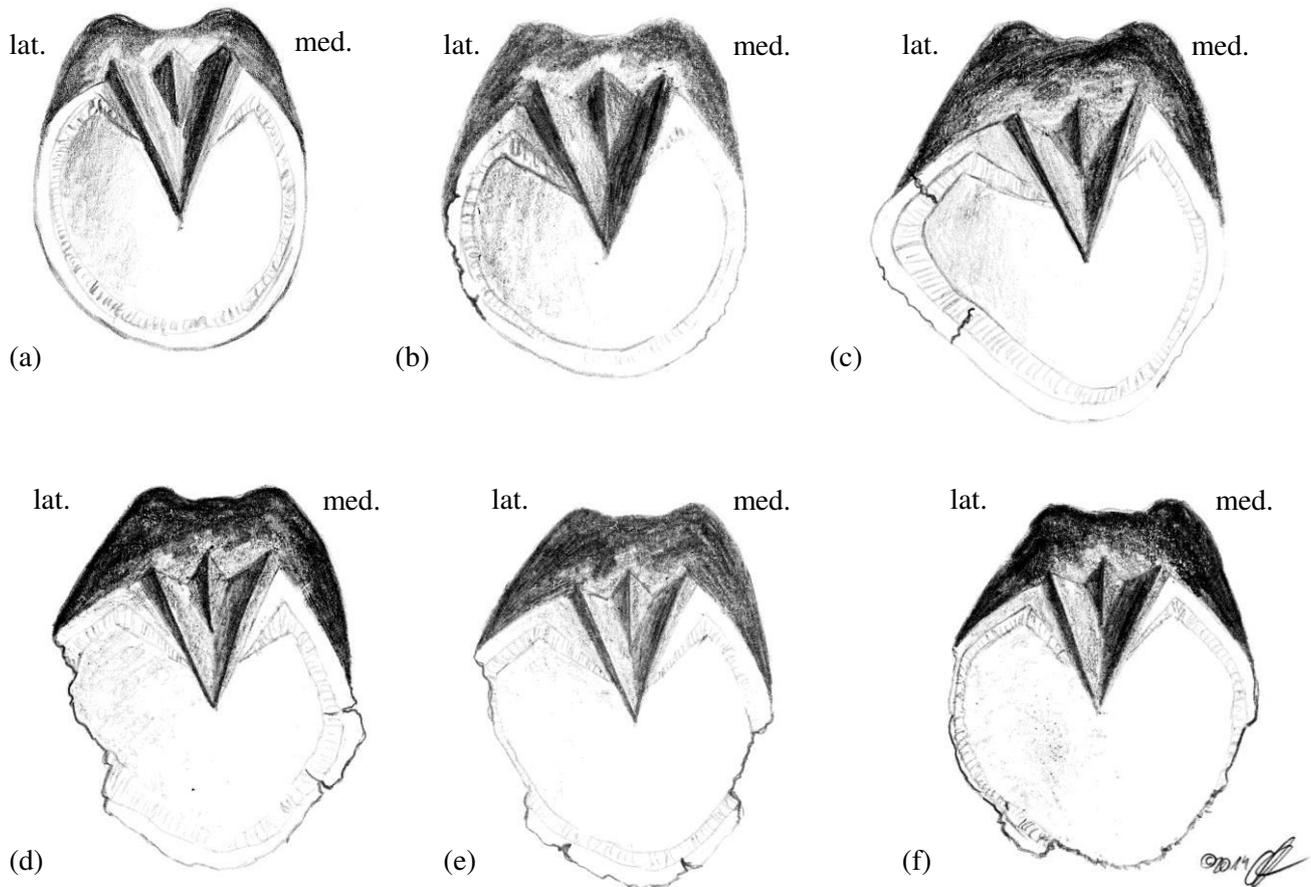


Abbildung 27

Abbildung 28 a-f:

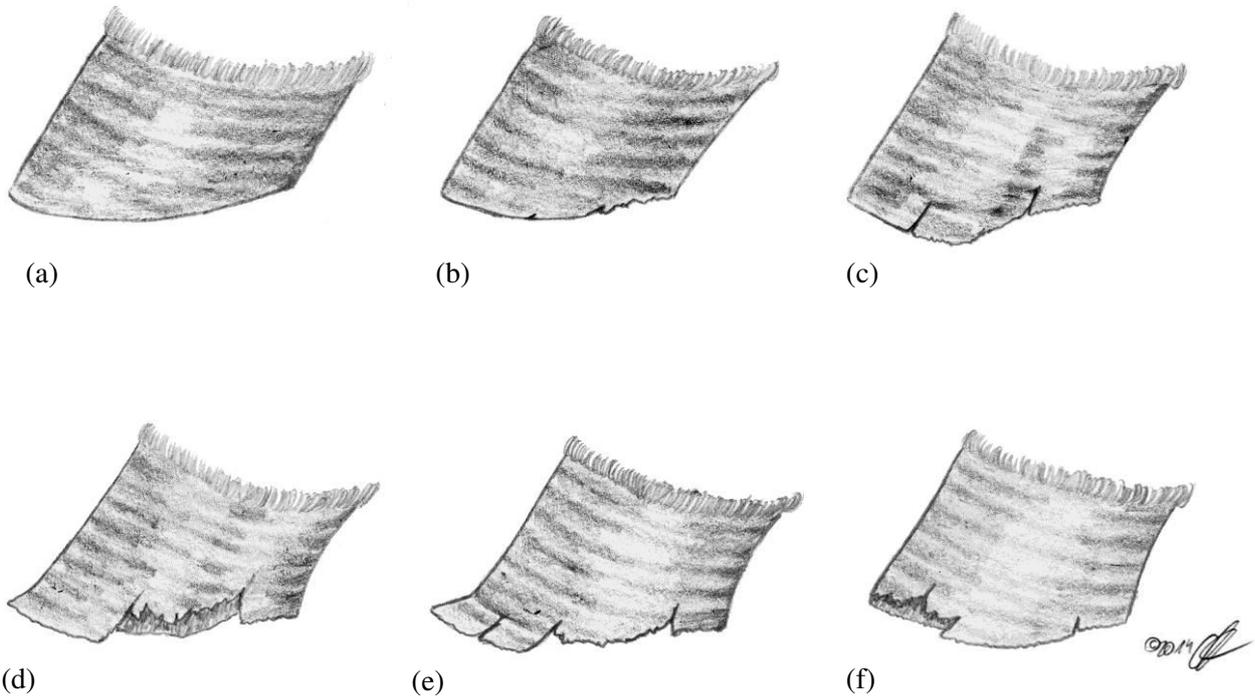
Schematische Darstellung des Chippingprozesses am Huf von Liebenthaler Pferden, Betrachtung von der Sohlenfläche (palmar/plantar) aus



Ausgehend vom regelmäßigen Huf (a) entsteht durch den ständigen Hornnachschiebung von proximal in Verbindung mit geringerem Abrieb aufgrund weicher Bodenverhältnisse ein verbreiteter Huf mit leicht untergeschobenen Trachten und einem Tragrandüberstand (b). Besonders auf der lateralen Hufseite (lat.) ist dieser Prozess deutlich, da hier die Hufkapselwand meist schräger steht als medial (med.). Auch die durch den Hornnachschiebung in Verbindung mit wenigem Abrieb verlängerten und sich dadurch schräg stellenden Eckstrebenwände (vgl. Abbildung 25) drücken die Trachten- und Seitenwand des Hufes im Sinne einer Hufverbreiterung vermehrt nach außen, was die Entstehung von (hier physiologischen) Seiten- und Trachtenwandhornspalten begünstigt (c). Die schräg stehenden Seitenwände werden dann bei Belastung vermehrt nach außen gehelbt, was die entstandenen Spalten vergrößert. Durch die Druck- und Hebelkräfte entsteht ein Querriss in Höhe der Unterfläche des Sohlenhorns in der Hufkapselwand, der schließlich zum Herausbrechen eines Hornchips führt und einen Tragrandausbruch an der Hufkapsel hinterlässt (d) (vgl. Abbildung 27). Parallel dazu entstehen bei ungenügendem Abrieb auch auf der medialen Hufseite (med.) nach dem gleichen Mechanismus Spalten (e), die ebenfalls Hebelkräften ausgesetzt sind und durch das Ausbrechen eines Chips einen Tragrandausbruch verursachen (e). Die nun sehr lange dorsale Hufwand wird besonders beim Abfußen Scher- und Hebelkräften unterworfen, die auch an dieser Stelle zu einer Bildung von Spalten (e) und schließlich zum Tragrandausbruch führen (f). Es entsteht durch diese Prozesse ein zerfurcht erscheinender Tragrand in Höhe der Sohlenfläche, der bei Erreichen von Bodenkontakt durch den dann fortwährenden Hornabrieb geglättet wird. Eventuell noch vorhandene kleinere Tragrandüberstände werden auch durch verstärkten Abrieb gekürzt.

Abbildung 29 a-f:

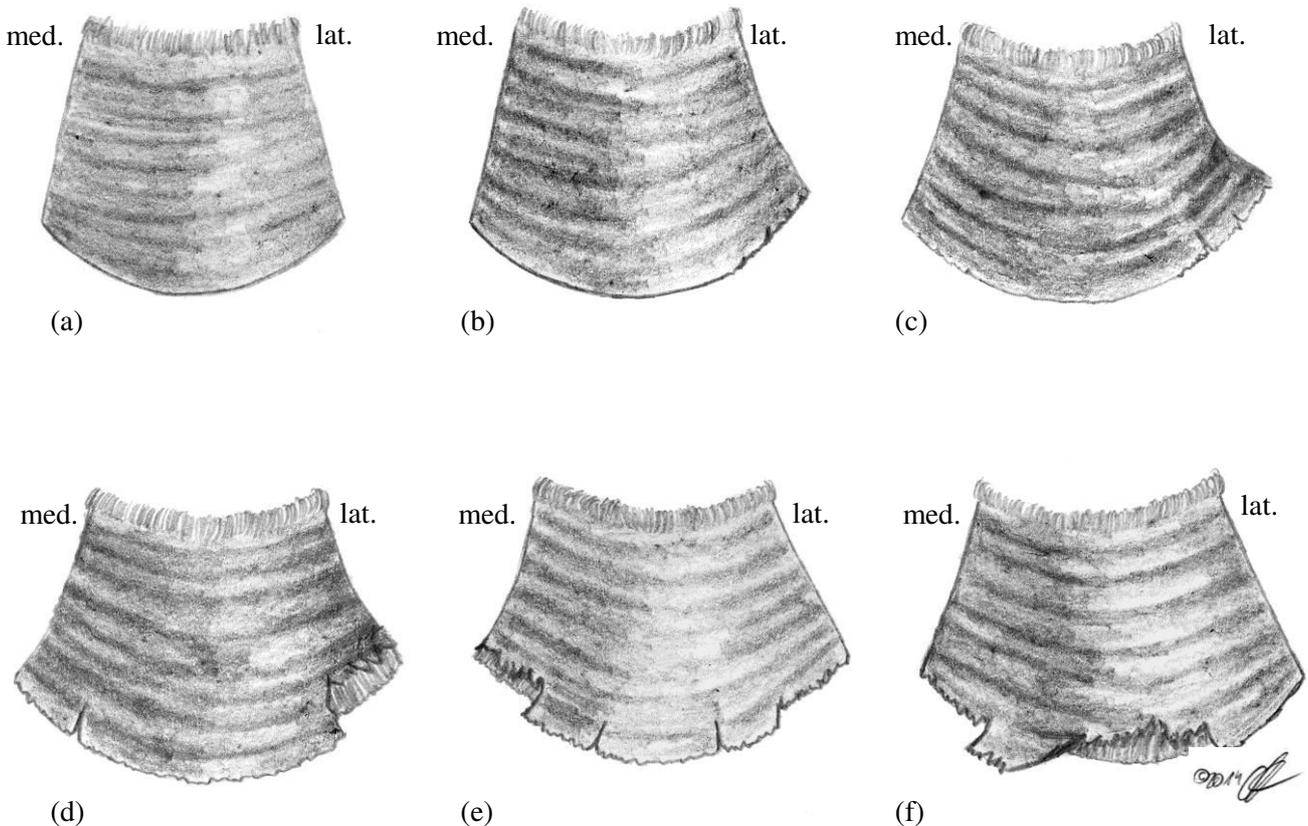
Schematische Darstellung des Chippingprozesses am Huf von Liebenthaler Pferden, Betrachtung von lateral



Der regelmäßige Huf (a) verlängert sich in seiner Hufwand zunächst gleichmäßig. Im Seiten- und Trachtenwandbereich kommt es aufgrund des hierdurch bedingten Trachtenunterschubs in Verbindung mit einer Verbreiterung des Hufes (b) (vgl. Abbildung 11) zu Bildung von (physiologischen) Hornspalten (c) (vgl. Abbildung 12). Diese verlängern sich bis auf Höhe des Sohlenniveaus. Durch einen dann erfolgenden Querriss an einer präformierten Stelle der Hornwand (Horn minderer Qualität, z.B. konvexer Hornring) kommt es zum Ausbrechen eines Hornchips, was an der Hufwand einen Tragrandausbruch mit gezackt erscheinender Kontur hinterlässt (d) (vgl. Abbildung 17). Dieser Ausbruch befindet sich auf Höhe der Hufsohle und kann aufgrund seiner unregelmäßig geformten Kontur auch freiliegendes Blättchenhorn zeigen (vgl. Abbildung 16). Durch fortwährenden Hornzellnachschieb von proximal in Verbindung mit der Bildung weiterer Querrisse im Rahmen des Chippings an der medialen und dorsalen Hufkapselwand (e) (vgl. Abbildung 21 und 22) kommt die Stelle des Tragrandausbruches bald wieder in Reibung mit dem Untergrund und wird durch den dann einsetzenden Abrieb geglättet (f) (vgl. Abbildung 24 (b)).

Abbildung 30 a-f:

Schematische Darstellung des Chippingprozesses am Huf von Liebenthaler Pferden, Betrachtung von dorsal



Auch von der Dorsalseite des Hufes ist, schematisch ausgehend vom regelmäßigen Huf (a), zunächst eine Hufverbreiterung erkennbar (b). Hierdurch verstärken sich die beim Fuß einwirkenden Hebelkräfte und es kommt meist zunächst lateral (lat.) zur Bildung von (in diesem Sinne physiologischen) Seiten- und Trachtenwandhornspalten (c). Von dorsal gesehen kann man ebenfalls die Bildung eines Querrisses in Höhe der Hufsohle zwischen den Spalten, gefolgt vom Ausbrechen eines Hornchips, beobachten (d). Im weiteren Verlauf erscheinen auch die medialen (med.) (vgl. Abbildung 18) Tragrandabschnitte zunehmend gefurchter und rissiger (d), so dass Ausbrüche zunächst im medialen Bereich des Tragrands folgen (e). Dadurch entsteht eine im Verhältnis zu den anderen Hufabschnitten verlängerte dorsale Hufwand (vgl. Abbildung 19 und 24 (a)), die beim Fußungsvorgang deutlichen Hebelkräften ausgesetzt ist. Diese mechanische Belastung führt im Zusammenhang mit einer hier physiologischen Strukturschwäche des Hufhorns (Prädilektionsstellen für Querrisse) zur Bildung eines oder mehrerer (vgl. Abbildung 20, 22 (a) und 23 (a)) Hornchips, die nach dem Herausbrechen einen Tragrandausbruch hinterlassen (f). Kleinere Überstände des nun gezackt erscheinenden Tragrandes werden durch vermehrten Hornabrieb eingekürzt, so dass die Tragrandkontur danach wieder gleichmäßiger erscheint (vgl. Abbildung 23 (b)).

9 ANHANG I – 9.2 TABELLEN**WERTETABELLEN ALS GRUNDLAGE DES ERGEBNISTEILS**

Tabelle 1: Monatliche Dorsallänge der Hufkapsel, gemessen am äußeren Kronhorn, bei Liebenthaler Pferden [mm]
(vr = rechter Vorderhuf, vl = linker Vorderhuf, hr = rechter Hinterhuf, hl = linker Hinterhuf)

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.		Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf														
1 Horst	vr	95	99	100	105	113	73	78	74	85	83	85	70	88	90
	vl	108	110	113	120	68	73	80	86	91	88	94	86	95	100
	hr	89	87	91	91	97	99	75	74	80	80	84	85	85	84
	hl	91	94	94	97	101	72	74	80	81	86	87	88	86	89
2 Frilla	vr	81	87	85	88	95	76	79	78	72	83	73	79	76	79
	vl	87	91	90	94	98	78	80	69	72	76	81	80	80	82
	hr	85	81	76	67	76	76	74	74	72	78	81	73	78	80
	hl	80	83	79	78	82	75	80	81	73	76	75	78	80	78
3 Max	vr	86	88	82	81	89	91	91	72	78	76	82	77	83	84
	vl	80	84	81	81	85	89	72	79	74	81	77	80	80	80
	hr	79	82	82	79	78	77	78	79	73	81	80	82	82	82
	hl	85	83	83	82	66	70	68	74	81	68	85	71	85	84
4 Mida	vr	89	94	96	94	98	77	82	87	92	63	87	67	87	87
	vl	95	97	94	98	101	82	80	84	84	86	90	89	92	92
	hr	97	101	93	91	97	103	75	83	95	88	95	85	100	98
	hl	105	108	110	115	117	104	82	90	94	92	100	94	103	105
5 Medina	vr	88	90	87	85	91	71	76	78	82	79	83	83	86	86
	vl	88	91	85	84	88	89	76	76	80	78	81	82	83	84
	hr	81	83	84	83	87	92	91	72	72	74	77	77	80	79
	hl	84	85	85	85	86	89	88	77	75	80	80	76	80	81
6 Domenik	vr	64	69	68	67					80		85		88	65
	vl	91	84	85	89					75		82		85	89
	hr	102	102	101	104					90		98		94	97
	hl	98	100	100	106					90		93		93	93
7 Mirabella	vr	81	81	76	78	84	88	68	65	73	72	78	74	77	79
	vl	77	77	76	75	81	82	80	70	66	73	74	73	71	76
	hr	80	81	80	84	88	83	89	91	76	93	73	92	75	76
	hl	81	78	79	81	82	86	87	89	70	86	74	80	76	75
8 Karla	vr	85	86	89	87	94	97	75	69	79	79	81	80	82	83
	vl	89	89	90	92	97	99	72	73	84	79	84	80	87	88
	hr	88	89	88	85	92	95	105	77	75	70	80	73	83	84
	hl	86	88	85	85	88	91	96	86	80	89	81	72	82	83
9 Tobi	vr	96	99	97	98	103	70	77	84	85	85	92	86	93	95
	vl	94	97	93	97	101	73	80	83	83	84	92	88	95	93
	hr	82	85	83	80	86	91	84	90	75	81	78	82	81	80
	hl	81	82	78	78	84	90	86	88	75	93	78	78	77	78
10 Kneli	vr	100	101	106	112	117	71	73	78	81	80	85	79	92	98
	vl	98	101	103	105	111	116	76	81	78	84	81	77	86	93
	hr	93	96	97	98	100	102	82	83	75	83	80	88	85	86
	hl	89	88	88	82	84	84	77	80	75	70	80	75	84	84

Fortsetzung der Tabelle 1:

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.		Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf														
11 Mia	vr	81	81	81	81	86	91	68	74	77	78	77	77	76	81
	vl	80	82	80	78	85	88	70	71	76	77	74	80	79	78
	hr	80	80	83	85	89	92	95	78	68	80	77	84	75	78
	hl	88	91	82	86	91	95	71	71	82	73	84	78	84	87
12 Raufbold	vr	73	78	60	66	75	74	80	86	66	84	68	81	70	75
	vl	76	78	78	84	81	83	81	73	70	76	72	73	72	73
	hr	75	79	71	75	81	85	79	70	62	75	70	79	73	75
	hl	76	79	73	77	81	86	81	82	67	77	71	77	72	76
13 Tatar	vr	78	79	79	85	85	64	69	67	70	70	73		74	75
	vl	77	77	72	77	76	63	65	67	72	72	73		75	74
	hr	81	80	75	77	80	82	66	67	69	70	73		76	76
	hl	77	72	70	72	75	78	62	65	65	70	72		73	76
14 Merkur	vr	89	84	85	91	74	81	87	76	74	86	77	90	80	85
	vl	84	88	82	89	94	75	81	87	79	81	79	91	75	78
	hr	91	93	91	93	100	103	76	82	75	88	82	92	85	88
	hl	95	97	95	101	106	82	82	89	80	92	85	99	86	90
15 Mary	vr	77		77	81	82				68		75		73	77
	vl	80	83	84	81	82				71		73		74	79
	hr	80		84	78	80				72		77		76	76
	hl	82		83	82	78				74		77		77	79
16 Miriam	vr	81	79	72	79	82	84	76	74	73	77	73	80	75	79
	vl	77	80	71	71	74	77	73	75	75	72	74	75	75	75
	hr	81	81	83	83	87	88	80	71	73	75	78	78	81	81
	hl	93	96	94	96	102	70	75	74	100	79	93	78	88	89
17 Botan	vr	75	77	71	73	79	79	75	72		76	71	64	69	74
	vl	75	70	70	71	78	81	81	81		74	72	75	69	73
	hr	77	75	76	76	78	79	80	82		86	75	85	76	75
	hl	74	72	75	73	80	83	78	83		75	73	77	70	72
19 Bienelina	vr	84	84	78	79	86	73	71	68	76	74	76	71	77	82
	vl	82	83	79	80	82	61	68	70	72	72	76	72	79	79
	hr	79	80	79	82	82	86	82	85	72	79	76	81	75	77
	hl	77	80	70	70	74	74	63	64	71	66	75	70	73	75
20 Weißer	vr	71	78	62	66	73	72	73	62	75	72	70	75	71	71
	vl	70	73	72	72	71	65	76	60	72	68	71	75	66	70
	hr	80	84	78	69	75	80	79	68	70	75	76	82	78	77
	hl	80	86	74	77	79	78	82	77	74	72	75	77	75	78
21 Franzi	vr	92	93	90	93	98	101	74	80	80	82	83	79	88	88
	vl	90	89	88	88	89	95	67	73	80	77	81	78	86	86
	hr	88	85	85	81	86	89	89	87	76	76	82	78	84	84
	hl	82	82	82	84	84	87	88	88	72	82	79	71	77	79
22 Mariona	vr	82	83	85	87	93	68	74	78	78	80	79	78	79	82
	vl	87	89	87	88	92	69	72	75	77	80	79	82	81	86
	hr	90	91	81	84	87	87	89	81	79	81	85	82	85	88
	hl	90	93	90	92	94	94	67	71	74	77	83	79	86	88
23 Raiko	vr	92	94	91	94	100	69	75	79	85	85	85	86	87	88
	vl	89	91	83	87	88	84	75	76	80	85	81	76	84	87
	hr	88	87	86	89	93	97	98	98	75	76	82	79	84	87
	hl	92	91	90	92	93	95	75	79	85	80	90	79	91	88

Fortsetzung der Tabelle 1:

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.		Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf														
24 Bienela	vr	86	88	79	82	84	72	72	73		75	80	78	80	83
	vl	77	76	80	81	83	71	72	71		76	74	73	75	76
	hr	81	83	72	76	79	78	74	72		75	83	77	79	79
	hl	82	81	77	79	81	80	81	75		72	77	74	77	77
25 Frohna	vr	101	106	104	105	112	112	117	79	74	81	82	86	88	92
	vl	101	109	108	109	114	76	80	84	90	79	100	81	100	98
	hr	93	92	94	96	101	105	85	79	85	80	86	90	89	89
	hl	93	96	93	93	84	90	81	82	83	91	82	88	86	91
26 Mutan	vr				79	80	83	70	71		74		78		
	vl				80	81	80	72	70		75		75		
	hr				87	84	89	65	68		71		75		
	hl				82	85	86	90	79		76		78		
27 Friduline	vr						90	85	77		82		79		
	vl						109	68	71		76		72		
	hr						88	90	75		79		79		
	hl						86	72	77		81		79		
MW		85,21	86,76	84,23	85,45	87,84	83,92	78,42	77,01		77,86		79,77	81,28	82,69
SD		8,17	8,82	10,22	10,86	10,85	11,27	8,89	7,23		6,65		6,50	7,41	7,42
n		96	93	96	100	96	96	96	96		184		188	96	96

Tabelle 2: Hornbildungsrate des äußeren Kronhorns am Rückenteil der Hufplatte bei Liebenthaler Pferden [mm / 28 Tage]
(vr = rechter Vorderhuf, vl = linker Vorderhuf, hr = rechter Hinterhuf, hl = linker Hinterhuf)

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf													
1 Horst	vr	5,19	4,94	5,00	5,00	6,79	8,40	7,00	7,41	9,33	3,00	1,65	4,83	1,93
	vl	8,30	4,12	6,00	8,00	10,18	8,17	9,06	4,94	5,60	9,00	10,71	1,93	6,76
	hr	5,19	0,82	4,00	1,93	6,59	6,36	7,51	4,15	8,40	6,00	7,41	4,00	0,93
	hl	3,11	2,47	0,00	3,00	6,79	7,47	6,00	4,94	6,53	9,00	3,20	0,97	2,90
2 Frilla	vr	2,07	5,60	0,00	7,00	6,40	4,00	9,00	4,94	7,47	10,27	4,94	3,00	2,80
	vl	5,19	3,20	1,04	6,00	5,60	7,00	5,00	7,41	7,23	10,27	3,39	1,00	5,60
	hr	5,19	3,29	1,00	4,00	8,00	2,55	5,76	8,24	8,40	9,33	4,12	2,00	1,87
	hl	2,07	2,47	5,00	3,00	5,60	5,00	6,00	5,76	7,47	8,40	3,29	5,00	0,93
3 Max	vr	3,11	2,47	0,97	2,07	6,40	3,82	4,12	5,76	8,40	6,53	2,40	3,00	0,93
	vl	1,04	3,29	0,00	2,00	4,24	8,17	2,47	8,24	3,61	4,52	4,24	4,15	2,80
	hr	2,07	2,47	0,00	2,00	5,94	0,00	4,94	4,12	3,73	6,53	4,12	2,00	0,00
	hl	4,15	0,00	0,97	2,00	4,00	7,00	5,19	4,94	1,87	3,61	4,12	6,22	0,00
4 Mida	vr	2,07	4,00	2,07	7,00	4,24	6,53	6,00	6,59	8,40	8,40	4,12	4,00	0,93
	vl	4,15	2,40	0,00	4,00	5,94	8,17	4,94	8,24	6,53	6,53	3,20	3,00	0,93
	hr	3,11	4,94	2,00	6,00	5,09	8,17	5,76	6,59	7,23	5,60	3,39	5,00	0,00
	hl	2,07	4,12	2,00	7,00	5,94	7,47	3,00	7,41	6,53	8,40	3,29	5,00	1,87
5 Medina	vr	1,70	2,00	0,00	4,00	5,60	5,79	6,22	4,12	6,53	5,00	4,00	5,00	0,93
	vl	3,39	3,00	0,00	4,00	4,80	3,82	8,24	4,12	6,53	7,00	3,29	2,00	0,93
	hr	2,55	1,93	1,00	3,11	5,60	4,83	4,15	4,67	7,00	6,00	2,40	4,00	0,93
	hl	3,39	1,00	0,00	3,00	5,60	3,82	4,94	5,44	7,00	5,00	0,82	3,00	0,93
6 Domenik	vr	5,38	5,76	1,00	6,00						5,09		6,22	3,61
	vl	4,31	6,59	2,00	5,00						8,75		3,86	3,73
	hr	6,46	4,12	0,00	4,15						8,75		5,00	2,71
	hl	5,38	2,47	4,00	6,00						7,00		7,00	1,81
7 Mirabella	vr	1,70	0,00	3,00	3,00	5,94	5,42	5,19	7,41	7,23	6,32	2,55	3,11	1,87
	vl	0,85	0,00	0,00	3,00	5,09	5,83	3,29	5,76	5,60	8,40	4,94	1,00	4,67
	hr	3,39	1,00	0,00	5,00	5,09	5,83	4,78	3,11	6,53	4,67	4,12	4,00	0,93
	hl	5,09	0,00	1,00	7,00	1,70	3,61	6,22	4,12	4,67	5,60	6,59	3,00	0,00
8 Karla	vr	2,55	0,97	3,11	3,00	5,94	4,67	8,80	2,07	9,03	4,67	1,70	3,00	0,93
	vl	0,85	0,97	3,00	3,00	4,38	2,33	9,56	3,11	7,23	4,67	2,55	6,00	2,80
	hr	3,39	0,97	0,00	2,00	6,79	2,80	8,00	0,00	5,00	5,60	4,94	4,00	0,93
	hl	2,55	2,00	1,00	2,90	5,25	4,67	4,78	4,83	8,00	6,53	4,12	2,00	0,93
9 Tobi	vr	1,08	2,47	4,00	5,00	5,60	6,00	8,00	6,22	7,00	6,53	4,12	2,00	3,61
	vl	2,15	2,40	0,00	4,00	8,48	6,53	6,40	3,86	8,00	9,33	3,29	4,00	2,71
	hr	2,15	2,40	0,00	5,00	5,60	6,00	4,00	4,67	8,00	4,67	3,29	5,00	0,90
	hl	3,23	1,65	1,00	4,00	5,94	7,47	1,00	4,94	7,47	4,67	0,82	1,00	0,90
10 Kneli	vr	3,50	1,00	4,83	7,00	6,13	6,53	8,00	4,94	5,60	4,52	4,94	8,00	5,60
	vl	4,38	3,86	2,07	3,86	5,25	5,83	7,41	4,12	4,67	5,60	6,59	7,00	6,32
	hr	6,13	2,90	1,04	5,79	6,13	4,67	8,88	4,15	5,60	6,32	5,60	5,19	0,90
	hl	4,38	2,00	0,00	2,90	5,25	4,67	5,76	3,29	5,60	6,53	4,00	4,00	0,90
11 Mia	vr	1,04	2,47	3,00	1,00	5,09	6,53	4,00	5,44	5,00	4,67	4,12	3,00	4,67
	vl	3,11	1,65	2,00	1,00	6,79	3,50	6,83	4,15	5,42	5,60	4,24	7,00	0,00
	hr	3,11	0,82	4,00	4,00	5,09	3,50	4,94	5,44	4,00	10,27	6,59	1,00	2,80
	hl	2,07	2,47	2,00	4,00	4,24	7,00	6,83	5,19	6,53	5,60	5,76	2,00	2,80
12 Raufbold	vr	5,19	4,12	0,00	7,00	9,33	7,26	13,00	9,06	8,13	8,40	5,09	2,00	4,67
	vl	4,15	2,47	1,00	6,00	4,67	4,00	7,41	7,41	8,40	2,71	4,12	5,19	1,87
	hr	2,07	3,29	0,00	5,00	6,40	7,64	5,76	6,59	6,53	8,40	4,12	4,00	1,87
	hl	1,04	2,47	1,00	4,00	3,20	7,00	5,00	5,76	6,53	5,60	4,12	5,00	4,67

Fortsetzung der Tabelle 2:

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf													
13 Tatar	vr	3,11	0,82	1,00	7,00	4,00	5,00	7,00	4,12	7,47	7,88		5,19	2,80
	vl	4,15	0,82	1,00	6,76	3,29	4,83	9,33	4,94	6,53	4,38		9,33	0,00
	hr	6,22	0,00	2,00	2,90	4,38	5,83	6,83	4,15	7,47	4,38		6,22	1,87
	hl	1,04	0,82	2,00	5,00	4,80	3,82	7,51	4,83	8,00	8,75		2,00	2,90
14 Merkur	vr	3,39	2,90	1,04	5,79	6,13	8,17	7,41	6,59	9,03	6,53	5,94	3,00	4,67
	vl	5,94	3,86	0,00	7,00	4,24	8,40	7,00	6,59	7,47	5,60	8,00	4,00	2,80
	hr	2,55	5,00	1,00	3,86	7,00	5,83	7,41	7,41	8,13	8,13	5,94	5,19	2,80
	hl	4,24	4,83	0,00	7,00	8,48	12,13	7,00	8,24	9,33	5,42	9,06	2,07	3,73
15 Mary	vr	1,04		0,45	5,79	2,40					7,00		1,00	4,67
	vl	1,04	2,40	2,07	0,80	3,86					6,13		1,93	4,83
	hr	4,15		2,26	0,00	5,79	2,07				5,25		2,90	0,97
	hl	3,11		1,81	0,80	4,83					5,25		2,00	2,80
16 Miriam	vr	2,07	0,82	3,00	7,00	4,80	5,00	7,20	4,15	6,53	6,53	2,47	1,93	3,86
	vl	3,11	3,29	0,00	4,00	3,11	6,00	5,19	4,94	7,47	6,53	3,20	2,00	1,87
	hr	3,11	0,82	3,00	5,00	3,20	5,00	6,40	3,11	5,42	5,60	3,39	3,86	1,93
	hl	4,15	2,47	0,00	4,00	5,60	4,00	8,00	4,94	6,53	9,33	4,12	1,00	1,87
17 Botan	vr	2,07	1,65	3,00	3,86	6,59	5,09	6,59	6,59	4,67		4,94	3,11	4,67
	vl	2,07	4,12	1,00	1,00	5,94	5,83	4,94	6,59	3,73		6,59	4,15	5,60
	hr	3,11	3,29	2,00	4,00	4,00	8,91	5,76	5,76	7,47		3,29	3,11	2,80
	hl	2,07	2,47	3,00	1,93	6,13	7,00	4,94	6,59	6,53		3,29	3,11	3,73
19 Bienelina	vr	3,11	0,00	1,00	2,90	7,41	0,00	8,24	5,19	6,53	6,53	2,47	1,00	4,67
	vl	3,11	0,82	0,97	3,00	5,76	5,00	8,00	4,94	5,60	4,67	3,29	4,00	1,87
	hr	2,07	0,82	2,00	2,90	4,94	4,00	5,00	4,94	6,53	7,47	1,65	1,00	2,80
	hl	2,07	2,47	3,00	1,00	7,20	5,00	5,00	5,76	6,53	5,60	4,12	1,00	1,87
20 Weißer	vr	1,04	5,76	1,00	7,00	5,60	6,36	8,24	8,24	9,33	7,00	4,94	4,00	3,73
	vl	0,00	6,59	0,00	5,00	5,94	5,83	9,56	6,22	9,33	8,69	7,41	6,22	3,73
	hr	3,11	3,29	2,00	6,00	6,40	7,64	8,88	6,22	10,27	8,69	6,40	5,19	0,93
	hl	3,11	4,94	2,00	5,00	5,94	7,00	7,41	8,24	9,33	4,83	4,12	2,07	4,67
21 Franzi	vr	4,24	0,97	0,00	5,00	4,80	5,00	6,00	5,44	4,00	6,00	4,12	6,00	0,93
	vl	3,39	0,00	2,00	5,00	4,00	7,00	4,00	6,59	5,60	8,00	3,29	6,00	1,87
	hr	4,24	0,00	2,00	4,00	4,00	5,09	4,12	4,94	4,67	9,00	4,94	3,00	2,80
	hl	2,55	3,00	1,00	4,00	3,39	8,17	4,12	4,12	5,60	8,00	4,94	1,00	1,87
22 Mariona	vr	4,15	0,80	2,00	2,00	5,76	4,00	7,00	4,94	6,53	6,53	3,29	4,00	2,80
	vl	1,04	1,60	0,00	3,11	5,09	4,67	8,00	4,94	6,53	2,80	2,47	6,00	4,67
	hr	5,19	0,80	2,07	2,90	5,25	3,73	5,00	4,12	6,53	5,60	4,12	1,00	2,80
	hl	4,15	2,40	0,00	3,00	4,24	5,60	8,80	3,86	7,00	10,27	2,47	4,00	1,87
23 Raiko	vr	4,24	2,00	2,00	3,00	5,94	5,83	9,06	3,29	7,47	3,00	3,29	4,00	1,87
	vl	1,70	3,00	0,00	6,00	2,55	5,83	6,83	4,15	9,33	0,97	3,29	5,19	2,80
	hr	0,85	0,00	3,00	4,83	3,50	4,67	6,59	3,29	6,53	7,72	4,12	2,07	2,80
	hl	3,39	0,00	5,00	2,90	4,38	4,67	6,59	4,12	7,47	5,79	5,76	5,19	0,00
24 Bienela	vr	2,55	2,00	1,00	4,00	4,00	4,83	8,30	4,12	6,53		4,94	4,00	2,80
	vl	1,70	0,00	3,86	4,15	3,20	5,79	8,30	4,94	6,53		4,12	3,00	1,87
	hr	2,55	3,00	0,00	4,83	4,94	3,82	8,24	4,94	6,53		4,94	4,00	0,93
	hl	4,24	3,00	0,00	4,00	4,00	6,36	4,94	4,94	7,47		2,47	1,00	2,80
25 Frohna	vr	7,88	5,00	7,00	5,00	6,40	8,91	7,41	8,56	10,00	9,00	4,94	6,00	4,52
	vl	4,38	7,72	0,00	6,00	5,60	6,36	7,41	5,76	7,47	10,62	5,76	7,26	8,13
	hr	4,38	1,00	1,93	3,11	7,20	5,09	5,76	7,41	3,73	10,00	8,24	3,86	0,93
	hl	1,75	2,90	1,04	4,00	4,80	8,91	4,94	7,41	8,40	5,00	5,76	4,83	4,67

Fortsetzung der Tabelle 2:

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf													
26	vr					6,22	5,83	8,24	6,59	10,27		3,29		
Mutan	vl					4,67	5,83	6,83	8,30	8,40		4,12		
	hr					4,67	8,17	6,83	7,26	7,47		3,29		
	hl					7,78	2,33	4,94	6,59	6,53		4,12		
27	vr							8,80	5,19	6,53		2,47		
Friduline	vl							9,60	6,22	5,60		1,65		
	hr							6,00	7,41	4,67		1,65		
	hl							6,00	6,59	4,67		0,82		
MW		3,21	2,43	1,57	4,18	5,38	5,66	6,53	5,51	6,80	5,34	3,70	2,54	
SD		1,60	1,73	1,55	1,78	1,44	1,95	1,86	1,60	1,61	2,23	1,86	1,70	
n		96	93	96	96	96	93	96	96	96	180	96	96	

Tabelle 3: Gesamthornverlust an der dorsalen Hufwand bei Liebenthaler Pferden [mm / 28 Tage]
 (vr = rechter Vorderhuf, vl = linker Vorderhuf, hr = rechter Hinterhuf, hl = linker Hinterhuf)

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf													
1 Horst	vr	0,00	1,65	4,00	0,00	0,00	45,73	2,00	10,71	0,93	3,00	12,35	1,93	0,00
	vl	0,00	2,47	3,00	1,00	54,30	2,33	3,29	0,00	3,73	6,00	12,35	0,97	1,93
	hr	0,00	2,47	0,00	1,93	1,65	3,82	23,90	5,19	2,80	2,00	3,29	3,00	1,87
	hl	1,04	0,00	0,00	0,00	3,39	34,53	4,00	0,00	0,93	3,00	1,60	1,93	0,00
2 Frilla	vr	0,00	0,80	2,07	4,00	0,80	23,00	6,00	5,76	2,80	9,33	8,24	0,00	0,00
	vl	0,00	0,00	2,07	2,00	2,40	27,00	3,00	16,47	0,90	1,87	0,00	2,00	3,73
	hr	0,00	6,59	6,00	13,00	0,80	2,55	7,41	8,24	4,67	0,93	8,24	5,00	0,00
	hl	0,00	0,00	9,00	4,00	2,40	12,00	1,00	4,94	12,13	6,53	1,65	0,00	2,80
3 Max	vr	1,04	0,82	6,76	3,11	0,00	1,27	4,12	21,41	4,67	2,80	1,60	2,00	0,00
	vl	1,04	0,00	3,00	2,00	0,85	3,50	16,47	2,47	1,81	1,81	5,09	1,04	2,80
	hr	5,19	0,00	0,00	5,00	6,79	1,17	4,12	3,29	1,87	0,00	3,29	0,00	0,00
	hl	3,11	1,65	0,97	3,00	16,80	3,00	7,26	0,00	7,47	0,00	1,65	6,22	0,93
4 Mida	vr	0,00	0,00	0,00	9,00	0,85	26,13	1,00	2,47	30,80	13,07	0,82	4,00	0,93
	vl	1,04	0,80	3,11	0,00	3,39	30,33	6,59	4,94	4,67	0,93	0,80	1,00	0,93
	hr	4,15	1,65	10,00	8,00	0,00	1,17	28,82	0,00	2,71	5,60	5,94	0,00	1,87
	hl	2,07	1,65	0,00	2,00	4,24	19,60	25,00	0,82	4,67	2,80	1,65	2,00	0,00
5 Medina	vr	0,00	0,00	3,00	6,00	0,80	25,10	1,04	2,47	5,60	4,00	0,80	2,00	0,93
	vl	0,00	0,00	6,00	5,00	1,60	2,55	18,94	4,12	4,67	6,00	0,00	0,00	0,00
	hr	0,85	0,00	0,00	4,15	2,40	0,00	5,19	19,44	5,00	1,00	0,00	1,00	1,87
	hl	0,85	0,00	0,00	3,00	4,80	0,00	5,76	14,00	4,00	0,00	4,12	3,00	0,00
6 Domenik	vr	6,46	1,65	2,00	7,00						0,85		3,11	24,39
	vl	2,15	12,35	1,00	1,00						2,63		0,97	0,00
	hr	1,08	4,12	0,97	1,04						1,75		9,00	0,00
	hl	0,00	0,82	4,00	0,00						4,38		7,00	1,81
7 Mirabella	vr	0,00	0,00	8,00	1,00	0,85	1,81	25,93	9,88	0,90	1,81	0,85	4,15	0,00
	vl	0,00	0,00	1,04	4,00	0,00	4,67	4,94	14,00	2,80	0,93	4,94	4,00	0,00
	hr	0,00	0,00	1,00	1,00	1,70	11,67	0,68	1,04	4,67	7,47	4,94	2,00	0,00
	hl	0,00	3,00	0,00	5,00	0,85	0,00	5,19	2,47	7,47	1,87	11,53	1,00	0,93
8 Karla	vr	0,85	0,00	0,00	5,00	0,00	1,87	26,40	8,30	0,00	2,80	0,85	2,00	0,00
	vl	0,00	0,97	2,00	1,00	0,00	0,00	28,00	2,07	1,81	4,67	1,70	3,00	1,87
	hr	0,00	0,00	1,04	5,00	0,85	0,00	0,00	27,03	12,00	0,93	2,47	1,00	0,00
	hl	0,00	0,00	4,00	2,90	2,63	1,17	1,37	14,48	5,00	5,60	18,12	1,00	0,00
9 Tobi	vr	0,00	0,00	6,00	4,00	1,60	39,00	1,00	0,78	6,00	0,00	3,29	1,00	1,81
	vl	1,08	0,00	4,15	0,00	5,09	32,67	0,80	0,97	7,00	0,93	0,00	1,00	4,52
	hr	0,00	0,00	2,07	8,00	0,80	1,00	11,00	0,00	17,00	1,87	2,47	2,00	1,81
	hl	0,00	0,82	5,00	4,00	0,85	1,87	5,00	3,29	2,80	1,87	13,18	2,00	0,00
10 Kneli	vr	1,75	0,00	0,00	1,00	1,75	49,47	6,00	0,82	3,73	0,90	5,76	1,00	0,00
	vl	0,00	0,97	0,00	1,93	0,00	0,00	40,35	0,00	1,87	2,80	12,35	2,00	0,00
	hr	0,00	0,00	0,00	4,83	4,38	2,33	22,54	3,11	5,60	1,81	1,60	0,00	0,00
	hl	0,00	3,00	0,00	8,69	3,50	4,67	11,53	0,82	14,93	1,87	0,00	0,00	0,90
11 Mia	vr	1,04	2,47	3,00	1,00	0,85	1,87	27,00	0,78	1,00	4,67	4,94	4,00	0,00
	vl	1,04	0,00	4,00	3,00	0,85	0,00	19,12	3,11	0,00	7,47	1,70	2,00	0,93
	hr	1,04	0,82	1,00	2,00	1,70	0,00	2,47	18,67	2,00	1,87	3,29	3,00	0,00
	hl	1,04	0,00	11,00	0,00	0,00	2,33	23,22	5,19	4,67	3,73	1,65	2,00	0,00
12 Raufbold	vr	7,26	0,00	18,00	1,00	2,33	8,30	7,00	4,12	9,94	6,53	7,64	0,00	0,00
	vl	1,04	0,82	1,00	0,00	7,00	1,33	9,06	14,00	5,60	0,90	6,59	5,19	0,93
	hr	2,07	0,00	8,00	1,00	1,60	2,55	10,71	14,00	1,87	0,93	0,82	1,00	0,00
	hl	1,04	0,00	7,00	0,00	0,00	2,00	10,00	4,94	11,20	1,87	4,12	4,00	0,93

Fortsetzung der Tabelle 3:

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf													
13 Tatar	vr	0,00	0,00	1,00	1,00	4,00	26,00	2,00	5,76	4,67	5,25		4,15	1,87
	vl	1,04	0,82	6,00	1,93	4,12	17,38	7,26	3,29	1,87	3,50		7,26	0,93
	hr	1,04	0,82	7,00	0,97	1,75	3,50	17,76	3,11	4,67	0,88		3,11	1,87
	hl	0,00	4,94	4,00	3,00	2,40	0,00	18,44	1,93	3,00	2,63		1,00	0,00
14 Merkur	vr	0,00	7,72	0,00	0,00	21,00	0,00	2,47	15,65	0,00	3,73	2,55	0,00	0,00
	vl	0,85	0,00	6,22	0,00	0,00	26,13	1,00	1,65	13,07	5,60	0,00	8,00	0,00
	hr	0,00	3,00	3,00	1,93	0,88	2,33	29,65	2,47	2,71	1,81	2,55	2,07	0,00
	hl	0,00	2,90	2,07	1,00	4,24	34,53	7,00	2,47	6,53	0,90	3,29	1,04	0,00
15 Mary	vr	1,04		0,45	1,93	1,60					0,88		3,00	0,93
	vl	0,00	0,00	1,04	3,20	2,90					4,38		0,97	0,00
	hr	0,00		0,45	4,80	3,86					0,88		3,86	0,97
	hl	0,00		1,35	1,60	8,69					2,63		2,00	0,93
16 Miriam	vr	0,00	2,47	10,00	0,00	2,40	3,00	13,60	6,22	3,73	6,53	0,00	0,00	0,00
	vl	1,04	0,82	9,00	4,00	0,78	3,00	9,33	3,29	10,27	7,47	0,80	1,00	1,87
	hr	3,11	0,82	1,00	5,00	0,00	4,00	12,80	12,44	1,81	0,93	0,85	0,97	1,93
	hl	0,00	0,00	2,00	2,00	0,80	36,00	3,00	5,76	1,87	15,87	4,94	6,00	0,93
17 Botan	vr	1,04	0,00	9,00	1,93	1,65	5,09	9,88	9,06	0,93		14,82	5,19	0,00
	vl	0,00	8,24	1,00	0,00	0,00	2,33	4,94	6,59	10,27		5,76	7,26	1,87
	hr	1,04	4,94	1,00	4,00	2,40	7,64	4,94	4,12	3,73		4,12	2,07	3,73
	hl	0,00	4,12	0,00	3,86	0,00	3,50	9,06	2,47	14,00		1,65	6,22	1,87
19 Bienelina	vr	1,04	0,00	7,00	1,93	1,65	12,55	9,88	8,30	0,93	6,53	4,94	0,00	0,00
	vl	0,00	0,00	4,83	2,00	4,12	26,00	1,00	3,29	3,73	0,93	3,29	1,00	1,87
	hr	0,00	0,00	3,00	0,00	4,94	0,00	9,00	2,47	12,13	3,73	0,00	2,00	0,93
	hl	0,00	0,00	13,00	1,00	4,00	5,00	16,00	4,94	4,67	1,87	0,82	3,00	0,00
20 Weißer	vr	1,04	0,00	17,00	3,00	0,00	7,64	7,41	17,29	0,00	12,00	2,47	3,00	3,73
	vl	0,00	4,12	1,00	5,00	6,79	12,83	2,05	22,81	1,87	9,66	1,65	11,41	0,00
	hr	0,00	0,00	8,00	15,00	1,60	1,27	9,56	17,63	3,73	2,90	0,80	3,11	1,87
	hl	1,04	0,00	14,00	2,00	4,24	8,17	4,12	12,35	14,00	3,86	0,00	2,07	1,87
21 Franzi	vr	0,85	0,00	3,11	2,00	0,80	2,00	33,00	0,78	2,00	3,00	6,59	1,00	0,93
	vl	0,00	1,00	3,00	5,00	3,20	1,00	32,00	1,65	1,87	7,00	2,47	1,00	1,87
	hr	0,85	3,00	2,00	8,00	0,00	1,27	4,12	6,59	14,93	3,00	3,29	1,00	2,80
	hl	0,00	3,00	1,00	2,00	3,39	4,67	3,29	4,12	11,20	1,00	14,00	3,00	0,00
22 Mariona	vr	4,15	0,00	0,00	0,00	0,82	29,00	1,00	1,65	4,67	5,60	4,94	4,00	0,00
	vl	0,00	0,00	2,00	2,07	1,70	26,13	5,00	2,47	1,87	0,93	0,82	4,00	0,00
	hr	3,11	0,00	12,44	0,00	2,63	3,73	3,00	10,71	6,53	0,00	3,29	1,00	0,00
	hl	2,07	0,00	3,11	1,00	2,55	5,60	0,00	0,00	1,00	1,87	0,82	1,00	0,00
23 Raiko	vr	0,85	0,00	5,00	0,00	0,85	42,00	4,12	0,00	1,87	3,00	2,47	2,00	0,93
	vl	0,00	1,00	8,00	2,00	1,70	10,50	12,98	3,11	0,93	0,00	10,71	2,07	0,00
	hr	0,00	1,00	4,00	1,93	0,00	0,00	5,76	3,29	27,07	0,97	1,65	0,00	0,00
	hl	0,00	1,00	6,00	0,97	3,50	2,33	23,06	0,82	6,53	0,97	6,59	4,15	2,80
24 Bienela	vr	0,00	0,00	10,00	1,00	2,40	16,41	8,30	3,29	4,67		2,47	4,00	0,00
	vl	0,85	1,00	0,00	3,11	1,60	17,38	7,26	5,76	1,87		6,59	2,00	0,93
	hr	0,85	1,00	11,00	0,97	2,47	5,09	11,53	6,59	3,73		3,29	8,00	0,93
	hl	0,00	4,00	4,00	2,00	2,40	7,64	4,12	9,88	10,27		0,82	1,00	2,80
25 Frohna	vr	0,00	0,00	9,00	4,00	0,80	8,91	3,29	38,11	8,00	1,00	0,82	0,00	0,90
	vl	1,75	0,00	1,04	5,00	1,60	54,73	4,12	2,47	12,13	0,97	4,12	7,26	9,94
	hr	0,88	2,00	0,00	1,04	3,20	0,00	22,24	12,35	2,80	9,00	0,00	0,97	0,93
	hl	0,00	0,00	4,15	4,00	12,00	1,27	12,35	6,59	0,00	6,00	8,24	0,97	0,00

Fortsetzung der Tabelle 3:

	Mon.	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.		Nov.	Dez.
	Jahr	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005	2004	2005	2004	2004
Pferd	Huf													
26	vr					4,67	2,33	18,94	5,76	7,47		0,00		
Mutan	vl					3,11	7,00	12,29	10,37	3,73		4,12		
	hr					9,33	2,33	23,22	4,15	4,67		0,00		
	hl					3,11	1,17	1,65	15,65	9,33		2,47		
27	vr							12,80	13,48	1,87		4,94		
Friduline	vl							42,40	3,11	0,93		4,94		
	hr							4,00	19,76	0,93		1,65		
	hl							20,00	2,47	0,93		2,47		
MW		0,82	1,25	3,92	2,80	3,19	10,17	10,65	6,78	5,36	3,58	2,55	1,22	
SD		1,35	2,10	4,05	2,72	6,19	13,21	9,72	6,90	5,32	3,49	2,31	2,78	
n		96	93	96	96	96	92	96	96	96	180	96	96	

Tabelle 4: Anzahl (n), Art (durchgehend oder distal) und Lokalisation (lat. = lateral, med. = medial, dors. = dorsal) der von Juni bis August bei Liebenthaler Pferden aufgetretenen Hornspalten (für die Pferde 7 und 23 konnten keine Hornspalten dokumentiert werden)
(vr = rechter Vorderhuf, vl = linker Vorderhuf, hr = rechter Hinterhuf, hl = linker Hinterhuf)
durchgehende dorsale Hornspalten kamen nicht vor

Pferd	Huf	Juni 2005					Juli 2005					August 2005				
		durchgehend		distal			durchgehend		distal			durchgehend		distal		
		lat.	med.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	lat.	med.	dors.
1	vr	1		1	1		1					1		1	1	
	vl			1			1	1				1	1			
	hr			1										1		
	hl			1					1					1		
2	vr	1			1		1					1				
	vl	1					1					1				
	hr	1					1					1				
	hl			1					1			1				
3	vr															
	vl								1							
	hr															
	hl															
4	vr	1		1			1					1				
	vl				1											
	hr	1		1			1		1			1		1		
	hl	1		1			1		1			1		1		
5	vr					1										
	vl					1										
	hr					1										
	hl					1										
8	vr			1					1							
	vl								1							
	hr											1				
	hl										1					
9	vr															
	vl															
	hr															
	hl															
10	vr	1					1					1				
	vl	1					1					1				
	hr	1					1					1				
	hl	1					1					1				
11	vr					1										
	vl					1										
	hr					1										
	hl					1										
12	vr									1						1
	vl															
	hr													1		
	hl			1					1							
13	vr															
	vl			1										1		
	hr															
	hl					1										

Fortsetzung der Tabelle 4:

		Juni 2005					Juli 2005					August 2005				
		durchgehend		distal			durchgehend		distal			durchgehend		distal		
Pferd	Huf	lat.	med.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	lat.	med.	dors.
14	vr				1					1					1	
	vl	1			1		1					1	1			
	hr	1			1		1					1				
	hl	1					1					1				
16	vr			1					1					1		
	vl			1												
	hr			1												
	hl															
17	vr															
	vl															
	hr			1										1		
	hl															
19	vr															
	vl															
	hr			1												
	hl													1		
20	vr								2	1						
	vl															
	hr			1										1		
	hl			2					1					1		
21	vr			1												
	vl															
	hr				1	1										
	hl															
22	vr			1	1									1		
	vl			1												
	hr				1											
	hl			1												
24	vr															
	vl															
	hr			1												
	hl			1												
25	vr	1			1		1							1		
	vl	1							1			1				
	hr	1					1		1			1	1			
	hl	1					1							1		
26	vr															
	vl															
	hr					1										
	hl					1										
27	vr	1					1					1				
	vl			1	1				1			1			1	
	hr			1					1					1		
	hl	1					1					1		1		
n		20	0	26	11	7	20	1	15	2	2	22	3	17	3	1

Tabelle 5: Anzahl (n), Art (durchgehend oder distal) und Lokalisation (lat. = lateral, med. = medial, dors. = dorsal) der im September und Oktober bei Liebenthaler Pferden aufgetretenen Hornspalten (für die Pferde 7 und 23 konnten keine Hornspalten dokumentiert werden) (vr = rechter Vorderhuf, vl = linker Vorderhuf, hr = rechter Hinterhuf, hl = linker Hinterhuf) durchgehende dorsale Hornspalten kamen nicht vor, im Oktober kamen auch distal keine dorsalen Hornspalten vor

		September 2005					Oktober 2005			
		durchgehend		distal			durchgehend		distal	
Pferd	Huf	lat.	med.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	lat.	med.
1	vr	1	1				1	1		
	vl		1	1			1			1
	hr						1			
	hl									
2	vr	1					1			
	vl	1					1			
	hr	1					1			
	hl	1					1			
3	vr									
	vl									
	hr			1					1	
	hl									
4	vr	1					1			
	vl									
	hr	1		1			1		1	
	hl	1		1			1			
5	vr								1	
	vl									
	hr									
	hl									
8	vr			1					1	
	vl									
	hr	1					1			
	hl									
9	vr									
	vl									
	hr									
	hl			1						
10	vr	1					1			
	vl	1					1			1
	hr	1					1			
	hl	1					1			
11	vr			1					1	
	vl	1					1			
	hr									
	hl								1	
12	vr									
	vl									
	hr									
	hl			1					1	
13	vr					1				
	vl									
	hr									
	hl									

Fortsetzung der Tabelle 5:

		September 2005					Oktober 2005			
		durchgehend		distal			durchgehend		distal	
Pferd	Huf	lat.	med.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	lat.	med.
14	vr			1	1				1	1
	vl		1	1			1	1		
	hr	1					1			
	hl	1					1			
16	vr									
	vl									
	hr			1						
	hl									
17	vr									
	vl									
	hr			1					1	
	hl									
19	vr								1	
	vl									
	hr									
	hl			1					1	
20	vr									
	vl									
	hr			1					1	
	hl			1					1	
21	vr			1						
	vl									
	hr									
	hl									
22	vr									
	vl									
	hr									
	hl								1	
24	vr									
	vl									
	hr	1							1	
	hl									
25	vr	1					1			
	vl	1		1	1		1			
	hr	1	1				1	1		
	hl	1					1			
26	vr									
	vl									
	hr									
	hl									
27	vr	1					1			
	vl	1		1			1			
	hr			1					1	
	hl	1					1			
n		24	4	19	2	1	26	3	16	3

Tabelle 6: Anzahl (n) und Lokalisation (lat. = lateral, med. = medial, dors. = dorsal) der von Juni bis Oktober bei Liebenthaler Pferden aufgetretenen Hornchips (für die Pferde 19 und 26 konnten keine Hornchips dokumentiert werden)
(vr = rechter Vorderhuf, vl = linker Vorderhuf, hr = rechter Hinterhuf, hl = linker Hinterhuf)

Pferd	Huf	Juni 2005			Juli 2005			Aug. 2005			Sept. 2005			Okt. 2005		
		lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.
1	vr						1	1		1						1
	vl															1
	hr															
	hl													1		
2	vr			1												
	vl				1											
	hr															
	hl							1								
3	vr															
	vl				1											
	hr											1				
	hl												1			
4	vr			1									1			
	vl													1		
	hr						1						1			
	hl	1														
5	vr															1
	vl															
	hr	1				1										
	hl				1											
7	vr								1							
	vl															
	hr										1					
	hl															
8	vr															
	vl						1									
	hr															
	hl															
9	vr															
	vl															
	hr							1								
	hl				1								1			
10	vr															
	vl	1													1	
	hr															
	hl		1										1			
11	vr					1						1				
	vl							1								
	hr											1				
	hl				1							1				
12	vr					1										
	vl						1									
	hr								1							
	hl				1											

Fortsetzung der Tabelle 6:

Pferd	Huf	Juni 2005			Juli 2005			Aug. 2005			Sept. 2005			Okt. 2005		
		lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.	lat.	med.	dors.
13	vr	1						1								
	vl			1				1								
	hr															
	hl			1												
14	vr					1				1						
	vl		1													
	hr															
	hl															
16	vr	1		1												
	vl															
	hr	1														
	hl		1													
17	vr			1												
	vl												1			
	hr	1											1			
	hl															
20	vr	1			1											
	vl												1			
	hr												1			
	hl												1			
21	vr														1	
	vl															
	hr															1
	hl															
22	vr	1	1													
	vl	1														
	hr															
	hl		1											1		
23	vr	1											1			
	vl		1													
	hr															
	hl															
24	vr															
	vl															
	hr															
	hl	1														
25	vr															
	vl												1			
	hr						1	1								
	hl				1							1				1
27	vr															
	vl															
	hr															
	hl										1					
n		12	6	6	8	4	4	7	2	2	9	0	6	9	2	4

Tabelle 7: Gegenüberstellung von Lokomotion (in % des gesamten Verhaltensspektrums, Werte aus WOLLENWEBER, 2007), Hornbildungsrate [mm / 28 Tage] und Hornverlust sowie Hornabrieb [mm / 28 Tage] bei Liebenthaler Pferden

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.
Hornbildungsrate [mm/28 Tage]	3,21	2,43	1,57	4,18	5,38	5,66	6,53	5,51	6,8	5,34	3,7	2,54
Hornverlust [mm/28 Tage]	0,82	1,25	3,92	2,8	3,19	10,2	10,7	6,78	5,36	3,58	2,55	1,22
Hornabrieb [mm/28 Tage]	0,82	1,25	3,63	2,8	2,3	3,35	5,63	4,77	4,73	3,43	2,55	0,98
Lokomotion [%]	5,33	4,00	3,24	4,01	3,42	5,74	5,02	3,55	3,19	2,84	3,28	5,72

10 ANHANG II**TABELLEN IN ERGÄNZUNG DER LITERATURÜBERSICHT**Tabelle 1: Besonderheiten zur Differenzierung der einzelnen Hufsegmente

	Saumsegment	Kronsegment	Wandsegment	Sohlensegment	Ballen-Strahl-Segment
Unterhaut	Saumwulst	Kronwulst	fehlt bzw. als Periost modifiziert	fehlt bzw. als Periost modifiziert	Ballen- bzw. Strahlpolster
Lederhaut	Papillen	Papillen	Blättchen sowie Kappen- und Terminalpapillen	Papillen	Papillen
Oberhaut	Hornröhrchen	Hornröhrchen	Hornblättchen sowie Kappen- und Terminalhornröhrchen	Hornröhrchen	Hornröhrchen
Verhornungstyp	Weiche Verhornung	Harte Verhornung	Harte Verhornung	Harte Verhornung	Weiche Verhornung (bis auf Strahlspitze/ Seitenflächen der Strahlschenkel)

Tabelle 2: Formale Kriterien für einen regelmäßig geformten Huf (nach KÖRBER, 2006)

Hufbestandteil	Kriterium
Kronrand	Gleichmäßig, regelmäßig profiliert An der Zehe stärker gewölbt und breiter als an den Trachten
Hornwand	In gestreckter Richtung vom Kron- zum Tragrand verlaufend Festes Horn ohne Horntrennungen, Hornerhebungen oder Hornvertiefungen (außer parallel zur Krone verlaufende Ringe)
Seitenwände	Identische Höhe, gleiche Neigung zum Tragrand
Zehen- und Eckwand	Passend zum Fesselstand, parallel zueinander verlaufend, physiologischer Winkel zum Tragrand
Hornsohle	Der Hufform entsprechend gewölbt, gleichmäßige Hornfärbung
Tragrand	Vollkantig, stützfähig Verläuft in gleichmäßigem Bogen und in geschlossener Ebene mit dem Sohlenrand
Weißer Linie	Parallel zum Tragrand, gleichmäßige Färbung Ununterbrochene Verbindung von Hornsohle und Hornwand
Strahl	Kräftig Aus elastischem Horn
Strahlfurchen (mittlere und seitliche)	Weit offen, trocken
Eckstrebenwände	Verlaufen von Eckstrebenwinkeln aus in gerader und gestreckter Richtung nach vorn und innen zum Strahlkörper Eckstrebenbogen unterstützt Sohle
Hufknorpel	Elastisch
Ballen	Kräftig, elastisch, gleich groß, rund, auf gleicher Höhe liegend Durch flache Grube voneinander getrennt

Tabelle 3: Übersicht über die physiologischen Werte der Winkel an Vorder- und Hinterhufen

Winkel (nach WISSDORF et al., 1987)	Alternative Bezeichnung (nach THOMASON et al., 2001)	Vorderhuf	Hinterhuf
Rücken-Kontaktflächenwinkel	Dorsaler Zehenwinkel	52° +/- 4°	53° +/- 4°
Lateraler Seitenwand-Kontaktflächenwinkel	Laterale Wandwinkel	75° +/- 3°	76° +/- 5°
Medialer Seitenwand-Kontaktflächenwinkel	Medialer Wandwinkel	82° +/- 3°	76° +/- 3°
Lateraler Trachtenkante-Kontaktflächenwinkel	Lateraler Trachtenwinkel	135° +/- 3°	137° +/- 3°
Medialer Trachtenkante-Kontaktflächenwinkel	Medialer Trachtenwinkel	135° +/- 5°	138° +/- 3°

Tabelle 4: verschiedene Literaturangaben zum dorsalen Zehenwinkel an Vorder- und Hinterhufen

Untersuchte Pferde		Quelle	Vorderhuf	Hinterhuf
Vollblüter	Vollblüter	PLISCHKE (1927)	62° - 64,7°	63° - 63,6°
	Vollblüter	SCHROTH (2000)	52,2° ± 1,3°	54,3° ± 2,3°
	Vollblüter ohne Beschlag	SCHROTH (2000)	52,4° ± 2,4°	51,3° ± 1,7°
	Vollblutfohlen	SCHROTH (2000)	56,4° ± 2,0°	55,0° ± 1,9°
Warmblüter	Hauspferd	GROSSBAUER (1905)	51° - 54°	52° - 55°
	Trakehner	GUTSCHE (1922)	51,5°	51,7°
	Hauspferd	FRIEDRICH (1931)	50,3°	51,5°
	Brandenburger	KRONACHER u. OGRIZEK (1932)	55,53°	60,26°
	Warmblüter	KRÜGER (1939)	59°	67°
	Berber	PFEIFFER (1943)	56,3° (48° - 66°)	59,0° (48° - 70°)
	Hauspferd, mittelschwer	KIND (1961)	46° - 48°	50°
	Hauspferd, leicht	KIND (1961)	58° - 59°	60° - 63°
	Trabrennpferde	HANTUSCH (1987)	50,7°	54,3°
	Hannoveraner	LEU (1987)	56°	52°
	Hauspferd	WISSDORF et al. (1987)	52° ± 4°	53° ± 4°
	Hauspferd	KAINER (1989)	53,6° (48° - 60°)	55,4° (50° - 62°)
	Hauspferd	STASHAK (1989)	45° - 50°	50° - 55°
	Lipizzaner	JOSSECK (1991)	57°	56°
	Deutsches Reitpferd	SCHREYER (1997)	51,7°	53,7°
	Deutsches Reitpferd	PRIETZ u. SCHREYER (1999)	51,2° - 52,3°	53,1° - 54,2°
	Hunter	SCHROTH (2000)	52,0° ± 3,1°	52,8° ± 3,7°
	Hauspferd, normaler Huf	THOMASON et al. (2001)	48° ± 1°	Keine Angabe
	Hauspferd, spitzwinkliger Huf	THOMASON et al. (2001)	42° ± 1°	Keine Angabe
	Warmblüter	PÜTZ (2006)	52,35° ± 1,84°	52,54° ± 2,16°
Traber	PÜTZ (2006)	53,56° ± 1,32°	50,31° ± 1,60°	
Kaltblüter	Kaltblüter	KRÜGER (1939)	61°	71°
	Rhein.-dt. Kaltblut	WEHNER (1941)	53,3° (38° - 68°)	59,6° (50° - 69°)
	Belgier	LEU (1987)	64°	65°
	Shires	LEU (1987)	50°	56°
Ponys	Isländer	LEU (1987)	48°	53°
	Haflinger	RICHTER (1990)	56,5°	55,5°
	Shetlandponys	HERZBERG (1996)	60°	57°
	Connemara Pony	SCHROTH (2000)	52,7° ± 2,7°	55,0° ± 2,0°
	Pony	PÜTZ (2006)	51,65° ± 2,41°	52,05° ± 2,38°
Wildequiden	Przewalskipferd	KIND (1961)	48° - 58°	45° - 59°
	Tarpan (Rückzüchtung)	KIND (1961)	45° - 60°	46° - 57°
	Steppenzebra	KIND (1961)	44° - 59°	48° - 59°
	Bergzebra	KIND (1961)	60° - 64°	62° - 65°
	Przewalskipferd	SCHNITKER (2004)	44,54° ± 5,55° 30° - 51°	48,9° ± 4,46° 39° - 55°

Tabelle 5: verschiedene Literaturangaben zu Seitenwandwinkeln an Vorder- und Hinterhufen

Untersuchte Pferde	Quelle	Vorderhuf		Hinterhuf	
		<i>Laterale Seitenwand</i>	<i>Mediale Seitenwand</i>	<i>Laterale Seitenwand</i>	<i>Mediale Seitenwand</i>
Hauspferd	GROSSBAUER (1905)	77°	79°	84°	87°
Hauspferd	MEIER (1917)	82,8°	83,9°	84,2°	83,5°
Hauspferd	WISSDORF et al. (1987)	75°	82°	76°	76°
Deutsches Reitpferd	PRIETZ und SCHREYER (1999)	69,6°	75,1°	71,7°	75,4°
Shetlandpony	HERZBERG (1996)	79°	75,5°	79°	75,5°
Isländer	LEU (1987)	76°	72°	73°	78°
Belgier	LEU (1987)	81°	78°	79°	82°
Shires	LEU (1987)	63°	63°	74°	75°
Hannoveraner	LEU (1987)	78°	77°	80°	78°
Tarpan (Rückzüchtung)	KIND (1961)	62° - 89°	65° - 88°	62° - 88°	68° - 88°
Przewalskipferd	KIND (1961)	65° - 83°	70° - 86°	63° - 88°	68° - 88°
Steppenzebra	KIND (1961)	63° - 85°	68° - 85°	73° - 84°	75° - 86°
Bergzebra	KIND (1961)	85° - 92°	86° - 92°	87° - 92°	88° - 93°
Przewalskipferd	SCHNITKER (2004)	74,46°	76,85°	72°	75,7°

Tabelle 6: verschiedene Literaturangaben zu Zehenrückenwand- und Trachtenwandlängen an Vorder- und Hinterhufen (modifiziert nach SCHROTH, 2000)

Untersuchte Pferde	Quelle	Länge Zehenrückenwand [cm] (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)	Länge Trachtenwand [cm] (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)	Verhältnis Zehenwand zu Trachtenwand (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)
Hauspferd	HÜNI (1883)	VH: 10,1 HH: 10,7	VH: 3,8 HH: 4,2	VH: 2,6 : 1 HH: 2,5 : 1
Hauspferd	MEIER (1917)	VH: 9,2 HH: 9,8	VH: 3,2 HH: 3,6	VH: 2,9 : 1 HH: 2,7 : 1
Hauspferd	GROSSBAUER und HABACHER (1923)	VH: 8,5 HH: 9,0	VH: 4,0 HH: 4,3	VH: 2,1 : 1 HH: 2,1 : 1
Hauspferd	VOGT (1938)	VH: 10,0 HH: 11,0	VH: 4,0 H: 4,0	VH: 2,5 : 1 HH: 2,75 : 1
Traber	CLAYTON (1987)	VH: 8,1	VH: 2,6	VH: 3,1 : 1
Belgier	LEU (1987)	VH: 11,5 HH: 11,7	VH: 8,6 HH: 6,6	VH: 1,3 : 1 HH: 1,8 : 1
Shire	LEU (1987)	VH: 11,4 HH: 12,8	VH: 8,0 HH: 7,2	VH: 1,4 : 1 HH: 1,8 : 1
Isländer	LEU (1987)	VH: 8,8 HH: 8,8	VH: 5,2 HH: 4,5	VH: 1,7 : 1 HH: 2 : 1
Haflinger	RICHTER (1990)	VH: 7,4 HH: 7,3	VH: 4,4 HH: 4,3	VH: 1,7 : 1 HH: 1,7 : 1
Lipizzaner	JOSSECK (1991)	VH: 8,4 HH: 8,2	VH: 4,4 HH: 3,8	VH: 1,9 : 1 HH: 2,2 : 1
Shetlandpony	HERZBERG (1996)	VH: 5,7 HH: 5,7	VH: 3,7 HH: 3,2	VH: 1,5 : 1 HH: 1,8 : 1
Deutsches Reitpferd	SCHREYER (1997)	VH: 11,0 HH: 11,1	VH: 5,8 HH: 5,0	VH: 1,9 : 1 HH: 2,2 : 1
Rennpferde	UM et al. (1997)	VH: 8,28 HH: 8,88	VH: 2,86 HH: 2,45	VH: 2,9 : 1 HH: 3,6 : 1
Connemara Pony	SCHROTH (2000)	VH: 8,0 HH: 8,2	VH: 3,3 HH: 3,0	VH: 2,4 : 1 HH: 2,7 : 1
Hunter	SCHROTH (2000)	VH: 9,0 HH: 9,0	VH: 4,3 HH: 3,8	VH: 2,1 : 1 HH: 2,4 : 1
Vollblüter	SCHROTH (2000)	VH: 8,6 HH: 9,0	VH: 3,4 HH: 3,4	VH: 2,5 : 1 HH: 2,6 : 1
Przewalskipferd	SCHNITKER (2004)	VH: 8,42 HH: 7,00	VH: 4,15 (lat.) / 4,2 (med.) HH: 3,16 (lat.) / 2,94 (med.)	VH: 2,11 : 1 HH: 2,23 : 1

Tabelle 7: verschiedene Literaturangaben zu Hufdurchmesser und Hufumfang bei unterschiedlichen Pferderassen

Untersuchte Pferde	Quelle	Kronrand- durchmesser [cm] (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)	Tragrand- durchmesser [cm] (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)	Kronrand- umfang [cm] (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)	Tragrand- umfang [cm] (Vorderhuf VH bzw. Hinterhuf HH)
Warmblutpferd	VOGT (1938)	VH: 11,1 HH: 11,2	VH: 13,2 HH: 13,1		
Belgier	LEU (1987)		VH: 17,0 HH: 15,9	VH: 55,7 HH: 55,7	VH: 59,2 HH: 60,1
Shires	LEU (1987)		VH: 19,2 HH: 17,0	VH: 52,9 HH: 53,8	VH: 61,7 HH: 59,0
Hannoveraner	LEU (1987)		VH: 14,2 HH: 12,0	VH: 40,1 HH: 39,1	VH: 48,9 HH: 47,0
Isländer	LEU (1987)		VH: 11,6 HH: 10,6	VH: 33,1 HH: 32,6	VH: 40,1 HH: 38,0
Shetlandpony	HERZBERG (1996)	VH: 7,5 HH: 7,25	VH: 9,0 HH: 8,0	VH: 26,5 HH: 26,5	VH: 29,0 HH: 29,0
Rennpferde	UM et al. (1997)		VH: 13,09 HH: 12,57		
Przewalskipferd	SCHNITKER (2004)	VH: 8,25 HH: 7,55	VH: 10,46 HH: 8,98	VH: 31,78 HH: 29,92	VH: 37,94 HH: 35,45

Tabelle 8: Literaturangaben zu Histometrie der drei Kronhornzonen; die Angaben von PATAN (2001) beziehen sich ausschließlich auf das Przewalskipferd

	Äußere Kronhornzone	Mittlere Kronhornzone	Innere Kronhornzone
Röhrchen- durchmesser	35 – 350 µm (TSCHERNE, 1910) 121,5 – 235,0 µm (KÖNIG, 2001) 80,58 – 147,53 µm (PATAN, 2001)	140 – 175 µm (TSCHERNE, 1910) 158,0 – 256,9 µm (KÖNIG, 2001) 122,13 – 165,52 µm (PATAN, 2001)	Bis zu 600 µm (TSCHERNE, 1910) 269,5 – 353,8 µm (KÖNIG, 2001) 186,99 – 238,16 µm (PATAN, 2001)
Markraum- durchmesser	35 µm (TSCHERNE, 1910) 60 – 90 µm (RÖSSNER, 1940) 45,3 – 64,9 µm (KÖNIG, 2001) 34,53 – 62,15 µm (PATAN, 2001)	80 µm (RÖSSNER, 1940) 46,3 – 62,9 µm (KÖNIG, 2001) 40,25 – 53,83 µm (PATAN, 2001)	60 µm (RÖSSNER, 1940) 44,0 – 55,2 µm (KÖNIG, 2001) 35,79 – 45,75 µm (PATAN, 2001)
Rinden-Mark- Verhältnis	1 : 2 bis 3 : 1 (RÖSSNER, 1940) 10,7 : 1 (KÖNIG, 2001) 5,1 : 1 (PATAN, 2001)	2 : 1 (TSCHERNE, 1910) 1 : 4 bis 3 : 2 (RÖSSNER, 1940) 14,7 : 1 (KÖNIG, 2001) 9,67 : 1 (PATAN, 2001)	1 : 1 bis 3 : 1 (RÖSSNER, 1940) 40 : 1 (PELLMANN et al., 1993) 5 : 1 (ANTHAUER, 1996) 43,1 : 1 (KÖNIG, 2001) 30,03 : 1 (PATAN, 2001)
Röhrchendichte [Hornröhrchen / mm²]	8,6 – 20 (RÖSSNER, 1940) 14 (BUCHER, 1987) 19,8 (KÖNIG, 2001) 38,88 (PATAN, 2001)	7,5 – 12,2 (RÖSSNER, 1940) 12,1 (KÖNIG, 2001) 21,25 (PATAN, 2001)	4,2 – 9,2 (RÖSSNER, 1940) 8 (BUCHER, 1987) 7 (PELLMANN et al., 1993) 7 (KÖNIG, 2001) 14,72 (PATAN, 2001)
Anteil Zwischen- röhrchenhorn	34 – 66 % (RÖSSNER, 1940) 55 % (KÖNIG, 2001) 63,34 % (PATAN, 2001)	59 – 72 % (RÖSSNER, 1940) 57 % (KÖNIG, 2001) 66,4 % (PATAN, 2001)	41 – 67 % (RÖSSNER, 1940) 46 % (KÖNIG, 2001) 48,44 % (PATAN, 2001)

Tabelle 9: Übersicht über die im Hufhorn des Pferdes vorkommenden Röhrentypen (nach BOLLIGER u. GEYER, 1992)

	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Zellform	Platte Zellen	Spindelförmige Zellen	Spindelförmige Zellen
Anordnung der Zelle	Zwiebelschalenähnlich um das Mark angeordnet	Längsachse parallel zum Röhrenmark ausgerichtet	Längsachse zirkulär um das Röhrenmark gewickelt
Querschnitt	Oval, größter Durchmesser meist parallel zur äußeren Oberfläche	rund	Oval, rundlich im Strahlhorn
Vorkommen	Kronhorn: Mittel- und Außenzone Ausschließlich bei Klautieren	Kronhorn: Innenzone	Sohlen- und Strahlhorn
Bezeichnung nach NICKEL (1938)	Keine Angabe	Vorwiegend steilspiralig gewickelt	Vorwiegend flachspiralig gewickelt

Tabelle 10: verschiedene Literaturangaben zu Hornbildungsrate des äußeren Kronhorns

Untersuchte Pferde	Quelle	Hornbildungsrate [mm / 28 Tage] oder [mm / Monat]
Warmblüter		
Hauspferd	GROSSBAUER (1905)	8
Hauspferd	RICHTER (1905)	8
Hauspferd	LUNGWITZ (1913)	4 – 13, durchschnittlich 8
Hauspferd	MÖLLER (1919)	3 – 13, durchschnittlich 8
Hauspferd	FISCHER (1933)	8
Großpferde	KNEZEVIC (1959)	8,75
Hauspferd	BUTLER (1985)	7 – 9
Hauspferd	GLADE und SALZMAN (1985)	5,32 – 7,84
Warmblüter, Trabrennpferde	WINTZER (1986)	13,1 – 13,8
Hauspferd	KÖRBER (2006)	8 – 10
Lipizzaner	JOSSECK (1991)	7
Warmblut	GEYER und SCHULZE (1994)	6 – 11
Hauspferd	HERTSCH et al. (1996)	8 – 10
Deutsches Reitpferd	SCHREYER (1997)	6 – 6,5
Hauspferd	RUTHE et al. (1997)	7 – 8
Irish Hunter	REILLY et al. (1998a)	5,04 – 5,88
Warmblüter	BECKER (1998)	6,19
Deutsches Reitpferd	PRIETZ und SCHREYER (1999)	6
Kaltblüter		
Kalt- und Warmblutpferde	LEU (1987)	8 – 9
Kaltblüter (Belgier und Shire)	GEYER und SCHULZE (1994)	6 – 11
Ponys		
Australisches Pony	POLLITT (1990)	7
Haflinger	RICHTER (1990)	6 – 9
Islandpferd	LEU (1987)	4 – 5
Islandpferd	GEYER und SCHULZE (1994)	4 – 5
Shetlandpony	BUTLER und HINTZ (1977)	7 – 11
Shetlandpony	HERZBERG (1996)	6,8
Welshpony und Shetlandpony	REILLY et al. (1998b)	4,592
Jungpferde		
Hannoveraner / Holsteiner Absatzfohlen	TIMM (1993)	6,9
Jährlinge	DITTRICH et al. (1994)	13,44
Jährlinge	GRAHAM et al. (1994)	12,25
Jährlinge	OTT und JOHNSON (1995)	11,96
Esel	VILSMEIER (2004)	7
Wildequiden		
Przewalskipferd	PATAN (2001)	5,81

11 DANKSAGUNG

Mein besonderer, herzlichster Dank gilt meinen beiden Betreuern Prof. Dr. K.-D. Budras und Prof. Dr. C. Mülling. Prof. Dr. Budras danke ich insbesondere für die Überlassung des Themas sowie die jederzeit gewährte professionell-fachliche und motivierend-persönliche Unterstützung. Für die Möglichkeit der Anfertigung der Dissertation am Veterinär-Anatomischen Institut der Universität Leipzig sowie zahlreiche wissenschaftliche Anregungen und Hilfe bei organisatorischen Fragestellungen bin ich Prof. Mülling sehr dankbar. Positive Synergieeffekte prägten die harmonische Zusammenarbeit mit beiden Betreuern.

Ich danke Arne Broja sowie seinen Mitarbeitern und den Mitgliedern des Vereins „Liebenthaler Pferdeherde e.V.“, vor allem Herrn Dr. Thomas Penzel, die der Durchführung von Messungen an ihren ausgewilderten Liebenthaler Pferden zugestimmt haben und bei den praktischen Arbeiten in der Pferdeherde mir stets hilfreich zur Seite standen. Für stets konstruktive fachliche Diskussionen sowie die Überlassung von einigen Literaturquellen bin ich Dr. Charlotte von Zadow sehr dankbar. Mein Dank geht außerdem an Dr. Juliette Mallison für die Hilfe bei der englischen Übersetzung der Zusammenfassung meiner Dissertation, Dr. Till Dettmering und Dr. Annika Scior für die Hilfe bei den statistischen Fragestellungen, Gudrun Perowicz für das bereitwillige Korrekturlesen sowie an Katharina Paulin für das Digitalisieren meiner Zeichnungen und den fachübergreifenden Austausch bei der Anfertigung der Dissertation. Für die aktive Hilfe bei den Messungen in Form von schriftlicher Erfassung der Messergebnisse, Beschäftigung und Ablenkung der vermessenen Pferde sowie der Erstellung einiger Fotografien bedanke ich mich bei Dr. Stefanie Bartsch, Jeannine Schubert, Eileen Gründel und vor allem meiner Mutter Sabine Herrmann.

Meiner Mutter danke ich auch sehr für die während der ganzen Zeit in jeglicher Hinsicht gewährte praktische und ideelle Hilfe. Meinem Opa Günther Stamer danke ich dafür, dass er stets an mich geglaubt hat, selbst zu Zeiten, wo mir das selbst sehr schwer fiel, sowie für seine ständige, verlässliche Unterstützung auf meinem Lebensweg. Auch wenn er die Fertigstellung der Dissertation nicht mehr miterleben konnte, hoffe ich doch sehr, dass ihn diese Arbeit erfreut hätte.

Einen maßgeblichen Anteil an der Existenz dieser Arbeit haben meine Pferde Bento und Finesse. Sie holen mich immer wieder auf den Boden der Tatsachen zurück und die besten Lösungen für auftretende Probleme finden sich meist auf ihrem Rücken. Sie haben, zunächst mit einem Hobby, den Grundstein für meinen beruflichen Werdegang gelegt. Ich bin sehr dankbar dafür, dass ich diese tollen Pferde in meinem Leben haben darf. Ihr schmerzvoller Verlust im November 2014 bringt eine tiefe Leere mit sich, ich vermisse sie beide unendlich.

Ich danke außerdem allen, die mich bei Anfertigung dieser Arbeit unterstützt haben, sei es durch konstruktive Gespräche mit neuen Ideen, eine zeitliche Entlastung durch praktische Hilfe in allen Lebensbereichen oder das stille Ertragen von den verschiedenen Gemütszuständen, die mit der Anfertigung einer solchen Arbeit verbunden sind. Gleichzeitig ist dieser Dank auch mit einer Entschuldigung an all diejenigen Freunde verbunden, die besagte Gemütszustände, enge zeitliche Terminplanungen sowie scheinbar zusammenhangslose Gespräche gutgelaunt hingenommen haben, ohne den Grund hierfür zu kennen. Um die Fertigstellung der Arbeit nicht länger hinauszuzögern, konnte leider nur ein kleiner Personenkreis in dieses Vorhaben eingeweiht werden. Erst durch das erfolgreiche, zeitintensive und nervenraubende Ankämpfen gegen Widerstände, egal ob sozialer oder finanzieller Natur, kommt die volle Leistungsfähigkeit und Ausdauer des eigenen Körpers zur Geltung und es zeigen sich die ehrlichen, verlässlichen Freunde. Diesen danke ich von ganzem Herzen in Verbindung mit der Hoffnung auf eine weitere lange, spannende und schöne gemeinsame Zeit.