

# Mikroskopische Veränderungen bei Hufrehe

H. Geyer

Vet.-Anatomisches Institut, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich

## Zusammenfassung

Von 12 Pferden und einem Esel, die klinisch an Hufrehe erkrankt waren, wurden die mikroskopischen Veränderungen an definierten Stellen der Hufe mit Gefrierschnitten und fallweise an Hartschnitten untersucht. Die mikroskopischen Befunde wurden in Bezug gesetzt zu den klinischen Befunden und dem Auftreten der ersten Rehesymptome. Die ersten klinischen Erscheinungen der Hufrehe traten 5 und 14 Tage (3 Tiere), 1-3 Monate (6 Tiere) sowie mehr als 1 Jahr (4 Tiere) vor der Tötung und der folgenden Hufuntersuchung auf. Die Befunde zeigten allgemein im apikalen, zum Kronhorn gerichteten Teil der weichen Blättchen die stärksten Veränderungen. Diese waren Ablösung der Epidermis vom Corium und Zerfall der basalen Zellen der Epidermis. Bereits im proximalen Teil der Blättchen sowie in halber Höhe der Hornwand traten im apikalen Teil der weichen Blättchen Terminalzotten auf, unter denen die angrenzende Epidermis ein häufig zerfallendes Terminalhorn produzierte. Die starke Produktion von Epidermiszellen im apikalen und gegen basal angrenzenden Teil der weichen Blättchen ließen je nach Dauer der Rehe massenhaft Narbenhorn entstehen, was distal eine starke Verbreiterung der weißen Linie zur Folge hatte. Im Wandsegment waren die weichen Blättchen gegen basal, d. h. in Richtung Hufbein, besser erhalten, wobei die Verbindung zwischen Corium und Epidermis und die Epidermiszellen selbst meist noch erhalten waren. Von basal her wurden auch Regenerationen am Blättchenbereich beobachtet. Das Einsinken der Innenteile des Hufes zeigte sich auch in Verbiegungen an den Coriumzotten und den Hornröhrchen des Saum-Kronsegmentes, sowie in Kompressionen und zum Teil Blutungen der Gefäße des Kronwulstes und seiner Coriumzotten. Durch Zerfall von Narbenhorn kam es zu Ablösungen zwischen dem Blättchenbereich und der Hornwand sowie distal zwischen der weissen Linie und der Sohle. An der Sohle wurden auch Kompressionen der Gefäße des Coriums sowie Zerfall des Sohlenhorns und ein unterschiedlich weites Absinken der Hufbeinspitze nachgewiesen. Die starken Veränderungen im Spitzenbereich der weichen Blättchen im Vergleich zur besser erhaltenen Blättchenbasis des Wandsegmentes wirft die Frage auf, ob schädigende Einflüsse durch Toxine oder Trigger-substanzen oder durch Minderdurchblutungen bei Hufrehe vor allem den Spitzenbereich der weichen Blättchen betreffen. Zu allfälligen Veränderungen im Stratum reticulare des Coriums und zur inneren Aufhängung des Hufbeins sind weitere Untersuchungen nötig.

**Schlüsselwörter:** Pferd, klinische Hufrehe, Pathohistologie, Vergleich mit Normalbefunden der Hufhistologie, topographische Histologie

## Microscopic changes in clinical cases of laminitis in horses

The histological changes in hooves of 12 horses and one donkey, suffering from laminitis were examined in defined locations of the hooves. The histological investigation used freeze-sections and in some cases specimens, embedded in methyl-metacrylate (MMA) which were prepared with an ultramilling machine. The microscopic findings were related to the clinical results and to the date when the first clinical symptoms were seen. The first clinical symptoms of laminitis occurred 5 or 14 days (3 horses), 1 to 3 months (6 horses) as well as more than one year (4 animals) before euthanasia and the following hoof investigation. In general the results showed the most severe changes in the apical part of the soft leaflets, which are near the coronary horn. Here the epidermis is separated from the dermis (= corium) and a decay of the epidermal stratum basale can be seen. In contrast to the normal hoof, terminal papillae are already found in the proximal part of the soft leaflets and in the middle part of the horn wall. Here the adjacent epidermis produced terminal horn, which frequently decayed. In normal hooves the terminal papillae and the terminal horn are only found near the bearing border of the horn wall, where the first terminal papillae appear about 20 mm above the bearing border. The intense production of epidermal-cells in the apical part of the soft leaflets and their adjacent more basal parts result in a big amount of scar-horn dependent on the length of laminitis symptoms. Distally this scar-horn forms a very wide white line. In the wall segment the soft leaflets were in their basal part, near the coffin bone, in a better condition than in the apical area. In the basal part the corium and the epidermis were in most cases well connected. From the basal part of the soft leaflets signs of regeneration and repair were seen, many epidermal cells appeared in an unchanged condition. In severe cases of laminitis, where the inner parts of the hooves have sunk distally, the perioplic and the coronary segment showed a strong bending of the corial papillae and the epidermal tubuli. Compression and haemorrhages of the blood vessels of the coronary band were demonstrated in histological sections. The decay of the scar-horn induced a disjunction between the leaflet area and the horn wall and distally between the white line and the sole. In the sole segment compression of the corial blood vessels as well as degradations of the sole horn and a variable sunken coffin bone were seen in the sections embedded in acrylic matter. The severe changes in the apical part of the soft leaflets compared to the basal parts put the question, whether noxious influences by toxins or trigger substances or a reduced blood flow concern preferably the apical part of the soft leaflets in clinical cases of laminitis. The role of the stratum reticulare and the destruction of the inner part of the suspensory apparatus of the coffin bone should be cleared in further investigations of laminitis.

**Keywords:** horse, laminitis, clinical cases of laminitis, pathohistology, comparison with normal hoof histology, topographical histology.

## Einleitung

Zu klinischen Fällen von Hufrehe gibt es einige histologischen Untersuchungen. Die Arbeiten von Marks (1984), Marks und Budras (1987) sowie die umfangreichen und gut dokumentierten Ergebnisse von Pollitt (1995, 1996, 2005) befassen sich neben klinischen Fällen vorwiegend mit Fällen von experimen-

tell ausgelöster Hufrehe. In den Arbeiten von Hood (1999a und b), Grosenbaugh et al. (1999) und Morgan et al. (1999) wurden nur Ausschnitte aus dem Blättchenbereich dargestellt. Die neuen Arbeiten von Budras et al. (2009a und b) zeigen mit histologischen Techniken und der Scheibenplastination vermehrt die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Abschnitten des Hufbeinträgers bis zu den Hornschichten im

normalen Huf im Vergleich zu Rehehufen. Dies geschieht in Fortsetzung der Arbeiten von Pellman et al. (1996), Budras und Huskamp (1999) und Budras et al. (2006).

Bei dem schwierigen Krankheitsbild der Hufrehe ist es in Ergänzung zum klinischen Verlauf und zum weiteren Verständnis des Geschehens sinnvoll, die an definierten Stellen des Hufes festgestellten mikroskopischen Veränderungen zu dokumentieren. In der vorliegenden Arbeit wurden daher die histologischen Veränderungen bei klinischer Hufrehe an definierten Stellen erfasst und in Beziehung zu den ersten beobachteten Zeichen von Hufrehe gesetzt. Dabei handelte es sich vorwiegend um Fälle von chronischer Hufrehe, an denen insbesondere die Veränderungen an der Zehenwand von proximal nach distal verfolgt wurden und außer der Lederhaut vor allem auch die Epidermis und deren Hornschichten beachtet wurden.

### Material und Methoden

Das Untersuchungsgut stammte von 12 Pferden (darunter 2 Ponies) und einem Esel, die alle an klinisch manifester Hufrehe erkrankt waren und daher getötet wurden. Die Zeiten zwischen den ersten erkannten Reheschüben und der Tötung der Tiere bzw. den erhobenen histologischen Befunden sind aus Tabelle 1 ersichtlich.

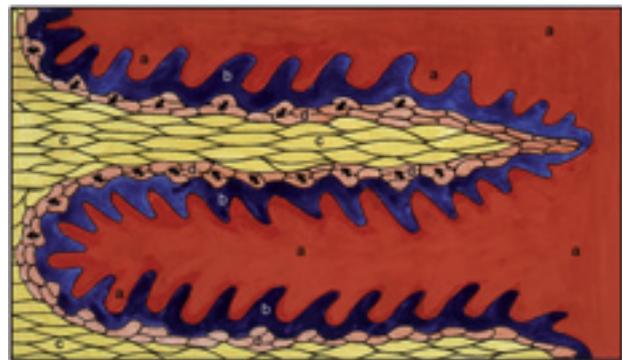
Die Hufe, überwiegend Vorderhufe, wurden von 11 Tieren zuerst bei  $-20^{\circ}\text{C}$  tiefgefroren. Von 3 Pferden wurden die Hufe über die Hauptmittelfussarterie nach Spülung mit heparinierter 0.9% Kochsalzlösung (250 I.E. Heparin pro ml) mit einem Gemisch aus 2.5% Glutaraldehyd und 1.3% Formaldehyd durch Perfusion fixiert. Die Fixation der Hufe wurde bei einem Pferd schon 1 Stunde nach der Schlachtung, bei 2 Pferden 15 Stunden nach Euthanasie und Kühlung des Tierkörpers vorgenommen.

Zum Vergleich dienten noch die unveränderten Hufe von zwei weiteren Warmblutpferden (9 und 11 Jahre alt), die 1 Stunde nach der Schlachtung durch Perfusion fixiert wurden. Die durch Perfusion fixierten Hufe wurden jeweils nicht gefroren, sondern in 2.5 %- iger Formalinlösung aufbewahrt.

Die gefrorenen Hufe wurden mit Hilfe einer Bandsäge in große Scheiben zerlegt. Schwerpunktmäßig wurde die Zehenwand und der vordere Teil der Seitenwand untersucht. Dabei wurden Gewebeproben von proximal, von der halben Höhe = Mitte der Hornwand sowie distal in Nähe des Tragrandes entnommen. Weitere Proben stammten aus dem apikalen Sohlenteil. Von den tiefgefrorenen Proben wurde jeweils die Hornwand bis und mit Corium oder Subcutis entnommen und

während 3 Tagen in dem oben genannten Gemisch aus Glutaraldehyd und Formaldehyd fixiert. Die Proben von Sohlenhorn enthielten ebenfalls das Corium und wurden oft im Zusammenhang mit der distalen Hornwand belassen. Von den jeweiligen Gewebelöcken der Kantenlänge von ca. 1-3 cm wurden im Kryostaten (Leica CM 3050) bei  $-20^{\circ}\text{C}$  Gefrierschnitte hergestellt und diese mit Hämalaun-Eosin oder mit Alcianblau-PAS schwimmend gefärbt.

Von den durch Perfusion fixierten Hufen wurden auch kleine Blöcke für Gefrierschnitte entnommen. Für Übersichtspräparate wurden von der Zehenwand und der Seitenwand auch große Blöcke entnommen, die insgesamt die Hornwand bis zum Hufbein enthielten und im distalen Bereich der Hornwand auch den apikalen Sohlenteil umfassten. Nach Entwässerung und Infiltration über 3 Wochen wurden diese großen Blöcke mit Kantenlängen bis 4 x 8 cm in Methylmetacrylat (MMA) eingebettet und daraus Hartschnitte hergestellt. Mit Hilfe einer Diamant-beschichteten Bandsäge (Exakt, Haslab CH 3072 Ostermündingen) wurden ca. 1.5 mm dicke Sägeschnitte gewonnen, die auf Kunststoffplatten aufgeklebt wurden. Mit einer Mikrotomfräse (Leica SP 2600) wurden daraus ca. 500  $\mu\text{m}$  dicke Präparate hergestellt, die mit Hämalaun-Eosin oder nach Giemsa gefärbt wurden. Die schon 1 Stunde nach der Schlachtung fixierten Hufe dienten nach MMA-



**Abb. 1** Schematischer Querschnitt durch den Blättchenbereich des Hufes mit guter Verbindung zwischen weichen Blättchen und Hornblättchen. a-b weiche Blättchen: a Corium, rot; b Stratum germinativum der Epidermis; c – d Hornblättchen: c große Hornzellen (gelb), von proximal kommend, am Übergang des Kron- ins Wandsegment gebildet; d wenige kleine Hornzellen (beige), gebildet von der Blättchenepidermis, legen sich seitlich den von proximal kommenden großen Zellen (gelb) der Hornblättchen an.

*Schematic transverse section through the lamellar-area of the hoof with a good junction between the soft leaflets and the horn leaflets. a-b soft leaflets: a Corium = dermis (red); b generative layer of the epidermis; c-d: horn leaflets: c large horn cells (yellow), which are proximally produced at the transition of the coronary segment to the wall segment; d few small horn cells (beige), formed by the lamellar epidermis, which are laid to the side of the large horn cells (yellow) coming from proximal.*

**Tab. 1** Untersuchungsgut in Abhängigkeit von der Zeit des ersten Reheschubes bis zur Tötung und histologischen Untersuchung. *Horses of the histological hoof investigation related to the first laminitis symptoms and the time of euthanasia and histology.*

Tier Nr.	Zeit des ersten Reheschubes der vor der Histologie	Zahl der untersuchten Tiere	Alter der Tiere (Jahre=J)
1	5 Tage	1 Pferd	15 J
2-3	14 Tage	2 Pferde	5, 16 J
4-9	1-3 Monate	6 Pferde	6, 7, 12, 2x 16, 20 J
10-12	1 Jahr und mehr	1 Pferd, 2 Ponies	11 (Pony), 14J; ? (Pony)
13		1 Esel	20 J

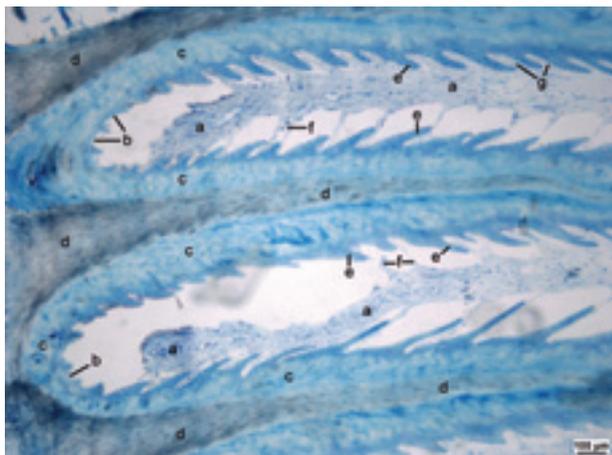
Einbettung auch im Detail zu Vergleichen zwischen Rehehuf und normalem Huf.

## Befunde

*Histologische Vorbemerkungen zum Wandsegment des normalen Hufes (Budras und Röck 2005, Geyer 2007, 2008)*

Im Wandsegment des gesunden Hufes bestehen die weichen Blättchen aus der Lederhaut, Corium oder Dermis genannt und dem sie überziehenden Stratum germinativum der Epidermis (Abb. 1). Zur Oberflächenvergrößerung sind die Primärblättchen jeweils noch in zahlreiche Sekundärblättchen unterteilt, wo am gesunden Huf das Stratum basale der Epidermis auf einer Basalmembran haftet.

Die Primärblättchen haben eine Basis, die zum Hufbein zeigt. Hier an der Basis geht das Stratum papillare in das Stratum reticulare des Coriums über. Der apikale Bereich der Primärblättchen ist der Innenzone des Kronhorns benachbart und wird auch „Blättchenfirst“ genannt. Die Höhe der normalen Primärblättchen von der Basis bis zum First misst um 3 mm, dieses Mass wird auch als Breite oder Weite der Blättchen bezeichnet.



**Abb. 2** Ablösung der Lederhaut von der Epidermis am First der weichen Blättchen an der Grenze zum Kronhorn. Querschnitt in halber Höhe der Zehenwand des rechten Vorderhufes von einem fünfjährigen Andalusierhengst (Nr. 2), 14 Tage nach Beginn der Rehe. Hartschnitt nach Einbettung in Methylmetacrylat (MMA), Giemsa-Färbung. a Corium; b abgelöstes und zerstörtes Stratum basale der Epidermis; c übriges Epithel der weichen Blättchen mit Übergang zu den kleinen Hornzellen; d Hornblättchen; e Sekundärblättchen der Epidermis (dunkel); f abgelöste Sekundärblättchen des Coriums; g noch verbundene Sekundärblättchen des Coriums.

*Separation of corium and epidermis at the tip of the soft leaflets near the coronary horn. Transverse section in the middle of the dorsal wall of the right forehoof of an Andalusian stallion (Nr. 2, 5 years old), two weeks after the first laminitis symptoms. Specimen embedded in Methylmetacrylate (MMA). Giemsa-coloration. a Corium; b separated and destroyed stratum basale of epidermis; c further epidermal cells of the germinative layer with transition to the small horn cells; d horn leaflets; e secondary epidermal leaflets (dark); f detached secondary corial leaflets; g secondary corial leaflets, still connected to the epidermis.*

Zwischen den weichen Primärblättchen befinden sich die sehr schmalen Hornblättchen, die proximal am Übergangsbereich vom Kronsegment ins Wandsegment gebildet werden und

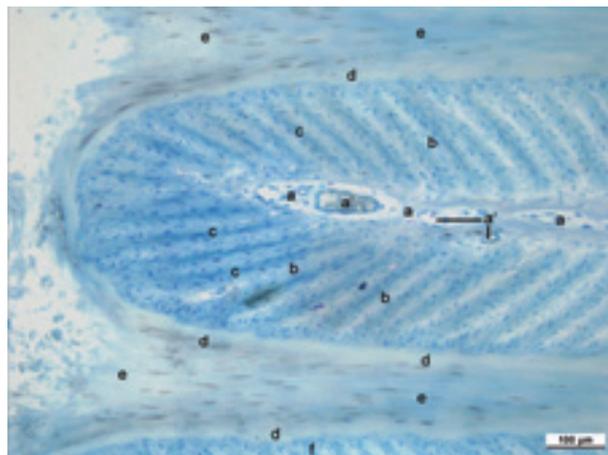
distal wachsen. Im Wandsegment legen sich nach distal zunehmend einige kleine, vom Stratum germinativum der weichen Blättchen gebildete Hornzellen seitlich an die schmalen Hornblättchen.

Es ist wichtig, dass im Blättchenbereich vom Corium bis zu den Hornblättchen eine feste Verbindung besteht. Denn über diese Verbindung sind die Innenteile des Hufes an der Hornkapsel aufgehängt. Weiter ziehen zur Aufhängung des Hufbeins Fasern vom Stratum reticulare des Coriums gegen distal ins Hufbein hinein.

## Histologische Veränderungen an Rehehufen

An den Rehehufen des vorliegenden Untersuchungsgutes fanden sich die stärksten histologischen Veränderungen jeweils im apikalen Bereich der weichen Blättchen des Wandsegmentes. Dagegen waren an der Basis der weichen Blättchen weniger Schäden und Zeichen der Regeneration sichtbar.

Das Beispiel eines Pferdes (Nr. 2) 14 Tage nach Rehebeginn und Fixation des Hufes unmittelbar nach der Schlachtung zeigt im Hartschnittpräparat am Blättchenfirst die grundlegende Zerstörung im Bereich des Stratum basale der Epidermis und der Basalmembran. Die innen befindliche Lederhaut

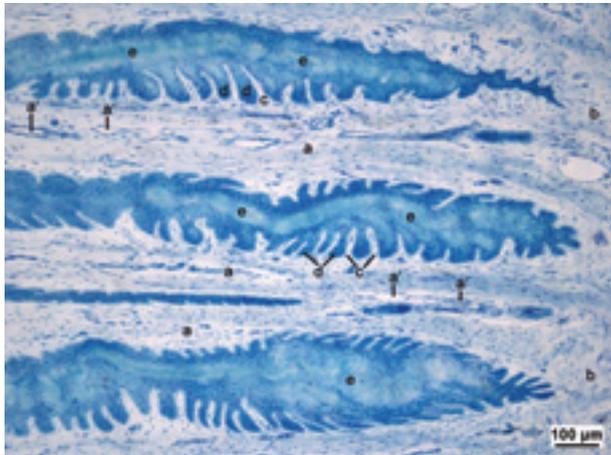


**Abb. 3** First der weichen Blättchen und Hornblättchen eines gesunden Pferdes mit fester Verbindung zwischen Corium und Epidermis. Querschnitt in halber Höhe der Zehenwand vom linken Vorderhuf eines elfjährigen Warmblutpferdes. MMA-schnitt, Giemsa-Färbung. a Corium der Primärblättchen mit Blutgefäßen (a'); b Sekundärblättchen des Coriums (hell); c Sekundärblättchen der Epidermis, Stratum germinativum (dunkel); d-e Hornblättchen: d kleine Hornzellen vom Blättchenbereich, e große Hornzellen, von proximal kommend; f Rand des zweiten weichen Blättchens.

*Tip of the soft leaflets and the adjacent horn leaflets of a sound horse with a firm junction between corium and epidermis. Transverse section in the middle of the dorsal wall of the left forehoof of a warmblood horse (11 years old). MMA-section, Giemsa-coloration. a Corium of the primary leaflets with blood vessels (a'); b secondary corial leaflets (bright); c secondary epidermal leaflets, germinative layer (dark); d-e horn leaflets; d small horn cells, produced in the lamellar area; e large horn cells descendent from proximal; f border of another soft leaflet.*

ist komplett von der Epidermis gelöst (Abb. 2). Am Blättchenfirst eines gesunden Hufes erkennt man zum Vergleich sehr schön die hellen Sekundärblättchen der Lederhaut, die alle gut mit der dunkler angefärbten Epidermis verbunden sind (Abb. 3). Die zugehörige Basis der weichen Blättchen des

betreffenden Rehehufes von Pferd 2 hat in diesem Bild noch eine Verbindung zwischen Corium und Epidermis (Abb. 4). Dabei sind aber die Sekundärblättchen relativ grob und gegenüber der Normalstruktur in verschiedensten Richtungen angeordnet. Häufig sieht man an der Basis der Blättchen, auch schon nach wenigen Tagen, eine deutliche Verlängerung der Sekundärblättchen.



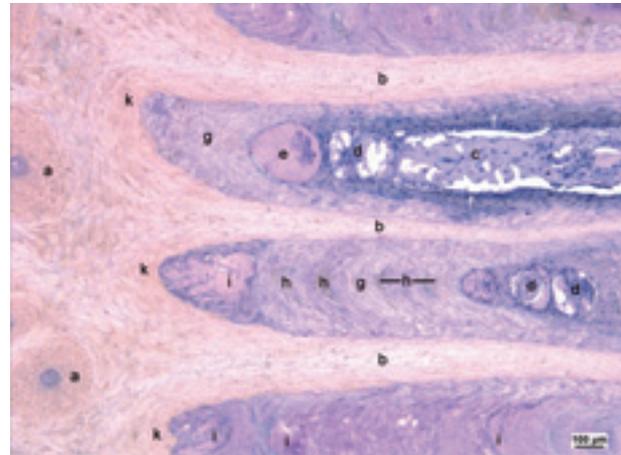
**Abb. 4** Basis der weichen Blättchen von derselben Stelle der Zehenwand des Pferdes Nr. 2 von Abb. 2 mit noch bestehender Verbindung zwischen Corium und Epidermis, 14 Tage nach Beginn der Rehe. MMA-schnitt, Giemsa-Färbung. a Corium der Primärblättchen mit Blutgefäßen (a'); b Corium basal in Richtung Hufbein; c Sekundärblättchen des Coriums (hell); d Stratum germinativum der Sekundärblättchen (dunkel); e auslaufendes Ende der Hornblättchen mit schwacher Verhornung.

*Base of the soft leaflets from the same location of the dorsal hoof wall from horse Nr. 2 in Fig. 2, where corium and epidermis are still connected, 14 days after onset of laminitis. MMA-section, Giemsa-coloration. a Corium of primary leaflets with blood vessels (a'); b basal corium near coffin bone; c secondary corial leaflets (bright); d generative layer (dark) of secondary leaflets; e incompletely keratinized.*

Der Bereich der Blättchenfirste der weichen Blättchen weist schon proximal und vor allem in Mitte der Hornwand eine normal nicht übliche starke Zottenbildung auf (Abb. 5, Pferd 2). In den Zotten sind oft sehr weite, dünnwandige Gefäße zu sehen. Die diese Zotten bedeckende Epidermis bildet bereits so weit proximal ein Röhrenhorn, das von der Struktur her dem Terminalhorn gleicht (Abb. 5). Dieses proximale Terminalhorn lässt meist unmittelbar nach seiner Entstehung schon Zerfallserscheinungen erkennen. Hier färben sich schon ganze Hornzellen PAS-positiv (rot) an, und weiter sind Hohlräume zwischen den Hornzellen vorhanden. Gegen distal nimmt die Menge des zerfallenden Terminalhorns zu, weshalb sich die weiße Linie verbreitert. Zwischen dem Terminalhorn sind die Hornblättchen zu finden, deren nach innen in Richtung Hufbein zeigende Enden oft auch ungenügend verhornt und nicht mehr klar strukturiert erscheinen.

Die bei den Rehehufen generell proximal und in halber Höhe des Wandsegmentes gefundene Bildung von Zotten und Terminalhorn tritt am gesunden und gepflegten Huf erst etwa 2 cm über dem Tragrand auf. Die Bildung von Terminalhorn ist hier am Beispiel eines Falles 2 Monate nach Beginn der Rehe (Pferd 6) schon proximal in der Hornwand (30 mm unter dem Kronrand) sehr dramatisch. Es ist eine Menge Terminalhorn vorhanden, das deutlichen Zerfall zeigt (Abb. 6). Die Zubil-

dung von neuem Terminalhorn erfolgt gegen basal, d. h. nach innen zu. Durch weitere Neubildung von Epithel entsteht das oft ungenügend verhornte Narbenhorn, wodurch der Blättchenbereich breiter wird. Abhängig von der Menge des jeweils gebildeten Terminalhorns wird der Blättchenbereich von proximal gegen distal zunehmend breiter (Abb. 7-8). Gegen distal zeigt sich weiterer Zerfall des Hornes.



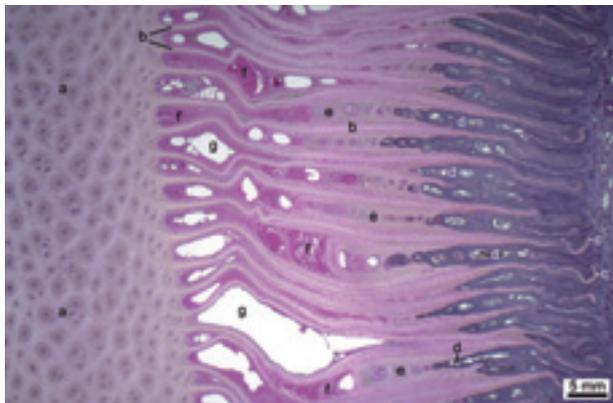
**Abb. 5** Bildung von Terminalpapillen und zerfallendem Terminalhorn am First der weichen Blättchen. Querschnitt in halber Höhe der Zehenwand des rechten Vorderhufes mit Innenzone des Kronhorns und angrenzendem Blättchenbereich, 14 Tage nach Beginn der Rehe. Andalusierhengst (Nr. 2), 5 Jahre alt. Gefrierschnitt, Färbung Alcianblau-PAS. a innerste Kronhornröhrrchen; b Hornblättchen; c Corium der Primärblättchen, teilweise abgelöst; d Zotten an der Spitze der Primärblättchen; e stark erweitertes Gefäß einer Zotte; f Stratum germinativum der Epidermis; g Terminalhorn; h Röhrrchen des Terminalhorns; i zerfallendes Terminalhorn (rot); k Kappenhorn. *Formation of terminal papillae and decaying terminal horn at the tip of soft leaflets. Transverse section through the middle of the dorsal wall of the right forehoof with the inner zone of the coronary horn and the adjacent lamellar area, 14 days after the first laminitis symptoms. Andalusian stallion (Nr. 2, 5 years old). Freeze-section, Coloration Alcianblue-PAS. a coronary horn tubules, inner zone; b horn leaflets; c corium of primary leaflets, partially detached; d papillae at the tip of primary leaflets; e extremely dilated vessel of a papilla; f generative layer of the epidermis; g terminal horn; h tubules of terminal horn; i decaying terminal horn (red); k caphorn.*

Im Bereich der weichen Blättchen ist die Basis der untersuchten Proben histologisch weniger verändert als die Bereiche der Blättchenfirste und die Bildung eines morphologisch unveränderten oder weniger veränderten Epithels wird entsprechend einer besseren Verbindung zwischen Corium und Epidermis auch von hier Regenerationsvorgänge ermöglichen (Abb. 4 und 6).

In Tragrandnähe findet man apikal gegen das Kronhorn zu eine breite Zone von Terminalhorn, die schon 5 Tage nach Beginn der Rehe 8 mm breit ist (Abb. 7, Pferd 1). Die homogen blau-rot angefärbten Terminalhornzellen sind bereits zerfallen. Die zwischen dem Terminalhorn liegenden Hornblättchen sind in anderen Präparaten oft auch verbreitert. Die Basis der weichen Blättchen ist hier im Bild noch relativ gut erhalten.

Bei chronischen Fällen von Hufrehe war der Blättchenbereich in Tragrandnähe bis auf 20 mm verbreitert (Abb. 8 Pferd 7). Das gleiche gilt für die weiße Linie am Tragrand mit dem Terminalhorn und den dazwischen liegenden Hornblättchen

oder deren Resten. Am gesunden Huf ist die weiße „Linie“ oder weiße Zone = der Blättchenbereich am Tragrand nur um 3 mm breit. Die Verbreiterung des Blättchenbereiches ist auf die Zubildung des Narbenhornes zurückzuführen. Dieses Horn, aus Terminalhorn und Hornblättchen bestehend, muss wegen seiner vielen Zerfallserscheinungen als minderwertig angesehen werden.



**Abb. 6** Querschnitt durch die Innenzone des unversehrten Kronhorns und den angrenzenden Blättchenbereich, 3 cm unter dem Kronrand, mit Zottenbildung an den Spitzen der weichen Blättchen und starkem Zerfall des Terminalhorns. Zehenwand vom rechten Vorderhuf eines zwölfjährigen Warmblutpferdes, Nr.6), 2 Monate nach Beginn der Rehe. Gefrierschnitt, Alcianblau-PAS. a Kronhorn, Innenzone; b Hornblättchen (hell); c Spitze der Hornblättchen innen liegend; d Spitzen der weichen Blättchen mit Zottenbildung; e Terminalhorn; f Terminalhorn mit starkem Zerfall (rot); g ausgefallenes Terminalhorn.

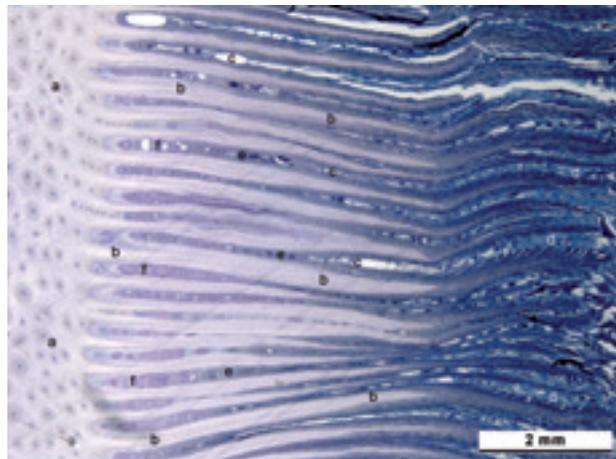
*Transverse section through the unchanged inner zone of coronary horn and the adjacent lamellar area, 3 cm distal of the coronary border. Formation of terminal papillae at the tip of the soft leaflets and severe decay of terminal horn. Dorsal wall of the right forehoof (warmblood horse Nr. 6, 12 years old), 2 months from the beginning of laminitis. Freeze-section, Alcianblue-PAS. a coronary horn, inner zone; b horn leaflets (bright); c tip of the horn leaflets, looking to the coffin bone; d tip of the soft leaflets with papillae; e terminal horn; f terminal horn, severely decayed (red); g hollow spaces due to dropping out of terminal horn.*

An den Längsschnitten durch das Saum- und das Kronsegment sieht man häufig schon früh nach Beginn der Rehe Verbiegungen an der Basis der Hornröhrchen (Abb. 9, Pferd 1). Die Basis der Coriumpapillen und der Hornröhrchen verläuft zunächst gegen proximal und biegt dann erst gegen die Spitze nach distal um. Am gesunden Huf verlaufen dagegen die gesamten Coriumpapillen und die Hornröhrchen von der Basis an gestreckt nach distal. Entsprechend der Tiefe des nach distal gesunkenen Innenteils des Hufes ist der gegen proximal gerichtete Anfangsteil der Coriumzotten und der Hornröhrchen unterschiedlich lang bis zur Biegestelle (Abb. 10, Pferd 8). Bei diesem Traberpferd war bereits das Distalsinken der Innenteile des Hufes als Delle am Kronrand fühlbar.

Neben den Verbiegungen der Hornröhrchen und der Coriumpapillen ist auch der proximale Anfang des Blättchenbereiches gestaucht und die Blutgefäße des Kronwulstes erscheinen komprimiert (Abb. 10). Dadurch ist auch die Produktion des Hornes gestört und es sind bereits proximal an den Hornröhrchen und den Hornblättchen Hornzellen mit Zerfallserscheinungen, wie PAS-Rotfärbung der ganzen Zellen oder auch Zellablösungen und Hohlräume, zwischen und in den Hornzellen sichtbar. Bei den über 1 Jahr alten Fällen von

Hufrehe waren die Verbiegungen der Röhrchen im Kronbereich weniger deutlich.

Der Zerfall des Narbenhornes im Bereich der Blättchenfirste lässt auch Hohlräume zwischen dem Kronhorn und den Blättchen entstehen (Abb. 10-11, Pferd 8), durch die auch weitere Verschiebungen zwischen dem Innenteil des Hufes und der



**Abb. 7** Querschnitt der Hornwand 3 cm über dem Tragrand mit Terminalhorn und Verbreiterung des Blättchenbereiches auf 8 mm. Warmblutpferd (Nr.1), 15 Jahre alt, linker Vorderhuf, 5 Tage nach Beginn der Rehe. Gefrierschnitt, Alcianblau-PAS. a Kronhorn, Innenzone; b Hornblättchen (hell); c Spitzen der weichen Blättchen; d Basis der weichen Blättchen, hier Corium (blau) und Epidermis (dunkelblau) noch oft verbunden; e Terminalhorn; f zerfallendes Terminalhorn (rot).

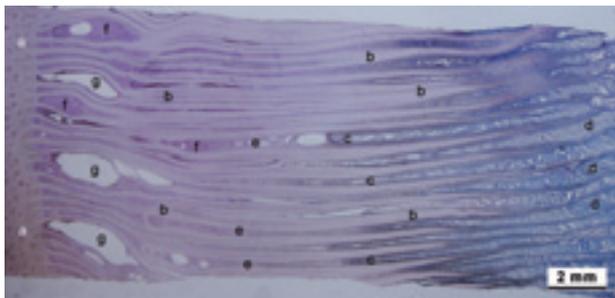
*Transverse section through the horn wall, 3 cm proximal to the bearing border with terminal horn and enlargement of the lamellar area to 8 mm. Left forehoof of a warmblood horse (Nr. 1), 15 years old, 5 days after the beginning of laminitis. Freeze-section, Alcianblue-PAS. a coronary horn, inner zone; b horn leaflets (bright); c tips of the soft leaflets; d base of the soft leaflets: corium (blue), epidermis (dark blue) – here both still connected; e terminal horn; f decaying terminal horn (red).*

Hornwand, z. B. in proximodistaler Richtung möglich sind. Durch Zerfall von Horn und den entstehenden Hohlräumen innerhalb des Blättchenbereiches sieht man an der weißen Linie auch Trennungen zwischen der weißen Linie und der Sohle.

An der Sohle zeigen sich, in Abhängigkeit vom Absinken des Innenteils des Hufes mit dem Hufbein, Kompressionen wie enge Gefäße am Corium und weiter auch zerfallende Epidermis, und nicht selten die durch das Sohlenhorn durchbrechende Hufbeinspitze (Abb. 12, Pferd 4). Das hier sichtbare Hufbein ist schon deutlich rotiert. Der Dorsalrand des Hufbeins verläuft nicht mehr parallel sondern in einem Winkel zur Zehenwand der Hornkapsel. Das Stratum reticulare des Coriums ist verbreitert und aufgelockert.

Die an den klinischen Fällen von Hufrehe festgestellten histologischen Veränderungen ergänzen die makroskopisch-klinischen Beobachtungen. Die Folgen von schwerer Hufrehe sollen im schematischen Längsschnitt von Abb. 13 zusammengefasst werden. Im Blättchenbereich wurde bei allen Fällen die stärksten Veränderungen im Bereich der ans Kronhorn angrenzenden Firste der weichen Blättchen festgestellt (Abb. 2, 5-6). Diese sind die Ablösung des Coriums von der Epidermis mit Schäden am Stratum germinativum,

und die schon proximal beginnende Aufzweigung der Coriumblättchen in Zotten mit der Produktion von zerfallendem Terminalhorn (Abb. 5-6). Gegen innen zu produzieren die Epidermiszellen auch weiterhin Horn. Das minderwertige, oft zerfallende Horn im Blättchenbereich wird Narbenhorn genannt. Das Narbenhorn nimmt gegen distal zu (Abb. 13), so dass die weiße Linie am Tragrand bei chronischen Fällen verbreitert ist. Das Distalsinken der Innenteile des Hufes und die Kompression der Blutgefäße am Kronwulst und an der Sohle sowie die Hufbeinrotation der Hufbeinspitze sind im Schema gezeigt. Die Störungen in der Hornbildung sind als



**Abb. 8** Querschnitt durch die Zehenwand mit Corium in Nähe des Tragrandes mit extremer Verbreiterung des Blättchenbereichs auf 20 mm. Warmblutpferd (Nr.7), 16 Jahre alt, linker Vorderhuf, 2 Monate nach Beginn der Rehe. Gefrierschnitt, Alcianblau-PAS. a Kronhorn, Innenzone; b Hornblättchen (hell); c Spitzen der weichen Blättchen; d Basis der weichen Blättchen, hier noch Verbindung zwischen Corium und Epidermis; e Terminalhorn; f Terminalhorn mit starkem Zerfall (rot); g ausgefallenes Terminalhorn.

*Transverse section near the bearing border through the dorsal horn wall with corium. Note the extreme enlargement of the lamellar area to 20 mm. Left forehoof of a warmblood horse (Nr. 7, 16 years old), 2 months after the first laminitis symptoms. Freeze-section, Alcianblue-PAS. a coronary horn, inner zone; b horn leaflets (bright); c tips of the soft leaflets; d base of soft leaflets, here with connection between epidermis and corium; e terminal horn; f decayed terminal horn (red); g hollow spaces due to dropping out of terminal horn.*

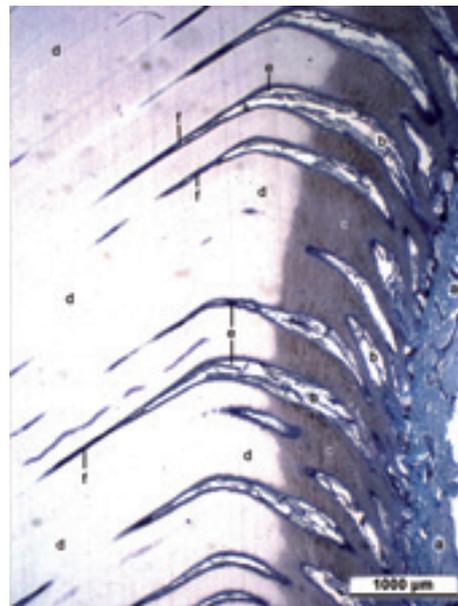
Verbiegungen in der Hornwand in Abb. 13 schematisch dargestellt und in ihrem Ursprungsgebiet am Kronwulst (Abb. 9-10) ersichtlich.

## Diskussion

Die mikroskopischen Veränderungen bei Hufrehe, wie sie hier an klinischen Fällen vorgefunden wurden, zeigen viele Parallelen zu den Befunden von Pollitt (1995, 1996, 2005) und von Marks (1984) sowie Marks und Budras (1987), die meist an experimentell ausgelöster Hufrehe festgestellt wurden. Weiter stimmen die Befunde mit den Beschreibungen von Grosenbaugh (1999), Hood (1999 a) sowie Budras und Huskamp (1999) und Budras et al. (2009 b) bei klinischen Fällen von Hufrehe weitgehend überein, wobei in den ersten beiden Arbeiten die genaue Lokalisation der Proben im Blättchenbereich nur schwer ersichtlich ist. Als Ursachen der Rehe wurden anfänglich oft Durchblutungsstörungen genannt (Pollitt und Molyneux 1990, Pollitt 1993, Hood 1999a, Budras und Huskamp 1999), wobei durch Eröffnung der mehr basal in den Blättchen liegenden Anastomosen die peripheren Teile der Blättchen ungenügend durchblutet seien. In den letzten Jahren werden von Pollitt und Mitarbeitern (Pollitt 1996, 1999, Pollitt und Darkada 1998, Kyaw-Tanner et al. 2008)

vermehrt Metalloproteasen genannt, die eventuell freigesetzt durch Toxine oder Triggersubstanzen für die von Pollitt (1996) beschriebenen Veränderungen und Schäden an der Basalmembran und den Epithelzellen des Stratum basale der Blättchen des Wandsegmentes verantwortlich sind (Pollitt 2008, van Eps und Pollitt 2009a und b, Clutterbuck et al. 2010).

An den bei der eigenen Untersuchung vorwiegend angewendeten Gefrierschnitten, bei denen erst die tiefgefrorenen Proben in Fixationslösung eingelegt wurden, ist die Struktur des



**Abb. 9** Längsschnitt durch das Kronsegment mit Verbiegungen der Coriumpapillen und der zugehörigen Hornröhrchen. Die Basis der Papillen und der Hornröhrchen zeigt zuerst nach proximal und biegt danach erst um nach distal. Im gesunden Huf verlaufen die Papillen und die Kronhornröhrchen von Anfang an gerade gegen distal. Die Verbiegungen von Papillen und Hornröhrchen am Rehehuf entstehen durch das Distalsinken des Innenteils vom Huf. – Linker Vorderhuf eines 15-jährigen Warmblutpferdes (Nr. 1), 5 Tage nach Beginn der Rehe. Gefrierschnitt, Alcianblau-PAS. a Corium, Innenseite; b basaler Teil der Coriumpapillen, proximal gerichtet; c Stratum germinativum der Epidermis (dunkel); d Kronhorn; e Biegung von Coriumpapillen und Hornröhrchen; f distal gerichteter Teil der Kronhornröhrchen mit dunklen Markräumen.

*Longitudinal section of the coronary segment with bending in the corial papillae and the accompanying horn tubules. The bases of the papillae and the tubules run in proximal direction at first. Afterwards the papillae and the tubules turn to the distal direction. In a sound hoof the papillae and the coronary horn tubules run from the beginning in a straight distal direction. The bending of the papillae and horn tubules is due to the sinking of the inner parts of the laminitic hooves. Left forehoof of a warmblood horse (Nr. 1, 15 years old), 5 days after the first laminitis symptoms. Freeze-section, Alcianblue-PAS. a Corium, inner side; b basal part of corial papillae, running in proximal direction; c germinative layer of epidermis (dark); d coronary horn; e bends of corial papillae and horn tubules; f coronary horn tubules, running distally with dark medullar spaces.*

Coriums oft zu wenig gut erhalten. Die Epithelien der Epidermis mit dem Stratum germinativum und den Hornzellen, erscheinen morphologisch intakt und lassen allfällige Schäden auch klar erkennen. Die kurz nach dem Tod durch Injektion fixierten Gewebe bleiben allesamt am besten erhalten. Die Bereiche vom Horn in seiner gesamten Stärke bis zum

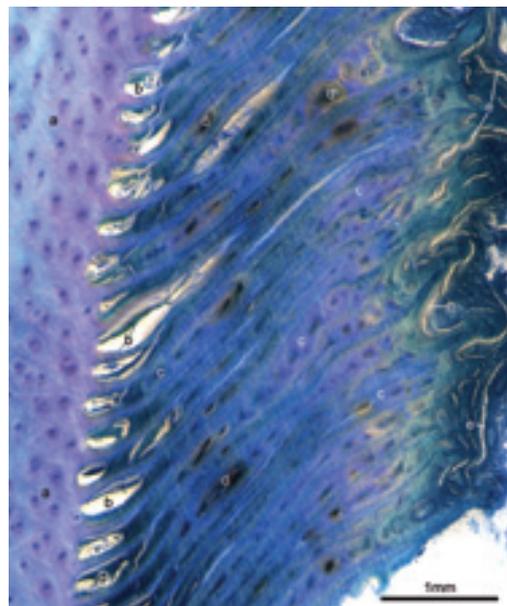
Knochen können nur in Hartschnitten dargestellt werden. In Paraffinschnitten ist es nur möglich, die Weichteile des Hufes, allenfalls mit sehr wenig vom angrenzenden Horn zu untersuchen. Die Schäden an den basalen Epithelzellen und den Hornzellen der Rehepatienten waren jeweils auch bei der Gefriertechnik nachzuweisen. Die von Budras et al (2009 a und b) erwähnte Scheibenplastination und die in dieser Arbeit angewandte Technik von Hartschnitten nach Einbettung in Methylmetacrylat (MMA) ergänzen sich gut. Beide Techniken erlauben eine gute topographische Zuordnung der Veränderung in den Präparaten. Die Anfärbung der MMA-Präparate



**Abb. 10** Längsschnitt durch das Hufgelenk und den Saum-Kronwulst mit Kompression des Wulstes und starken Verbiegungen der Hornröhrchen sowie Spaltbildungen im Horn und zwischen Epidermis und Corium. Zehenwand des rechten Vorderhufes eines 16-jährigen Traberpferdes (Nr. 8), 6 Wochen nach Beginn der Rehe mit deutlich fühlbarer Delle am Kronrand durch das Einsinken der Innenteile des Hufes. MMA-schnitt, Giemsa-Färbung. a Kronbein; b Hufbein; c Hufgelenk; d Chip des Processus extensorius des Hufbeins; e Sehne des M. extensor digitalis communis; f Saum-Kronwulst mit komprimierten Gefäßen; g Corium des Kronsegments; h Corium des proximalen Blättchenbereichs vom Wandsegment; i Hornblättchen; k Spalt zwischen Corium und Epidermis; l Spalt zwischen Kronhorn und Blättchenbereich; m Kronhorn mit distal gerichteten Röhrchen; n Verbiegungen an der Basis der Kronröhrchen; o Saumepidermis; p zerfallendes Saumhorn; q behaarte Haut.  
*Longitudinal section through the coffin joint and the coronary band with compression of the band and severe bends of the horn tubules. The hoof shows a detachment within the horn and between corium and epidermis. Dorsal hoof wall of the right forehoof of a 16-year-old trotter horse (Nr. 8), 6 weeks after the first laminitis symptoms. The hoof had a deep groove at the coronary band because the inner hoof parts had sunk down. MMA-section, Giemsa-staining. a coronary bone; b coffin bone; c coffin joint; d chip of the Processus extensorius of coffin bone; e tendon of M. extensor digitalis communis; f coronary band with compressed vessels; g coronary corium; h corium of the proximal lamellar part of wall segment; i horn leaflets; k fissure between corium and epidermis; l crack between coronary horn on lamellar area; m coronary horn with tubules running in distal direction; n bends at the base of coronary tubules; o periopical epidermis; p decayed periopical horn; q hairy skin.*

erlaubt noch ein genaues Erkennen der histologischen Strukturen der Oberfläche der um 500 µm dicken Hartschnitte bis zu 200-facher Vergrößerung.

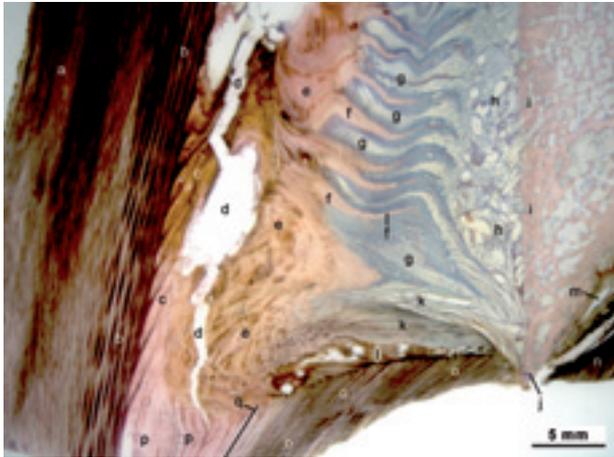
Die in der vorliegenden Arbeit gefundenen mikroskopischen Veränderungen bei Hufrehe sind wie folgt für die makroskopischen Veränderungen verantwortlich. Durch die Ablösung des Epithels von der Dermis, die vor allem im apikalen Teil der weichen Blättchen, die dem Kronhorn benachbart sind, beobachtet wurden, löst sich der Innenteil des Hufes vom Außenteil der Hornkapsel. Der Innenteil des Hufes sinkt nach distal, was auch im Bereich des Kronwulstes zur Verbiegung der Coriumzotten und der Hornröhrchen führte (Abb. 9-10, 13). Die hier bei allen Rehepatienten gefundenen stärksten Veränderungen im Bereich der apikalen Teile oder Firste der weichen Blättchen



**Abb. 11** Querschnitt durch die Mitte der Hornwand mit Ablösung des Narbenhorns vom Blättchenbereich gegen außen zum Kronhorn und gegen innen zu den basalen Schichten von Epidermis und Corium. Rechter Vorderhuf des 16-jährigen Traberpferdes (Nr. 8) von Abb. 10, 6 Wochen nach Beginn der Rehe. MMA-schnitt, Giemsa-Färbung. a Kronhorn, Innenzone; b Hohlräume zwischen Kronhorn und Blättchenbereich nach Hornzerfall; c Narbenhorn = Terminalhorn mit dazwischen liegenden dünnen Hornblättchen; d zerfallendes Terminalhorn; e Risse zwischen Narbenhorn und den basalen Schichten von Epidermis und Corium.  
*Transverse section through the middle of the horn wall. Detachment between the scar horn of lamellae and the coronary horn and at the interior side between the basal layers of epidermis and corium. Right forehoof of the same horse as in fig. 10 (Nr. 8, trotter, 16 years old), 6 weeks after the first laminitis symptoms. MMA-section, Giemsa-staining. a coronary horn, inner zone; b hollow spaces between coronary horn and lamellar area due to decay of horn; c scar horn = terminal horn including thin horn leaflets within; d decaying terminal horn; e fissures between scar horn and the basal layers of epidermis and corium.*

(Abb. 2; 5-8) wirft die Frage auf, ob nicht doch dieser Spitzenbereich in der Blut- und Lymphzirkulation besonders anfällig für Minderdurchblutungen oder auch für verminderten Rückfluss von Blut und Lymphe prädisponiert ist. Eine Minderdurchblutung des Spitzenbereichs der weichen Blättchen ist denkbar durch Öffnung der weiter basal liegenden arteriovenösen Anastomosen sowie durch allfälligen Verschluss der präkapillaren Sphinkteren. Bei Minderdurchblutung wäre eine geringe Sauerstoff- und Glucoseversorgung der Gewebe im Spitzenteil der Blättchen denkbar. Bei vermindertem Rückfluss könnten auch Toxine oder Triggersubstanzen in diesem Gebiet

liegen bleiben und relativ lange Zeit schädigend wirken. Das durch Kühlung der Hufe verhinderte Auftreten von Hufrehe trotz experimenteller Belastung mit Kohlenhydraten (van Eps and Pollitt 2004, Pollitt 2008, van Eps und Pollitt 2009 b) könnte auch das Resultat davon sein, dass durch Minderdurchblutung der Blättchenperipherie weniger oder keine Triglyceridsubstanzen oder Toxine in dieses Gebiet kommen.



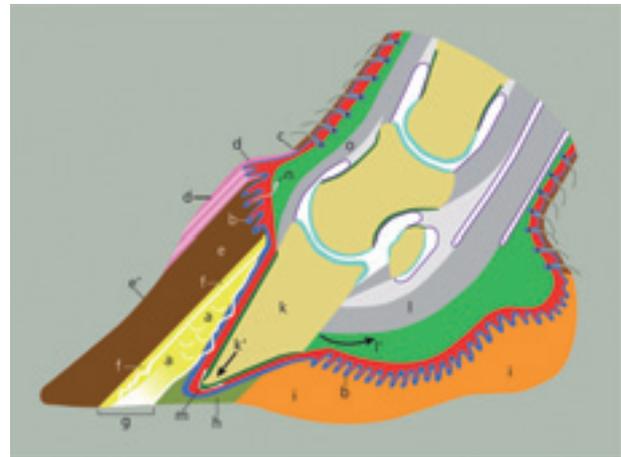
**Abb. 12** Längsschnitt durch die Hornwand und die Sohle mit Rotation und Durchbruch des Hufbeins und starker Verbreiterung des Blättchenbereichs. Situation am linken Vorderhuf eines 6-jährigen Friesenpferdes (Nr.4), 5 Wochen nach Beginn der Rehe. MMA-schnitt, Giemsa-Färbung. a-b Kronhorn in Nähe des Tragrandes: a Außenzone, b Innenzone; c Hornblättchen und Terminalhorn angrenzend an Kronhorn; d Ablösung zwischen Hornwand und Narbenhorn; e Narbenhorn; f Hornblättchen, Schrägschnitte; g weiche Blättchen, stark verlängert, mit Corium (hell) und Stratum germinativum (hellblau), Schrägschnitte; h Corium, Stratum reticulare, verbreitert und aufgelockert; i-j Hufbein: i Zehenwand, j Hufbeinspitze, durch das Sohlenhorn durchgebrochen; k Übergang des Blättchenhoriums in das Sohlencorium; l-m Sohlencorium mit komprimierten Blutgefäßen: l apikaler, m palmarer Teil; n-o Sohlenhorn: n palmarer, o apikaler Teil; p weiße Linie 7.5 mm breit; q Grenze zwischen weißer Linie und Sohlenhorn.

*Longitudinal section through the horn wall and sole with rotation of the coffin bone and an intense enlargement of the lamellar area. Topography of the left forehoof of a 6 year old Friesian horse (Nr. 4), 5 weeks after the first laminitis symptoms. MMA-section, Giemsa-staining. a-b coronary horn near bearing border: a exterior zone, b interior zone; c horn leaflets and terminal horn, adjoining to coronary horn; d detachment between horn wall and scar horn; e scar horn; f horn leaflets, obliquely sectioned; g soft leaflets, elongated with corium (bright) and epidermal germinative layer (blue), oblique sections; h corium, stratum reticulare, widened with a spongy structure; i-j coffin bone: i dorsal wall, j tip of the coffin bone, which has perforated the sole horn; k transition between lamellar and sole corium; l-m sole corium with compressed vessels: l apical part, m palmar part; n-o sole horn: n palmar part, o apical part; p white line, 7.5 mm wide, q border between white line and sole horn.*

Das Aufspalten der Firne der weichen Blättchen zu zahlreichen Coriumzotten und die Produktion von zerfallendem Terminalhorn durch die zugehörige Epidermis, wurde konstant schon proximal und in halber Höhe des Wandsegmentes nachgewiesen (Abb.5-6). Diese Befunde sind klare Zeichen des erkrankten Hufes. Beim gesunden Huf schnüren sich von proximal nach distal an den Firnen der weichen Blättchen nur sehr wenige Zotten ab, die an der Bildung des beim Pferd sehr spärlich vorhandenen Kappenhorns beteiligt sind (Budras und Preuss 1976, Budras et al. 1989, Bolliger und Geyer 1992,

Geyer 2008). Das Terminalhorn, das auch Terminallagenhorn genannt wird, entsteht in großer Menge am gesunden und gepflegten Huf erst um 2 cm über dem Tragrand.

Die schon proximal und in halber Höhe des Wandsegmentes abgeschnürten Zotten und die zugehörigen Hornröhrchen gleichen in Form und Größe den Zotten und dem Röhrchen-



**Abb. 13** Schematischer Längsschnitt durch einen Huf mit schwerer Hufrehe. a Trennungsbereich zwischen Innenteilen des Hufes und der Hornkapsel, teilweise gefüllt mit Narbenhorn; b Stratum germinativum der Epidermis (blau); c Kronrand oft mit Delle; d Saumhorn; e Kronhorn, oft verbogen bei e' oder mit Ringen; f Hornblättchen; g verbreiterte weiße Linie; h Sohlenhorn; i Strahlhorn; k Hufbein und distal wirkende Druckkräfte (k') sowie aufgebogene Hufbeinspitze; l tiefe Beugesehne, ihre Zugkräfte (l') führen zur Rotation; m komprimierte Blutgefäße an der Hufbeinspitze; n komprimierte Blutgefäße am Kronwulst; o Strecksehne.

*Schematic longitudinal section of a hoof with severe laminitis. a area of separation between the inner parts of the hoof and the horn shoe, partially filled with scar horn; b germinative layer of epidermis (blue); c coronary border, often shows a groove; d perioplic horn; e coronary horn, often bent (e') or showing rings; f horn leaflets; g enlarged white line; h sole horn; i frog horn; k coffin bone and distal directed pressure forces (k') and its hat-brimmed tip (k'); l deep flexor tendon, its tension forces (l') induce rotation; m compressed blood vessels at the tip of the coffin bone; n compressed blood vessels at the coronary band; o extensor tendon.*

horn des distalen Terminalbereichs. Daher wird das bei Rehe auch schon proximal zerfallende Röhrchenhorn als „zerfallendes Terminalhorn“ bezeichnet während Budras et al.(2009 b) dieses Horn dem Kappenhorn zuordnen.

Die starke Zubildung von Epithelzellen im Spitzenbereich der weichen Blättchen, die schon proximal beginnt und gegen distal und gegen basal im Blättchenbereich fortschreitet, ist als „Notfallreaktion“ anzusehen. Das hier neu gebildete Epithel zeigt meist keine geordnete Verhornung sondern zerfällt rasch wieder (Abb. 5-8). Der Zerfall dieses Epithels ist in der Regel an der PAS-positiven Roffärbung der ganzen Zelle durch die vorhandenen Glykoproteine zu erkennen. Weiter sind die sehr zahlreich vorhandenen pyknotischen Zellkerne oder Zellkernreste ein Zeichen der erhöhten Zellproduktion und des vermehrten Zelldurchlaufs. In und zwischen den Hornzellen sind oft Hohlräume zu sehen.

Die starke Zellproduktion von schlecht verhornenden Zellen führt zur Bildung des Narbenhorns im Blättchenbereich. Diese

Narbenhornbildung ist für die von proximal nach distal zunehmende Verbreiterung des Blättchenbereiches (Abb. 6-8; 11-13) und der distal folgenden weiten weißen Linie am Tragrand verantwortlich, wie es auch von *Kuwano et al.* (2002) und *Budras et al.* (2009 b) beschrieben wird. Die von proximal nach distal zunehmende Verbreiterung des Blättchenbereiches ist auch röntgenologisch sichtbar und messbar und wird daher zur Beurteilung des Schweregrades und des Verlaufs der Hufrehe beigezogen (*Allmers et al.* 2006, *Kummer et al.* 2006).

Der basale Teil der weichen Blättchen zeigt im vorliegenden Untersuchungsgut jeweils die geringsten Veränderungen (Abb. 4). Die Verbindung zwischen Corium und Epidermis ist hier meist noch am besten erhalten. Von den basalen Teilen der weichen Blättchen ist in chronischen Fällen auch eine gewisse Regeneration des Blättchenbereiches möglich, ähnlich wie es bereits von *Marks* (1984) und *Budras und Huskamp* (1999) sowie *Morgan et al.* (1999) erwähnt wird. Die basalen Gebiete der weichen Blättchen bilden nach *Budras und Huskamp* (1999) einen neuen Hufbeinträger. In den eigenen Untersuchungen war der basale Blättchenbereich aber meist noch mit dem apikalen Blättchenbereich verbunden, wobei wie in Abb. 11 auch Risse zwischen Narbenhorn und den basalen Schichten von Epidermis und Corium beobachtet wurden.

Die Verbiegungen der Saum-Kronröhrchen ist auf das Distalsinken der Innenteile des Hufes zurückzuführen. Schon 5 Tage nach Rehebeginn waren diese Verbiegungen zu sehen und bei allen Patienten waren diese Verbiegungen bis 3 Monate nach Beginn der Rehe sehr ausgeprägt (Abb. 9-10). Bei den über 1 Jahr alten Fällen von Hufrehe waren diese Verbiegungen weniger deutlich, was für eine gewisse Regeneration auch im Bereich des Saum-Kronwulstes spricht.

Die Kompression der Gefäße am Kronwulst und die Bildung von minderwertigem Horn mit Zerfallserscheinungen ist auch dem Distalsinken der Innenteile des Hufes zuzuschreiben (Abb. 10; 13), wie es auch von *Pollitt* (1995), *Cripps und Eustace* (1999) sowie *Eustace und Cripps* (1999) beschrieben wird. Minderdurchblutungen des Coriums können auch hier für die Bildung des vorzeitig zerfallenden Saum-Kronhorns und des proximal gebildeten Anteils der Hornblättchen verantwortlich sein. Die aussen an der Hufkapsel sichtbaren Reheringe sind ein Zeichen des zeitweise, z. B. bei einem Rehschub, in schlechter Qualität gebildeten Hufhorns. Die bei chronischer Hufrehe und ungenügenden Korrekturmaßnahmen beobachtete Bildung eines Knollhufes (*Hood* 1999 a, *Budras und Huskamp* 1999, *Budras et al.* 2009 b) werden der starken Bildung von Narbenhorn zugeschrieben. Die starke Verbiegung der Hufkapsel durch die Bildung von Narbenhorn nennen *Budras und Huskamp* (1999) sowie *Budras et al.* (2009 b) „Hufkapselrotation“. An einer möglichen Biegestelle ist im Schema der Abb. 13 nur eine mäßige Biegung eingetragen, da kein extrem vernachlässigter Rehehuf gezeigt werden sollte.

Die bei Hufrehe makroskopisch sichtbaren Störungen in der Gefäßversorgung des Hufes können seit einigen Jahren auch arteriographisch (*Hertsch und Madeiczky* 2008) oder durch die Venogramme nach Injektion von Kontrastmitteln in die Zehenvenen erfasst werden (*Redden* 2001, *d'Arpe* 2003, *Rucker* 2003). Bei Störungen in der Gefäßversorgung des die Epidermis ernährenden Coriums ist die Folge eine Produktion von minderwertigem Horn. Dies ist nicht nur im Saum-Kron-

segment sondern ganz besonders im Blättchenbereich des Wandsegmentes zu sehen. Der Zerfall des nahe an den Blättchenfirsten gebildeten Narbenhorns führt zur Ablösung des Blättchenbereichs vom Kronhorn (Abb. 6; 8; 11-12). Der Zerfall des weiter basal an den weichen Blättchen gebildeten Narbenhorns führt in Tragrandnähe zu einer Ablösung der weissen Linie vom Sohlenhorn (Abb. 13).

Die Hufbeinrotation bei Rehe ist einesteils die Folge der Ablösung zwischen Innenteil und Hornkapsel im Blättchenbereich und kommt weiter durch den Zug der tiefen Beugesehne gegen palmar zustande (*Hertsch et al.* 1997). Außerdem könnte durch die auch in dieser Arbeit gezeigte starke Produktion von Narbenhorn im Zehenteil des Blättchenbereichs auch ein Druck von dorsal gegen palmar entstehen, der die Hufbeinrotation begünstigt (Abb. 11-13). Die histologisch nachgewiesenen Kompressionen und Blutungen am Corium der Sohle und der Zerfall des Hornes sind auch mit Hilfe der Venogramme radiologisch zu erfassen.

Zur Beteiligung des Stratum reticulare der Huflederhaut am Rehegeschehen des Pferdes kann nach den eigenen Untersuchungen nur ein Hinweis gegeben werden. Im Beispiel von Abb. 12 wurde in Tragrandnähe ein deutlich verbreitertes und aufgelockertes Stratum reticulare des Coriums gesehen ähnlich wie es von *Budras et al.* (2009 b) beschrieben ist.

Am gesunden Huf ziehen zur Aufhängung des Hufbeins Fasern vom Stratum reticulare des Wandcoriums von proximal gegen distal ins Hufbein, was zum Innenteil des Hufbeinträgers gehört (*Budras et al.* 1997 und 2009a, *Pellmann et al.* 1997, *Geyer* 2007 und 2008). Distal im Huf verlaufen diese Fasern des Stratum reticulare mehr horizontal von der Hufbeinspitze in Richtung weiße Linie. Diese mehr horizontale Anordnung der distalen Fasern konnte an Hartschnitten von gesunden Hufen ähnlich dargestellt werden wie von *Budras et al.* (2009a). Diese Verankerung der Hufbeinspitze bis zur weissen Linie über Fasern des Stratum reticulare bietet nach *Budras et al.* (2009a) einen bis zur Hufkapsel reichenden Halt für die von hinten einwirkenden Zugkräfte der tiefen Beugesehne

Bei der Klauenrehe des Rindes sollen nach *Lischer* (2000) Veränderungen im Stratum reticulare zum Absinken des Klauenbeins führen und auch auslösende Faktoren der Kauenrehe sein. Die von *Budras et al.* (2009b) beim Pferd erwähnten starken Veränderungen wie Auflöckerung und Verbreiterung des Stratum reticulare bei Hufrehe wurden fallweise in dieser Arbeit bestätigt. Wie weit die beobachteten Veränderungen am Stratum reticulare des Pferdes eine Folge der Hufrehe sind oder auch als auslösende Ursache für Rehe in Frage kommen muss in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Die an den klinischen Fällen von Hufrehe festgestellten histologischen Veränderungen geben genauere Einblicke in den Verlauf des Geschehens bei Rehe und erklären näher die makroskopisch und klinisch festgestellten Veränderungen. Die Histologie unterstreicht auch sehr, welch schwerwiegende Schäden die rehekranken Hufe aufweisen.

## Danksagung

Herzlichen Dank für die stetige und erfolgreiche Unterstützung in der Histologie: Frau J. Leclerc, Frau E. Bohrer, Frau V.

Horvath und Frau K. Süß und für die überzeugenden Illustrationen an Frau Jeanne Peter und Frau J. Leclerc.

## Literatur

- Allmers E., Becker S. und Wiemer F. (2006) Durchführung und Beurteilung der röntgenologischen Untersuchung bei chronischer Hufrehe. *Prakt. Tierarzt* 87, 283-287
- d'Arpe L. (2003) The importance of the venogram in laminitis. *The Farriers Journal* 100, 22-35
- Bolliger C. und Geyer H. (1992) Zur Morphologie und Histochemie des Pferdehufes. *Pferdeheilkunde* 8, 269-286
- Budras K.-D. und Preuss F. (1979) Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Hornbildung im Hyponychium des Pferdehufes. *Prakt. Tierarzt* 9, 729-736
- Budras K.-D., Hullinger R. L. und Sack W. O. (1989) Light- and electronmicroscopy of keratinization in the laminar epidermis of the equine hoof with reference to laminitis. *Am. J. Vet. Res.* 50, 1150-1160
- Budras K.-D., Bragulla H., Pellmann R. und Reese S. (1997) Das Hufbein mit Periost und Insertionszone des Hufbeinträgers. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 84, 241-247
- Budras K.-D. und Huskamp B. (1999) Belastungsreihe – Vergleichende Betrachtungen zu anderen systemischen Huferkrankungen. *Pferdeheilkunde* 15, 89-110
- Budras K.-D. und Röck S. (2005) Der Huf. In: *Atlas der Anatomie des Pferdes*. 5. Auflage, Verlag Schlütersche, Hannover; 26-29; 135-141
- Budras K.-D., Huskamp B. und Schneider J. (2006) Hufrehe, Morbus apparatus suspensorii ossis ungularis. In Dietz, O. und Huskamp, B.: *Handbuch der Pferdepraxis*. Verlag Enke, Stuttgart, S. 972-978
- Budras K.-D., Hirschberg R., Hinterhofer C., Polsterer E. und König H. E. (2009 a) Der Hufbeinträger- Teil 1: Die fächerförmige Verstärkung des Hufbeinträgers an der Hufbeinspitze des Pferdes. *Pferdeheilkunde* 25, 94-104
- Budras K.-D., Hinterhofer C., Hirschberg R., Polsterer E. und König H. E. (2009 b) Der Hufbeinträger – Teil 2: Die klinische Bedeutung des Hufbeinträgers und seiner fächerförmigen Verstärkung bei der Hufrehe mit Hufbein- oder Hufkapselrotation. *Pferdeheilkunde* 25, 192-204
- Clutterbuck A. L., Harris P., Allaway D. und Mobasher A. (2010) Matrix metalloproteinases in inflammatory pathologies of the horse. *Vet. J.* 183, 27-38
- Cripps P. J. und Eustace R. A. (1999) Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. *Equine vet. J.* 31, 427-432
- Eustace R. A. und Cripps P. J. (1999) Factors involved in the prognosis of equine laminitis in the UK. *Equine vet. J.* 31, 433-442
- French K. R. und Pollitt C. C. (2004) Equine laminitis: loss of hemidesmosomes in hoof secondary epidermal lamellae correlates to dose in an oligofructose induction model: an ultrastructural study. *Equine vet. J.* 36, 230-235
- French K. R. und Pollitt C. C. (2004) Equine laminitis: glucose deprivation and MMP activation induce dermo-epidermal separation in vitro. *Equine vet. J.* 36, 261-266
- Geyer H. (2007) Die Huflederhaut. *Der Huf*, 127, 6-14
- Geyer H. (2008) Das Zehenendorgan – in: *Anatomie für die Tiermedizin*, 2. Auflage, Verlag Enke, Stuttgart, S. 655-667
- Grosenbaugh D. A., Morgan S. J. und Hood D. M. (1999) The digital pathologies of chronic laminitis. *Vet. Clin. North Am., Equine Practice* 15, 419-435
- Hertsch B., Höppner S. und Dallmer H. (1997) Der Huf und sein nagelloser Hufschutz. FN-Verlag, D-48205 Warendorf, S. 66-76
- Hertsch B. und Madejczyk V. (2008) Diagnostic results of the angiographic and microangiographic examination of the digit of horses with acute and chronic laminitis. *Int. Laminitis Symposium Freie Universität Berlin* 11-13. 11. 2008
- Hood D. M. (1999 a) The pathophysiology of developmental and acute laminitis. *Vet. Clin. North Am., Equine Practice* 15, 321-343
- Hood D. M. (1999 b) The mechanisms and consequences of structural failure of the foot. *Vet. Clin. North Am., Equine Practice* 15, 437-461
- Kuwano A., Katayama Y., Kasashima Y. und Reilly D. J. (2002) A gross and histopathological study of ectopic white line development in equine laminitis. *J. Vet. Med. Sci.* 64, 893-900
- Kyaw-Tanner M. und Pollitt C. C. (2004) Equine laminitis: increased transcription of matrix metalloproteinase-2 (MMP-2) occurs during the developmental phase. *Equine vet. J.* 36, 221-225
- Kyaw-Tanner M., Wattle O., van Eps A. W. und Pollitt C. C. (2008) Equine laminitis: Membrane type matrix metalloproteinase 14 (MMP-14) is involved in acute phase onset. *Equine vet. J.* 40, 482-487
- Kummer M., Geyer H., Imboden I., Auer J. und Lischer C. J. (2006) The effect of hoof trimming on radiographic measurements of the front feet of normal warmblood horses. *Vet. J.* 172, 58-66
- Lischer C. J. (2000) Sohlengeschwüre beim Rind. *Habilitationschrift Universität Zürich*, S. 169-177
- Marks G. (1984) Makroskopische, licht- und elektronenoptische Untersuchung zur Morphologie des Hyponychiums bei der Hufrehe des Pferdes. *Diss. vet. med.*, Freie Universität Berlin
- Marks G. und Budras K.-D. (1987) Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über die akute Hufrehe des Pferdes. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 100, 82-88
- Morgan S. J., Grosenbaugh D. A. und Hood D. M. (1999) The pathophysiology of chronic laminitis. *Vet. Clin. North Am., Equine Practice* 15, 395-417
- Pass M. A., Pollitt S. und Pollitt C. C. (1998) Decreased glucose metabolism causes separation of hoof lamellae in vitro a trigger for laminitis? *Equine vet. J. Suppl.* 26, 133-138
- Pellmann R., Budras K.-D. und Bragulla H. (1996) Struktur und Funktion des Hufbeinträgers beim Pferd. *Pferdeheilkunde*, 13, 53-64
- Pollitt C. C. und Molyneux G. S. (1990) A scanning electron microscopical study of the dermal microcirculation of the equine foot. *Equine vet. J.* 22, 79-87
- Pollitt C. C. (1993) The role of arteriovenous anastomoses in pathophysiology of equine laminitis. *Swiss Vet.* 11-S, 72-74
- Pollitt C. C. (1995, 2005) *The horse's foot*. Mosby, Edinburgh, London, New York, Toronto, 1. Ed. 1995, 5. Ed. 2005, p. 169-205 Deutsche Übersetzung von Budras K.-D. und Hertsch B. (1999). Verlag Schlütersche, Hannover
- Pollitt C. C. (1996) Basement membrane pathology: a feature of acute equine laminitis. *Equine vet. J.* 28, 38-46
- Pollitt C. C., Pass M. A. und Pollitt S. (1998) Batimastat (BB94) inhibits matrix metalloproteinases of equine laminitis. *Equine vet. J. Suppl.* 26, 119-124
- Pollitt C. C. und Daradka M. (1998) Equine laminitis basement membrane pathology: loss of type IV collagen, type VII collagen and laminin immunostaining. *Equine Vet. J. Suppl.* 26, 139-144
- Pollitt C. C. (1999) Equine laminitis: A revised pathophysiology. 6. Congress on Equine Medicine and Surgery, Geneva 12.-14. 12. 1999, *Proceedings* p. 154-157
- Pollitt C. C. (2008 a) Das Feuer löschen: Hufrehe vorbeugen. *Der Huf* 131, 6-15
- Pollitt C. C. (2008 b) Present state of laminitis pathogenesis. – Preventing laminitis with distal limb cryotherapy. *Int. Laminitis Symposium Freie Universität Berlin* 11.-13. 11. 2008
- Redden R. F. (2001) A technique for performing digital venography in the standing horse. *Equine vet. Educ.* 13, 128-134
- Rucker A. (2003) Aspects of the normal digital venogram: Anatomy, parameters and variations. *Proceedings Bluegrass Laminitis Symposium Louisville, Kentucky*, 2003
- van Eps A. W. und Pollitt C. C. (2004 a) Equine laminitis: cryotherapy reduces the severity of the acute lesion. *Equine vet. J.* 36, 255-260
- van Eps A. W. und Pollitt C. C. (2004 b): Equine laminitis induced with oligofructose. *Equine vet. J.* 36, 203-208
- van Eps A. W. und Pollitt C. C. (2009 a) Equine laminitis model: lamellar histopathology seven days after induction with oligofructose. *Equine vet. J.* 41, 735-740
- van Eps A. W. und Pollitt C. C. (2009 b) Equine laminitis model: cryotherapy reduces the severity of lesions evaluated seven days after induction with oligofructose. *Equine vet. J.* 41, 741-746

Prof. Hans Geyer  
 Vet.-Anatomisches Institut  
 Winterthurerstr. 260  
 8057 Zürich  
 hgeyer@vetanat.uzh.ch