

Aus der Klinik für Pferde der Ludwig- Maximilians- Universität München
Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie des Pferdes
sowie Gerichtliche Tiermedizin
Vorstand : Prof. Dr. H. Gerhards

Arbeit angefertigt unter der Leitung von : PD Dr. Bettina Wollanke

Einfluss der Sohlendicke auf die Thermoisolation der Hornkapsel beim Equiden

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

Von
Melanie Fruck
Tierärztin aus Hirschau
München 2007

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

Dekan: Univ. Prof. Dr. E. P. Märtlbauer
Referent: Priv. Doz. Dr. Wollanke
Koreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Kienzle

Tag der Promotion: 20. Juli 2007

Meiner lieben Familie

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Knöcherne Strukturen der Zehe, modifiziert nach Wissdorf et al. (2002)	15
Abb. 2: Zehengelenke des linken Vorderfusses, modifiziert nach Nickel et al. (1992)	17
Abb. 4: Arterien des Strahlbeins und des Hufbeins, modifiziert nach Pollitt (1999)	20
Abb. 5: Schematische Darstellung der Arterien der Beckengliedmaßen, modifiziert nach Dyce et al. (1991)	21
Abb. 6: Die Mikrozirkulation der Lederhautblättchen, modifiziert nach Pollitt (1999)	22
Abb. 7: Zehennerven und Gefäße, modifiziert nach Wissdorf et al. (2002)	24
Abb. 8a und 8b: Nervenfasern der Sohlenlederhaut, markiert mit einem Neuropeptid (CGRP), das an sensible Fasern bindet; modifiziert nach Geyer und Ossent (2006)	25
Abb. 9: Verbindung zwischen Lederhaut und Epidemis, modifiziert nach Pollitt (1999)	27
Abb. 10: Versuchsaufbau mit Temperaturmessgerät (OMEGA, HH12A)	43
Abb. 11: Vorbereitung des Hufes zur Messung der Temperatur im Inneren der Hornkapsel	45
Abb. 12: Vorrichtung zur Fixation des Präparates in physiologischer Position	48
Abb. 13: Röntgenologische Messung der Sohlendicke	48
Abb. 14: Röntgenologische Messung der Sohlendicke bei 48°C im Inneren der Hornkapsel	49
Abb. 15: Ermittlung des Korrekturfaktors	49
Abb. 16: Schematische Darstellung der Relation zwischen Messebene (Verlauf der Wärmeausbreitung) und dem natürlichen Röhrchenverlauf des Horns im Huf	52
Abb. 17: Aufbau eines Gerätes zur Messung der Wärmeleitfähigkeit mit der Flash- Methode, modifiziert nach einer Abbildung der Homepage der Firma Netzsch	54

Abb. 18: Messprotokoll über die Ermittlung der thermischen Eigenschaften von Horn	54
Abb. 19a): schrittweise Exzision der Proben	55
Abb. 19b): für die histologische Untersuchung entnommene Proben	55
Abb. 20: Übersichtsaufnahme der histologischen Schnitte: 20a) HE (mit Hufbein) bzw.	57
20 b) Masson - Goldner (ohne Hufbein)	57
Abb. 21: Dicke der Hornsohle, bei der während des Aufbrennens eine Temperatur von 48°C im Inneren der Hornkapsel gemessen wurde (mit Mittelwert und Sohlendicke, bei der mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0,8$ kein Anstieg auf 48°C erfolgt)	61
Abb. 22: Histologischer Schnitt vom Übergang der Huflederhaut zum Hufhorn, (HE-Färbung, 1:20): Aufbau und Bestandteile der Epidemis (Hornkapsel) und der Lederhaut (längs geschnittene Lederhautpapille).	66
Abb. 23: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 1:20), der von einem Huf mit 13 mm dicker Sohle vor dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (Lokalisation entspricht Abb. 22) (links eine längs geschnittene, rechts eine diagonal geschnittene Lederhautpapille).	67
Abb. 24: Histologischer Schnitt (HE-Färbung, 1:20), der von einem Huf (Lokalisation entspricht Abb. 21) mit 6 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde. (Papillenquerschnitt).	67
Abb. 25: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 1:20), der von einem Huf (Lokalisation entspricht Abb. 21) mit 4 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (quer angeschnittene Lederhautpapille).	68
Abb. 27 : Histologischer Schnitt (HE-Färbung, 1:40), der von einem Huf mit 2 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (Lokalisation entspricht Abb. 21) (Querschnitt einer Lederhautpapille).	70
Abb. 28: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 1:20), der von einem Huf gewonnen wurde, der bis zur Lederhaut abgebrannt wurde (Lokalisation entspricht Abb. 21). Im Vergleich mit dem in Abb. 25 dargestellten Querschnitt einer Lederhautpapille werden die Zusammenhangstrennungen zwischen Lederhaut und Epidemis ersichtlich.	70

- Abb. 29: Die Temperaturdurchlässigkeit von Horn unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes in mm^2/s , dargestellt bei unterschiedlichen Messtemperaturen 72
- Abb. 30: Graphische Darstellung der Wärmeleitfähigkeit von Horn in $\text{W/K}\cdot\text{m}$ mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt, gemessen bei Temperaturen zwischen 24°C und 100°C 7 3

Tabellenverzeichnis

Tab.1 : Übersicht über die Glühfarben des Hufeisens bei zunehmender Glühtemperatur (nach Köhler 1939)	31
Tab. 2: Übersicht über die mit einer aseptischen Lederhautentzündung einhergehenden Erkrankungen des Hufes	39
Tab. 3: Übersicht über die mit einer septischen Lederhautentzündung einhergehenden Erkrankungen des Hufes	41
Tab. 4: Anhand eines Beispielen erläutertes Versuchsprotokoll zur Durchführung der Temperaturmessungen	47
Tab. 5: Übersicht über das gesamte Patientengut mit erzielten Messergebnissen und errechneten Werten	59
Tab. 6 : Wahrscheinlichkeiten, mit denen bei unterschiedlicher Sohlendicke auch bei exzessivem Aufbrennen eines kirschrotglühenden Eisens keine Verbrennung der Lederhaut beim Hufbeschlagn eintritt.	63
Tab. 7: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von trockenem und feuchtem Horn	64
Tab. 8: Vergleich der Messergebnisse mit und ohne nach dem Aufbrennen erfolgter Kühlung durch einen nassen Schwamm	65
Tab. 9 : Histologische Veränderungen in Abhängigkeit von der verbliebenen Dicke der Hornsohle nach Aufbrennen des Hufeisens	71
Tab.10: Übersicht über die Messergebnisse zur Analyse der physikalischen und thermischen Eigenschaften des Horns	73

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arterie
Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
CGRP	Calcitonin-Gen-Related Peptide
ca.	circa
cm	Zentimeter
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
G	Gefäß
h	Stunden
HE	Haematoxylin-Eosin
Hgldm.	Hintergliedmaßen
KB	Kaltblut
Lat.	lateral
Med.	medial
min.	Minuten
N.	Nervus
P.	Pododermatitis
s	Standardabweichung
s.	siehe
S.	Seite
sek.	Sekunde
Stckm.	Stockmaß
Str.	Stratum
S/W	Schwarz / Weiß
Tab.	Tabelle
V.	Vene
VB	Vollblut
Vgldm.	Vordergliedmaßen
WB	Warmblut
\bar{x}	Mittelwert

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	4
Tabellenverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	7
Abkürzungsverzeichnis	8
<u>1</u> <u>Einleitung.....</u>	<u>12</u>
<u>2</u> <u>Literaturübersicht.....</u>	<u>14</u>
2.1 Einleitung	14
2.2 Anatomische Grundlagen des Hufes.....	14
2.2.1 Knöchelstrukturen.....	15
2.2.2 Bandapparat und muskulöse Strukturen.....	17
2.2.3 Neurovaskuläre Anatomie des Hufes	19
2.2.4 Modifizierte Hautanteile des Hufes.....	25
2.2.4.1 Lederhaut.....	25
2.2.4.2 Epidermis	26
2.3 Allgemeine Pathologie der Verbrennung.....	28
2.3.1 Verbrennung 1. Grades	28
2.3.2 Verbrennung 2. Grades	29
2.3.3 Verbrennung 3. Grades	29
2.3.4 Verbrennung 4. Grades	30
2.4 Allgemeines zur Durchführung des Heißbeschlages.....	30
2.5 Verbrennungen der Sohlenlederhaut.....	32
2.6 Wärmeleitfähigkeit der Hornkapsel.....	35
2.7 Häufigste Erkrankungen der Huflederhaut.....	37
2.7.1 Pododermatitis aseptica	38
2.7.2 Pododermatitis septica.....	40
<u>3</u> <u>Eigene Untersuchungen.....</u>	<u>42</u>
3.1 Material und Methode	42
3.1.1 Versuchspräparate	42
3.1.2 Durchführung der Messungen.....	42

3.1.2.1	Versuchsaufbau.....	42
3.1.2.2	Hilfsmittel und personeller Aufwand.....	44
3.1.2.3	Praktische Durchführung.....	44
3.1.2.4	Röntgenologische Kontrolle.....	48
3.1.2.5	Korrekturfaktor bei den röntgenologischen Messungen.....	49
3.1.3	Modifikationen der Messungen.....	50
3.1.3.1	Aufbrennen unter Standardbedingungen.....	50
3.1.3.2	Aufbrennen bei experimentell stark ausgedünnter Sohle.....	51
3.1.3.3	Messungen bei unmittelbar nach dem Aufbrennen erfolgter Kühlung des Hufs.....	51
3.1.3.4	Messungen bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt des Homs	51
3.1.4	Wärmeleitfähigkeit des Horns.....	52
3.1.5	Histologische Untersuchungen.....	55
3.1.5.1	Probenentnahme.....	55
3.1.5.2	Erstellen der histologischen Schnitte.....	56
<u>4</u>	<u>Ergebnisse.....</u>	<u>60</u>
4.1	Temperaturmessung und zugeordnete Sohlendicke.....	60
4.2	Modifizierte Untersuchungen.....	63
4.3	Histologische Untersuchung.....	65
4.3	Wärmeleitfähigkeit der Hornkapsel.....	72
<u>5</u>	<u>Diskussion.....</u>	<u>74</u>
5.1	Bedeutung der vorliegenden Untersuchungen.....	74
5.2	Thermisolationskapazität der Hornkapsel.....	75
5.3	Ausreichende Sohlendicke für einen Heißbeschlag.....	76
5.4	Messdurchführung.....	78
5.5	Röntgenaufnahme zeitnah nach dem Hufbeschlag.....	83
5.6	Konkrete Werte für die forensische Beurteilung der Sohlendicke	84
5.7	Auslösen von Hufrehe durch Verbrennungen der Sohlenlederhaut	84
5.8	Weiterführende Untersuchungen.....	85
5.8.1	Tierversuch.....	85

5.8.2	Histologische Untersuchung anhand von Gefäßkorrosionspräparaten.....	86
5.9	Schlussfolgerungen.....	89
<u>6</u>	<u>Zusammenfassung.....</u>	<u>90</u>
<u>7</u>	<u>Summary.....</u>	<u>93</u>
<u>8</u>	<u>Literaturverzeichnis</u>	<u>96</u>

Danksagungen 102

1 Einleitung

Bei Lahmheiten, die nach einem Hufbeschlag bei Pferden bemerkt werden, wird schnell ein kausaler Zusammenhang mit dem Hufbeschlag hergestellt. Ob tatsächlich ein kausaler oder nur ein zeitlicher Zusammenhang besteht, bleibt vielfach ungeklärt. Problematisch wird es insbesondere dann, wenn die Lahmheit sich nicht nach ein paar Tagen bessert, sondern eine chronische Lahmheit diagnostiziert wird, dem Tierhalter Tierarztkosten entstehen und möglicherweise auch eine dauerhafte Unbrauchbarkeit eines Pferdes festgestellt werden muss.

Eine besondere Problematik stellen in diesem Zusammenhang septische und aseptische Pododermatitiden dar, die kurz nach einem Heißbeschlag diagnostiziert werden. Hier neigt nicht nur der Laie, sondern häufig auch der konsultierte Tierarzt zu der Annahme, dass durch zu intensive Hitzeeinwirkung auf die Sohle eine Schädigung der Lederhaut entstanden sei. In diesen Fällen wird der finanzielle Schaden gerne dem Hufschmied zur Last gelegt. Schadensersatzforderungen, die sich aus dieser Konstellation ergeben, nehmen zu. Vielfach wird der Hufschmied hierbei zu Unrecht beschuldigt oder gerichtlich beklagt, einen fehlerhaften Hufbeschlag angebracht zu haben.

Die Hornkapsel hat sehr gute thermoisolierende Eigenschaften. Sowohl extreme Kälte als auch Hitze können der Huflederhaut nur schaden, wenn die Hornschicht zwischen der Lederhaut und der Extremtemperatur außerhalb der Hornkapsel zu dünn ist. Um bei Lahmheiten, die sich nach einem Hufbeschlag einstellen, eine Entscheidungshilfe zu bekommen, ob eine Verbrennung der Lederhaut entstanden sein kann, ist die Kenntnis der Sohlendicke unmittelbar nach dem Hufbeschlag von zentraler Bedeutung.

Die Sohlendicke kann anhand von Röntgenaufnahmen gut dokumentiert werden, jedoch existieren keine aktuellen und detaillierten Untersuchungen dazu, wie die auf Röntgenbildern dokumentierte Sohlendicke zu bewerten ist. In der Literatur sind bisher nur umstrittene und ausnahmslos veraltete Angaben darüber verfügbar, unter welchen Bedingungen bzw. bei welcher Schichtdicke der Hornsohle bei einem sachgemäßen Aufbrennen des Hufeisens eine thermische Schädigung der Lederhaut entstehen kann. Die Interpretation von nach einem Hufbeschlag

EINLEITUNG

angefertigten Röntgenaufnahmen ist daher bisher nur nach Einschätzung des jeweilig beauftragten Tierarztes oder Sachverständigen möglich gewesen. Die vorliegende Untersuchung, die mit Hilfe eines versierten Hufschmiedes an Präparaten durchgeführt wurde, sollte die thermoisolierenden Eigenschaften der Hornsohle in Abhängigkeit von der Sohlendicke prüfen, um in Streitfällen eine Grundlage für die Bewertung von zeitnah nach einem Hufbeschlag angefertigten Röntgenaufnahmen zu bieten.

2 Literaturübersicht

2.1 Einleitung

Die Nutzung und dementsprechend auch die Bedeutung des Pferdes hat sich v. a. in der letzten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts prägnant verschoben. Wurde es einst vor allem als Arbeitstier in der Landarbeit oder zum Heeresdienst eingesetzt, so fungiert es heute hauptsächlich als Sport- und Freizeitpferd.

Für das Pferd als Fluchttier war und ist von jeher ein gesunder, intakter Bewegungsapparat überlebenswichtig. Auch heute bei der domestizierten Form sind die Einsatz- und Leistungsfähigkeit und damit ein gesunder Bewegungsapparat essentiell.

Besonders häufig sieht sich der Tierarzt mit Erkrankungen der distalen Gliedmaßen konfrontiert und nach wie vor existieren in Pferdehalterkreisen viele Halbwahrheiten und Mythen bezüglich dieses komplexen Abschnittes des Bewegungsapparates. Im Pferdesektor sind für die Erhaltung oder Wiederherstellung der Gesundheit der Hufe die enge Zusammenarbeit und der rege Informationsaustausch zwischen Pferdehalter, Hufschmied und Tierarzt nicht nur wünschenswert, sondern auch unerlässlich.

2.2 Anatomische Grundlagen des Hufes

Der Huf, *Ungula*, ist das Zehenendorgan des auf den Phalanx III reduzierten Pferdefusses (Nickel et al.1996, König und Liebich1999). Während König und Liebich (1999) zwischen dem Huf im eigentlichen Sinne, welcher lediglich als „elastisch verformbarer Hornschuh“ definiert ist, und den im weiteren Sinne inkludierten „zentralen Stützteilen“ unterscheiden, Wissdorf et al. (2002) unter dem Huf die „Hornkapsel“... „mit allen von ihr eingeschlossenen Geweben und morphologischen Strukturen“ verstehen, verwenden Budras und Röck (1997) den Begriff „Huf“ ausschließlich im Zusammenhang mit der modifizierten Oberhaut, also der Hornkapsel. Im Rahmen der vorliegenden Studie soll der Begriff „Huf“ der Definition

nach Wissdorf et al. (2002) gemäß für die Hornkapsel inklusive aller von ihr umschlossenen Strukturen verwendet werden.

Die anatomische Beschaffenheit des Hufes mit all seinen Bestandteilen stellt eine der komplexesten Strukturen des Pferdekörpers dar. Die Tatsache, dass im Zuge der Zeit immer wieder neue Aspekte zur Architektur des Hufes vorgestellt werden, zeigt bereits, dass noch ein weiter Weg beschritten werden muss, bis es möglich sein wird, die Gesamtkonstruktion dieses höchst kompliziert konstruierten, beeindruckenden Bereiches völlig zu erfassen.

2.2.1 Knöcherne Strukturen

Die zentralen Stützteile des Hufes werden nach Nickel et al. (1996) und König und Liebich (1997) neben Knorpel, Schleimbeutel sowie Sehnen- und Bandapparat vor allem von den knöchernen Strukturen gebildet:

Die durch die Hufkapsel vorgegebene Form umfasst genau das Hufbein, *Os ungulare*, *Phalanx distalis*, mit seinen paarigen, die Hufbeinäste überragenden Hufknorpeln und das dem Hufbein von „proximopalmar als Sesambein“ aufliegende Strahlbein (König und Liebich 1997, Nickel et al. 1992).

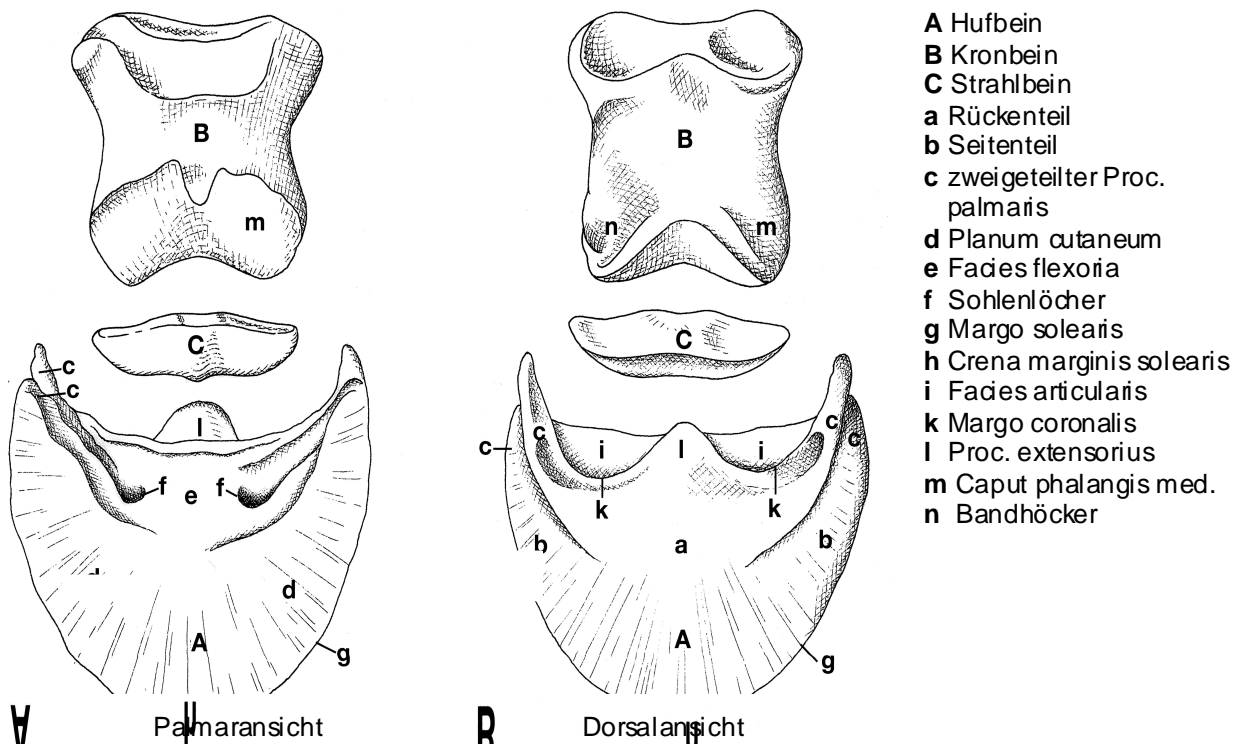


Abb. 1: Knöcherne Strukturen der Zehe, modifiziert nach Wissdorf et al. (2002)

Man unterscheidet eine palmar mit dem Strahlbein, *Os naviculare*, *Os sesamoideum distale*, und proximal mit dem Kronbein, *Os coronale*, artikulierende Gelenkfläche, *Facies articularis*, eine parallel zur Hufwand verlaufende, konvexe Wandfläche, *Facies parietalis*, sowie die der Hufkapsel von proximal aufliegende Sohlenfläche, *Facies solearis*. Wand- und Sohlenfläche, an welchen die Subcutis die Funktion des dort fehlenden Periosts übernimmt, bilden beim Übergang ineinander den Tragrand, *Margo solearis*. Die durch das Aufeinanderstoßen von Gelenk- und Wandfläche entstehende Kante mit einem für die Strecksehne vorgesehenen Fortsatz, *Processus extensorius*, wird als Kronrand, *Margo coronalis*, bezeichnet.

Die paarigen, am Hufbein befindlichen Hufbeinäste, *Processus palmaris medialis* seu *lateralis* tragen palmar jeweils einen mit dem jeweiligen Ast verwachsenen, aus einer Faserknorpelplatte bestehenden Hufbeinknorpel, *Cartilago unguulae medialis* seu *lateralis*. Während die distalen Enden des Hufknorpels von der Hornkapsel bedeckt sind, überragen die proximalen Anteile des Hufknorpels bis etwa auf halbe Höhe des Kronbeins (Nickel et al. 1996, König und Liebich 1997).

Nach Nickel et al. (1996) ist das Strahlbein, *Os naviculare* oder *Os sesamoideum distale*, das als „weberschiffchenförmig“ bezeichnet wird, mit dem Hufbein nicht nur gelenkig verbunden, sondern auch ligamentös daran fixiert. Die Palmarfläche, *Facies flexoria*, fungiert als Gleitfläche für die tiefe Beugesehne (Nickel et al. 1996). Der *Margo proximalis*, dem die Fessel-, Strahl- und Hufbeinbänder aufliegen, ist mit *Foramina nutritia proximalia* versehen, die eine ideale Blutversorgung gewährleisten sollen (Wissdorf et al. 2002).

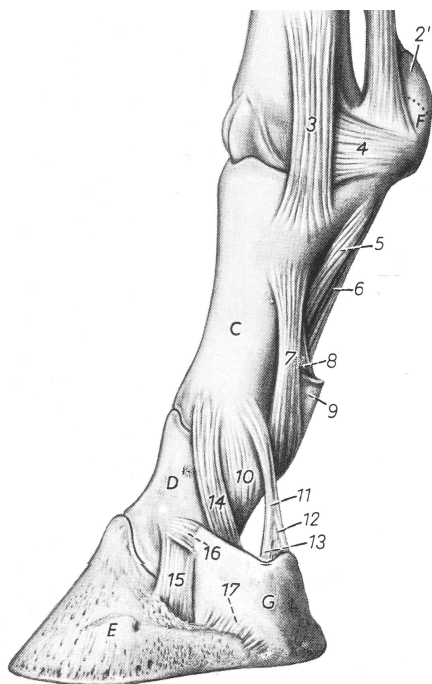
Das Hufgelenk, die *Articulatio interphalangea distalis*, setzt sich aus dem Hufbein, dem distalen Anteil des Kronbeines sowie dem Strahlbein zusammen (Nickel et al. 1992, Wissdorf et al. 2002). Obwohl es per definitionem ein Sattelgelenk darstellt, fungiert es als unvollkommenes Wechselgelenk, da „neben Beugung und Streckung auch Drehbewegungen bis zu 15° möglich sind“ (Wissdorf et al. 2002). Eine gewisse Drehmöglichkeit zur Seite ermöglicht dem Tier eine Regulation der Fußposition bei Bewegungsabläufen auf unebenem Untergrund (Nickel et al. 1992).

Die Gelenkkapsel bildet einige Ausbuchtungen, wobei die dorsale, *Recessus dorsalis*, im Rahmen von Punktionen des Gelenkes die bedeutendste Rolle spielt.

2.2.2 Bandapparat und muskulöse Strukturen

Sowohl Nickel et al. (1992) als auch Wissdorf et al. (2002) definieren die Fixation des Hufgelenkes zum einen durch die Kollateralbänder, die *Ligg. collateralia lateralis et medialis*, welche zusätzlich mit der Gelenkkapsel sowie dem Hufknorpel und dessen Bändern verbunden sind und so eine seitliche Stabilität zwischen Huf- und Kronbein gewährleisten.

Des Weiteren existieren Sesambeinbänder, die *Ligg. sesamoidea distalia*: Hierzu zählen unter anderem das mediale bzw. laterale Strahlbein- Hufbeinband, das *Lig. sesamoideum collaterale mediale* bzw. laterale, die am Fesselbein entspringen und nach Abgabe jeweils eines Astes an das Hufbein am Strahlbein inserieren. Ein weiteres für die Fixation wichtiges Band ist das vom Strahlbein zum palmaren Rand des Hufbeines ziehende *Lig. sesamoideum distale impar*. Darüber hinaus existieren diverse Bänder jeweils seitlich zwischen Hufknorpel und Hufbein bzw. Hufknorpel und Strahlbein sowie zwischen dem Hufknorpel und dem Kronbein. Eine Fixation nach proximal erfolgt durch das oben bereits erwähnte, elastische Band zwischen Fesselbein, Hufbein und Hufknorpel (Wissdorf et al.2002).



- C Fesselbein
- D Kronbein
- E Hufbein
- F Os sesamoideum prox. lat.
- 1 M. interosseus medius
- 2 Lig. metacarpointeresesamoideum
- 3 laterales Lig. collaterale des Fesselgelenks
- 4 Lig. sesamoideum collaterale laterale
- 5 laterales Lig. sesamoideum obliquum
- 6 Lig. sesamoideum rectum
- 7 laterales, abaxiales,
- 8 axiales Lig. palmare des Krongelenks
- 9 Stumpf der oberflächl. Beugesehne
- 10 lat.Lig. collat. des Krongelenks
- 11 Lig. compedocondroungulare
- 12 sein Schenkel zum Hufknorpel,
- 13 sein Schenkel zum Hufbein
- 14 Lig. sesamoideum collaterale laterale
- 15 lat. Lig. collaterale des Hufgelenks
- 16 Lig. chondrocoronale laterale
- 17 Lig. chondroungulare collaterale lat.

Abb. 2: Zehengelenke des linken Vorderfusses, modifiziert nach Nickel et al. (1992)

Die muskulösen Anteile im Bereich der distalen Gliedmasse sind auf die Endsehnen der jeweiligen Zehenstreck- bzw. Zehenbeugesehne reduziert:

Die palmar verlaufende Endsehne des tiefen Zehenbeugers, *Tendo m. flexor digitalis profundus*, inseriert zusammen mit der sie von palmar stützenden Sohlenbinde, einem Anteil der Zehenfaszie, *Fascia digitorum manus*, aufgefächert an der o.g. *Facies flexoria* des Hufbeines. Bei ihrem distalen Verlauf über das *Os sesamoideum distale* wird die Endsehne des gemeinsamen Zehenbeugers vom Hufrollenschleimbeutel, der *Bursa podotrochlearis*, unterlagert (Nickel et al. 1992, König und Liebich 1997, Wissdorf et al. 2002)

Die Streckung des Huf- bzw. Krongelenks erfolgt über die dorsal verlaufende, am *Processus extensorius* sowie dem *Margo coronalis* des Hufbeines inserierende Endsehne des *M. extensor digitalis communis*. Verstärkt wird der Zehenstrecker auf Höhe des Krongelenks durch den mittleren Anteil des *M. interosseus medius*, den sowohl Nickel et al. (1992) als auch Wissdorf et al. (2002) als „Unterstützungsast“, Pollitt (1999) hingegen als „Unterstützungssehne“ des Fesselträgers bezeichnen.

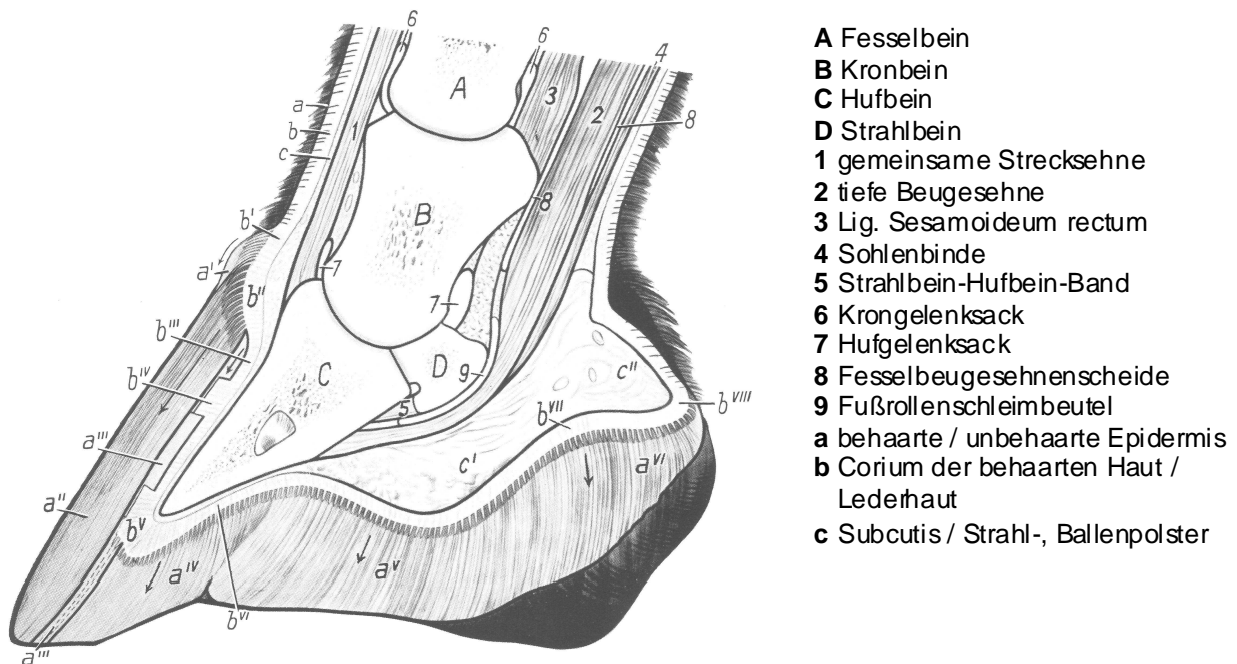


Abb. 3: Axialschnitt durch die Vorderzehe des Pferdes nach Nickel et al. (1992)

2.2.3 Neurovaskuläre Anatomie des Hufes

2.2.3.1. Arterien

Vordergliedmaßen

Die arterielle Versorgung erfolgt nach König und Liebich(1999), Nickel et al. (1996) und Wissdorf et al. (2002) an den Vorderextremitäten über die *A. axillaris* (die Gliedmassen versorgende Fortsetzung der *A. subclavia*), die auf Höhe des Karpus in die *A. digitalis palmaris communis II* übergeht. Letztere teilt sich entsprechend des jeweiligen weiteren Versorgungsgebietes auf Höhe des Fesselgelenkes in einen lateralen und einen medialen Ast, *A. digitalis palmaris lateralis* bzw. *medialis*.

Proximal des Hufknorpels zweigt ein das Ballen- und Sohlenpolster sowie deren zugehörige Lederhautabschnitte versorgender *Ramus tori digitalis* ab. Nach Wissdorf et al. (2002) gibt entweder dieser oder direkt die proximal davon verlaufende mediale bzw. laterale Zehenseitenarterie jeweils einen Ast nach dorsal zur Versorgung des Kronpolsters einen Ast ab und vereint sich anschließend mit der Arterie der gegenüberliegenden Seite. Hingegen beschreiben Nickel et al. (1996) eine Blutversorgung der dorsalen Hufabschnitte ausschließlich über von der jeweiligen medialen bzw. lateralen Zehenarterie abgegebene *Rami dorsales*.

Ober- bzw. unterhalb des *Os sesamoidem distale* gibt die jeweilige laterale bzw. mediale palmare Zehenseitenarterie einen proximalen / distalen Ast an das Strahlbein ab und tritt dann in den Gefäßkanal des Hufbeines ein, um sich dort im *Arcus terminalis* wieder zu vereinen.

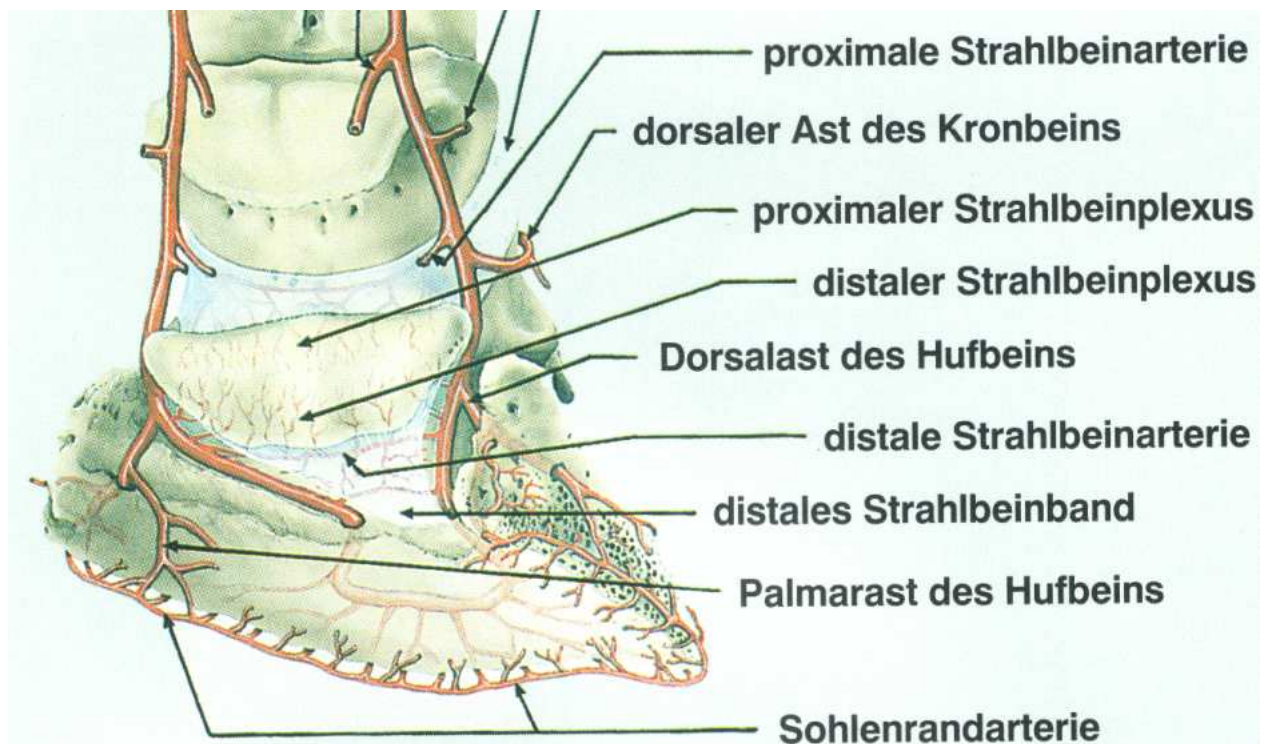


Abb. 4: Arterien des Strahlbeins und des Hufbeins, modifiziert nach Pollitt (1999)

Hintergliedmaßen

An den Hinterextremitäten existiert ein identisch verlaufendes Aufzweigungsschema (Nickel et al. 1996):

Die ursprünglich aus der *A. iliaca externa* über einige Zwischenabzweigungen auf Höhe des Mittelfußes in die *A. metatarsa dorsalis III* übergehende und sich in eine *A. digitalis lateralis* bzw. *medialis* aufzweigende arterielle Blutversorgung anastomosiert ebenfalls im Hufbein als *Arcus terminalis*. Das Aufzweigungsmuster entspricht dem der Vordergliedmaßen.

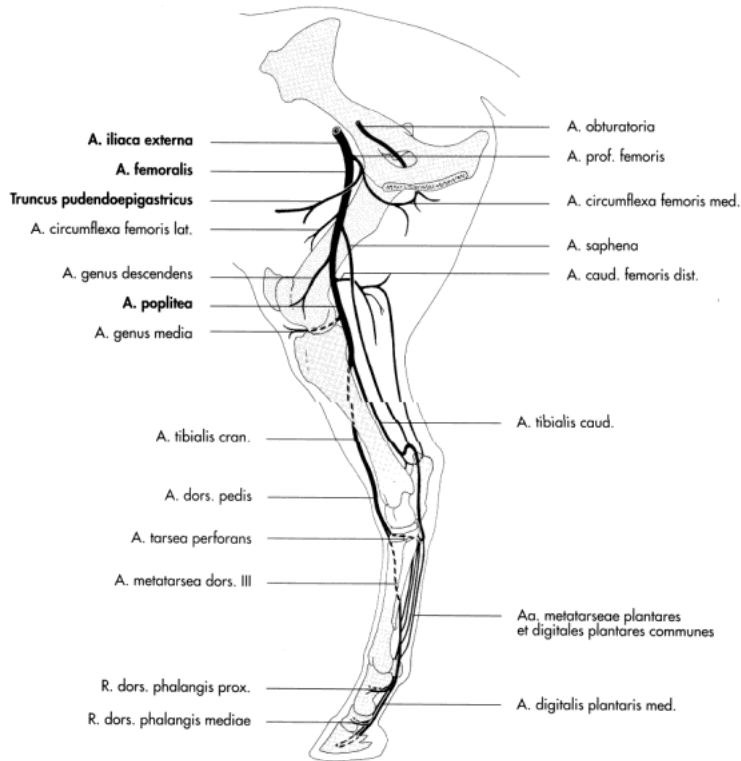


Abb. 5: Schematische Darstellung der Arterien der Beckengliedmaßen, modifiziert nach Dyce et al. (1991)

2.2.3.2. Venöse Versorgung

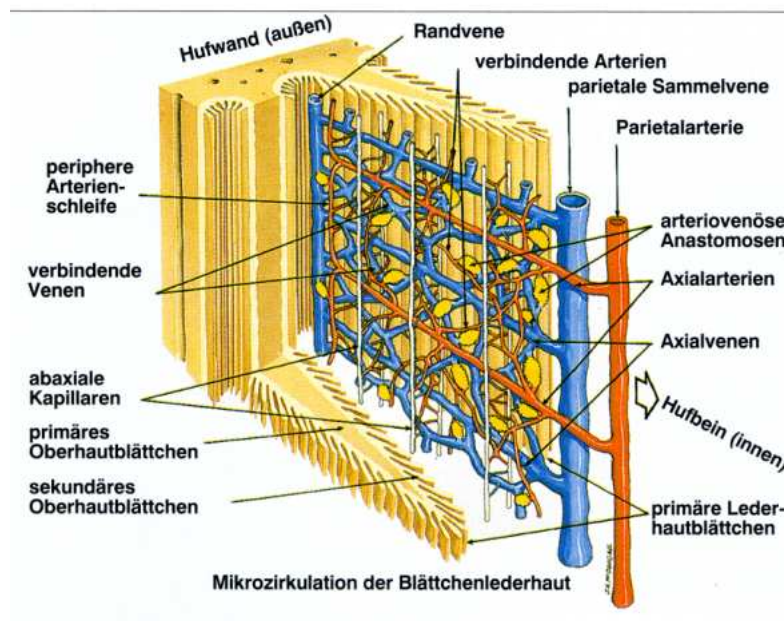
Da der Rückfluss des Blutes aus den distalen Gliedmaßen des Pferdes durch das Aneinanderliegen venöser und arterieller Strukturen und damit durch die pulsierenden Eigenschaften der Arterien verstärkt wird, besteht dort eine „enge arteriovenöse Kopplung“ (König und Liebich 1999). Dieser parallele Verlauf resultiert in einer den entsprechenden Arterien zugeordneten, äquivalenten Namensgebung: Man unterscheidet hier nach Wissdorf et al. (2002) ein palmares und ein dorsales Venennetz, wobei letzteres die Venen der Wandlerhaut sammelt, um dann in die *V. coronalis* zu münden.

Der venöse Abfluss von Sohlen- und Strahlederhaut sowie dem zugehörigem Polster, dem Ballenpolster und axialen Anteilen des Hufknorpels läuft über das palmare Venennetz. Äquivalent zur Kronrandarterie existiert auch ein Kronrand-Venenplexus, der die Venen von Kronpolster und – lederhaut beinhaltet.

Hingegen bezeichnen Pollitt (1999) den axial vom Hufknorpel befindlichen als „großen, tiefen, inneren Venenplexus“ und er konkretisiert die Lage des Kronrandplexus mit der Beschreibung „abaxial vom Hufknorpel“.

An allen vier Gliedmaßen sammeln sich die venösen Vernetzungen des Hufes in den *Vv. digitales palmares* (Vgldm.) bzw. *plantares* (Hgldm.) *laterales* und *mediales*, die sich jeweils nach Zufluss der zugehörigen Dorsaläste zu einer *V. metacarpea* (Vgldm.) bzw. *V. metatarsea* (Hgldm.) verbinden (Nickel et al. 1996, König und Liebich 1999).

Pollitt (1999) gelang es, die komplexen Aufzweigungsmuster der Gefäßversorgung des Hufes, insbesondere der einzelnen Lederhautblättchen und Zotten noch detaillierter anhand von Gefäßkorrosionspräparaten der Mikrozirkulation darzustellen:



40. Abbildung der Mikrozirkulation der Lederhautblättchen. Diese Zeichnung wurde unter Verwendung von Gefäßkorrosionspräparaten zum Studium der Mikrozirkulation der Lederhautblättchen erstellt. Das Blutgefäßsystem ist ein Bestandteil der Lederhaut, und jedes Lederhautblättchen liegt zwischen zwei Oberhautblättchen. Axialarterien und -venen zweigen von den Wandgefäßen ab und alternieren miteinander entlang des Längsverlaufs der Blättchen. Arteriovenöse Anastomosen entspringen aus Ästen der Axialarterien, aber niemals aus den Axialarterien selbst. Die Äste der Axialarterien verbinden sich miteinander und bilden einen anastomosierenden Plexus, aus dem schließlich die feinen Kapillaren entstehen. Zur Verdeutlichung werden nur wenige Kapillaren im Diagramm gezeigt. Das am weitesten peripher gelegene Gefäß der Blättchenzirkulation ist die Marginalvene. Die Blättchenvenen folgen dem gleichen Muster wie die Arterien und fließen in die verbindende Wandvene ab.
Zeichnung: J. McDougall.

Abb. 6: Die Mikrozirkulation der Lederhautblättchen, modifiziert nach Pollitt (1999)

Sowohl Nickel et al. (1996) als auch Pollitt (1999) und Geyer und Ossent (2006) gehen davon aus, dass an der Basis der in Abb. 7 dargestellten Gefäßschleifen arteriovenöse Verbindungen bestehen, die geöffnet oder verschlossen werden können. Im Falle einer Umleitung des Blutes über diese Anastomosen, so genannte „Kurzschlüsse“ (Geyer und Ossent 2006) erfolgt eine Unterversorgung der peripheren Bereiche der einzelnen Zotten und vor allem von deren Spitzen.

2.2.3.3 Nerven

Die neurologische Versorgung des distalen Abschnittes des Pferdefusses erfolgt zum Einen über ein oberflächliches palmares (Vgldm.) bzw. plantares (Hgdml) Nervensystem, das von den Endästen des *N. digitalis palmaris / plantaris medialis* bzw. *lateralis* gebildet wird, Dabei erhält der mediale Anteil sensible Fasern ausschließlich aus dem *N. medianus*, der laterale Anteil führt zusätzlich noch Fasern eines Ramus palmaris des *N. ulnaris* (Wissdorf et al. 2002).

Zum anderen findet die Innervation der tiefen Strukturen in der Hufkapsel über ein tiefes Nervensystem statt, das jedoch nicht eigenständig verläuft, sondern ebenfalls den Endästen des jeweiligen tiefen Zehennervs entspringt. Eine Abgabe von Nervenästen an Ballen und Ballenpolster, Hufgelenk, Strahlbein sowie andere in Abb. 7 aufgeführte Strukturen gewährleisten deren Innervation.

Auch die dorsale neurale Versorgung erfolgt nicht über ein eigenständiges System, sondern ebenfalls lediglich über den vom *N. digitalis palmaris* bzw. *plantaris* abgegebenen *Ramus dorsalis*. Die kontinuierliche Existenz einer zusätzlichen Dorsalinnervation über den aus dem *N. ulnaris* abzweigenden *N. metacarpeus/-tarseus palmaris/plantaris medialis* ist laut Wissdorf et al. (2002) ungeklärt.

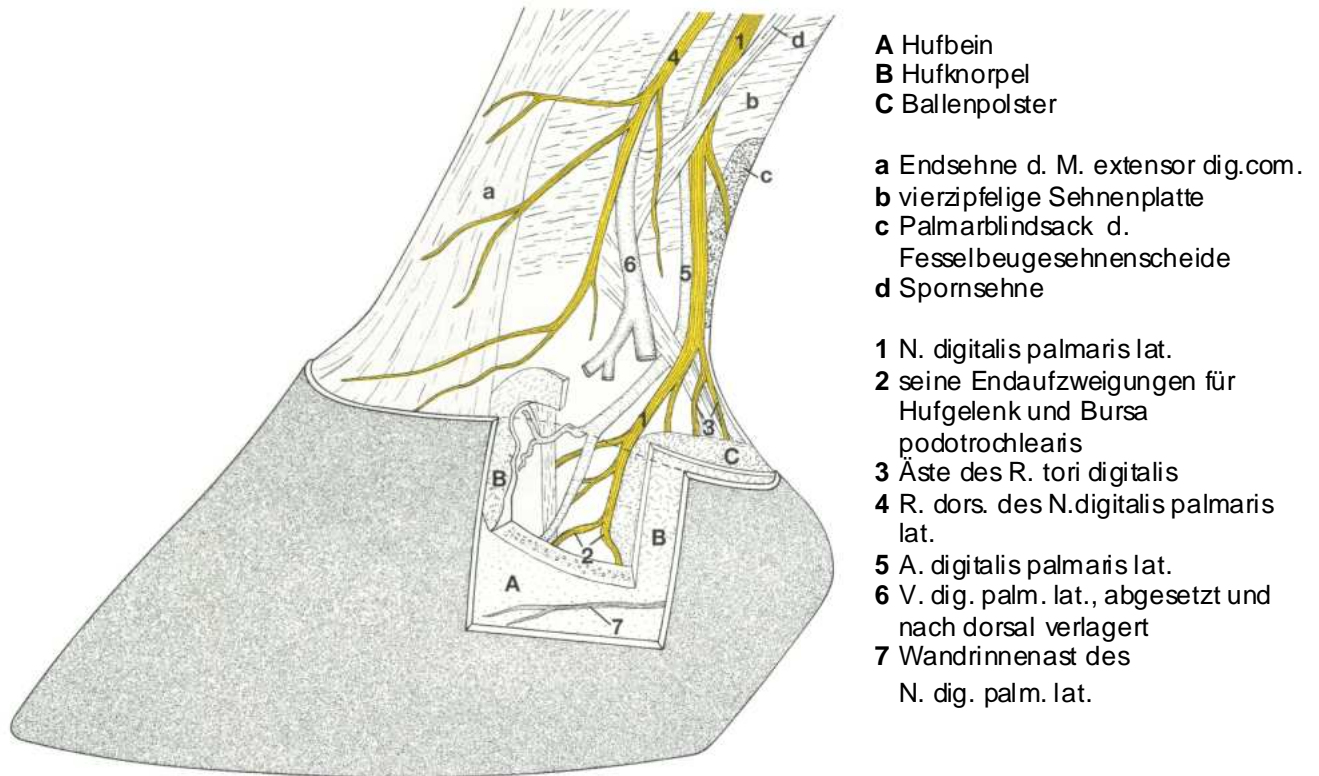
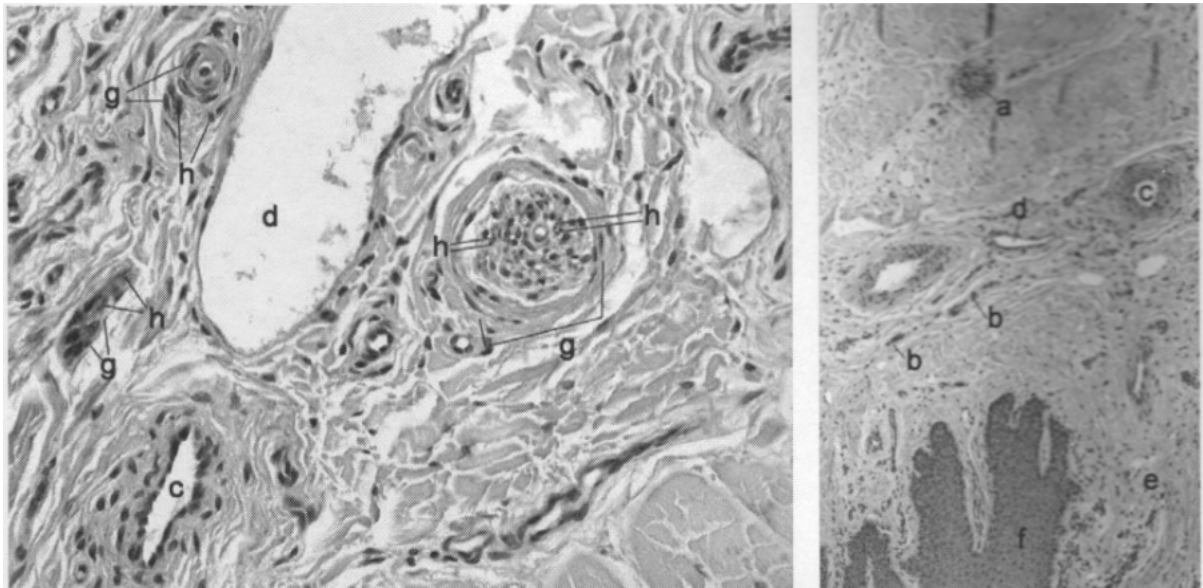


Abb. 7: Zehennerven und Gefäße, modifiziert nach Wissdorf et al. (2002)

Die Lederhaut ist sehr gut innerviert (Geyer und Ossent 2006). Es wird zwischen vegetativen und sensiblen Nervenfasern unterschieden. Die vegetativen Fasern regulieren Veränderungen der Gefäßlumina. Die Präsenz der sensiblen Fasern bietet eine Erklärung für die Schmerzhaftigkeit im Zusammenhang mit krankhaften Veränderungen im Sohlenbereich

Anhand CGRP- markierter (Marker für sensible Nervenfasern) mikroskopischer Untersuchungen gelang es Geyer und Ossent (2006), die Innervation der Zotten genauer zu definieren: Die neurologische Versorgung ist an den Zotten aller Segmente identisch: an der Zottenbasis zeigt sich ein großer sensibler Nerv, der sensible Nervenfasern abgibt, die in die Zotte ziehen.



a) Auszug aus dem rechten Bild, c-d stark vergrößert

b)

a Nervenfaserbündel, markierte Fasern dunkel
 b kleine, markierte Nervenfasern
 c Arterien
 d Venen
 e große Lederhautzotten

f Keimschicht der Sohlenepidermis
 g Nervenfaserbündel
 h markierte Nervenfasern, dunkel

Abb. 8a und 8b: Nervenfasern der Sohlenlederhaut, markiert mit einem Neuropeptid (CGRP), das an sensible Fasern bindet; modifiziert nach Geyer und Ossent (2006)

2.2.4 Modifizierte Hautanteile des Hufes

2.2.4.1 Lederhaut

Die Huflederhaut, das *Corium*, gewährleistet nicht nur mit ihrem blutgefäßreichen und gut innervierten Bindegewebe (s. Kap. 2.2.3.) eine Ernährung der Hufkapsel, sondern dient zudem auch der Stabilisation der umliegenden Strukturen, d.h. sowohl der Unterhaut, der *Subcutis*, als auch des Knochens und der Oberhaut.

Die Huflederhaut besteht aus einer oberflächlichen Schicht, dem *Stratum papillare*, sowie einer tiefen Schicht, dem *Stratum reticulare*.

Die eigentlich der Lederhaut zugehörigen polstemden Eigenschaften werden im Bereich von Kronsaum, Ballen und Strahl von der Unterhaut, der *Subcutis*, übernommen (Budras und Röck 2000).

Das *Stratum papillare* stellt die oberflächliche, an die Hornkapsel angrenzende Schicht dar und ist sehr zell- und gefäßreich.

Zusätzlich zu seiner Funktion als Kontaktfläche zur Oberhaut und Stabilisation der Verbindung zwischen Epidermis und Lederhaut bildet der Papillarkörper Zotten (in allen Segmenten außer dem Wandsegment) bzw. Blättchen (im Wandsegment). Sie dienen der Oberflächenvergrößerung, die im Wandbereich, wo die Blättchen zusätzlich durch Sekundärblättchen erweitert sind, noch ausgeprägter ist. Die unpigmentierten Spitzen der Lederhautblättchen bilden den inneren Anteil der weißen Linie, der *Linea alba* (s. Abb. 9).

Das *Stratum reticulare* liegt in den Segmenten ohne Subcutis dem Periost direkt an und ist im Gegensatz zur oberflächlichen Schicht der Lederhaut von faserreicher, zellarmer Beschaffenheit. Die meist netzartig konstruierte, bindegewebige, tiefe Schicht der Lederhaut ist im Hufbereich nur sehr schwach ausgeprägt, zieht jedoch mit ihren Fasern in die Tiefe des Hufbeines und fixiert so das Hufbein im Sinne einer hängenden Konstruktion (Nickel et al. 1992, Pollitt 1999, Wissdorf et al. 2002).

Diese Kollagenfasern in Kombination mit dem Verbindungshorn sowie der äußeren Hornschicht der Primärblättchen bilden den sog. „Hufbeinträger“.

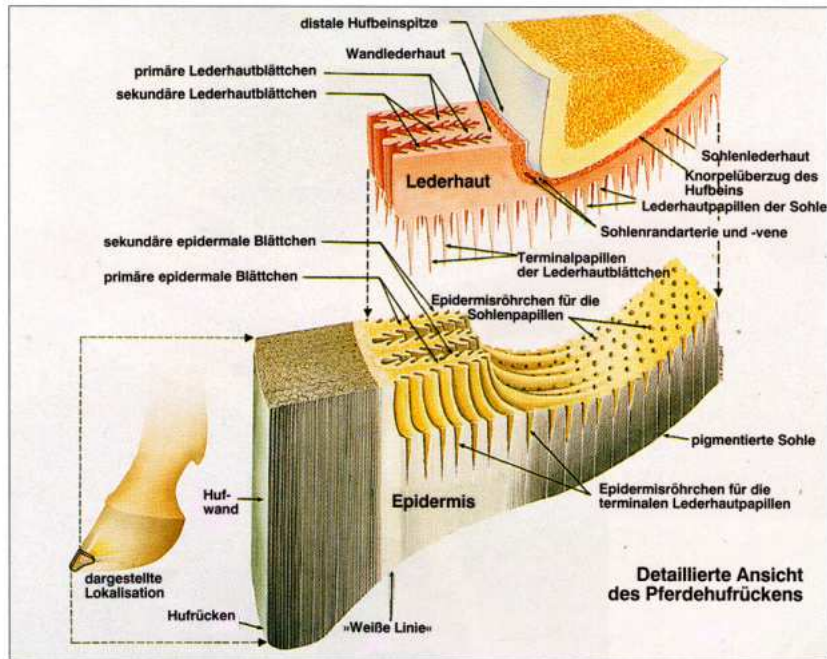
2.2.4.2 Epidermis

Die Hufoberhaut, die *Epidermis*, bildet die Hornkapsel, die als „schlechter Wärmeleiter“ bezeichnet wird (Wissdorf et al. 2002). Sie untergliedert sich in folgende Areale:

Die so genannte Hornplatte, die die gesamte Hufwand, d.h. sowohl die dorsalen als auch die lateralen und medialen Anteile der Hornkapsel bildet;

Der Hornplatte schließt sich nach innen die im Sohlenbereich unpigmentierte weiße Linie an.

Des Weiteren existieren noch die aus Horn bestehende Sohle mit dem Strahl sowie der Ballenbereich.



21. Abbildung aus dem Huf Rücken. Nach einer artifiziiellen Separation der Leder- von der Oberhaut können die Beziehungen zwischen diesen zwei anatomischen Komponenten demonstriert werden. Genauso wie im Kronsegment paßt jedes Lederhautzöttchen der Sohle in eine entsprechende epidermale Vertiefung der Sohlenepidermis. Eine ähnliche Beziehung existiert zwischen den Lederhautblättchen und den entsprechenden epidermalen Blättchen der Hufwand. Das distale Ende jedes Lederhautblättchens ist in Terminalpapillen aufgespalten. Die Epidermis in der Umgebung der Terminalpapillen ist unpigmentiert und bildet den inneren Anteil der Zona alba (Weiße Linie). Die Zona alba ist relativ weich und elastisch und versiegelt die Hufkapsel gegenüber den darüberliegenden Hufanteilen. Oft ist sie durch Zerfall und bakterielle Zersetzung gefährdet und wird dann gewöhnlich als »seedy toe« oder »Lose Wand« (»White Line Disease«) bezeichnet. Zeichnung: J. McDougall.

Abb. 9: Verbindung zwischen Lederhaut und Epidermis, modifiziert nach Pollitt (1999)

Histologisch erfolgt bei der Epidermis von innen nach außen eine Differenzierung in

- Basalzellschicht, *Stratum basale*,
- Stachelzellschicht, *Stratum spinosum*,
- (Körnerschicht, *Stratum granulosum*, Glanzzellschicht, *Stratum lucidum*) und
- Hornzellschicht, *Stratum corneum*,

wobei die in Klammern erwähnten Schichten im Kron-, Wand- und Sohlensegment fehlen (Wissdorf et al. 2002) (s. auch Abb. 21).

Budras und Huskamp (1998) vergleichen den Aufbau der Hornzellschicht mit dem einer Mauer, wobei die einzelnen Zellen bildlich als Steine und der sie verbindende Interzellularkitt als Mörtel veranschaulicht werden. Den oben genannten Ausstülpungen der Lederhaut fügt sich spiegelbildlich die am Huf modifizierte Oberhaut an. Budras und Röck (1997) bezeichnen daher den von der Lederhaut gebildeten Anteil als „Patrize“ und den der Hornkapsel als zugehörige „Matrize“. Die so entstehenden Hornröhrchen (Sohlensegment) bzw. Hornblättchen (Wandsegment) erhalten stets, reguliert durch die epidermale Matrix, Zellnachschiebung.

Die Hornschicht, das *Stratum corneum*, der Sohlenepidermis weist durchschnittlich eine Dicke von 1 cm auf, wobei dieser Wert starken Variationen unterliegt (Liebich et al. 1999, Silbersiepe et al. 1986).

2.3 Allgemeine Pathologie der Verbrennung

Eine lokale Schädigung des Gewebes durch Hitzeeinwirkung kann durch Verbrühung (Flüssigkeiten) oder durch Verbrennung, *Combustio*, (Flammen, erhitzte Gase bzw. andere Materie oder ionisierende Strahlen) erfolgen.

Thomas und Büttner (2003) sehen das Ausmaß der Gewebsschädigung stets in Relation mit der Einwirkdauer sowie Höhe der Temperatur. Schulz et al. (1990) führen ergänzend weitere Einflussfaktoren an: Aggregationszustand und Art des einwirkenden Mediums beeinflussen die entstehenden Gewebeschäden ebenfalls. Die indirekt proportional zueinander stehenden Faktoren Zeit und Temperatur erläutern Schulz et al. (1990) anhand einer Gegenüberstellung zweier Beispiele: Während bei einer Temperatur von 44°C eine Expositionsdauer von 6 h nötig ist, um Gewebläsionen zu verursachen, so sind bei 51°C bereits nach 3 Minuten identische Schäden zu erwarten. Zusammenfassend halbiert sich bei jeweiliger Temperaturerhöhung um ein Grad die zugehörige Zeitspanne, bis Gewebeschäden eintreten.

Eine Einteilung der Gewebläsionen erfolgt je nach Schweregrad in vier verschiedenen Abstufungen, wobei je nach Lokalisation (Zentrum oder Peripherie der Verbrennung) meist mehrere Grade vorliegen (Joest et al. 1985, Sandritter und Beneke 1986, Schulz et al. 1990, Thomas und Büttner 2003).

2.3.1 Verbrennung 1. Grades

Die „relativ ungefährliche“ Form, *Combustio erythematosa*, resultiert lediglich in einer Rötung und möglicherweise Schwellung des betroffenen Areals, verursacht durch mediatoreninduzierte (Histamin, Kinine) Durchblutungssteigerung der Kapillaren (Schulz et al. 1990). Neben der Hyperämie kann sich in seltenen Fällen eine Exsudation in den oberflächlichsten Schichten einstellen. Schulz et al. (1990) beschränken diese Definition auf eine Einwirktemperatur von 45°C - 50°C und einem betroffenen Areal, das 5% der Körperoberfläche nicht überschreitet. Histologische Befunde sind neben einer Zellkemschwellung der epidemalen Schichten auch eine durch Ödematisierung verursachte Dissoziation der kollagenen Fasern der

Epidemis. In schlimmeren Fällen kann zudem eine Schrumpfung der Keme des Stratum basale auftreten. Diese Schrumpfung basiert auf einer Verdichtung des Chromatins und bewirkt eine verstärkte Anfärbbarkeit.

2.3.2 Verbrennung 2. Grades

Dieser Grad der Verbrennung geht ebenso mit einer Schwellung sowie einer kollateralen Hyperämie einher. Allerdings sind die auslösenden Faktoren bei Verbrennungen 2. Grades nicht nur Histamin und Kinine. Eine weitaus bedeutendere Rolle bei diesem Verbrennungsgrad spielen hier durch Zelluntergang frei werdende Toxine. Zusätzlich zum Erythem ist dieses Stadium vor allem durch zelluläre Infiltration und Brandblasenbildung gekennzeichnet und wird als *Combustio bullosa* beschrieben. Die Hitzeokoagulation der Epidermis und daraus resultierende seröse Exsudation (das darunter liegende Gewebe bleibt unbeschädigt) führt zur Ablösung der Epidermis, wodurch die o. g. Brandblasen sichtbar werden. Histologisch dominiert hier die ausgeprägte Karyopyknose aller epidemalen Zellschichten. Nach Moritz et al. 1947 ist zudem eine subepidemale Bläschenbildung zu beobachten, die durch einen Untergang der Zellen des Stratum basale sowie der kollagenen Strukturen der Lederhaut entstehen soll. Auch dieses Stadium ist, da tiefere Strukturen intakt bleiben, reversibel.

2.3.3 Verbrennung 3. Grades

Während bei Verbrennungen 2. Grades lediglich die Epidermis durch Hitzeokoagulation lädiert ist, sind im Falle der Verbrennung 3. Grades, der *Combustio escharotica* zudem das Corium sowie meist auch Subcutis und tiefer gelegene Strukturen nekrotisch verändert (Brandschorf). Solch tiefgehende Gewebläsionen bewirken auf zellulärer Ebene eine "Denaturierung bzw. Koagulation der Proteine..., Störung anaboler und kataboler Stoffwechselforgänge und Desintegration von Lipoproteinmembranen" (Thomas und Büttner 2003). Eine Verdichtung und Schrumpfung der Zellkerne und des Zytoplasmas „sowie Schwellung und Homogenisierung der Kollagenfasern“ (Joest et al. 1985) stellen die häufigsten histologischen Veränderungen dar. In vielen Fällen ist auch eine Extravasation der Blutbestandteile aufgrund endothelialer Läsionen zu beobachten.

2.3.4 Verbrennung 4. Grades

Dieser Grad ist durch ein höchstes Ausmaß an Gewebszerstörung gekennzeichnet, die sich über die Schichten der Körperoberfläche hinaus bis zur Muskulatur erstrecken kann. Die Verkohlung der Strukturen, die *Combustio carbonisata*, tritt häufig durch Kontakt mit sehr hohen Temperaturen (über 300°C) auf. Die histologischen Befunde beschränken sich auf das Vorhandensein gestaltloser, verklumpter Materie. Maßgeblich für den weiteren Verlauf ist jedoch weniger die Graduierung sondern vielmehr die Ausdehnung des betroffenen Gewebeareals: je großflächiger die Verbrennung ist, desto mehr treten daraus resultierende Komplikationen für den Gesamtorganismus (Verbrennungskrankheit) wie z.B. Proteinverlust, Sekundärinfektionen, Sepsis und andere Sekundärerkrankungen in den Vordergrund.

2.4 Allgemeines zur Durchführung des Heißbeschlages

Der Heißbeschlag ist die beste, akkurateste Methode, um einen gleichmäßigen, planen Sitz des Eisens auf dem Tragrand zu gewährleisten (Moser und Westhues 1950, Bauer 1954, Hickman 1983, Ruthe et al. 1997 und Hemmanns 1992).

Die Wärmeleitfähigkeit des Hornes wird als schlecht bezeichnet, weswegen aus tierschutzrechtlichen Gründen kein Einwand besteht, der gegen das Auflegen des erhitzten Eisens auf den Tragrand der Hornsohle spricht. Durch das Aufbrennen wird eine bestmögliche Kongruenz zwischen Sohle und Hufeisen gewährleistet.

Alle Autoren weisen jedoch darauf hin, dass das Aufbrennen nur als beste Beschlagsmethode gilt, falls der Huf sich in physiologischer Konstitution befindet. In allen kritischen Fällen obliegt es dem sachkundigen Beurteilungsvermögen des Schmiedes, abzuwägen, ob ein Erhitzen des Eisens nötig und vertretbar ist.

Einigkeit herrscht auch bei allen oben genannten Autoren bezüglich der Zeitspanne des Aufbrennens: Die Empfehlung ist es, das Eisen bis zum Erreichen des gewünschten Zustandes so selten wie möglich und zudem jeweils nur so lange es dringend nötig ist, dem Tragrand aufzulegen – es wird stets die Beschreibung „wenige Sekunden“ verwendet (Fischer 1927). Köhler (1939) nennt in seiner

LITERATURÜBERSICHT

Dissertation eine aus hundert aufgepassten Eisen errechnete Durchschnittszeit von 49,98 Sekunden, wobei bei 80 % der untersuchten Tiere ein dreimaliges, bei 20 % nur ein zweimaliges Aufhalten nötig war. Während die Schmiede im Rahmen der Messungen von Köhler (1939) stets mit konstanter Temperatur aufbrannten (braunwames Eisen, Temperatur ca. 550-600°C), herrscht in Hufschmiedekreisen nach wie vor Uneinigkeit bezüglich der idealen Temperatur des zum Aufbrennen verwendeten Hufeisens:

Bauer (1954) und Hemanns (1992) raten zur Verwendung eines Eisens von „mäßig erwärmter“ Beschaffenheit. Ruthe et al. (1997) hingegen empfehlen die Verwendung eines „rotwarmen“ Eisens. Hickmann (1983) wiederum hält den „rotglühenden“ Zustand für ideal. Prietz (1985) rät zum Aufbrennen der Hufeisen „in dunkelroter Wärme“, um eine Schädigung und Austrocknung des Hufes zu vermeiden. Eberlein (1908), Fischer (1926), Habacher (1948) und Moser (1926) hingegen plädieren für ein Auflegen des Hufeisens im „mäßig braunwarmen“ Zustand (zitiert nach Köhler 1939).

Eine Zuordnung der Farbnuance eines erhitzten Eisens zur jeweiligen Temperatur erfolgt über eine der gängigen Tabellen, z.B. von Styrie (1929):

Tab.1 : Übersicht über die Glühfarben des Hufeisens bei zunehmender Glühtemperatur (nach Köhler 1939)

<u>Temperatur des Eisens:</u>	<u>zugeordnete Glühfarbe:</u>
550-600°C	dunkle Braunglut
600-650°C	Braunrotglut
650-730°C	dunkle Kirschrotglut
730-800°C	Kirschrotglut
800-850°C	Helle Kirschrotglut
850-900°C	Helle Rotglut
900-950°C	Gelbrotglut
950-1050°C	dunkle Gelbglut
1050-1150°C	Helle Gelbglut
1150-1250°C	matte Weißglut
1250-1350°C	Helle Weißglut

2.5 Verbrennungen der Sohlenlederhaut

Eine Verbrennung der Sohlenlederhaut, *Pododermatitis combustionis*, ist v.a. im Zusammenhang mit dem in Europa üblichen Heißbeschlag früher des Öfteren in der Literatur diskutiert worden. Sowohl Moser und Westhues (1950) als auch Köhler (1939) beschreiben die Inzidenz von Verbrennungen dieses Charakters als rar. Beide begründen dies mit der äußerst schlechten Wärmeleitkapazität des Horns.

Alle Autoren weisen zudem darauf hin, dass Schäden durch Hitzeeinwirkungen ausschließlich nach massiver, lang anhaltender Hitzeeinwirkung beobachtet wurden. Angegebene Beispiele hierfür sind unter Anderem Verbrennungen der Sohle nach längerem Aufenthalt auf brennenden Hornspänen bei Stallbränden. Ein in früheren Zeiten teils praktiziertes, nach heutigen Tierschutzaspekten obsoletes, Auflegen von heißer Kohle um hartes Sohlehorn zu erweichen, führte früher ebenso zu Verbrennungen. Direkt durch das Aufbrennen des Eisens im Zuge eines Heißbeschlages entstandene Verbrennungen werden lediglich im Zusammenhang mit einer unphysiologisch dünnen Ausgangshornsohle (abnorm abgelaufener Tragrand, zu starkes Kürzen bei der Zubereitung des Hufes, Flach-, Voll- oder Rehehuf mit Rotation des Hufbeines) genannt.

Während Becker (1901), Rogersohn (1891) und Eberlein (1908) den Zehenbereich für das am meisten gefährdete Areal halten, weil das Eisen dort bei Messungen die höchste Temperatur aufwies bzw. beim Aufbrennen der Druck dort stärker zu sein schien, ist nach Mayer-Groß der Sohlenwinkel aufgrund der dort nur sehr dünnen Hornschicht anfälliger für Verbrennungen (zitiert nach Köhler 1939).

Wie bereits in Kapitel 2.3. beschrieben, sind die Schäden an der Lederhaut in erster Linie abhängig von der Zeit und der Temperatur der Hitzeeinwirkung. Die Relevanz weiterer Faktoren wird diskutiert.

Alle Autoren sind sich einig, dass Verbrennungen beim Aufbrennen allgemein sehr unwahrscheinlich sind und höchstens durch eine viel zu lange Aufbrenndauer entstehen könnten (Moser und Westhues 1950, Bauer 1954, Hickman 1983, Ruthe et al. 1997 und Hemmanns 1992). Allerdings teilen sich die Meinungen bezüglich des Einflusses der entsprechenden Temperatur: Hördt (1829), Rogersohn (1891), Groß

LITERATURÜBERSICHT

(1842) und andere führen Schäden auf eine zu hohe Aufbrenndauer in Kombination mit zu heißem Eisen (kirschrot glühend) zurück, Lafosse père (1757) sowie Delafond (1845) hingegen auf ein zu langes Aufbrennen mit schwach erhitztem (dunkelrot glühendem) Eisen (zitiert nach Köhler 1939).

Die Angaben zu der Sohlendicke, der noch eine ausreichende Isolationskapazität zugeordnet wird, beschränken sich auf eine von Köhler im Rahmen seiner Dissertation durchgeführte Studie sowie ein darin erwähntes Zitat, wobei sich die darin aufgeführten, von Köhler erarbeiteten und die von ihm zitierten Ergebnisse erheblich unterscheiden:

Köhlers Untersuchungen ergaben auch 20 Stunden nach Aufbrennen eines kirschrot glühenden Eisens bei einer Einwirkzeit von 60 Sekunden und einer Sohlendicke von 4,4 mm keine erkennbaren Strukturveränderungen an der Lederhaut. Diesen Ergebnissen entsprechend erklärte er eine Sohlendicke von 5 mm als ausreichend, um eine Thermoisolation zu gewährleisten. Allerdings zitiert Köhler Delafond (1845), der anhand seiner Untersuchungen zu dem Schluss kam, dass die Sohlendicke mindestens 2 cm betragen muss, um eine Verbrennung der Lederhaut zu verhindern. Als Richtlinie zum Abschätzen der aufgeführten 2 cm Restsohlendicke wird beschrieben, die Sohle dürfe auch auf festen Saumendruck hin nicht nachgeben (zitiert nach Köhler 1939)

Moser und Westhues (1950), Heß (1913) sowie Eberlein (1908) teilen die Verbrennung der Sohle analog zu den Lehrbüchern der Allgemeinen Pathologie in verschiedene Grade ein (vgl. Kap. 2.3.)

Verbrennung 1.Grades:

Sie wird neben den in Kap. 2.3. erwähnten Merkmalen als vollständig reversible Schädigung bezeichnet, klinisch und adspektorisch wurden v.a. geringgradige Lahmheiten, verstärkte Pulsation der *A. digitales palmares communes* und sichtbare Veränderungen am Hom im Sinne von geringgradigen, oberflächlichen Verkohlungen beobachtet.

Verbrennung 2.Grades:

Auf eine Schädigung dieser Art wurde von Eberlein (1908) meist eine ca.1 - 2 Tage verzögert auftretende Lahmheit beobachtet. Moser und Westhues (1950) beschreiben die Bildung seröser Flüssigkeit und die Einwanderung von Entzündungszellen (s. Kap.2.3.). Sie definieren außerdem zu erwartende Folgen als tiefe bzw. oberflächliche Huflederhautentzündungen aseptischer Art, die jedoch im Falle eines Aufbruches im Saum- oder Sohlenbereich durch eine Keimbesiedelung verkompliziert werden können. Prietz (1985) beschreibt das Erscheinungsbild der Verbrennung nach dem Aufbrennen im Zusammenhang mit „blasenförmig vorgewölbten, teilweise feuchten Stellen in der weißen Linie“.

Verbrennung 3. Grades:

Hierbei ist neben einer meist vollständigen Zerstörung der Hornschicht durch Verkohlung der dominante Aspekt die hochgradige aseptische Entzündung mit Gewebsuntergang. Sie ist meist aufgrund der Läsionen bzw. Nekrosen oder evtl. Gangränen auch der tiefer liegenden Strukturen dazu prädestiniert, durch Sekundärinfektionen in eine septische Form überzugehen.

Der weitere Verlauf der durch Hitze entstandenen Gewebsläsionen ist stark abhängig vom Grad der Verbrennung:

Bei Verbrennungen niedrigen Grades entsteht eine akute, nicht eitrige Pododermatitis mit serösem, serofibrinösem oder serös-hämorrhagischem Entzündungscharakter (Silbersiepe et al. 1986), die meist im Falle eines komplikationslosen Verlaufes eine günstige Prognose hat. Verbrennungen 1. Grades sind oft symptomlos, jedoch kann das Tier eine vorübergehende Lahmheit oder Fühligkeit zeigen. Zudem kann eine verstärkte Pulsation der Zehenseitenarterien auftreten.

Entsteht jedoch eine nekrotisierende bzw. gangränöse Pododermatitis aufgrund höhergradiger Verbrennungen, so ist die Prognose bei weitem zweifelhafter. Dies beruht einerseits auf der Möglichkeit, dass die Nekrose der Lederhaut auch auf knöchernen Strukturen (Hufbein) fortschreiten kann. Zum anderen sind die

Heilungschancen bei hochgradiger Nekrose der Lederhaut schlechter. Ein weiteres Problem stellen die lädierten Nervenfasern dar, die das Corium bis in die Zotten innervieren: Häufig wurden nach erfolgter Heilung der sichtbaren Areale noch relativ lange anhaltende Lahmheiten beobachtet, was mit einer erhöhten Reizbarkeit der Nervenenden in der Huflederhaut begründet wird (Moser und Westhues 1950). Heß (1891) und Eberlein (1896) stellen fest, dass bereits bei Verbrennungen 2. Grades mit Nekrosen zu rechnen und demnach eine vorsichtige Prognosestellung anzuraten sei (zitiert nach Köhler 1939).

Therapeutisch steht bei frischen Verbrennungen die Kühlung und die Verhinderung einer Infektion mit Hilfe aseptischer Verbände im Vordergrund. Bei bereits entzündeten Arealen werden antiseptische Behandlung (desinfizierende Tinkturen und Salben), kühlende Bäder sowie Verbände angeraten (Moser 1950). Insbesondere bei starker Nekrose (Verbrennungen höheren Grades) und daraus resultierenden Hornbildungsstörungen empfehlen Gutenäcker (1901) nach einem Abtragen des losen Horns so lange gepolsterte Verbände aufzulegen, bis das Sohlenhorn ausreichend nachgewachsen ist (zitiert nach Köhler 1939). Anschließend werden ein Beschlag mit einem Steghufeisen sowie das Einlegen einer Ledersohle empfohlen.

2.6 Wärmeleitfähigkeit der Hornkapsel

Die Wärmeleitfähigkeit eines Materials definiert die Fähigkeit, „thermische Energie mittels Wärmeleitung in Form von Wärme zu transportieren“. Sie ist „bestimmt durch die Geschwindigkeit, mit der sich die Erwärmung an einem Punkt durch den Stoff ausbreitet“ (Wikipedia, freie Enzyklopädie). Der k-Wert ist der Wert, der die Wärmeleitfähigkeit eines Materials angibt. Er setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen (nach anter.com, Technical Notes 67, www.architektur-lexikon.de, phun.physics.virginia.edu/topics/thermal, en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity, www.npl.co.uk/thermal/stuff/guide2.html)

Q = Wärmemenge

t = Einwirkzeit

A = Fläche

ΔT = Temperaturdifferenz zwischen der Eintritts- und Austrittsfläche

ΔL = Strecke zwischen Ein- und Austrittsfläche

Der k -Wert wird nach folgender Formel berechnet:

$$k = \frac{Q^* \Delta L}{\Delta T^* A^* t} \text{ Einheit } k = \frac{J^* \Delta m}{\Delta K^* m^* m^* s} = \frac{W}{m^* K}$$

Dem Wiedemann-Franz'schen Gesetz entsprechend besteht eine Parallelität zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und der Wärmeleitfähigkeit verschiedener Medien (Meschede 2005). Beide Arten der Leitfähigkeit beruhen auf den frei zur Verfügung stehenden Leitungselektronen und unterliegen demnach demselben Mechanismus. Die Relation der beiden physikalischen Eigenschaften kann mit folgender Formel errechnet werden, wobei a eine Konstante ist:

$$aT = \frac{\lambda}{\sigma} = \frac{\text{Wärmeleitfähigkeit}}{\text{elektrische Leitfähigkeit}}$$

Der Hornkapsel wird eine schlechte Wärmeleitkapazität zugeschrieben (s. Kap. 2.4. und 2.5.). Wissdorf et al. (2002) nennen eine Temperaturspanne von -40°C bis 500°C , die der unbeschlagene Huf tolerieren kann, ohne dass daraufhin Schäden zu erwarten sind.

Tabellen, in denen die k-Werte diverser Materialien und Medien aufgelistet sind, enthalten lediglich Angaben über die Wärmeleitfähigkeit von Knochen (<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/thermal.html> 2006, http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity 2007, <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/thermal.html> 1995). Daraus sind zwar Rückschlüsse auf die Wärmeleitfähigkeit von Horn möglich, konkrete Werte für das Hufhorn sind jedoch nicht verfügbar.

Köhler erwähnt in seiner 1939 erstellten Dissertation lediglich einen von Zeilinger durchgeführten Versuch zur Wärmeleitfähigkeit des Hufes. Dieser maß mit Hilfe eines Kalorimeters und einer selbst angefertigten Apparatur die Wärmeleitkapazität der Hornkapsel. Hierzu bestimmte er die Wärmemenge, die einem Hornstück von 1 Kubikzentimeter innerhalb einer Sekunde entzogen werden konnte. Die Temperaturdifferenz von 1°C zwischen den gegenüberliegenden Seiten ging mit einem Wärmeverlust von 0,00072 Kalorien bei pigmentiertem Horn und 0,00071

Kalorien bei unpigmentiertem Horn einher. Zeilinger resümierte diese Untersuchung mit der Aussage, dass die Pigmentierung von Horn keinen nennenswerten Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit hat (zitiert nach Köhler 1939).

Eine weitere Messung diente dem Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von Horn unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes. Der normalen Hornkapsel war bei einem Temperaturunterschied von 1°C zwischen Innenseite und Außenseite der Hornkapsel eine Wärmemenge von 7,3 Kalorien zu entziehen. Bei Wiederholen des Versuchsaufbaus mit einem getrockneten und anschließend in Kochsalzlösung eingelegten Huf war ein Wärmeverlust von 8,1 Kalorien zu verzeichnen. Hieraus schlussfolgerte Zeilinger, dass der Feuchtigkeitsgehalt des Hornes einen minimalen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit hat (zitiert nach Köhler 1939).

Zeilinger verglich zudem die Wärmeausbreitung mit Berücksichtigung der mikroanatomischen Strukturen der Hornkapsel. Es wurden Messungen zum Ausbreitungsverhalten von Wärme im Horn in verschiedenen Richtungen durchgeführt. Sie ergaben, dass eine Wärmeleitfähigkeit parallel zum Verlauf der Röhrrchen besser war als in alle anderen gemessenen Richtungen (zitiert nach Köhler 1939).

2.7 Häufigste Erkrankungen der Huflederhaut

Entzündungen der Huflederhaut gehören zu den häufigsten Erkrankungen an den distalen Extremitäten des Pferdes.

Die klinischen Symptome können deutlich variieren, alle auftretenden Einzelbefunde können zwar diagnostischen Zwecken dienen, allerdings impliziert ein Fehlen klinischer Hinweise nicht zwingend, dass keine Pododermatitis vorliegt. Folgende Befunde können nach Hertsch (2006) einzeln oder kombiniert den unterschiedlichen Formen der Huflederhauterkrankungen entsprechend erhoben werden:

- Gangabnormalitäten (z.B. eine verkürzte Vorführphase der Gliedmaßen)
- Lahmheiten unterschiedlicher Ausprägung
- Pulsation, vermehrte Wärme
- Schmerzhaftigkeit auf Druck und / oder Abklopfen
- Wendeschmerz

- aus adspektorischer/ röntgenologischer Untersuchung gewonnene Befunde (z.B. Strukturveränderungen der Hornkapsel, Lageveränderungen des Hufbeines, Luftpneumien in der Hornkapsel)
- positive Leitungsanästhesie (Palmar- bzw. Plantarnerv) bei lahmen Pferden

Da dem pathologischen Begriff *Pododermatitis* eine Reihe von Krankheitsbildern unterschiedlichster Charaktere zugeordnet wird, wurden in der Vergangenheit vielzählige Versuche unternommen, eine systematische Einteilung dieser Krankheitsbilder zu erstellen: Körner und Hertsch (2006), Hertsch (2006), Höppner und Hertsch (2006) und Moser und Westhues (1950) unterscheiden die verschiedenen Pododermatitiden nach

- Ursache (aseptisch, septisch)
- Verlauf (akut, chronisch)
- Ausdehnung (oberflächlich, tief, umschrieben, diffus)
- detaillierterem pathologischem Charakter (phlegmonös, gangränös, nekrotisch) des klinischen Erscheinungsbildes bzw. des Ergebnisses der Sektion

2.7.1 Pododermatitis aseptica

Die nicht bakterielle, nicht infektiöse Entzündung der Huflederhaut beginnt nach Moser und Westhues (1950) mit einer Hyperämie, die – falls verursachende Faktoren nicht abgestellt werden – in eine exsudative und anschließend transsudative Phase übergehen kann. Meist ist ein Trauma der Auslöser für diese Art der Pododermatitiden (Dietz 2002). Die aseptische Entzündung mit allen ihr systematisch zugewiesenen Erkrankungen ist in Tab. 2 dargestellt.

LITERATURÜBERSICHT

Tab. 2: Übersicht über die mit einer aseptischen Lederhautentzündung einhergehenden Erkrankungen des Hufes

(erstellt nach Moser und Westhues 1950, Hermanns 1992, Ruthe et al. 1997, Dietz 2002 und Hertsch et al. 2006)

Trivialname	Fachterminus	Verlauf	Ausdehng.	Ursachen	Befunde (alle nur evtl. vorhanden)
Steingalle, Hornfleck	<i>P. aseptica acuta</i> , kann durch Infektion in <i>P. septica</i> übergehen	akut, kann chronisch werden	Umschrieben oder diffus	Trauma (Dehnung, Quetschg.)	Verfärbung, Blutung weiches, brüchiges / hartes Horn Lahmheit Schmerz
Hufrehe	<i>P. aseptica diffusa</i> , kann durch Infektion in <i>P. septica</i> übergehen	akut, kann chronisch werden	Diffus	multifaktoriell	Lahmheit, Pulsation Schmerz, Rehehuf, Trachtenfußung, Röntgenbefund: Lageveränderung des Hufbeins variieren je nach Verlauf und Charakter deutlich
Hornsäule, Hornbeule	<i>P. aseptica circumscripta</i> oder <i>P. chronica hyperplastica</i>	chronisch	umschrieben	Huflederhaut-entzdg. → überschießende Hornbildung	Lahmheit Schmerzhaftigkeit, Hufbeindeformation
Verbrennung	<i>P. aseptica combustionis</i> kann in <i>P. septica</i> übergehen	Akut	umschrieben oder diffus	Stallbrände, Heißbeschlag	Lahmheit, Fühligkeit, Pulsation
Hufkrebs	<i>P. chronica verrucosa</i> / <i>P. chronica Migrans</i>	chronisch	Diffus	multifakt. Verhorngs.-störung, Pilze+Bakt.	blumenkohlartige Veränderungen, Trachtendefomierg progrediente

LITERATURÜBERSICHT

				evtl. beteiligt	Lahmheit
Saumband-entzdg.	<i>P.chronica hyperplastica circumscripta</i> , kann in <i>P.septica</i> übergehen	chronisch	umschrieben	gestörte Hornbildung, falsche Hufpflege (Fette etc.)	abstehender Haarkranz am Kronsaum, borkiges, verdicktes Horn, Lahmheit
Hornspalt: vertikal, Hornkluft: Horizontal	-----	chronisch	umschrieben	Je nach Lokalisation: Narben → gestörte Hornbildung, trockener Huf	Vertikale/horizontale Zusammenhangstrennungen, Lahmheit, Fühligkeit
Hohle Wand (Zushgs.-trennung in der weißen Linie) bzw. Lose Wand (Zushgs.-trennung im Wandhom)	-----	chronisch	umschrieben	Belastung, schlechte Hornqualität	Sichtbare Zushgstrennungen, Lahmheit

2.7.2 Pododermatitis septica

Die bakterielle, infizierte Entzündung der Lederhaut tritt in Kombination mit verschiedenen Krankheitsbildern auf.

Tabelle 3 enthält eine zusammengefasste Übersicht der septischen Huflederhautentzündungen mit korrekter Bezeichnung und entsprechendem Charakter.

LITERATURÜBERSICHT

Tab. 3: Übersicht über die mit einer septischen Lederhautentzündung einhergehenden Erkrankungen des Hufes

(erstellt nach Moser et al. 1950, Hemanns et al. 1992, Ruthe et al. 1997, Dietz et al. 2002 und Hertsch et al. 2006)

Trivialname	Fachterminus	Verlauf	Ausdehng.	Ursachen	Befunde (alle nur evtl. vorhanden)
Oberflächl. Hufabszess	<i>P. purulenta</i> (<i>supparativa</i>) <i>superficialis</i>	akut	meist umschrieben selten diffus	Infektion durch offene Wunden	Stützbeinlahmheit, verschwindet nach Entleerung von grauem, dünnfl. Eiter, Pulsation, Schmerz, Drucksensibel
Tiefer Hufabszess	<i>P. purulenta</i> (<i>supparativa</i>) <i>Profunda</i> , kann in <i>P. gangränosa</i> übergehen	akut	meist diffus	Verletzung bis in die tiefen Strukturen der Lederhaut	zusätzl. zu o.g. Symptomen: dickflüssiger, gelb- weißer Eiter, Fieber, gestörtes Allgemeinbefinden,

3 Eigene Untersuchungen

3.1 Material und Methode

3.1.1 Versuchspräparate

Von 20 Pferden wurden jeweils beide Vordergliedmaßen unmittelbar nach der Euthanasie bzw. Schlachtung im Karpalgelenk abgesetzt (s. Tab. 5, Kap. 3.2.). Die Versuchsgruppe beinhaltete Tiere unterschiedlicher Rassen (2 Vollblüter, 4 Ponys, 5 Kaltblüter und 9 Warmblüter) und Größe (Stckm. 1 Meter - 1,89 Meter) sowie unterschiedlichen Geschlechts (7 Stuten, 9 Wallache, 4 Tiere unbekanntes Geschlechts) und Alters (2-17 Jahre).

Anschließend erfolgte eine Aufteilung der so gewonnenen Präparate in 2 Gruppen (s. Tab. 5, Kap. 4.1)

Gruppe 1 (10 frische Präparate): eine Weiterverarbeitung erfolgte unmittelbar (ca. 30 Min.) nach dem Abtrennen der Gldm.

Gruppe 2 (10 tiefgefrorene Präparate): bei identischer Gefrier- und Auftautemperatur sowie Auftauzeit haltbar gemachte Präparate

Die Vorgehensweise war bei beiden Gruppen identisch, lediglich der Probenentnahme für histologische Schnitte dienten ausschließlich die in Versuchsgruppe 1 eingeteilten Frischpräparate.

3.1.2 Durchführung der Messungen

3.1.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau bestand darin, die beim Hufbeschlag üblichen Bedingungen des Aufbrennens des Eisens beim Heißbeschlag zu simulieren (s. Abb. 10). Allerdings war vorliegend das Ziel, extreme Bedingungen zu schaffen, weshalb ein Aufbrennen bei starker Hitze (ca. 750°C) anstelle der üblichen mäßig warmen Temperatur (ca. 550°C) stattfand. Hierbei sollte die Temperaturveränderung im Inneren der Hornkapsel bei schwindender Sohlendicke dokumentiert werden.



Abb. 10: Versuchsaufbau mit Temperaturmessgerät (OMEGA, HH12A)

3.1.2.2 Hilfsmittel und personeller Aufwand

Neben den für den Hufbeschlag erforderlichen Utensilien wurden verwendet:

- Skalpellklinge (zur Markierung der Sohle)
- digitales Temperaturmessgerät der Firma Omega (Typ HH12A, 2 Thermolemente Typ K)
- mit Ultraschallgel gefüllte 20 ml Spritze und Kanüle (1,50 x 50 mm),
- digitales transportables Röntgengerät (Typ Gamma Vision, Firma Physia, Modell PXP 40HF)
- Probengefäße mit Schraubdeckel von ca. 5 cm Durchmesser und ca. 4 cm Höhe, gefüllt mit gepuffertem Formalin bzw. Bouin

Hilfe bei der Durchführung stellte der Hufschmied der Klinik für Pferde der LMU, der alle beschlagsspezifischen Aufgaben übernahm. Die histologischen Schnitte wurden im Institut für Tieranatomie erstellt. Eine Analyse der thermischen Eigenschaften erfolgte bei EADS Deutschland GmbH (Corporate Research Centre Germany Dept. IW/LG-MS).

3.1.2.3 Praktische Durchführung

Bei beschlagenen Hufen wurden zunächst die Eisen entfernt. Danach erfolgte eine Zubereitung des rechten Hufes wie für den Hufbeschlag üblich: Das lose, nicht mehr stützfähige Horn wurde mit einem Winkelschleifer (Bosch, Typ PWS 650) abgetragen und der Tragrand geebnet.

Anschließend wurde mit Hilfe einer Bandsäge ein keilförmiges Stück aus dem dorsalen Kronsegment exzidiert (s. Abb. 11a). Diese Öffnung am Kronsaum ermöglichte einen idealen Zugang zur Hufkapsel von dorsal: von dort aus wurde mit Hilfe eines Nagels von ca. 2 mm Durchmesser ein Kanal zwischen dorsaler Hufwand und Lederhaut parallel zum Hufbein vorgebohrt. Die Injektion von ca. 1 - 2 ml Ultraschallgel, welches als „Wärmeleitpaste“ fungieren sollte, diente der Überbrückung der sehr unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeit der Medien Luft und Horn (s. Abb. 11b). In den so präparierten Kanal wurde eines der beiden Thermolemente des Messgerätes eingeführt (s. Abb. 11c). Das zweite verfügbare

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Thermoelement ermöglichte eine parallele Messung der jeweiligen Temperatur des Hufeisens.

Anschließend wurde die Sohle in der Mitte der Zehe (senkrecht zur Spitze des Thermoelementes) mit einer Skalpellklinge markiert und eine erste digitale Röntgenaufnahme angefertigt. Am Computer konnte so die Distanz zwischen dem Ende des Thermoelementes und der Sohle bestimmt werden (siehe Kap. 3.1.2.4).

Diese Strecke wurde als Sohlendicke festgesetzt. Zudem war die Aufnahme erforderlich, um den korrekten Sitz des Thermoelementes sicher zu stellen (s. Abb. 13).

Nach Dokumentation der Ausgangssohlendicke erfolgte das erste Brennen:

Mit einem Aufpasszirkel wurde ein kirschrotglühendes (ca. 750°C heißes), handelsübliches Eisen (20 x 10 mm) je nach Hufgröße im Abstand von 4 - 7 mm hinter der Zehenspitze auf den Tragrand gehalten. Diese leicht nach hinten versetzte Lage beruhte auf der Intention, das Eisen direkt senkrecht unterhalb der Thermoelektrode zu positionieren, um die Messung an der Stelle der intensivsten Wärmeeinwirkung durchzuführen.



a) Exzision des Kronsegmentes b) Injektion des Ultraschallgels c) Thermoelement in situ

Abb. 11: Vorbereitung des Hufes zur Messung der Temperatur im Inneren der Hornkapsel

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Das Aufbrennen erfolgte mindestens bis zu dem Zeitpunkt, zu dem das Messgerät eine erkennbare Temperaturänderung anzeigte. Mit dem Abstandsmesser wurde die Differenz der Sohle zur Ausgangssohle gemessen und mit Hilfe des Korrekturfaktors (s. Kap. 3.1.2.5.) die zugehörige Sohlendicke errechnet

Beim Erreichen der zuvor als „kritisch“ definierten Temperatur von 48°C wurde das Aufbrennen gestoppt, um eine weitere röntgenologische Dokumentation der zugehörigen Sohlendicke durchzuführen. Eine dritte Röntgenaufnahme zur Messung der Sohlendicke erfolgte bei Erreichen von 68°C im Inneren der Hornkapsel. Die Auswahl der beiden definierten Temperaturen, bei denen eine Bestimmung der Sohlendicke durchgeführt wurde, beruhte auf folgenden Tatsachen:

Den Lehrbüchern der allgemeinen Pathologie entsprechend ist mit ersten Gewebläsionen zu rechnen, wenn eine Temperatur von 51°C über einen Zeitraum von 3 Minuten einwirkt (s. Kap. 2.3).

Bei den Probeversuchen vor Beginn der tatsächlichen Versuchsreihe kristallisierte sich heraus, dass aufgrund der leicht verzögerten Messgeschwindigkeit das Thermometer stets noch um 2 - 3°C anstieg, nachdem das Brennen gestoppt worden war. Dies wiederum bedeutet, dass die tatsächliche Messtemperatur bei der ersten Messung nicht wie angegeben 48°C sondern ca. 51°C betrug, was in Kombination mit einer zugehörigen Aufbrenndauer von 3 Minuten den durchgeführten Brennversuchen gleichkam.

Selbiges galt für die zweite „kritische Temperatur“ von 68°C, die inklusive der 2 - 3°C, die die Temperatur nach Stoppen des Aufbrennens nachstieg, bei 70 - 71°C lag. Dieser Grenzwert wird in den Lehrbüchern der allgemeinen Pathologie stets in Verbindung mit der Denaturierung von Proteinen aufgeführt.

Alle erzielten Ergebnisse und Daten bezüglich des Patientengutes wurden in einem Versuchsprotokoll (s. Tab. 4) festgehalten und später zur Auswertung in eine Excel-Tabelle übertragen: Die beispielhaft in Tab. 4 aufgeführte Messung wurde bei einer 2-jährigen Ponystute mit 1,30 m Stockmaß durchgeführt.

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Tab. 4: Anhand eines Beispiels erläutertes Versuchsprotokoll zur Durchführung der Temperaturmessungen

Frisches / Tiefgefrorenes Präparat?	Frisch
Horn pigmentiert / unpigmentiert?	Pigmentiert
Euthanasie / Schlachtung vor ...min?	32 min
Vorbericht mit Huferkrankungen bekannt?	Nein
Pferd war beschlagen? / Eisentyp?	Ja, konventioneller Beschlag
Sohlendicke beim ersten Röntgen vor dem Brennen?	10,31 mm
Temperatur des parallel gemessenen Eisens beim ersten Auflegen	741°C
Aufbrenndauer bis erster Temperaturanstieg	3 min, 21 sek.
Sohlendicke bei erster deutlich wahrnehmbarer Temperaturveränderung im Inneren der Hornkapsel?	4,7 mm
Eisentemperatur bei erstem Auflegen	727°C
Aufbrenndauer von 1. Temperaturanstieg bis zum Erreichen von 48°C	1 min, 12 sek
Sohlendicke bei Erreichen der „kritischen Temperatur“ (48°C)	2,52 mm
Eisentemperatur bei erstem Auflegen	737°C
Aufbrenndauer zwischen 48°C und Erreichen von 68°C	31 sek
Sohlendicke bei Erreichen des 2. Schwel lenwertes (68°C)	1,46 mm

3.1.2.4 Röntgenologische Kontrolle

Wie in Kap. 3.1.2.3. beschrieben, wurden von jedem rechten Huf im Zuge der Temperaturmessungen zur Dokumentation der jeweiligen Sohlendicke und zur Kontrolle des Sitzes der Thermoelektrode 3 Röntgenbilder angefertigt.

Der Fixation des Fußpräparates in physiologischer Position diente ein hierfür angefertigter Ständer (s. Abb. 12). Die Aufnahmen wurden im 90° Winkel bei orthogradem Strahlengang mit 57 KV und 6,4 mAs erstellt.

1. Röntgenbild: Dokumentation der Ausgangssohlendicke (s. Abb. 13)
2. Röntgenbild: Dokumentation der zugehörigen Sohlendicke bei einer Messanzeige von 48°C (s. Abb. 14)
3. Röntgenbild: Dokumentation der zugehörigen Sohlendicke bei einer Messanzeige von 68°C



Abb. 12: Vorrichtung zur Fixation des Präparates in physiologischer Position



Abb. 13: Röntgenologische Messung der Sohlendicke



Abb. 14: Röntgenologische Messung der Sohlendicke bei 48°C im Inneren der Hornkapsel

3.1.2.5 Korrekturfaktor bei den röntgenologischen Messungen

Um der erforderlichen Messgenauigkeit gerecht zu werden, musste miteinbezogen werden, dass aufgrund divergierender Röntgenstrahlen die auf den Röntgenbildern gemessene Sohlendicke evtl. nicht identisch mit der tatsächlich gemessenen Sohlendicke ist. Um diese Ungenauigkeit zu eliminieren, wurde der Korrekturfaktor wie folgt ermittelt: ein exakt 1 cm langes Metallplättchen wurde bei einer Röntgenaufnahme auf die Dorsalseite der Hufkapsel geklebt. Im Röntgenbild stellte sich das Plättchen mit einer Länge von 12,18 mm dar (s. Abb. 15).

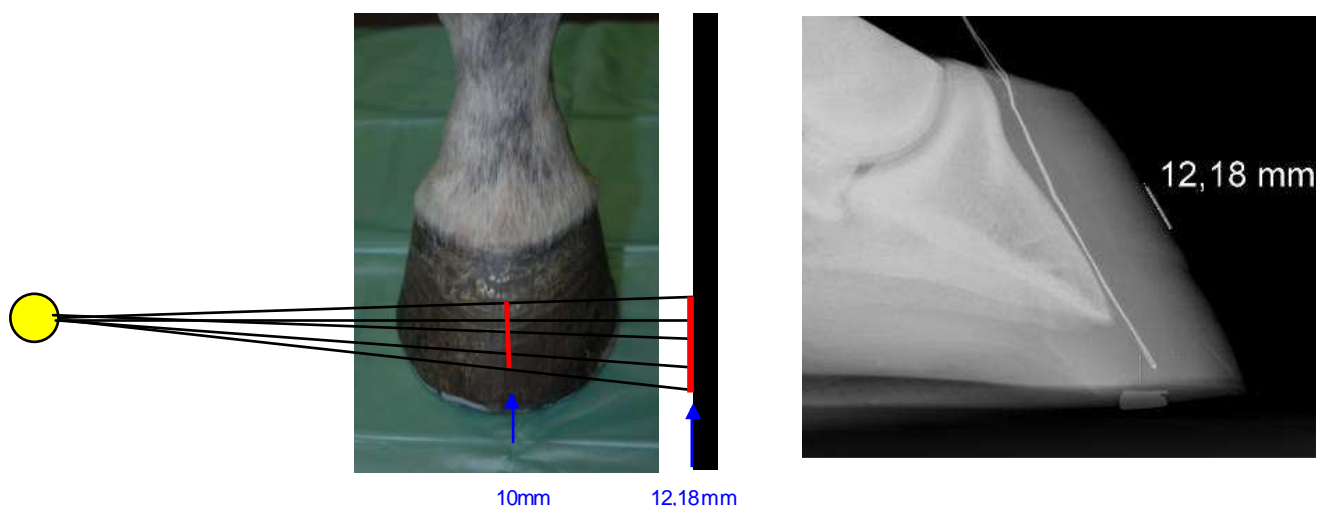


Abb. 15: Ermittlung des Korrekturfaktors

Aus der Differenz zwischen tatsächlicher und gemessener Länge des Metallplättchens wurde ein Korrekturfaktor von abgerundet 1,2 errechnet.

Relevanz hat dieser Faktor jedoch ausschließlich im Rahmen einer Sektion. Bei identischer Röntgentechnik wie sie standardmäßig in vivo durchgeführt wird, sind die im Rahmen dieser Studie ermittelten Werte für die Röntgenbildinterpretation ausschlaggebend.

3.1.3 Modifikationen der Messungen

Der eigentliche Gedanke der Temperaturmessungen beim Aufbrennen des Hufeisens und der Sohlendicke bei einer messbaren Temperaturerhöhung im Inneren der Hornkapsel war es zwar, den üblichen Vorgang des Aufbrennens zu simulieren, allerdings unter Extrembedingungen:

Nicht nur die Temperatur des Hufeisens lag weit über den gängigen Werten (ca. 200°C heißer als üblich), sondern auch die Dauer des Aufbrennvorganges betrug ein Vielfaches der empfohlenen und von Schmieden als üblich angegebenen Zeit von einigen Sekunden (durchschnittlich über 3 Minuten). Dies beruhte auf der Intention, bei den ermittelten Messwerten zusätzlich noch eine Sicherheitsspanne zu haben. Ziel war es, Werte für die Sohlendicke zu ermitteln, welche bei Einhalten der präsentierten Bedingungen eine Schädigung der Lederhaut definitiv unmöglich machen.

3.1.3.1 Aufbrennen unter Standardbedingungen

Um der Studie nicht den Bezug zum realen Heißbeschlag zu nehmen, wurden auch Untersuchungen an 3 Pferdefüßen unter „normalen“ Bedingungen durchgeführt, d.h. hier erfolgte das Aufbrennen, wie es bei einem Hufbeschlag üblich ist.

Die Zubereitung der Hufe und das Aufbrennen des Eisens entsprachen den Anforderungen eines sachgemäß durchgeführten Hufbeschlages:

Die Eisentemperatur (mäßig warm, 550°C) und Aufbrennzeit (wenige Sekunden) entsprachen den aus den Lehrbüchern für Hufbeschlagsschmiede zu entnehmenden Angaben (s. Kap. 2.5.). Die Temperaturmessung im Inneren der Hornkapsel war identisch mit der in Kap. 3.1.2.3. erörterten Vorgehensweise.

3.1.3.2 Aufbrennen bei experimentell stark ausgedünnter Sohle

Um auch Aussagen über die Gefahr eines Verbrennens bei sehr dünner Ausgangsohrendicke treffen zu können, wurde eine Extremvariante der in Kap. 3.1.3.1 aufgeführten Untersuchungen durchgeführt: Ziel war es, das Wärmeleitverhalten der Hufkapsel im Grenzbereich der Sohlendicke, d.h. bei sehr dünner Sohle zu prüfen.

Die Sohle wurde hierzu auf eine Ausgangsdicke von 5,6 mm gekürzt, anschließend erfolgte ein der dünnen Sohle angemessenes, vorsichtiges, sachkundiges Aufbrennen eines mäßig warmen Eisens (ca. 550°C). Wie bei allen zuvor beschriebenen Studien wurde parallel die Temperatur im Huf und des auf den Tragrand gelegten Hufeisens gemessen.

3.1.3.3 Messungen bei unmittelbar nach dem Aufbrennen erfolgter Kühlung des Hufs

Nachdem viele Hufbeschlagsschmieden lehren, dass im Falle einer Verbrennung eine Kühlung direkt im Anschluss nach dem Aufbrennen schlimmeren Schäden vorzubeugen vermag, sollte auch diese gängige Lehmeinung untersucht werden (Moser et al. 1950).

Hierzu wurden wiederum Brennversuche an drei Präparaten durchgeführt - der Ablauf entsprach dem in Kapitel 3.1.2. geschilderten. Sobald das Thermometer einen Anstieg der Temperatur von mehr als 3°C anzeigte, wurde ein mit kaltem Wasser getränkter Schwamm so lange auf die Sohlenfläche aufgedrückt, bis die Temperatur wieder auf die ursprünglich gemessene gefallen war. Die zugehörige Zeit bis zu Abkühlen wurde gemessen. Vergleichend wurde jeweils an der zweiten Vordergliedmaße der Tiere die gleiche Messung ohne Kühlung durchgeführt. Auch hier wurde der Zeitraum, bis die Ausgangstemperatur wiederhergestellt war, gemessen.

3.1.3.4 Messungen bei unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt des Horns

Eine weitere Modifikation der Brennversuche war es, die Messungen an Hufen unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes durchzuführen. Um festzustellen, ob und inwieweit die Wärmeleitfähigkeit von Horn durch den Feuchtigkeitsgehalt beeinflusst

wird, wurde jeweils der rechte Vorderhuf eines Objektes 3 Tage lang in warmes (20°C) Wasser gestellt, die linke Vordergliedmaße hingegen wurde 3 Tage lang bei Raumtemperatur getrocknet. Eine Weiterbehandlung der Präparate erfolgte wie in Kap. 3.1.2.3. erläutert. Anschließend wurde von dem getrockneten, dem feuchten und einem unbehandelten Präparat jeweils eine Probe entnommen. Die Proben wurden im Anschluss direkt zu einer professionellen Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit versandt:

3.1.4 Wärmeleitfähigkeit des Horns

Da in allen gängigen Tabellen mit Angaben zur Wärmeleitfähigkeit (k-Wert) unterschiedlichster Materialien aus der Industrie bzw. dem Baugewerbe kein k-Wert für Horn verzeichnet ist, wurden zur Feststellung dieses Wertes Messungen durchgeführt. Mit Hilfe des Nano-Flash-Gerätes (Firma Netzsch, Typ LFA 447) des Konzerns EADS Deutschland GmbH (Corporate Research Centre Germany Dept. IW/LG-MS) wurde die Wärmeleitfähigkeit von Horn unterschiedlicher Beschaffenheit (trocken, feucht, unbehandelt) ausgewertet.

Hierzu mussten zunächst scheibenförmige Proben mit einer Größe von 12,7 mm Durchmesser und 3 mm Dicke aus der Hornkapsel entnommen werden: Der Huf wurde im Sohlenbereich gesäubert und mit einem Winkelschleifer bearbeitet, bis eine annähernd ebene Sohlenfläche am Tragrand vorlag. Eine Bandsäge diente dazu, eine ca. 6 mm dicke Scheibe des Sohlenhorns parallel zur Sohlenfläche (demnach quer zum Röhrenchenverlauf) abzutrennen. Die Wahl der Schnittebene quer zum Röhrenchenverlauf basierte auf der Überlegung, dass so eine Wärmeausbreitung während des Messvorganges im physiologischen Verlauf simuliert werden konnte:

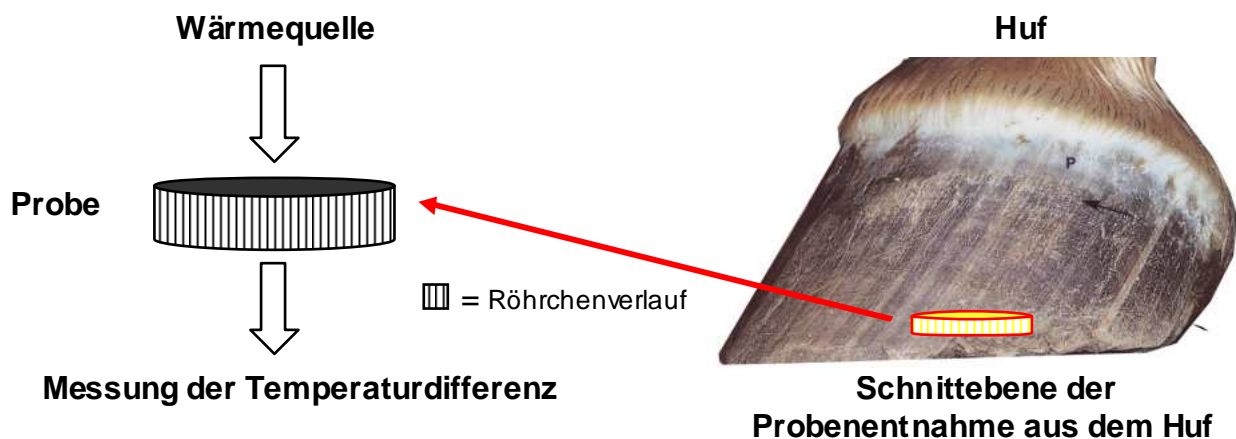


Abb. 16: Schematische Darstellung der Relation zwischen Messebene (Verlauf der Wärmeausbreitung) und dem natürlichen Röhrenchenverlauf des Horns im Huf

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

Die 6 mm dicke Scheibe des Sohlenhorns wurde mit einem in Schreinereien verwendeten Bandschleifer auf 3 mm ausgedünnt und annähernd planparallel zubereitet. Der Gewinnung von Scheiben mit 12,7 mm Durchmesser diente ein Lochsägeaufsatz für die Bohrmaschine.

Nachdem die Präparate auf das für die Messung erforderliche Format gebracht worden waren, wurden die beiden der Messvorrichtung zugewandten (kreisrunden) Seiten mit Gold gesputtert (Sputtern ist ein spezieller Beschichtungsvorgang, der für die Messung der Wärmeleitfähigkeit erforderlich war).

Zur Messung der Wärmeleitfähigkeit wurde die so genannte Flash-Methode verwendet (Aufbau des Gerätes s. Abb. 17): Sie ermöglicht eine präzise und einfache Messung und eignet sich auch für kleinformatische Proben. Das Messprinzip basiert darauf, die Stirnseite (= runde Fläche) der scheibenförmigen Proben mit einer energiereichen Wärmequelle (z.B. Xenonblitzlampe, Laser) zu bestrahlen. Dadurch steigt auch auf der Rückseite der Probe die Temperatur und die Temperaturdifferenz kann mit Infrarotsensoren gegen die Zeit gemessen werden. In Kombination mit dem Zeitverlauf lässt sich so die Temperaturdurchlässigkeit des Materials ermitteln: Sind zudem die spezifische Wärme (**cp**) sowie die Dichte **r** bekannt, so lässt sich daraus die temperaturspezifische Wärmeleitfähigkeit **k** eines Materials berechnen:

$$k(T) = a(T) \cdot cp(T) \cdot r(T)$$

Es konnten jeweils vier Proben in einem Messdurchlauf erfasst werden, da die Apparatur einen automatischen Probenwechsler hat, der direkt in den Ofen integriert ist (s. Abb. 17). Die entsprechende Anordnung der Proben wurde anhand eines Messprotokolls dokumentiert. Als Referenzwert diente eine Probe aus POCO-Graphit (s. Abb. 18).

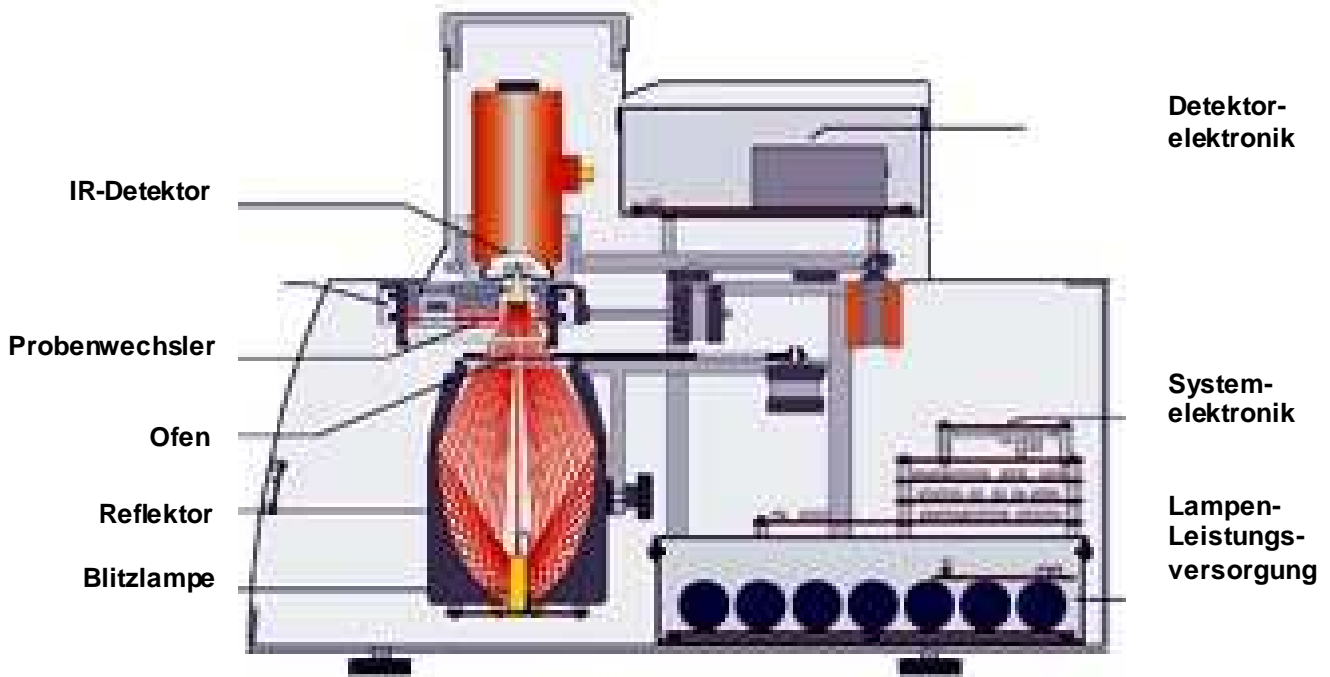


Abb. 17: Aufbau eines Gerätes zur Messung der Wärmeleitfähigkeit mit der Flash- Methode, modifiziert nach einer Abbildung der Homepage der Firma Netzsch

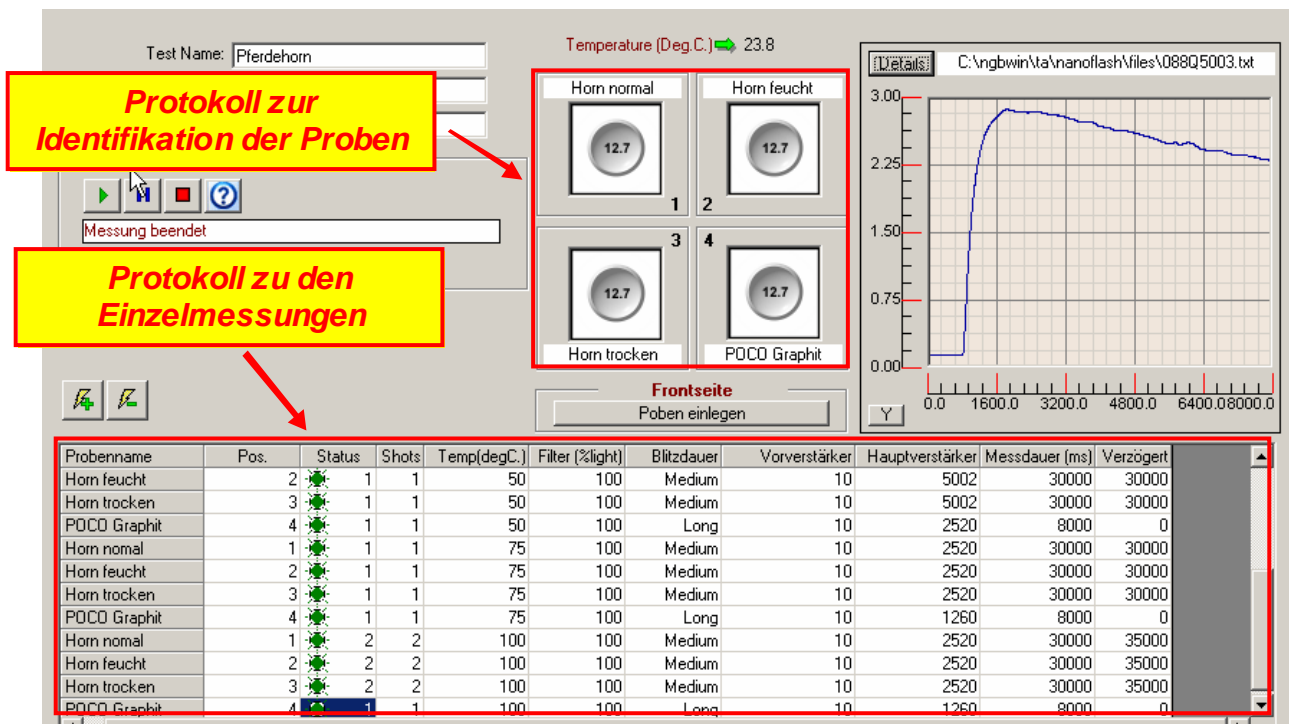


Abb. 18: Messprotokoll über die Ermittlung der thermischen Eigenschaften von Horn

3.1.5 Histologische Untersuchungen

Um die feingeweblichen Veränderungen an der Lederhaut durch das Aufbrennen und die hierdurch entstandenen Läsionen genauer zu beurteilen, wurden zusätzlich histologische Untersuchungen durchgeführt.

Wie in Kapitel 3.1.1 geschildert, dienten lediglich Präparate aus Versuchsgruppe 1 (frische Präparate) der Gewinnung von Proben für die Histologie. Einheitlich wurde die jeweils rechte Vordergliedmaße für Brennversuche, die linke Vordergliedmaße für histologische Untersuchungen verwendet.

3.1.5.1 Probenentnahme

Der Exzision der Proben für die histologische Untersuchung diene wiederum eine Bandsäge. Mit deren Hilfe wurden schrittweise nach Abbrennen von jeweils 2 bzw. 1 mm Horn sagittal (Schnittrichtung vom Hufrand zum Zentrum hin) „kuchenstückartige“ Segmente aus der Hufkapsel herausgetrennt (s. Abb. 19a).

Das Aufbrennen des Eisens (Vorgehensweise s. Kap. 3.1.2) wurde jeweils bei Erreichen einer bestimmten Sohlendicke unterbrochen, um ein entsprechendes Stück aus der Hufkapsel zu entnehmen (s. Abb. 19b).

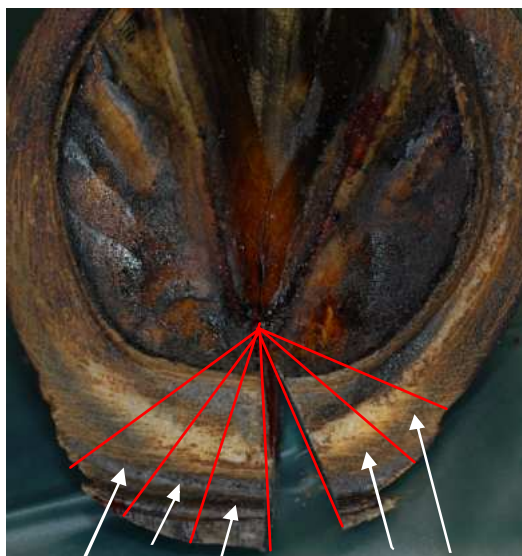


Abb. 19a): schrittweise Exzision der Proben



Abb. 19b): für die histologische Untersuchung entnommene Proben

Die Gewinnung der Proben fand in folgenden Stufen statt:

Probe 1: ungebrannte Hornsohle, nur zubereitet

zur Vereinheitlichung der Sohlendicke aller Präparate: anschließendes
Abschleifen der Sohle auf 8 mm Dicke

Probe 2: Sohle auf 6 mm abgebrannt

Probe 3: Sohle auf 4 mm abgebrannt

Probe 4: Sohle auf 3 mm abgebrannt

Probe 5: Sohle auf 2 mm abgebrannt

Probe 6: Sohle durchgebrannt bis auf die Lederhaut

Die entnommenen Präparate wurden sofort nach dem Zuschneiden auf eine adäquate Größe in gepuffertem Fomalin (7 Proben) bzw. Bouin (3 Proben) fixiert. Zur Aufbewahrung wurden die in der Pathologie verwendeten, runden Schraubdeckelgefäße von 5 cm Durchmesser und 4 cm Höhe verwendet.

3.1.5.2 Erstellen der histologischen Schnitte

Nachdem sich bei einem Vergleich von in Bouin bzw. gepuffertem Fomalin (4 - 6 %iges Fomalin, gepuffert mit Phosphatpuffer pH = 7,4) fixierten Präparaten herausstellte, dass die Schnitffähigkeit des Materials bei Fomalin erheblich besser ist, erfolgte die Fixierung letztendlich ausschließlich darin.

Nach der Fixierung (zwischen 2 Wochen und 1 Tag) wurden die Proben ca. 12 h unter fließendem Leitungswasser gewässert, dann mit Hilfe einer feinen Anatomiebandsäge mit diamantamiertem Sägeblatt auf ca. 7 x 5 x 3 mm präzise zugeschnitten. Daraufhin wurden makroskopisch erkennbare knöcherne Strukturen (Hufbein) mit einem Skalpell entfernt.

Eine Entwässerung der Proben wurde stufenweise in steigender Alkoholreihe durchgeführt:

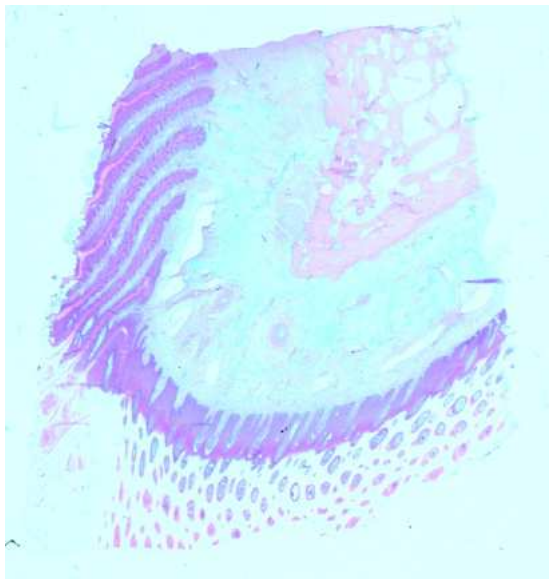
1. 40% Ethanol (12h)
2. 50% Ethanol (12h)
3. 60% Ethanol (12h)

EIGENE UNTERSUCHUNGEN

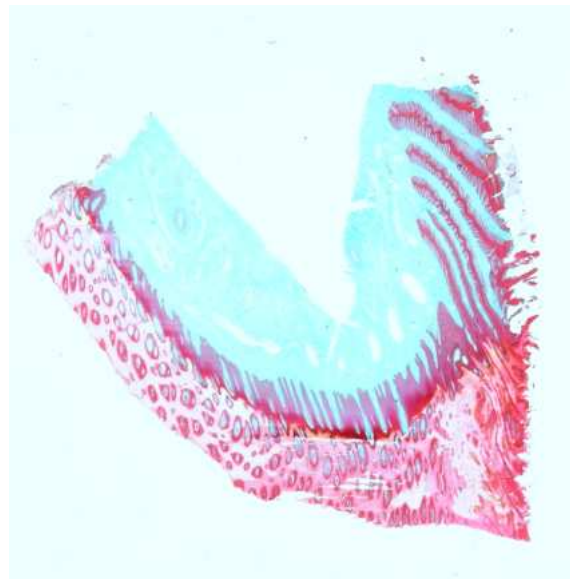
4. 70% Ethanol (12h)
5. 70% Ethanol (12h)
6. 96% Ethanol (12h)
7. 96% Ethanol (12h)
8. Isopropanol (12h)
9. Isopropanol (12h)
10. Xylol (12h)
11. Xylol (12h)
12. Paraffin 1 (12h)
13. Paraffin 3 (12h)
14. Paraffin 6 (12h)
15. Paraffin 9 (24h)

Nach Erreichen der letzten Paraffinstufe wurden die Proben mit einer Paraffinausgießstation (Firma: MICROM, Typ AP 280) eingebettet.

Mit einem Rotationsmikrotom (Firma: MICROM, Typ HM 360; Klingen: Firma Feather, Einwegklingen Typ R 35) wurden daraufhin Schnitte von ca. 4 µm Dicke angefertigt. Nach dem Auftragen auf Standardobjektträger wurden die Schnitte getrocknet und die identischen Schnitte aus einem Paraffinblock wurden zum Vergleich jeweils mit HE bzw. Masson-Goldner eingefärbt (s. Abb. 20).



a)



b)

Abb. 20: Übersichtsaufnahme der histologischen Schnitte: 20a) HE (mit Hufbein) bzw. 20 b) Masson - Goldner (ohne Hufbein)

Zur anschaulicheren Darstellung der anatomischen Strukturen des Hufes auch auf dem Objektträger wurden zusätzlich Schnitte mit Hufbein erstellt (s. Abb. 20a).

Hierzu wurden die knöchernen Strukturen nach dem Entwässern mit einer EDTA-Lösung entkalkt. Das weitere Vorgehen entsprach dem bei Proben mit herauspräpariertem Hufbein.

3.1.6 Statistische Erhebungen

Anhand einer Excel-Tabelle erfolgte die Auswertung der Messergebnisse (s. Tab. 5). Hierzu wurde aus allen gemessenen Werten sowohl der Mittelwert als auch der Medianwert errechnet. Zudem wurde jedem ermittelten Wert eine zugehörige Standardabweichung zugeordnet.

Um eine Verbrennung der Lederhaut bei entsprechender Sohlendicke in prozentualer Wahrscheinlichkeit auszudrücken, wurden für jede Sohlendicke Quantile erstellt (s. Tab. 5), die die genaue Wahrscheinlichkeit angeben. Errechnet wurde die Wahrscheinlichkeit für $p = 0,95$ bis zu $p = 0,1$.

Tab. 5: Übersicht über das gesamte Patientengut mit erzielten Messergebnissen und errechneten Werten

Nr.	Alter	Farbe	teigeförmig/frisch	Rasse	Geschlecht	un-/pigmentiert	Eisentemp: 1+2+3+3	Ausgangs- sohlend. in mm	Abweichung Sohlendicke	Aufpassdauer1	Aufpassdauer1 in min und s	Sohlendicke I.T. ansiegend in mm	Delta Sohlend. zu Durchschn.	Aufpassdauer2	Aufpassdauer2 in min und s	Sohlendicke 48°C in mm	Delta Sohlend. zu Durchschn.	Aufpassdauer3	Aufpassdauer3 in min und s	Sohlendicke 68°C in mm	
Nr. 1	10	Schimmel	f / 15 min	Pony	m	pig.	731	9,82	0,91	133	2	13	-0,21	54	0	5,63	-0,24	24	0	24	3,2
Nr. 2	3	Fuchs	f / 30 min	WB	w	unpig.	737	8,85	1,88	144	2	24	-0,41	61	1	5,91	-0,52	47	0	47	2,7
Nr. 3	8	Brauner	f / 30 min	WB	w	pig.	764	12,2	-1,47	252	4	12	-0,01	59	0	5,5	-0,11	62	1	7	1,95
Nr. 4	4	Schimmel	tg	WB	m	pig.	763	9,1	1,63	180	3	0	0,29	73	1	5,32	0,07	56	0	56	2,96
Nr. 5	9	Brauner	tg	WB	w	pig.	738	6,2	4,53	137	2	17	0,49	49	0	5,21	0,18	36	0	36	4,41
Nr. 6	12	Schlechte	f / 27 min	Pony	w	unpig.	749	15,79	5,06	349	6	49	0,98	83	1	7,4	0,65	48	0	48	2,68
Nr. 7	7	Rappe	f / 27 min	KB	m	pig.	741	13,42	-2,69	247	4	7	-2,11	32	0	3,2	-2,42	119	1	69	3,4
Nr. 8	17	Brauner	tg	WB	m	pig.	754	9,9	1,63	192	3	12	-1,01	61	1	6,1	-1,31	82	1	22	3,7
Nr. 9	13	Rappe	tg	KB	w	unpig.	770	10,82	-3,09	242	4	2	-1,81	43	0	4,3	-2,02	27	0	27	4
Nr. 10	xy	Brauner	tg	WB	w	unpig.	746	9,07	1,86	199	3	19	0,79	57	0	5,7	0,54	35	0	35	2,83
Nr. 11	2	Schimmel	tg	Pony	m	pig.	739	10,89	0,04	137	2	17	-1,91	95	1	3,5	-2,01	41	1	31	4,3
Nr. 12	6	Rappe	f / 37 min	WB	m	pig.	751	6,85	3,88	281	1	19	0,89	77	1	7,7	0,89	92	0	92	2,5
Nr. 13	6	Brauner	f / 17 min	WB	m	pig.	755	9,92	0,81	214	3	34	-0,41	76	1	6	-0,61	132	2	12	2,5
Nr. 14	13	Schimmel	f / 22 min	WB	x	pig.	761	7,5	3,23	172	2	4	1,39	88	1	5,6	1,49	29	0	29	2,12
Nr. 15	8	Fuchs	f / 50 min	Pony	w	pig.	735	10,31	0,42	201	3	21	1,19	71	1	11	2,52	31	0	31	1,46
Nr. 16	2	Rappe	tg	WB	w	unpig.	752	10,35	0,38	121	2	1	1,99	54	0	5,4	3,5	40	0	40	2,1
Nr. 17	14	Brauner	tg	KB	x	pig.	744	8,61	2,12	167	2	47	2,09	118	1	5,8	3,2	21	0	21	2,83
Nr. 18	5	Schimmel	f / 102 min	WB	m	pig.	738	17,23	-6,5	336	5	36	-1,11	133	2	13	6,01	75	1	15	3,22
Nr. 19	9	Schimmel	f / 62 min	WB	x	unpig.	742	12,18	-1,45	238	3	58	-2,01	102	1	4,2	-2,11	61	1	1	5,7
Nr. 20	4	Fuchs	f / 62 min	WB	x	unpig.	746, 45	10,731	-0,001	201, 05	3	21, 05	0,005	75, 1	1	15, 1	5, 3655	54, 95	0	54, 95	3, 135
Median																					
Werte pig. Durchschnitt																					
Werte unpig. Durchschnitt																					
Höchste Abweichung Sohlendicke nach dünner																					
Abweichung Sohlendicke nach dicker																					
Höchste Abweichung Sohlendicke nach dünner in %																					
Abweichung Sohlendicke nach dicker in %																					
Werte frisch Durchschnitt																					
Standardabweichung																					
Standardabweichung pig.																					
Standardabweichung unpig.																					
Standardabweichung frisch																					
Standardabweichung tiefgef.																					
Konfidenzintervall 95%																					
Quantil p=0,95																					
Quantil p=0,9																					
Quantil p=0,8																					
Quantil p=0,7																					
Quantil p=0,6																					
Quantil p=0,5																					
Quantil p=0,4																					
Quantil p=0,3																					
Quantil p=0,2																					
Quantil p=0,1																					

4 Ergebnisse

4.1 Temperaturmessung und zugeordnete Sohlendicke

Die Einzelergebnisse der Temperaturmessungen können Tab. 5 entnommen werden. Der folgende Abschnitt enthält eine knappe Übersicht über die erzielten Ergebnisse.

1. Bis zu einer Sohlendicke von $\bar{x} > 5,9 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,3 \text{ mm}$) konnte beim Aufbrennen des Eisens **kein Anstieg** der mittels einer Thermoelktrode in der Hufkapsel gemessenen Temperatur festgestellt werden.
2. Erst ab einer mittleren Sohlendicke von $\bar{x} \leq 5,9 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,3 \text{ mm}$) war ein **langsamer Temperaturanstieg** erkennbar.
3. Durchschnittlich betrug die Sohlendicke $\bar{x} = 5,4 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,5 \text{ mm}$) bei Erreichen der pathologisch definierten „**kritischen Temperatur**“ von **48°C**. Sobald dieser Wert erreicht war, konnte ein beschleunigter Anstieg der Temperatur im Inneren der Hornkapsel verzeichnet werden (s. Abb. 21).

Zudem wurde eine prozentuale Angabe der Wahrscheinlichkeit einer Verbrennung der Lederhaut ermittelt und der jeweiligen Sohlendicke zugeordnet (s. Tab. 6): Bei einer Sohlendicke von **6,7 mm** ist es **sehr wahrscheinlich** ($p = 0,8$), dass eine Temperatur von 48 °C oder höher im Inneren der Hornkapsel **nicht erreicht wird** (s. Kap. 5.3).

4. Die zweite, bei **68°C** angesetzte Temperaturschwelle wurde, sobald eine Sohlendicke von $\bar{x} = 5,4 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,5 \text{ mm}$) unterschritten war, deutlich schneller erreicht. Bei einer Sohlendicke von $\bar{x} = 3,1 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,0 \text{ mm}$), stieg die Temperatur im Inneren der Hornkapsel auf 68°C .

Aufgrund starker Ausreißer und der Tatsache, dass den Lehrbüchern der Pathologie entsprechend bei 68°C in Kombination mit der exzessiven Aufbrenndauer mit Schäden an der Lederhaut zu rechnen ist, wurde diese Messreihe aus der Studie exkludiert.

ERGEBNISSE

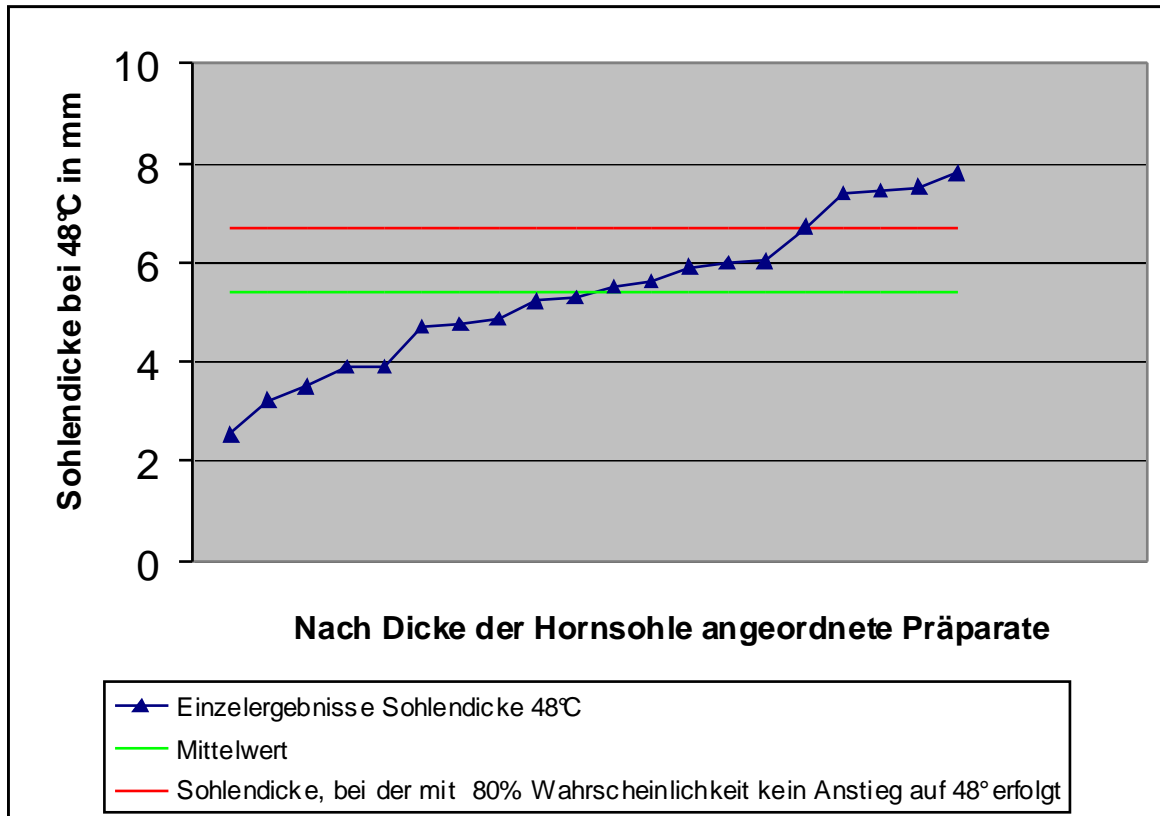


Abb. 21: Dicke der Hornsohle, bei der während des Aufbrennens eine Temperatur von 48°C im Inneren der Hornkapsel gemessen wurde (mit Mittelwert und Sohlendicke, bei der mit einer Wahrscheinlichkeit von $p = 0,8$ kein Anstieg auf 48°C erfolgt)

- Die **durchschnittliche Aufbrenntemperatur** der Eisen lag bei $\bar{x} = 746 \text{ °C}$ ($s = \pm 11,5\text{°C}$). Dies entsprach einer kirschrotglühenden Färbung des Eisens. Sie wurde errechnet aus den 3 Messungen, die an allen Präparaten durchgeführt wurden.
- Es konnten **keine Unterschiede** zwischen den Messergebnissen von Gruppe 1 (frische Präparate) und Gruppe 2 (durch Tiefgefrieren konservierte Präparate) festgestellt werden. Wenn im Inneren der Hornkapsel eine Temperatur von 48°C gemessen wurde, war die Sohle bei den frischen Präparaten noch $\bar{x} = 5,34 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,6 \text{ mm}$), bei den tiefgefrorenen Präparaten noch $\bar{x} = 5,43 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,68 \text{ mm}$) dick. Demnach betrug die Differenz zwischen Gruppe 1 und Gruppe 2 **weniger als 0,1 mm**.
- Auch die aus Temperaturmessungen von **pigmentiertem** und **unpigmentiertem** Horn ermittelten Werte unterschieden sich um **weniger als**

ERGEBNISSE

0,2 mm: Wenn im Inneren der Hornkapsel eine Temperatur von 48°C gemessen wurde, war die Sohle der Präparate mit pigmentiertem Horn noch $\bar{x} = 5,43 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,5 \text{ mm}$), bei den unpigmentierten Präparaten noch $\bar{x} = 5,24 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,59 \text{ mm}$) dick.

8. Der Zeitraum des Aufbrennens des heißen Eisens bis zu dem Moment, an dem der erste Temperaturanstieg registriert werden konnte (**Aufbrenndauer 1**), betrug $\bar{x} = 3 \text{ Minuten und } 21 \text{ Sekunden}$ ($s = \pm 1 \text{ min und } 10 \text{ sek}$).

Als **Aufbrenndauer 2** definiert wurde die Zeitspanne vom ersten wahrnehmbaren Temperaturanstieg bis zum Erreichen der pathologisch definierten „kritischen Temperatur“ von 48°C, die durchschnittlich $\bar{x} = 1 \text{ Minute und } 15 \text{ Sekunden}$ ($s = \pm 27 \text{ sek}$) anhielt.

Eine durchschnittliche Zeit von $\bar{x} = 55 \text{ Sekunden}$ ($s = \pm 31 \text{ sek}$) (**Aufbrenndauer 3**) war im Anschluss ausreichend, um die Temperatur im Inneren der Hornkapsel von 48°C auf 68°C zu erhöhen .

9. Anhand aller erzielten Ergebnisse lassen sich unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten für eine Verbrennung der Lederhaut ableiten. Die Wahrscheinlichkeit (p), mit der bei einer bestimmten Sohlendicke mit keinem Anstieg der Temperatur zu rechnen ist, lässt sich über eine Berechnung des jeweiligen Quantils in prozentualen Werten angeben (s.Tab. 6).

ERGEBNISSE

Tab. 6 : Wahrscheinlichkeiten, mit denen bei unterschiedlicher Sohlendicke auch bei exzessivem Aufbrennen eines kirschrotglühenden Eisens keine Verbrennung der Lederhaut beim Hufbeschlag eintritt.

Wahrscheinlichkeit, dass keine Temperatur über 48°C erreicht wird	Statistischer Wert	Sohlendicke in mm
95 %	Quantil $p=0,95$	7,9
90 %	Quantil $p=0,9$	7,3
80 %	Quantil $p=0,8$	6,7
70 %	Quantil $p=0,7$	6,2
60 %	Quantil $p=0,6$	5,8
50 %	Quantil $p=0,5$	5,4
40 %	Quantil $p=0,4$	5,0
30 %	Quantil $p=0,3$	4,6
20 %	Quantil $p=0,2$	4,1
10 %	Quantil $p=0,1$	3,4

4.2 Modifizierte Untersuchungen

Zusätzlich zu den Messungen der Temperatur im Inneren der Hornkapsel bei simuliertem Aufbrennen des Hufeisens unter Extrembedingungen wurde der Messvorgang in modifizierter Form durchgeführt.

Hierbei wurden folgende Ergebnisse erzielt:

1. Bei **sachgemäßer Durchführung** des Hufbeschlages mit adäquater Eisentemperatur (mäßig warm, d.h. 550°C) und Aufbrennzeit (unter einer Minute) konnte bei 5 Hufen **keine Temperaturveränderung** im Inneren der Hornkapsel gemessen werden. Die Sohlendicke der hierzu verwendeten Präparate lag zwischen 11,2 mm und 8,1 mm, d.h. sie war bei allen im als „normal“ definierten Bereich von 10 mm (s. Kap. 2.2.4.2).

ERGEBNISSE

2. Um Extrembedingungen zu schaffen, wurde vor Messbeginn die **Sohle** von 3 Präparaten so stark ausgedünnt, dass Empfehlungen gemäß ein Heißbeschlag nicht mehr hätte in Erwägung gezogen werden sollen (die Sohle war jeweils **5,4 mm, bzw. 5,5 mm bzw. 5,6 mm dick**). Auch hier war bei **sachgemäßem Aufbrennen** (Berücksichtigung einer angemessenen Aufbrennzeit und -temperatur, die bei Hufen mit einer vergleichbar dünnen Sohle bei einem „echten“ Hufbeschlag angewandt worden wären) kein Temperaturanstieg im Inneren der Hornkapsel zu bemerken. Ein Temperaturanstieg erfolgte erst, als das Eisen kirschrotglühend statt mäßig warm und länger als 1 Minute aufgebrannt wurde.

3. Untersuchungen zum Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von **trockenem** bzw. mit **feuchtem Horn** an 3 Präparaten (im Vergleich jeweils rechter und linker Vorderhuf eines Tieres) ergaben eine geringfügig bessere Thermoisolation der trockenen Hufe, der Unterschied war jedoch **nicht signifikant**. Die Dauer, bis die Temperatur erstmalig anstieg sowie die zugehörige Sohlendicke variierten lediglich um durchschnittlich **11 Sekunden** bzw. **0,2 mm** (s. Tab. 6).

Tab. 7: Vergleich der Wärmeleitfähigkeit von trockenem und feuchtem Horn

Präparate	Feuchtigkeits- gehalt	Dauer bis zum ersten Temperaturanstieg	Sohlendicke bei Temperaturanstieg
P 1	trocken	3 min und 11 sek	6,3 mm
	feucht	3 min und 19 sek	6,0 mm
P 2	trocken	2 min und 17 sek	5,4 mm
	feucht	2 min und 8 sek	5,6 mm
P 3	trocken	3 min und 58 sek	6,7 mm
	feucht	3 min und 27 sek	6,1 mm
Durchschnitt	trocken	3 min und 9 sek	6,1 mm
	feucht	2 min und 58 sek	5,9 mm
Standard- Abweichung	trocken	± 36 sek	± 0,5 mm
	feucht	± 36 sek	± 0,3 mm

4. Eine weitere Modifikation der Untersuchungen bestand darin, bei 6 Präparaten (Vorderfüße von 3 Pferden) das Aufbrennen zu stoppen, sobald ein Temperaturanstieg von 4°C auffiel. Im Anschluss wurde vergleichend - mit bzw. ohne Kühlung der verbrannten Sohle - die jeweilige Zeitspanne gemessen, innerhalb der ein Abfallen zurück auf die Ausgangstemperatur erfolgte. Die 3 mit einem nassen Schwamm **gekühlten Präparate** waren alle nach **2 Minuten** auf die ursprüngliche Temperatur **abgesunken**, die 3 **ungekühlten** zeigten auch nach **25 Minuten** noch **keine Veränderung** auf der Temperaturanzeige (s. Tab. 8).

Tab. 8: Vergleich der Messergebnisse mit und ohne nach dem Aufbrennen erfolgter Kühlung durch einen nassen Schwamm

Präparate entnommen von Pferd:	Vorgehensweise nach dem Aufbrennen	Zeitraum bis zum Absinken auf die Ausgangstemperatur
P1	Gekühlt	1 min und 55 sek
	Ungekühlt	kein Absinken nach 25 min
P2	Gekühlt	2 min und 2 sek
	Ungekühlt	kein Absinken nach 25 min
P3	Gekühlt	1 min und 47 sek
	Ungekühlt	kein Absinken nach 25 min

4.3 Histologische Untersuchung

Die histologischen Untersuchungen der zuvor gewonnenen Präparate zeigte nach Aufbrennen des Hufeisens **bis zu** einer zugeordneten Sohlendicke von **4 mm keine Verbrennungsspuren** (Einzelergebnisse s. Tab. 9). Pathologische Veränderungen im Bereich von Struktur, Färbereigenschaften, Anordnung der Zellen und deren Kerne konnten bei einer mindestens 4 mm dicken Sohle nicht festgestellt werden (s. Abb. 22f):

Corium (Lederhaut):

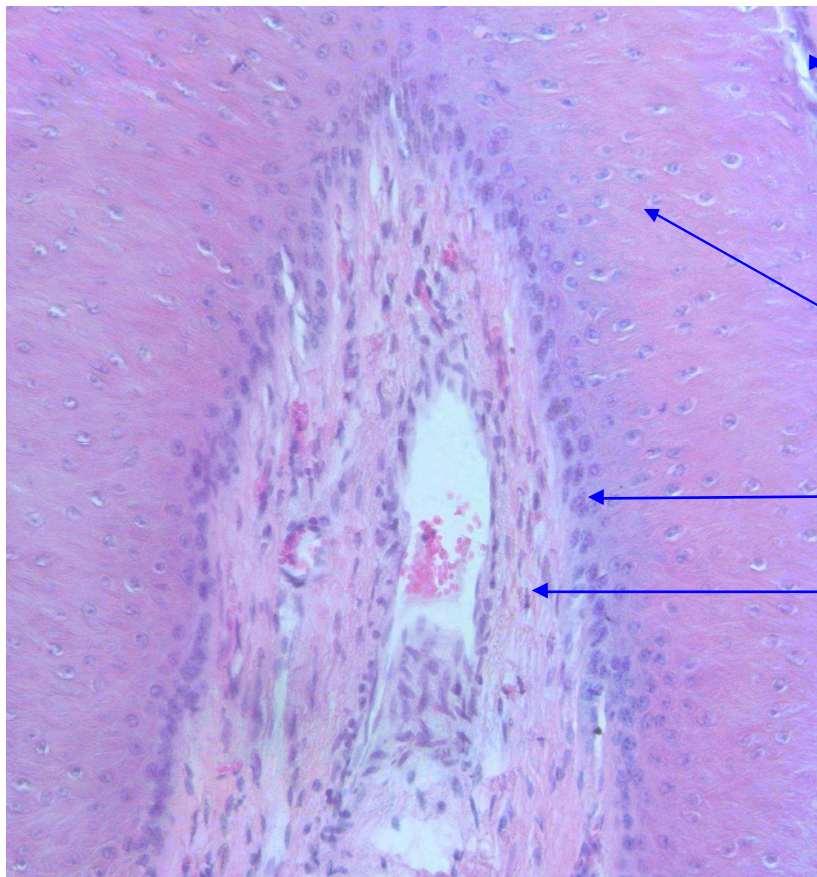
Das Stratum papillare war von lockerer, bindegewebiger Beschaffenheit und enthielt runde Zellen mit basophilen Färbereigenschaften (u.a. Lymphozyten und Monocyten).

ERGEBNISSE

Die faserartige Struktur war deutlich erkennbar, ebenso ersichtlich waren die Verflechtungen der Kollagenfasern des Papillarkörpers der Lederhaut mit dem Stratum basale der Hornkapsel (Epidermis). Kapillaren, die aus den Bindegewebspapillen in die Hornkapsel ziehen, um so dessen Versorgung zu gewährleisten, waren intakt.

Epidermis (Hornkapsel):

Die Basalmembran schien intakt, die Nuclei der Basalzellschicht zeigten die typische Basophilie und hatten iso- bis hochprismatische Form. Auch im Stratum spinosum wiesen die Zellen die typische stachelartige, polygonale, Form mit runden Kernen sowie entsprechende basophile Färbereigenschaften auf. Im Gegensatz hierzu waren die Epithelzellen des Stratum granulosum durch die Einlagerung von Keratohyalin granula stark basophil gefärbt und die Kerne zeigten erste Anzeichen eines anstehenden Zerfalls. Dies entsprach, wie auch das strichartige, gestauchte Aussehen der Zellen, dem physiologischen Erscheinungsbild:



Epidermis:

Stratum corneum

(Stratum granulosum)

Stratum spinosum

Stratum basale

Corium:

Lederhautpapille

mit

Stratum papillare

Abb. 22: Histologischer Schnitt vom Übergang der Huflederhaut zum Hufhorn, (HE-Färbung, 1:20): Aufbau und Bestandteile der Epidermis (Hornkapsel) und der Lederhaut (längs geschnittene Lederhautpapille).

ERGEBNISSE

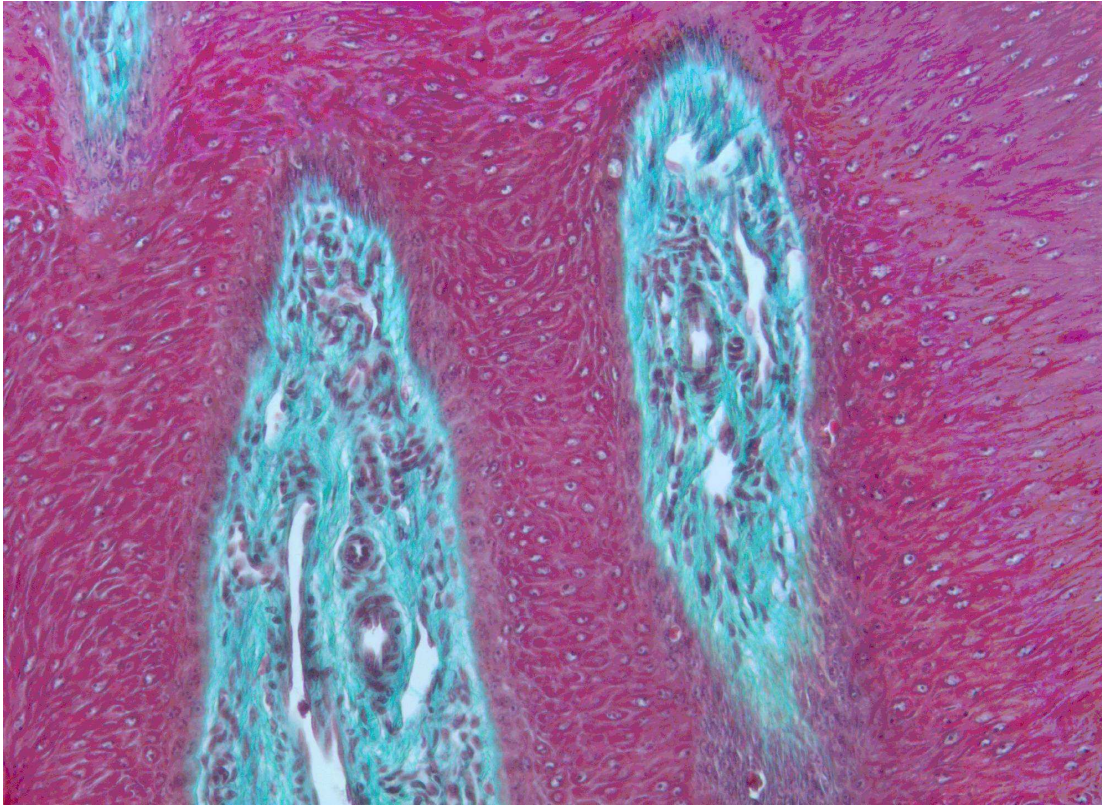


Abb. 23: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 1:20), der von einem Huf mit 13 mm dicker Sohle vor dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (Lokalisation entspricht Abb. 22) (links eine längs geschnittene, rechts eine diagonal geschnittene Lederhautpapille).

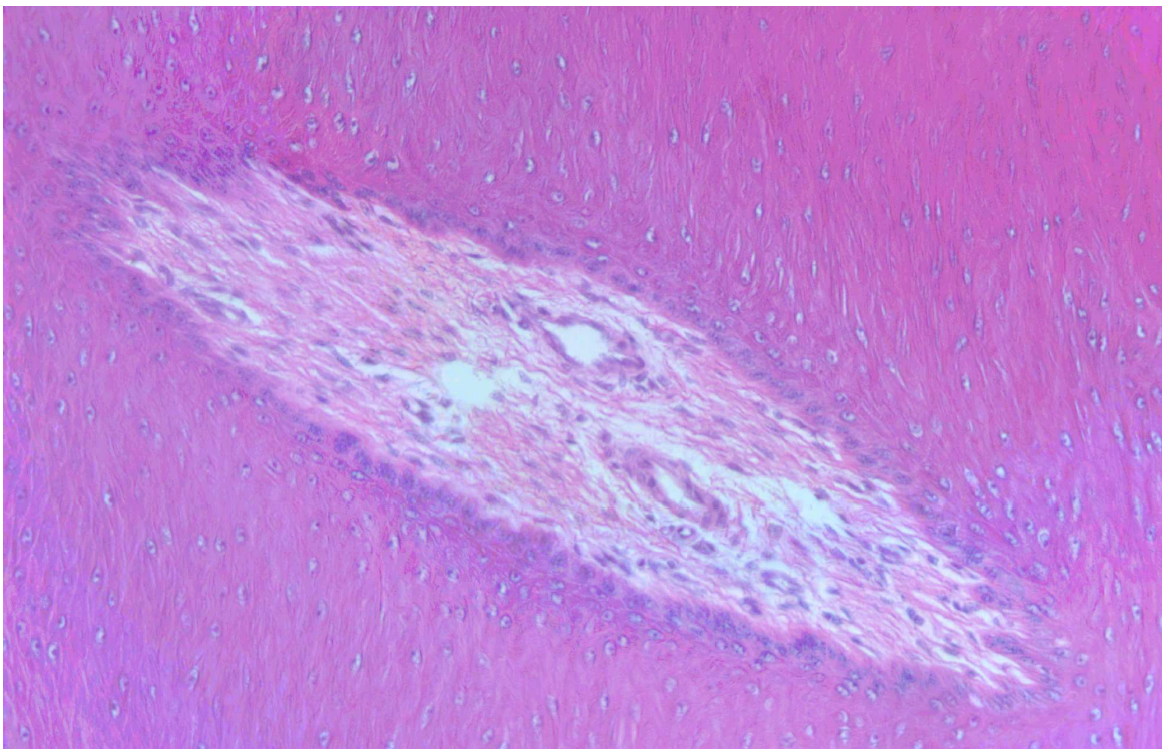


Abb. 24: Histologischer Schnitt (HE-Färbung, 1:20), der von einem Huf (Lokalisation entspricht Abb. 21) mit 6 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde. (Papillenquerschnitt).

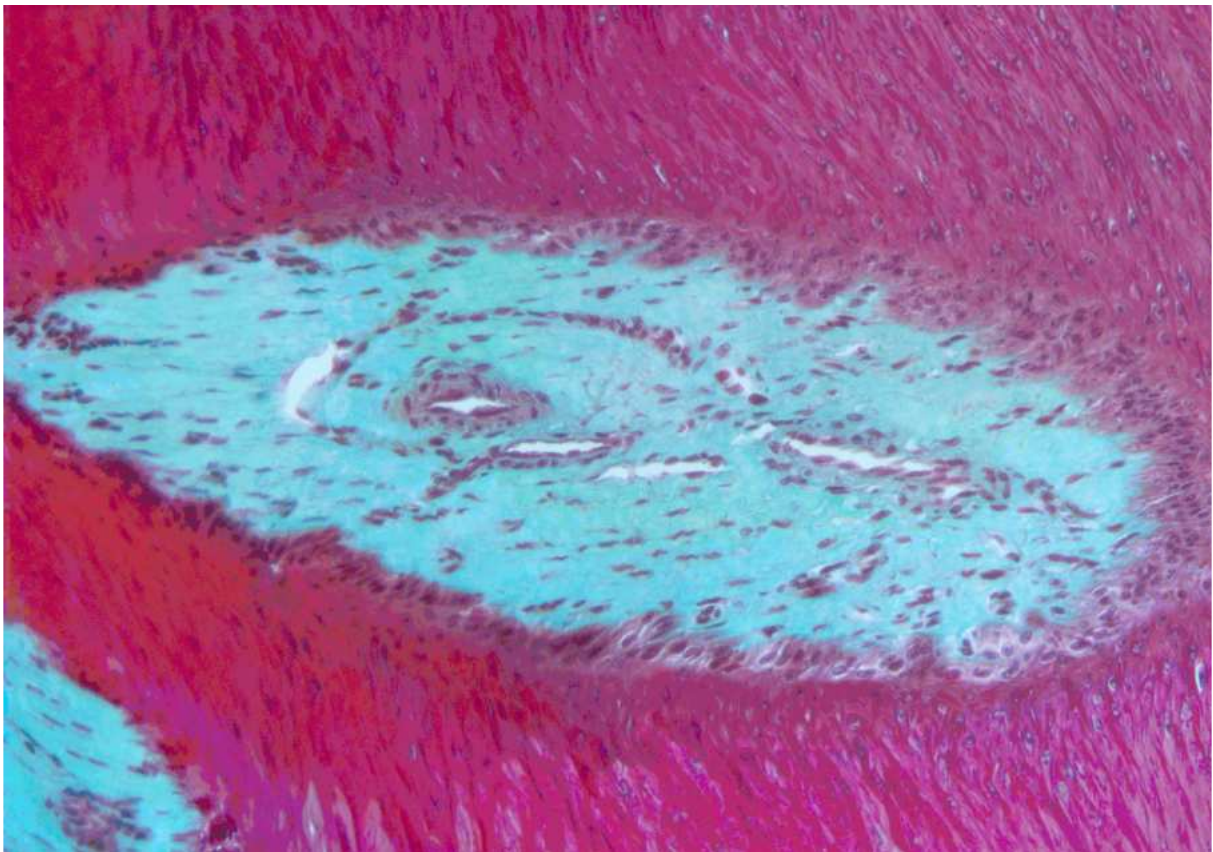


Abb. 25: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 1:20), der von einem Huf (Lokalisation entspricht Abb. 21) mit 4 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (quer angeschnittene Lederhautpapille).

Erst bei den Präparaten, die von Hufen gewonnen wurden, deren Sohlendicke so lange durch Aufbrennen reduziert wurde, bis sie **dünner als 4 mm war**, waren **Veränderungen** sowohl **struktureller als auch zellform- und färbespezifischer Art** zu bemerken (Einzelergbnisse s. Tab. 9):

Neben der in Abb. 26 deutlich erkennbaren Extravasation aufgrund offensichtlich zerstörter Gefäßwände fiel auf, dass die Zellen des Stratum basale nicht mehr – wie üblich – nebeneinander aufgereiht standen, die Basalmembran war demzufolge nicht mehr intakt. Die Kerne des Stratum basale waren formverändert, sie schienen nicht mehr so rund zu sein wie in den Vergleichspräparaten, waren kleiner und färbten sich kräftiger an.

Der auffälligste Befund, der zu erheben war, war die Tatsache, dass die Distanz zwischen den äußersten Strukturen der Lederhaut und den innersten Strukturen der Hornkapsel (Epidemis) vergrößert war. In den Schnitten aus Präparaten, die nach dem Brennen noch eine Sohlendicke über 4 mm aufwiesen, bestand eine innige,

ERGEBNISSE

festen Verbindung zwischen Lederhaut und Hornkapsel. Demgegenüber erschienen in den Schnitten aus Präparaten, die nach dem Aufbrennen noch eine Sohlendicke von 3 mm oder weniger aufwiesen, die Papillen der Lederhaut von der Hornkapsel abgelöst und zurückgezogen.

Des Weiteren war bei den Präparaten von Hufen mit einer Sohlendicke unter 3 mm die Struktur der Lederhaut verändert. Sie war homogener und kompakter als dies bei unbehandelten Hufen der Fall war: eine faserartige Struktur des Stratum papillare war nicht mehr erkennbar. Stattdessen wirkten die Fasern aufgequollen und koaguliert, als hätten sie sich zu einer Masse verbunden. Die Zellkerne waren ebenfalls verändert, die runde Form war teils unterbrochen und die veränderten Färbereigenschaften äußerten sich in einer deutlicher ausgeprägten Basophilie.

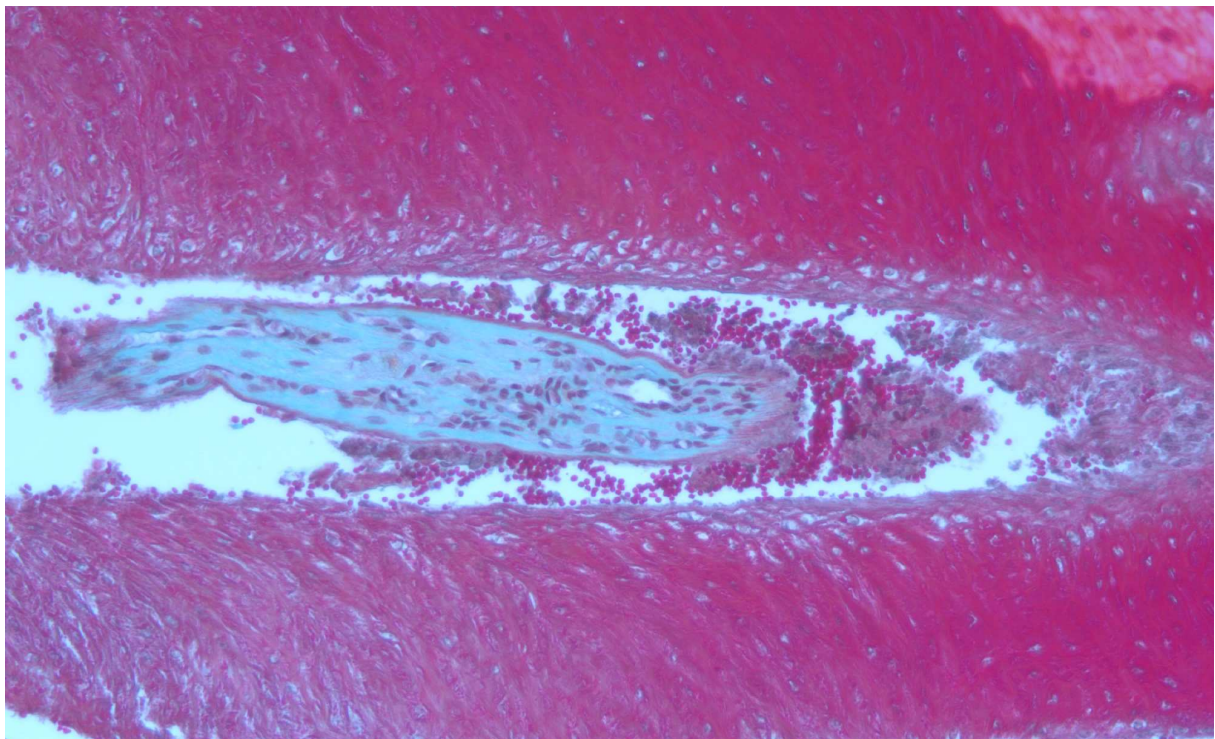


Abb. 26: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 1:20), der von einem Huf mit 3 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (Lokalisation entspricht Abb. 21) (Diagonalschnitt einer Lederhautpapille).

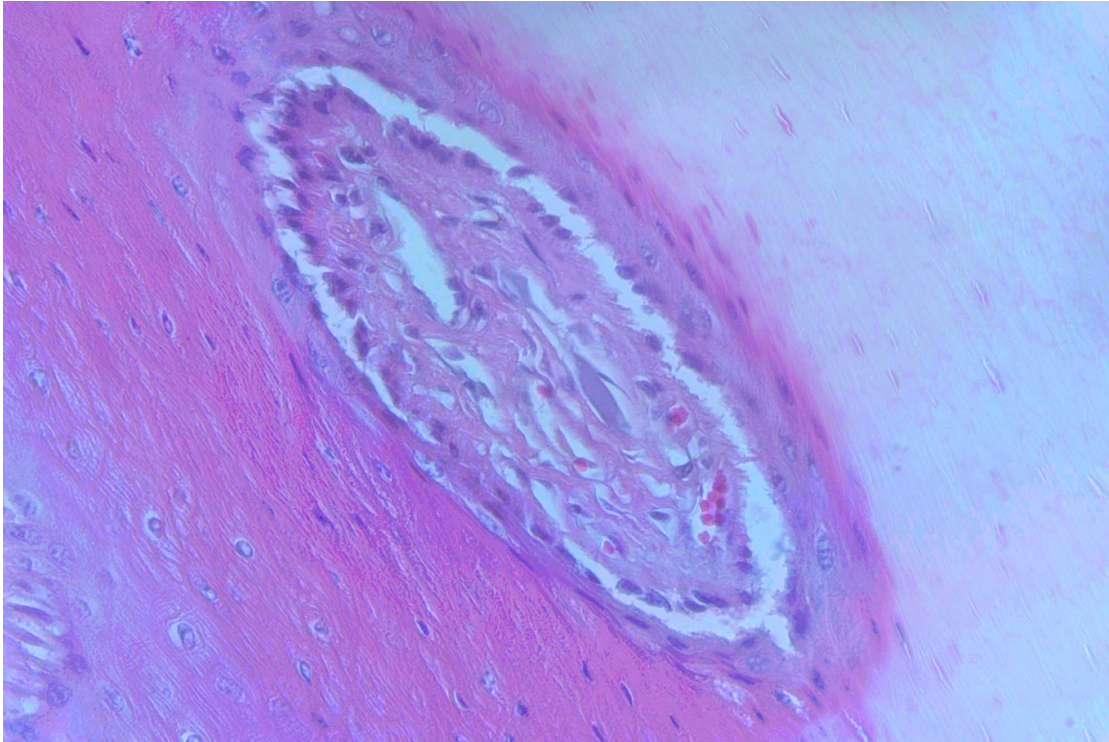


Abb. 27 : Histologischer Schnitt (HE-Färbung, 1:40), der von einem Huf mit 2 mm dicker Sohle nach dem Aufbrennen des Hufeisens gewonnen wurde (Lokalisation entspricht Abb. 21) (Querschnitt einer Lederhautpapille).

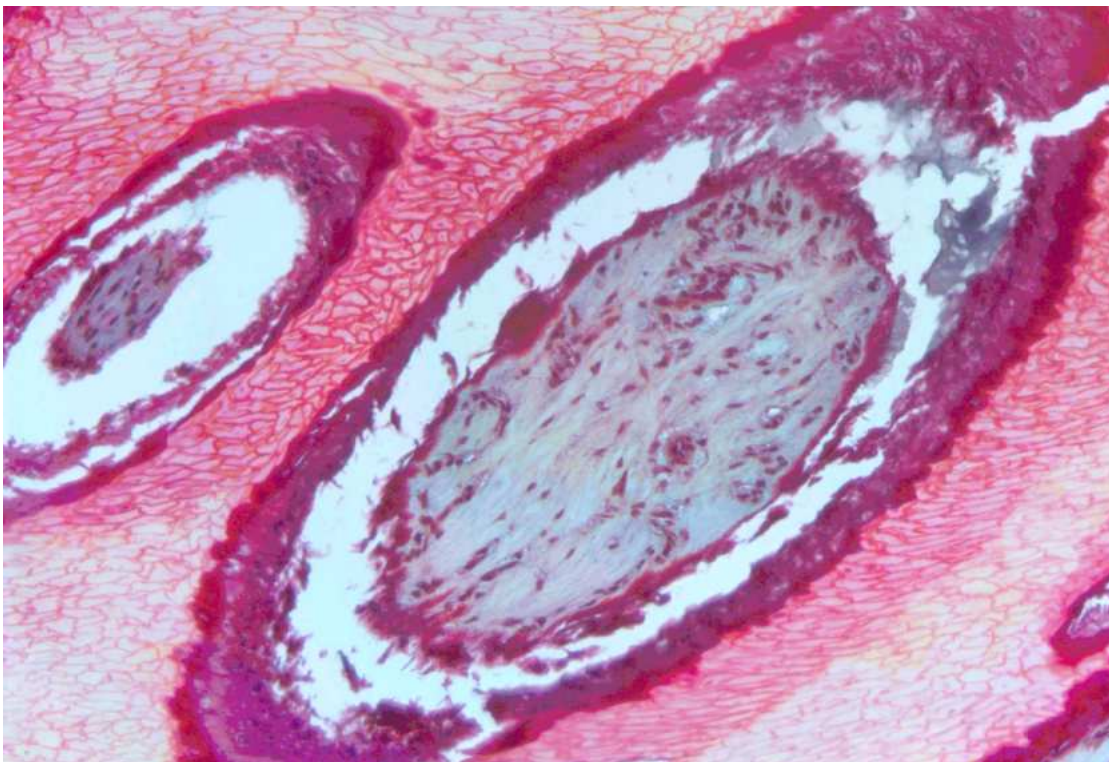


Abb. 28: Histologischer Schnitt (Masson-Goldner-Färbung, 120), der von einem Huf gewonnen wurde, der bis zur Lederhaut abgebrannt wurde (Lokalisation entspricht Abb. 21). Im Vergleich mit dem in Abb. 25 dargestellten Querschnitt einer Lederhautpapille werden die Zusammenhangstrennungen zwischen Lederhaut und Epidermis ersichtlich.

ERGEBNISSE

Tab. 9 : Histologische Veränderungen in Abhängigkeit von der verbliebenen Dicke der Hornsohle nach Aufbrennen des Hufeisens

Probe Nr.	Sohlendicke	Zellen im Stratum basale	Zellkerne (Stratum basale)	Extravasation	Faserartige Struktur des Str. papillare	Verbindg. zw. Corium und Epidermis
1	Ausgangsdicke vor dem Brennen	Stehen nebeneinander aufgereiht	normalgroß, Färbeverhalten: gleichm. Basophil	–	erhalten	dicht
2	6 mm	Stehen nebeneinander aufgereiht	normalgroß, Färbeverhalten: gleichm. basophil	–	erhalten	dicht
3	4mm	Stehen nebeneinander aufgereiht	normalgroß, Färbeverhalten: gleichm. basophil	–	erhalten	dicht
4	3 mm	Stehen nicht mehr ordentlich aufgereiht	verkleinert, Färbeverh. : verstärkt basophil	+	Strukturverlust: Fasern aufgequollen, koaguliert	teilw eise minimal abgelöst
5	2 mm	Stehen nicht mehr ordentlich aufgereiht	Verkleinert, Färbeverh. : verstärkt basophil	+	Strukturverlust: Fasern aufgequollen, koaguliert	größtenteils abgelöst
6	durchgebrannt bis zur Lederhaut	Stehen nicht mehr ordentlich aufgereiht	Verkleinert, Färbeverh. : verstärkt basophil	+	Strukturverlust: Fasern aufgequollen, koaguliert	fast komplette Verbindungstrennung

4.3 Wärmeleitfähigkeit der Hornkapsel

Horn ist ein sehr schlechter Wärmeleiter. Die Hornprobe, die aus einem unbehandelten Huf entnommen wurde, zeigte bei **51°C** eine Wärmeleitfähigkeit von $k = 0,2 \text{ W / K}\cdot\text{m}$ (s. Abb. 30). Der **k-Wert** von Horn unterschiedlichen **Feuchtigkeitsgehaltes** variierte nur minimal, die Differenz betrug **weniger als 0,05 W / K*m** (s. Abb. 30).

Die in Abb. 30 graphisch dargestellte Wärmeleitfähigkeit des feuchten Hornes bei zunehmender Temperatur zeigt im Vergleich zu den Proben aus trockenem bzw. normalem Horn eine leicht ansteigende Tendenz bei zunehmender Temperatur.

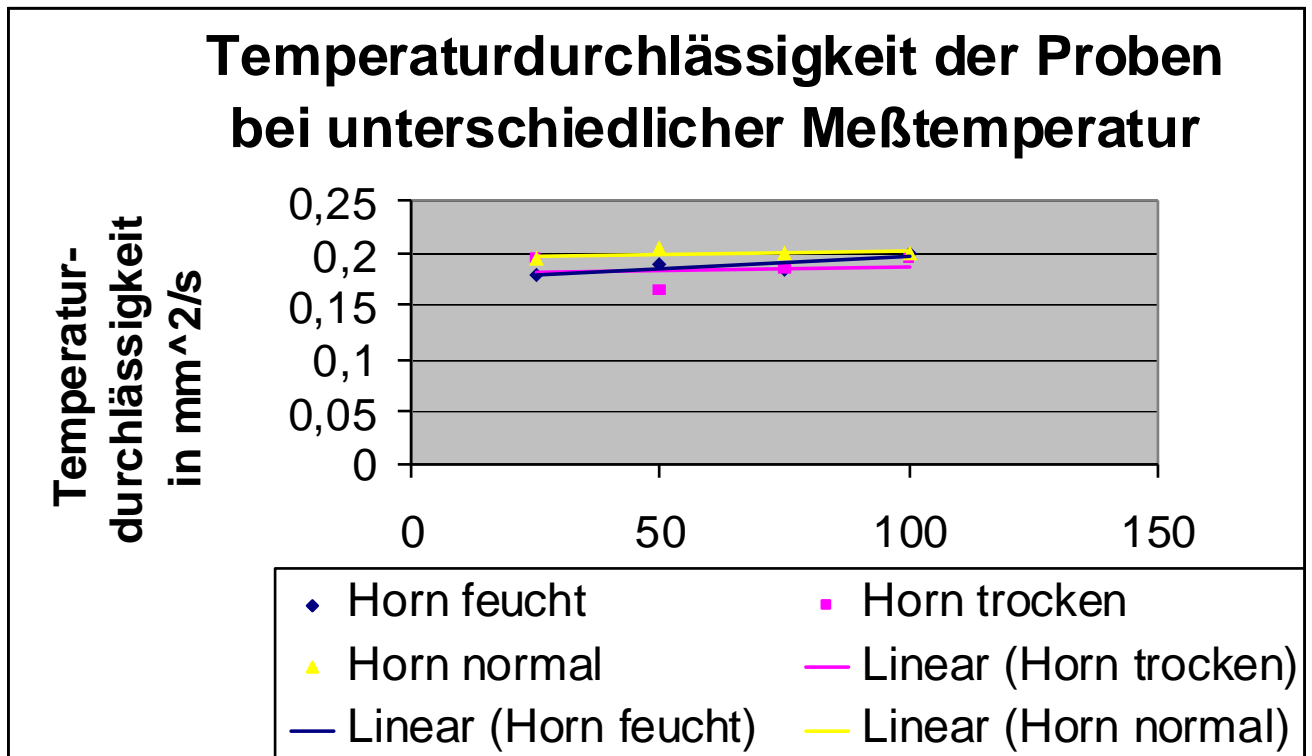


Abb. 29: Die Temperaturdurchlässigkeit von Horn unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes in mm^2/s , dargestellt bei unterschiedlichen Messtemperaturen

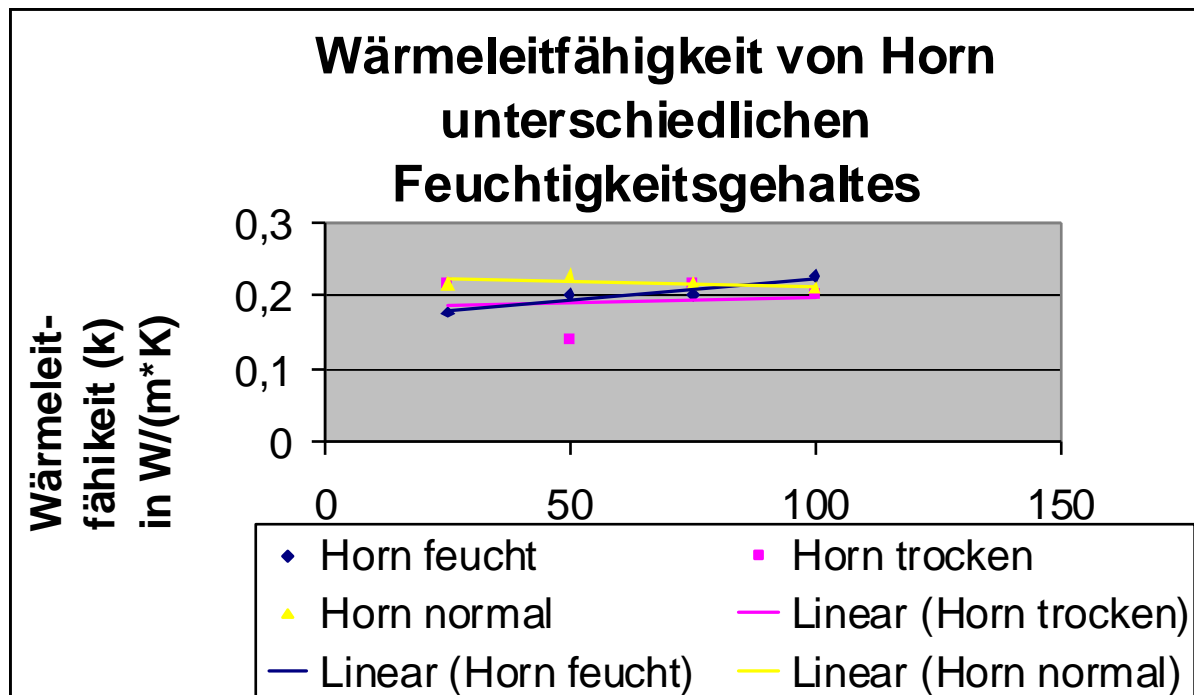


Abb. 30: Graphische Darstellung der Wärmeleitfähigkeit von Horn in W/K*m mit unterschiedlichem Feuchtigkeitsgehalt, gemessen bei Temperaturen zwischen 24°C und 100°C

Die weiteren thermischen und physikalischen Eigenschaften des Horns stellten sich folgendermaßen dar:

Tab.10: Übersicht über die Messergebnisse zur Analyse der physikalischen und thermischen Eigenschaften des Horns

Ergebnisse der Messungen	Probe: Horn feucht	Probe: Horn normal	Probe: Horn trocken
Gewicht in g	0,42	0,37	0,33
Dicke in mm	3,11	2,79	2,48
Durchmesser in mm	12,35	12,4	12,2
Volumen in cm ^3	0,37	0,34	0,29
Dichte in g/ cm ^3	1,1	1,1	1,1
Temperaturdurchlässigkeit in mm ^2 / s	0,19	0,17	0,19
Wärmeleitfähigkeit in W / K*m bei 51°C	0,2	0,24	0,14

5 Diskussion

5.1 Bedeutung der vorliegenden Untersuchungen

Fallen kurz nach dem Hufbeschlag Lahmheiten bei einem Pferd auf, so werden die Lahmheiten von den Pferdehaltern häufig auf die erfolgte Hufschlagsbehandlung zurückgeführt. Insbesondere wenn sich das Problem als lang anhaltend erweist und mit einem entsprechend hohen Kostenaufwand einhergeht oder wenn sich eine unheilbare Lahmheit einstellt, werden nicht selten Schadensersatzforderungen an den Hufschmied gestellt. Die Kausalitätsfrage wird dann von Laien gerne so beantwortet, dass, wenn die Lahmheit nach der Beschlagsbehandlung aufgetreten ist, diese auch dadurch verursacht worden sein muss.

Besonders problematisch wird es immer, wenn nach Aufbrennen des Eisens Huflederhautentzündungen festgestellt werden. Daraufhin wird rasch vermutet, dass die Lederhautentzündung durch zu intensives Aufbrennen und somit durch einen vom Schmied zu verantwortenden Fehler verursacht wurde. Nicht nur das Auftreten von Hufrehe sondern auch schwere eitrige Huflederhautentzündungen nach Beschlagsbehandlungen haben in der Vergangenheit wiederholt zu gerichtlichen Auseinandersetzungen geführt, wobei der Vorwurf an die Adresse des Hufschmiedes jeweils lautete: „zu langes Aufbrennen bei zu dünner Homsohle“

Da die Gerichte die Zusammenhänge nicht auf Grund eigener Kenntnisse beantworten können, werden nicht selten Tierärzte mit einer gutachterlichen Stellungnahme zu dem Vorwurf beauftragt. Beim Literaturstudium zeigte sich jedoch, dass es umstritten und bisher auch nicht detailliert untersucht ist, ob bei sachgemäßem Aufbrennen, das der Sohlendicke angepasst ist, überhaupt eine thermische Schädigung der Sohlenlederhaut entstehen kann. Die Frage, ob durch eine Verbrennung der Sohlenlederhaut eine Hufrehe mit Veränderungen der Wandlederhaut und mit Lageveränderungen des Hufbeines ausgelöst werden können, ist noch völlig offen.

Um sich dem Problem zu nähern und offene Fragen anhand wissenschaftlicher Untersuchungen beantworten zu können, wurde die vorliegende Studie durchgeführt.

Sie soll eine Argumentationsgrundlage für die Einschätzung, ob Lahmheiten, die nach einem Hufbeschlagn auftreten auch dadurch ausgelöst wurden. Zusätzlich soll die vorliegende Untersuchung eine Hilfestellung für forensische Fragestellungen bieten.

5.2 Thermisolationkapazität der Hornkapsel

Ziel der Untersuchungen war es, Temperaturveränderungen im Inneren der Hornkapsel während des Aufbrennens der Hufeisen in Abhängigkeit von der Dicke der Hornsohle zu ermitteln, da es hierzu bisher keine Daten gab.

Die Hornkapsel weist hervorragende thermoisolierende Eigenschaften auf. Das bedeutet, dass Horn ein schlechter Wärmeleiter ist (Köhler 1939, Moser und Westhues 1950, Wissdorf et al. 2002). Die in allen Quellen erwähnte schlechte Wärmeleitfähigkeit des Hornes, für die stets mit Erfahrungswerten argumentiert wurde, konnte mit Hilfe fundierter wissenschaftlicher Ergebnisse im Rahmen dieser Studie bestätigt werden. Die thermischen Eigenschaften von Horn wurden anhand der Flash-Methode gemessen und vergleichend dargestellt.

Der k-Wert von Horn beträgt $0,2 \text{ W / K} \cdot \text{m}$ und variiert nur um weniger als $0,05 \text{ W / K} \cdot \text{m}$ bei Horn unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes. Dies ist mit der sehr geringen Wasserspeicherkapazität des Hornes zu erklären. Die bei zunehmender Temperatur tendentiell leicht ansteigende Wärmeleitfähigkeit der Probe, die aus feuchtem Horn entnommen wurde, lässt sich mit einer fortschreitenden Reduktion des Feuchtigkeitsgehaltes bei steigender Temperatur erklären.

Eben durch diese Verdunstung und dabei in Form von Wärme freiwerdende Energie erklärt sich auch, weshalb sich ein Abkühlen des Hufes mit einem nassen Schwamm nach erfolgtem Aufbrennen als durchaus effektiv erwies. Während die gekühlten Präparate nach 2 Minuten wieder auf ihre Ausgangstemperatur zurückgefallen waren, hatten die ungekühlten auch nach 25 Minuten noch nicht wieder die Ausgangstemperatur erreicht.

Die einzige Literaturquelle über eine Untersuchung, die sich tatsächlich mit der Wärmeleitfähigkeit des Materials Horn beschäftigte, war die in Kap.2.6. erwähnte, von Zeilinger durchgeführte kalorimetrische Messung der Temperaturdurchlässigkeit

von Horn. Um einen Vergleich dieser Messergebnisse mit den im Rahmen dieser Studie in Kap. 3.2.4. aufgeführten Werte zu erleichtern, diente eine Umrechnung von Kalorien in die für den k-Wert übliche Einheit: $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ Joule}$: Zeilingers Ergebnisse in Kalorien umgerechnet in $\text{W} / \text{K}^*\text{m}$ stimmen mit den anhand der Flash-Methode gemessenen annähernd überein. Seine Angaben umgerechnet in $\text{W} / \text{K}^*\text{m}$ ergäben eine Wärmeleitfähigkeit von $0,34 \text{ W} / \text{K}^*\text{m}$. Dies stellt eine Differenz von ca. $0,1 \text{ W} / \text{K}^*\text{m}$ zu dem anhand der Flash-Methode ermittelten Wert von $0,2 \text{ W} / \text{K}^*\text{m}$ dar.

5.3 Ausreichende Sohlendicke für einen Heißbeschlag

5.3.1 Ausreichende Sohlendicke zum Schutz vor Verbrennungen der Lederhaut

Es hat sich gezeigt, dass bis zu einer Sohlendicke über $\bar{x} = 5,9 \text{ mm}$ keine Temperaturveränderung im Inneren der Hornkapsel feststellbar war. Erst bei einer Sohlendicke $\bar{x} = 5,9 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,3 \text{ mm}$) wurde bei sehr langem Aufbrennen ($\bar{x} = 3$ Minuten und 21 Sekunden) eines ungewöhnlich heißen Hufeisens ($\bar{x} = 746 \text{ }^\circ\text{C}$) ein Anstieg der Temperatur in der Hornkapsel gemessen. Bei exzessivem Aufbrennen und einer Sohlendicke von weniger als $\bar{x} = 5,4 \text{ mm}$ ($s = \pm 1,5 \text{ mm}$) wurden Temperaturveränderungen festgestellt, die zu Folgeschäden führen könnten (s. Tab. 5). Für einen Hufbeschlag, bei dem kürzer aufgebrannt wird und das Eisen die übliche Temperatur (ca. 550°C) aufweist, wäre bei diesen Sohlendicken noch nicht mit einer Schädigung zu rechnen gewesen (s. Kap. 4.2.2).

5.3.2 Vergleich mit Werten aus der Literatur

Die ermittelte Sohlendicke, die als ausreichend zum Schutz vor Verbrennungen erachtet wird, deckt sich nicht mit allen in der Literatur aufgeführten Ergebnissen. Köhler (1939) kommt nach Auswertung einer Studie an 5 Pferden zu dem Schluss, „dass bei einer Sohlendicke von $4,4 \text{ mm}$ selbst bei einer 60 Sekunden dauernden Einwirkung eines kirschrotglühenden Eisens nach Ablauf von 20 Stunden keine Verbrennungsspuren aufgetreten waren“. Zudem resümieren sie die Untersuchungen mit dem Schlussgedanken, „dass die Erhaltung einer

DISKUSSION

Hornsohlendicke von etwa 5 mm genügt, um eine Verbrennung der Sohlenlederhaut beim Beschlage zu vermeiden“.

Setzt man seine aus konventioneller Messung erzielten Ergebnisse von 4,4 mm Sohlendicke in Relation mit dem röntgenologisch ermittelten Wert von $\bar{x} = 5,4$ mm ($s = \pm 1,5$ mm), so decken sich die Ergebnisse annähernd. Die Umrechnung in die tatsächliche Sohlendicke unter Verwendung des in Kap. 3.1.2.5 erwähnten Korrekturfaktors von 1,2 ergibt dann $\bar{x} = 4,5$ mm.

Die von Köhler auf sein Ergebnis zusätzlich zum übermäßig heißen Aufbrennen, (das an sich schon eine gewisse Sicherheit birgt, dass bei den ermittelten Sohlendicken keine Lederhautschäden entstehen können, s. Kap. 5.4.3.2) addierte Sicherheitsspanne von 0,6 mm erscheint etwas knapp: Eine Umrechnung der im Rahmen dieser Studie ermittelten, röntgenologisch gemessenen Sohlendicke, bei der keine Lederhautschäden entstehen können (6,7 mm) in die tatsächliche Sohlendicke ergibt 5,58 mm. Anhand der starken Abweichungen ist jedoch entgegen Köhlers Ergebnissen empfehlenswert, diese auch so zu halten, wenn eine Verbrennung der Lederhaut mit 80%iger Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden soll.

Die zweite Literaturquelle, in der im weiteren Sinne auf eine zum Schutz vor Verbrennungen erforderliche Sohlendicke eingegangen wird, ist eine von Köhler (1939) zitierte Aussage Delafonds (1845): Die Ergebnisse seiner Messungen zusammenfassend hält er eine Sohlendicke von 2 cm für notwendig, damit eine Verbrennung ausgeschlossen werden kann.

Ungeachtet der Tatsache, dass sich diese Ergebnisse um das beinahe 4-fache von anderen Studien unterscheiden, scheint dieser Wert auch allgemein nahezu utopisch angesetzt. Angaben in Lehrbüchern der Anatomie bzw. des Hufbeschlages erwähnen eine durchschnittliche Sohlendicke des Pferdes von ca. 1 cm (König und Liebich 1999, Silbersiepe et al. 1986).

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde eine Ausgangsohlendicke von durchschnittlich 10,74 mm evaluiert. Das wiederum bedeutet, urteilte man nach

Delafonds Kriterien, so dürfte an kaum einem Pferd ein Heißbeschlag mit Aufbrennen des Eisens durchgeführt werden.

5.4 Messdurchführung

5.4.1 Gerät

Das digitale Messgerät der Firma Omega Typ HH12A (s. Abb. 10) ermöglichte eine Messung sehr hoher Temperaturen, was insbesondere zur Ermittlung der Hufeisentemperatur von großer Bedeutung war. Auch die Option, zwei Temperaturen gleichzeitig zu erfassen, erleichterte die Versuchsdurchführung enorm, da so eine parallele Messung des aufgepassten Eisens und der Temperatur im Inneren der Hufkapsel durchgeführt werden konnte.

Allerdings zeigte das Thermometer – obwohl beim Kauf explizit auf eine hohe Messgeschwindigkeit geachtet worden war - stets eine leichte Messverzögerung. Nach Abbruch der Messungen stieg die digital angezeigte Temperatur regelmäßig um 3°C - 4°C nach. Dies lässt sich einerseits durch eine verzögerte Wahrnehmung des Temperaturanstieges der Thermoelektrode erklären. Andererseits muss auch in Betracht gezogen werden dass Horn ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, weshalb selbst bei sehr dünner Sohle davon auszugehen ist, dass die Temperaturleitung in das Innere der Hufkapsel verzögert stattfand.

Aufgrund des immer identischen Temperaturanstiegs nach Abbruch der Messungen konnte die Messverzögerung kompensiert werden. Sie wurde als feste Konstante in den Messvorgang eingebaut – statt bei den gewünschten 51°C wurde die Messung bei Erreichen von 48°C bereits abgebrochen, das Thermometer stieg im Anschluss verlässlich auf die gewünschte Zieltemperatur.

5.4.2 Versuchsgruppe

In die Versuchsgruppe wurden keine Pferde aufgenommen, die den Vorbericht einer Erkrankung des Hufes mit all seinen Strukturen hatten. Bei der eingangs durchgeführten Röntgenaufnahme zur Überprüfung der Ausgangssohlendicke sowie des Sitzes der Thermoelektrode fiel ebenfalls bei keinem Objekt eine Rotation oder Absenkung des Hufbeines auf.

Dennoch ist nicht auszuschließen, dass eventuell doch ein Tier mit besonderen Befunden im Bereich der distalen Gliedmaße in die Studie aufgenommen worden war. Viele der Pferde waren zum ersten Mal bei / nach der Euthanasie in der Klinik bzw. einige wurden aus einem lokalen Schlachtbetrieb bezogen und eine Krankenakte konnte demnach nicht in allen Fällen studiert werden. Anhand der Röntgenbilder konnten jedoch zumindest Veränderungen im Sinne einer Hufrehe ausgeschlossen werden.

Ein weiterer Aspekt bezüglich der zur Studie zugelassenen Präparate ist die Verwendung tiefgefrorener Präparate. Verständlicherweise wäre ein Einwand, das Tiefgefrieren beeinflusse die Gewebeeigenschaften und Struktur ungünstig, nicht zu vernachlässigen. Eben aufgrund der o. g. Auswirkungen auf empfindliche Anteile des Hufes wie z.B. Lederhaut und Gefäßendothelien wurden zur Aufbereitung für histologische Untersuchungen lediglich die zur Versuchsgruppe 1 gehörigen, d.h., Hufe von Pferden, deren Euthanasie meist ca. 30 Minuten zurücklag, verwendet. Die Verwendung der durch Tiefgefrieren konservierten Präparate für die durchgeführten Temperaturmessungen konnte durch einen Vergleich der Messergebnisse mit den frischen Präparaten gerechtfertigt werden, da sich keine nennenswerten Unterschiede nachweisen ließen. Wie in Kap. 3.2.1 aufgeführt, betrug der Unterschied zwischen den Sohlendicken der frischen und der zuvor eingefrorenen Präparate bei Erreichen der pathologisch definierten „kritischen Temperatur“ von 48°C weniger als 0,1 mm.

5.4.3 Statistische Auswertung der Ergebnisse

Alle Statistischen Erhebungen können der in Kap. 4 aufgeführten Tab. 5 entnommen werden.

5.4.3.1 Abweichungen

Bei der Berechnung des Mittelwertes aller gemessenen Sohlendicken fielen Abweichungen nach oben bzw. unten auf:

DISKUSSION

Während bei 48°C die mittlere Sohlendicke $\bar{x} = 5,4$ mm ($s = \pm 1,5$ mm) betrug, lag die höchste Abweichung nach oben bei + 2,4 mm (Sohlendicke: 7,8 mm), die nach unten bei 2,9 mm (Sohlendicke 2,5 mm). Nicht nur diese sehr hohen Differenzen sondern auch die Häufigkeit mit der schon bei einer dickeren Sohle Temperaturveränderungen in der Hornkapsel feststellbar waren, werfen Fragen auf.

Die Abweichungen zeigten sich jedoch nicht als Ausreißer, die einen Ausschluss aus der Studie erforderlich machen würden, weil davon auszugehen wäre, dass eine potentielle Fehlerquelle involviert ist (z.B. defekte Thermoelektrode). Stattdessen liess sich ein annähernd proportionales Verhältnis zur Ausgangsohlendicke beobachten (s. Tab. 5): Je dicker die Sohle ursprünglich war, desto dicker war die Sohle auch noch bei Erreichen von 48°C im Inneren der Hornkapsel. Erklären lässt sich dies über die verhältnismäßig gesehen deutlich längere Dauer der Hitzeinwirkung bei dickerer Ausgangsohle. Es ist davon auszugehen, dass – auch wenn Horn ein schlechter Wärmeleiter ist – eine gewisse Wärmemenge im Huf gespeichert war und demnach die „kritische Temperatur“ von 48°C früher erreicht wurde.

Die tatsächlichen Ausreißer traten bei Messungen der Sohlendicke, die einer Temperatur von 68°C im Inneren der Hufkapsel zugeordnet wurden, auf. Die größte Differenz lag hier bei 81,6 % über dem Mittelwert. Aufgrund dieser markanten Fehlerquote sowie überproportionaler Abweichungen ist vom Vorliegen einer potentiellen Fehlerquelle auszugehen, die in logischer Konsequenz zu einem Ausschluss der Messreihe aus der Studie führen musste.

Gerechtfertigt werden kann dies nicht nur mit den nicht nachvollziehbaren Messergebnissen sondern v. a. mit den in Kap. 5.4.4 erörterten Argumenten, die dagegen sprechen, dass 68°C bei einem Hufbeschlag erreicht werden dürfen. Somit wurde nach sorgfältiger Abwägung der Vor- und Nachteile eine Exklusion der gesamten, 68°C zugeordneten Messreihe entschieden.

5.4.3.2 Sicherheitsspanne

Bei Betrachtung der Messwerte stellt sich die Frage, ob eine Sohlendicke anzugeben ist, bei deren Einhaltung eine Verbrennung der Sohlenlederhaut mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann und bei welcher davon nach unten abweichenden Sohlendicke eine Verbrennung mit welcher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden kann. Es kann gesagt werden, dass bei einer röntgenologisch gemessenen Sohlendicke von 6,7 mm auch bei dem praktizierten übertriebenen Aufbrennen des Hufeisens mit einer 80%igen Wahrscheinlichkeit ($p=0,8$) ausgeschlossen werden kann, dass ein Anstieg der Temperatur in der Hornkapsel auf 48°C stattfindet (s. Kap. 4.1, Tab. 6).

Für die Anwendung der Ergebnisse dieser Untersuchung auf Röntgenbilder, die nach einem Hufbeschlag angefertigt wurden, wird die Verwendung des Mittelwertes für die Sohlendicke bei einem ersten Temperaturanstieg auf 48°C als ausreichend erachtet, da die Aufbrenndauer und Aufbrenntemperatur die bei einem „normalen“ Hufbeschlag um ein Vielfaches geringer sind, als es in dieser Untersuchung praktiziert wurde (s. Tab. 5).

Eine weitere Begründung für die Entscheidung, den Mittelwert der Sohlendicke der vorliegenden Untersuchung als ausreichend für einen normalen Hufbeschlag zu erachten, beruht darauf, dass die Sohle stets bei 48°C noch sehr dick war, wann immer die Ausgangssohle ebenfalls sehr dick gewesen war (s. Kap. 5.4.3.1). In diesen Fällen musste dementsprechend lange aufgebrannt werden, bis die pathologisch als kritisch definierte Temperatur erreicht war. Nachdem ein solch langer Aufbrennvorgang von über 3 Minuten unter Normalbedingungen nicht durchgeführt wird, ist auch nicht mit einer so starken Erwärmung und Hitzespeicherung des Hornes zu rechnen.

Die hohe Wahrscheinlichkeit, mit der eine Sohlendicke von 5,4 mm (röntgenologisch gemessen) als sicher zu erachten ist, lässt sich zudem mit den Ergebnissen der histologischen Untersuchungen belegen (s. Kap. 4.3). Bis zu einer Sohlendicke von 4 mm (unter Berücksichtigung des in Kap. 3.1.2.5 erläuterten Korrekturfaktors von 1,2

wäre die röntgenologisch gemessene Sohlendicke dann 4,8 mm) zeigten sich keine histologischen Veränderungen im Bereich der Huflederhaut.

Auch die Messungen, die durchgeführt wurden, um den Aufbrennvorgang unter normalen Bedingungen des Heißbeschlages (adäquate Temperatur und Aufpassdauer) bei sehr dünner Sohle zu simulieren, sprechen dafür, dass die Angabe des Mittelwertes als Richtlinie als ausreichend zu erachten ist. Nachdem im Rahmen der in Kap. 3.1.3.2 aufgeführten Untersuchungen an Präparaten mit sehr stark ausgedünnter Sohle selbst bei einer Sohlendicke von 5,4 mm kein Temperaturanstieg im Inneren der Hornkapsel beobachten ließ, ist eine Verbrennung der Lederhaut bei einer Sohlendicke von mehr als 5,4 mm mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen.

5.4.4 Ausschluss einzelner Messreihen

Die in Tab. 5 aufgeführte, bei 68° C durchgeführte Versuchsreihe wurde aus mehreren Gründen aus der Studie ausgeschlossen:

Zum einen war es die gehäufte Inzidenz abweichender Messergebnisse, die in Kap. 5.4.3.1 genauer erörtert wird.

Zum Anderen beruht der Ausschluss v. a. auf der Tatsache, dass eine Temperatur von 70°C, die in den Lehrbüchern der Pathologie mit einer vollständigen Denaturierung von Proteinen bzw. irreversiblen Zellschäden aller Art einhergeht (s. Kap 2.3), sich im Rahmen dieser Messungen als zu hoch erwiesen hat. Aufgrund der Messverzögerung kam es einige Male vor, dass bei Anstieg des Thermometers auf 68°C die Sohle punktuell bis auf die Lederhaut durchgebrannt war.

Für diese Studie, die mit dem Ziel durchgeführt wurde, eine Angabe zu der Sohlendicke zu liefern, bei der mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit keine Verbrennungen der Sohlenlederhaut entstehen können, wurden als Orientierungswerte für eine mögliche Gewebeschädigung die von Schulz et al. (1990) aufgeführten Temperaturen und Einwirkzeiten auf das Gewebe zugrunde gelegt. Die Faktoren Zeit und Temperatur bedingen einander indirekt proportional,

die zugehörige Zeitspanne halbiert sich bei jeweiliger Temperaturerhöhung um ein Grad (s. Kap. 2.3). Dementsprechend ist bei einer Einwirkzeit von 3 Minuten (was in etwa der Zeitspanne der Versuchsdurchführung bis zum ersten Temperaturanstieg gleichkam) bereits bei 51°C und nicht erst bei 68°C mit ersten Schäden an der Zellstruktur sowie einer Dissoziation anaboler und kataboler Stoffwechselfvorgänge zu rechnen.

5.5 Röntgenaufnahme zeitnah nach dem Hufbeschlag

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie ermöglichen eine verlässliche Interpretation von zeitnah nach einem Hufbeschlag erstellten Röntgenaufnahmen. Anhand einer Messung der Sohlendicke auf dem Röntgenbild kann entschieden werden, ob eine Verbrennung bei dem Hufbeschlag überhaupt möglich war oder wie wahrscheinlich es ist, dass durch den Hufbeschlag eine Verbrennung entstanden ist.

Des Weiteren kann die vorliegende Untersuchung auch in kritischen Fällen vor dem Beschlag (z.B. bei Verdacht auf eine sehr dünne Sohle) eine Hilfestellung für den Schmied bieten. Mit Hilfe der Röntgenaufnahme und der in dieser Studie ermittelten Werte zur sicheren Sohlendicke kann eine leichtere Abwägung der Argumente für oder gegen einen Heißbeschlag erfolgen.

Bei Auftreten einer Lahmheit nach einem Hufbeschlag wird daher geraten, möglichst zeitnah eine Röntgenaufnahme anzufertigen. Sie sollte stets mit Markierung der Sohle durch einen flachen, metallischen Gegenstand (z.B. Skalpellklinge) sowie bei orthogradem Strahlengang durchgeführt werden. Es ist davon auszugehen, dass in vielen Fällen der Schmied durch eine derartige Röntgenaufnahme entlastet werden kann.

5.6 Konkrete Werte für die forensische Beurteilung der Sohlendicke

Bisher gab es keine konkreten Angaben für die Beurteilung der Sohlendicke, wenn nach dem Heißbeschlag eine Lahmheit aufgetreten ist. Anhand der in dieser Studie ermittelten Werte wird die Beurteilung der Sohlendicke ermöglicht.

Vorraussetzung hierzu ist eine Röntgenaufnahme, die unmittelbar nach Auftreten der Lahmheit im Anschluss an einen erfolgtem Heißbeschlag erstellt sein sollte (s. Kap. 5.5).

5.7 Auslösen von Hufrehe durch Verbrennungen der Sohlenlederhaut

Die Frage, ob Verbrennungen der Sohlenlederhaut auch zu Konsequenzen im Areal der Wandlederhaut führen können, bleibt nach wie vor ungeklärt. Es ist zweifelhaft, ob durch Schäden der Lederhaut im Sohlenbereich eine Hufrehe mit Ablösung der Lederhaut im Wandbereich und daraus resultierender Rotation oder Absenkung des Hufbeines entstehen kann.

Insbesondere dann, wenn eine Verbrennung der Sohlenlederhaut beim Hufbeschlag schon als unwahrscheinlich angesehen werden muss, ist die Auslösung einer Hufrehe durch den Hufbeschlag so gut wie auszuschließen. Wenn ein Pferd schon vor einem Hufbeschlag an Hufrehe erkrankt war, kann es nach dem Beschlag – auch wenn dieser ordnungsgemäß durchgeführt wurde – lahm gehen, da die empfindlichen Hufe schnell auf eine Veränderung reagieren. In diesen Fällen trifft den Schmied jedoch keine Schuld, insbesondere dann nicht, wenn ihm die Hufrehe unbekannt war und die weiße Linie sich noch nicht verbreitert darstellte. In diesen Situationen ist eine zeitnah nach dem Beschlag angefertigte Röntgenuntersuchung in der beschriebenen Art und Weise ebenfalls sinnvoll, da dann ggf. schon unmittelbar nach dem Hufbeschlag Röntgenveränderungen im Sinne einer Hufrehe auf dem Röntgenbild erkennbar sind, die nicht innerhalb von 1 oder 2 Tagen nach dem Hufbeschlag entstanden sein können.

5.8 Weiterführende Untersuchungen

5.8.1 Tierversuch

Da die Untersuchungen ausschließlich an den Extremitäten euthanasierter Tiere durchgeführt wurden, liefern sie lediglich die Ergebnisse einer Momentaufnahme. Das Zeitfenster ist sehr eng angesetzt, es wird nur der Stand direkt nach erfolgtem Brennen angezeigt.

Es wäre jedoch interessant, die weiteren Folgen der Hitzeeinwirkung beobachten zu können und die verschiedenen Zwischenstufen der Entzündungsprozesse nachzuvollziehen. Noch weitaus bedeutender wäre es, die Konsequenzen der Verbrennungen in diesen Arealen auf lange Sicht gesehen zu betrachten. Sicherlich ist es eine Überlegung wert, ob ähnliche Untersuchungen im Rahmen eines angemeldeten Tierversuches wiederholt werden sollten. So könnte man z.B. ein Aufbrennen bis unter ermittelte „sichere“ Werte zur Sohlendicke unter analgetischer Versorgung und Allgemeinanästhesie mehrerer Versuchstiere durchführen und so eine Verbrennung provozieren. Selbst wenn damit auch keine Aussage über Langzeitfolgen getroffen werden kann, so würde dieser Weg zumindest einen Einblick in beginnende Veränderungen durch die hitzebedingten Gewebsläsionen bieten.

Bereits nach ein paar Stunden ist mit der Einwanderung erster Entzündungszellen und einer mediatoreninduzierten (Histamin, Kinine) Durchblutungssteigerung der Kapillaren (Schulz et al.1990, Thomas und Büttner 2003) zu rechnen, die sich in histologischen Schnitten aus den Hufen der im Anschluss euthanasierten Pferde darstellen lassen würden. Auf zellulärer Ebene wäre eine Koagulationsnekrose zu erwarten, die durch membranschädeninduzierten Wassereinstrom (Sandritter und Beneke 1981) in die Zelle mit resultierender Zerstörung der Zellstrukturen charakterisiert wird und bei in vivo durchgeführtem Aufbrennen möglicherweise deutlicher wäre als an den Präparaten.

Die Untersuchung der Kurzzeitfolgen im Rahmen eines Tierversuchs wäre ethisch noch vertretbar, da die Pferde nach 1-2 - stündiger Narkose nicht mehr aufstehen müssten. Im Gegenteil hierzu könnte eine Untersuchung der Langzeitfolgen mit längeren Schmerzen und Leiden der Pferde verbunden sein. Einem Tier aus

wissenschaftlichem Interesse Schmerzen und Leiden zuzufügen ist zwar kein Verstoß gegen das Tierschutzgesetz, allerdings stellte sich die Frage, wie gut es moralisch zu argumentieren wäre: Die Rechtfertigung eines Tierversuches wäre nicht eindeutig gegeben, wenn er nur dazu diene, die gemessenen Werte zu der Sohlendicke, bei der keine Lederhautschäden entstehen können, möglicherweise um einen halben Millimeter nach unten zu korrigieren.

Ein Einwand, der gegen die Versuchsdurchführung an nicht mehr lebenden Tieren sprechen könnte, ist die Tatsache, dass eine Messung an der toten Materie möglicherweise nicht identisch ist mit in vivo Messungen: Wie in den Lehrbüchern der Anatomie und Hufbeschlagslehre erwähnt trägt die Durchblutung des Hufes einen Teil zur Temperaturregulation im Inneren der Hornkapsel bei. Demnach können anhand dieser Studie zwar verlässliche Aussagen darüber getroffen werden, ab welcher Sohlendicke das Material Horn an Thermoisolationsekapazität einbüßt. Dass aber im Idealfall selbst bei Überhitzung des Hornes bis zu einer bestimmten Sohlendicke, bei der dann tatsächlich durch lokalen Kontakt Verbrennungen auftreten, noch keine Gefahr der Langzeitschädigung bestehen könnte, weil die Gefäße eine durch Vasodilatation bzw. Vasokonstriktion regulierte Mehr- bzw. Minderdurchblutung und damit einen Temperatenausgleich bis zu einem gewissen Grad bewerkstelligen können, muss in dieser Studie unberücksichtigt bleiben.

Allerdings ist die Durchführung an Präparaten durchaus vertretbar, denn es wurde im Rahmen dieser Studie bewiesen, dass Horn ein sehr schlechter Wärmeleiter ist. In logischer Konsequenz stellt sich die Frage, ob und inwieweit ein Einfluss der Durchblutung im Vergleich zu den physikalischen Eigenschaften der Hornkapsel für die Thermoregulation tatsächlich relevant ist. Es muss unterstellt werden, dass die Hornkapsel selbst die wichtigste Komponente ist, um thermische Schäden an der Lederhaut zu verhindern.

5.8.2 Histologische Untersuchung anhand von Gefäßkorrosionspräparaten

Die Gewinnung der histologischen Schnitte von den Hufen stellte eine äußerst diffizile Aufgabe dar. Die stark variierenden Härtegrade von Horn und Lederhaut bei gleicher – da zusammenhängender – Schnittführung warfen Probleme auf:

DISKUSSION

Zusammenhangstrennungen der innigen Verbindung zwischen dem Stratum papillare der Lederhaut und Stratum basale der Hornkapsel (Epidemis) waren nicht selten, ebenso Querrisse innerhalb der weichen Strukturen. Eine flache Fixation der sehr dünn geschnittenen Proben (4 μm) beim Trocknen stellte eine weitere Schwierigkeit dar. Sobald die feuchten Proben auf dem Objektträger trockneten, hoben sich die Ränder ab und lösten sich vom Objektträger, was ebenfalls zu Artefakten und Zerreißungen führte.

Aufgrund der oben genannten Schwierigkeiten musste die Auswertung der histologischen Präparate mit einer gewissen Vorsicht erfolgen. Da die Proben nicht aus Gefäßkorrosionspräparaten erstellt worden waren, ist möglicherweise die Diagnose der Schrumpfung und Koagulation der Lederhautpapillen aufgrund einwirkender Hitze und daraus resultierender Verschmelzung mit Strukturverlust auch anders zu interpretieren: Es könnte sich bei den Zusammenhangstrennungen zwischen Epidemis und Corium ebenso um Zerreißungen, d.h. um durch die Schnitzzubereitung erzeugte Artefakte handeln. Durch die entstehenden Abriebkräfte beim Einwirken der Klinge und die unterschiedlichen Härtegrade von Horn bzw. Lederhaut wäre dies möglich.

Die Inzidenz der Ablösungen der Lederhaut spricht jedoch dafür, dass die Ablösungen auch ohne Gefäßkorrosionspräparate als ausreichend aussagekräftig bewertet werden können. Bei Präparaten von Hufen, die durch das Aufbrennen mit dem heißen Eisen nur noch eine Sohlendicke von weniger als 4 mm aufwiesen, war eine Ablösung kontinuierlich zu beobachten. Demgegenüber war außer in zwei histologischen Schnitten von Hufen mit einer verbliebenen Sohlendicke von mehr als 4 mm die Verbindung zwischen Stratum papillare der Lederhaut und Stratum basale der Epidemis bei allen histologischen Schnitten erhalten.

Der markanteste Unterschied neben der überproportionalen Häufung ist jedoch der Charakter der Ablösungen bei den Präparaten, die von Hufen mit einer Sohlendicke von unter 4 mm gewonnen wurden. Die Lederhaut der abgelösten Papillen sieht immer zusammengeschrumpft und kompakter aus, die Zusammenhangstrennungen selbst sind stets um die gesamte Papille lokalisiert und setzen sich weder in der

DISKUSSION

Lederhaut noch im Horn fort. All diese Indizien sprechen dafür, diese Erscheinung nicht als Artefakt sondern als Auswertungskriterium zu sehen.

Auch die in den Schnitten aus Hufen mit einer Sohlendicke unter 4 mm prominente Extravasation kann aufgrund o. g. Vorgehensweise bei den Untersuchungen in Frage gestellt werden. Hier muss ebenfalls erwähnt werden, dass eine Fehlinterpretation von Artefakten nicht 100%ig auszuschließen ist. Jedoch ist auch in diesem Falle auf die vergleichsweise überproportionale Inzidenz des Austrittes von Blutbestandteilen bei sehr dünn abgebrannter Sohle im Vergleich mit Präparaten von Hufen mit dickerer Sohle ein Argument für die erfolgte Interpretation, dass eine Hitzeschädigung an den Gefäßwänden stattgefunden hat.

5.9 Schlussfolgerungen

Messungen zur Wärmeleitfähigkeit von Horn wurden bisher fast ausschließlich an Hornstücken durchgeführt.

Demgegenüber war es Ziel der vorliegenden Studie, die Eigenschaften der Hornkapsel als Ganzes zu erfassen, indem die Messungen im Inneren des Hufes stattfanden. Es wurde angestrebt, konkrete Werte bezüglich der Sohlendicke nennen zu können, die in Zweifelsfällen einer Beurteilung der Sohlendicke nach dem Hufbeschlag dienen sollten.

Diese Studie kann anhand genauer Angaben zu der Wahrscheinlichkeit einer Verbrennung der Sohlenlederhaut auch eine forensische Beurteilung erleichtern, wenn der Hufschmied beschuldigt wird, einen fehlerhaften Hufbeschlag angebracht zu haben.

Zudem galt es, anhand neuerer diagnostischer Methoden eine Möglichkeit zu finden, die dem Schmied in Kooperation mit dem Tierarzt bei dünner Sohle behilflich sein kann, das weitere Vorgehen zu bestimmen und so eventuell entstehenden Schäden vorzubeugen. Die röntgenologische Messung der Sohlendicke stellt eine gute Möglichkeit dar, um Verbrennungen der Lederhaut durch einen Heißbeschlag bei dünner Sohle vor zu beugen. Wird zeitnah nach dem Beschlag und dem Auftreten der Lahmheit durch eine geeignete Röntgenuntersuchung (orthograder Strahlengang, Markierung der Sohle) die Sohlendicke dokumentiert, so kann anhand der ermittelten, bisher nicht verfügbaren, exakten Angaben und Werte eine fundierte Beurteilung der Sohlendicke und Einschätzung der Wahrscheinlichkeit für eine Verbrennung der Huflederhaut beim vorausgegangenen Hufbeschlag erfolgen.

6 Zusammenfassung

Der Einfluss der Sohlendicke auf die Thermoisolation der Hornkapsel beim Equiden

Einleitung

Lahmheiten, die nach einem Heißbeschlag auffallen, werden häufig dem Hufschmied zur Last gelegt und mit forensischen Fragestellungen verbunden. Besonders, wenn nach einem Hufbeschlag festgestellt wird, dass das Pferd an Hufrehe erkrankt ist, die nicht unerhebliche Tierarztkosten verursacht und vielfach zu einer dauerhaften Unbrauchbarkeit führt, werden schnell Schadenersatzforderungen an den Hufschmied gestellt. In diesen Fällen ist es vorteilhaft, baldmöglichst nach dem Hufbeschlag und Auftreten der Lahmheit Röntgenbilder anzufertigen, um zeitnah zu prüfen, wie dick die Hufsohle nach dem Beschlag noch war.

Ziel dieser Studie war es, die Sohlendicke zu bestimmen, bei der zwischen Lederhaut und Hornkapsel eine Temperaturveränderung messbar wird und ab der sich auch Gewebeschäden an der Sohlenlederhaut einstellen.

Material und Methoden:

Von 20 Pferden unterschiedlicher Rasse und Größe im Alter zwischen 2 und 17 Jahren wurden jeweils beide Vordergliedmaßen unverzüglich nach der Euthanasie im Karpalgelenk abgesetzt und an den Hufen wurden die beim Hufbeschlag üblichen Bedingungen des Aufbrennens des Eisens simuliert. Begleitend wurde die Temperaturveränderung im Inneren der Hornkapsel mittels eines zwischen dorsaler Hufwand und Lederhaut parallel zum Hufbein eingeführten Thermoelements gemessen. Das Aufbrennen erfolgte mindestens bis zu dem Zeitpunkt, zu dem das Thermoelement einen signifikanten Anstieg der Temperatur anzeigte. Zwischendurch wurde das Aufbrennen immer wieder gestoppt und die jeweils vorliegende Sohlendicke röntgenologisch dokumentiert. Zusätzlich wurde geprüft, ob der Feuchtigkeitsgehalt des Horns oder die Pigmentierung einen Einfluss auf die Thermoisolation der Hornkapsel haben und ob durch Kühlung nach dem Aufbrennen ein schnelleres Abkühlen begünstigt wird.

10 Präparate wurden zunächst eingefroren und später nach dem Auftauen für die Temperaturmessungen eingesetzt. Weitere 10 Präparate wurden unmittelbar nach der Euthanasie für den Versuch verwendet. Bei diesen Hufen wurden zusätzlich Proben für histologische Untersuchungen entnommen. Hieraus erfolgte die Erstellung histologischer Schnitte mit 2 verschiedenen Färbungen (Masson-Goldner und Hämatoxilin-Eosin).

Des Weiteren wurden unterstützend zu den Temperaturmessungen anhand der Flash - Methode die physikalischen Eigenschaften (Dichte, Wärme- und Temperaturdurchlässigkeit) der Hufkapsel ermittelt.

Ergebnisse:

Bis zu einer röntgenologisch gemessenen Sohlendicke von über $\bar{x} > 5,9$ mm ($s = \pm 1,3$ mm) war keine Temperaturveränderung im Inneren der Hufkapsel feststellbar. Bei einer Sohlendicke von $\bar{x} = 5,9$ mm ($s = \pm 1,3$ mm) stieg die Temperatur dann relativ schnell auf 48°C und auch auf deutlich höhere Temperaturen an. Die Temperatur von 51°C, bei der mit ersten Gewebeschäden zu rechnen ist, wurde erst bei einer Sohlendicke von $\bar{x} < 5,4$ mm erreicht. Eine Schädigung des Gewebes (Extravasation, Veränderungen der Struktur bzw. Deformation der Zellen und deren Kerne) zeigte sich bei den histologischen Untersuchungen erst bei einer Sohlendicke von weniger als 4 mm.

Der k - Wert von Horn gemessen mit der Flash – Methode betrug ca. 0,2 W / K*m. Das Hufhorn weist somit eine sehr schlechte Wärmeleitfähigkeit auf. Es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen der Wärmeleitfähigkeit von pigmentiertem und unpigmentiertem oder feuchtem und trockenem Horn zu verzeichnen. Das Kühlen des Horns mit einem nassen Schwamm nach dem Aufbrennen des Hufeisens beschleunigte das Abkühlen der Temperatur in der Hornkapsel erheblich.

Schlussfolgerung und klinische Relevanz:

Die bekannten, höchstgradig effektiven thermoisolierenden Eigenschaften der Hornkapsel wurden bestätigt: Erst ab einer Sohlendicke von $\bar{x} < 5,4$ mm kann bei übertrieben heißem und langem Aufbrennen überhaupt eine irreversible thermische

ZUSAMMENFASSUNG

Schädigung der Lederhaut entstehen. Zudem kann mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% ein Temperaturanstieg in der Hornkapsel bei einer Sohlendicke von $\bar{x} \geq 6,7$ mm ausgeschlossen werden.

Voraussetzung für die Beurteilung der Sohlendicke nach einem Hufbeschlag mit anschließend festgestellter Lahmheit ist, dass zeitnah nach dem Beschlag und dem Auftreten einer Lahmheit durch eine geeignete Röntgenuntersuchung (orthograder Strahlengang, Markierung der Sohle) die Sohlendicke dokumentiert wird. Dem Hufschmied können mit der Aufnahme eines Röntgenbildes anhand der ermittelten Sohlendicken außerdem Entscheidungen für oder gegen einen Heißbeschlag bei Pferden mit dünner Sohle erleichtert werden. Sollte beim Aufbrennen ein Wegziehen des Hufes den Verdacht auf eine thermische Reizung der Huflederhaut ergeben, ist ein sofortiges Kühlen des Hufes mit kaltem Wasser sinnvoll, um die Zeit der Temperaturerhöhung und damit mögliche Gewebeschäden an der Lederhaut zu minimieren.

7 Summary

The Influence of the sole - thickness of the Equine hoof capsule on its thermo - isolation - capacity

Introduction:

Lameness that appears after hot-shoeing is an issue the farrier is often blamed for and therefore it is discussed in the field of forensic medicine. It can be problematic if laminitis appears after shoeing because then there is most likely to be an underlying chronic lameness which can lead to a long-lasting affliction. In cases such as this, it is recommended to x-ray as soon as possible after shoeing and after the occurrence of lameness so that a real-time check for the thickness of the sole after shoeing can be made. This would also show if the horse was suffering from laminitis before shoeing (if rotation and/or sinking of the distal phalanx were observable on the x-ray). It is questionable if a burn on the corium of the sole could cause a laminitis with alteration to the laminar corium (of the hoof wall) and dislocation of the distal phalanx.

The aim of this study was to investigate the thickness of the sole at which it is possible to measure a change in temperature within the hoof capsule. In addition it was aimed to measure what change in temperature causes damage to the corium of the sole.

Materials and methods:

The front limbs of 20 horses, aged between 2 and 17 years old and of differing breed and size, were cut off at the carpal joint immediately after euthanasia. The experiment involved a simulation of routine conditions during hot shoeing such as fitting the shoe on the hoof by branding. A canal between the dorsal wall of the hoof and the corium, parallel to the coffin bone was set and a thermal element was placed inside. Using this, the change of temperature in the hoof capsule could be measured whilst hot shoeing. Branding was continued until a significant change in temperature was observed. During the process, branding was interrupted several times and x-rays were performed to document the actual thickness of the sole. The procedure

SUMMARY

was modified in some cases in order to determine the thermal conductivity in horns with differing moisture content and differing pigmentation. It was also an aim of the study to conduct the procedure under usual conditions, that is a shoe branding within a normal time and temperature frame, and to evaluate the effect of cooling with a water-soaked sponge after shoeing.

A total of 10 specimens' front limbs were frozen, and after defrosting the analysis was carried out. Further 10 front limbs were examined immediately after the horses have been euthanized, and in addition histological samples were taken of these hoofs and coloured with two different stains (Masson-Goldner, Hämatoxylin-Eosin).

Physical properties such as density and thermal conductivity were also investigated by using the flash - method.

Results:

For a diameter of $\bar{x} > 5,9$ mm ($s = \pm 1,3$ mm), no change of temperature inside the capsule of the hoof could be detected. At $\bar{x} = 5,9$ mm ($s = \pm 1,3$ mm) the temperature increased significantly to 48°C or higher. The temperature described as "critical" in histological studies so far (51°C with a branding time of 3 minutes) was achieved with a sole diameter of $\bar{x} < 5.4$ mm ($s = \pm 1,5$ mm). Damage to the tissue (extravasation, change in structure such as deformation of the cells and their nuclei) was found during histological examination of these samples which were taken from the sole with a diameter of 4 mm or less.

The k- parameter of the horn analysed by the flash - method was 0,2 W / K*m, which means Horn has a very poor thermal conductivity. Separately, it was observed that there was no significant difference in the thermal conductivity of pigmented and unpigmented horn. Furthermore, a comparison of dry and wet horn showed that there was no significant difference in the thermal conductivity of horn capsules with differing moisture contents, either. As some well experienced farriers use a wet sponge for cooling after shoe branding this method was also tested. As a result of the energy released by evaporation this method was determined to be quite effective.

Conclusion and clinical relevance:

The well-known, highly effective thermo-isolating characteristic of the horn capsule was confirmed. Only when a sole has a diameter of $\bar{x} < 5.4$ can irreversible thermal damage occur when performing an excessively hot and long-lasting branding. To avoid damage with a high probability of 80 % ($p = 0,8$), the minimum thickness of the sole needs to be $\bar{x} \geq 6.7$ mm.

In this way the results can help to answer questions in the area of forensic medicine. Therefore it is of great importance to perform adequate x-rays (perpendicular course of beam; labelling of the sole) in order to document the (actual) thickness of the sole after branding and the following occurrence of lameness. Farriers who have to decide in borderline cases whether or not to hot-shoe can x-ray and use the given results to help and support their decision. Should any suspicion of thermal irritation whilst hot-shoeing occur, cooling can be recommended. Considering that this lowers the time-period of the rise of temperature, it decreases the risk of any possible damage to the corium of the sole.

8 Literaturverzeichnis

1. Seiferle, E. und J. Frewein, *Aktiver Bewegungsapparat, Myologie*, in *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, E. Seiferle, A. Schummer, und R. Nickel, Hrsg. 1992, Parey: Berlin, Hamburg. S. 485f.
2. Liebich, H.-G., S. Reese, and K.-D. Budras, *Allgemeine Körperdecke*, in *Funktionelle Histologie der Haussäugetiere, Lehrbuch für Studium und Praxis*, H.-G. Liebich und H.E. König, Hrsg. 2004: Stuttgart. S. 312f.
3. Politt, C., *Anatomy and physiology of the inner hoof wall*. Clinical Techniques in Equine Practice, 2004. Vol. 3: S. 3 - 21.
4. Budras, K.-D. und S. Röck, *Atlas der Anatomie des Pferdes: Lehrbuch für Tierärzte und Studierende*. 4. Auflage ed. 2000, Hannover: Schlütersche. S. 2 - 25.
5. Moser, E., *Beschlag und Pflege von Huf und Klaue*. 1926. S.146.
6. Hams, V., *Biomathematik, Statistik und Dokumentation*. 7. Auflage ed. 1998, Kiel-Mönkeberg: Hams.
7. de.wikipedia.org/wiki/Wärmeleitfähigkeit. Stand: 21.01.2007.
8. de.wikipedia.org/wiki/Wärmeleitfähigkeit. Stand: 21.01.2007.
9. Fischer, A., *Der Fuß des Pferdes*. 1927. S. 302 f.
10. Leisering, A.G.T., *Der Fuß des Pferdes*. 1898. S. 263.
11. Habacher, F., *Der Huf- und Klauenbeschlag*. 8. Auflage ed. 1948, Wien: Urban und Schwarzenberg. S. 93f.
12. Ruthe, H., H. Müller, und F. Reinhardt, *Der Huf: Lehrbuch des Hufbeschlages*. 5. Auflage ed. 1997, Stuttgart: Enke. S. 149f.
13. Hickmann, J., *Der richtige Hufbeschlag: Handbuch für Theorie und Praxis*. 1983, München, Wien, Zürich: BLV Verlagsgesellschaft. S. 129f.
14. Hertsch, B. *Diagnose und Behandlung eitriger und nichteitriger Huflederhautentzündungen*. in *15. Hufbeschlagstagung*. 2006. München.
15. Geyer, H. and S. Ossent. *Die Anatomie der Huflederhaut*. in *15. Hufbeschlagstagung*. 2006. München.
16. Leisering, A.G.T., *Die Einwirkung der Kälte und Wärme auf die Hufe des Pferdes*. Hufschmied, 1885: S. 116.
17. Moser, E. und M. Westhues, *Die Entzündungen der Huf- und Klauenlederhaut*, in *Leitfaden der Huf- und Klauenkrankheiten*. 1950, Enke: Stuttgart. S. 22f.

LITERATURVERZEICHNIS

18. Eberlein, R., *Die Hufkrankheiten des Pferdes*. 1908. S. 236.
19. Venner, M., I. Vervuert, und H.-O. Hoppen. *Die Hufrehe aus internistischer Sicht*. in *bpt-Kongress*. 2006. Nürnberg.
20. Habacher, F., *Die kranken Hufe*, in *Der Huf und Klauenbeschlag*. 1948, Urban und Schwarzenberg: Wien. S. 166f.
21. Eberlein, R., *Die Nekrose der Huflederhaut des Pferdes und ihre Behandlung*, in *Monatshefte für praktische Tierheilkunde*. 1896. S. 537.
22. Dyce, K.M., W.O. Sack, und C.J.G. Wensing, *Die Schultergliedmaße des Pferdes; Die Beckengliedmaße des Pferdes*, in *Anatomie der Haustiere, Lehrbuch für Studium und Praxis*. 1991, Enke: Stuttgart. S. 591 - 627.
23. Moser, E. und M. Westhues, *Die Verbrennung und Erfrierung der Lederhaut*, in *Leitfaden der Huf- und Klauenkrankheiten*. 1950, Enke: Stuttgart. S. 98 - 100.
24. Styrie, O.G., *Die Wärmebehandlung des Stahles, sein Vergüten und Härten*. 1929: S. 59.
25. Köhler, H., *Ein Beitrag zur Frage der Verbrennung der Huflederhaut beim Beschlag*. 1939: Berlin.
26. Glöckner, S., *Eine retrospektive Studie über die Hufrehe bei Pferden; dargestellt an den Patienten der Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie der FU Berlin*. 2002: Berlin.
27. en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity. Stand: 18.02.2007.
28. Stüntzi, H. und A. Pospischii, *Exogene Krankheitsursachen*, in *Allgemeine Pathologie für Tierärzte und Studierende der Veterinärmedizin*, H. Stünzi und E. Weiss, Hrsg. 1990, Parey: Berlin, Hamburg. S. 22 - 31.
29. Demtröder, W., *Experimentalphysik*. 2. Auflage ed. 1998, Berlin, Heidelberg, New York: Springer. S. 269 - 332.
30. Politt, C., *Farbatlas Huf*. 1. Auflage ed. 1999, Hannover: Schlütersche. S.1, S. 14f, S. 109f.
31. Meschede, D., *Gerthsen Physik*. 23. Auflage ed. 2005, Bonn: Springer. S. 232 - 260.
32. Bauer, T., *Handbuch des Hufbeschlages*. 6. Auflage ed. 1954, Darmstadt: Mittler&Sohn GmbH. S. 111f.
33. Weiss, E., *Haut*, in *Handbuch der speziellen pathologischen Anatomie der Haustiere*, E. Joest, Editor. 1985, Parey: Berlin, Hamburg. S. 291 - 294, S. 444f.

LITERATURVERZEICHNIS

34. Habermehl, K.-H., *Haut und Hautorgane*, in *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, R. Nickel, A. Schummer, und E. Seiferle, Hrsg. 1996, Parey: Berlin. S. 557f.
35. Kraft, W., *Hautkrankheiten*, in *Krankheiten des Pferdes: Ein Leitfaden für Studium und Praxis*, H.-J. Wintzer, Editor. 1997, Parey: Berlin. S. 466 f.
36. <http://www.anter.com/TN67.htm> PRINCIPAL METHODS OF THERMAL CONDUCTIVITY MEASUREMENTS. Stand: 14.10.2003.
37. <http://www.hukseflux.com/index.htm>. Stand: 1999.
38. <http://www.netzsch-thermal-analysis.com/de/produkte/detail/pid,25,t,2.html>.
39. http://www.npl.co.uk/thermal/thermal_conductivity_of_engineering_materials_. Stand: 2001.
40. Budras, K.-D. und H.E. König, *Huf des Pferdes*, in *Anatomie der Haussäugetiere, Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*, H.E. König und H.-G. Liebich, Hrsg. 1999, Schattauer: Stuttgart, New York. S. 365f.
41. Kaul, R., *Hufbeschlagslehre*, in *Huf- und Klauenkunde mit Hufbeschlagslehre*, G. Prietz, Editor. 1985, Karger: Basel, München, Paris, London. S. 85f.
42. Prietz, G., *Hufkrankheiten*, in *Huf- und Klauenkunde mit Hufbeschlagslehre*. 1985, Karger: Basel, München, Paris, London. S. 63f.
43. Hemanns, W.A., *Hufpflege und Hufbeschlag*. 1992, Stuttgart: Ulmer. S. 130f, S. 172f.
44. Hertsch, B. *Hufrehe im Spiegel der Gutachten*. in *bpt-Kongress*. 2006. Nürnberg.
45. Ruthe, H., H. Müller, und F. Reinhardt, *Krankhafte Veränderungen am Huf*, in *Der Huf: Lehrbuch des Hufbeschlags*. 1997, Enke: Stuttgart. S. 174f.
46. Wintzer, H.-J., *Krankheiten der Gliedmaßen*, in *Krankheiten des Pferdes: Ein Leitfaden für Studium und Praxis*, H.-J. Wintzer, Editor. 1997, Parey: Berlin. S. 321 - 333.
47. Müller, H., *Krankheiten des Hufes*, in *Lehrbuch der speziellen Chirurgie*, E. Silbersiepe, E. Berge, und H. Müller, Hrsg. 1986, Enke: Stuttgart. S. 464f.
48. Sandritter, W. und G. Beneke, *Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie*. 1986.
49. Eberlein, R., *Leitfaden des Hufbeschlags*. 1926. S. 128.
50. Marks, *Makroskopische, licht- und elektronenoptische Untersuchung zur Morphologie des Hyponchiums bei der Hufrehe der Pferde*. 1984: Berlin.
51. Lafosse, J.p., *Nouvelle methode de ferrer les chevaux*. 1757.

LITERATURVERZEICHNIS

52. König, H.E., J. Ruberte, und H.-G. Liebich, *Organe des Herz-Kreislauf-Systems*, in *Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*, H.G. Liebich und H.E. König, Hrsg. 1999, Schattauer: Stuttgart, New York. S. 167f.
53. Nickel, R., et al., *Passiver Bewegungsapparat*, in *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd I, Bewegungsapparat*, R. Nickel, A. Schummer, und E. Seiferle, Hrsg. 1992, Parey: Berlin , Hamburg. S. 95f, S. 252f.
54. Höppner, S. und B. Hertsch. *Pathogenese der Hufrehe - akut und chronisch*. in *15. Hufbeschlagstagung*. 2006. München.
55. Geyer, H. *Pathologie der Hufrehe*. in *bpt-Kongress*. 2006. Nürnberg.
56. phun.physics.virginia.edu/topics/themal.html. Stand: 2005.
57. Francon, M., *Physik für Biologen, Chemiker und Geologen*. 2. Auflage ed. Vol. I. 1969, Stuttgart: Anton Hain KG. S. 119.
58. Harten, H.U., *Physik für Mediziner*. 9. Auflage ed. 1999, Berlin; Heidelberg; New York: Springer. S. 135 - 147.
59. Seibt, W., *Physik für Mediziner*. 3. Auflage ed. 1996, London; Glasgow; Weinheim: Chapman & Hall. S. 159 -167.
60. Hams, V., *Physik für Mediziner und Pharmazeuten*. 13. Auflage ed. 1994, Kiel: Hams. S. 77 - 83.
61. Haas, U., *Physik für Pharmazeuten und Mediziner*. 4. Auflage ed. 1983, Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft. S. 143f.
62. Büttner, R. und C.Thomas, *Physikalische Noxen*, in *Allgemeine Pathologie*. 2003, Schattauer: Stuttgart, New York. S. 87f.
63. Thomas, C., *Physikalische Noxen*, in *Allgemeine Pathologie*. 1995, Schattauer: Stuttgart, New York. S. 66 - 68.
64. www.techfak.uni-kiel.de/matwis/amat/mw2. Stand: 09.02.2007.
65. *Polymeranalytik*, <http://www.laborpraxis.de/fachartikel/lp/fachartikel>. 10 / 2004.
66. Delafond, *Recueil de Médecine Vétérinaire Pratique*. 1845.
67. Otten, E.W., *Repetitorium Experimentalphysik*. 1. Auflage ed. 1998, Berlin; Heidelberg, New York;: Springer. S. 358 - 383.
68. Hertsch, B., *Schultergliedmaße: Hufbereich*, in *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*, H. Wissdorf, Deegen, und H. Gerhards, Hrsg. 2002, M&H Schaper: Alfeld-Hannover. S. 365 - 393.

LITERATURVERZEICHNIS

69. Sachs, L., *Statistische Methoden: Planung und Auswertung*. 11. Auflage ed. 2002, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
70. *table of thermal conductivity*,
<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/thermal.html>. Stand: 1995.
71. Kühnel, W., *Taschenatlas der Zytologie, Histologie und makroskopischen Anatomie*. 11. Auflage ed. 2002, Stuttgart; New York: Thieme. S. 438 - 448.
72. Groß, J., *Theorie und Praxis der Hufbeschlagkunst*. 1842: S. 226.
73. Moses, e.a., *Thermal Conductivity of Cortical Bone by and Inverse Technique, Experimental Thermal and Fluid Science*, 11(1). 1995: S. 34 - 39.
74. Bolz, W., *Thermische und elektrische Verletzungen*, in *Lehrbuch der allgemeinen Chirurgie für Tierärzte*, O. Dietz, Editor. 1985, Enke: Stuttgart. S. 287f.
75. Wintzer, H.-J., *Traumatologie*, in *Allgemeine Chirurgie für Tierärzte und Studierende*, H. Schebitz, Editor. 1993, Parey: Berlin, Hamburg. S. 37f.
76. Heß, *Über Hufkrankheiten und ihre Behandlung*, in *Tiermedizinische Vorträge*. 1891. S. 7.
77. Drommer, W., *Unbelebte äußere Krankheitsursachen*, in *Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie für Tierärzte und Studierende der Tiermedizin*, L.-C. Schulz, Editor. 1990, Enke: Stuttgart. S. 112 - 115.
78. v. Hördt, S., *Unterricht über die Hufbeschlagskunst und die Behandlung der kranken und fehlerhaften Hufe*. 1829. S. 190.
79. Hansen, *Unterstützende Therapie bei der Hufrehe: Biomechanische Validierung der Dorsalwandentlastung bei Rehegips und Rehebeschlag mittels Dehnungsmessstreifentechnik*; 2004: Wien.
80. Körner, J. und B. Hertsch. *Ursachen und Formen eitriger und nichteitriger Huflederhautentzündungen*. in *15. Hufbeschlagstagung*. 2006. München.
81. Liebich, H.-G. und H.E. König, *Vorder- oder Schultergliedmaßen*, in *Anatomie der Haussäugetiere: Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis*. 1999, Schattauer: Stuttgart, New York. S. 148f.
82. Rogersohn, *Vortrag über Hufkrankheiten*. Hufschmied, 1891: S. 183.
83. www.anter.com/thermal-conductivity. Stand: 24.01.2006.
84. www.architektur-lexikon.de. Stand: 2004.
85. www.fz-juelich.de. Stand: 17.02.2007.
86. www.itw.uni-stuttgart.de. Stand: 09.10.2006.

LITERATURVERZEICHNIS

87. www.iwm.rwth-aachen.de:Infoshttp. Stand: 27.02.2007.
88. www.linseis.net/html_de/thermal/laserflash.
89. www.techfak.uni-kiel.de/matwis/amat/mw2. Stand: 09.02.2007.

Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich vor allem Fr. Dr. Bettina Wollanke für die Betreuung, Förderung und Unterstützung (sowohl fachlich als auch menschlich) sowie ihre zahlreichen Anregungen und ihr großes Interesse an meiner Arbeit danken.

Des weiteren ist hier noch Hr. Fritz Reithmayer, der „Brennmeister“ zu nennen, ohne dessen praktisches und theoretisches Wissen bezüglich der Hufbeschlagslehre sowie seine stets hilfsbereite, motivierte, humorvolle Art diese Dissertation um ein Vielfaches schwieriger zu bewältigen gewesen wäre.

Herzlichen Dank auch allen Mitarbeitern der Pferdeabteilung der Chirurgischen Tierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München für ihre Unterstützung, v. a. den lieben Famulanten, die meist diejenigen waren, welche mich im Falle einer Euthanasie zuverlässig informierten.

Hr. Dr. Johann Maierl und Frau Silvia Mitterer ermöglichten und erleichterten das Erstellen und die Auswertung der Histologischen Präparate, nicht zuletzt auch neben der fachlichen Hilfe durch ihre liebenswerte Art, welche eine Zusammenarbeit zur Wohltat werden ließ, hierfür ein riesengroßes Dankeschön.

Meinen Freunden Katharina Ganser, Judith Eckenweiler, Lidia Kowalczyk und meiner Schwester Angela bin ich mehr als dankbar sowohl für das Durchsehen der Arbeit als auch für ihre konstruktive Kritik und ihre Unterstützung.

Mein besonderer Dank gilt insbesondere Steffen Aumann für seine fachliche und psychologische Betreuung bezüglich jeglicher auftretender Komplikationen computertechnischer bzw. physikalischer oder biometrischer Art.

Nicht zuletzt ein herzliches Dankeschön an Freunde und Familie für ihr Verständnis und ihren emotionalen Support in den letzten Monaten; insbesondere Angel und meinen Eltern, ohne deren Unterstützung sich mir dieser Ausbildungsweg nie eröffnet hätte.