

Linea alba unguis (Zona alba) - die weiße Linie des Pferdehufes in ihrer Semizirkumferenz

Charlotte von Zadow und Klaus-Dieter Budras

Freie Universität Berlin, Institut für Veterinär Anatomie

Zusammenfassung

Die Struktur und Zusammensetzung der weißen Linie im Zehenrückenteil des Pferdehufes ist häufig dokumentiert worden, jedoch ist über deren strukturelle Abweichungen im semizirkumferenten Verlauf wenig bekannt. Mittels mesoskopischer und lichtmikroskopischer Methoden wurden sieben Areale der weißen Linie in ihrer Semizirkumferenz an insgesamt 21 rechten adulten Vorderhufen untersucht. Um reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, war es vor Probenentnahme und morphometrischer Beurteilung notwendig, die Hufe einer genau definierten Bearbeitung zu unterziehen und anatomische Orientierungspunkte herauszuarbeiten. In Abhängigkeit von ihrer Lokalisation in der Semizirkumferenz des Hufes variiert die Struktur der weißen Linie sehr stark. Im Zehenrückenteil ist die weiße Linie am breitesten und nimmt nach palmar ab. Die primären Epidermisblättchen (Hornblättchen) sind im Zehenrückenteil sehr viel dichter aneinander gedrängt und von gestrecktem Verlauf. Ihre Spitzen zeigen, außer im Eckstrebenbereich, immer in Richtung Hufmittelpunkt. Je weiter nach palmar, desto größer sind die Abstände zwischen den schmaler werdenden Blättchen, deren Verlauf zunehmend gebogen ist. Gleichzeitig nimmt die Menge des weichen Zwischenblättchenhorns nach palmar zu. Dies spiegelt die Funktion des Hufbeinträgers in den korrespondierenden Gebieten wieder: in der vorderen Hufhälfte dominiert die Aufhängung des Hufbeines (=Tragefunktion), in der hinteren Hufhälfte die elastische Verankerung der Trachtenwand an den Hufbeinknorpeln. Größe, Anzahl und Anordnung der Terminalhornröhrchen variieren sehr stark sowohl individuell als auch innerhalb der verschiedenen Lokalisationen eines Hufes. Besonders in den palmaren Bereichen sind die Bestandteile der weißen Linie (Blättchen sowie Terminal- und Kappenhornröhrchen) in jedem Huf stark individuell ausgeprägt.

Schlüsselwörter: Huf, Pferd, weiße Linie, Anatomie, Histologie

Linea alba unguis (Zona alba) - the white line of the horses hoof in its semi-circumference

The structure and composition of the white line in the horses hoof is well documented in the dorsal part. Little is known about structural changes in its semi-circumferent course. The white line of the hoof was investigated in its semi-circumference using light microscopy and morphological techniques. A total of 21 right front hooves of adult horses was analyzed. Previous to sample taking and morphometric evaluation, feet were trimmed according to a defined trimming method and anatomical landmarks were developed in order to obtain comparable results in a reproducible manner. PAS-stained histological slides of seven defined section sites of the white line were analyzed microscopically. Width, height and structural composition of the white line vary strongly according to the area the sample is taken from within the hoof. The white line is widest in the toe region and gets thinner in palmar direction. Primary epidermal lamellae in the toe region are very densely spaced and have a straight appearance. The further palmar the section site, the larger the gap between two lamellae. Palmar the lamellae also get smaller, with a bended appearance. At the same time the amount of soft interlamellar horn increases. This reflects the function of the proximal lamellar junction in the corresponding areas: in the dorsal part of the hoof the suspension of the pedal bone dominates (=weight bearing function), whereas in the palmar part of the hoof the lamellar junction is an elastic anchorage which restricts the collateral outward movement (spreading) of the palmar aspect of the horn capsule. Except for the region of the bars, the apex of the epidermal lamellae always points toward the center of the hoof. Size, amount and arrangement of terminal horn tubules vary a lot in between individual hooves and within the same hoof. In many cases between two lamellae there are additional queues of terminal horn tubules or terminal horn tubules are arranged without any sort of pattern. Especially in the palmar areas the structures of the white line (epidermal lamellae as well as terminal and cap horn tubules) display strong individual characteristics.

Keywords: hoof, horse, white line, anatomy, histology

Einleitung

Die weiße Linie übernimmt am Pferdehuf wesentliche klinisch relevante Funktionen: Sie ist nicht nur ein Spiegelbild des distalen Hufbeinträgers und gibt zuverlässig Auskunft über dessen Integrität, sie dient auch als Barriere und schützt den Hufbeinträger vor aufsteigenden Infektionen. Gleichzeitig verbindet die weiße Linie äußerst elastisch das starre Kronhorn mit dem relativ unflexiblen Sohlenhorn. Die weiße Linie spielt eine sehr wichtige Rolle im Hufbeslag für die korrekte Platzierung der Nägel und wird deshalb auch Nagellinie genannt.

Die weiße Linie besteht aus Hornblättchen (primäre Epidermisblättchen) und dem Füllhorn. Die Hornblättchen entstehen proximal im Wandsegment und werden von nachkommenden Hornmassen nach distal hinunter geschoben, bis sie schließlich an der Fußungsfläche des Hufes in der charakteristisch gestreiften Lamellenstruktur der weißen Linie sichtbar sind. Sie gehen mit den Lederhautblättchen (Dermisblättchen) eine intensive Verzahnung ein, mit denen sie den Hauptanteil des Hufbeinträgers bilden. Das Füllhorn besteht aus Kappen- und Terminalhorn. Die Terminalhornröhrchen werden vom Epidermisüberzug der endständigen Terminalpapillen der Leder-

hautblättchen gebildet und füllen die Räume zwischen den Hornblättchen aus. Das Kappenhorn wird distal von epidermalen Anteilen über den Firsten der Lederhautblättchen gebildet und verbindet die weiße Linie mit dem inneren weißen Kronhorn. Die weiße Linie besteht also aus Blättchen- und Röhrenhorn, wobei zwei Hornsorten von völlig unterschiedlichem Alter aufeinandertreffen: an der Bodenfläche des Hufes angekommen ist das Blättchenhorn bereits circa 1 Jahr alt und das Füllhorn nur circa 1 bis 2 Monate alt. Dieses junge und quasi 'überstürzt' gebildete Füllhorn ist schnell angreifbar durch Bakterien.

Die Breite der weißen Linie wird außen (peripher) vom Kronhorn und innen (zentral) vom Sohlenhorn begrenzt. Ihre Höhe reicht von den distalen Enden der Lederhautblättchen bis zur Fußungsfläche und ist deshalb stark abhängig von der Hufzubereitung.

Aus den eben beschriebenen anatomischen Verhältnissen wird deutlich, dass das Horn der weißen Linie ausschließlich im Wandsegment gebildet wird. Zur weißen Linie zählt nicht das innere Kronhorn, obgleich es von früheren Autoren manchmal dazu gerechnet wurde *Nickel* (1938). Aus dieser Missdeutung entstand vermutlich der Begriff „white line disease“, welches eine Erkrankung des inneren Kronhorns darstellt und mit dem deutschen Begriff „hohle Wand“ vergleichbar ist. Es handelt sich dabei nicht primär um eine Erkrankung der weißen Linie (*Redden* 1990, *O'Grady* 2002).

Material und Methoden

Es wurde die weiße Linie an 21 adspektorisch gesunden rechten Schlachtpferdehufen untersucht. In ihrer Form wichen die Hufe etwas voneinander ab. Deshalb war es vor Probenentnahme und morphometrischer Beurteilung notwendig, die Hufe



Abb 1 Ein Huf nach der Bearbeitung. Alle Hufe wurden vor der Probenentnahme einer genau definierten Bearbeitung unterzogen, um reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Dazu wurde das Zerfallshorn aus der Sohle entfernt und das Kronhorn bis zur Sohlenebene gekürzt. Damit war die weiße Linie in ihrer Semizirkumferenz etwa gleich weit entfernt von den dermalen, durchbluteten Anteilen der Hufkapsel (*Savoldi* 2006) und das geprobte Horn etwa gleich alt.

Hoof after trimming. Previous to sample taking feet were trimmed according to a defined trimming method in order to obtain comparable results in a reproducible manner. Therefore the sole was exfoliated and the wall trimmed to the sole level (SAVOLDI 2006). Thus the white line in its semi-circumference was equidistant from dermal, perfused parts of the hoof and horn samples were approximately the same age.

einer genau definierten Bearbeitung zu unterziehen und anatomische Orientierungspunkte herauszuarbeiten. So konnten reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse erzielt werden.

Dazu wurde aus der Sohle das Zerfallshorn entfernt, so dass nur noch die kompakte Sohle zu sehen war. Anschließend wurde das Kronhorn gekürzt, bis es in seiner Semizirkumferenz auf Höhe des kompakten Sohlenhorns endete (*Abb. 1*). Damit waren Tragrand und auch die weiße Linie etwa gleich weit entfernt von den dermalen, durchbluteten Anteilen der Hufkapsel (*Savoldi* 2006, *Savoldi* 2007), das Horn der untersuchten Probenareale hatte also etwa das gleiche Alter.

Mittels mesoskopischer und lichtmikroskopischer Methoden wurden an jedem Huf fünf definierte Bereiche der weißen Linie untersucht: Zehenrückenteil, Seite lateral und medial,

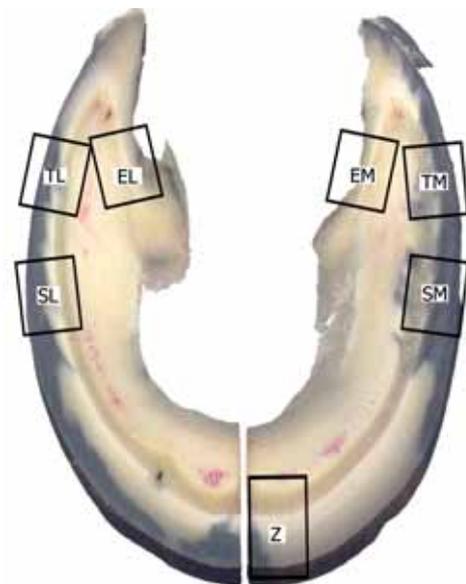


Abb 2 Mittels mesoskopischer und lichtmikroskopischer Methoden wurden an jedem Huf fünf definierte Bereiche der weißen Linie untersucht: Zehenrückenteil (Z), Seite lateral (SL) und medial (SM), Trachte lateral (TL) und medial (TM), Eckstrebe lateral (EL) und medial (EM). *Using light microscopy and morphological techniques, the following five well-defined section sites of the white line were analyzed: toe region (Z), lateral quarter (SL), medial quarter (SM), lateral heel (TL), medial heel (TM), lateral bar (EL), medial bar (EM).*

Trachte lateral und medial (*Abb. 2*). Die Probenentnahmestellen wurden so gewählt, da dem darüber liegenden Hufbeinträger eine jeweils spezielle mechanische Aufgabe zukommt, an die sich die Strukturen des Hufbeinträgers funktionell angepasst haben und vermutet wurde, dass die Struktur der weißen Linie die korrespondierende Funktion des Hufbeinträgers in diesen Gebieten widerspiegelt.

An ihnen wurde morphometrisch die Breite der weißen Linie und die Abstandsichte von 20 Hornblättchen ermittelt (*Abb. 3*). Die Breite der weißen Linie wurde vom äußersten Sohlenhorn bis zum innersten Kronhorn gemessen. Diese Messung erfolgte parallel zur Bodenfläche und entspricht dem Bild der weißen Linie, die beim lebendigen Pferd sichtbar ist. Sie entspricht jedoch nicht der tatsächlichen Breite der weißen Linie, deren Messung im rechten Winkel zur Höhe der weißen Linie erfolgt und in dieser Arbeit nur für den Zehenbereich im Medianschnitt bestimmt wurde. Die Abstandsichte von 20 Horn-

blättchen wurde gemessen, indem 21 nebeneinander liegende Hornblättchen ausgezählt und deren Abstände bestimmt wurden. Von den oben genannten definierten Bereichen und zusätzlich von den Probenarealen Eckstrebe lateral und medial wurden histologische Präparate in Perjodsäure-Schiff-Reaktion (PAS) angefertigt. An diesen Schnitten wurden die Breite der Hornblättchen, die Dicke des Zwischenblättchenhorns und die Anzahl der Terminalhornröhrchen ermittelt (Abb. 4). Die Breite der Hornblättchen wurde in ihrem Verlauf gemessen und folgte dementsprechend allen Biegungen. Die Dicke des Zwischenblättchenhorns entsprach im histologischen Präparat dem Bereich, der zwischen zwei Hornblättchen liegt. Die Anzahl der Terminalhornröhrchen wurde pro Zwischenblättchenraum ausgezählt, wobei für eine Probenentnahmestelle immer fünf nebeneinander liegende Spalten ausgezählt und die Ergebnisse dann gemittelt wurden.

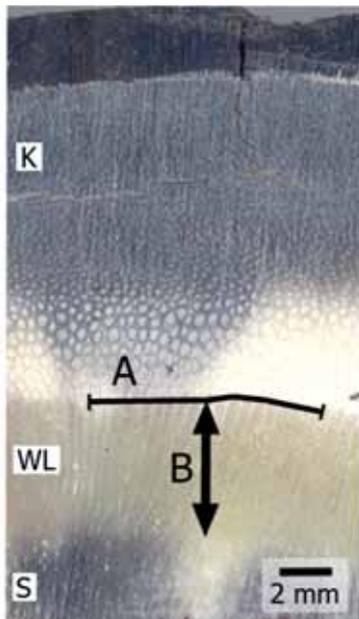


Abb 3 Die Breite der weißen Linie und die Abstandsdichte von 20 Hornblättchen wurden ermittelt. Die Breite der weißen Linie wurde vom äußersten Sohlenhorn bis zum innersten Kronhorn gemessen (B). Die Abstandsdichte von 20 Hornblättchen wurde gemessen, indem 21 nebeneinander liegende Hornblättchen ausgezählt und deren Abstände bestimmt wurden (A). K = Kronhorn; WL = weiße Linie; S = Sohlenhorn

Width of the white line and spacing of 20 primary epidermal lamellae were determined. Width of the white line was measured from outermost sole horn to the innermost wall (B). Spacing of 20 lamellae was measured by counting 21 adjoining lamellae and determining this distance (A). K = hoof wall; WL = white line; S = sole

Ergebnisse

Die Gestalt der weißen Linie ist in den einzelnen Hufarealen sehr charakteristisch ausgebildet. Zusätzlich weisen die verschiedenen individuellen Hufe bei einem Vergleich untereinander häufig deutliche Unterschiede auf, die in den palmaren Anteilen am stärksten sind.

Breite der weißen Linie, parallel zur Bodenfläche gemessen

Die weiße Linie ist im Zehenrückenteil am breitesten, der Mittelwert (Mw) für die Breite der weißen Linie, errechnet aus

allen untersuchten Hufen, beträgt 4,37 mm (3,05-6,07 mm). Zu den Seitenteilen hin nimmt die Breite der weißen Linie ab (Abb. 5), auf medial 2,01-4,43 mm (Mw: 3,28 mm) und lateral 1,92 mm-3,95 mm (Mw: 2,90 mm). Die weiße Linie an den Trachtenteilen ist medial 1,71-3,53 mm (Mw: 2,64 mm) und lateral 1,84-3,09 mm (Mw: 2,58 mm) breit. Teilweise ist die weiße Linie der Trachtenteile breiter als in den Seitenteilen.

Abstandsdichte von 20 Hornblättchen

Die primären Epidermisblättchen liegen im Zehenrückenteil dichter beieinander (d.h. die gemessene Strecke von 20 Hornblättchen ist kürzer) als an den palmaren Probeentnahmestellen (Abb. 5) (Zehenrückenteil: 5,24-9,77 mm (Mw:

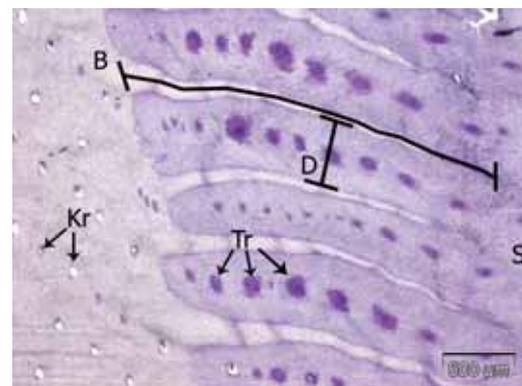


Abb 4 An denen mit Perjodsäure-Schiff-Reaktion (PAS) angefertigten histologischen Schnitten wurden die Breite der Hornblättchen, die Dicke des Zwischenblättchenhorns und die Anzahl der Terminalhornröhrchen ermittelt. Die Breite der Hornblättchen wurde in ihrem Verlauf gemessen und folgte dementsprechend allen Biegungen (B). Die Dicke des Zwischenblättchenhorns entsprach im histologischen Präparat dem Bereich, der zwischen zwei Hornblättchen liegt (D). Die Anzahl der Terminalhornröhrchen (Tr) wurde pro Zwischenblättchenraum ausgezählt. Kr = Kronhornröhrchen; S = Sohlenhorn

Period acid-Schiff (PAS)-stained histological slides were analyzed for width of primary epidermal lamellae, thickness of interlamellar lamellae and number of terminal horn tubules. Width of primary epidermal lamellae was measured following their course and bendings (B). In the histological slides, thickness of interlamellar horn corresponds to the area in between two lamellae (D). The number of terminal horn tubules (Tr) was counted per interlamellar space. Kr = horn tubules of hoof wall; S = sole

8,06 mm); Seite lateral: 9,17-15,81 mm (Mw: 12,38m), medial: 9,94-16,65 (Mw: 12,8 mm); Trachte lateral 11,53-21,85 mm (Mw: 16,51m), medial: 13,02-22,42 mm (Mw: 16,71 mm). Pro Zentimeter weiße Linie sind also in den Seiten- und vor allem in den Trachtenteilen weniger Hornblättchen ausgebildet als im Zehenrückenteil. Der Zwischenblättchenspalt ist an den Trachtenteilen deutlich größer als im Seiten- oder im Zehenrückenteil.

Breite der primäre Epidermisblättchen und Dicke des Zwischenblättchenhorns

Die Hornblättchen sind im Zehenrückenbereich am breitesten (der Mittelwert (Mw) aller gemessenen Hufe beträgt 3,54 mm) und verlaufen überwiegend gestreckt (Abb. 6). Ihr

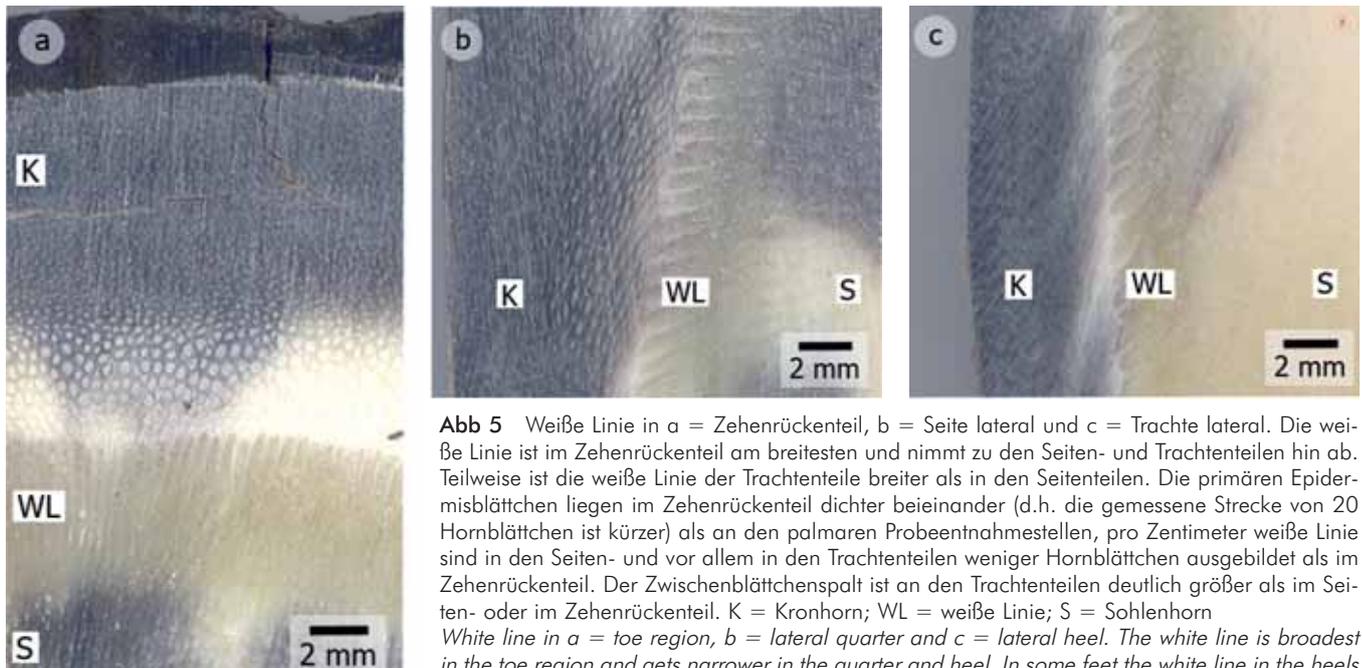


Abb 5 Weiße Linie in a = Zehnrückenteil, b = Seite lateral und c = Trachte lateral. Die weiße Linie ist im Zehnrückenteil am breitesten und nimmt zu den Seiten- und Trachtenteilen hin ab. Teilweise ist die weiße Linie der Trachtenteile breiter als in den Seitenteilen. Die primären Epidermisblättchen liegen im Zehnrückenteil dichter beieinander (d.h. die gemessene Strecke von 20 Hornblättchen ist kürzer) als an den palmaren Probeentnahmestellen, pro Zentimeter weiße Linie sind in den Seiten- und vor allem in den Trachtenteilen weniger Hornblättchen ausgebildet als im Zehnrückenteil. Der Zwischenblättchenspalt ist an den Trachtenteilen deutlich größer als im Seiten- oder im Zehnrückenteil. K = Kronhorn; WL = weiße Linie; S = Sohlenhorn

White line in a = toe region, b = lateral quarter and c = lateral heel. The white line is broadest in the toe region and gets narrower in the quarter and heel. In some feet the white line in the heels is broader than in the quarters. In the toe region spacing of primary epidermal lamellae is much denser than in the palmar section sites. Per centimeter white line there are less lamellae in the quarters and in the heels than in the toe region. Interlamellar spacing in the heels is clearly larger than in the quarters or toe. K = hoof wall; WL = white line; S = sole

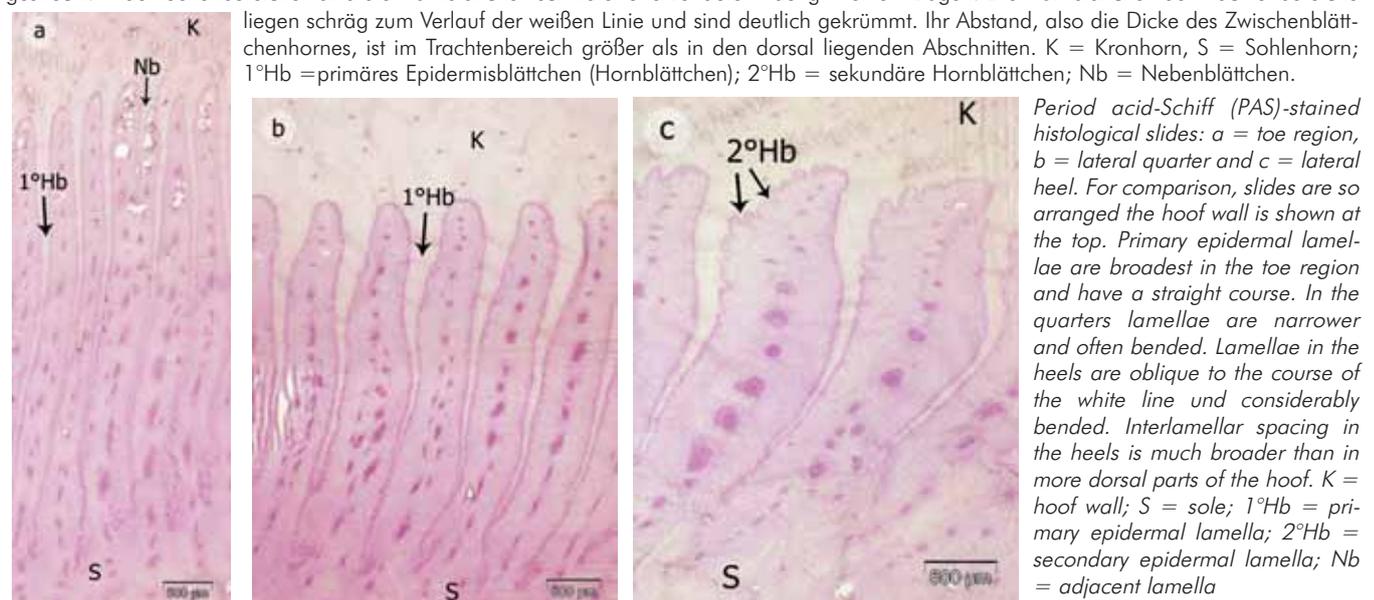
Abstand, also der Bereich, der mit Zwischenblättchenhorn gefüllt ist, ist hier am kleinsten (Mw: 265 μm). In den Seitenbereichen sind die Hornblättchen schmaler (Seite lateral und medial (Mw): 2,6 mm) und verlaufen häufig in einem Bogen. Gleichzeitig nimmt die Dicke des Zwischenröhrchenhorns im Seitenbereich deutlich zu (Seite lateral: 371 μm , medial 399 μm). Häufig sind die Hornblättchen in einem oder beiden Trachtenteilen breiter als in den Seitenteilen (Trachte lateral (Mw): 2,60 mm, medial: 2,76 mm). Der Abstand zwischen den Hornblättchen ist hier größer als in den dorsal liegenden Abschnitten (Trachte lateral: 502 μm , medial 514 μm). Gleichzeitig liegen die Hornblättchen in den Trachtenteilen schräg zum Verlauf der weißen Linie und deutlich gekrümmt,

so dass die Breite der weißen Linie trotz z. T. breiterer Hornblättchen schmaler ist als in den Seitenteilen.

Ausrichtung der Hornblättchen (Abb. 7)

Die Spitzen der Hornblättchen zeigen, außer im Eckstrebenbereich, immer in Richtung Hufmittelpunkt. Im Zehnrückenteil stehen die Hornblättchen fast senkrecht zum Verlauf der weißen Linie, weiter palmar sind sie schräg dazu ausgerichtet. Im Seitenteil in Nähe der weitesten Stelle des Hufes ändern die Hornblättchen ihre Richtung von schräg dorsoaxial nach schräg palmaroaxial. Je weiter palmar gelegen desto stärker

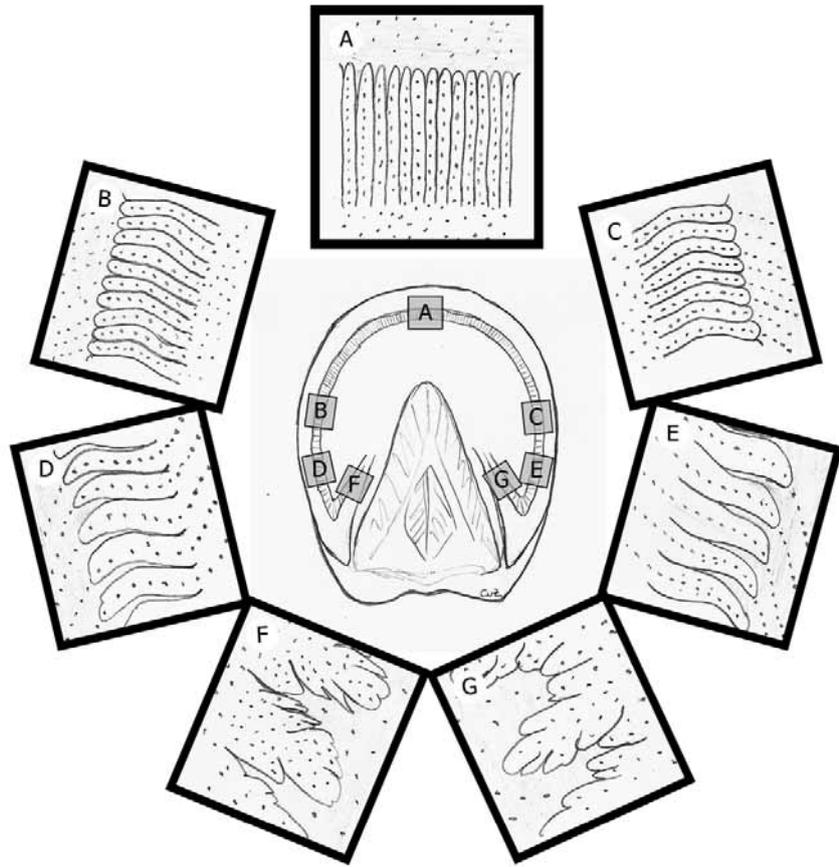
Abb 6 PAS gefärbte histologische Präparate: a = Zehnrückenteil, b = Seite lateral, c = Trachte lateral. Zum Vergleich sind die Schnitte so ausgerichtet, dass das Kronhorn oben im Bild zu sehen ist. Die Hornblättchen sind im Zehnrückenbereich am breitesten und verlaufen überwiegend gestreckt. In den Seitenbereichen sind die Hornblättchen schmaler und verlaufen häufig in einem Bogen. Die Hornblättchen der Trachtenbereiche



liegen schräg zum Verlauf der weißen Linie und sind deutlich gekrümmt. Ihr Abstand, also die Dicke des Zwischenblättchenhorns, ist im Trachtenbereich größer als in den dorsal liegenden Abschnitten. K = Kronhorn, S = Sohlenhorn; 1°Hb = primäres Epidermisblättchen (Hornblättchen); 2°Hb = sekundäre Hornblättchen; Nb = Nebenblättchen.

Period acid-Schiff (PAS)-stained histological slides: a = toe region, b = lateral quarter and c = lateral heel. For comparison, slides are so arranged the hoof wall is shown at the top. Primary epidermal lamellae are broadest in the toe region and have a straight course. In the quarters lamellae are narrower and often bended. Lamellae in the heels are oblique to the course of the white line and considerably bended. Interlamellar spacing in the heels is much broader than in more dorsal parts of the hoof. K = hoof wall; S = sole; 1°Hb = primary epidermal lamella; 2°Hb = secondary epidermal lamella; Nb = adjacent lamella

Abb 7 Schematische Darstellung der Strukturen der WL in ihrer Semizirkumferenz: A = Zehenrückenteil; B und C = Seitenteile; D und E = Trachtenteile; F und G = Eckstrebenanteile. Die Spitzen der Hornblättchen sind in Richtung Hufmitte ausgerichtet. In Nähe der weitesten Stelle des Hufes ändern die Hornblättchen ihre Richtung von schräg dorsozentral nach schräg palmarozentral. Im Trachtenbereich wird die Richtung des einzelnen Hornblättchens peripher von linear hintereinander gereihten Querschnitten der Kronhornröhrchen fortgesetzt, die nach palmar in Richtung Trachtenende ausgerichtet sind. Zentral wird dies durch hintereinander gereichte Sohlenhornröhrchen fortgesetzt, die bogenförmig im Sohlenschenkel nach dorsal verlaufen und sich schließlich im Sohlenhorn mit anderen Sohlenhornröhrchen vermischen. *Diagram of structural composition of the white line in its semi-circumference: A = toe region; B and C = quarters; D and E = heels; F and G = bars. The apices of the epidermal lamellae point towards the center of the hoof. Close to the widest part of the hoof the primary epidermal lamellae change their course from oblique dorsoaxial to oblique palmaroaxial. In the heel region the alignment of every single lamella is continued peripheral by horn tubules of the wall which are arranged in-line. Centrally this alignment is continued by horn tubules of the sole which are arranged bended in-line and eventually admix with other sole horn tubules.*



gewinkelt ist der Verlauf der Hornblättchen zum Verlauf der weißen Linie, häufig sind sie bogenförmig angeordnet. Bei Hufen mit einer weiten und einer geraden Seite, verlaufen die Hornblättchen im Seitenbereich an der runden, weiten Hufseite gestreckt, während sie an der geraden, engen Hufseite in Bögen verlaufen.

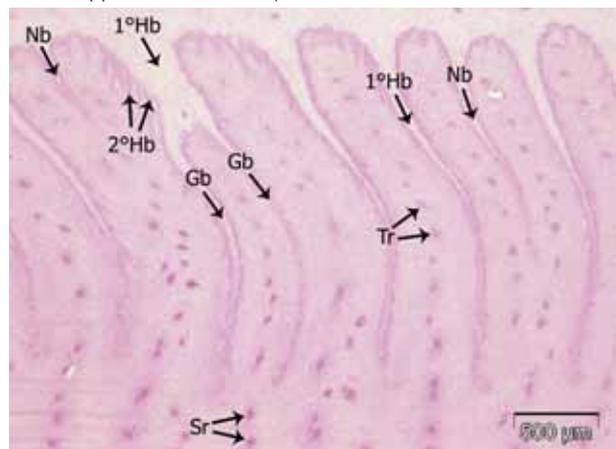
Im Trachtenbereich wird die Richtung des einzelnen Hornblättchens abaxial von linear hintereinander gereihten Querschnitten der Kronhornröhrchen fortgesetzt, die nach palmar in Richtung Trachtenende ausgerichtet sind. Axial im Trachtenbereich wird diese Linie durch aneinander gereichte Sohlenhornröhrchen fortgesetzt, die bogenförmig im Sohlen-

schenkel nach dorsal verlaufen und sich schließlich im Sohlenhorn mit anderen Sohlenhornröhrchen vermischen (Abb. 6c). Einige häufig auftretende besondere Hornblättchenformen sollen im Folgenden definiert werden:

Gabelblättchen

Das basale Ende eines primären Epidermisblättchens ist in zwei Gabelblättchen aufgespalten (Abb. 8). Dies kann einen unterschiedlichen Anteil der Breite des Hornblättchens betreffen. Häufig ist das übrig gebliebene Hornblättchen von Aufspaltung bis zur Basis verdickt und enthält mittig eine Reihe Kappenhornröhrchen (diese Besonderheit wurde in elf Hufen gefunden).

Abb 8 Einige häufig auftretende besondere Hornblättchenformen wurden definiert: Gabelblättchen (Gb) spalten das basale Ende eines primären Epidermisblättchens. Dies kann einen unterschiedlichen Anteil der Breite des Hornblättchens betreffen. Häufig ist das übrig gebliebene Hornblättchen von Aufspaltung bis zur Basis verdickt und enthält mittig eine Reihe Kappenhornröhrchen (diese Besonderheit wurde in elf Hufen gefunden). Ein Nebenblättchen (Nb) entspringt solitär zwischen den Basen zweier Hornblättchen. Das Ende des Nebenblättchens reicht jedoch nie so weit wie das eines regulären primären Epidermisblättchens (Nebenblättchen waren bei sechs Hufen vorhanden). Sr = Sohlenhornröhrchen; Tr = Terminalhornröhrchen; 1°Hb = primäres Hornblättchen; 2°Hb = sekundäres Hornblättchen. *Commonly occurring specific shapes of epidermal lamellae were defined: Bifurcated lamellae (Gb) fork the basal part of a primary epidermal lamella. This can affect a variable portion of the lamella. Frequently the remaining primary epidermal lamella is thickened and axially contains cap horn tubules. Bifurcated lamellae were found in eleven hooves. An adjacent lamella (Nb) arises solitary from the base in between two primary epidermal lamellae. However the apex of an adjacent lamella never reaches the width of a regular primary epidermal lamella. Adjacent lamellae were found in six hooves. Sr = sole horn tubules; Tr = terminal horn tubules; 1°Hb = primary epidermal lamella; 2°Hb = secondary epidermal lamella*



Nebenblättchen

Ein Nebenblättchen entspringt entweder am Hornblättchen selbst oder solitär zwischen den Basen zweier Hornblättchen (Abb. 8). Das Ende eines Nebenblättchens reicht nie so weit wie das eines regulären primären Epidermisblättchens (Nebenblättchen waren bei sechs Hufen vorhanden).

Kleine verhornte Sekundärblättchen

Diese Blättchenform befindet sich in der Nähe der Basis eines primären Epidermisblättchens (Abb. 9). Sie kommt in den meisten Trachtenteilen vor, aber auch im Seiten- und Zehenrückenbereich. Sofern verhornte Sekundärblättchen vorkommen, befinden sie sich immer an der palmaren Seite des primären Epidermisblättchens. Im Eckstrebenbereich verzweigen

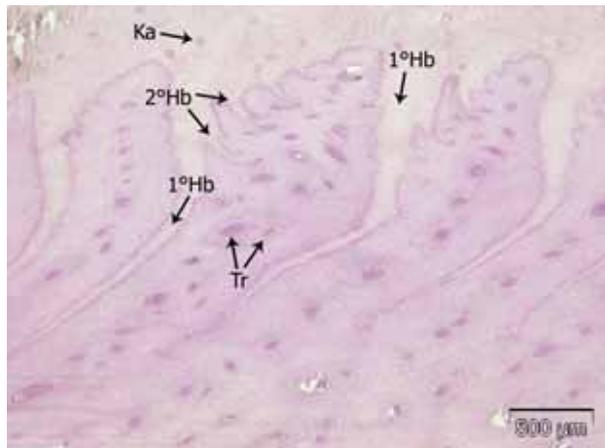


Abb 9 Kleine verhornte Sekundärblättchen (2°Hb) befinden sich in der Nähe der Basis eines primären Epidermisblättchens. Sie kommen in den meisten Trachtenteilen vor, aber auch im Seitenbereich. Sofern verhornte Sekundärblättchen vorkommen, befinden sie sich immer an der palmaren Seite des primären Epidermisblättchens. Im Eckstrebenbereich verzweigen sich manche verhornte Sekundärblättchen weiter zu Tertiärblättchen, die sehr breit werden können. 1°Hb = primäres Hornblättchen; 2°Hb = sekundäres Hornblättchen; Tr = Terminalhornröhrchen; Ka = Kappenhornröhrchen

Small keratinized secondary epidermal lamellae (2°Hb) arise near the base of a primary epidermal lamella. They occur in most heels and sometimes in the quarters. They always emerge from the palmar side of the primary epidermal lamella. In the bar region some keratinized secondary lamellae branch out and form keratinized tertiary lamellae, which can become very broad. 1°Hb = primary epidermal lamella; 2°Hb = secondary epidermal lamella; Tr = terminal horn tubules; Ka = cap horn tubules

sich manche verhornte Sekundärblättchen weiter zu Tertiärblättchen. Oftmals ist dann jedoch die Abgrenzung zum Nebenblättchen kaum möglich.

Terminalhornröhrchen (Abb. 6)

Die Anzahl, Anordnung und Größe der Terminalhornröhrchen variieren sehr stark zwischen den Hufen und innerhalb eines Hufes. Die Mittelwerte der Anzahl der Terminalhornröhrchen aller untersuchten Hufe betragen im Zehenrücken 13,6; Seite lateral: 10,8; medial: 10,7; Trachte lateral: 10,7; medial 11. Die Terminalhornröhrchen liegen in mindestens einer Reihe mittig in der gesamten Länge des Zwischenblättchenspaltes. Häufig sind zusätzlich noch Zweier- oder Dreierreihen ausge-

bildet oder die Terminalhornröhrchen liegen ohne erkennbare Regelmäßigkeit in der Anordnung vor. Die Größe ihrer Anschnittsfläche (des Durchmessers) variiert sehr stark.

Diskussion

Die Breite und Zusammensetzung der weißen Linie variieren sehr stark in Abhängigkeit von ihrer Lokalisation. Im Zehenrückenteil sind die Hornblättchen sehr viel dichter aneinander gedrängt und von gestrecktem Verlauf. Je weiter palmar, desto größer sind die Abstände zwischen den schmaler werdenden Blättchen, deren Verlauf zunehmend gebogen ist. Dies spiegelt die Funktion des Hufbeinträgers in den korrespondierenden Gebieten wieder: in der vorderen (dorsalen) Hufhälfte dominiert die Aufhängung des Hufbeines (=Tragefunktion), in der hinteren (palmaren) Hufhälfte die elastische Verankerung der Hornkapsel mit den Hufknorpeln (=Verankerungsfunktion), welche die seitliche Bewegung der Hornkapsel (Spreizung der Trachten) bis zu einem gewissen Grad mitmacht. Auch Henke (1997) beschreibt bei seiner Untersuchung über den Hufbeinträger diese regionalen Unterschiede.

Dementsprechend nehmen die Dicke des Zwischenblättchenspaltes und damit die Menge des Füllhorns nach palmar zu. Korrespondierend dazu sprechen Kroon und Demoulin (1929) im Hufbeinträger von einer Verbreiterung bzw. Dickenzunahme der primären Lederhautblättchen. Da das Füllhorn vom weichen Verhornungstyp ist, vergrößert dies die Elastizität der weißen Linie, was der Flexibilität im palmaren Anteil der Hornkapsel entgegenkommt.

Gleichzeitig erscheinen die Hornblättchen im palmaren Abschnitt der Hornkapsel zunehmend gebogen. Erfolgt die Biegung in Nähe der Blättchenbasis, dort wo die Blättchen noch relativ dick sind, so ist dies vermutlich als physiologisch zu werten. Dieser „Elastizitätsknick“ könnte wichtig sein für die Flexibilität der Hornkapsel und die Bewegung der Trachten in horizontaler und vertikaler Richtung. Vermutlich begründen sich die Hornblättchen bei einer Spreizung der Trachtenwände (also bei einer Belastung des Hufes), wobei das elastische Füllhorn, welches zwischen den Hornblättchen liegt, dieser Bewegung folgen kann.

Interessant ist die Struktur der Hornblättchen bei Hufen, in denen die Wand einer Seite runder verläuft als die Wand der anderen, eher geraden Seite. An der runden Seite verlaufen die Hornblättchen gestreckt, während sie an der geraden Seite in Biegung verlaufen. Trotzdem unterscheidet sich die Breite der Hornblättchen in solchen Hufen nicht wesentlich zwischen lateral und medial. Das deutet daraufhin, dass eine bestimmte Breite des Hornblättchens angelegt ist und bei Bedarf (also bei entsprechender Form der Hornkapsel und Ausweiten einer Seite) auch gestreckt werden kann.

Im Trachtenbereich setzen in Reihen angeordnete Kron- bzw. Sohlenhornröhrchen die Richtung der Hornblättchen nach innen bzw. außen fort. Bruhnke (1931) und Habermehl (1996) erwähnen, dass die Kronlederhautzöttchen im Seiten- und Trachtenbereich in Reihe gestellt sind und bogenförmig nach den Trachten hin angeordnet sind. Henke (1997) beschreibt, dass die Papillen sowohl der Kronlederhaut als auch der Sohlenlederhaut, die unmittelbar an das Wandseg-

ment angrenzen, auf leistenartigen Erhebungen stehen. Dies entspricht den Befunden von Mülling (1993) an der Rinderklaue. Bragulla (1996) zeigt, dass in der Embryogenese bei der Entwicklung des segmentspezifischen Papillarkörpers segmentübergreifende Lederhautleisten gebildet werden, die sich dann weiterentwickeln. Kroon und Demoulin (1929) werten dieses Strukturcharakteristikum als eine Verstärkung der Widerstandskraft des Kronhorns und als Förderung der Elastizität. Vermutlich erhöht diese Anordnung der Hornröhrchen die Elastizität des palmaren Abschnittes der Hornkapsel.

Die Bildung von Neben- und Gabelblättchen dient vermutlich der Oberflächenvergrößerung des Hufbeinträgers. Bowker (2003) beschreibt diesen Prozess als Bifurkation und nimmt an, dass nach einiger Zeit der Differenzierung kein Unterschied zu den primären Epidermisblättchen mehr erkennbar ist. Er erwähnt, dass Nebenblättchen vor allem im juvenilen Stadium entstehen, wenn der Huf größer wird. Durch diesen Prozess gleicht sich der Hufbeinträger an das Wachstum des Hufes an.

Es wäre wichtig, die „normale“ Zahl und Umfang der Terminalhornröhrchen zu ermitteln, um Abweichungen beurteilen zu können. Durch die stark unterschiedliche Ausprägung war dies in der vorgestellten Untersuchung jedoch nicht möglich. Je größer der Umfang der Terminalhornröhrchen ist, desto größer ist der Markanteil des Röhrchens. Dieser besteht aus bröckeligem Horn, das sehr viel empfänglicher für bakterielle Zersetzung ist als die eng aneinander liegenden Hornzellen in engen Hornröhrchen von kleinem Umfang. Budras und Schiel (1996) haben gezeigt, dass sich in großen Terminalhornröhrchen große Markräume befinden, die beim Hauspferd häufig leer sind und so den Weg für aufsteigende Infektionen frei machen. Treten in einem Zwischenblättchenspalt viele Terminalhornröhrchen nebeneinander - statt wie sonst meist hintereinander - auf, so ist dies vermutlich die Folge von Entzündungsprozessen, die mit verstärkter epidermaler Proliferation einhergehen. Hierbei wird minderwertiges (dyskeratotisches) Horn im Übermaß gebildet, das auf dem histologischen Schnitt leicht herausbröckelt und zu Artefakten und Löchern führt. Denkbar wäre, dass eine entzündliche Reizung der Terminalpapillen zu ihrer ‚Aufpinselung‘ führt, wodurch über ihrem epidermalen Überzug multiple Hornröhrchen entstehen.

Im palmaren Hufbereich sind die Bestandteile der weißen Linie (Blättchen sowie Terminal- und Kappenhornröhrchen) für jeden Huf stark individuell ausgeprägt, weshalb es mit dem vorliegenden Probenmaterial schwierig ist, die „normale“ Form der weißen Linie zu definieren. Die Strukturen der einzelnen Hufe wichen z. T. deutlich voneinander ab. Diese Diversität ist vermutlich auf unterschiedliche Belastungsverhältnisse der eher elastischen Bereiche der individuellen Hufe zurückzuführen, da sich das epidermale Gewebe als Antwort auf Belastung umbaut (Sarratt und Hood 2005). Eine Erklärung für diese strukturelle Diversität der weißen Linie liefern Bragulla und Hirschberg (2003): die Struktur der Hornkapsel, also die dreidimensionale Anordnung der Epidermiszellen, wird direkt bestimmt durch die dermale Oberfläche des darunter liegenden Papillarkörpers. Diese dermoepidermale Grenzfläche passt sich an die biomechanischen Ansprüche des jeweiligen Areals an, wobei die avaskuläre Epidermis absolut abhängig ist von dermalen Blutgefäßen und den aus ihnen diffundierenden Nährstoffen und Wachstumsfaktoren. Bragulla (1996) vermutet, dass in überlasteten Hufregionen

die Umgestaltung des Papillarkörpers durch Sauerstoff- und Nährstoffmangel initiiert wird.

Aus anatomisch-morphologischer Sicht gibt es für die weiße Linie einen Grundbauplan (Abb. 7), der durch die fetale Entwicklung festgelegt ist. Ob die individuell unterschiedliche Ausprägung des Grundbauplanes als physiologisch zu bewerten ist, bedarf weiterer Untersuchungen. Die Diversität der Strukturen spiegelt vermutlich die Adaptationsfähigkeit der Hornkapsel an Belastungen wider, denen der Huf ausgesetzt war. Hierzu zählen wahrscheinlich sowohl Haltungsbedingungen, Bodenbeschaffenheit, Bewegungsmöglichkeit und Nutzung des Pferdes, als auch seine Gliedmaßenstellung, Exterieur und nicht zuletzt die vorgenommene Hufzubereitung und -beschlag.

Literatur

- Bowker R. M. (2003) The growth and adaptive capabilities of the hoofwall and sole: functional changes in response to stress. Am. Assoc. Equine Pract. Proceedings 49, 146-168
- Bragulla H. (1996) Zur fetalen Entwicklung des Pferdehufes. Berlin, Vet. Med. Habil. Berlin
- Bragulla H. und Hirschberg R. (2003) Horse hooves and bird feathers: two models systems for studying the structure and development of highly adapted integumentary accessory organs - the role of the dermo-epidermal interface for the micro-architecture of complex epidermal structures. J. of Experimental Zoology 298B,140-151
- Bruhne J. (1931) Vergleichende Untersuchungen der Hornwandstruktur des Zehenendes bei Huf- und Klauentieren. Dtsch. Tierärztl. Wschr 39, 4-10
- Budras K.-D. und Schiel C. (1996b) A comparison of horn quality of the white line in the domestic horse (*Equus caballus*) and the Przewalski horse (*Equus przewalski*). Pferdeheilkunde 12, 4, 641-645
- Habermehl K.-H. (1996) Zehenendorgan des Pferdes. In: Nickel R., A. Schummer u. E. Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, 3. Aufl., Bd. 3; Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, 557-576
- Henke F. (1997) Hufbeinträger und Hufmechanismus im Seiten-, Trachten-, und Eckstrebenteil des Pferdehufes. Vet. Med. Diss. Berlin
- Kroon H. M. und de Moulin E. W. K. (1929) Die Verbindung der Hornwand mit der Fleischwand, sowie das Wachstum der primären und sekundären Hornblättchen. Dtsch. Tierärztl. Wschr. 17, 224-228
- Mülling C. (1993) Struktur, Verhornung und Hornqualität in Ballen, Sohle und weißer Linie der Rinderklaue und ihre Bedeutung für Klauenerkrankungen. Vet. Med. Diss. Berlin
- Nickel R. (1938) Über den Bau der Hufhörchen und seine Bedeutung für den Mechanismus des Pferdehufes. Morph. Jahrbuch 82, 117-160
- O'Grady S. E. (2002) White line disease – an update. Equine vet. Educ. 14, 1, 51-55
- Redden R. F. (1990) White Line Disease. Equine Practice 12, 14-18
- Sarratt S. M. und Hood D. M. (2005) Evaluation of architectural changes along the proximal to distal regions of the dorsal laminar interface in the equine hoof. Am. J. Vet. Res. 66, 2, 277-283
- Savoldi M. T. (2006) Kriterien zur Barhufzurichtung nach Ausrichtung der Hufsohle. Pferdespiegel 1, 30-31
- Savoldi M. T. (2007) Identifying the true foot of the horse. 10th Geneva Congress of Equine Medicine and Surgery, 11.-13. Dezember 2007, 63-68

Dr. Charlotte von Zadow
Institut für Veterinär-Anatomie
Freie Universität Berlin
Koserstraße 20
14195 Berlin
cvzadow@yahoo.com