

Endogene Einflussfaktoren auf die Hornqualität im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment des Pferdehufes – Teil 1: Architektur des Hornzellverbandes

Anne-Katrin Frohnes¹ und K.-D. Budras²

¹Tierklinik Hochmoor, Gescher, ²Institut für Veterinär-Anatomie im FB Veterinärmedizin der FU Berlin

Zusammenfassung

Am rechten Vorderhuf von insgesamt 25 hufgesunden Warmblutpferden wurde im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment die Struktur von Dermis und Epidermis untersucht.

Die Lederhaut bildet im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment einen zottenförmigen Papillarkörper aus, über dem von den Epidermiszellen Röhrenhorn gebildet wird. Die Oberflächenvergrößerung durch Papillen dient einerseits der Sicherung der Adhäsion zwischen Ober- und Lederhaut, zum anderen verbessert sie die Ernährung der avaskulären Epidermis durch Vergrößerung der Diffusionsoberfläche. Während sich in Sohle und Ballen runde Papillenquerschnitte finden, treten im Ballen ovale Anschnitte der Lederhautzöttchen auf. Die Oberfläche der Papillen ist durch eine Kannelierung und Mikroleisten vergrößert. Entsprechend der Papillenform besitzen die Hornröhren im Sohlensegment einen runden, im Ballen-Strahlsegment einen ovalen Querschnitt. Die Zellen der Röhrenrinde sind schmal, parallel zur Röhrenlängsachse abgeplattet und um das Röhrenmark herum gewickelt. Im Zwischenröhrenhorn sind die Zellen parallel zur Oberfläche abgeplattet und erinnern im rasterelektronenmikroskopischen Bild an Schieferplatten. Beide Zelltypen zeigen eine Oberflächenvergrößerung durch leistenartige Fortsätze, die in entsprechende Invaginationen der Nachbarzellen hineinragen. Die Zellen des Röhrenmarks sind groß, nur geringgradig abgeplattet und besitzen eine glatte Oberfläche. Diese medullären Hornzellen zerfallen sehr schnell, wodurch Eintrittspforten für eine aufsteigende Invasion von Mikroorganismen entstehen.

Durch die Bildung und Abschilferung des Zerfallshornes werden die natürliche Sohlenwölbung und dadurch der Hufmechanismus aufrecht erhalten.

Schlüsselwörter: Pferdehuf, Papillarkörper, Röhrenhorn, Hornqualität

Endogenous influences on the horn quality from the sole, bulb and frog segments of the horseshoe

The structure of the dermis and epidermis in the sole, bulb and frog segments of the right forehoof from 25 warm blooded horses was examined.

The papillary body of the dermis forms papillae within the sole, bulb and frog segments, above which tubular horn is produced by the epidermal cells. Enlarging the surface through papillae not only leads to a more secure adhesion of the epidermis and dermis but also improves the nutrition of the avascular epidermis by expanding the diffusion surface. While the cross sections of the papillae in the sole segment are round, the transsections of these papillae in the bulb and frog are oval. The surface of the papillae is cannellured and enlarged by micro-crests. According to the form of the papillae, the horn tubules of the sole segment have a round cross section, those of the bulb and frog segments are oval. The cells of the horn tubule cortex are narrow, flattening parallel to the longitudinal axis and wrapped around the horn tubule medulla. The cells of the intertubular horn are flattened parallel to the surface looking like slabs of slate stones. Both cell types show an expansion of their surface through crest-like processes which project into corresponding invaginations of the neighboring cells. The cells of the tubular medulla are large, with insignificant flattening and they have a smooth surface. Because these medullary horn cells disintegrate very fast, a portal of entry for an ascending invasion of microorganisms is formed.

With the production and desquamation of disintegrated horn, the natural fornix of the sole and, with that, the hoof mechanism is maintained.

Keywords: horseshoe, papillary body, tubular horn, horn quality

Einleitung

Der Huf – eine Modifikation der äußeren Haut – besteht ebenso wie diese aus drei Schichten, der Oberhaut (Epidermis), der Lederhaut (Dermis) und der Unterhaut (Subcutis). Während die Subcutis im Sohlensegment fehlt (Bragulla und Budras, 1997), ist sie im Ballen-Strahlsegment zu einem stoßbrechenden Polster verdickt (Habermehl, 1996). Die Funktion der Lederhaut ist zum einen die Ernährung der avaskulären Hufoberhaut und zum anderen die Sicherung der mechanischen Verbindung zur Oberhaut. Zu diesem Zweck ist die Lederhaut in Form von kegelförmigen Zotten (Papillae dermales) und den im Wandseg-

ment auftretenden Blättchen (Lamellae dermales) vergrößert (Habermehl, 1996). Die noch lebenden Zellen der Hufoberhaut bilden durch den Prozess der Verhornung bei programmiertem Zelltod das Hufhorn, welches im Gegensatz zu der behaarten Haut nicht abschilfern soll, sondern als Hufkapsel die inneren Anteile des Hufes vor mechanischen Insulten schützt (Nickel, 1938). Epidermis und Dermis verhalten sich zueinander wie Matrize (Stempeleindruck) und Patrizie (Prägestempel) (Boas, 1881). Daher entstehen in Sohle, Strahl und Ballen über den Lederhautpapillen Hornröhren. Die Hornröhren be-

stehen aus dem zentral gelegenen Mark und der umgebenden Rinde. Das Röhrchenmark entsteht aus den Epidermiszellen, die sich auf der Papillenspitze (suprapapillär) befinden. Die Röhrchenrinde entsteht aus den Epidermiszellen, die der Lederhautpapille seitlich aufsitzen (peripapillär). Umgeben werden die Hornröhrchen von dem Zwischenröhrchenhorn, das interpapillär gebildet wird. In der Literatur herrscht bisher keine einheitliche Meinung zur Architektur des Hornzellverbandes und zur Form der Hornzellen im Pferdehuf.

Die Hornqualität wird neben exogenen Faktoren wie den Haltingsbedingungen und der Hufpflege von einer Vielzahl endogener Faktoren wie zum Beispiel der genetischen Disposition des Pferdes sowie seiner Versorgung mit Nährstoffen, Vitaminen und Mineralstoffen beeinflusst. Letztendlich wird die Hornqualität aber durch die Struktur der Epidermis beziehungsweise des von ihr gebildeten Hornes bestimmt. Diese strukturellen Einflussfaktoren werden von Mülling (1993) und Pellmann et al. (1993) in die Architektur des Hornzellverbandes, intrazelluläre und interzelluläre Faktoren unterteilt.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Erarbeitung der normalen Struktur und Funktion von Dermis und Epidermis in Sohle, Strahl und Ballen, um so eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen in der Pathologie zu schaffen. Das Hauptaugenmerk zielt auf Prädilektionsstellen für Hufkrankungen. Die intra- und interzellulären biochemischen und morphologischen Veränderungen in den verhornenden Zellen, die Einfluss auf die Hornqualität nehmen, werden in einem zweiten Teil dieser Arbeit veröffentlicht.

Material und Methoden

Für die Untersuchungen wurden jeweils sechs Proben aus dem rechten Vorderhuf von 25 Pferden im Alter zwischen drei und fünfzehn Jahren entnommen. Es wurden nur regelmäßige Hufe verwendet, die makroskopisch keine Anzeichen einer pathologischen Veränderung aufwiesen. Mit einer Tischbandsäge wurde etwa 5 mm beidseits der Medianen der Huf vollständig durchgesägt und so eine Sagittalscheibe von ca. 1 cm Dicke entnommen. Die laterale Hälfte des Hufes wurde ebenfalls in 1 cm dicke Sagittalscheiben zersägt. Aus diesen Scheiben wurden Probenblöckchen herausgearbeitet, die alle Epidermis, Dermis und, sofern ausgebildet, Subkutis umfassten. Die Probenentnahmestellen können der Abb. 1 entnommen werden. Für die lichtmikroskopischen Untersuchungen wurden die fixierten und aufbereiteten Proben einer Hämatoxylin/Eosin (HE)-Färbung, einer Perjodsäure-Schiff-Reaktion sowie einer Sudanschwarz B-Färbung unterzogen. Für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen wurden zur Darstellung des Papillarkörpers Dermis und Epidermis durch Essigsäure getrennt und die Proben anschließend aufbereitet. Zur Darstellung der Hornstruktur wurden die Proben schockgefroren und anschließend an definierten Stellen zielgerichtet gebrochen. Darüber hinaus wurden Präparate für transmissionselektronenmikroskopische Untersuchungen angefertigt. Eine detaillierte Beschreibung der Probenaufbereitung und der angewandten Untersuchungsmethoden findet sich in der Dissertation von Frohnes (1999).

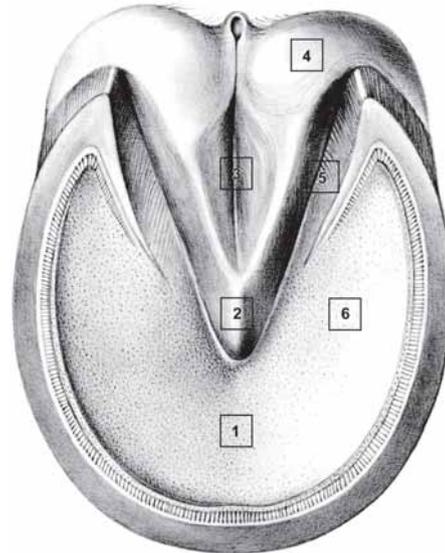


Abb. 1: Schematische Zeichnung der Grundfläche eines rechten Vorderhufes. Die Probenentnahmestellen sind mit den Ziffern 1 bis 6 gekennzeichnet:

1. Sohle axial (Sohlenkörper); 2. Strahlspitze; 3. mittlere Strahlfurche; 4. Lateraler Ballenwulst; 5. seitliche Strahlfurche; 6. Sohle lateral (Sohlenschenkel)

Systematic illustration of the solear surface of a right forehoof. Sights of sample collection are marked with numbers 1 to 6:

1. median sole (central part of the sole); 2. apex of frog; 3. central groove of frog; 4. lateral bulb pad; 5. collateral groove of frog; 6. lateral part of the horny sole

Ergebnisse

Dermales Papillarkörper

Die Lederhautpapillen sind im Sohlensegment in parallel zueinander verlaufenden Reihen angeordnet. Die langen Papillen besitzen eine schlanke, spitzkegelige gestreckte Form und einen runden Querschnitt (Abb. 2a). Sie entspringen schräg aus der Lederhautoberfläche und dringen parallel zueinander in die Epidermis ein. Im Strahl sind die Papillen ebenfalls in parallelen Reihen angeordnet, stehen aber weniger dicht nebeneinander als in Sohle und Ballen (Abb. 2b). Die bandförmig abgeplatteten Papillen des Strahls entspringen ebenfalls senkrecht aus der ebenen Lederhautoberfläche und besitzen einen ovalen Querschnitt, wobei der längste Durchmesser parallel zu den Papillenreihen ausgerichtet ist. Sie sind im proximalen Drittel leicht gebogen und kürzer als die in Sohle und Ballen. Die von der Ballenlederhaut gebildeten Papillen sind abgerundet und stehen dicht nebeneinander, eine Anordnung in Reihen ist nur andeutungsweise erkennbar (Abb. 2c). Die langen, schlanken Papillen sind dünner als die in der Sohle, entspringen senkrecht aus der ebenen Lederhautoberfläche und sind parallel zueinander im leichten Bogen zur Fußungsfläche des Hufes hin ausgerichtet. In allen untersuchten Segmenten weisen die Papillen im ihrem proximalen Drittel eine Oberflächenvergrößerung in Form einer Kannelierung auf, die im Ballen besonders deutlich ausgeprägt ist. Zusätzlich ist die Oberfläche aller untersuchten Papillen durch feine Mikroleisten vergrößert, die erst in der distalen Papillenhälfte verstreichen. Die

interpapilläre Lederhautoberfläche ist in Strahl und Ballen glatt, während sie in der Sohle feine leistenartige Erhebungen aufweist, die an der Papillenbasis in Form der Kannelierung auf die Papillen übergeht.

den Schmalseiten sind die Zellen der Röhrrchenrinde stark ineinander verzahnt, während die Zellränder an den langen Seiten eher gerade verlaufen. In Strahl und Ballen (Abb. 3c) finden sich an den Schmalseiten der ovalen Hornröhrrchen plat-

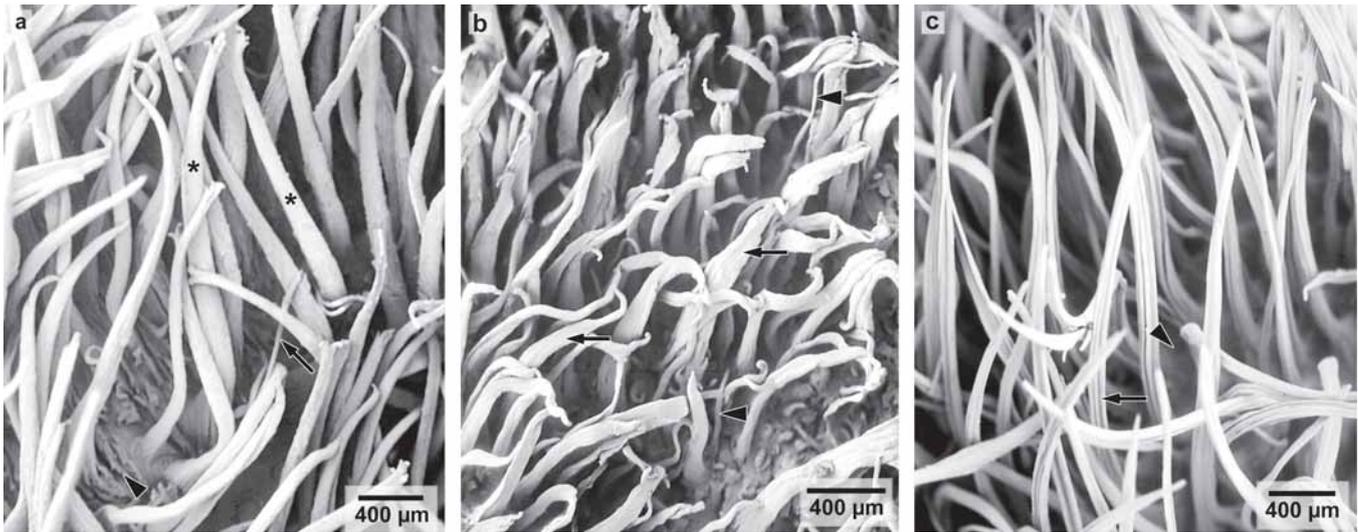


Abb. 2: Bindegewebige Papillen der verschiedenen Segmente an der Grundfläche des Hufes

- a: Sohlenlederhaut: Die Lederhautpapillen (Sterne) sind lang, schmal und haben eine spitzkegelige Form. Vereinzelt treten sehr viel dünnere, fadenförmige Nebenpapillen auf (Pfeil). Die interpapilläre Lederhautoberfläche ist durch niedrige Lederhaulteisten vergrößert (Pfeilkopf).
- b: Seitliche Strahlfurche: Die ovalen, bandförmig erscheinenden Papillen (Pfeile) gehen senkrecht aus der Lederhautoberfläche hervor. Neben den Hauptpapillen finden sich zahlreiche fadenförmige Nebenpapillen (Pfeilköpfe).
- c: Ballenlederhaut Die runden Lederhautpapillen des Ballens sind sehr schlank und in der proximalen Papillenhälfte deutlich kanneliert (Pfeil). Die interpapilläre Lederhautoberfläche ist glatt (Pfeilkopf).

Dermal papillae of the different segments on the solear surface of the hoof

- a: *Corium of the sole. The dermal papillae (asterisk) are long, narrow and pointed. Scattered thinner, filamentous side papillae can exist (arrow). The inter-papillary dermal surface is expanded by low dermal crests (arrowhead).*
- b: *Collateral groove of frog: The oval, band-like papillae (arrow) arise vertically from the surface of the corium. Besides the dermal papillae there are several filamentous side papillae (arrowheads).*
- c: *Dermis of the bulb: The round dermal papillae of the bulb are very slim and significantly cannelured in the proximal part of the papillae (arrow). The inter-papillary surface of the dermis is smooth (arrowhead).*

Architektur des Hornzellverbandes

Das interpapillär gebildete Horn (Zwischenröhrrchenhorn) besteht in Sohle, Strahl und Ballen aus plattenförmigen, parallel zur Hornoberfläche abgeflachten Zellen (Abb. 3a), deren Gestalt im rasterelektronenmikroskopischen Bild an Schieferplatten erinnert. Die Oberfläche der Zellen ist durch feine finger- bis leistenförmige Fortsätze vergrößert (Abb. 4c).

Die Hornröhrrchen bestehen aus der Röhrrchenrinde und dem Röhrrchenmark. In der Sohle besitzen die Hornröhrrchen einen runden Querschnitt mit rundem Markraum (Abb. 3a), die Röhrrchen des Ballen-Strahlsegmentes sind oval (Abb. 3b), wobei sie im Strahl einen ovalen und im Ballen einen runden Markraum aufweisen. In allen untersuchten Segmenten besitzen die Hornzellen der Röhrrchenrinde eine lange, schmale Form und sind um die Röhrrchenlängsachse herum gewickelt (Abb. 4b). Die Zellen sind parallel zur Röhrrchenlängsachse abgeflacht, ihre Oberfläche ist ebenso wie die der Zwischenröhrrchenhornzellen durch finger- bis leistenförmige Fortsätze vergrößert. An

tenförmige Hornzellen, die formal den Zellen des Zwischenröhrrchenhorns ähneln. Die Zellen des Röhrrchenmarks besitzen segmentübergreifend eine einheitliche Form. Sie sind groß, kubisch und nur geringfügig abgeplattet. Die Oberfläche der Hornzellen ist glatt. Die Markzellen zerfallen sehr schnell, so dass der distale Abschnitt der Hornröhrrchen oft nur mit Zellbruchstücken angefüllt oder, insbesondere im Sohlenhorn, leer ist.

Die Hornröhrrchen sind im Sohlenhorn in Reihen angeordnet sowie parallel zueinander und schräg dorsodistal ausgerichtet. Von der Hornoberfläche ausgehende Risse verlaufen vorwiegend an der Grenze zwischen Röhrrchenrinde und Zwischenröhrrchenhorn (Abb. 4a) sowie am Übergang vom Röhrrchenmark zu den inneren Rindenschichten. Durch die Rissbildung entsteht das „Zerfallshorn“, das sich bei zunehmendem Verlust der Zellintegrität von den soliden Hornmassen ablöst. Dadurch kommt es zur Abschilferung größerer Hornschuppen mit einem Durchmesser von mehreren Millimetern und zur Separierung kleiner Zellgruppen, die mit bloßem Auge als feines Horn-

pulver wahrgenommen werden. Im Strahl sind die Hornröhrchen ebenfalls in Reihen angeordnet und verlaufen geschlän-

Vergleich zu entsprechenden Verhältnissen in der Sohle sehr viel kleiner sind.

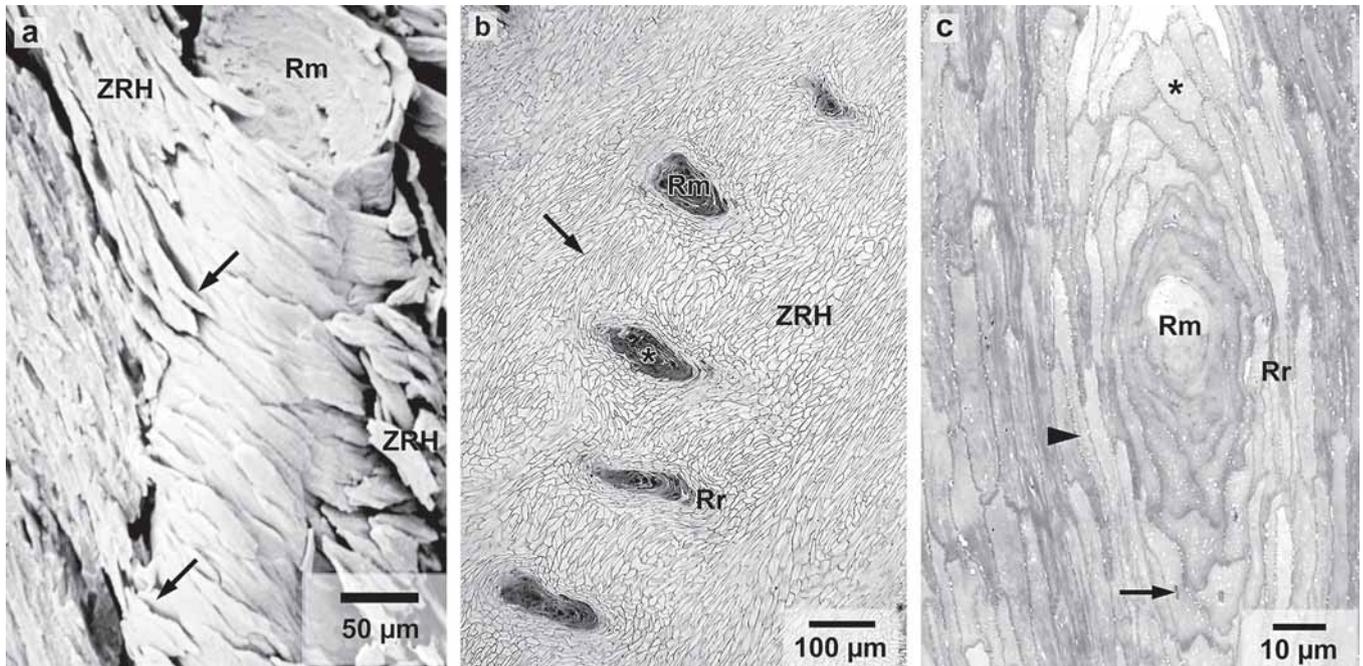


Abb. 3: SEM-Aufnahme (Abb. 3a) und lichtmikroskopische Aufnahmen (Abb. 3b und c) von Hornröhrchen aus den verschiedenen Segmenten der Grundfläche des Hufes.

- a: Sohlenhornröhrchen, längs: Das runde Hornröhrchen wird vom Zwischenröhrchenhorn (ZRH) umschlossen. Die Zellen des Zwischenröhrchenhorns legen sich der äußeren Schicht der Röhrchenrinde dabei schräg an (Pfeile).
- b: Strahlhornröhrchen, quer (Kohlenhydratnachweis, PAS): Die Hornröhrchen besitzen im Strahl einen ovalen Querschnitt mit ovalem Markraum (Rm) und sind in Reihen angeordnet. ZRH: Zwischenröhrchenhorn, Rr: Röhrchenrinde, Stern: zerfallende Markzellen, Pfeil: kohlenhydratreicher Interzellularspalt.
- c: Ballhornröhrchen, quer: Die ovalen Hornröhrchen mit rundem Röhrchenmark (Rm) bestehen aus rundlichen Zellen. Die Zellen der Röhrchenrinde (Rr) sind zirkulär angeordnet. An den Längsseiten der Hornröhrchen sind die Zellen sehr lang und schmal (Pfeilkopf), während sie an den Schmalseiten eine eher kubische Gestalt besitzen (Stern). Pfeil: Kernrest

Scanning electron micrograph (Fig. 3a) and micrograph (Fig. 3b and c) of horn tubules from the different segments of the solear surface of the hoof.

- a: Horn tubule of the sole, longitudinal: The round horn tubules are surrounded by intertubular horn (ZRH). The cells of the inter-tubular horn deposit oblique to the outer layer of the horn tubule cortex (arrow).
- b: Frog horn tubules, transverse (carbohydrate detection, PAS): The horn tubules of the frog show an oval cross section with an oval medullary cavity (Rm) and they are arranged in rows. ZRH: Intertubular horn; Rr: Horn tubule cortex; asterisk: medullary cell decay; arrow: carbohydrate-rich intercellular fissure
- c: Bulb horn tubules, transverse: The oval horn tubules show a round tubular medulla (Rm) and consist of almost round cells. The cells of the horn tubule cortex (Rr) have a circular arrangement. The cells along the longitudinal sides of the horn tubules are very long and narrow (arrowhead), whereas those of the narrow side have a more cubic, irregular shape (asterisk). Arrow: nucleic residue

gelt distal. Die Hornröhrchen sind kleiner als die im Sohlensegment, wobei sie eine dünnere Rinde und einen größeren Markraum als die Sohlenhornröhrchen aufweisen. Die Hornröhrchen im Ballen verlaufen gebogen und parallel zueinander in palmodistaler Richtung. Die ovalen Röhrchen sind dabei parallel zur Oberfläche des Ballenwulstes abgeplattet. Sie sind sehr viel kleiner als die in Sohle und Strahl und besitzen im Verhältnis zur Rinde einen weiten Markraum. In Strahl und Ballen treten von der äußeren Oberfläche ausgehend zahlreiche Risse vorwiegend an der Grenze zwischen Röhrchenrinde und Zwischenröhrchenhorn auf, die aber nur zum Abschilfern einzelner Hornzellen und kleinerer Zellgruppen führen und im

Diskussion

Die Zergliederung der in der fetalen Entwicklung des Hufes angelegten Lederhautleisten in Papillen dient der Vergrößerung der dermoepidermalen Grenzfläche (Bragulla, 1996). Während im Ballen-Strahlsegment der ursprünglich leistenförmige Papillarkörper vollständig zergliedert ist, bleiben im Sohlensegment niedrige Leisten zwischen den Papillenreihen erhalten. Eine weitere Vergrößerung der Lederhautoberfläche erfolgt durch die bereits von Kunsien (1882) beschriebene Kannelierung der Papillen sowie durch Mikroleisten. Durch die Oberflächenvergrößerung wird zum einen der mechanische Zusammenhalt der

dermoepidermalen Verbindung gewährleistet und zum anderen die Diffusionen von Nährstoffen aus den Gefäßen der Lederhaut zur avaskulären Oberhaut erleichtert. Trotz der Ober-

missionselektronenmikroskopischen Untersuchungen exakte Aussagen über die Form und Außenbeschaffenheit der Zellen, da durch diese Methode die Oberfläche einer dreidimensiona-

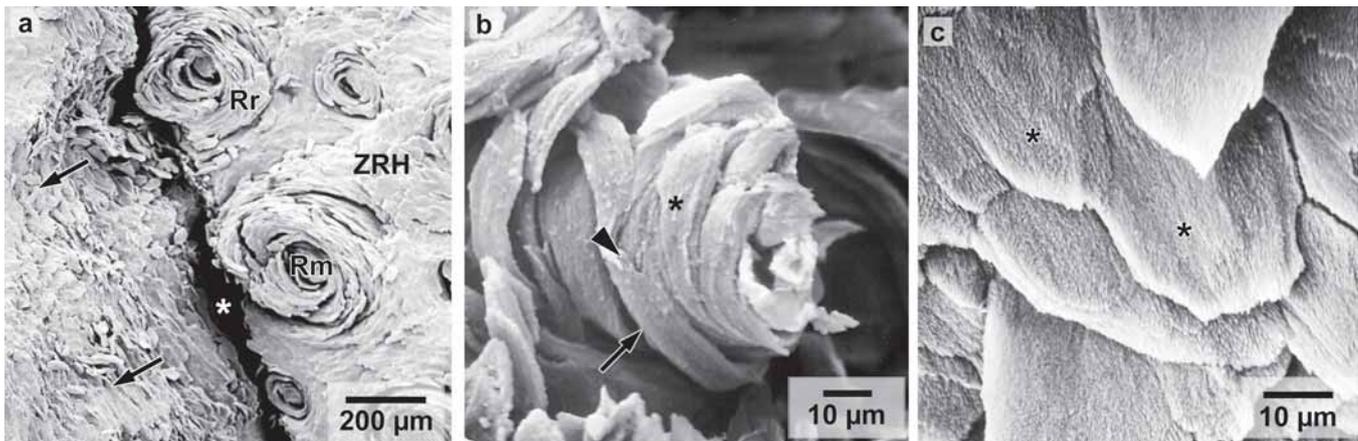


Abb. 4: SEM-Aufnahmen aus dem Sohlenhorn

- a: Zerfallshorn: Während im rechten Teil des Bildes der Hornzellverband solide erscheint, ist im linken Bildteil eine Hornschuppe aus Zerfallshornzellen (Pfeil) herausgebrochen. Der Riß (Stern) verläuft an der Grenze zur Röhrenrinde (Rr) durch das Zwischenröhrenhorn (ZRH). Rm: Röhrenmark
- b: Sohlenhornröhren: Die Rindenzellen (Stern) sind lang, schmal und parallel zur Röhrenlängsachse abgeflacht. Sie sind um das Röhrenmark herum gewickelt. Die Seitenränder der Zellen verlaufen gerade (Pfeil), an den Stirnseiten sind die Ränder unregelmäßig gezackt (Pfeilkopf).
- c: Zwischenröhrenhornzellen: Die schuppenförmigen Zwischenröhrenhornzellen (Sterne) sind parallel zur natürlichen Hornoberfläche abgeplattet.

Scanning electron micrograph of the sole horn

- a: Disintegrated horn: The right side of the picture shows a more solid association of horn cells, whereas a broken out horn scale consisting of disintegrated horn cells (arrow), can be seen on the left side of the picture. The fissure (asterisk) extends along the border of the tubular cortex (Rr) and through the intertubular horn (ZRH). Rm: medulla of horn tubule
- b: Tubule of the sole horn: The cortical cells (asterisk) are long, narrow and flattened parallel to the tubular longitudinal axis. They are wrapped around the tubular medulla. The lateral margins of the cells are straight (arrow), the margins of the front edge are irregularly pointed (arrowhead).
- c: Cells of the intertubular horn: The scale shaped cells of the intertubular horn (asterisk) are flattened parallel to the natural horn surface.

flächenvergrößerung ist die dermoepidermale Grenze mit der hier gelegenen Basalmembran in mechanischer und nutritiver Hinsicht eine Problemzone. In mechanischer Hinsicht ist besonders bei übermäßiger Krafteinwirkung eine Schwachstelle erkennbar, wo es bei experimentellen sowie traumatischen oder unter krankhaften Bedingungen (Budras und Huskamp, 1999; Pollitt, 1999) zur Separation zwischen Dermis und Epidermis und schließlich zur Exungulation kommen kann. In nutritiver Hinsicht bildet die dermoepidermale Grenze eine Diffusionsbarriere. Das erklärt bei Nahrungsimbalanzen die epidermalen Defizite an Vitaminen wie Biotin (Hochstetter, 1998), schwefelhaltigen Aminosäuren und Spurenelementen (Spitzlei, 1996), die bei krankhaften Veränderungen wie der Hufrehe noch dramatisch verstärkt werden.

Im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment wird über dem zöttchenförmigen Papillarkörper von der epidermalen Matrix Röhrenhorn gebildet, wobei sich neben segmentübergreifend einheitlichen Strukturen lokale Baueigentümlichkeiten finden. Bisher herrscht in der Literatur keine einheitliche Meinung zur Form der Hornzellen und zur Architektur des Hornzellverbandes im Pferdehuf. Rasterelektronenmikroskopische Betrachtungen ermöglichen in Kombination mit lichtmikroskopischen und trans-

len Probe gescannt wird. Die Zellen des Zwischenröhrenhornes besitzen in allen untersuchten Segmenten eine schieferplattenähnliche Form. Das Zwischenröhrenhorn umgibt die Hornröhren fischzugartig, das heißt es „teilt“ sich bei Auftreffen auf das Röhren und umschließt es vollständig, wobei sich einzelne Zellen der Röhrenrinde schräg aufliegen. Eine exakte Abgrenzung zwischen Röhrenrinde und Zwischenröhrenhorn ist daher stellenweise kaum möglich. Eine Unterteilung der Röhrenrinde in mehrere Zonen, wie sie von Bolliger (1991), Habermehl (1996), Liebich et al. (1999), Nickel (1938) und Wilkens (1963) beschrieben wird, kann für das Sohlen- und Ballen-Strahlsegment nicht bestätigt werden. Die Rindenzellen sind schmal, parallel zur Röhrenlängsachse abgeplattet und um den Markraum herum gewickelt. An den Schmalseiten der ovalen Hornröhren finden sich plattenförmige Zellen, die denen des Zwischenröhrenhornes ähneln. Pfankuchenförmige (Bolliger, 1991; Wilkens, 1963), rhombenförmige (Wilkens, 1963) bzw. spindelförmige (Bolliger, 1991; Bucher, 1987) oder polygonale Zellen (Bucher, 1987) wurden nicht beobachtet. Nach Nickel (1938) lässt die Röhrenform auf die Richtung der Krafteinwirkung schließen. Ovale Hornröhren sind Zeichen für eine radiär in einer Richtung überwiegende Bela-

stung. Folgt man dieser Theorie, müssen die Hornröhrchen im Strahl und, im geringeren Maße, im Ballen neben axialen (annähernd vertikalen) auch seitlich (annähernd horizontalen) wirkenden Druckkräften ausgesetzt sein. Im Zuge des Hufmechanismus kommt es bei Belastung der Gliedmaße zur Erweiterung der Hufkapsel in seitlicher Richtung (Trichterspreizung, Henke 1997). Der Strahl und die Eckstreben wirken der Erweiterung der Hufkapsel passiv entgegen (Habacher, 1917), wodurch es im Strahl zu seitlich wirkenden Zugkräften bei Erweiterung der Hufkapsel bzw. zum Druck bei Entlastung der Gliedmaße, also Verengung der Hufkapsel, kommen muss. Die gummiartige, elastische Konsistenz des Strahlhornes ermöglicht die seitliche Kompression der Hornröhrchen. Die Röhrchen des Sohlenhornes besitzen einen runden Querschnitt und sind bei gestrecktem Verlauf schräg in Richtung des Tragrandes ausgerichtet. Neben dem Fehlen einer Subkutis im Sohlensegment ist dies Ausdruck einer fehlenden bzw. äußerst geringen proximodistalen Druckbelastbarkeit in diesem Segment. Grund hierfür ist, dass die bei Belastung der Gliedmaße auftretenden Druckkräfte über den Hufbeinträger in Zugkräfte umgewandelt und auf die Hufplatte übertragen werden (Budras et al., 1995; Budras und Huskamp, 1999). In Übereinstimmung mit Bolliger (1991) muss daher davon ausgegangen werden, dass das Sohlensegment eher einen Schutz vor mechanischen, chemischen und mikrobiellen Noxen bietet als eine gewichtstragende Funktion besitzt.

Im Sohlenhorn treten in den oberflächennahen Hornzellschichten bei zunehmendem Verlust der Hornstruktur Risse auf, die

das Zerfallshorn der Sohle kennzeichnen. Eine Ursache dieser Rissbildung in den gealterten Hornmassen ist die Deformation des Hufes, die unter dem Begriff Hufmechanismus zusammengefasst wird. Bei der Belastung der Gliedmaße senkt sich die Sohle ab (Richter, 1905), da sie der Tragrandbewegung nach außen folgt. Die Sohlenwölbung wird dadurch flacher. Durch die Belastung der Gliedmaße treten in der Hufkapsel Druck- und Zugspannungen auf (Hinterhofer et al., 1998). Im Sohlenhorn führen diese Spannungen durch die Änderung der Sohlenwölbung zur Rissbildung zwischen den alten, oberflächlichen Hornzellschichten. Diese Risse sind als physiologisch einzustufen und führen zur Bildung des Zerfallshornes. Herausbröckeln oder Abschuppen des Zerfallshornes ist für die Aufrechterhaltung der physiologischen Sohlenwölbung und für den Hufmechanismus sehr bedeutsam, wodurch die Bildung von Flach- oder Vollhufen vermieden wird, die meistens mit einer Hufbeinsenkung einhergeht. Durch die strukturelle Desintegration verliert das Zerfallshorn zunehmend seine Funktion als antimikrobielle Barriere. Modifizierte Formen der Hornzellsquamation liegen auch im Strahl- und Ballenhorn vor. Damit vergleichbar ist auch das Herausbröckeln der Markzellen aus den Hornröhrchen, wodurch Eintrittspforten für aufsteigende Infektionen entstehen. Eine erhebliche diesbezügliche Gefahr geht besonders von den kurzen Röhrchen der Sohle und der Weißen Linie aus, weil nur eine kurze Distanz bis zum Erreichen der Lederhaut zu überwinden ist. Von den sehr langen Hornröhrchen des Kronhornes geht dagegen kaum eine Gefahr aus. Bei diesen Gegebenheiten muss der weitverbreiteten irrigen Ansicht wi-

dersprochen werden, dass Hornzellschilferungen am Huf fehlen (Nickel, 1938). Diese Feststellung kann lediglich für das parietale Blättchenhorn und, mit Einschränkungen, für das Kronhorn gelten, wenn das Ausbröckeln der Markzellen unberücksichtigt bleibt. Die kleinen Risse bei der Entstehung des Zerfallshornes und beim Herausbröckeln der Markzellen gehen fast immer durch den Interzellularspalt und den hier gelegenen Interzellularkitt (s. Teil 2 unserer Untersuchung). Eine Voraussetzung hierfür ist die Minderung der Adhäsionskraft des Kittes, die im Zuge eines natürlichen Alterungsprozesses auftritt (Anthauer, 1996).

Krankhafte Hornrisse sind von den physiologischen zu unterscheiden. Eine Voraussetzung für die Entstehung krankhafter Hornrisse ist eine schlechte Hornqualität und besonders ein minderwertiger Interzellularkitt, denn auch die pathologischen Risse gehen fast ausschließlich durch den Interzellularspalt. Prädispositionsstellen für die krankhaften Risse sind die Grenzbereiche zwischen den Röhrenhornanteilen, zum einen zwischen der Röhrenrinde und dem Zwischenröhrenhorn und zum anderen die Markrindengrenze der Hornröhren. Die pathologischen Risse sind bedeutsam als Eintrittspforte für aufsteigende Infektionen und deshalb besonders gefährlich, weil sie tiefe Areale erreichen. Sofern sie in die Lederhaut gelangen, besteht eine große Gefahr für eine eitrige Pododermatitis.

Literatur

- Anthauer, K. (1996): Der segmentspezifische Aufbau des Interzellularkittes in der Hufepidermis des Pferdes. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- Boas, J.E.V. (1881): Ein Beitrag zur Morphologie der Nägel, Krallen, Hufe und Klauen der Säugetiere. Morph. Jahrbuch 9, 389–399
- Bolliger, C. (1991): The equine hoof: Morphological and histochemical findings. Zürich, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.
- Bragulla, H. (1996): Zur fetalen Entwicklung des Pferdehufes. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Habil.-Schr.
- Bragulla, H. und K.-D. Budras (1997): Huf (Ungula). In: Budras, K.-D., und S. Röck: Atlas der Anatomie des Pferdes, 3. Aufl. Hannover, Schlütersche Verlagsanstalt, 24
- Bucher, K. (1987): Zum mikroskopischen Bau der Epidermis an umschriebenen Stellen des Pferdehufes. Zürich, Univ., Veterinärmed. Fak., Diss.
- Budras, K.-D., H. Bragulla, C. Mülling und S. Reese (1995): Zur Struktur des gesunden und Rehe-kranken Pferdehufes. In: Knezevic, P.F. (Hrsg.): Orthopädie bei Huf- und Klautentieren. Stuttgart, Schattauer Verlag, 237–250
- Budras, K.-D. und B. Huskamp (1999): Belastungsreihe – Vergleichende Betrachtungen zu anderen systemischen Hufreheerkrankungen. Pferdeheilkunde 15, 89–110
- Frohnes, A.-K. (1999): Struktur, Verhornung und Hornqualität im Sohlen- und Ballen-Strahlsegment des Pferdehufes. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- Habacher, F. (1917): Über das Verhalten des Hornstrahles (Hahnenkamm) und der Eckstreben bei den gesunden und kranken Hufen, ihre physiologische Bedeutung und ihr Einfluss auf den Beschlag. Wien. Tierärztl. Monschr. 4, 289–302, 351–368
- Habermehl, K.-H. (1996): Haut und Hautorgane. In: Nickel, R., A. Schummer und E. Seiferle: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Bd. III, 3. Aufl. Berlin, Parey Buchverlag, 443–570
- Henke, F. (1997): Hufbeinträger und Hufmechanismus im Seiten-, Trachten- und Eckstrebenanteil des Pferdehufes. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- Hinterhofer, Ch., Ch. Stanek und K. Binder (1998): Elastic modulus of equine hoof horn, tested in wall samples, sole samples and frog samples at varying levels of moisture. Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr. 111, 217–221
- Hochstetter, T. (1998): Die Hornqualität der Rinderklaue unter Einfluß einer Biotinsupplementierung. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- Kunsien, L. (1882): Über die Entwicklung des Hornhufes bei einigen Ungulaten. Dorpat, Veterinärinst., Diss.
- Liebich, H.-G., S. Reese und K.-D. Budras (1999): Haut (Integumentum commune). In: Liebich, H.-G.: Funktionelle Histologie der Haussäugetiere. Lehrbuch und Farbatlas für Studium und Praxis, 3. Aufl. Stuttgart, Schattauer Verlag, 303–324
- Mülling, C. (1993): Struktur, Verhornung und Hornqualität in Ballen, Sohle und Weisser Linie der Rinderklaue und ihre Bedeutung für Klauenkrankungen. Berlin, Freie Univ., Fachber. Veterinärmed., Diss.
- Nickel, R. (1938): Über den Bau der Hufhörchen und seine Bedeutung für den Mechanismus des Pferdehufes. Morpholog. Jahrbuch 82, 119–160
- Pellmann, R., S. Reese und H. Bragulla (1993): Wechselwirkungen zwischen Hornstruktur und Hornqualität am Pferdehuf als Grundlage für das Verständnis von Verhornungsstörungen. Monatsh. Vetmed. 48, 623–630
- Richter, O.C. (1905): Neue Untersuchungen über den Hufmechanismus. Hufschmied 23, 25–34, 49–58, 73–77
- Spitzlei, S. (1996): Untersuchung zur Zusammensetzung des Hufhorns beim Pferd, deren Bedeutung für die Stabilität und Beziehung zur Nährstoffversorgung. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Diss.
- Wilkens, H. (1963): Zur makroskopischen und mikroskopischen Morphologie der Rinderklaue mit einem Vergleich der Architektur von Klauen- und Hufhörchen. Hannover, Tierärztl. Hochsch., Habil.-Schr.

Dr. Anne-Katrin Frohnes

Tierklinik Hochmoor
Von-Braun-Straße 10
48712 Gescher-Hochmoor

Tel. 02863/20990
Fax. 02863/209920

Prof. Dr. K.-D. Budras

Institut für Veterinär-Anatomie
Fachbereich Veterinärmedizin der
Freien Universität Berlin
Koserstr. 20
14195 Berlin

Tel. 030/838 53554
Fax. 030/838 53480
e-mail: budras@vetmed.fu-berlin.de