

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizer Archiv für Tierheilkunde SAT : die Fachzeitschrift für Tierärztinnen und Tierärzte = Archives Suisses de Médecine Vétérinaire ASMV : la revue professionnelle des vétérinaires
<b>Herausgeber:</b>	Gesellschaft Schweizer Tierärztinnen und Tierärzte
<b>Band:</b>	136 (1994)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Strukturelle Faktoren mit Einfluss auf die Hornqualität und Prädilektionsstellen für Erkrankungen an der Fussungsfläche der Rinderklaue
<b>Autor:</b>	Mülling, C. / Bragulla, H. / Budras, K.-D.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-589394">https://doi.org/10.5169/seals-589394</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Institut für Veterinär-Anatomie der Freien Universität Berlin

# Strukturelle Faktoren mit Einfluss auf die Hornqualität und Prädilektionsstellen für Erkrankungen an der Fussungsfläche der Rinderklaue\*\*\*

Ch. Mülling, H. Bragulla, K.-D. Budras, S. Reese

## Zusammenfassung

Die Qualität des Klauenhorns variiert in den verschiedenen Abschnitten der Fussungsfläche angepasst an die natürliche Belastung. Die Keratinproteine als bedeutendste intrazelluläre Faktoren, der Interzellulkitt als interzellulärer Faktor und die Architektonik des Hornzellverbandes, das heisst sein Aufbau aus Zwischenröhren- und Röhrenhorn nehmen Einfluss auf die Hornqualität. Unterschiede in der Struktur und Zusammensetzung dieser Faktoren und ihre Kombination sind massgebend für die schon palpatorisch erfassbaren Unterschiede in der Härte des Klauenhorns in den Segmenten. An bestimmten Stellen, wie zum Beispiel der Weissen Linie, kennzeichnet die Kombination dieser Faktoren Prädilektionsstellen für Klauenerkrankungen.

**Schlüsselwörter:** Klaue – Rind – Hornqualität – Keratinproteine – Interzellulkitt

## Einleitung

Die Qualität des Klauenhorns variiert in den einzelnen Segmenten entsprechend den unterschiedlichen mechanischen Anforderungen durch die Belastung beim Fussen. Diese Unterschiede der Hornqualität können

\* Gewidmet Herrn Professor Dr. Frewein zur Vollendung seines 60. Lebensjahres.

\*\* Gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Bu 406/2)

## Structural factors influencing horn quality and sites of predilection at the ground surface of the cattle hoof

The quality of the horn of the cattle hoof varies in the different segments of the ground surface adapted to weight bearing. Horn quality is influenced by the following main factors: the keratin proteins as the most important intracellular factor, the intercellular cementing substance as the intercellular factor, and the architecture of the cluster of horn cells, i.e. the arrangement of horn cells in tubular and intertubular horn. Differences in the structure and composition of these factors and their respective combination determine the different degrees of hardness of hoof horn, which are even palpable. In special places, as i.e. the white zone, the combination of all these above-mentioned factors determines sites of predilection for diseases of the cattle hoof like white line disease.

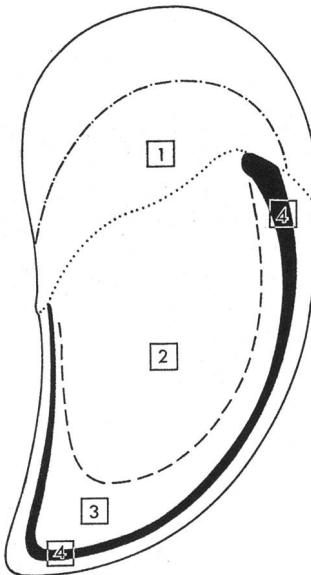
**Key words:** hoof – cattle – horn quality – keratinproteins – intercellular cementing substance – white line disease

durch Materialprüfungsmethoden objektiviert werden. Bestimmt wird die Hornqualität durch intra- und interzelluläre Faktoren sowie durch die Architektonik des Hornzellverbandes. Der Hornzellverband entspricht in seinem Aufbau dem eines Ziegelmauerwerkes, bei dem die Hornzellen die Ziegelsteine und der Interzellulkitt den Mörtel vertreten. Als bedeutendste intrazelluläre Faktoren sind die amorphen und filamentären Keratinproteine zu nennen, welche über Art, Menge und den Vernetzungsgrad durch Disulfidbrücken die Hornzell-

qualität beeinflussen. Der Interzellulkitt nimmt als interzellulärer Faktor mit seiner Zusammensetzung, Menge und Verteilung Einfluss auf die Hornqualität. Die Architektonik des Hornzellverbandes, das heißt die Anordnung der Hornzellen in Zwischenröhrenchen- und Röhrenhorn, bestimmt die Hornqualität durch die Zahl und die Größe der Röhrenchen, sowie das Verhältnis von Röhrenchentrinde zu Röhrenchenmark.

## Material und Methoden

Untersucht wurden die Klauen von 10 Schlachtrindern beiderlei Geschlechts der Rassen Fleckvieh und Deutsch-Schwarzbunt. Die Klauen wiesen einen guten Pflegezustand auf und zeigten keine Anzeichen von Klauenerkrankungen. Die Bestimmung der Klauenhornhärte erfolgte mit dem Kugelindruckversuch nach DIN 53 456 in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin. Dazu wurde die ganze Fussungsfläche der Klauenkapsel durch einen horizontalen Sägeschnitt abgesetzt. An diesem Probenkörper wurde der Kugelindruckversuch in den verschiedenen Abschnitten durchgeführt (Tab. 1 und Schema 1). Von den kontralateralen Gliedmassen wurden für die lichtmikroskopischen Untersuchungen aus entsprechenden Lokalisierungen innerhalb der Klauensegmente (Schema 1) würfelförmige Proben herausgesägt, die Corium und Epidermis in ihrem natürlichen Zusammenhang umfassten. Die Fixation erfolgte in 4%igem, neutralem Formaldehyd für mindestens 7 Tage. Anschließend wurden die Proben in Glycolmethacrylat (Technovit 7100 und 8100, Kulzer®) eingebettet. In sagittaler oder horizontaler Ausrichtung wurden 4 bis 7 µm dicke Schnitte hergestellt. Von nicht eingebettetem Material wurden Gefrierschnitte in einer Dicke von 7 µm angefertigt. Die Architektonik des Hornzellverbandes wurde an lichtmikroskopischen Präparaten untersucht. Diese wurden quer zur Längsachse der Hornröhrenchen angefertigt und mit Hämatoxylin/Eosin oder mit der Perjodsäure-Schiff-Reaktion (PAS-Reaktion nach McManus; Romeis, 1989) gefärbt. An diesen Präparaten erfolgte auch die morphometrische Bestimmung der Röhrendurchmesser und des Verhältnisses von Röhrenchenmark zu -rinde. Die Färbung mit Hämatoxylin/Eosin diente auch dem Nachweis eines Stratum granulosum epidermidis zur Klassifizierung des harten oder weichen Verhornteprinzipes. Die Keratinproteine wurden immunhistochemisch mit mono- und polyclonalen Antikörpern (anti bovine cytokeratine und MNF 116, DAKO Diagnostika, Hamburg; AE1/AE3 und CK 5/6, BOEHRINGER MANNHEIM) nachgewiesen. Die gebundenen Antikörper wurden mit der PAP-Technik dargestellt. Der histochemische Nachweis von Disulfidbrücken und ihren Vorstufen, den Sulfhydrylgruppen, erfolgte zur Bestimmung des Vernetzungsgrades der nachgewiesenen Keratinproteine. Dafür wurde die Dihydroxy-Dinaphthyl-Disulfid-Reaktion (DDD-Reaktion) gemäß den Methoden von Barnett und Seligman (1954) angewandt. Zur lichtmikroskopisch-histochemischen Dar-



*Schema 1: Fussungsfläche der Rinderklaue mit den Lokalisationen der Probenentnahmen:*

- 1 - proximaler Abschnitt des Ballensegmentes;
- 2 - distaler Abschnitt des Ballensegmentes;
- 3 - Soblensegment;
- 4 - Weisse Linie;

*Die Strich-Punkt-Linie gibt die palmare/plantare Grenze der Fussungsfläche an.*

stellung der Glykoproteine im Interzellulkitt wurde die PAS-Reaktion nach Präinkubation mit Diastase durchgeführt. Nach der Diastaseinkubation reagiert Glykogen nicht mehr PAS-positiv. Zum Nachweis von Fetten im Interzellulkitt wurden Gefrierschnitte mit Sudan-schwarz gefärbt (Romeis, 1989).

Für die transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchungen zur Ermittlung des Zellaufbaues, sowie der Struktur, Menge und Verteilung des Interzellulkittes wurden unmittelbar post mortem Proben (5×2×2 mm) entnommen (siehe Schemazeichnung I, Nr. 1-4) und zur Darstellung der Phospholipidmembranstapel im Interzellulkitt in 1%igem Osmiumtetroxyd fixiert, ohne eine Vorfixierung mit Glutaraldehyd vorzunehmen (Hashimoto, 1971). Nach der Blockkontrastierung mit Uranylacetat und Entwässerung in einer aufsteigenden Alkoholreihe erfolgte die Einbettung in Epon. Die Ultradünnnschnitte mit einer Dicke von 50–60 nm wurden auf befilmte Kupferringblenden aufgezogen und mit Bleicitrat schnittkontrastiert. Die Untersuchung und fotografische Dokumentation erfolgte am Elektronenmikroskop EM 10 (Zeiss).

## Befunde

Die Unterschiede der Hornqualität werden durch die Untersuchung der Klauen mit der Kugelindruckmethode quantifiziert. In der Tabelle 1 sind die Unterschiede in der mechanisch-physikalischen Härte des Klauen-

# **Sichere Narkose mit bewährten CHASSOT-Spezialitäten**

**bei grosser Wirtschaftlichkeit**

## *Zur Sedation*

### **SEDALIN®**

- die Palette mit den Patienten-adäquaten Arzneiformen
  - Gross-, Klein-, Heimtiere Injektionslösung 5 x 10 ml
  - Katze, kleiner Hund Dragée mite 40 Drag.
  - mittlerer und grosser Hund Dragée forte 40 Drag.
  - Pferd und andere Tiere Gel/Oraldoser 10 ml

### **XYLAPAN®**

Injektionslösung

- das potente Sedativum mit Muskelrelaxation und dosisabhängiger begrenzter Analgesie
  - OP: 5 x 10 ml, 50 ml

## *Zur Narkose*

### **NARKETAN® 5 u. 10**

Injektionslösung

- das Kurznarkotikum für Gross-, Klein- und Heimtiere sowie Wildtiere
  - OP: 5% 5 x 10 ml, 10% 5 x 10 ml, 50 ml

## *Zur Muskelrelaxation und zum Niederlegen beim Pferd*

### **MYOLAXIN® 15%**

- das bewährte Muskelrelaxans zum sanften Niederlegen für eine sichere Narkose beim Pferd
  - OP: Infusionsbeutel zu 500 ml



**CHASSOT**

© 031 819 41 41

Wir informieren Sie gerne!

DIE EDV-LÖSUNG FÜR GROSS- UND KLEINTIERPRAXEN:

# OBLON-DATA

## FÜR MAC- UND PC-SYSTEME.

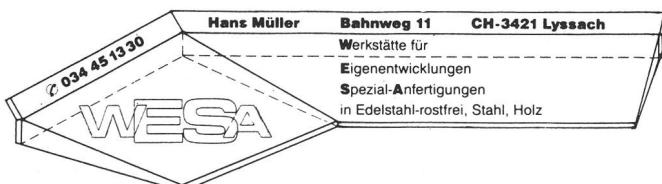
Deutsch, Français, Italiano.  
Vielseitig, einfach, übersichtlich...  
besser.

UND  
NEU  
FÜR  
**WINDOWS**

Amacker & Partner

I N F O R M A T I K

Amacker & Partner, Aemtlerstrasse 30, CH-8003 Zürich  
Telefon: 01-463 12 36/Telefax: 01-463 18 53

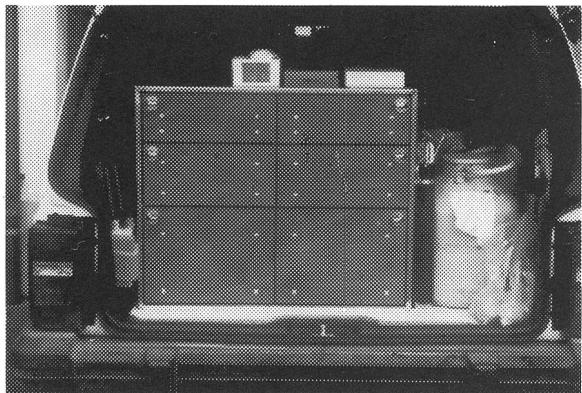


Die Qualität aus Holz

### **WESA-Autoapotheken**

In unserer Werkstatt werden für Sie noch weitere Produkte hergestellt.

Ihre Werkstätte für Einzel-Anfertigungen



### **Jetzt mit dem ersten PC-gesteuerten Röntgen-Generator der Welt**

Mit Fr. 19.– sind Sie dabei: (Basis 500 A/Jahr)

Mit unserem neuen Röntgen-Vertriebs-System berappen Sie **nachträglich** nur die ausgeführten Expositionen zu Fr. 19.–. Interessiert Sie diese risikofreie Beschaffung einer Röntgeneinrichtung, mit Service und **Vollgarantie?**

Bitte verlangen Sie unverbindlich unser Angebot für eine betriebsbereite, komplette Röntgenanlage mit Dunkelkammereinrichtung.

**Vorteile:** keine Kapitalinvestition; Vollgarantie während der Vertragsdauer. Nach 5 Jahren sind Sie Besitzer der kompletten Röntgeneinrichtung.

**Revidierte Occassions-Röntgenanlage,**  
500 mA, 125 kV. Buckystand, fahrbarer Tisch, Fr. 22 000.–.  
R. Liechti AG, Röntgen, 2075 Thielle, Tel. 032 88 21 27

NEU!

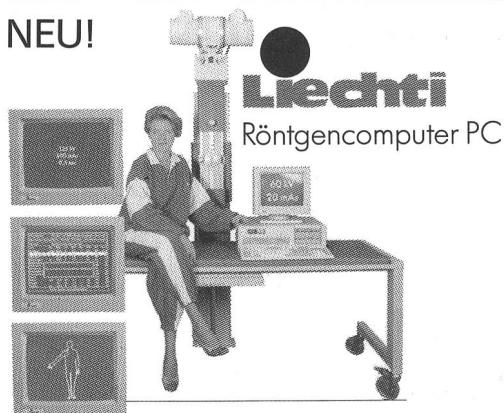


Tabelle 1: Klauenhornhärte in N/mm<sup>2</sup> bestimmt durch den Kugelindruckversuch (DIN 53 456)

Messwert	Segment/Abschnitt							
	Zona alba (4)							
	Ballen prox. (1)	Ballen dist. (2)	Sohlenhorn (3)	Terminalhorn (4b) + Blättchenhorn (4c)	Kappenhorn (4a) + Blättchenhorn (4c)	Kronhorn <sup>x)</sup>		
Minimun	5,9	8,2	10,8	6,0	4,3	23,5		
Maximum	8,4	10,7	14,3	8,3	5,8	28,1		
Mittelwert:	6,8	9,3	12,9	6,9	5,1	25,7		

<sup>x)</sup> Vergleichswerte nach Dirks (1985) und nach Mülling et al. (1992)

Die Klauenhornhärte nimmt vom proximalen zum distalen Teil des Ballensegments deutlich zu. Zwischen dem harten Sohlen- und Kronhorn liegt das sehr viel weichere Kappen- und Terminalhorn der weissen Linie.

horns an den vier Untersuchungsstellen für die Segmente zusammengefasst.

Im weich-elastischen Horn des *proximalen Abschnittes des Ballensegmentes* wird die Architektonik des Hornzellverbandes durch einen grossen Anteil an Zwischenrörchenhorn charakterisiert. In dieses eingebettet sind grosskalibrige Hornrörchen (120–180 µm), die aus einer dünnen undeutlichen Rinde und einem weiten Markraum bestehen. Die Rörchenanschnitte sind auf der Fussungsfläche in unregelmässigen Wellenformationen hintereinander gereiht. In ihrem Längsverlauf sind sie spiralfederartig im Zwischenrörchenhorn erkennbar. Dieses weich-elastische Horn entsteht nach dem Prinzip der weichen Verhornung über die Ausbildung eines Stratum granulosum. Die Hornzellen sind mit Keratinmassen angefüllt, in denen flüssigkeitsgefüllte Hohlräume liegen. Der daraus resultierende Aufbau der Hornzelle ist als spongiös zu bezeichnen (Abb. 1a). Die Keratinproteinmassen aus filamentären und amorphen Keratinproteinen zeigen Unterschiede in ihrem Kontrast, daher weist die Hornzelle eine Marmorierung auf. Von dieser abzugrenzen ist eine stark elektronendichte Flekung der Hornzelle, die durch den Kernrest, Organellenreste und paraplasmatische Substanzen hervorgerufen wird (Abb. 2a). Die Hornmassen enthalten kurze, dünne Keratinfilamentbündel, die durch einen hohen Anteil amorpher Keratinproteine verbacken werden. Beide Typen der Keratinproteine sind überwiegend kurzkettig, ihr Molekulargewicht beträgt 45,5 bis 56,5 kD. Sie sind nur über wenige Disulfidbrücken vernetzt, vor allem im Horn des Rörchenmarks. Dementsprechend sind viele freie Sulphydrylgruppen nachweisbar.

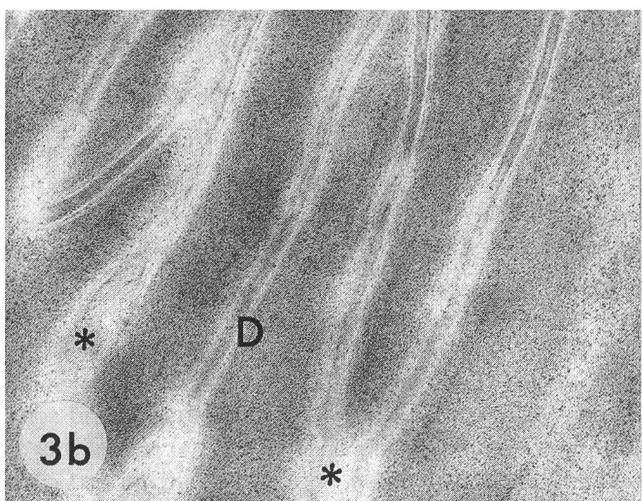
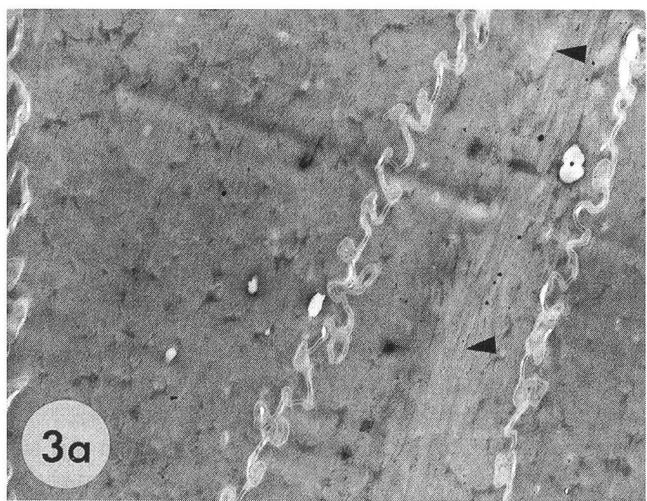
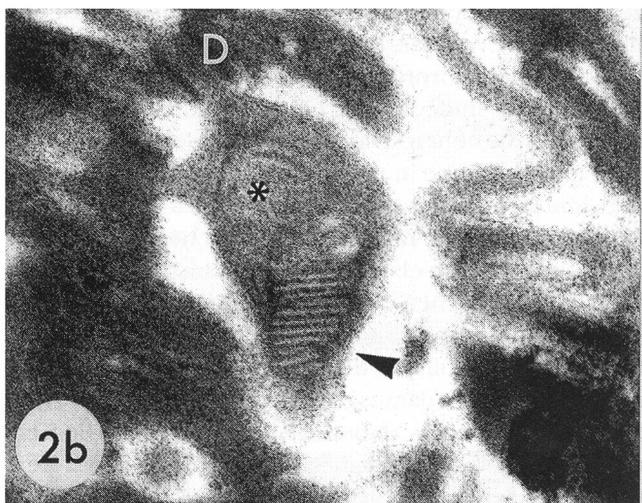
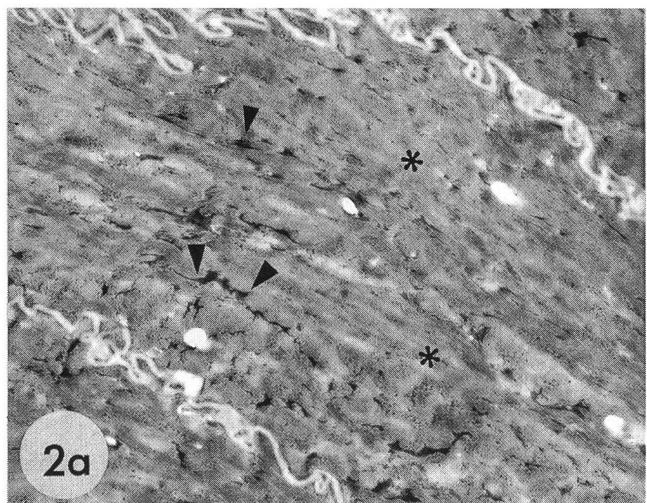
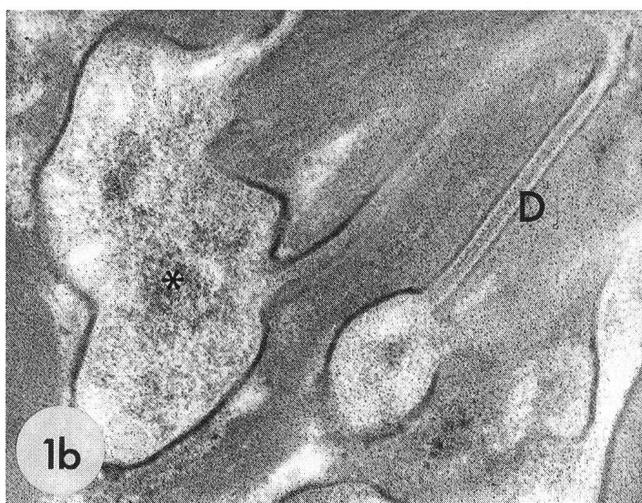
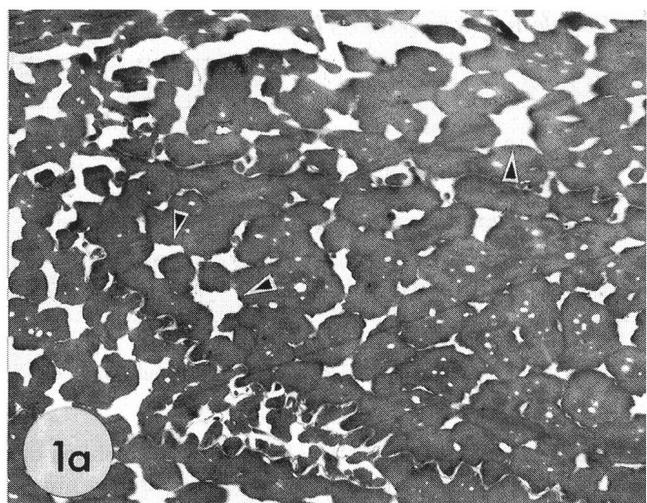
Die Hornzellen werden untereinander durch grosse Mengen von Interzellulkitt verbunden, der den gleichmässig engen (30–50 nm) Interzellularraum und seine sehr zahlreichen grossblasigen Erweiterungen (bis zu 800 nm) anfüllt (Abb. 1b). Er besitzt einen hohen Gehalt an nahezu amorphen Lipiden, die sich durch eine feinkörnige bis amorphe Ultrastruktur, hohe Osmophilie und Anfärbbarkeit mit Sudanschwarz auszeichnen.

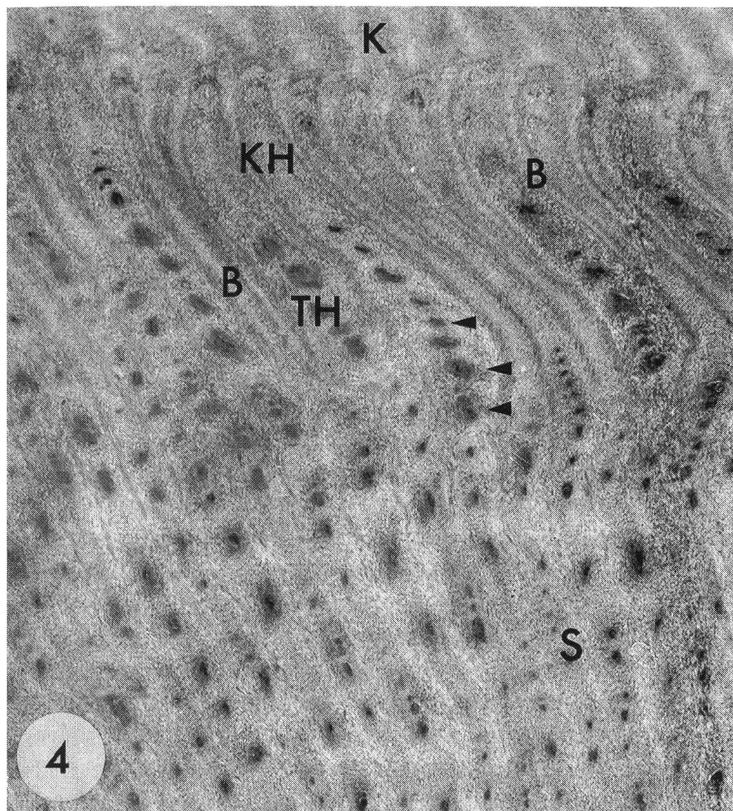
Im *distalen Abschnitt des Ballensegmentes* stehen die Hornrörchen dichter als im proximalen Abschnitt. Ihr Durchmesser ist kleiner (60–120 µm), ihre Rindenzone ist breiter, entsprechend ist der Markraum enger. Bei Aufsicht auf die Fussungsfläche stehen die Hornrörchen in wellenförmigen Reihen hintereinander. Bei sa-

gittaler Ansicht ist erkennbar, dass sie zum Sohlensegment hin gestreckt durch das Zwischenrörchenhorn distal ziehen. In diesem Abschnitt des Ballensegmentes wird ein hartes Horn nach dem Prinzip der harten Verhornung ohne Durchlaufen eines Stratum granulosum gebildet. Die Hornzellen schilfern in Gruppen auf der Fussungsfläche ab. Die filamentären und amorphen Keratinproteine füllen die Hornzellen nahezu vollständig an, Hohlräume treten nur selten auf. Der Aufbau der Hornzellen ist demzufolge als solide zu bezeichnen. Die Hornzellen sind schwach gefleckt und ihre Keratinmassen zeigen eine Marmorierung durch Kontrastunterschiede (Abb. 2a). Der Anteil der filamentären Keratinproteine überwiegt den der amorphen Keratinproteine. Mittel- und langketige Keratinproteine (Molekulargewicht 56,5–60 kD) sind durch eine mittlere Anzahl von Disulfidbrücken verbunden, insbesondere in den Hornzellen der Rörchenrinde.

Der Interzellulkitt zwischen den Hornzellen enthält einen hohen Anteil an Phospholipiden, der sich mit Sudanschwarz anfärbt. In ihrer Ultrastruktur liegen diese Phospholipide in charakteristischer Membranstapelform vor. Zum geringeren Anteil besteht er aus Glykoproteinen, die eine feinkörnige Ultrastruktur besitzen, eine geringgradige Osmophilie aufweisen und eine deutlich PAS-positive Reaktion zeigen. Er füllt den gleichmässig engen Interzellularraum und seine zahlreichen blasenförmigen Erweiterungen (200–400 nm) aus (Abb. 2b).

Im *Sohlensegment* sind die Hornrörchenanschnitte auf der Fussungsfläche in Reihen angeordnet und stehen dicht hintereinander (Abb. 4). Sie haben nur einen kleinen Durchmesser (50–110 µm). Ihre Rinde dominiert gegenüber dem engen Markraum. Das Sohlenhorn wird nach dem Prinzip der harten Verhornung gebildet. Filamentäre Keratinproteine überwiegen bei weitem, sie sind mit einer geringen Menge amorpher Keratinproteine sehr dicht verbacken und füllen die Hornzelle vollständig aus. Die Hornzellen sind also solide aufgebaut. Ihre Keratinmassen zeigen eine schwache Marmorierung, eine Fleckung ist nur selten vorhanden (Abb. 3a). Mittellange und lange Keratinproteinketten mit einem Molekulargewicht von 58 bis 60 kD bestimmen das Bild. Sie sind in hoher Dichte über Disulfidbrücken vernetzt, zusätzlich sind viele freie Sulphydrylgruppen nachweisbar.





Legende zu den Abbildungen 1 bis 4:

*Abb. 1: Proximaler Abschnitt des Ballensegmentes*

*1a: Spongiöse Hornzellen mit zahlreichen*

*Hohlräumen (→) in den Keratinmassen;*

*Vergr. 2650×*

*1b: In den Abschnitten zwischen den*

*Desmosomenresten (D) ist der Interzellulärraum*

*grossblasig erweitert und mit feinkörnigem,*

*osmiophilem Interzellularkitt (\*) gefüllt;*

*Vergr. 55000×*

*Abb. 2: Distaler Abschnitt des Ballensegmentes*

*2a: Solide Hornzellen: In den Keratinmassen liegen*

*Organellenreste (Ribosomen), die eine Fleckung (→)*

*der Hornzellen hervorrufen. Die Keratinmassen*

*zeigen Kontrastunterschiede, die zu einer*

*Marmorierung (\*) führen. Vergr. 8800×*

*2b: In den Abschnitten zwischen den*

*Desmosomenresten (D) ist der Interzellulärraum*

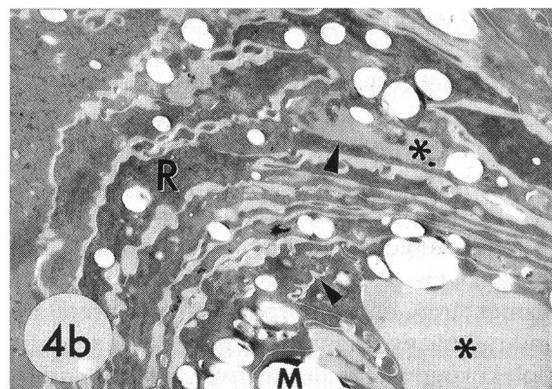
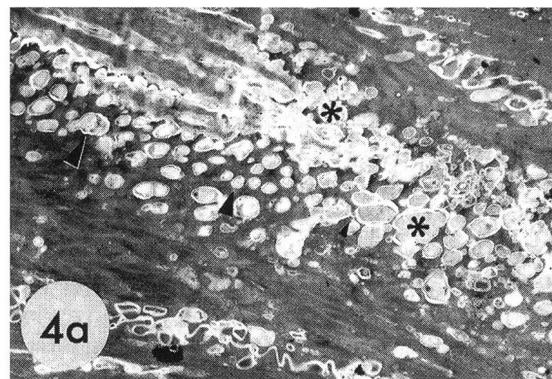
*blasig erweitert und mit Interzellularkitt gefüllt, der*

*einerseits aus sehr feinkörnigem, schwach*

*osmiophilem Material (\*) und andererseits aus*

*typischen geldrollenartig angeordneten*

*Membranstapeln (→) besteht. Vergr. 85000×*



*Abb. 3: Soblensegment*

*3a: Solide Hornzellen, deren Keratinmassen eine*

*schwache Marmorierung (→) aufweisen.*

*Vergr. 11000×*

*3b: Der Interzellulärraum ist überwiegend*

*gleichmäßig eng. Abschnitte zwischen den*

*Desmosomenresten (D) sind flachoval erweitert und*

*mit einem feinkörnigen bis homogenen und schwach*

*osmiophilen Interzellularkitt (\*) angefüllt.*

*Vergr. 69300×*

*Abb. 4: Ausschnitt aus der Weissen Linie nahe dem abaxialen Ende: Innere, röhrchenfreie Zone des Kronhorns (K); Hornblättchen (B); Kappenhorn (KH); Terminalhorn (TH) mit grossen, in Reihen angeordneten Hornröhren (→); Soblenhorn (S); Vergr. 30×*

*4a: Kappenhornzellen (Abb. 4/KH): Der*

*Interzellulärraum ist zu zahlreichen Blasen (→) sehr*

*unterschiedlicher Größe erweitert, die mit einem*

*feinkörnigen, schwach osmiophilen Interzellularkitt*

*(\*) gefüllt sind. Vergr. 5700×*

*4b: Ausschnitt aus einem quergeschnittenen*

*Terminalhornröhren (Abb. 4/→): Zwischen den*

*spongiösen Hornzellen der Röhrenrinde (R) und*

*den zerfallenen Hornzellen des Markraumes (M)*

*liegen grosse, lakenartige Erweiterungen des*

*Interzellulärraumes (→). Diese sind mit*

*feinkörnigem bis homogenem und mittelgradig*

*osmiophilem Interzellularkitt (\*) angefüllt.*

*Vergr. 6700×*

Der Interzellulkitt zwischen den Hornzellen besteht grösstenteils aus Glykoproteinen. Der Interzellularraum ist bis auf gelegentliche flachovale Erweiterungen (120–300 nm) gleichmäig eng (30–50 nm). Daraus resultiert eine geringe Menge an Interzellulkitt (Abb. 3b).

Die *Weisse Linie* wird von Hornblättchen aufgebaut, zwischen denen kronhornwärts Kappenhorn und sohlenhornwärts Terminalhorn eingelagert ist (Abb. 4).

Das weiche und bröckelige *Kappenhorn* wird von der epidermalen Matrix gebildet, die auf den Firsten der Lederhautblättchen und auf den von diesen abgeschnürten Kappenpapillen liegt. Gemäss dem Bauprinzip von Matritze zu Patritze besteht das Kappenhorn daher proximal aus Zwischenröhren- und Röhrenhorn. Auf Grund eines vollständigen Strukturverlustes beim Wachstumsvorschub sind auf der Fussungsfäche im Kappenhorn keine Röhrenstrukturen mehr zu erkennen (Abb. 4). Das Kappenhorn entsteht nach dem Prinzip der harten Verhornung. Die Kappenhornzellen sind spongiös aufgebaut und gefleckt (Abb. 4a). Ihre Keratinmassen weisen eine Marmorierung auf und bestehen aus filamentären und amorphen Keratinproteinen. Kurze und mittellange Keratinproteinketten überwiegen, ihre Molekulargewichte liegen zwischen 45,5 und 58 kD. Es kann nur ein niedriger Gehalt an vernetzenden Disulfidbrücken nachgewiesen werden.

Der Interzellularraum weist zahlreiche klein- und grossblasige Erweiterungen auf (Abb. 4a), die mit Interzellulkitt angefüllt sind, der zum überwiegenden Teil aus Glykoproteinen und zu einem sehr viel geringeren Teil aus Lipiden besteht.

Im *Terminalhorn* (Abb. 4) stehen die Hornröhren sehr dicht in Reihen hintereinander und stellen gegenüber dem Zwischenröhrenhorn den dominierenden Bestandteil des Terminalhorns dar. Sie haben einen sehr grossen Durchmesser (130–350 µm), wobei der Markraum sehr weit, die Rinde dagegen sehr schmal ist. Der Anteil des Zwischenröhrenhorns tritt demgegenüber in den Hintergrund. Das Terminalhorn ist von weicher und bröckeliger Beschaffenheit. Es wird nach dem Prinzip der weichen Verhornung über den Terminalpapillenreihen gebildet, die an den freien distalen Enden der Lederhautblättchen abgeschnürt werden. Die Terminalhornzellen, insbesondere die in der Rinde der Hornröhren, zeigen einen spongiösen Aufbau und eine deutliche Fleckung. Die Hornzellen in den Markräumen sind grösstenteils im Zerfall begriffen oder bereits zerfallen (Abb. 4b). In den marmorierten Keratinmassen der Hornzellen der Rinde und des Markes, die zu einem grossen Teil aus amorphen Keratinen bestehen, können kurzkettige Keratinproteine mit Molekulargewichten von 45,5 bis 56,5 kD nachgewiesen werden. Diese Proteine sind in den Hornzellen des Zwischenröhrenhorns und in der Röhrenrinde stark, im Röhrenmark dagegen kaum durch Disulfidbrücken vernetzt.

Der Interzellularraum zwischen den Hornzellen im Zwischenröhrenhorn weist grossblasige Erweiterungen (500–600 nm) auf und ist mit einem Interzellulkitt an-

gefüllt, der zum grössten Teil aus Glykoproteinen besteht. Zwischen den Rindenzellen der Röhren und in noch stärkerem Masse zwischen den Markzellen ist der Interzellularraum zu grossen Lakunen erweitert, die teilweise zusammenfliessen (Abb. 4b). Diese Lakunen enthalten feinkörnigen bis homogenen Interzellulkitt, der eine mittelgradige Osmophilie zeigt, sich mit Sudan-schwarz anfärbt und schwach PAS-positiv reagiert. Er besteht also sowohl aus einem Lipid- als auch aus einem Glykoproteinanteil. Zusammen mit den zerfallenen Hornzellen füllen die mit Interzellulkitt gefüllten Lakunen in lockerer Struktur die Markräume der Hornröhren aus (Abb. 4b).

Das *Blättchenhorn* (Abb. 4) besteht aus soliden Hornzellen, die mit dicht verbackenen Keratinfilamenten ausgefüllt sind. Der Anteil an amorphen Keratinproteinen ist gering. Es lassen sich vor allem langkettige Keratinproteine mit Molekulargewichten über 58 kD nachweisen. Diese sind durch zahlreiche Disulfidbrücken vernetzt. Der Interzellulkitt zwischen den Blättchenzellen besteht überwiegend aus Glykoproteinen und füllt den gleichmäig engen Interzellularraum (30–50 nm) aus.

## Schlussfolgerungen und Diskussion

Die Beschreibung einzelner die Hornqualität beeinflussender Faktoren lässt keine Schlussfolgerungen auf die mechanisch-physikalische Härte des Klauenhorns zu. Erst die Beurteilung möglichst vieler intra- und interzellulärer Faktoren sowie der Architektonik des Hornzellverbandes (Nickel, 1937; Reilly und Kempson, 1992) in ihrer segmentspezifischen Kombination ermöglicht in Verbindung mit der mechanisch-physikalischen Materialprüfung (Dirks, 1985; Fuerst et al., 1991; Leopold und Prietz, 1980) eine zuverlässige Beurteilung der Hornqualität und Identifikation von Prädilektionsstellen für Klauenerkrankungen (Bragulla et al., 1992). Unter den intrazellulären Faktoren ist das Keratinmuster, d.h. Art und Menge der vorhandenen Zytokeratintypen, und deren Vernetzungsgrad durch Disulfidbrücken für die mechanischen Eigenschaften der Hornzelle von Bedeutung. Im weichen Horn des proximalen Abschnittes des Ballensegmentes überwiegen kurze und mittellange Keratinproteinketten mit einem geringeren Vernetzungsgrad durch Disulfidbrücken. Im harten Horn des Sohlensegmentes sind die Zellen durch einen hohen Gehalt stark vernetzter, langer Keratinproteinketten charakterisiert.

Der Interzellulkitt stellt im weich-elastischen Horn durch die lokale Ansammlung in blasigen Erweiterungen des Interzellularraumes, insbesondere im Kappen- und Terminalhorn, eine flexible Verbindung her und ermöglicht dadurch eine Verschieblichkeit der Hornzellen gegeneinander, wie sie für den Gleit-Haft-Mechanismus erforderlich ist (Budras und Preuss, 1979; Budras et al., 1989). Im proximalen und distalen Abschnitt des Ballensegmentes fungiert der Interzellulkitt durch seinen Li-

pid- bzw. Phospholipidanteil als Barriere gegen Wasserverluste oder Wassereintritt (Hayward, 1979; Landmann, 1988). Im harten Horn des Sohlensegmentes stellt die vergleichsweise geringe Menge an gleichmäßig verteiltem Interzellulkitt mit einem hohen Gehalt an Glycoproteinen eine stabile Verbindung der Hornzellen her (Budras und Bragulla, 1991).

Die hohe Stoffwechselleistung der verhornten Zellen bei der Synthese von Keratinen und Interzellulkitt ist abhängig von einer ausreichenden Energieversorgung und in grossem Masse von einem ausgewogenen Angebot von Bausteinen für die spezifischen Syntheseleistungen, z. B. schwefelhaltigen Aminosäuren, Mineralstoffen und Spurenelementen (Ekfalck et al., 1985; Ekfalck, 1990). Da die gefäßfreie Klauenepidermis auf eine Ernährung per Diffusionem angewiesen ist, beeinflusst die Grösse der korioepidermalen Grenzfläche und die Länge der Diffusionsstrecke zwischen Lederhautgefäß und verhornter Zelle den Stoffaustausch. Eine zu geringe Energieversorgung und/oder eine Unterversorgung mit den erforderlichen Bausteinen beeinträchtigen die Synthesevorgänge und führen damit zu einer Minderung der Hornqualität. Hierbei sind zuallererst die verhornten Zellen in Bereichen mit einer hohen Keratinisierungsrate betroffen. Diese Zellen weisen schon unter physiologischen Bedingungen eine ungünstige, daher anfällige Versorgungslage auf, da die Oberfläche der ernährenden Lederhaut im Verhältnis zur Hornbildungsraten gering ist und sich die verhornten Zellen beim Wachstumsvorschub rasch von der Lederhautunterlage entfernen (Preuss, 1981), also sehr schnell eine lange Diffusionsstrecke entsteht. Beispielhaft sind hier die suprapapillären Spinosazellen der Hornröhren (Wilkins, 1963), die Kappenhornzellen (Hullinger et al., 1987) und die Zellen im proximalen Abschnitt des Ballensegmentes in Höhe des abaxialen Endes der Weissen Linie. Diese Zellen verhornen überstürzt, was seinen Ausdruck unter anderem in einem spongiösen Aufbau, einer starken Marmorierung und einer Fleckung der Zellen findet. Treten in diesen kritischen Bereichen zum Beispiel infolge lokaler Traumata Zirkulations- und dadurch Ernährungsstörungen auf, so kommt es in deren Folge zuallererst hier zu erheblichen Störungen in der Synthese der Keratinproteine und des Interzellulkittes. Diese äussern sich in einer minderen Qualität und Quantität der Syntheseprodukte, also z.B. der Keratine. Die verhornten Zellen sind von geringen Mengen an Keratinen nur lückenhaft ausgefüllt, dadurch entsteht eine extrem spongiöse Struktur. Die Marmorierung der Keratinmassen und die Fleckung der Hornzellen werden ausgeprägter (Dämmrich et al., 1982; Marks und Budras, 1987; Obel, 1948). Es werden vermehrt kurzkettige Keratinproteine synthetisiert, die unzureichend über Disulfidbrücken vernetzt sind (Lee und Baden, 1976). Andererseits kommt es aber auch zu einer vermehrten Synthese eines minderwertigen Interzellulkittes. Dieser wird nur zum Teil in den Interzellularraum ausgeschleust. Seine dann intrazellulär verbleibenden Enzyme stören den Verhorungsprozess. Die in den Interzellularraum ausgeschleu-

sten Interzellulkittmassen werden nur ungleichmässig verteilt und können ihre Barriere- und Haftfunktion (Elias und Brown, 1978; Landmann, 1988) nicht ausreichend erfüllen. Eine weitere Folge der Ernährungsstörungen der Klauenepidermis ist der Umbau des Papillarkörpers. Durch die Proliferation des Stratum germinativum epidermidis bzw. der Basalzellen in Richtung der Lederhautgefässe kommt es zur Zergliederung der Lederhautpapillen (Mülling und Bragulla, 1992; Tetzner, 1901). So entstehen dünnere schlanke Nebenpapillen, die oft büschelförmig in Gruppen angeordnet sind (Uchida et al., 1991). Dieser Umbau des Papillarkörpers stellt den Versuch dar, die mangelhafte Versorgung der verhornten Zellen über eine Vergrösserung der Oberfläche und Verkürzung der Diffusionsstrecke zu kompensieren. Er wirkt sich auf die Architektonik des Hornzellverbandes aus. Derartig veränderte Bereiche weisen eine geringere mechanische Belastbarkeit auf, das Horn ist weich und bröckelig und neigt zum Herausfallen, so dass hier Pforten für aufsteigende Infektionen entstehen.

Areale mit hoher Keratinisierungsrate und verhältnismässig kleiner Lederhautoberfläche weisen bereits unter physiologischen Bedingungen eine geringe mechanische Belastbarkeit auf, wie die Befunde in Tabelle 1 zeigen, und stellen somit Prädilektionsstellen für Klauenerkrankungen dar. Derartige Stellen sind das Kappenhorn und das Terminalhorn (Budras et al., 1989), beide insbesondere im abaxialen Ende der Weissen Linie, da das mechanisch nur gering widerstandsfähige Terminalhorn hier seine grösste Ausdehnung erreicht (siehe Abb. 4) und das noch weniger widerstandsfähige Kappenhorn hier in grosser Menge über einer sehr kleinen Lederhautblättchenoberfläche gebildet wird. Als weiterer begünstigender Faktor, insbesondere für aufsteigende Infektionen, erweisen sich die weiten Markräume der Terminalhornröhren. Hier neigt der Inhalt der Markräume aus zerfallenen Hornzellen und grossen Mengen von Interzellulkitt zum Herausbröckeln (Zenker und Hulftegger, 1991). Eine weitere Prädilektionsstelle ist der Übergang vom proximalen in den distalen Abschnitt des Ballensegmentes. Hier wird über einem eng umschriebenen Papillarkörperabschnitt vergleichsweise viel Ballenhorn gebildet, dessen Zellen überstürzt verhornen. Begünstigend für das Auftreten von Klauenerkrankungen in diesem Bereich wirkt sich zusätzlich der Härteunterschied des Hornes dieser beiden Abschnitte aus (Geyer, 1991).

Die hier aufgrund struktureller Befunde für Klauenerkrankungen benannten Prädilektionsstellen sind auch die von den Klinikern und Pathologen am häufigsten beschriebenen Lokalisationen von Klauenerkrankungen (Dämmrich et al., 1982; Nilsson, 1967; Rusterholz, 1920; Weaver et al., 1981).

## Literatur

- Barnett R.J., Seligman A.M.* (1954): Histochemical demonstration of sulphydryl and disulfide groups of protein. *J. nat. Cancer Inst.* 14, 769-792.
- Bragulla H., Mülling Ch., Budras K.-D.* (1992): Light- and ultramicroscopic studies of hoof horn keratinization with special reference to aseptic inflammations of the bovine and equine digit. Report of the 7th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit, June 21th-25th 1992, Rebild/Denmark (in press).
- Budras K.-D., Preuss F* (1979): Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Hornbildung im Hyponychium des Pferdehufes. *Prakt. Tierarzt* 60, 729-731.
- Budras K.-D., Hullinger R.L., Sack W.O.* (1989): Light and electron microscopy of keratinization in the laminar region of the equine hoof with reference to laminitis. *Am. J. Vet. Res.* 50, 1150-1160.
- Budras K.-D., Bragulla H.* (1991): Besonderheiten des Membrane Coating Materials (MCM; Kittsubstanz zwischen Keratinozyten) im harten Horn des Pferdehufes. *Anat. Anz. Suppl.* 170, 435-436.
- Dämmrich K., Unselm J., Andreae U., Bader R.* (1982): Untersuchungen über Klauenveränderungen bei in Einzeltierz- und Gruppenhaltung aufgezogenen Mastkälbern. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 95, 21-26.
- Dirks, C.* (1985): Makroskopische, licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über den Rückenteil der Rinderklaue. Berlin, Vet.-Med. Fakultät der Freien Universität, Diss.
- Ekfalck A., Funkquist B., Jones B., Obel N.* (1985): Incorporation of 35S-cysteine in tissue fragments from the matrix of the bovine claw and effect on incorporation rate of adding blood serum fractions. *J. Vet. Med. (A)* 32, 785-792.
- Ekfalck A.* (1990): Amino acids in different layers of the matrix of the normal equine hoof. Possible importance of the amino acid pattern for research on laminitis. *J. Vet. Med. (B)* 37 (1), 1-8.
- Elias P.M., Brown B.E.* (1978): The mammalian cutaneous permeability barrier. *Laborat. Invest.* 39, 574-583.
- Fuerst A., Bobli E., Mueller U.* (1991): Mikroskopischer Bau und Zugfestigkeit des Klauenhorns beim Rind. *Acta anat.* 140, 194.
- Geyer H.* (1991): Vergleichende Betrachtung einiger Huf- und Klauenveränderungen und deren Behandlung und Verhinderung. *Anat. Histol. Embryol.* 20, 270.
- Hashimoto K.* (1971): Ultrastructure of the human toenail; I. Cell migration, keratinization and formation of the intercellular cement. *Arch. Derm. Forsch.* 240, 1-22.
- Hayward A.F* (1979): Membrane-Coating Granules. *Intern. Rev. Cytol.* 59, 97-127.
- Hullinger R.L., Budras K.D., Dirks C.* (1987): Role of parietal horn (hyponychial) keratinization in formation of the digital organ in the ox and horse. *Anat. Rec.* 218, 2.
- Landmann L.* (1988): The epidermal permeability barrier. *Anat. Embryol.* 178, 1-13.
- Lee L.D., Baden H.P.* (1976): Organization of the polypeptide chains in mammalian keratin. *Nature (London)* 264, 377-379.
- Leopold G., Prietz G.* (1980): Die Bedeutung der Beziehung zwischen physikalischen Eigenschaften und histologischen Merkmalen für die Erkennung der Klauenhornqualität beim Rind. *Mh. Vet.-Med.* 35, 173-175.
- Marks G., Budras K.D.* (1987): Licht- und elektronenmikroskopische Untersuchungen über die akute Hufrehe des Pferdes. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 100, 82-88.
- Mülling Ch., Bragulla H.* (1992): The epidermal and dermal formations and the segments of hoof of cattle and horse. Poster presented on the 7th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit, June 21th-25th 1992, Rebild/Denmark.
- Mülling Ch., Bragulla H., Reese S.* (1992): Histochemical and immunohistological studies of the horn quality of the cattle hoof. Poster presented on 19th Congress of the European Association of Veterinary Anatomists, August 24th-28th 1992, Ghent/Belgium.
- Nickel R.* (1937): Über die Mechanik im Epidermalschuh des Hufes auf Grund von Untersuchungen seiner Architektur. *Anat. Anz.* 85 (Suppl.), 215-216.

### Facteurs structuraux influençant la qualité de la corne et endroits de prédisposition pour les maladies de la face de contact des onglets des bovins

La qualité de la corne de l'onglet varie selon les différents segments de la face de contact avec le sol en relation avec la charge. La qualité de la corne est influencée par les protéines kératines en tant que facteurs intracellulaires les plus importants, le ciment intercellulaire en tant que facteur intercellulaire, et l'architecture de l'agréat des cellules de la corne, c'est à dire l'arrangement des cellules de la corne en corne tubulaire et intertubulaire. Des différences dans la structure et la composition de ces facteurs et de leur combinaison sont déterminantes pour les inégalités de la dureté de la corne perçevables à la palpation le long de ces segments. Dans des endroits particuliers, par exemple la ligne blanche, la combinaison de ces différents facteurs détermine les endroits de prédisposition pour les maladies de l'onglet.

### Fattori strutturali che influenzano la qualità del corno e punti prediletti per l'ammalarsi della pianta dello zoccolo del manzo

La qualità del corno dello zoccolo varia nei diversi tratti della superficie di appoggio a seconda della pressione naturale gravante. Le proteine della cheratina come fattori intracellulari preponderanti, il mastice intracellulare come fattore intracellulare e la formazione architettonica delle cellule cornee, cioè la struttura dei tubuli cornei, influenzano la qualità del corno. Le differenze nella struttura, la composizione di questi fattori e la loro combinazione sono responsabili per la differenza di durezza del corno nei segmenti, di per sé già riscontrabile alla palpazione. In determinate parti, come per esempio nella linea bianca, la combinazione di questi fattori è la parte preferita per l'insorgere di malattie al corno.

- Nilsson S.A.* (1967): Clinical, morphological and experimental studies of laminitis in cattle. *Acta vet. scand.* 4 (Suppl.), 1.
- Obel N.* (1948): Studies on the histopathology of acute laminitis. Thesis, Almquist u. Wiksells Boktryckeri, Uppsala (Schweden).
- Preuss F* (1981): Vergleichende Untersuchungen an Spezialausbildungen der Epidermisverhornung. in: *Klaschka F*: Berliner Dermatologisches Symposium. *Stratum corneum. Struktur und Funktion.* S. 3–16. Verlag Grosse, Berlin.
- Reilly J., Kempson S.A.* (1992): Towards an Understanding of Hoof Horn Quality. Report of the 7th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit, June 21th–25 1992, Rebild/Denmark (in press).
- Romeis B.* (1989): Mikroskopische Technik, 17. Aufl. Verlag Urban & Schwarzenberg, München.
- Rusterholz A.* (1920): Das spezifisch-traumatische Klauen-Sohlengeschwür des Rindes. *Schw. Arch. Tierheilkd.* 62, 421–446.
- Tetzner* (1901): Hornsäule der Rinderklaue mit Bildung sekundärer Horn- bzw. Fleischblättchen. *Z. Veterinärkd.* 13, 63–65.
- Uchida Y., Takeuchi H., Ando Y., Kotani T., Numata Y., Nakade T.* (1991): Scanning electron microscopy of the epidermis and dermis of the sole of the bovine hoof. *J. Jap. Vet. Med. Ass.* 44 (10), 1010–1013.
- Weaver A.D., Andersson L., de Laistre Banting A., Demerzis P.N., Knezevic P.F., Peterse D.J., Sankovic F* (1981): Review of disorders of the ruminant digit with proposals for anatomical and pathological terminology and recording. *Vet. Rec.* 108 (6), 117–120.
- Wilkens H.* (1963): Zur makroskopischen und mikroskopischen Morphologie der Rinderklaue mit einem Vergleich der Architektur von Klauen- und Hufrührchen. *Zentralbl. Veterinärmed.* (A) 11, 163–234.
- Zenker W., Hulftegger A.-M.* (1991): Veränderungen der Mikrostruktur und der Festigkeit im Hufhorn von Lipizzanerpferden. *Anat. Histol. Embryol.* 20, 279–280.

## Dank

Wir danken Herrn D. Salewski von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (Berlin) für die Ermöglichung und Mithilfe bei der Materialprüfung. Herrn K. Korpel danken wir für die Anfertigung der Schemazeichnung und die Ausführung der Fotoarbeiten.

*Korrespondenzadresse:* Prof. Dr. K. Budras, Institut für Veterinär-Anatomie der Freien Universität Berlin, Koserstr. 20, D-14195 Berlin

Manuskripteingang: 21. Januar 1993