

Zur Morphologie und Histochemie des Pferdehufes*

Ch. Bollinger und H. Geyer

Veterinär-Anatomisches Institut der Universität Zürich
(Direktor: Prof. Dr. J. Frewein)

Einleitung und Untersuchungsgut

Der Huf ist einer der am stärksten belasteten Körperteile der Equiden. Er ermöglicht dem Zehenspitzenläufer Pferd sein rasches Vorwärtskommen. Wegen der starken Beanspruchung ist das Zehenendorgan besonders gefährdet, überbelastet zu werden. In der vorliegenden Arbeit, die eine durch Geyer überarbeitete deutsche Kurzfassung der Dissertation von Bollinger (1991) ist, soll anhand von schematischen Zeichnungen versucht werden, die funktionelle Anatomie des Pferdehufes darzustellen und das Verständnis für die Stärken und Schwächen dieses Organs zu wecken. Die Ergebnisse basieren auf den Befunden an Hufen von 8 Warmblutpferden im Alter zwischen 3 und 15 Jahren und auf den Untersuchungen von Bucher (1987) sowie Budras et al. (1989). Weitere Angaben zu Material und Methoden sind der Dissertation von Bollinger (1991) zu entnehmen.

Befunde und Diskussion

a) Makroskopische und mikroskopische Anatomie

Das Zehenendorgan Huf besteht ähnlich wie die Klaue oder Krallen aus zentralen Stützteilen und dem sie umgebenden modifizierten Hautüberzug, der besonders stark verhornt ist (Abb. 1-2).

Als zentrale Stützteile dienen das Hufbein, der distale, von der Hufkapsel umhüllte Teil des Kronbeins, das Strahlbein, die beiden Hufknorpel und alle von der Hornkapsel umhüllten Sehnen und Bänder.

Am modifizierten Hautüberzug kann ähnlich wie an der behaarten Haut eine Unterhaut (=Subcutis) und die darüberliegende eigentliche Haut (=Cutis) unterschieden werden. Die Cutis ihrerseits gliedert sich in die bindegewebige Lederhaut (=Corium) oder Dermis und die Oberhaut (=Epidermis), die nur aus Epithelgewebe besteht.

Da die genannten Schichten der Haut und Unterhaut gebietsweise Besonderheiten aufweisen, unterscheidet man am Huf verschiedene Segmente: Saum-, Kron- und Wandsegment sowie das Sohlen- und das Ballen- und Strahlsegment, wobei der Strahl eine Bildung des Ballensegmentes ist. Jedes dieser Segmente besteht aus Epidermis und Corium und, sofern eine Unterlage als Polsterung nötig ist, auch aus einer Subcutis.

Im Bereich des Saum- und Kronsegmentes bildet die Subcu-

Zusammenfassung

An Hand von Schemazeichnungen und Fotos wird der makroskopische und mikroskopische Bau des Pferdehufes dargestellt. Dabei wird besonders auf die klinisch wichtigen Teile von Corium und Epidermis eingegangen. Die Charakteristika des Hufhorns sowie der einzelnen Hufsegmente des Pferdes werden beschrieben. Neben Angaben zum Hornwachstum und zur Huferneuerungszeit wird die Histologie der nur in geringer Zahl vorhandenen Strahlrüben besprochen. Histochemische Befunde an der Epidermis mit Aktivitäten der Enzyme saure Phosphatase, unspezifische Esterase und ATPase zeigen, daß der Bereich der Zellmembranen der Hornzellen ein sehr aktives Gebiet ist.

Die Beschreibung der Morphologie bezieht sich auch auf pathologische Veränderungen, die häufig auf eine ungenügende Verbindung zwischen den Hornzellen zurückzuführen sind, und im Fall der Hufrehe durch eine Lösung der Verbindung zwischen den weichen Blättchen und den Hornblättchen des Wandsegmentes zustande kommen.

The equine hoof - morphological and histochemical findings

The macroscopic and microscopic anatomy of the equine hoof is described with schematic drawings and photographs. The paper deals especially with those parts of corium and epidermis which are clinically relevant. The characteristics of the equine hoof horn and the different parts of the hoof are demonstrated. Data of growth rates and renewal rates of the hoof horn are given, and the histology of the sparsely scattered frog glands is described. In histochemical investigations of the epidermis, the activities of acid phosphatase, nonspecific esterase and ATPase reveal that the area of the horn cell membranes is very active.

The description of morphology and histochemistry is also extended to pathological alterations, which frequently are due to insufficient connections between the horn cells or, in cases of laminitis, are caused by a separation on the soft leaflets from the horn leaflets in the hoof wall.

tis ein Polster, das einen sanften Übergang zwischen der weichen behaarten Haut und der stark verhornten Hufhaut herstellt. Die Subcutispolster von Ballen und Strahl ermöglichen auch die Erweiterung der hinteren Hufpartien.

Im Wand- und Sohlensegment ist im Gegensatz zu den übrigen erwähnten Segmenten eine feste Verbindung der zentralen Stützteile mit dem Hufüberzug nötig. Daher fehlt hier eine Subcutis, d.h., sie geht in das Periost des Hufbeins bzw. in das Perichondrium des Hufknorpels über.

Die Subcutis besteht ähnlich wie das Corium aus Bindegewebe. Die Subcutis und das Corium sind gut innerviert und sind daher sehr schmerzempfindlich. In der Epidermis dagegen ist zumindest das Stratum corneum frei von Nervenenden und daher unempfindlich.

Das Corium (Abb. 2, 6, 8, 9) hat 2 Aufgaben:

1. die Ernährung der gefäßfreien Epidermis zu gewährleisten und
2. eine mechanisch sichere Verbindung zur Epidermis herzustellen, damit der Innenteil des Hufes fest in der Hornkapsel fixiert ist.

Aus diesen Gründen enthält das Corium zahlreiche Blutgefäße. Seine Oberfläche ist stark vergrößert in Form von Zotten (Abb. 2, 6), die man in allen Segmenten findet, und in Form von Blättchen, die nur im Wandsegment vorkommen (Abb. 8, 9). Diese etwa 600 Primärblättchen des

* Herrn Professor Dr. Dr. h.c. K.-H. Habermehl, Gießen, gewidmet.

Wandsegmentes sind beim Pferd zur weiteren Oberflächenvergrößerung nochmals zu je 100–200 Sekundärblättern verzweigt.

Die Epidermis (Abb. 2, 6, 8–10) besteht aus einer tiefen Schicht von lebenden Zellen, dem Stratum germinativum, das auch weiche Epidermis genannt wird, an der das Stratum basale und das Stratum spinosum unterschieden werden. Die Zellteilung findet vor allem im Stratum basale statt. Die Zellen des Stratum spinosum gehen in den Gebieten, wo hartes Horn gebildet wird, unmittelbar in das Stratum corneum über. Lediglich im Saum- und Ballensegment, wo weiches Horn gebildet wird, ist ähnlich wie an der behaarten Haut noch ein Stratum granulosum zwischen dem Stratum spinosum und dem Stratum corneum zu finden.

Der Vorgang der Verhornung beginnt bereits basal: Im Stratum basale und noch mehr im Stratum spinosum sind Fasern, die Tonofilamente, eingelagert, die die Vorläufer der dicht beieinanderliegenden Keratinfibrillen des Stratum corneum (Abb. 3–5) sind. Diese Fasern geben den Zellen den „inneren Halt“.

Die Keratinfibrillen bilden ein dreidimensionales Netzwerk – dabei sind Verlaufsrichtungen der Fasern parallel zu den großen Flächen der Hornzellen bevorzugt. Die Zellkerne degenerieren in den oberflächlichen Lagen des Stra-

tum spinosum und sind als schmale, pyknotische Kerne in den meisten Hornzellen zu finden (Abb. 3–5).

Der Zusammenhalt zwischen den Epidermiszellen, ihr „äußerer Halt“, wird im Stratum germinativum durch Haftplatten, die Desmosomen, hergestellt (Abb. 11). Das Stratum basale ist außerdem sehr fest mit der Basalmembran verbunden. Dagegen sind die Zellen des Stratum corneum durch einen Interzellularkitt (= membrane-coating-material) verbunden (Abb. 3, 11), die wie der Mörtel in einem Mauerwerk für den Zusammenhalt der Hornzellen von größter Bedeutung ist. Der Interzellularkitt besteht vor allem aus Glykoproteinen (*Budras und Bragulla, 1990*), die sich histologisch mit Perjodsäure-Schiff-Reagens (PAS) rot anfärben, sowie aus Lipiden und hydrolytischen Enzymen.

Die Hornzellen (=Keratinocyten) findet man am Pferdehuf vor allem in 2 Formen:

1. als abgeplattete, pfannkuchenförmige oder zwiebelschalenähnliche Zellen, in denen die Keratinfibrillen vor allem in 2 Ebenen parallel zu den großen Flächen der Zelle verlaufen (Abb. 4),
2. in Form von langgestreckten, spindelförmigen Zellen, in denen die Keratinfibrillen bevorzugt in Längsrichtung der Zelle angeordnet sind (Abb. 5).

Im Polarisationsmikroskop leuchten die längs oder schräg getroffenen Fibrillen hell auf.

Das Hufhorn ist in der Regel als Röhrenhorn aufgebaut (Abb. 2, 6). Dieses besteht aus den Hornröhren, die vom Stratum germinativum der Epidermis über den Zotten der Lederhaut gebildet werden. Zwischen den Hornröhren befindet sich das Zwischenröhrenhorn, das von der Epidermis zwischen den Zotten gebildet wird.

Die Hornröhren bestehen aus dem zentral liegenden Mark, dem Lumen, das von einer Wand, der Röhrenrinde, umgeben wird (Abb. 6).

Das Röhrenmark entsteht unmittelbar über der Spitze der Lederhautzotten. Hier bildet die Epidermis Hornzellen, die kurz nach ihrer Entstehung bereits wieder zerfallen. Daher findet man im Röhrenmark Reste von Hornzellen oder Hohlräume. Im Mark färben sich die Reste von Zellkernen mit Hämalaun blau an, während die Reste der Zelleiber mit PAS rot gefärbt werden.

Die Röhrenrinde ist der wichtigste, tragende Teil des Hornes. Hier sind die Hornzellen spezifisch angeordnet. Die Röhrenrinde wird von den Epidermiszellen peripher vom Zentrum der Zottenspitzen sowie über dem Seitenteil der Zotten gebildet (Abb. 6).

Im Zwischenröhrenhorn sind die Hornzellen unregelmäßiger angeordnet und oft weniger abgeplattet als in den Röhrenrinden. Die Zellen des Zwischenröhrenhorns sind aber häufig etwa senkrecht zur Längsachse der Röhren ausgerichtet (Abb. 6).

Die Hornröhren sind eine sehr druck- und biegefesten Konstruktion. Am Pferdehuf findet man entsprechend der Anordnung der Zellen in den Röhrenrinden 3 Röhrentypen (Abb. 7):

Typ 1: Röhren mit platten Zellen. Diese Röhren haben in der Regel einen ovalen Querschnitt, wobei der größere Durchmesser meist parallel zur äußeren Oberfläche

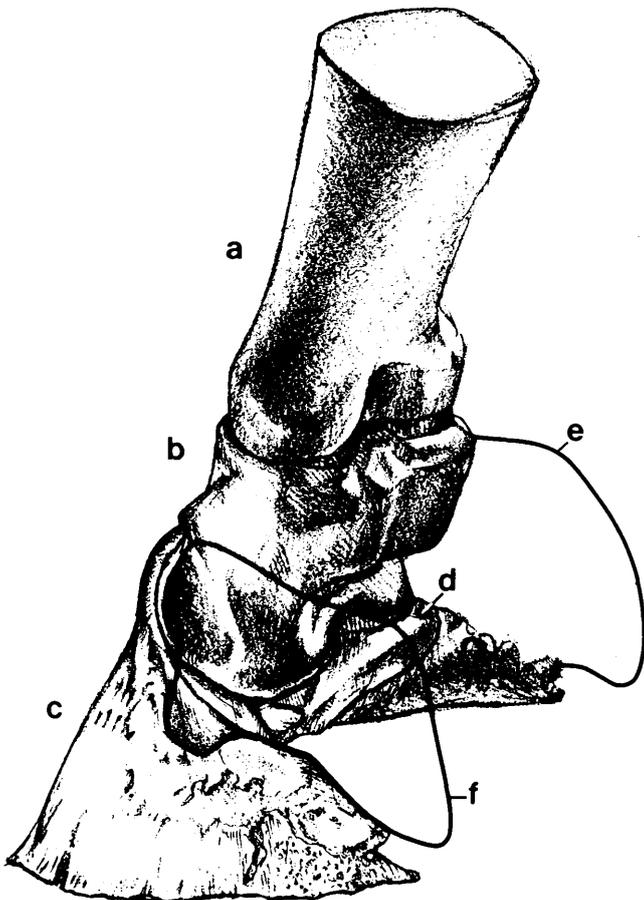
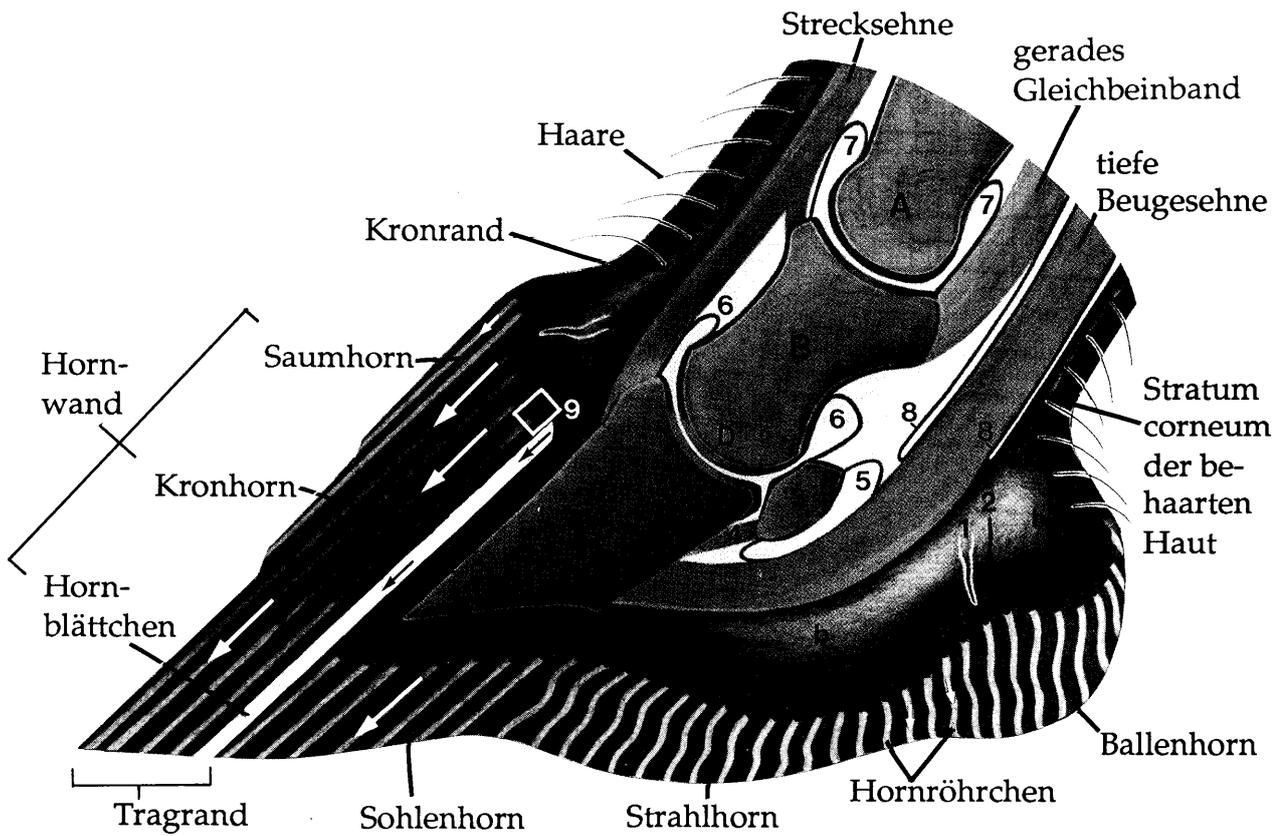


Abb. 1: Zehenskelett des linken Vorderfußes. a Fesselbein, b Kronbein, c Hufbein, d Strahlbein, e medialer Hufknorpel, f lateraler Hufknorpel.



- | | | |
|-----------------|--------------------------|----------------------------|
| A Fesselbein | 1 Blutgefäße | 5 Hufrollenschleimbeutel |
| B Kronbein | 2 Nerven | 6 Hufgelenk |
| C Hufbein | 3 Strahlbein | 7 Krongelenk |
| D Gelenkknorpel | 4 Strahlbein-Hufbeinband | 8 Fesselbeugesehnenscheide |
| E Periost | | 9 Ausschnitt der Abb. 6 |

-  Subcutis = Unterhaut
-  a Kronwulst
-  b Strahlkissen
-  Corium = Lederhaut
-  weiche Epidermis = Stratum germinativum
-  Hornblättchen
-  Wachstumsrichtung des Horns

Abb. 2: Längsschnitt des Pferdehufes.

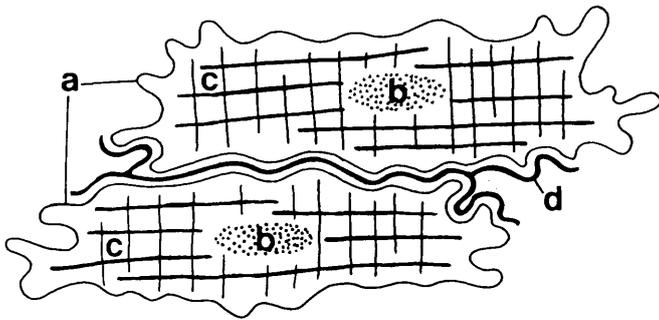


Abb. 3: Hornzellen und Interzellularkitt. Nach elektronenmikroskopischen Untersuchungen hat die Zellmembran der Keratinozyten eine wellenförmige Oberfläche. a Keratinozyten, b pyknotische Kerne, c Keratinfibrillen (= Bündel von Keratinfibrillen), d Interzellularkitt (= membrane-coating-material).

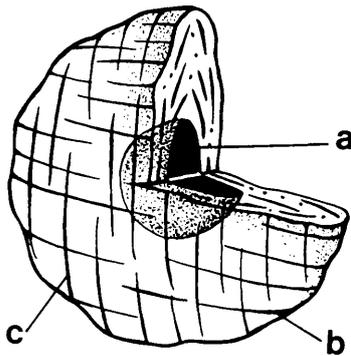


Abb. 4: Platte Hornzelle (pfannkuchenförmig). a pyknotischer Zellkern, b, c Keratinfibrillen, in 2 Hauptrichtungen angeordnet: b in horizontaler Richtung, c in proximo-distaler Richtung.

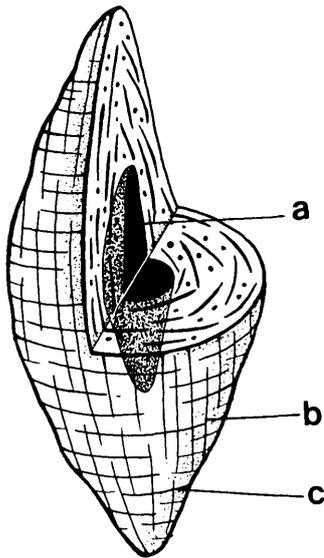


Abb. 5: Spindelförmige Hornzelle. a pyknotischer Zellkern, b Keratinfibrillen, vorwiegend in Längsrichtung angeordnet, c wenige Keratinfibrillen, zirkulär (= senkrecht zur Längsachse) angeordnet.

che des Horns verläuft. Die platten Zellen der Röhrenrinde sind in der Regel wie Zwiebelschalen um das Mark angeordnet. Diesen Röhrentyp findet man vor allem in der Mittel- und Außenzone des Kronhorns. Bei den Klauentieren kommt allgemein nur dieser Röhrentyp vor

(Wilkins, 1964; Geyer, 1980; Geyer und Tagwerker, 1986; Fürst, 1992).

Typ 2: Röhren, deren Rinde vorwiegend aus spindelförmigen Zellen besteht, deren Längsachse parallel zum Röhrenmark verläuft. Diese Röhren haben einen runden Querschnitt. Sie wurden von Nickel (1938) als „steilgewinkelte Röhren“ bezeichnet und finden sich in der Innenzone des Kronhorns.

Typ 3: Röhren, deren Rinde überwiegend aus spindelförmigen Zellen besteht, die mit ihrer größten Länge zirkulär um das Mark angeordnet sind. Die Längsachse dieser Zellen verläuft somit senkrecht zum Röhrenmark. Der Querschnitt dieser von Nickel (1938) als „flachgewinkelte Röhren“ bezeichneten Röhren ist meist oval, im Strahlhorn auch rundlich. Dieser Röhrentyp ist im Sohlen- und Strahlhorn vorherrschend.

Die dorsal und seitlich liegenden Segmente, Saum-, Kron- und Wandsegment, bilden zusammen die Hornwand (Abb. 2, 8), deren größter und wichtigster Teil das Kronhorn ist. Der proximale Rand der Hornwand bildet die Grenze zur behaarten Haut und wird Kronrand genannt. Der distale Rand der Hornwand trägt den Großteil der Last und heißt daher Tragrand.

Das Saumhorn ist der oberflächlichste Teil der Hornwand. Es wird am weitesten proximal, angrenzend an die behaarte Haut, gebildet. Dieses Horn ist die weiche Überzugsschicht der Hornwand, die beim Pferd oft bis zum Tragrand sichtbar ist. Beim Hufbeschlag wird das Saumhorn durch den Hufschmied in der distalen Hufhälfte meist weggeraspelt. Das Saumhorn ist auch Röhrenhorn; durch Schrumpfung und Austrocknung wird der Röhrenaufbau in den oberflächlichen Saumhornschichten sehr undeutlich und ist oft nicht mehr zu erkennen.

Das Kronhorn wird im Bereich des Kronwulstes unmittelbar anschließend an das Saumsegment gebildet. Er ist der tragfähigste und größte Teil der Hornwand und hat im Bereich der Zehenwand (= dorsal) eine Dicke von etwa 10 mm. Im Bereich der Seitenwand wird das Kronhorn gegen palmar/plantar allmählich dünner (Abb. 16), so daß die Wandstärke im Bereich des Trachtenteils (= palmarer/plantarer Teil der Hornwand) nur noch 6–8 mm beträgt. Die häufig beobachtete zu geringe Wandstärke im Trachtenteil vermindert dessen Tragfähigkeit und führt bei Belastung zu Verbiegungen (eingezogene Trachten) oder zu Brüchen in diesem Gebiet. Die Trachtenwand ist palmar/plantar zur Verstärkung noch axial zu den Eckstreben eingezogen (Abb. 16/c). Diese Eckstrebenwand ist ebenfalls bei manchen Pferden zu dünn ausgebildet.

Das Kronhorn kann in Außen-, Mittel- und Innenzone unterteilt werden (Abb. 8, 15). Die Außenzone und Mittelzone zeigen die Hornröhren mit ovalem Querschnitt vom Typ I mit platten Rindenzellen (Abb. 7). Die Zugfestigkeit von unverändertem Horn dieser beiden Zonen liegt bei 6–7 kp/mm² (gemessen im Zerreißtest, Küng, 1991)*. Die Innenzone besteht überwiegend aus großen Röhren mit rundem Querschnitt vom Typ II (Abb. 7). Die Zugfestigkeit von unverändertem Horn ist hier geringer als in der Mittel- und Außenzone und beträgt etwa

** 1 kp = 9,81 Newton (N)

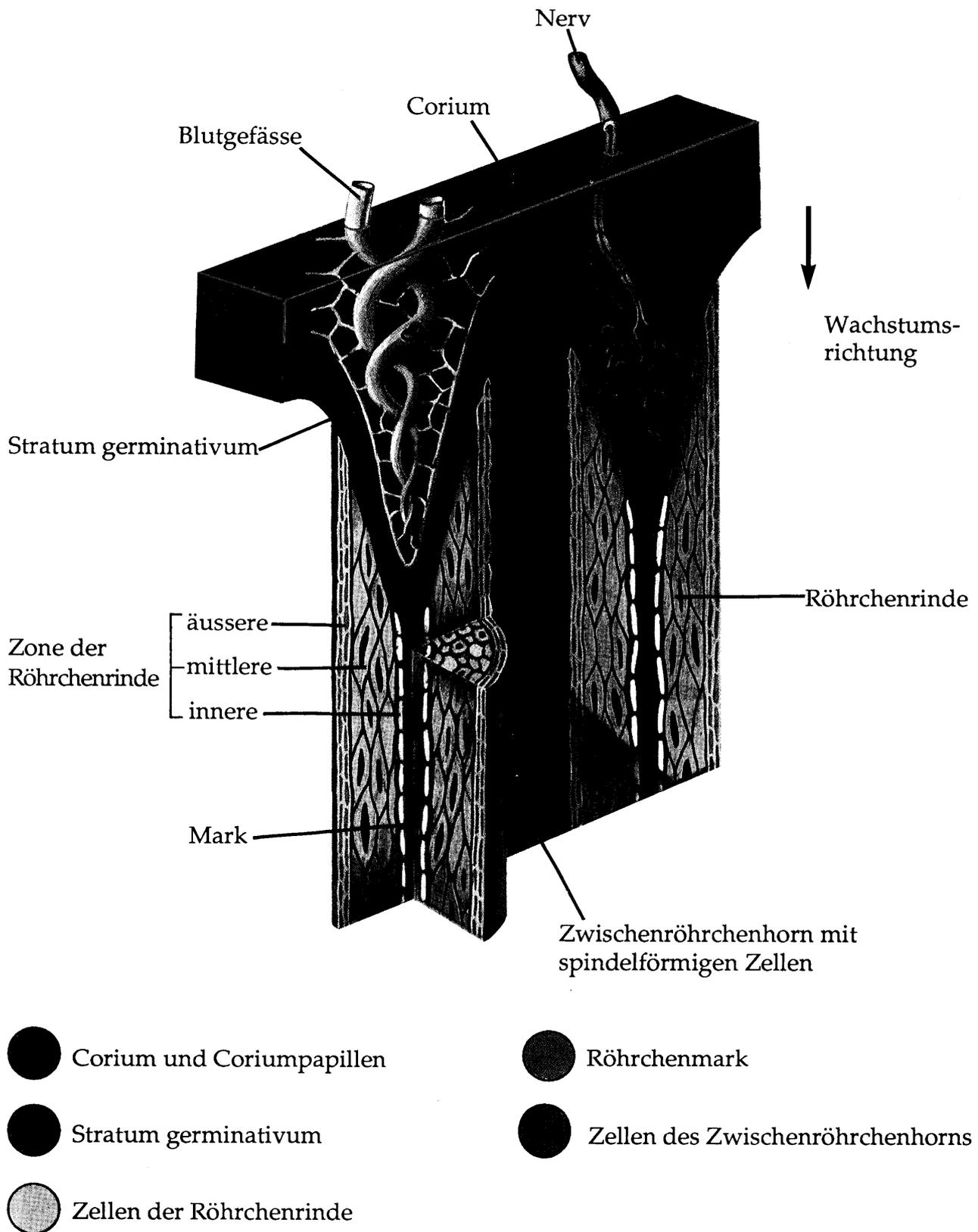
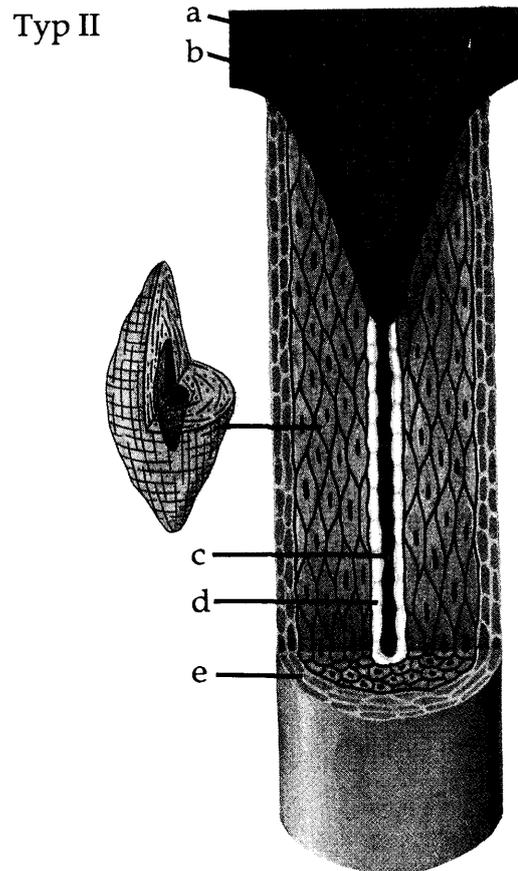
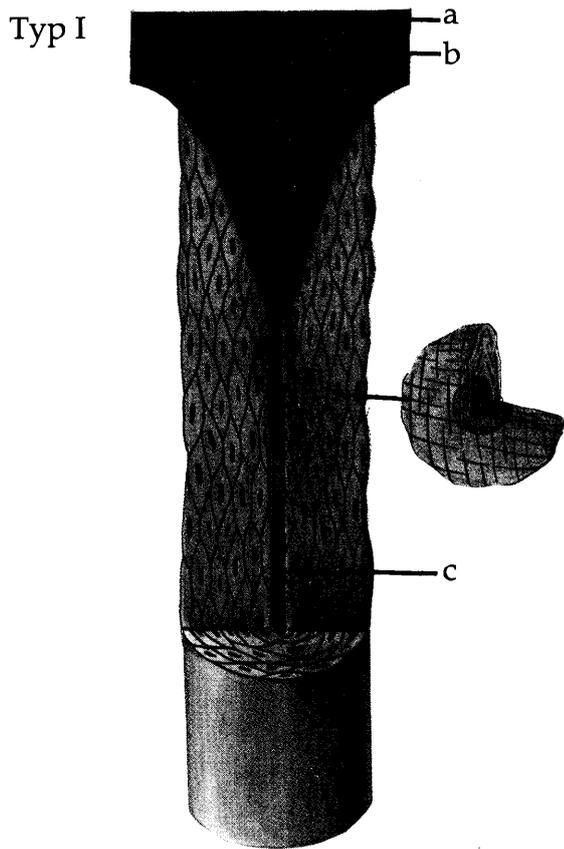


Abb. 6: Die Entstehung des Röhrenhorns. Beispiel aus der Innenzone des Kronsegmentes mit Coriumzotten und Hornröhren vom Typ II. Ausschnitt aus dem Bereich der Abb. 2/9.



Typ I: Hornröhrchen in der Aussenzone und Mittelzone des Kronhorns

Typ II: Hornröhrchen in der Innenzone des Kronhorns

Typ III: Hornröhrchen von Sohle und Strahl

- a Corium
- b Stratum germinativum
- c Mark
- d platte Hornzellen
- e spindelförmige Hornzellen

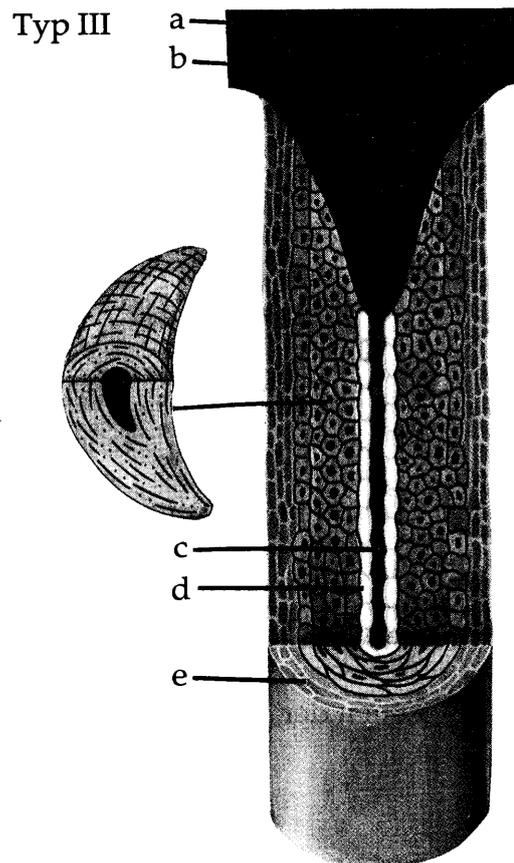
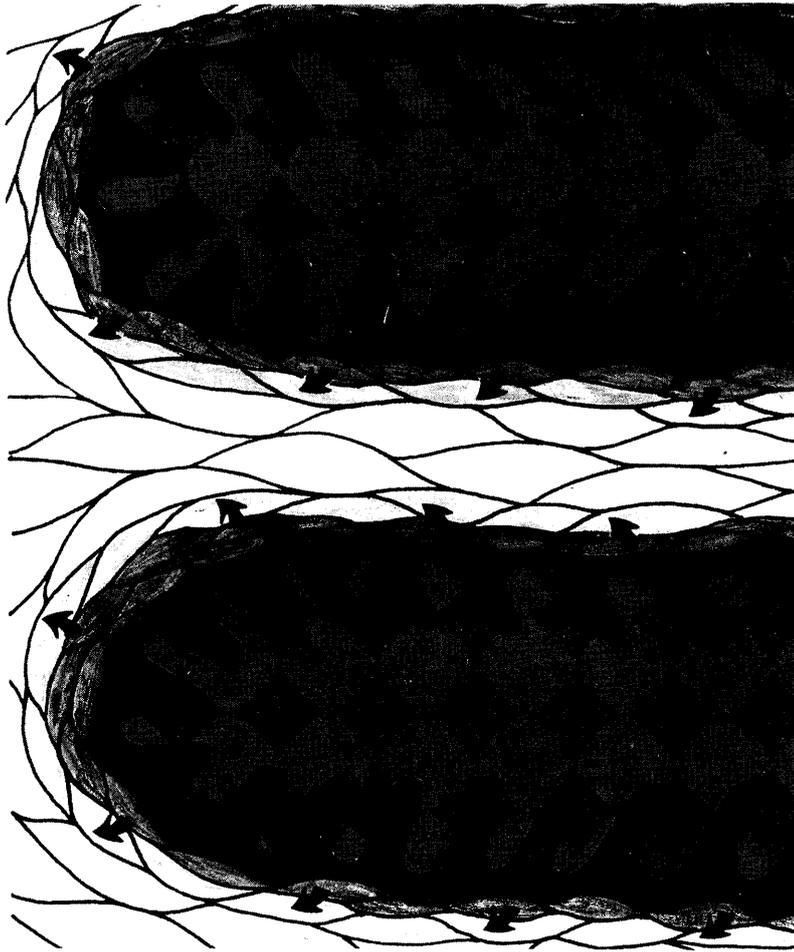
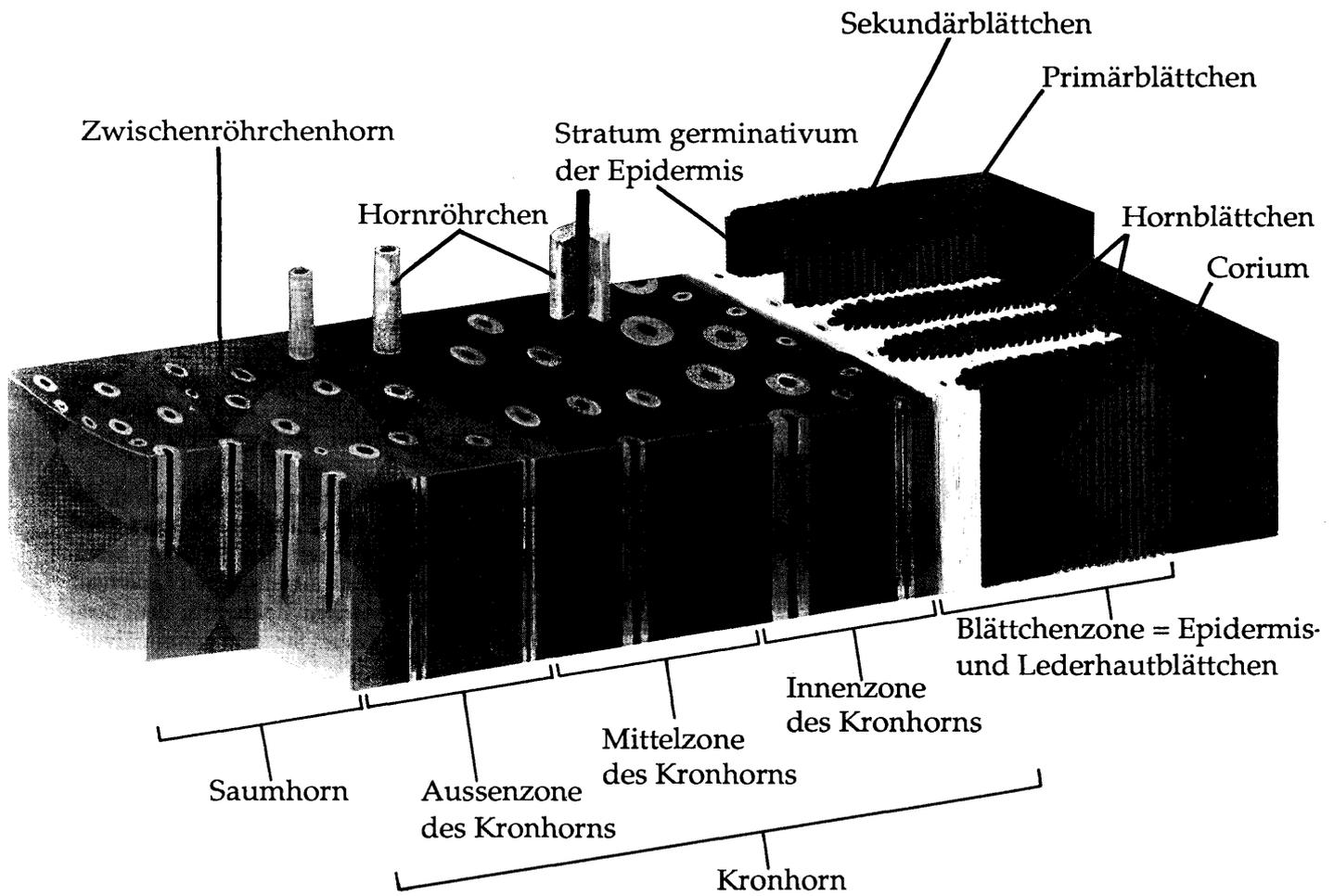


Abb. 7: Die Röhrchentypen des Hufhorns.



- Primär- und Sekundärblättchen des Coriums
 - Epidermis der Sekundärblättchen , Stratum germinativum
 - Übergangszellen
 - Verbindungszellen
 - Hornblättchen mit grossen spindelförmigen Zellen, die als Primärblättchen von proximal nach distal wachsen
- ↓ Richtung der Verhornung im Wandsegment

Abb. 9: Querschnitt durch die Blättchenzone des Wandsegmentes und die Zone der Hornbildung an der Seite der Blättchen.



- Corium = Lederhaut und Lederhautblättchen
- Stratum germinativum der Epidermis
- Hornblättchen
- Rinde der Hornröhrchen
- Mark der Hornröhrchen

Abb. 8: Querschnitt durch die Mitte der Hornwand und die angrenzende Lederhaut. Im Kron- und Saumhorn sind nur wenige Röhrchen eingezeichnet, die stellvertretend für die Gesamtzahl der Röhrchen sind, die 8–15 Röhrchen pro mm² beträgt.

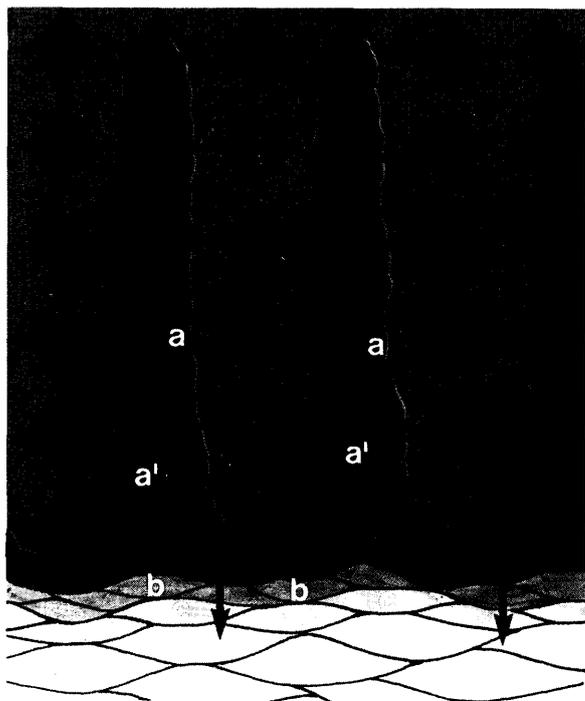


Abb. 10: Ausschnitt aus Abb. 9 bei stärkerer Vergrößerung. Die Zellen des Stratum basale (a) sind über die Basalmembran mit dem Corium verbunden. Das Zentrum von jedem sekundären Epidermisblättchen besteht aus Zellen des Stratum spinosum (a'), die in Richtung auf die Hornzellen geschoben werden. Bei der Verhornung werden die Zellen des Stratum spinosum zu Übergangszellen (b), anschließend zu Verbindungszellen (c), die sich seitlich an die von proximal kommenden, großen Hornzellen der Primärblättchen (d) anlagern.

4,0-5,5 kp/mm *Küng*, 1991). Beim Dünnerwerden der Hornwand an der Seiten- und Trachtenwand vermindert sich vor allem die Dicke der Mittel- und Außenzone, während die weniger feste Innenzone in ihrer Dicke weitgehend konstant bleibt.

In Nähe des Tragrandes treten häufig Mikrorisse im Kronhorn auf (*Zenker*, 1991), bevorzugt an der Stelle, an der die Mittel- und Innenzone mit ihren verschiedenen Röhrentypen aneinandergrenzen (Abb. 15). Daher sollten die Nägel beim Hufbeschlagen wenn möglich in der weißen Linie und nicht weiter außen gesetzt werden, um nicht noch zusätzlich durch den dicksten Teil der Nägel den ohnehin für Risse prädisponierten Grenzbereich zwischen Mittel- und Innenzone des Kronhorns aufzusprengen.

Als Wandsegment kann der Blättchenbereich des Hufes definiert werden. Die Hornblättchen bilden den innersten Teil der Hornwand. Sie entstehen weit proximal (= etwa 15–20 mm unter dem Kronrand) im Übergangsbereich vom Kron- ins Wandsegment (Abb. 2). Die Hornblättchen wachsen ähnlich wie die Röhren des Kronhorns von proximal nach distal.

Wie ein Querschnitt durch die Hufmitte zeigt (Abb. 8), liegen zwischen den schmalen Hornblättchen die etwa 4mal breiteren weichen Blättchen. Die weichen Blättchen bestehen aus der zu Sekundärblättchen aufgefiederten Lederhaut und der sie überziehenden weichen Epidermis, dem Stratum germinativum (Abb. 9). Dieses Stratum germinativum produziert nur wenige Zellen, die Übergangs- und Verbindungszellen (Abb. 10–11), die sich seitlich an die von proximal kommenden Hornblättchen anlegen und sich fest mit ihnen verbinden. Gegen distal gehen die Verbindungszellen in kleine Hornzellen über, die man unmittelbar neben den von proximal kommenden, großen Hornzellen findet. Die Verbindungszellen und die Hornzellen sind jeweils durch Interzellularkitt (membrane-coating-material) verbunden (Abb. 11), der einen festen Halt gibt.

Die Übergangszellen (Abb. 10–11/b) zwischen Stratum spinosum und Stratum corneum sind besonders wichtig. Sie haben gegen das Stratum spinosum desmosomale Verbindungen, die auch noch gelöst werden können. Auf der an die Hornblättchen grenzenden Seite sind die Übergangszel-

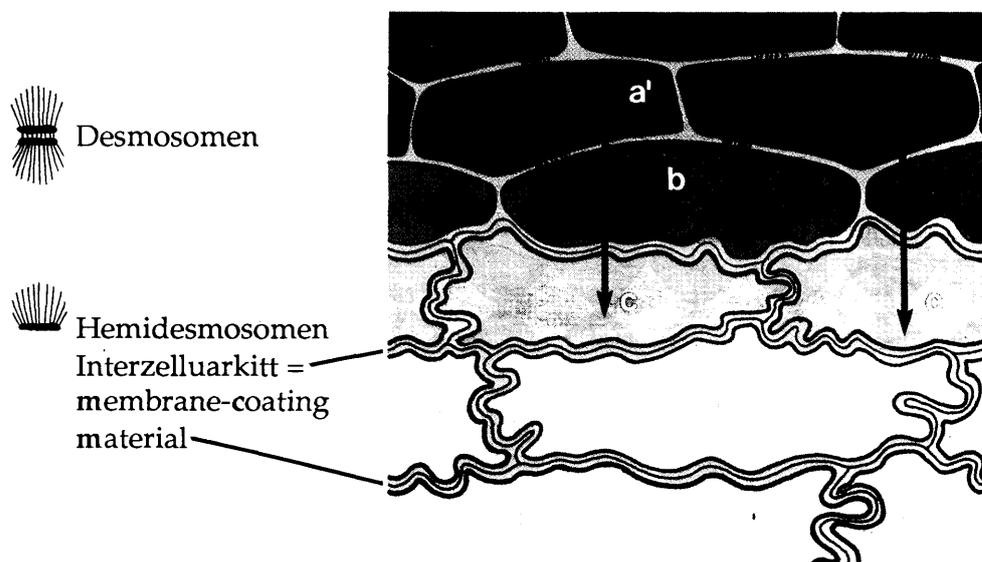


Abb. 11: Ausschnitt aus Abb. 10 bei sehr starker Vergrößerung. Der Ausschnitt zeigt Epidermiszellen eines Sekundärblättchens (a'-c), die sich mit den von proximal kommenden, großen Hornzellen der Primärblättchen (d) verbinden.

len mit den Verbindungszellen (Abb. 1/c) durch Hemidesmosomen und Interzellularkitt verbunden. Diese Verbindungen im Bereich der Übergangszellen befestigen einerseits den Innenteil des Hufes an den Hornblättchen. Sie erlauben aber andererseits auch ein sehr langsames Gleiten der distal wachsenden Hornblättchen, was von *Budras et al.* 1989 als Gleit-Haft-Mechanismus bezeichnet wird.

Bei der Huflederhautentzündung, der Hufrehe, kann durch Exsudatbildung die Verbindung innerhalb der weichen Blättchen oder zwischen den weichen Blättchen und den Hornblättchen gelöst werden (Abb. 8–11), so daß es zum „Einsinken“ des Innenteils des Hufes kommt. Bei der Hufrehe kann Exsudat bis ins Stratum spinosum oder in den Übergangsbereich zwischen Stratum spinosum und Hornblättchen vordringen.

Der Rand der weichen Blättchen, der dem Kronhorn zugewandt ist (Abb. 8), wird auch als First der Blättchen bezeichnet. Über diesen Blättchenfirsten bildet das Stratum germinativum beim Pferd nur wenig Kappenhorn (Abb. 13–15), das gegen distal nur eine geringe Stärke erreicht. Dieses Kappenhorn ist beim Rind im Unterschied zum Pferd mächtig ausgebildet (*Fürst*, 1992). Im Kappenhorn des Pferdes sind die Hornzellen nicht nur schalenartig über den Blättchenfirsten angeordnet. Das Kappenhorn läßt auch einzelne Hornröhrchen erkennen. Da am freien Rand der weichen Blättchen einzelne Zotten abgeschnürt werden, bildet die sie überziehende weiche Epidermis die dünnen Röhrchen des Kappenhorns.

An den weichen Blättchen des Wandsegmentes treten am distalen Ende etwa 3,5–2,5 cm über dem Tragrand Zotten auf, die sogenannten Terminalzotten (Abb. 12). Die ersten Zotten sind an den Blättchenfirsten in Nähe des Kronhorns zu sehen, danach folgen weitere Zotten bis zur Blättchenbasis in Nähe des Sohlenhorns. Die Spitzen dieser Zotten sind gegen distal gerichtet. Über diesen Zotten bildet die Epidermis ein ziemlich weiches Röhrchenhorn (Abb. 12–13), das als Füllmasse die Zwischenräume zwischen den dünnen Hornblättchen ausfüllt und Terminallagenhorn genannt wird.

Als weiße Linie (Abb. 14–16) wird vergleichend-anatomisch am besten der Blättchenbereich am Tragrand bezeichnet. Dazu gehören die Hornblättchen und das zwischen ihnen liegende Terminallagenhorn. Die weiße Linie wird nach den Angaben von *Wissdorf et al.* (1983) sowie *Schaller* (1992) auch als weiße Zone bezeichnet. Der proximale Beginn der weißen Linie kann an der Stelle festgelegt werden, an der über den innersten Terminalzotten auch Terminallagenhorn erscheint (= 2–2,5 cm über dem Tragrand). Das Terminallagenhorn zerfällt sehr leicht und löst sich von den dazwischenliegenden Hornblättchen ab, was zu schmierigen oder bröckeligen weißen Linien führt, die eine ungenügende Verbindung zwischen Hornwand und Sohle herstellen (*Josseck*, 1991). Diese schmierigen oder bröckeligen weißen Linien begünstigen die Entstehung loser Wände und das Eindringen von Fremdkörpern (z.B. Steinchen).

Die Hornsohle (Abb. 2, 16) des Pferdes ist im Unterschied zu den Klautentieren normalerweise deutlich gegen proxi-

mal gewölbt. Man unterscheidet den vor der Strahlspitze liegenden Sohlenkörper und die seitlich des Strahls liegenden Sohlenschenkel. Die Sohlenoberfläche wird beim Pferd nur auf verformbaren Böden belastet. Die Sohlenhornröhrchen verlaufen in einem Winkel von etwa 45 Grad zur Oberfläche gegen apikal (= zur Zehenspitze hin).

In der distalen Hälfte des Sohlenhorns ist eine Ablösung und Abschilferung der Sohlenhornzellen physiologisch. Bei vielen Pferden kommt es jedoch bereits in der proximalen Hälfte des Sohlenhorns nahe der weichen Epidermis zu einer Ablösung der Hornzellen, was zum Dünnwerden des Sohlenhorns und daher zur Druckempfindlichkeit der Sohle führt (*Bucher*, 1987; *Josseck*, 1991).

Der Strahl (Abb. 2, 16) besteht aus 2 Strahlschenkeln, die sich apikal zur Strahlspitze vereinigen und die palmar/plantar in den Ballenteil übergehen. Die V-Form des Strahls erlaubt die Erweiterung des Hufes in seiner palmar/plantaren Hälfte bei der Belastung, was als Hufmechanismus bezeichnet wird. In der Mitte und seitlich des Strahls befinden sich die mittlere bzw. die beiden seitlichen Strahlfurchen, in die sich leicht spitze Fremdkörper einspießen können.

Entsprechend der erwünschten Flexibilität ist das Strahlhorn mehr oder weniger elastisch, und seine Röhrchen verlaufen geschlängelt. Die Röhrchen des Strahlhorns liegen oft gruppenweise beieinander und entsprechen ähnlich wie im Sohlenhorn meist dem Typ III der Huf Röhrchen (Abb. 7).

Eine Abschilferung der oberflächlichen Strahlhornzellen ist als physiologisch zu bezeichnen. Ein übermäßiger Zerfall der Strahlhornzellen zu übelriechenden Zellmassen wird vor allem im Bereich der Strahlfurchen beobachtet und als Strahlfäule bezeichnet. Feuchte, urin- und kothaltige Einstreu sowie mangelhafte Hufpflege begünstigen die Entstehung von Strahlfäule.

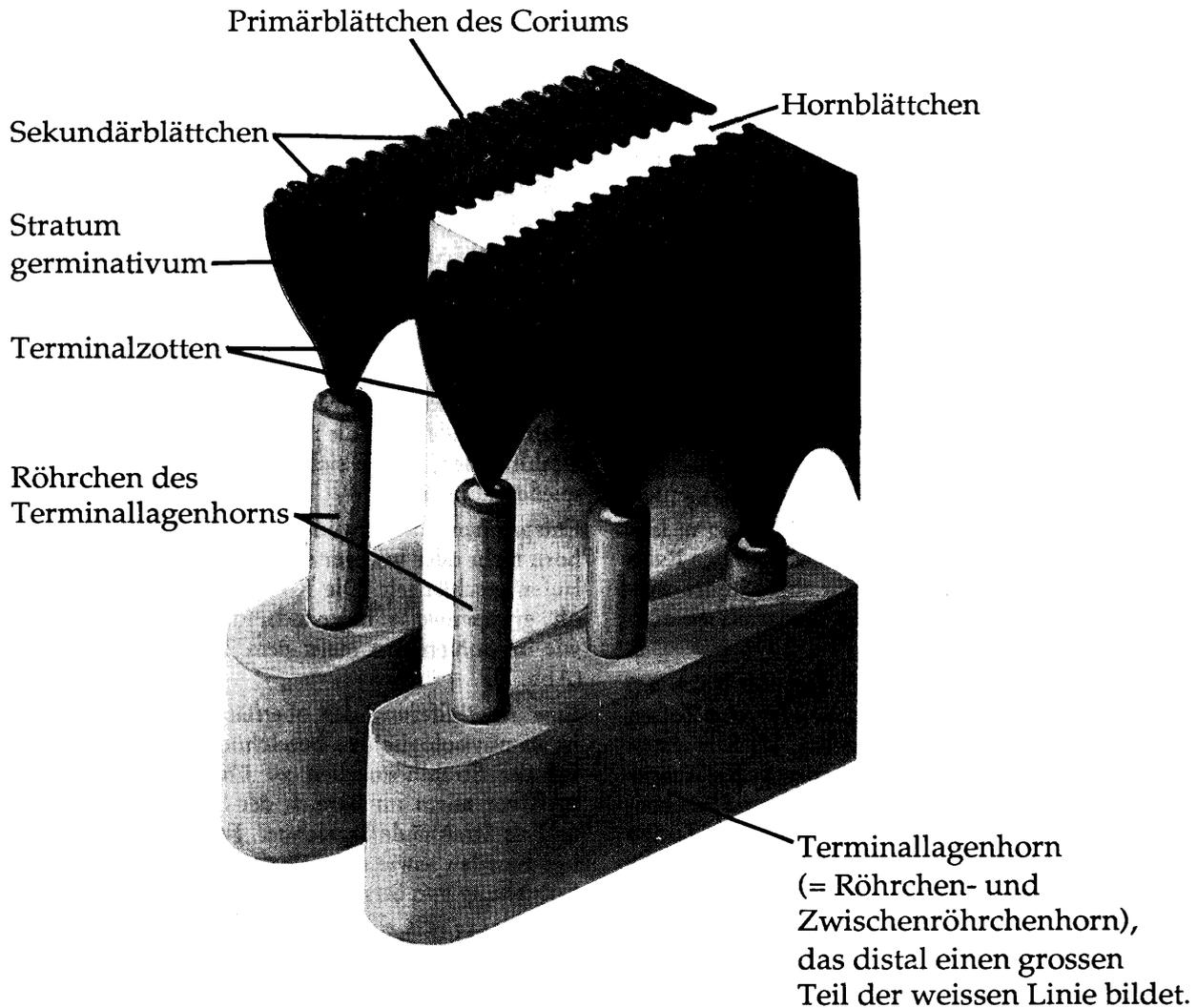
Die Strahlröhrchen werden in der Literatur zwar erwähnt (*Habermehl*, 1984), im übrigen findet man nur wenig konkrete Angaben über diese Drüsen. Es wird vermutet, daß sie eine Bedeutung in der Feuchthaltung des Strahlhorns haben. Um genauere Kenntnisse über diese Drüsen zu gewinnen, wurden verschiedene Abschnitte des Strahls an je 1 Huf eines Vorderfußes und eines Hinterfußes von 5 Pferden histologisch untersucht.

Es wurden in der Regel nur wenige Drüsen vor allem in der Subcutis (Abb. 17) gefunden. Die Drüsenendstücke, die einen Durchmesser von 20–40 µm aufweisen, sind mit kubischem Epithel ausgekleidet. Die Drüsenendstücke haben Ähnlichkeit mit Schweißdrüsen. Sie sind über den ganzen Strahl verteilt, finden sich aber besonders selten im Bereich der mittleren Strahlfurche. Die allgemein geringe Zahl der Strahlröhrchen stellt es sehr in Frage, ob diese Drüsen für den höheren Feuchtigkeitsgehalt des Strahlhorns (*Myaki et al.*, 1974) im Vergleich zum Horn anderer Segmente verantwortlich sind.

b) *Hornwachstum und Huferneuerungszeit* (Abb. 2)

Das Hornwachstum beträgt am Kronhorn in der Außen-

Es sind nur wenige Blättchen stellvertretend für die Vielzahl der Blättchen gezeichnet.



- Corium
- Stratum germinativum
- Hornblättchen
(Primärblättchen der Epidermis)
- Zwischenröhrchenhorn des
Terminallagenhorns

Abb. 12: Distale Blättchenzone des Wandsegmentes, in der sich die Coriumblättchen zu Terminalzotten aufteilen. Es sind nur wenige Blättchen stellvertretend für die Vielzahl der Blättchen gezeichnet.

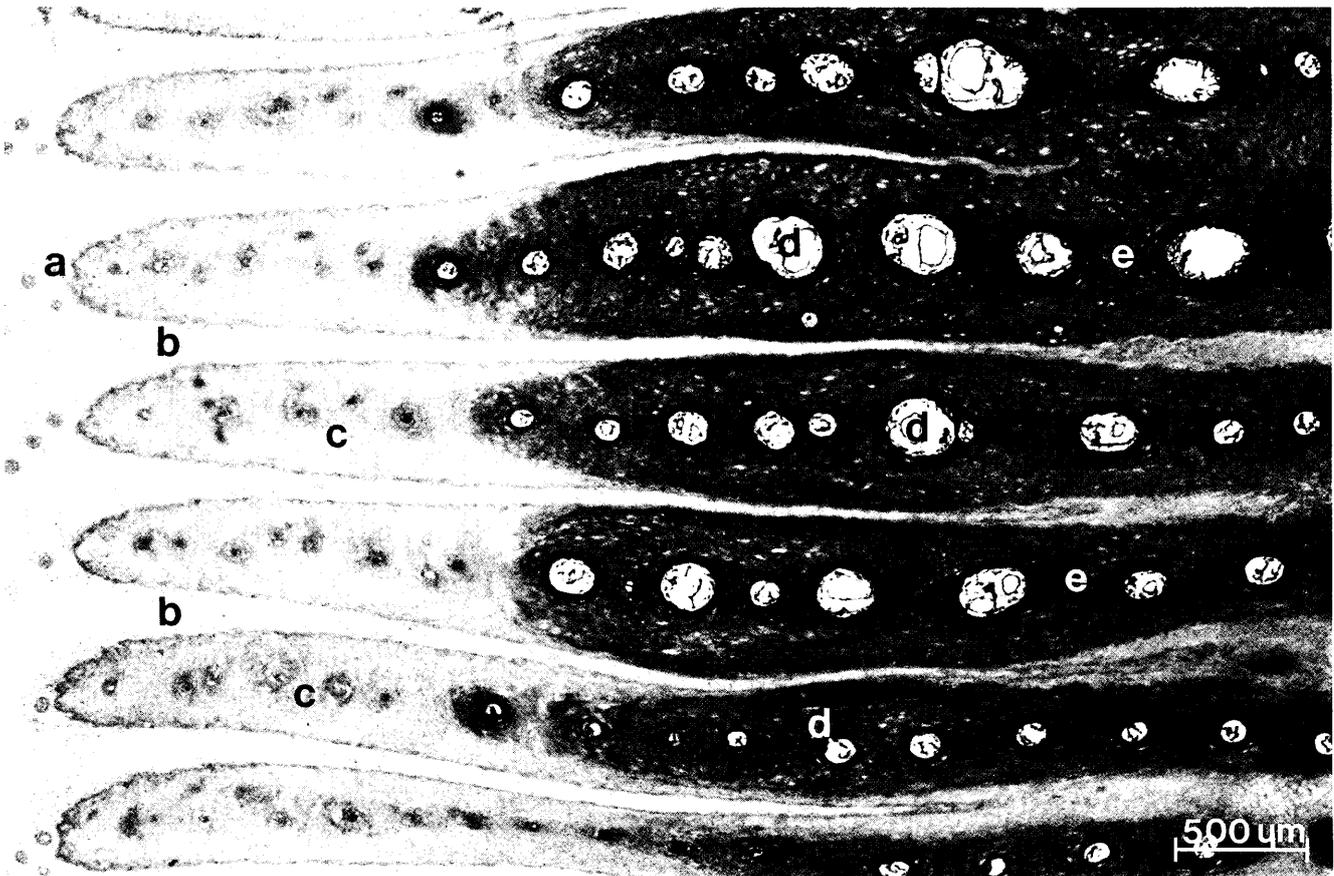


Abb. 13: Querschnitt durch die distale Blättchenzone des Wandsegmentes, im Bereich der Entstehung von Zotten und Terminallagenhorn, der zwischen 2,5 und 3,5 cm proximal vom Tragrand liegt. Alcianblau-PAS. a Kappenhorn, b Hornblättchen, c Terminallagenhorn, d Coriumzotten, e Stratum germinativum.

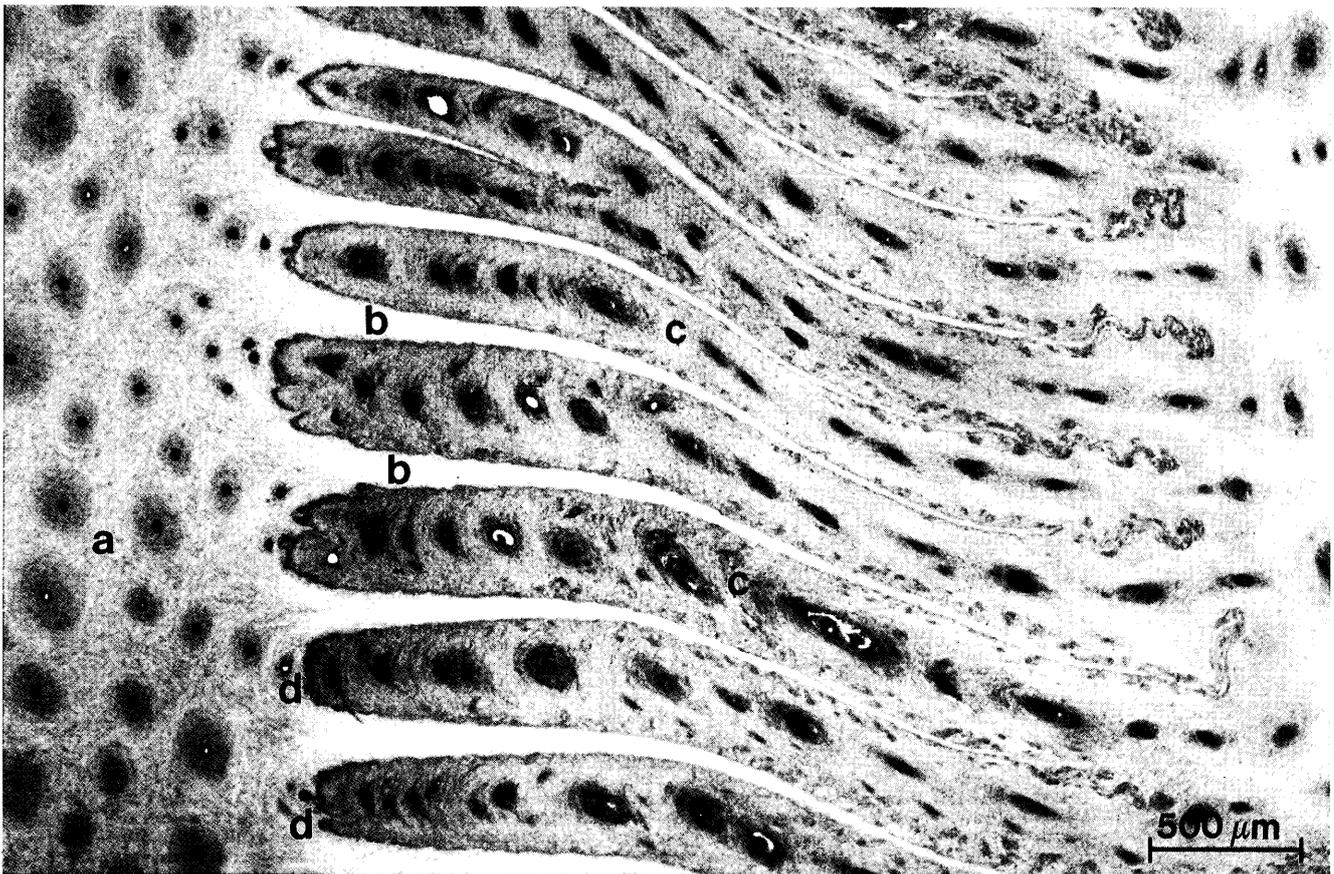


Abb. 14: Querschnitt durch das Horn der weißen Linie. Der Schnitt befindet sich distal von Abb. 13. Alcianblau-PAS. a Innenzone des Kronhorns, b Hornblättchen, c Terminallagenhorn, d Kappenhorn.

zone in Verlaufsrichtung der Röhrcchen etwa 7–8 mm/4 Wochen (Josseck, 1991; Leu, 1987). Diese Wachstumsrate kann bei einzelnen Individuen und bei bestimmten Rassen deutlich geringer sein. So wurden von Leu (1987) bei Islandpferden nur Wachstumsraten um 4–5 mm/4 Wochen gemessen. Das Wachstum des Sohlenhorns beträgt nach Josseck (1991) nur 4,5 mm/4 Wochen; die Wachstumsrate ist damit nur wenig mehr als die Hälfte des Kronhornwachstums in der Außenzone. Bei den übrigen Hufpartien muß noch mit anderen Wachstumsraten gerechnet werden (Pollit, 1990).

Aus den Arbeiten von Budras et al. (1989) und Zenker (1991) gehen Hinweise hervor, daß die Wachstumsraten im Bereich der Hornblättchen sehr gering sein können. Es

sollte nicht vergessen werden, daß zwischen der höheren Wachstumsrate des Kronhorns der Außenzone und der niedrigen Rate des Sohlenhorns ein Bereich sein sollte, in dem die verschiedenen Wachstumsraten sich einander nähern.

Die Wachstumsrate des Hornes ist für dessen Erneuerungszeit wichtig:

Bei einer Länge der Vorderwand von 100 mm ist das Kronhorn der Außenzone etwa in 1 Jahr vom Kronrand bis zum Tragrand erneuert. Bei geringeren Wachstumsraten kann diese Erneuerungszeit bis zu 18 Monaten oder 2 Jahre betragen. Das Sohlenhorn ist dagegen nach Josseck (1991) in etwa 100 Tagen erneuert. Eine ähnliche Erneuerungszeit ist für das Strahlhorn anzunehmen (Pollit, 1990).

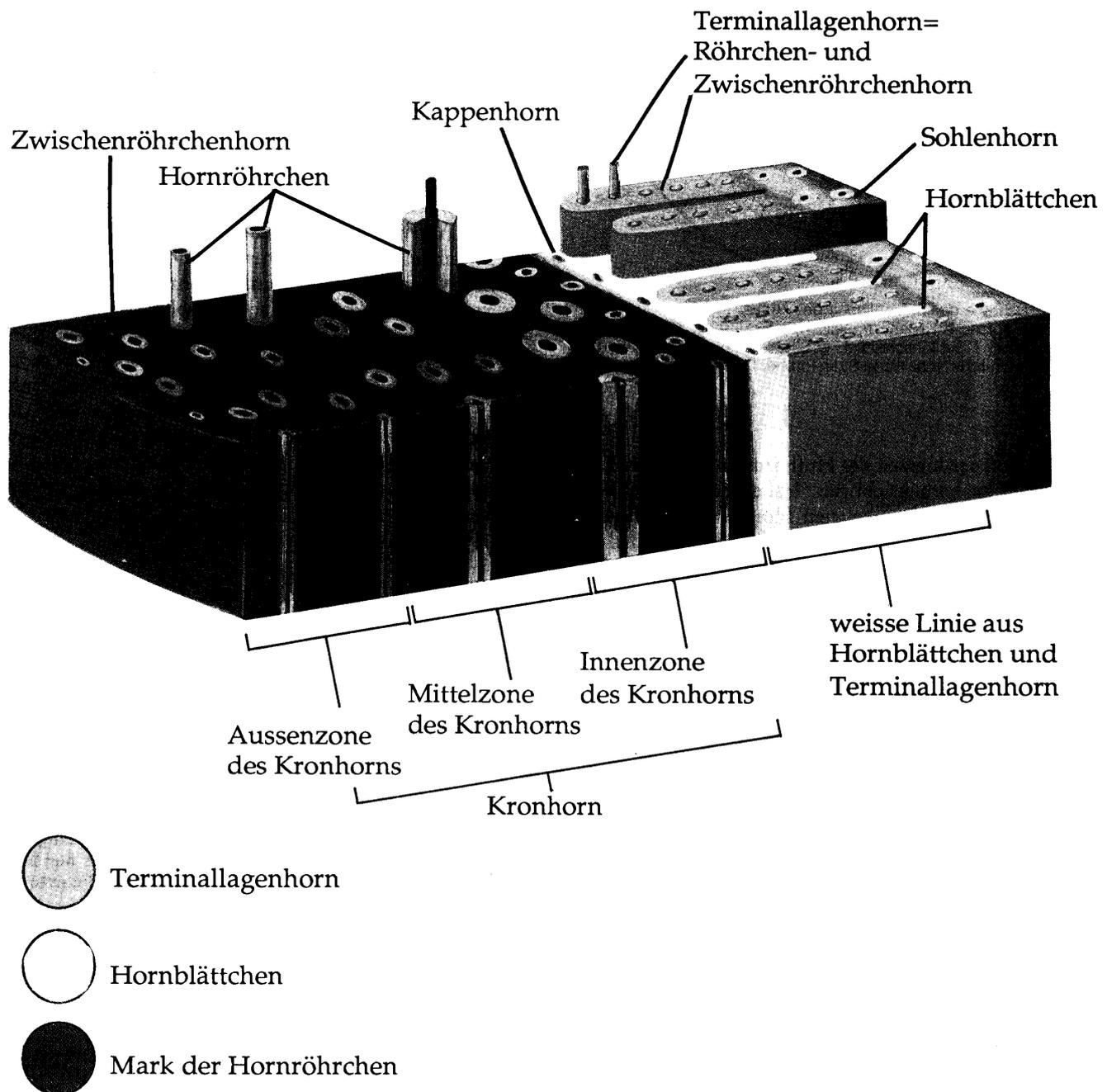


Abb. 15: Querschnitt durch die Hornwand und die angrenzende Sohle im Bereich der weißen Linie.

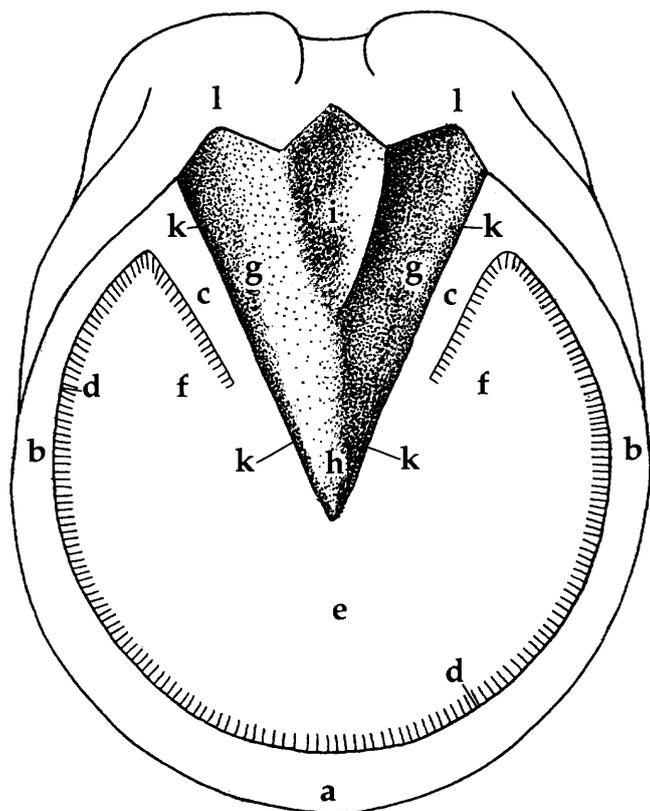


Abb. 16: Schema der Sohlenfläche des Hufes. a Kronhorn, dorsal, b Kronhorn, seitlich, c Eckstrebe, d weiße Linie, e Sohlenkörper, f Sohlenschenkel, g Strahlschenkel, h Strahlspitze, i mittlere Strahlfurche, k seitliche Strahlfurche, l Ballen.

Die lange Erneuerungszeit des Hufhorns ist bei jedem Therapieversuch zu berücksichtigen. Insbesondere beim Vorliegen von sprödem, bröckeligem Horn und Ausbrüchen im Tragrandbereich muß mindestens 1 Jahr, manchmal bis 1½ oder gar 2 Jahre gewartet werden, bis das unter einer Therapie z.B. mit Biotin am Kronrand gebildete, neue Horn am Tragrand erscheint. Über die Langfristigkeit eines Therapieversuches muß sich der Therapeut selbst klar werden, und er muß die Pferdehalter entsprechend orientieren, um beide Seiten vor verfrühten Erwartungen und vor Enttäuschungen zu bewahren. Denn es dauert bei Tragrandveränderungen 1 Jahr und länger, bei Sohlen- und Strahlveränderungen mindestens 3–4 Monate, bis ein Therapieerfolg in den distalen Hornschichten zu erwarten ist.

c) Histochemische Befunde an der Hufepidermis

Von den histochemischen Befunden an der Hufepidermis sollen nur auszugsweise einige bemerkenswerte Resultate besprochen und kommentiert werden. Die Befunde basieren auf Ergebnissen von 5 Warmblutpferden, an denen je 1 Vorderhuf und 1 Hinterhuf untersucht wurden, sowie auf Befunden, die fallweise an weiteren Pferden oder bei der PAS-Reaktion an etwa 100 Pferden erhoben wurden.

Der Bereich der Zellmembranen der Hornzellen färbt sich mit PAS mittelgradig rot an. Dabei werden wohl vor allem die Glykoproteine des Interzellularkitts angefärbt. Bei zerfallenden Hornzellen färbt sich mit PAS zunächst der

Bereich der Zellmembranen stärker rot an, bei fortgeschrittenem Zerfall erscheint die ganze Hornzelle rot. Lipide kommen im Hufhorn nur in geringer Menge vor allem in den Markräumen des Saumhornes vor.

Phosphate und Karbonate konnten nur in vereinzelt Markräumen des Hornes und in zerfallenden inneren Rindenzellen nachgewiesen werden. Da diese Salze nur in den Markräumen als dem nicht tragenden Teil des Hornes sowie in zerfallenden Rindenzellen vorkommen, kann ein erhöhter Gehalt an diesen Salzen nicht als Parameter für gute Hornqualität gelten.

Zytokeratine konnten mit Antikörpern gegen humanes Zytokeratin nur im Stratum basale und spinosum, nicht aber im Stratum corneum nachgewiesen werden. Der Keratinnachweis gelang nur an zerfallenen Hornzellen. Für die unveränderten Hornzellen ist anzunehmen, daß im Netzwerk der aus Keratinfibrillen zusammengesetzten Keratinfibrillen die Antikörper gegen Zytokeratin normalerweise nicht gebunden werden.

Im Bereich der Zellmembranen der Hornzellen von mehreren Segmenten konnte eine deutlich positive Reaktion der Enzyme, saure Phosphatase und unspezifische Esterase (Abb. 18), gezeigt werden. Unerwartet ist auch die nachgewiesene Aktivität der ATPase an den Zellmembranen in der Mittelzone des Kronhorns (Abb. 19), da die ATPase normalerweise nur im Stratum germinativum der Epidermis vorkommt und für aktive Transportvorgänge verantwortlich sein soll.

Die Anwesenheit der 3 Enzyme, saure Phosphatase, unspezifische Esterase und ATPase, zeigen, daß der Membranbereich der Hornzellen ein sehr aktives Gebiet ist (Abb. 18–19). Es ist denkbar, daß durch vermehrte Aktivität der Esterase Spaltvorgänge an den Estern der Membranen der Hornzellen ablaufen, die Ablösungen der miteinander verbundenen Hornzellen begünstigen.

Literaturverzeichnis

- Bolliger, Ch.* (1991): The equine hoof: morphological and histochemical findings. Diss. Zürich.
- Bucher, K.* (1987): Zum mikroskopischen Bau der Epidermis an umschriebenen Stellen des Pferdehufes. Diss. Zürich.
- Budras, K. D., Hullinger, R. J., und Sack, W. O.* (1989): Light and electron microscopy of keratinization in the lamellar epidermis of the equine hoof with reference to laminitis. *Am. J. Vet. Res.* 50, 1150–1160.
- Budras, K. D., und Bragulla, H.* (1990): Besonderheiten des Membrane-Coating-Materials im harten Horn des Pferdehufes. 85. Versammlung der anat. Gesellschaft, München 1.–4. 4. 1990, 39.
- Fuerst, A.* (1992): Makroskopische und mikroskopische Anatomie der Rinderklaue. Diss. Zürich.
- Geyer, H.* (1980): Zur mikroskopischen Anatomie an der Epidermis der Schweineklaue. *Zbl. Vet. Med. C, Anat. Histol. Embryol.*, 9, 337–360.
- Geyer, H., und Tagwerker, F.* (1986): The pig's hoof. Its structure and alterations. Hoffmann-La Roche, Basel.
- Habermehl, K.-H.* (1984): Haut und Hautorgane. In Nickel, R., Schummer, A., und Seiferle, E.: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere* Bd. 3, 2. Auflage, 453–584. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Josseck, H.* (1991): Hufprobleme bei Lipizzanerpferden und ein Behandlungsversuch mit Biotin. Untersuchungen des makroskopischen Huf-

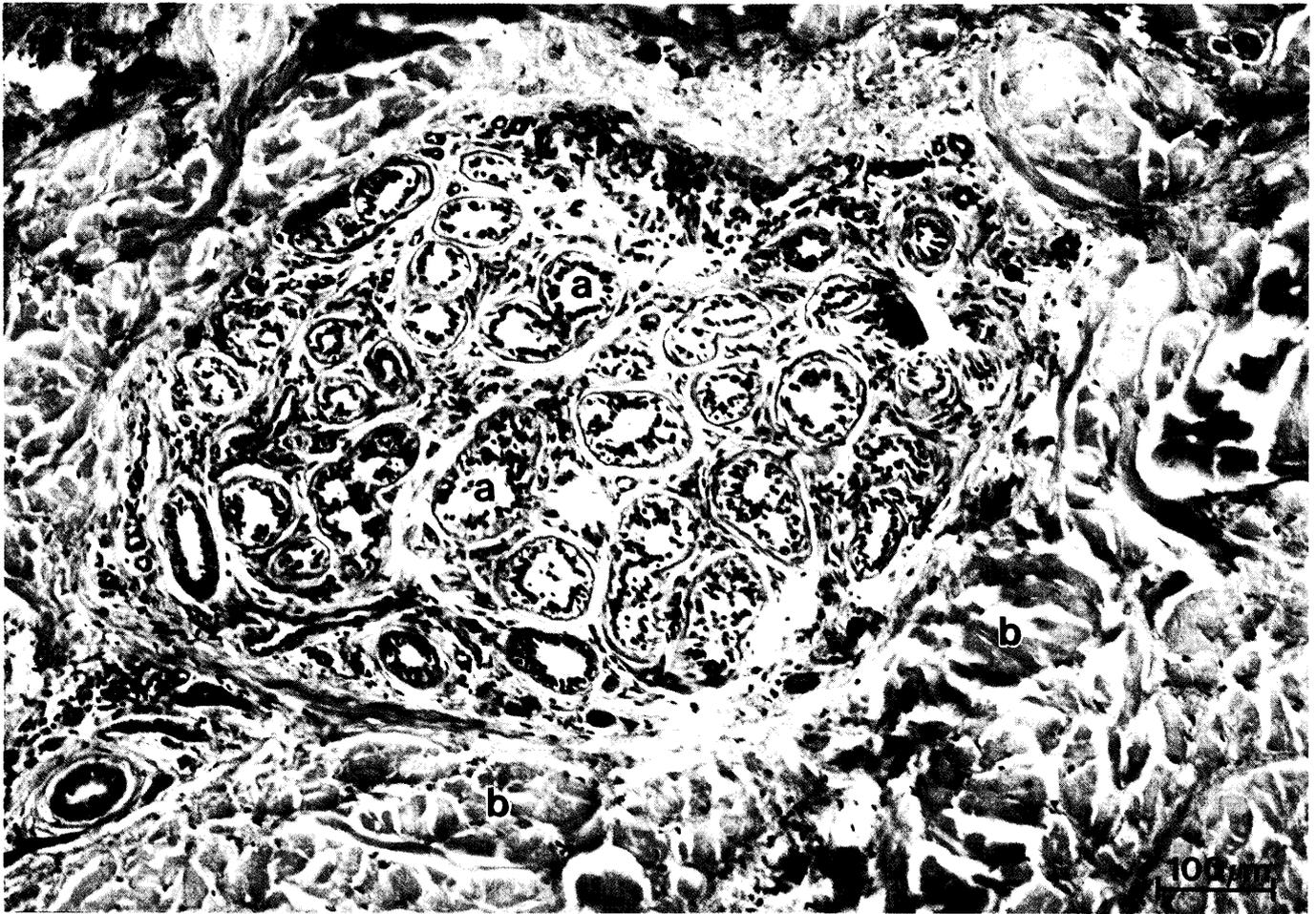


Abb. 17: Längsschnitt durch eine modifizierte Schweißdrüse in der Subcutis des Strahls. Alcianblau-PAS. a Drüsenendstücke, b Bindegewebe des Strahlpolsters.

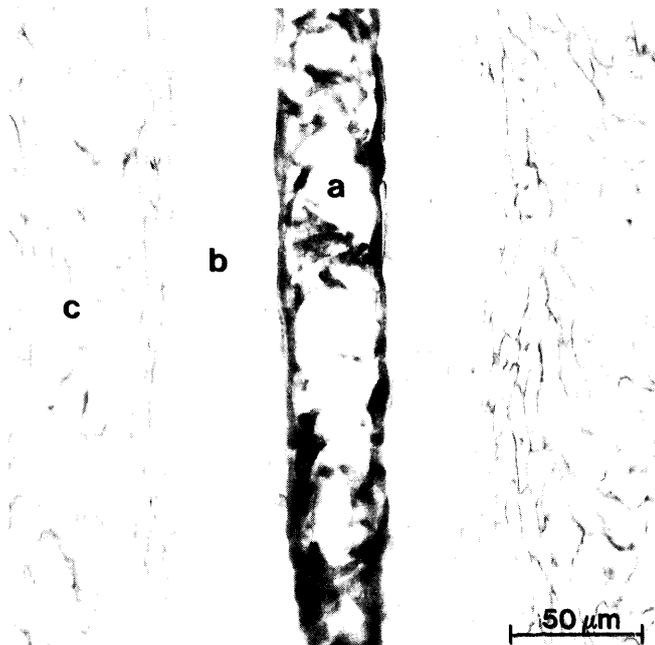


Abb. 18: Nachweis der unspezifischen Esterase. Längsschnitt durch die Außenzone des Kronhorns mit deutlicher Enzymaktivität an den Zellmembranen der Röhrenrinde und des Zwischenröhrenhorns sowie im Markraum des Hornröhrens. Die Enzymaktivität zeigt sich als Rotfärbung. Reaktion nach *Davis* und *Ornstein* (*Lojda et al.*, 1976). a Röhrenmark, b Röhrenrinde, c Zwischenröhrenhorn.

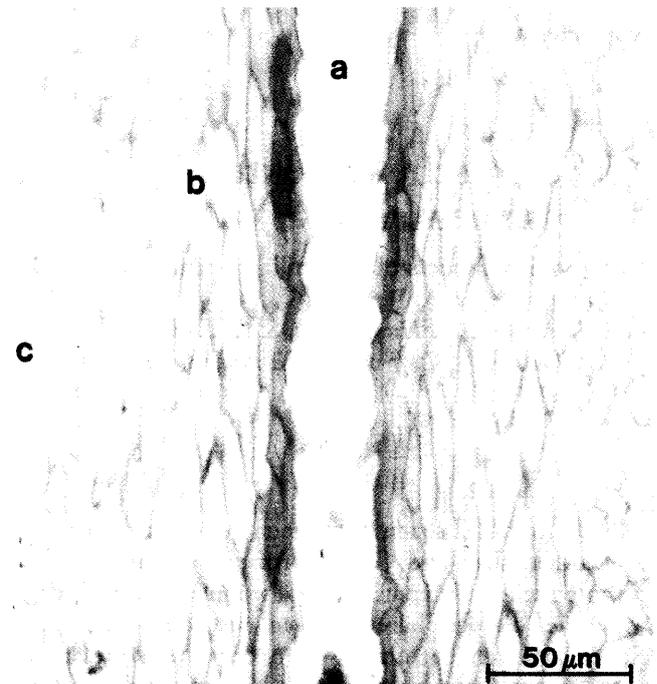


Abb. 19: Nachweis der ATPase. Längsschnitt durch die Mittelzone des Kronhorns mit Enzymaktivität an den Zellmembranen der Röhrenrinde, die schwarz gefärbt erscheinen. Reaktion nach *Wachstein* und *Meisel* (*Lojda et al.*, 1976). a Röhrenmark, b Röhrenrinde, c Zwischenröhrenhorn.

- status und des Hornwachstums sowie zum Verlauf des Plasmabiotinspiegels und über genetische Grundlagen der Hufhornschäden. Diss. Zürich.
- Küng, M. (1991): Die Zugfestigkeit des Hufhorns von Pferden. Diss. Zürich.
- Leu, U. (1987): Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß von oral verabreichtem Biotin auf das Hufhorn beim Pferd. Diss. Zürich.
- Lojda, Z., Gosswrau, R., und Schiebler, T. H. (1976): Enzymhistochemische Methoden. Verlag Springer, Berlin, Heidelberg, New York.
- Myaki, H., Ohnishi, T., Yamamoto, T., und Kameya, T. (1974): Measurement of water contents of hoof wall, sole, and frog in horses. Exp. Rep. Equine Health Labor., Tokyo, 11, 15–20. Ref.: Ldw. Zbl. 21, 131–132, 1976.
- Nickel, R. (1938): Über den Bau der Hufröhren und seine Bedeutung für den Mechanismus des Pferdehufes. Gegenbaurs Morphol. Jb. 82, 119–160.
- Pollit, C. C. (1990): An autoradiographic study of equine hoof growth. Equine vet. J. 22, 366–368.
- Schaller, O. (1992): Illustrated veterinary anatomical nomenclature. Verlag Enke, Stuttgart, 552–553.
- Wilkens, H. (1964): Zur makroskopischen und mikroskopischen Anatomie der Rinderklaue mit einem Vergleich der Architektur von Klauen- und Hufröhren. Zbl. Vet. Med. A 11, 163–234.
- Wissdorf, H., Wilkens, H., und Hertsch, B. (1983): Benennung der weißen Linie des Pferdehufes. Tierärztl. Prax. 11, 503–506.

Zenker, W. (1991): Hufhornveränderungen bei Lipizzanerpferden und ein Behandlungsversuch mit Biotin. Histologische Untersuchungen an veränderten Hufen und Bestimmung biotinabhängiger Enzyme. Diss. Zürich.

Danksagung

Wir danken
der Firma Hoffmann-La Roche, Basel, für die finanzielle Unterstützung dieser Untersuchung,
Frau Jeanne Peter für die ansprechenden, schematischen Zeichnungen und die Fertigstellung der Abbildungen,
Herrn Rudolf Sawitzki für die Anfertigung der Farbfotos,
Frau Annemarie Hulfegger und Frau Ute Färber für die kompetente Hilfe in Histologie und Histochemie sowie
Frau Marlies Balushev für die Fertigstellung des Manuskriptes.

Dr. Ch. Bolliger, Rebbergstr. 59, CH-4800 Zofingen
Prof. Dr. H. Geyer, Veterinär-Anatomisches Institut, Winterthurer Str. 260, CH-8057 Zürich (Korrespondenzadresse)

Kurzreferat

Pathologische Aspekte des Hahnentritts

(Pathological aspects of Australian stringhalt)

R. F. Slocombe, P. J. Huntington, S. C. E. Friend,
L. B. Jeffcott, A. R. Luff und D. K. Finkelstein (1992)

Equine vet. J. 24, 174–183

9 Pferde mit klinischen Anzeichen von Hahnentritt wurden euthanasiert und Gewebeproben für eine detaillierte pathologische Untersuchung gewonnen. Die Läsionen waren auf die peripheren Nerven und Muskeln begrenzt. Am schwersten betroffen waren der oberflächliche und tiefe Nervus peroneus, distal der Nervus tibialis, der Nervus digitalis plantaris und der Nervus laryngeus cranialis und recurrens; die charakteristischen Veränderungen bestanden in einer selektiven Abnahme des breiten Durchmessers der myelinisierten Fasern mit verschiedengradiger

Demyelinisierung, in Fibrose, in Proliferationen der Schwann-Zellen und in der Bildung von zwiebel-förmigen Bulben. Mit einer routinemäßigen Bewertung des Gehirns und des Rückenmarks mit Hilfe des Lichtmikroskops konnten keine übereinstimmenden Veränderungen festgestellt werden. Morphometrische Analysen des Nervus peroneus profundus und des Nervus laryngeus recurrens bestätigten die verringerte Anzahl an myelinisierten Axonen mit breitem Durchmesser. Faserpräparate dieser Nerven zeigten keinerlei Abweichungen von der Norm des internationalen Abstandes. Die schwersten Muskelläsionen betrafen den langen und lateralen Zehenstrecker, den Musculus tibialis cranialis, dem M. cricoarytenoideus dorsalis, den M. gracilis und die laterale tiefe Beugesehne und bestanden aus ausgedehnter Atrophie der Fasern und diffuser Fibrose. Histochemische Auswertungen des Zehenstreckers bei 3 betroffenen Pferden zeigten eine abnorm breite Streuung der Fasergröße und eine Reduzierung der Fasern des Typs II im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Läsionen bestanden durchweg aus einer distalen Axonopathie, die zu einer neurogenen Muskelatrophie führte. Die Verteilung der neuromuskulären Läsionen beim Hahnentritt könnten durch die erhöhte Anfälligkeit längerer und breiterer myelinisierter Nervenfasern erklärt werden, doch die Ursache der distalen Axonopathie bleibt noch unbekannt.