

IV. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Da die Architektur der Hornröhrchen sowohl durch die Lederhaut als auch durch die lebende Epidermis bestimmt wird, erfolgte sowohl eine licht- als auch eine raster-elektronenmikroskopische Untersuchung beider Kronsegmentanteile.

Die vollständig verhornte Epidermis wurde zusätzlich einer transmissionselektronenmikroskopischen und einer elektroforetischen Untersuchung unterzogen. Weiterhin wurden eine Härte- und Feuchtigkeitsprüfung sowie eine histometrische Befunderhebung durchgeführt.

A. Lichtmikroskopische Untersuchung des Kronsegmentes

Die lichtmikroskopische Untersuchung erfolgte an Hufproben aller drei Probenentnahmestellen, deren Ergebnisse sich jedoch nicht voneinander unterscheiden.

Die Lederhaut sowie die unverhornte Oberhaut des Kronsegmentes des Pferdehufes lassen sich lichtmikroskopisch nur deutlich in einen inneren, distalen und einen äußeren, proximalen Abschnitt unterteilen. Bei letzterem lassen sich kurz unterhalb der äußeren Hufoberfläche geringgradige histologische Unterschiede feststellen, die in dem entsprechenden Abschnitt erwähnt werden. Bei der verhornten Epidermis lassen sich drei verschiedene Typen von Hornröhrchen nachweisen, die als innere, mittlere und äußere Röhrchen bezeichnet werden.

Die Oberhaut des Kronsegmentes verhornt nach dem Prinzip der harten Verhornung, es wird kein Stratum granulosum ausgebildet. Aufgrund wesentlicher Unterschiede erfolgt eine Unterteilung in suprapapilläre (über den Lederhautpapillen gelegene), peripapilläre (an den Seitenflächen der Lederhautpapillen gelegene) und interpapilläre (zwischen den Lederhautpapillen gelegene) Bereiche.

1. Das innere Kronhorn

1.1 Die Lederhaut (Dermis)

Die Lederhaut des inneren, weiter distal gelegenen Anteils des Kronsegmentes besteht aus zahlreichen abgerundeten, parallel zueinander verlaufenden, fadenförmigen Papillen, die geradlinig proximodistal ausgerichtet sind und annähernd senkrecht aus der Lederhautoberfläche entspringen. Ihre Basis ist etwas breiter als die stumpf zulaufende Spitze (Abb. 2a).

Auf ihrer Oberfläche besitzen sie Mikroleisten, in der unteren Hälfte deutliche Kanelierungen, die im oberen Drittel allmählich verstreichen (Abb. 2b).

Zwischen den Papillen entspringen vereinzelt kurze, ebenfalls stumpf auslaufende Sekundärpapillen (Abb. 2a). Zwischen den Papillen lassen sich einige flache, leistenförmige Erhebungen erkennen (Abb. 2a).

1.2 Die Oberhaut (Epidermis)

1.2.1 Das Stratum basale

a) Interpapilläres Stratum basale

Das interpapilläre Stratum basale besteht aus einer einschichtigen Lage hochprismatischer, schlanker Zellen, die senkrecht zur Lederhautpapille angeordnet sind und eng beieinander stehen (Abb. 3c).

Die Basalzelle ragt mit langen Zellausläufern in die darunter liegende Basalmembran hinein. Diese Fortsätze besitzen ungefähr ein Viertel der Länge der Zelle. Die leicht gewellte Basalmembran ist deutlich PAS-positiv und diastasestabil.

Der schmale, ovoide, zum Teil leicht eingebuchtete Zellkern ist in der Mitte der Zelle oder apikal vorzufinden und stets in ihrer Längsrichtung angeordnet. Er besitzt ein deutlich basophiles Kernplasma und eine stark basophile Kernmembran. Am Rand des Zellkerns sind in der Regel ein bis zwei Nucleoli erkennbar. Die Kern-Plasma-

Relation beträgt ca. 1:2 (Abb. 3c). Der Zelleib ist mäßig eosinophil, wobei perinukleär eine schmale ungefärbte Zone auftritt. Die stark eosinophile Zellmembran ist deutlich gewunden.

Die Sulfhydryl- (SH-) Gruppen reagieren im gesamten Cytoplasma schwach bis mittelgradig positiv, die Disulfid- (SS-) Gruppen schwach positiv. Bei der Rhodamin B-Färbung stellen sich die Zellen negativ dar.

Der Interzellularspalt weist einige unregelmäßige Erweiterungen auf. Es sind weder in ihm, noch in der Zelle PAS-positive Strukturen erkennbar. Auch die Sudanschwarz B-Reaktion fällt negativ aus.

b) Peri- und suprapapilläres Stratum basale

Im peripapillären Stratum basale ist zwischen den Zellen häufig ein blasenförmig erweiterter Interzellularspalt erkennbar. Sie stehen im unteren Papillendrittel im spitzen Winkel zur Lederhaut und nehmen dann eine rechtwinklige Lage zu ihr ein.

Mit drei bis vier basalen Cytoplasmafortsätzen ragen die Zellen in die darunter liegende diastases stabile, PAS-positive Basalmembran (Abb. 3c).

Die Basalzellen besitzen eine hochprismatische Form und einen ovalen, apikal gelagerten Zellkern. Lediglich kurz unterhalb der Papillenspitze sind die Zellen annähernd polygonal und enthalten einen ebenfalls polygonalen Zellkern. In letzterem sind meist ein bis zwei Nukleoli vorzufinden (Abb. 3c). Das Cytoplasma stellt sich mäßig eosinophil, das Kernplasma basophil dar.

Der Nachweis der SH- Gruppen fällt in der gesamten Zelle schwach bis mittelgradig positiv, der der SS- Gruppen schwach positiv aus. Durch die Rhodamin B- Reaktion erhalten die Zellen eine negative Reaktion.

Der Interzellularspalt ist optisch leer.

Die suprapapillären Basalzellen stehen im rechten Winkel zur Lederhautpapille und ragen mit kurzen Zellfortsätzen in die Basalmembran.

Sie besitzen eine polygonale Form und einen rundlichen Zellkern, der in der Mitte der Zellen angeordnet ist. Nukleoli lassen sich nicht vom Heterochromatin unterscheiden. Das Cytoplasma färbt sich schwach eosinophil, der Kern basophil.

SH- sowie SS- Gruppen stellen sich in der gesamten Zelle schwach positiv dar. Bei der Rhodamin B- Färbung reagieren die Basalzellen negativ.

Der Interzellularrspalt ist mäßig erweitert, die PAS- und Sudanschwarz B-Reaktion färben ihn nicht an.

1.2.2 Das Stratum spinosum

a) Interpapilläres Stratum spinosum

Das interpapilläre Stratum spinosum grenzt ohne erkennbaren Übergang an das peripapilläre Stratum spinosum an.

Auch diese Zellen weisen eine deutlichere Eosinophilie auf als die des Stratum basale. Im Längsschnitt lassen sich mehrere Lagen mit unterschiedlicher Gestalt der Zellen und unterschiedlicher Weite des Interzellularrspaltes erkennen. Die Stärke der Eosinophilie des Zellplasmas nimmt zu den oberen Lagen hin zu. Ebenso verhält es sich mit der Zellgröße, die in den oberen Lagen im Verhältnis zu den unteren ungefähr dreifache Werte erreicht. Die Basophilie der relativ zentral in der Zelle gelegenen Zellkerne nimmt dagegen von innen nach außen ab.

Beim Nachweis der SH- und SS- Gruppen reagiert der gesamte Zelleib positiv.

Die im Längsschnitt länglichen Zellen der unteren zwei bis drei Spinosazelllagen sind nur unwesentlich größer als die Basalzellen und liegen parallel zur Lederhautzotte (Abb. 4a). Sie besitzen einen länglichen, stark basophilen Kern mit ein bis zwei Nukleoli. Die Kern-Plasma-Relation beträgt ca. 1:1,5. Um den Zellkern herum befindet sich eine filament- und organellenfreie Zone (Abb. 4b). Der Zelleib ist mäßig eosinophil. Vereinzelt lassen sich undeutliche, eosinophile Zellfortsätze, die der Zelle ein stacheliges Aussehen verleihen, erkennen (Abb. 4b).

Der Nachweis der SH- Gruppen fällt mittelgradig bis stark positiv, der der SS- Gruppen schwach bis mittelgradig positiv aus. Bei der Rhodamin B- Färbung wird die Zelle schwach positiv gefärbt.

Der Interzellularrspalt ist gleichmäßig erweitert. Die PAS-Reaktion sowie die Sudan-schwarz B-Reaktion ergeben keine Anfärbung des Interzellularrspaltes oder des Cytoplasmas.

In den mittleren Spinosalagen befinden sich sehr große Zellen, deren Durchmesser ungefähr drei bis fünfmal größer ist als der der unteren Spinosazellen (Abb. 4a). Sie besitzen in den unteren Abschnitten eine polygonale Form und nehmen in den oberen Bereichen eine spindelförmige Gestalt an. Im Längsschnitt sind sie schräg oder annähernd quer zur Lederhautpapille gelagert. Durch zahlreiche feine, eosinophile Zellfortsätze erhalten sie ein stacheliges Aussehen (Abb. 4c). Der Zellkern ist polygonal bis länglich, aber weniger basophil als in den unteren Lagen, auf den meisten Anschnitten werden keine Nukleoli vorgefunden. Die Kern-Plasma-Relation beträgt ca. 1:3-4. Bei den oberen Zellen lässt sich eine Kernwandhyperchromasie nachweisen.

Besonders in Zellkernnähe befinden sich in einigen Zellen intensiv PAS-positive Granula. Das Cytoplasma erscheint durch die eosinophil gefärbten Keratinfilamente feinfaserig. Die Filamentbündel verlaufen in allen Richtungen der Zelle, nicht jedoch unmittelbar perinukleär. Durch die zunehmende Menge dieser Filamente stellt sich die Zelle deutlicher eosinophil als in den unteren Lagen der Spinosazellschicht dar.

Die SH- und SS- Gruppenreaktion zeigt gleiche Ergebnisse wie bei den unteren Spinosazellen. Die Rhodamin B- Färbung stellt die Zelle schwach positiv dar.

Der Interzellularspalt ist sehr weit, teilweise blasig erweitert und weist keine PAS-positiven Strukturen auf. Auch die Sudanschwarz B-Reaktion fällt negativ aus.

Die länglichen bis polygonalen Zellen der oberen Spinosalagen sind etwas kleiner und schmaler und liegen schräg zur Lederhautpapille.

In vielen Zellen befinden sich optisch leere Vakuolen. Vereinzelt lassen sich strich- oder sternförmige Zellkernreste erkennen. Die Stachelzellfortsätze sind nur noch undeutlich erkennbar, der Interzellularspalt ist eng (Abb. 4d). Innerhalb der Zelle befinden sich keine PAS-positiven Strukturen. Es lässt sich eine deutliche eosinophile Streifung des Zytoplasmas erkennen. Hierbei handelt es sich um hauptsächlich längs verlaufende, leicht gewellte, relativ breite Filamentbündel. Um den Zellkern herum wird allerdings eine schmale Zone gebildet, in der sich diese Strukturen nicht befinden.

Der SH-Nachweis fällt stark positiv, der SS-Nachweis mittelgradig bis stark positiv aus. Durch die Rhodamin B- Färbung stellt sich die Zelle positiv dar.

Der enge Interzellularspalt reagiert deutlich PAS- positiv und ist diastasestabil. Bei der Sudanschwarz B- Färbung fallen interzellulär vereinzelte hellgraue, körnige Strukturen auf.

b) Peri- und suprapapilläres Stratum spinosum

Peripapillär lässt sich ebenfalls eine Einteilung in verschiedene Abschnitte vornehmen. Die Zellen bilden eine Schicht aus nur ungefähr zehn Zelllagen und reihen sich dann ohne deutlichen Übergang in die interpapillären Zellen ein.

Die unteren ein bis zwei Spinosazelllagen weisen annähernd die gleiche Größe auf wie die Basalzellen, besitzen eine meist längliche Gestalt und einen länglichen, stark basophilen Kern mit einem Nukleolus. Im Längsschnitt sind sie senkrecht zu den Basalzellen angeordnet. Es sind vereinzelt undeutliche, eosinophile Zellfortsätze ausgebildet (Abb. 4b).

Das Zellplasma ist mäßig eosinophil und besitzt ein homogenes Aussehen.

Der Nachweis der SH- Gruppen fällt mittelgradig bis stark positiv aus, der der SS- Gruppen schwach positiv. Bei der Rhodamin B-Färbung stellen sich die Zellen schwach positiv dar.

Der Interzellularspalt ist regelmäßig erweitert, er wird durch die PAS- sowie die Sudanschwarz B-Reaktion nicht angefärbt.

In den oberen Spinosalagen befinden sich etwas größere, polygonale Zellen, die jedoch kleiner als die interpapillären Spinosazellen sind. Es sind nur teilweise undeutliche eosinophile Zellfortsätze erkennbar (Abb. 4c).

Das Zellplasma ist eosinophiler als in den unteren Lagen und weist schmale ungeordnete Keratinfilamentbündel auf. Der längliche Zellkern ist weniger basophil als in den unteren Lagen. Nukleoli werden nur selten vorgefunden.

In Zellkernnähe befinden sich PAS-positive Granula, die peripapillär häufiger als inter- und suprapapillär auftreten.

Die SH- Gruppenreaktion zeigt gleiche Ergebnisse wie bei den unteren Spinosazellen, während die SS- Gruppen schwach bis mittelgradig positiv reagieren. Die Rhodamin B- Färbung stellt die Zellen schwach positiv dar.

Der Interzellularspalt ist sehr weit, teilweise blasig erweitert und weist in den obersten Lagen PAS-positive Strukturen auf. Durch die Sudanschwarz B-Reaktion erhält er dort eine hellgraue Färbung.

Suprapapillär lässt sich keine Einteilung in ein unteres, mittleres und oberes Stratum spinosum vornehmen, da hier nur wenige Zellschichten ausgebildet werden, die sich auch färberisch kaum unterscheiden.

Die großen Zellen weisen anfangs eine polygonale Form auf. Zu den oberen Zellschichten hin werden sie teilweise abgeplattet und leicht spindelförmig. Der basophile Zellkern besitzt ebenfalls eine polygonale Gestalt. Es ist nur eine geringe Anzahl eosinophiler Zellfortsätze erkennbar, die der Zelle ein stacheliges Aussehen verleihen. Die HE-Färbung fällt deutlich schwächer als peri- oder interpapillär aus. Im Cytoplasma befinden sich wenige, ungeordnete schwach eosinophile Keratinfilamente. Die SH-Gruppenreaktion fällt schwach bis mittelgradig positiv aus, die SS- Gruppenreaktion mittelgradig positiv. Durch die Rhodamin B- Färbung werden die Zellen schwach positiv gefärbt.

Der regelmäßig erweiterte Interzellularspalt stellt sich in den oberen Lagen durch Sudanschwarz B hellgrau dar, sein Inhalt reagiert PAS-positiv und diastasestabil.

1.2.3 Das Stratum corneum

Das Stratum corneum des Pferdehufes besteht aus Hornröhrchen, die von Zwischenröhrchenhorn umgeben werden.

Der unten dargestellte Aufbau der verhornten Epidermis im Zehenrückenteil des Pferdes wurde überwiegend an histologischen Schnitten der oberen Probenentnahmestellen analysiert. Durch Vergleich mit den weiter unten gelegenen Probenentnahmestellen konnte aber festgestellt werden, dass der Aufbau aller Kronhornbereiche lichtmikroskopisch identisch ist.

a) Interpapilläres Stratum corneum (Zwischenröhrchenhorn)

Die Menge an Zwischenröhrchenhorn im inneren Kronhorn ist relativ hoch, eine genaue Abgrenzung zum Röhrchenhorn ist meist nicht möglich (Abb. 5a).

Da im Stratum corneum noch strukturelle Veränderungen der Zwischenröhrchenhornzellen in Abhängigkeit von deren Reifung auftreten, wird hier zwischen jungen und gereiften Hornzellen differenziert.

Die jungen Zwischenröhrchenhornzellen bilden eine Schicht aus wenigen Zelllagen und enthalten noch vereinzelt strichförmige eosinophile Kernreste. Sie sind deutlich eosinophil und stärker abgeplattet als die oberen Spinosazellen.

Die gereiften Zwischenröhrchenhornzellen sind dagegen weniger eosinophil, sie stellen sich blassrosa dar. Kernreste sind nicht mehr zu erkennen. Ihre Zellform ist etwas schmaler als die der jungen.

Im Quer- und Längsschnitt sind sie länglich und besitzen deutlich gewundene Zellgrenzen sowie teilweise spitz auslaufende Zellenden. Letztere ragen häufig in Invaginationen der Nachbarzelle hinein, wodurch sich eine starke Verzahnung ergibt.

Sie sind meist senkrecht zur äußeren Hufoberfläche angeordnet. Nur in unmittelbarer Röhrchennähe nehmen sie einen Winkel von ca. 45° zum Hornröhrchenverlauf ein. Intrazellulär lässt sich ein feines Netz aus breiten, eosinophilen Keratinfilamentbündeln erkennen, die die gesamte Zelle ausfüllen. Im Querschnitt besitzt die Zelle ein eher körniges Aussehen.

Der Zelleib der meisten Zwischenröhrchenzellen bleibt beim SH-Gruppennachweis farblos, einige Zellen zeigen jedoch eine schwach positive Reaktion. Die Zellgrenze färbt sich stark bis sehr stark positiv an (Abb. 7b). Beim SS-Gruppennachweis färbt sich der Zelleib einiger Zwischenröhrchenzellen mittelgradig bis stark positiv, die Zellgrenze stark bis sehr stark positiv an (Abb. 7c). Die Rhodamin B-Reaktion färbt einige Zellen schwach positiv an (Abb. 7a).

Der hellgraue, fein gekörnte Interzellulärspalt stellt sich diastasestabil PAS-positiv dar. Einige Bereiche werden jedoch nur undeutlich angefärbt (Abb. 8a+b).

b) Peri- und suprapapilläres Stratum corneum (Hornröhrchen)

Die Hornröhrchen des inneren Kronhorns verlaufen geradlinig und parallel proximo-distal. Sie bestehen aus einer Rindenschicht, deren Zellen sich konzentrisch um einen Markraum anordnen.

Im Querschnitt stellen sich die Röhrchen annähernd kreisrund dar. Die Rindenschicht umgibt einen runden bis leicht ovalen Markraum. Zwischen den großen Röhrchen befinden sich einige kleinere runde Röhrchen (Abb. 5a).

Die Rindenzellen der Hornröhrchen sind kleiner als die des Zwischenröhrchenhorns und die Reaktionsintensitäten der verschiedenen Färbungen fallen etwas schwächer aus als bei diesen. Lediglich die Azidophilie ist etwas deutlicher.

Im Quer- und im Längsschnitt lassen die inneren zwei bis drei Zelllagen eine relativ schmale und längliche Gestalt mit spitz oder stumpf auslaufenden Zellenden erkennen, die sich mit denen der Nachbarzelle verzahnen. Sie sind bumerangartig um den Markraum gebogen. Zellkernreste stellen sich häufig dar. Die Zellmembran ist an den Längsseiten leicht gewellt. Die Zellen der äußeren Röhrchenhälfte besitzen eine rhombenförmige bis polygonale Gestalt. In der Nähe der Papillenspitze sind in einigen Zellen schmale, längliche Kernreste erkennbar (Abb. 5b).

Das Zellplasma der inneren Röhrchenzellen stellt sich bei der HE-Färbung rot dar, das der äußeren nur hellrosa, die Zellmembran lässt sich hiervon nur undeutlich abgrenzen.

Der Nachweis der SH-Gruppen lässt in der äußeren Röhrchenhälfte eine schwach bis mittelgradig positive Reaktion des Cytoplasmas und in der inneren Hälfte eine mittelgradig bis stark positive Reaktion erkennen. Die Zellgrenze färbt sich stark bis sehr stark positiv an (Abb. 7b). Der SS-Gruppennachweis des Zelleibes fällt mittelgradig bis stark positiv, in der Nähe vom Röhrchenmark stark positiv aus. Die Zellmembran färbt sich hierbei stark bis sehr stark positiv an (Abb. 7c). Bei der Rhodamin B-Färbung werden nur wenige Rindenzellen wolkig angefärbt (Abb. 7a).

Die engen Interzellularspalten weisen eine diastases stabile PAS-positive Reaktion auf (Abb. 8a). Die Sudanschwarz B-Reaktion färbt die Zellgrenzen blassgrau an. Zum äußeren Kronhorn hin wird diese Färbung deutlicher und erscheint hier mittelgrau (Abb. 8b).

Die nur selten nachzuweisenden großen, polygonalen bis ellipsoiden Markzellen sind quer zum Röhrchenverlauf angeordnet. Ihre Zellgrenzen sind undeutlich.

Sie reagieren deutlich eosinophil und diastases stabil PAS-positiv. Auch bei der Sudanschwarz B-Reaktion wird das Cytoplasma mittelgrau gefärbt.

Die Intensität des SH-Gruppennachweises lässt sich als schwach bis mittelgradig positiv, die des SS-Gruppennachweises als mittelgradig positiv bezeichnen. Die Rhodamin B-Färbung fällt negativ aus.

Der Interzellularspalt ist weiter als bei den Rindenzellen und lässt PAS-positiven Inhalt erkennen. Bei der Sudanschwarz B-Färbung stellt er sich hellgrau dar.

Bereits kurz unterhalb des Kronrandes sind viele Hornröhrchen leer oder es sind nur noch Markzellreste vorzufinden, die sich überwiegend randständig anordnen.

Tabelle 2: Ergebnisse des SH- und SS-Gruppennachweises im inneren Kronhorn, die Befunderhebung erfolgte nach dem Auswertungsschema von KORTE (1987) (siehe Tabelle 1)

	SH-Gruppennachweis			SS-Gruppennachweis		
	inter-papillär (ZRH)	peri-papillär (Rinde)	supra-papillär (Mark)	inter-papillär (ZRH)	peri-papillär (Rinde)	supra-papillär (Mark)
Str. basale	2	2	1	1	1	1
unteres Str. spinosum	4	4	-	2	1	-
mittleres Str. spinosum	4	-	2	2	-	3
oberes Str. spinosum	5	4	-	4	2	-
Str. corneum Cytoplasma	z. T. 0, z. T. 1	z. T. 2, z. T. 4	2	z. T. 0, z. T. 4	4 bis 5	3
Str. corneum: Zellgrenzen	6	5 bis 6	2	6	6	3

2. Das mittlere und äußere Kronhorn

Da sich die Lederhaut und die lebende Epidermis des mittleren und äußeren Teils des Kronsegmentes nicht deutlich voneinander unterscheiden, erfolgt hier keine Unterteilung, es wird nur auf die geringen Unterschiede in den einzelnen Abschnitten hingewiesen.

2.1 Die Lederhaut (Dermis)

Die Papillen der äußeren Hälfte des Kronhorns sind sehr lang, aber schlanker als die des inneren Kronsegmentes. Ihr Querschnitt ist als oval zu bezeichnen. Sie verjüngen sich stark und laufen spitz, teilweise auch stumpf aus. Kurz oberhalb der Basis sind sie leicht abgeknickt.

Eine schwache Kanellierung ist hier ebenfalls vorzufinden. Die äußersten Papillen, die an das Saumsegment angrenzen, zeigen nur eine undeutliche Kanellierung (Abb. 9a+b). Zwischen den Papillen befinden sich kurze, spitz zulaufende Sekundärpapillen.

2.2 Die Oberhaut (Epidermis)

2.2.1 Das Stratum basale

a) Interpapilläres Stratum basale

Die Basalzellen des mittleren und äußeren Kronhorns unterscheiden sich in ihrer Struktur und in ihren Färbereigenschaften nicht von denen des inneren Kronhorns. Im Unterschied zu letzteren enthalten sie jedoch zahlreiche braun-schwarze Melaningranula, die hauptsächlich perinukleär angeordnet sind. Diese Granula sind besonders häufig in den interpapillären Hornbereichen vorzufinden.

b) Peri- und suprapapilläres Stratum basale

Im Gegensatz zu den Basalzellen des inneren Kronsegmentes sind die des äußeren erst im oberen Drittel der Lederhautpapille senkrecht zu dieser angeordnet, während sie in den übrigen Abschnitten einen spitzen Winkel zu ihr einnehmen. Sie besitzen häufig einen blasenförmig erweiterten Interzellularspalt.

Weiterhin sind besonders perinukleär grau-braune Melaningranula erkennbar.

Ein färberischer Unterschied zu den inneren Basalzellen ist dagegen nicht zu ermitteln.

2.2.2 Das Stratum spinosum

Die Zellen des äußeren Kronhorns unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Form, Anordnung zu den Lederhautpapillen und Färbeeigenschaften nicht wesentlich von denen des inneren Kronhorns, so dass hier nur auf die vorhandenen Unterschiede hingewiesen wird.

a) Interpapilläres Stratum spinosum

Die interpapillären Spinosazellen liegen meist parallel oder leicht schräg zur Lederhautpapille, da sie nur einen schmalen Bereich zwischen den Zöttchen einnehmen (Abb. 10c). Lediglich bei den Spinosazellen, die sich in unmittelbarer Nähe zum inneren Kronhorn befinden, sind auch quer zur Lederhautpapille angeordnete Spinosazellen erkennbar.

Besonders perinukleär sind braun-schwarze Melaningranula ausgebildet. Intensiv PAS-positive Granula lassen sich nur selten nachweisen.

Der Nachweis der Sulfhydryl- (SH-) und Disulfid- (SS-) Gruppen lässt in den oberen Lagen eine um ein bis zwei Reaktionsstärken höhere Färbeintensität erkennen als in den Zellen des inneren Kronhorns.

b) Peri- und suprapapilläres Stratum spinosum

Die peripapillären Spinosazellen unterscheiden sich morphologisch nicht von denen des inneren Kronhorns. Sie weisen jedoch eine um eine Reaktionsstärke kräftigere SH- und SS-Gruppenfärbung auf (Abb. 14a).

Weiterhin sind Melaningranula innerhalb der Zelle erkennbar.

2.2.3 Das Stratum corneum

a) Interpapilläres Stratum corneum (Zwischenröhrchenhorn)

Das interpapilläre Stratum corneum des mittleren und äußeren Abschnitts unterscheiden sich nicht wesentlich voneinander.

Es ist ebenso wie im inneren Kronhorn eine Unterteilung der Zwischenröhrchenzellen in junge und gereifte Zellen möglich. Erstere sind breiter und lassen teilweise einen strichförmigen Zellkernrest erkennen. Die gereiften Zwischenröhrchenzellen weisen eine parallel oder leicht schräg ausgerichtete Orientierung zum Hornröhrchen auf. Sie sind länglich bis spindelförmig und breiter als die Röhrchenzellen (Abb. 11a und 11b). Die Menge an Zwischenröhrchenhorn ist geringer als innen, eine Abgrenzung zum Röhrchenhorn ist nicht immer eindeutig möglich. Nur die äußersten Zwischenröhrchenzellen, die die Hornröhrchen kurz unterhalb der Hufoberfläche umgeben, sind meist gut vom Röhrchenhorn abgrenzbar.

Die Zellgrenzen sind mäßig gewellt, die Zellenden laufen meist spitz aus. Es sind einzelne Melaningranula in den Zellen darstellbar, während Kernreste nicht erkennbar sind. Das Cytoplasma färbt sich bei der HE-Färbung hellrosa an, nur einige marknahe Zellen erhalten eine hellrote Färbung.

Beim SH-Gruppennachweis stellen sich die meisten Zellen farblos dar, einige weisen eine schwach bis mittelgradig positive Reaktion auf. Die Zellgrenzen aller Zellen reagieren stark bis sehr stark positiv (Abb. 14b). Beim SS-Gruppennachweis stellen sich die Zellleiber einiger Zellen schwach bis mittelgradig positiv, die Zellgrenzen stark bis sehr stark positiv dar (Abb. 14c). Rhodamin B lässt nahezu alle Zellen deutlich positiv reagieren (Abb. 14a).

Der deutlich PAS-positive, diastases stabile Interzellularspalt färbt sich mit Sudan-schwarz B deutlich grau.

b) Peri- und suprapapilläres Stratum corneum (Hornröhrchen)

Die Hornröhrchen des äußeren Teils des Kronsegmentes lassen hinsichtlich der Architektur und Färbeeigenschaften Unterschiede erkennen, weshalb diese anlehnd an die Literatur- in mittlere und äußere Röhrchen unterteilt werden.

a) Mittlere Hornröhrchen

Die Hornröhrchen, die an das innere Kronhorn angrenzen, weisen einen zur äußeren Hufoberfläche parallel verlaufenden querovalen Durchmesser auf und umgeben ein ebenfalls querovales Lumen. Sie verlaufen geradlinig und parallel zueinander proximal-distal.

Die Hornröhrchen besitzen eine breite Rindenschicht, deren Zellen vereinzelt Kernreste sowie Melaningranula enthalten.

Im Querschnitt lassen sich in den innersten zwei bis drei Rindenzelllagen längliche, schmale Rindenzellen mit spitz auslaufenden Zellenden erkennen, die um den Markraum gebogen sind. Die äußeren Zellen besitzen dagegen eine längliche Gestalt mit stumpf auslaufenden Zellenden und einer an den Längsseiten gewellten Zellmembran. An den Schmalseiten des ovalen Hornröhrchens befinden sich allerdings breitere, teilweise polygonale Zellen, die leicht gebogen sind und eine starke Verzahnung untereinander aufweisen (Abb. 11a und 11b). Der Zelleib der inneren Rindenzellen ist stark eosinophil, wobei sich die Zellgrenzen nur undeutlich abgrenzen lassen. Die äußeren Rindenzellen färben sich nur mäßig eosinophil.

Der SH-Gruppennachweis ergibt eine schwach bis mittelgradig positive Reaktion, die innersten Rindenzellen reagieren teilweise mittelgradig bis stark positiv. Einige Zellen bleiben jedoch auch farblos. Die Zellmembran färbt sich bei allen Zellen mittelgradig bis stark positiv. Beim Nachweis der SS-Gruppen stellen sich die inneren Rindenzellen stark positiv dar, die äußeren reagieren dagegen nur schwach bis mittelgradig positiv, wobei einige Zellen auch eine negative Farbreaktion des Zelleibes aufweisen. Die Zellgrenzen färben sich bei allen Zellen stark bis sehr stark positiv an (Abb. 14c). Die Rhodamin B-Färbung bewirkt eine deutlich positive Anfärbung des Zelleibes von ungefähr einem Drittel der Rindenzellen.

Die Interzellularspalten der Rindenzellen sind deutlich PAS-positiv und diastasestabil (Abb. 15a), sie werden durch Sudanschwarz B grau gefärbt (Abb. 15b).

Zwischen den großen Röhrchen liegen einige kleine runde Röhrchen, die in der Regel aus zwei inneren spindelförmigen und zwei äußeren polygonalen Zelllagen bestehen.

Die Markzellen weisen ein scholliges Cytoplasma auf und reagieren diastasestabil PAS-positiv. Sie enthalten vereinzelt Fetttropfen. Der SH- und SS- Gruppennachweis fällt mittelgradig positiv aus.

Der Interzellularspalt ist weiter als bei den Rindenzellen und lässt PAS-positiven Inhalt erkennen (Abb. 15a). Bei der Sudanschwarz B-Färbung stellt er sich hellgrau dar. Häufig wird auch die gesamte Zelle angefärbt.

Viele Hornröhrchen sind nur randständig mit Markzellen angefüllt, einige weisen auch einen leeren Markraum auf.

b) Äußere Hornröhrchen

Diese Hornröhrchen sind nur in einer schmalen Schicht kurz unterhalb der Hufoberfläche vorzufinden.

Im Querschnitt sind sie oval und sehr stark oberflächenparallel abgeplattet. Sie besitzen im Gegensatz zu den mittleren Röhrchen nur eine sehr schmale Rindenschicht. Die innersten zwei Lagen der Hornröhrchenrinde bestehen aus sehr schmalen, spitz auslaufenden Zellen, die stark um den Markraum gebogen sind. Die äußeren Rindenzellen sind länglich mit stumpfen Zellkanten. An den Breitseiten der Hornröhrchen befinden sich breitere Zellen als an deren Schmalseiten. Kernreste sind häufig nicht mehr oder nur in der inneren Röhrchenhälfte vorzufinden. In den äußeren Rindenzellen sind Melaningranula nachweisbar (Abb. 12a).

Die Rindenzellen weisen eine schwache Eosinophilie auf, ihre Zellmembran ist nur undeutlich vom Zelleib abgrenzbar.

Beim SH-Gruppennachweis reagiert das Zellinnere der meisten Zellen nicht, jedoch stellen sich die Zellgrenzen stark bis sehr stark positiv dar. Lediglich der Zelleib einiger marknaher Röhrchenrindenzellen lässt eine stark positive Reaktion erkennen. Bei der SS-Gruppenfärbung weist das Zellinnere der innersten Rindenzellen eine stark bis sehr stark positive Reaktion auf, das der äußeren Röhrchenzellen stellt sich meist negativ dar, wobei einige Zellen auch schwach bis mittelgradig positiv reagieren. Die Zellgrenzen stellen sich immer stark bis sehr stark positiv dar (Abb. 14d). Die Rhodamin B-Färbung bewirkt eine deutlich positive Reaktion der Rindenzellen mit Ausnahme der innersten ein bis zwei Zelllagen, die sich schwach positiv darstellen (Abb. 14b).

Die PAS-Reaktion der Interzellularspalten fällt auch nach Diastaseinkubation deutlich positiv aus (Abb. 15a). Die Sudanschwarz B- Reaktion ergibt eine grauschwarze Färbung der Zellzwischenräume. Teilweise ist hierbei eine leichte Körnung erkennbar (Abb. 15b).

Die Markzellen werden bei der Sudanschwarz B-Färbung grauschwarz angefärbt. Die HE-Färbung lässt einen stark eosinophilen Zelleib erkennen, der auch durch die PAS-Reaktion deutlich angefärbt wird (Abb. 15a).

Das Röhrchenmark stellt sich sowohl bei der SH- als auch bei der SS- Gruppenfärbung mittelgradig bis stark positiv dar.

Die Interzellularspalten sind weiter als die der Rindenzellen und enthalten feinkörnigen, hellgrauen Inhalt. Die PAS-Reaktion fällt deutlich positiv aus (Abb. 15a).

Fast alle Hornröhrchen sind vollständig mit Markzellen gefüllt, einige lassen jedoch im Inneren des Markraumes ein kleines Lumen erkennen.

Tabelle 3: Ergebnisse des SH- und SS-Gruppennachweises im mittleren Kronhorn, die Befunderhebung erfolgte nach dem Auswertungsschema von KORTE (1987) (siehe Tabelle 1)

	SH-Gruppennachweis			SS-Gruppennachweis		
	inter-papillär (ZRH)	peri-papillär (Rinde)	supra-papillär (Mark)	inter-papillär (ZRH)	peri-papillär (Rinde)	supra-papillär (Mark)
Str. basale	2	2	1	1	1	1
unteres Str. spinosum	5 bis 6	5 bis 6	-	4	4	-
mittleres Str. spinosum	5 bis 6	-	3	5	-	3
oberes Str. spinosum	5 bis 6	5 bis 6	-	5 bis 6	5 bis 6	-
Str. corneum: Cytoplasma	z. T. 0, z. T. 6	z. T. 0, z. T. 6	3	z. T. 0, z. T. 6	z. T. 0, z. T. 6	3
Str. corneum: Zellgrenzen	6	6	3	6	6	3

Tabelle 4: Ergebnisse des SH- und SS-Gruppennachweises im äußeren Kronhorn, die Befunderhebung erfolgte nach dem Auswertungsschema von KORTE (1987) (siehe Tabelle 1)

	SH-Gruppennachweis			SS-Gruppennachweis		
	inter-papillär (ZRH)	peri-papillär (Rinde)	supra-papillär (Mark)	inter-papillär (ZRH)	peri-papillär (Rinde)	supra-papillär (Mark)
Str. basale	2	2	1	1	1	1
unteres Str. spinosum	5 bis 6	5 bis 6	-	4	4	-
mittleres Str. spinosum	5 bis 6	-	3	5	-	3
oberes Str. spinosum	5 bis 6	5 bis 6	-	5 bis 6	5 bis 6	-
Str. corneum: Cytoplasma	z. T. 0, z. T. 6	0	3	0	z. T. 0, z. T. 2, z. T. 6	3
Str. corneum: Zellgrenzen	6	6	3 bis 4	6	6	3 bis 4

B. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung des Kronsegmentes

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung wurde an Proben der drei definierten Entnahmestellen durchgeführt. Hierbei lassen sich keine strukturellen Unterschiede feststellen. Durch die zusätzliche proximodistale Probengewinnung jeweils im Abstand von 1 cm konnte jedoch der ungefähre Zeitpunkt des Hornröhrchenmarkzerfalls ermittelt werden.

1. Das innere Kronhorn

1.1 Gestalt und Oberfläche des Papillarkörpers

Die Kronsegmentlederhaut des Pferdehufes weist eine proximodistale Ausdehnung von ca. 8 mm auf und befindet sich zwischen der papillenbesetzten Saumlederhaut und der blättchentragenden Wandlederhaut. Zur Oberflächenvergrößerung ist sie mit ca. 8 mm langen Papillen besetzt. Diese sind in dicht nebeneinanderstehenden, parallelen Reihen zum Tragrand ausgerichtet.

Die inneren, distalen Papillen entspringen annähernd rechtwinklig aus der Lederhautoberfläche und verlaufen geradlinig proximodistal. Sie besitzen einen runden Querschnitt und verjüngen sich nur mäßig zur stumpf auslaufenden Spitze hin. Einige Papillen weisen in der unteren Hälfte einen leicht ovalen Querschnitt auf (Abb. 2c).

Kurz unterhalb ihres Ursprungs beginnt die Ausbildung tiefer längsverlaufender Einziehungen (Abb. 2d), die in ihrem weiteren Verlauf flacher werden, um im oberen Drittel der Papille fast vollständig zu verstreichen (Abb. 2e). Diese Einziehungen werden als Kanellierung bezeichnet und weisen eine Tiefe von etwa 30-50 μm sowie eine Breite von 10-40 μm auf. Weiterhin lassen sich Oberflächenvergrößerungen in Form von deutlichen Mikroleisten erkennen, die aus longitudinal zur Zotte verlaufenden Mikrofalten bestehen. Diese Mikroleisten sind etwa 5 μm hoch. (Abb. 2d).

Interpapillär, das heißt zwischen den Papillen, befinden sich leistenförmige Erhebungen, die eine Höhe von etwa 150 μm besitzen. Ihre freie Oberfläche ist meist gezackt, teilweise jedoch auch annähernd gerade. Sie sind parallel zu den Reihen der Papillen ausgerichtet und umgeben diese an deren Basis ringförmig (Abb. 2f).

Von der Basis der breiten Hauptpapillen gehen vereinzelt schlanke, fadenförmige, abgeplattete Sekundärpapillen aus, die kürzer als erstgenannte sind und nur eine mäßige Kanellierung erkennen lassen (Abb. 2c).

Zwischen den Primärpapillen befinden sich einige kurze, schwach kanellierte Nebenpapillen. Weiterhin sind fadenförmige, lange Nebenpapillen mit einer mäßigen Kanellierung nachweisbar, die kürzer als die Hauptpapillen sind.

1.2 Gestalt und Beschaffenheit der basalen Epidermisoberfläche

Die Lederhaut und die Oberhaut verhalten sich zueinander wie Patrizie und Matrizie. Aus diesem Grund spiegelt sich die Gestalt der Lederhautpapillen in der Beschaffenheit der basalen Epidermisoberfläche wider.

Im inneren, distalen Kronhornbereich ziehen die Papillen annähernd senkrecht in die Hornröhrchen hinein. Diese verlaufen geradlinig und parallel zueinander und sind in nebeneinanderstehenden Reihen angeordnet. Die Hornröhrchen besitzen einen großen, runden Durchmesser. Zwischen großen, runden Röhrchen befinden sich einige kleinere Röhrchen.

Durch breite, leistenförmige Erhebungen (Abb. 3a), deren Oberfläche durch kurze Zellfortsätze der Basalzellen vergrößert ist (Abb. 3d), werden die Röhrchen voneinander getrennt. Entsprechend den Verhältnissen an der Papillenoberfläche befinden sich auch auf der basalen Epidermisoberfläche der Hornröhrchen deutliche längsverlaufende Einziehungen und Erhebungen (Abb. 3b).

1.3 Gestalt und Beschaffenheit der Hornröhrchen und des Zwischenröhrchenhorns

a) Hornröhrchen und Hornröhrchenrindenzellen

Die inneren, annähernd runden Kronhornröhrchen grenzen an die Hornblättchen des Wandsegmentes an und ziehen geradlinig und parallel nach distal. Vereinzelt lassen sich vor allem in der Rindenschicht der Hornröhrchen sowie am Übergang zum Zwischenröhrchenhorn Risse erkennen.

Die innersten Hornröhrchenrindenzellen sind um den Hornröhrchenmarkraum gebogen. Sie besitzen eine schmale, zwiebelschalenähnliche Gestalt. Die Zellenden überlappen sich nicht. Sie laufen stumpf oder spitz aus, die Längsseiten der Zellen erscheinen leicht gewellt. Auf der Oberfläche lassen sich kurze leistenförmige Erhebungen erkennen. Eine genaue Abgrenzung der einzelnen Zellen ist nicht immer möglich.

Die äußeren Rindenzellen, die ca. Dreiviertel des Hornröhrchens gestalten, sind dagegen polygonal. Ihre Oberfläche lässt zahlreiche Vertiefungen als Überreste der Kerne erkennen (Abb. 5c).

Der Hornröhrchenmarkraum weist ein rundes Lumen auf. An seinen Rändern befinden sich bereits im oberen Drittel des Zehenrückenteils zumeist Zelltrümmer, selten intakte Markzellen. Häufig sind die Markräume auch leer, in der Tiefe lassen sich aber in diesen Hornröhrchen teilweise Zellstrukturen erkennen, die eine Unterscheidung zwischen intakten und zerfallenen Zellen jedoch nicht zulassen.

b) Hornröhrchenmarkzellen

Die Zellen des Hornröhrchenmarks besitzen eine polygonale bis rundliche Gestalt und wirken häufig nicht so solide wie die Rindenzellen.

Sie sind etwas abgeplattet, liegen quer oder schräg zum Längsverlauf des Röhrchens und überlappen sich teilweise. Die Zelloberfläche erscheint leicht gefältelt.

Häufig ist eine Unterscheidung zwischen intakten Markzellen und Zelldetritus nicht möglich.

c) Zwischenröhrchenhornzellen

Die Zellen des Zwischenröhrchenhorns besitzen eine längliche Form und lassen sich nur undeutlich voneinander unterscheiden. Eine Abgrenzung zu den Hornröhrchenrindenzellen ist häufig möglich. Besonders am Übergang der Zwischenröhrchenzellen in die Röhrchenzellen lassen sich an einigen Stellen kleine Risse erkennen.

Die Zellmembran ist an den Längsseiten gewellt, die Zellenden laufen meist stumpf aus. Auf der Oberfläche sind im Vergleich zu den Hornröhrchenzellen etwas deutlichere Mikrofalten erkennbar (Abb. 5d).

2. Das mittlere und äußere Kronhorn

2.1 Gestalt und Oberfläche des Papillarkörpers

Die äußeren Papillen der Kronsegmentlederhaut entspringen leicht schräg aus der Lederhautoberfläche und knicken kurz unterhalb der Basis nach distal ab, um geradlinig in Richtung Tragrand zu verlaufen.

Im Gegensatz zu den breiten, inneren Papillen sind sie schmaler und kurz unterhalb ihrer Basis parallel zur äußeren Hufwand abgeflacht, so dass sie nur in ihrem basisnahen, oberen Drittel einen runden Querschnitt besitzen. Die Papillen besitzen alle annähernd den gleichen Durchmesser, es sind einige kurze stumpf oder spitz auslaufende Nebenpapillen vorzufinden (Abb. 9c).

Die längsverlaufenden Kanellierungen und Mikroleisten auf der Zottenoberfläche sind schwächer ausgebildet als bei den inneren, distalen Papillen (Abb. 9d). Eine interpapilläre Ausbildung von etwa 100-150 µm hohen Mikroleisten mit geradem Rand sowie kurzen, spitz auslaufenden Sekundärpapillen mit schwacher Kanellierung treten besonders in der Nähe des inneren Kronhorns relativ zahlreich auf. Die interpapillären Leisten umgeben die Papillenbasis ringförmig und schlagen sich auf ihre Oberfläche um (Abb. 9f).

Kurz vor dem Übergang der Kronsegmentlederhaut in die Saumsegmentlederhaut befinden sich sehr lange, schlanke, querovale Zotten, deren Gestalt stark zur äußeren Oberfläche hin stark abgeplattet ist. Sie verjüngen sich deutlich zu ihrem spitz auslaufenden Ende hin.

Eine Kanellierung und Ausbildung von Mikrofalten auf der Papillenoberfläche sind nicht oder nur sehr undeutlich zu verzeichnen (Abb. 9e).

Neben den Papillen entspringen zum Teil kurze, meist stumpf zulaufende Sekundärpapillen, die auf ihrer Oberfläche flache, längsverlaufende Einziehungen besitzen. Die interpapilläre Oberfläche weist ebenso wie im inneren Kronhorn einige leistenförmige Erhebungen auf, die jedoch in den äußersten Abschnitten nur noch sehr selten oder nicht mehr zu erkennen sind.

2.2 Gestalt und Beschaffenheit der basalen Epidermisoberfläche

Die basale Epidermisoberfläche des äußeren Kronhorns lässt zwei verschiedene Hornröhrchenöffnungen erkennen. Während die Röhrchenbasis in der Nähe des inneren Kronhorns in der Regel einen runden bis mäßig ovalen Querschnitt erkennen lässt, ist die der außen gelegenen Röhrchen meist deutlich oval (Abb. 10a und 10b). Die Öffnungen besitzen in den beiden oben erwähnten Abschnitten alle annähernd den gleichen Durchmesser, die Zotten der Lederhaut ziehen leicht schräg in sie hinein.

Zwischen den Röhrchen befinden sich schmale Epidermisleisten, deren Oberfläche durch kurze Zellfortsätze der Basalzellen vergrößert ist. Letztere stehen relativ weit auseinander. Im basalen Teil der Hornröhrchen sind als Gegenstück der Kanellierung der Lederhautpapillen relativ flache Einziehungen auf der basalen Epidermisoberfläche erkennbar (Abb. 10a). Auf der äußersten basalen Epidermisoberfläche lassen sich nur undeutliche Einziehungen und Erhebungen nachweisen (Abb. 10b)

2.3 Gestalt und Beschaffenheit der Hornröhrchen und des Zwischenröhrchenhorns

a) Hornröhrchen und Hornröhrchenrindenzellen

Anhand der Gestalt der Hornröhrchen und der Füllung des Markraumes lassen sich mittlere und äußere Hornröhrchen unterscheiden.

1. Mittlere Hornröhrchen

Die mittleren Hornröhrchen grenzen an das innere Kronhorn an und sind geradlinig und parallel in Richtung Tragrand ausgerichtet. Sie weisen einen ovalen Querschnitt auf und besitzen eine schmalere Rindenschicht als die inneren Hornröhrchen (Abb. 11c).

Die Hornröhrchenrindenzellen sind länglich, wobei die innersten zwei Zelllagen sehr schmal und um den Hornröhrchenmarkraum gebogen sind. Sie sind parallel zur Röhrchenlängsachse abgeplattet. Die Schmalseiten der Rindenzellen laufen stumpf

aus, die Längsseiten sind leicht gewellt. Auf der Zelloberfläche sind einige kurze faltenartige Fortsätze erkennbar. Eine genaue Abgrenzung zwischen den einzelnen Rindenzellen und zu den Zellen des Zwischenröhrchenhorns ist nicht immer möglich. Die Kronhornröhrchen besitzen ein ovales oder rundes Lumen. Dieses ist stärker gefüllt als das der inneren Kronhornröhrchen. Es befinden sich auch hier bereits im oberen Drittel des Kronhorns einige Markzelltrümmer, der überwiegende Teil der Markzellen ist jedoch intakt. Allerdings ist meist nicht der gesamte Markraum gefüllt, da sich die Zellen hauptsächlich peripher anordnen (Abb. 11c).

2. Äußere Hornröhrchen

Diese Kronhornröhrchen befinden sich kurz unterhalb der äußeren Hufoberfläche und unterscheiden sich in ihrem Aufbau von den oben genannten nur durch ihre stärker oberflächenparallele Abplattung. Die Röhrchen liegen sehr eng beieinander und lassen sich rasterelektronenmikroskopisch häufig nur undeutlich vom Zwischenröhrchenhorn abgrenzen

Der schmale, ovale Markraum ist meist vollständig mit intakten Markzellen beziehungsweise deren Resten gefüllt, vereinzelt sind diese jedoch nur randständig angeordnet und lassen in ihrer Mitte ein kleines Lumen erkennen (Abb. 12b).

b) Hornröhrchenmarkzellen

Die Zellen des Hornröhrchenmarks gleichen in ihrer Gestalt denen des inneren Kronhorns. Vereinzelt weisen sie auf ihrer Oberfläche Risse auf. Aus diesem Grund ist es in vielen Fällen nicht möglich, eine genaue Unterscheidung zwischen dem beginnenden Markzellzerfall und bereits zerfallenen Zellen zu treffen.

c) Zwischenröhrchenhornzellen

Auch die Zwischenröhrchenzellen des mittleren und äußeren Kronhorns unterscheiden sich in ihrer Gestalt nicht von denen des inneren Kronhorns. Im Gegensatz zu diesen laufen die Zellenden allerdings meist spitz aus. Außerdem besitzen sie auf ihrer Oberfläche sehr deutliche faltige Einziehungen.

Eine genaue Abgrenzung der Zellen voneinander ist in der Regel nicht möglich, ebenso wie der Übergang des Röhren- in das Zwischenröhrenhorn undeutlich ist.

3. Zerfall der Hornröhrenmarkzellen

3.1 Das innere Kronhorn

Im inneren Kronhorn findet der Zerfall der Markzellen bereits kurz unterhalb der Papillenspitze und der sie umgebenden lebenden Epidermis statt.

Bereits 1 cm unterhalb des Haaransatzes sind überwiegend leere Hornröhren erkennbar. Einige Röhren enthalten allerdings randständig rissige Markzellen beziehungsweise Zellbruchstücke.

Nur ganz vereinzelt befinden sich noch in der Mitte des Zehenrückenteiles, auf halber Höhe zwischen dem Kron- und Tragrand, intakte Markzellen.

3.2 Das mittlere Kronhorn

In der oberen Hälfte des Zehenrückenteiles lassen sich überwiegend intakte Markzellen erkennen, die entweder das gesamte Lumen ausfüllen oder randständig angeordnet sind. Nur vereinzelt sind Risse in den Zellen oder Zelltrümmer sichtbar (Abb. 11d). Erst in der unteren Hälfte des Kronhorns findet man überwiegend zerfallene Markzellen oder leere Hornröhren.

3.3 Das äußere Kronhorn

Im äußeren Kronhorn lassen sich auch kurz oberhalb des Tragrandes überwiegend vollständig gefüllte Hornröhrenmarkräume erkennen, ein Herausbröckeln der Markzellen findet hier nicht statt. Allerdings sind sich in diesem Bereich auch Risse in den Zellen ermitteln (Abb. 12d).

C. Transmissionselektronenmikroskopische Untersuchung des Kronsegmentes

Die transmissionselektronenmikroskopischen Untersuchungen beschränken sich auf die vollständig verhornte Epidermis, wobei besonders die Struktur der Hornzelle, deren Verzahnung mit der Nachbarzelle und die Weite und Füllung des Interzellularspaltes analysiert wird. Um jahreszeitlich bedingte Unterschiede zu ermitteln, werden Hornproben an den drei definierten Stellen entlang des Zehenrückenteiles beurteilt.

1. Das innere Kronhorn

a) Hornröhrchen

Die Zellen der Hornröhrchenrinde sind etwas elektronenlichter als die des Zwischenröhrchenhorns. Innerhalb der Rindenschicht lassen sich zwei verschiedene Zellformen erkennen.

Die innersten zwei bis drei Zelllagen bestehen aus länglichen Zellen mit spitz bis stumpf auslaufenden Polen. Sie sind geringgradig um den meist leeren Markraum gebogen. Der deutlich gewundene Interzellularspalt enthält feinkörniges Material geringgradiger Elektronendichte, das sich vor allem in den relativ zahlreichen groß- oder kleinblasigen Erweiterungen nur randständig anordnet und eine geringe bis mittlere Elektronendichte aufweist. Die Weite des Interzellularspaltes der inneren Zellen beträgt etwa 40 nm. Ein marginales Band ist über weite Strecken unterhalb der Plasmamembran zu verfolgen. Es besitzt eine sehr hohe Elektronendichte. Einige Desmosomenreste sind besonders an den stärker verzahnten Stirnseiten der Zelle erkennbar. Sie bestehen aus stark elektronendichten Haftplatten und einer elektronendichten interzellulären Mittellinie (Abb. 6c).

Auch die Hornröhrchenzellen weisen eine spongiöse Zytoarchitektur auf, die allerdings deutlicher als bei den Zwischenröhrchenzellen ausfällt. Zwischen den in Bündeln angeordneten Keratinfilamenten befinden sich große Räume, die partiell mit einer Substanz geringer Elektronendichte gefüllt sind (Abb. 6a).

Die Intermediärfilament-assoziierten Proteine stellen sich als feinkörnige Strukturen hoher Elektronendichte dar. Sie sind vor allem zwischen den Keratinfilamenten zu finden (Abb. 6a). Stellenweise sind stark elektronendichte globuläre Strukturen zwischen den Keratinfilamentbündeln nachweisbar (Abb. 6a).

Die äußeren Rindenzellen bilden den überwiegenden Teil der Rindenschicht. Sie sind polygonal und größer als die inneren Zellen. Ihr etwa 40 nm weiter Interzellularspalt ist stärker gewunden als der der inneren Röhrenchenzellen und mit mäßig elektronendichtem Kitt gefüllt. Es sind weniger und kleinere Erweiterungen erkennbar. Ein marginales Band sowie Desmosomenreste sind ebenfalls vorzufinden (Abb. 6c). Die Spongiosität der äußeren Rindenzellen ist etwas geringer als die der inneren Röhrenchenzellen. Mäßig elektronendichte Keratinfilamente mit dazwischenliegenden Intermediärfilament-assoziierten Proteinen haben sich zu Bündeln angeordnet (Abb. 7d).

Globuläre oder längliche stark elektronendichte Strukturen sind in der gesamten Zelle erkennbar (Abb. 6a).

Innerhalb der Zelle befindet sich häufig ein großer aufgehellter Raum, der mit einer homogenen, schwach elektronendichten Substanz gefüllt ist, die einen Kernrest geringer Elektronendichte umhüllt. Eine Kernmembran ist nur sehr selten zu beobachten (Abb. 6b).

b) Zwischenröhrenchorn

Bereits an der proximalen Probenentnahmestelle sind nur noch vollständig ausgereifte Zellen erkennbar, eine Unterteilung in junge und alte Hornzellen ist demzufolge nicht möglich.

Die Zellen besitzen im Querschnitt eine längliche bis spindelförmige Gestalt. Durch einen besonders an den Schmalseiten stark gewundenen Interzellularspalt mit einer Weite von etwa 40 nm ergibt sich eine intensive Verzahnung mit den Nachbarzellen. Innerhalb dieses Spaltes ist eine feinkörnige Substanz mittlerer Elektronendichte erkennbar, die den gleichmäßig engen Zwischenzellraum vollständig ausfüllt. Gelegentlich sind kleinblasige Erweiterungen sichtbar, in denen sich die mäßig elektronendichte Kittsubstanz teilweise nur randständig anordnet. Unterhalb der Plasmamembran befindet sich an einigen Stellen ein marginales Band mit sehr hoher Elektronendichte. Es besitzt eine Breite von etwa 16 nm.

Vereinzelt sind Desmosomenreste zu finden, bei denen sowohl die stark elektronendichten Haftplatten als auch die mäßig bis stark elektronendichte desmosomale Mittellinie innerhalb des Interzellularspaltes erkennbar sind. Diese Zellverbindungen treten wiederum besonders häufig an den stark verzahnten Stirnseiten der Zellen auf (Abb. 6b).

Innerhalb der Hornzelle befinden sich homogen erscheinende Keratinfilamentbündel mittlerer Elektronendichte. Zwischen diesen Bündeln sind schmale Räume ausgebildet, die partiell mit einer Substanz geringer Elektronendichte unbekannter Herkunft gefüllt sind, teilweise auch optisch leer sind. Die Zellstruktur lässt sich aus diesem Grund als geringgradig spongiös bezeichnen, so dass auf diese Weise häufig eine Abgrenzung des Zwischenröhrchenhorns vom Röhrchenhorn möglich wird (Abb. 6d).

Die Intermediärfilament-assoziierten Proteine sind als feinkörnige Strukturen hoher Elektronendichte erkennbar, die zwischen den Keratinfilamenten vorzufinden sind. Besonders in der Nähe der Zellgrenzen lassen sich längliche bis spitzkegelige Strukturen sehr hoher Elektronendichte erkennen.

2. Das mittlere und äußere Kronhorn

Der einzige erkennbare Unterschied der Röhrchen kurz unterhalb der äußeren Hufoberfläche zu den mittleren Röhrchen, die an das innere Kronhorn angrenzen, besteht in der stärkeren oberflächenparallelen Abplattung sowie der nahezu vollständigen Füllung mit Markzellen. Die Zellarchitektur sowie die Weite und Füllung des Interzellularspaltes lässt transmissionselektronenmikroskopisch keine Abweichungen erkennen.

a) Hornröhrchen

Die Rindenzellen der Hornröhrchen sind schmaler als die Zwischenröhrchenzellen, ihr Interzellularspalt ist schwächer gewunden. Es lassen sich zwei verschiedene Zellarten erkennen, die sich jedoch nur geringgradig voneinander unterscheiden.

Die an das Hornröhrchenmark angrenzenden inneren zwei bis drei Zelllagen sind durch einen nur schwach gewundenen Interzellularspalt mit einer Weite von etwa

40 nm gekennzeichnet, der auch über weitere Strecken annähernd gerade verläuft. Nur an den Zellpolen ist eine deutlichere Verzahnung sichtbar (Abb. 13b). Dort sind auch vereinzelt Desmosomenreste vorzufinden.

Der Interzellularspalt ist mit einem feinkörnigen Interzellularkitt mittlerer Elektronendichte gefüllt, die ihn vollständig ausfüllt. Lediglich in den sehr seltenen kleinblasigen Erweiterungen findet man vereinzelt geringgradige Füllungsdefizite. Ein stark elektronendichtes marginales Band ist nicht häufig zu erkennen.

Die Zellen besitzen eine schlanke, spindelförmige Gestalt und sind bumerangartig um den Markraum gebogen. Ihre Struktur ist nahezu solide, lediglich einige Zellen zeigen sehr enge spongiöse Räume, in denen sich eine feinkörnige Substanz geringer Elektronendichte befindet (Abb. 13a).

Zwischen den Keratinfilamenten sind deutliche feinkörnige Intermediärfilament-assoziierte Proteine angeordnet. Besonders in der Nähe der Zellmembran sind einige längliche stark elektronendichte Strukturen zwischen den Bündeln der Keratinfilamente erkennbar.

Die äußeren Rindenzellen sind etwas breiter und länglich mit überwiegend stumpf auslaufenden Zellenden. Sie sind solide und besitzen einen etwas stärker gewundenen, meist gleichmäßig engen, in der Regel vollständig gefüllten Interzellularspalt, der die gleiche Weite wie der der inneren Zellen aufweist. Dieser verläuft abschnittsweise nahezu gerade und ist etwa ebenso weit wie der der inneren Zellen (Abb. 13a).

Ein marginales Band, Desmosomenreste und Gap Junctions sind nur vereinzelt und vor allem in den Zellverzahnungen zu finden (Abb. 13c und 13d).

Zwischen den Keratinfilamenten befinden sich die Intermediärfilament-assoziierten Proteine. Längliche stark elektronendichte Strukturen lassen sich in der gesamten Zelle nachweisen.

Vereinzelt ist ein stark elektronendichter homogener Kernrest ohne Kernmembran erkennbar. Dieser ist länglich und weist häufig zahlreiche Einkerbungen auf.

Die Markzellen der äußeren Hornröhrchen sind im Gegensatz zu denen des inneren Kronhorns häufig noch gut erhalten und werden deshalb nur hier beschrieben.

Sie besitzen einen schwach gewundenen Interzellularspalt, der durch einige großblasige Erweiterungen unterbrochen ist. Häufig ist dieser gut gefüllt mit Ausnahme der lakunenartigen Erweiterungen (Abb. 13e). Desmosomenreste oder ein marginales Band sind an einigen Stellen zu erkennen (Abb. 13f).

Die Keratinfilamente geringer Elektronendichte mit dazwischenliegenden feinkörnigen Intermediärfilament-assoziierten Proteinen lagern sich zu kurzen Bündeln zusammen, die eine starke Marmorierung aufweisen. Zwischen diesen Bündeln sind spongiose Räume sichtbar, die entweder leer sind oder eine Substanz schwacher Elektronendichte enthalten (Abb. 13e).

Globuläre, stark elektronendichte Strukturen lassen sich häufig zwischen den Keratinfilamentbündeln nachweisen.

b) Zwischenröhrchenhorn

Die Zwischenröhrchenzellen sind länglich bis polyedrisch und besitzen häufig spitz auslaufende Zellenden, die sich mit denen der Nachbarzelle verzahnen.

Besonders an den Schmalseiten der Zelle befindet sich ein stark gewundener, gleichmäßig enger Interzellularspalt mit einer Weite von etwa 40 nm, der nur selten durch kleinblasige Erweiterungen vergrößert wird. An den Zelllängsseiten ist die Zellmembran dagegen nur mäßig gewunden und weist auch häufig relativ gerade Abschnitte auf (Abb. 13a). Ein feinkörniger Interzellularkitt mittlerer Elektronendichte füllt den Zwischenzellraum meist vollständig aus. An wenigen Stellen ist er nur randständig angeordnet oder weist eine geringere Elektronendichte auf.

Ein bruchstückhaftes, stark elektronendichtes marginales Band lässt sich nur selten erkennen, während besonders in den gewundenen Bereichen der Zellmembran Desmosomenreste sichtbar sind, die sowohl an ihren stark elektronendichten Haftplatten als auch an einer deutlichen interzellulären Mittellinie kenntlich sind. Teilweise sind auch Gap Junctions (Abb. 13d) sichtbar.

Die Zellstruktur ist nahezu solide, die Keratinfilamente stellen sich als homogene Bündel dar, in denen sich die feinen Intermediärfilament-assoziierten Proteine befinden.

3. Jahreszeitliche Unterschiede im Kronhorn

Bei allen untersuchten Hufen konnten geringgradige Unterschiede in Abhängigkeit von der Hornbildungszeit bestimmt werden.

Horn, das vermutlich in den Sommermonaten gebildet wurde, zeigt häufiger Erweiterungen des Interzellularspaltes als solches, das vermutlich in den Wintermonaten gebildet wurde. Meist sind sie nur randständig mit einem Interzellularkitt geringer Elektronendichte gefüllt.

Auch in den engen und geraden Abschnitten des Zwischenzellspaltes finden sich bei Hornproben, die wahrscheinlich während der wärmeren Jahreszeit gebildet wurden, vermehrt randständige Füllungsdefizite (Abb. 8c und 8d; Abb. 15 c und 15d). Besonders in den Zellverzahnungen sind im Vergleich zu Hornproben, deren Bildungszeitpunkt im Winter liegen muss, weniger Desmosomen erkennbar.

Diese Ergebnisse treten unabhängig von der Hornreifung auf.

4. Hornreifung

Entlang des proximodistalen Verlaufes des Zehenrückenteiles sind bei den Hornzellen Veränderungen feststellbar, die vermutlich auf die Reifung und Alterung des Hornes zurückzuführen sind.

Bei einigen Hornproben fallen kurz oberhalb des Tragrandes vor allem im inneren Kronhorn im Bereich des Zwischenröhrchenhorns am Übergang in das Röhchenhorn interzelluläre Risse auf.

Ein marginales Band, Desmosomenreste und Gap Junctions sind auch in den distalen Bereichen noch erkennbar, allerdings treten sie nur noch in geringer Anzahl auf.

D. Elektrophoretische Untersuchung des Kronsegmentes

Die SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese wurde an Hufen von acht verschiedenen Pferden durchgeführt. Hierbei sollten alle Probenentnahmestellen berücksichtigt werden, um eventuelle Unterschiede aufgrund jahreszeitlich bedingter Änderungen im Proteinmuster der Keratine feststellen zu können.

Mehrere Hufe wurden in einem Arbeitsgang aufgearbeitet und auf dasselbe Gel aufgetragen. Bei einigen Hufen erfolgte eine gleichzeitige Elektrophorese mit Proben, die im Rahmen einer zeitgleichen Doktorarbeit über das Przewalskipferd entnommen

wurden. Auf diese Weise sollten methodisch bedingte Einflüsse auf das Proteinmuster ausgeschlossen werden.

Aus dem inneren, mittleren und äußeren Kronhorn wurden zwischen 5,1 und 15,9 mg/ml Proteine extrahiert. Die weitere Verdünnung richtete sich nach der Färbung, die sich an die elektrophoretische Proteinauftrennung anschloss. Bei der Coomassie-Färbung konnten Proben mit einem Proteingehalt von 0,2-5 mg/ml verwendet werden, während bei der Durchführung des Silver Staining solche mit einem Gehalt von 0,01-1mg/ml herangezogen wurden. Eine zu starke Verdünnung führte dazu, dass sich besonders die Proteinbanden in den unteren Gewichtsbereichen nicht oder nur sehr schwach erkennen ließen, während sich bei einer zu geringen Verdünnung nicht alle Banden eindeutig voneinander trennten.

1. Das innere Kronhorn

Das innere Kronhorn enthielt durchschnittlich 11,7 mg/ml Proteine. Gelelektrophoretisch lässt sich kein Unterschied zwischen den Proben der verschiedenen Entnahmestellen feststellen.

Nur bei sehr geringer Verdünnung lassen sich auch die niedermolekularen Proteine des Gewichtsbereiches zwischen etwa 13 und 27 kDa erkennen. Hier lassen sich zehn verschiedene Banden unterscheiden, deren Ausprägung einen unterschiedlichen Grad bei den einzelnen Hufen annimmt. Während sich die Proteine mit einem Molekulargewicht von etwa 13 kDa, 14 kDa, 15 kDa und 18,5 kDa relativ deutlich darstellen, sind die Proteinbanden mit einem Molekulargewicht von 16 kDa, 22,5 kDa, 23,5 kDa, 25 kDa, 26 kDa und 27 kDa bei vielen Hufen nicht oder nur sehr schwach erkennbar. Die Gewichtsangaben für die beiden leichtesten Proteine sind hierbei nur Schätzwerte, da das leichteste Protein des Markers ein Molekulargewicht von 14,4 kDa besitzt (Abb. 16b).

In den höhermolekularen Gewichtsbereichen zwischen 39,5 und 68 kDa lassen sich dagegen bei starker Verdünnung vierzehn unterschiedlich intensiv gefärbte Proteinbanden differenzieren. Hierbei treten die Proteine mit einem Molekulargewicht von 44,5 kDa, 46 kDa, 56 kDa und 57 kDa besonders deutlich hervor, während solche mit einem Gewicht von 39,5 kDa, 41 kDa, 47 kDa, 49,5 kDa, 54 kDa und 68kDa bei einigen Hufen nicht oder nur sehr schwach sichtbar sind (Abb. 16a).

2. Das mittlere und äußere Kronhorn

Die licht- und elektronenmikroskopisch ermittelten Unterschiede der Hornröhrchen des mittleren und äußeren Kronhornes lassen sich elektrophoretisch nicht nachweisen.

Aus den Hufproben dieser Bereiche lassen sich durchschnittlich 12,6 mg/ml Proteine herauslösen.

Die niedermolekularen Proteine mit einem Molekulargewicht zwischen etwa 13 kDa und 27 kDa unterscheiden sich hinsichtlich ihres Auftretens und ihrer Ausprägung nicht von denen des inneren Kronhornes (Abb. 16b).

Bei den höhermolekularen Proteinen ist im Vergleich zu denen des inneren Kronhornes eine meist deutlichere Anfärbung zu verzeichnen. Weiterhin sind hier zusätzliche Banden mit einem Molekulargewicht von 59 kDa, 64 kDa und 80,5 kDa erkennbar, wobei sich die letztgenannte nur sehr undeutlich darstellt. Diese schwache Farbinintensität ist in diesem Gewichtsbereich nur noch bei den Proteinen mit einem Molekulargewicht von 39,5 kDa und 41 kDa festzustellen (Abb. 16a).

Tabelle 5: Molekulargewichte und Intensität der Proteinbanden des inneren und mittleren und äußeren Kronhorns im Gewichtsbereich zwischen 13 und 27 kDa
 nicht darstellbare Bande : (-); schwach darstellbare Bande : (+/-)
 gut darstellbare Bande : (+)

Molekulargewicht (kDa)	inneres Kronhorn	Bandenstärke	Mittleres und äußeres Kronhorn	Bandenstärke
13*	+	—————	+	—————
14*	+	—————	+	—————
15	+	—————	+	—————
16	+/-	—————	+/-	—————
18,5	+	—————	+	—————
22,5	+/-	—————	+/-	—————
23,5	+/-	—————	+/-	—————
25	+/-	—————	+/-	—————
26	+/-	—————	+/-	—————
27	+/-	—————	+/-	—————

* Schätzwerte, da eine genaue Berechnung aufgrund des niedrigsten Molekulargewichtes der Markerproteine von 14,4 kDa nicht möglich ist

Tabelle 6: Molekulargewichte und Intensität der Proteinbanden des inneren und mittleren und äußeren Kronhorns im Gewichtsbereich zwischen 39,5 und 80,5 kDa
 nicht darstellbare Bande : (-); schwach darstellbare Bande : (+/-)
 gut darstellbare Bande : (+); sehr gut darstellbare Bande : (++)

Molekulargewicht (kDa)	Inneres Kronhorn	Bandenstärke	Mittleres und äußeres Kronhorn	Bandenstärke
39,5	+/-	_____	+/-	_____
41	+/-	_____	+/-	_____
42	+	=====	+	=====
44,5	++	██████████	++	██████████
46	++	██████████	++	██████████
47	+/-	_____	+	=====
48,5	+	=====	+	=====
49,5	+/-	_____	++	██████████
51	+	=====	++	██████████
52,5	+	=====	+	=====
54	+/-	_____	+	=====
56	++	██████████	++	██████████
57	++	██████████	++	██████████
59	-		+	=====
64	-		+	=====
68	+/-	_____	++	██████████
80,5	-		+/-	_____

E. Histometrische Untersuchung des Kronsegmentes

Die histometrische Messung der Hornröhrchen erfolgte an 6 verschiedenen Hufen, bei denen mehrere Parameter bestimmt wurden. Es wurden jeweils 5 mm² des inneren, mittleren und äußeren Kronhorns vermessen und der maximale und minimale Röhrchendurchmesser, die Röhrchenfläche, der maximale und minimale Mark-

durchmesser sowie dessen Fläche bestimmt. Weiterhin wurden die Röhrenchenanzahl pro mm², das Verhältnis vom Röhrenchenmark zur Röhrenchenrinde und der Anteil des Röhrenchenhornes ermittelt. Da bei den Ergebnissen der Hufe nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, werden die Medianwerte angegeben. Um die Werte mit den Angaben in der Literatur zu vergleichen, wurden zusätzlich die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Alle Hufe wurden an der distalen Probenentnahmestelle vermessen. Zusätzlich erfolgte bei drei verschiedenen Hufen eine Messung entlang des gesamten Zehenrückenteiles in einem Abstand von 1 cm, um eventuelle jahreszeitliche Unterschiede feststellen zu können. Um den Untersuchungsumfang zu beschränken, wurden hierbei nur äußere Kronhornröhrenchen vermessen, die eine deutliche Abgrenzung zum Zwischenröhrenchenhorn erlauben.

1. Das innere Kronhorn

Im inneren Kronhorn lassen sich durchschnittlich 6,5 Hornröhrenchen pro mm² Horn erkennen, die 57 % dieser Fläche einnehmen. Die restlichen 43 % entfallen auf das Zwischenröhrenchenhorn. Die Röhrenchen sind annähernd rund, der maximale Durchmesser besitzt einen Medianwert von 356,1 µm, der minimale Durchmesser einen Median von 251,7 µm. Dies lässt sich durch die Analyse bestätigen.

Auch der Markraum weist eine rundliche bis leicht ovale Form auf und besitzt einen maximalen Durchmesser mit einem Median von 53,4 µm und einen minimalen Durchmesser von 43,2 µm.

Setzt man den Flächenanteil des gesamten Röhrenchens von durchschnittlich 66411,0µm² in Relation mit dem des Hornröhrenchenmarks von 1712,0 µm², ergibt sich ein Verhältnis von Röhrenchenrinde zu Röhrenchenmark von 41,6:1.

Tabelle 7: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des inneren Kronhorns der Hauspferde (Medianwerte)

Medianwerte	Huf 11 n**=31	Huf 18 n=45	Huf 19 n=30	Huf 20 n=48	Huf 25 n=34	Huf 27 n=30	Alle Hufe ▲
Fläche des Markraumes (µm²)*	1760,5 (916,1-4817,1)	1663,4 (1148,4-2778,0)	2229,1 (1785,9-3069,3)	1393,2 (873,9-1942,1)	1849,2 (1486,1-2642,9)	1397,4 (1004,8-2081,4)	1712,0
Max. Durchmesser (µm)	55,0 (37,7-84,5)	51,7 (41,7-65,3)	65,0 (54,7-75,2)	48,8 (38,5-61,8)	55,2 (45,1-68,8)	49,1 (40,1-60,0)	53,4
Min. Durchmesser (µm)	43,9 (32,4-72,9)	42,5 (32,4-50,6)	46,2 (39,5-56,1)	39,6 (28,4-47,8)	45,9 (38,2-52,7)	38,5 (30,4-48,9)	43,2
Fläche des Röhrchens (µm²)	67176,2 (35928,0-135277,0)	51785,3 (11310,4-156677,0)	107100,1 (36096,9-191339,0)	49877,1 (13594,4-126694,0)	87949,8 (8228,4-126297,0)	65645,7 (12247,6-188021,0)	66411,0
Max. Durchmesser (µm)	347,9 (239,7-516,5)	302,5 (129,2-501,3)	418,4 (248,4-648,4)	290,4 (142,5-468,3)	371,3 (112,7-422,0)	364,2 (154,7-538,8)	356,1
Min. Durchmesser (µm)	246,4 (174,0-342,3)	224,6 (115,4-400,5)	325,0 (194,3-381,9)	223,3 (133,5-349,9)	299,8 (95,0-380,2)	256,9 (99,4-463,2)	251,7
Rinden-Mark-Verhältnis	37,2	30,1	47,1	34,8	46,6	46,0	41,6
Röhrchen / mm²	6,2	8,9	5,9	9,6	6,7	5,9	6,5
Anteil des Röhrchenshorns (%)	45,0	59,0	60,0	47,0	58,0	56,0	57,0

* Medianwert (minimaler und maximaler Wert)

▲ Medianwert der Medianwerte der Einzelhufe

** n: Anzahl der vermessenen Röhrchen

Tabelle 8: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des inneren Kronhorns (Mittelwerte)

Mittelwerte	Huf 11 n**=31	Huf 18 n=45	Huf 19 n=30	Huf 20 n=48	Huf 25 n=34	Huf 27 n=30	Alle Hufe ▲
Fläche des Markraumes (µm²)*	2427,4 ± 1444,5	1868,7 ± 523,6	1899,8 ± 411,6	1434,1 ± 263,0	1865,6 ± 342,3	1679,7 ± 716,2	1862,6 ± 327,9
Max. Durchmesser (µm)	61,7 ± 16,8	55,2 ± 7,3	56,3 ± 5,1	49,9 ± 5,0	56,2 ± 5,1	52,1 ± 9,7	55,2 ± 4,0
Min. Durchmesser (µm)	49,4 ± 13,1	44,9 ± 6,7	44,5 ± 6,3	39,2 ± 4,4	44,1 ± 4,8	41,9 ± 8,2	44,0 ± 3,4
Fläche des Röhrchens (µm²)	74180,0 ± 31706,0	74845,0 ± 49685,0	89344,0 ± 42466,0	51851,0 ± 27380,0	91478,0 ± 28796,0	95659,0 ± 53128,0	79559,5 ± 16222,9
Max. Durchmesser (µm)	360,2 ± 97,7	325,2 ± 124,3	378,3 ± 119,2	291,2 ± 86,0	367,3 ± 68,6	400,7 ± 119,4	353,8 ± 39,4
Min. Durchmesser (µm)	252,8 ± 56,8	262,4 ± 97,2	289,5 ± 67,4	217,9 ± 55,3	310,7 ± 64,1	283,8 95,7	269,5 ± 32,5
Rinden-Mark-Verhältnis	30,6 ± 8,4	39,8 ± 6,5	44,2 ± 10,5	33,5 ± 6,1	49,4 ± 8,8	61,2 ± 20,0	43,1 ± 11,2
Röhrchen / mm²	6,2 ± 0,9	8,1 ± 1,8	6,1 ± 0,9	9,4 ± 0,9	6,3 ± 1,0	5,6 ± 2,0	7,0 ± 1,5
Anteil des Röhrchens (%)	46,0 ± 2,0	61,0 ± 7,0	55,0 ± 4,0	49,0 ± 4,0	57,0 ± 3,0	55,0 ± 8,0	54,0 ± 5,0

* Mittelwert ± Standardabweichung

▲ Mittelwert ± Standardabweichung der Mittelwerte der Einzelhufe

** n: Anzahl der vermessenen Röhrchen

2. Das mittlere Kronhorn

In diesem Abschnitt sind durchschnittlich 11,4 Hornröhrchen pro mm² Horn vorzufinden. Diese nehmen einen Flächenanteil von 40 % ein. Der Anteil an Zwischenröhrchenhorn ist mit 60 % höher als im inneren Kronhorn.

Mit einer Fläche von 38910,8 µm² sind sie kleiner als die inneren Hornröhrchen. Weiterhin ist ihre Form als queroval zu bezeichnen, da der maximale Durchmesser von 281,7 µm fast doppelt so hohe Werte wie der minimale Durchmesser erreicht. Auch das Hornröhrchenmark weist einen ovalen Querschnitt auf und ist mit einer Fläche von 2232,3 µm² sogar etwas größer als das des inneren Kronhorns. Dem maximalen Durchmesser von 63,1 µm steht hierbei ein minimaler Durchmesser von 45,3 µm gegenüber.

Vergleicht man den Flächenanteil der Röhrchenrinde mit dem des Hornröhrchenmarks ergibt sich ein Verhältnis von 15,4:1.

Tabelle 9: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des mittleren Kronhorns (Medianwerte)

Medianwerte	Huf 11 n**=55	Huf 18 n=59	Huf 19 n=46	Huf 20 n=83	Huf 25 n=55	Huf 27 n=62	Alle Hufe ▲
Fläche des Markraumes (µm²)*	2374,8 (920,4-4846,7)	2089,8 (1557,9-2790,7)	2429,7 (1275,0-4141,6)	1752,1 (755,7-3288,8)	1705,6 (1334,1-2174,3)	2659,8 (1283,5-3998,1)	2232,3
Max. Durchmesser (µm)	64,1 (42,9-98,3)	62,0 (54,0-76,4)	71,5 (52,7-88,8)	56,5 (45,0-80,4)	53,7 (46,2-61,3)	67,9 (45,8-92,9)	63,1
Min. Durchmesser (µm)	48,3 (28,4-66,1)	46,1 (37,5-54,7)	44,4 (30,4-62,8)	40,5 (25,6-58,2)	43,3 (35,5-52,2)	52,6 (36,5-66,5)	45,3
Fläche des Röhrchens (µm²)	36274,2 (12154,7-78429,5)	41547,3 (7772,4-93484,6)	42421,2 (5927,5-69073,8)	17123,9 (5931,7-46588,2)	41581,1 (9798,9-71353,6)	30066,0 (8882,8-64341,1)	38910,8
Max. Durchmesser (µm)	293,8 (141,1-441,9)	274,3 (132,5-437,2)	314,1 (103,6-397,8)	191,0 (99,9-355,0)	289,1 (139,1-355,1)	238,1 (103,7-426,8)	281,7
Min. Durchmesser (µm)	166,5 (110,7-277,7)	184,1 (76,8-283,2)	168,0 (66,8-216,5)	115,3 (85,6-168,5)	184,7 (96,0-260,9)	160,9 (88,5-279,6)	167,3
Rinden-Mark-Verhältnis	14,3	18,9	16,5	8,8	23,4	10,3	15,4
Röhrchen pro mm²	11,0	11,8	9,2	16,6	10,9	12,4	11,4
Anteil des Röhrchenshorns (%)	51,0	50,0	37,0	32,0	38,0	42,0	40,0

* Medianwert (minimaler und maximaler Wert)

▲ Medianwert der Medianwerte der Einzelhufe

** Anzahl der vermessenen Röhrchen

Tabelle 10: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des mittleren Kronhorns (Mittelwerte)

Mittelwert	Huf 11 n**=55	Huf 18 n=59	Huf 19 n=46	Huf 20 n=83	Huf 25 n=55	Huf 27 n=62	Alle Hufe ▲
Max. Durchmesser (µm) *	66,8 ± 9,5	61,7 ± 7,2	71,0 ± 11,6	55,3 ± 7,2	52,7 ± 4,4	75,2 ± 11,6	62,9 ± 7,7
Min. Durchmesser (µm)	47,9 ± 6,7	46,5 ± 5,0	45,3 ± 7,1	41,9 ± 5,0	43,0 ± 3,7	55,2 ± 2,9	46,3 ± 4,0
Fläche des Röhrchens (µm ²)	42028,0 ± 23572,0	41895,0 ± 24434,0	35714,0 ± 19048,0	19364,0 ± 11080,0	35546,0 ± 15094,0	33156,0 ± 18296,0	34617,2 ± 8303,6
Max. Durchmesser (µm)	285,6 ± 96,7	277,5 ± 94,5	277,4 ± 89,2	193,7 ± 63,7	262,2 ± 59,8	245,0 ± 73,1	256,9 ± 34,1
Min. Durchmesser (µm)	176,6 ± 49,6	175,6 ± 54,8	146,9 ± 46,3	120,1 ± 26,9	166,4 ± 40,8	162,2 ± 46,0	158,0 ± 21,5
Rinden-Mark-Verhältnis	16,6 ± 1,6	18,5 ± 1,7	13,1 ± 1,6	10,2 ± 1,6	20,1 ± 1,8	9,8 ± 1,9	14,7 ± 4,4
Röhrchen / mm ²	11,4 ± 1,7	11,9 ± 0,9	10,4 ± 2,0	16,3 ± 1,6	10,7 ± 1,0	12,4 ± 0,7	12,1 ± 2,0
Anteil des Röhrchenhorns (%)	48,0 ± 6,0	50,0 ± 2,0	37,0 ± 3,0	32,0 ± 3,0	38,0 ± 2,0	41,0 ± 2,0	43,0 ± 7,0

* Mittelwert ± Standardabweichung

▲ Mittelwert ± Standardabweichung der Mittelwerte der Einzelhufe

** Anzahl der vermessenen Röhrchen

3. Das äußere Kronhorn

Die meisten Röhrrchen pro mm² werden kurz unterhalb der äußeren Hufoberfläche gefunden. Hier nehmen sie mit 18,9 Hornröhrrchen pro mm² einen Flächenanteil von 49 % ein. Durch ihre nur kleine Fläche von 23456,7 µm² ist der Anteil an Zwischenröhrrchenhorn jedoch höher als im inneren Kronhorn mit den ungefähr dreimal so großen Hornröhrrchen.

Ihre ovale Form lässt sich wiederum im Vergleich des kleinsten zum größten Röhrrchendurchmessers erkennen. Erster erreicht nur ungefähr halb so hohe Werte wie letzterer. Mit einem maximalen Durchmesser von 242,2 µm sind sie auch etwas kleiner als die mittleren Röhrrchen. Während dieser Parameter nur unwesentlich von dem des mittleren Röhrrchens abweicht, zeigt der Vergleich der minimalen Durchmesser deutliche Unterschiede, was sich in der stärker abgeplatteten Form der äußersten Hornröhrrchen widerspiegelt.

Auch der ovale Hornröhrrchenmarkraum ist mit einer Fläche von 1919,9 µm² ebenso wie der minimale Durchmesser mit einem Wert von 42,1 µm im Vergleich zu den mittleren Röhrrchen etwas geringer, während der maximale Durchmesser mit einem Wert von durchschnittlich 66,2 µm höher ist.

Bereits bei der reinen lichtmikroskopischen Untersuchung konnte eine nur schmale Rindenschicht festgestellt werden, die sich in einem Rinden-Mark-Verhältnis von 10,2:1 auch bei der histometrischen Untersuchung bestätigen lässt.

Tabelle 11: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des äußeren Kronhorns (Medianwerte)

Medianwerte	Huf 11 n**=87	Huf 18 n=88	Huf 19 n=112	Huf 20 n=101	Huf 25 n=107	Huf 27 n=83	Alle Hufe ▲
Fläche des Markraumes (µm²)*	2406,5 (1047,0-4884,7)	1617,0 (612,2-5074,7)	1745,7 (713,5-2875,1)	2094,1 (278,6-4690,5)	1680,3 (645,9-2930,0)	3210,7 (1494,5-7093,2)	1919,9
Max. Durchmesser (µm)	70,9 (52,2-92,6)	55,4 (42,3-112,9)	66,0 (32,4-86,5)	66,3 (36,5-101,9)	52,5 (41,0-68,9)	83,3 (60,0-116,0)	66,2
Min. Durchmesser (µm)	46,7 (13,9-65,5)	38,5 (22,5-56,5)	32,9 (20,3-44,1)	42,5 (12,2-62,8)	41,7 (20,3-58,7)	51,9 (35,9-85,0)	42,1
Fläche des Röhrchens (µm²)	30684,5 (5146,5-58312,3)	24757,0 (5049,3-78577,2)	10178,9 (3103,1-22595,4)	22156,3 (4492,1-53963,8)	19791,0 (4221,9-45908,5)	28981,0 (6362,3-76407,2)	23456,7
Max. Durchmesser (µm)	292,3 (92,0-460,9)	252,8 (86,8-463,3)	168,5 (78,2-280,2)	231,5 (85,4-446,6)	213,8 (94,2-315,8)	281,4 (113,6-436,3)	242,2
Min. Durchmesser (µm)	137,3 (68,9-199,8)	129,5 (53,0-227,1)	76,6 (48,6-111,3)	121,7 (52,7-182,4)	121,4 (57,7-194,2)	137,0 (68,1-226,0)	125,6
Rinden-Mark Verhältnis	11,8	14,3	4,8	9,6	10,8	8,0	10,2
Röhrchen / mm²	17,4	17,6	22,3	20,1	21,3	16,5	18,9
Anteil des Röhrchenshorns (%)	54,0	49,0	31,0	51,0	47,0	49,0	49,0

* Medianwert (maximaler und minimaler Wert)

▲ Medianwert der Medianwerte der Einzelhufe

** Anzahl der vermessenen Röhrchen

Tabelle 12: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des äußeren Kronhorns (Mittelwerte)

Mittelwerte	Huf 11 n**=87	Huf 18 n=88	Huf 19 n=112	Huf 20 n=101	Huf 25 n=107	Huf 27 n=83	Alle Hufe ▲
Fläche des Markraumes (µm²)*	2501,1 ± 697,1	1712,7 ± 653,6	1773,9 ± 535,4	2164,9 ± 754,9	1736,6 ± 577,1	2821,0 ± 909,4	2118,4 ± 462,9
Max. Durchmesser (µm)	71,9 ±10,6	57,0 ± 11,4	67,0 ± 12,3	66,5 ± 12,3	53,4 ± 7,7	73,8 ± 12,9	64,9 ± 8,1
Min. Durchmesser (µm)	49,4 ± 13,1	44,9 ± 6,7	44,5 ± 6,3	39,2 ± 4,4	44,1 ± 4,8	49,4 ± 9,1	45,3 ± 3,8
Fläche des Röhrchens (µm²)	32986,0 ± 13988,0	27470,0 ± 17541,0	12813,0 ± 7451,3	21577,0 ± 10991,0	24483,0 ± 10474,0	24817,0 ± 12235,0	24024,3 ± 6703,8
Max. Durchmesser (µm)	291,3 ± 72,4	237,6 ± 84,8	186,6 ± 64,5	214,6 ± 67,6	235,9 ± 61,5	244,0 ± 75,0	235,0 ± 34,7
Min. Durchmesser (µm)	141,5 ± 33,4	130,8 ± 45,7	81,8 ± 20,0	120,2 ± 29,0	129,1 ± 30,4	125,4 ± 32,1	121,5 ± 20,7
Rinden-Mark-Verhältnis	12,2 ± 0,8	15,1 ± 1,0	6,4 ± 1,8	10,8 ± 2,3	11,8 ± 0,4	7,8 ± 1,3	10,7 ± 3,2
Röhrchen / mm²	16,8 ± 2,5	17,5 ± 0,9	23,4 ± 4,1	21,5 ± 4,0	21,0 ± 0,2	18,8 ± 1,3	19,8 ± 2,6
Anteil des Röhrchenshorns (%)	55,0 ± 3,0	48,0 ± 1,0	30,0 ± 4,0	52,0 ± 4,0	38,0 ± 2,0	47,0 ± 4,0	45,0 ± 9,0

* Mittelwert ± Standardabweichung

▲ Mittelwert ± Standardabweichung der Mittelwerte der Einzelhufe

** Anzahl der vermessenen Röhrchen

Im inneren, mittleren und äußeren Kronhorn ist bei allen Hufen eine starke Variabilität der Untersuchungsergebnisse festzustellen.

4. Jahreszeitliche Unterschiede der Hornarchitektur des äußeren Kronhorns

An drei Hufen erfolgte eine histometrische Untersuchung exakt der gleichen Hornröhrchen des äußeren Kronhorns entlang ihres proximodistalen Verlaufes im Zehenrückenteil. Hierbei können bei einigen Parametern Unterschiede in Abhängigkeit von der Bildungszeit der Hornproben festgestellt werden. Durch die Kenntnis des Tötungstermines konnte diese ungefähr errechnet werden. Es wurde eine Hornbildungsrate von ca. 7 bis 9 mm pro 28 Tage zugrunde gelegt.

Bei allen Hufen ist die Fläche des Hornröhrchenmarks ebenso wie die Röhrchenfläche in den Wintermonaten kleiner als in den Sommermonaten. Aus dem Vergleich der Rindenfläche zur Markfläche ergibt sich bei den in der kühleren Jahreszeit gebildeten Hornproben der Hufe 19 und 25 ein kleineres Mark-Rindenverhältnis als bei denen, deren Bildungszeitpunkt in der wärmeren Jahreszeit liegt. Lediglich bei Huf 24 steigt dieses Verhältnis bei Horn, das vermutlich im Winter gebildet wurde, etwas an. Der prozentuale Anteil des Röhrchenhorns pro mm² Hufhorn ist bei Huf 19 und 24 in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten, während er sich bei Huf 25 bei beiden Hornproben kaum unterscheidet. Die Anzahl der Röhrchen pro Flächeneinheit ist dagegen bei allen Hufen im Winter höher als im Sommer.

Tabelle 13: Ergebnisse der histometrischen Untersuchung der Hornarchitektur des äußeren Kronhorns in Abhängigkeit von dessen Hornbildungszeitraum (Medianwerte)

Medianwerte	Huf 19/1 (ca.4/97)◆ n*=120	Huf 19/5 (ca. 11/96) n=165	Huf 24/1 (ca. 7/97) n=82	Huf 24/5 (ca.2/97) n=86	Huf 25/1 (ca.7/97) n=135	Huf 25/5 (ca.2/97) n=152
Fläche des Markraumes (µm²)**	1752,1 (1422,8-2296,7)	1745,7 (578,4-2993,3)	2752,7 (1245,5-6949,2)	2047,6 (979,5-4213,4)	1823,9 (1342,6-2402,2)	1479,8 (1177,9-2081,4)
Max. Durchmesser (µm)	69,4 (61,4-78,2)	66,0 (32,4-96,6)	79,4 (55,0-129,3)	69,2 (42,2-106,7)	59,8 (50,1-71,4)	51,9 (46,6-66,6)
Min. Durchmesser (µm)	33,1 (26,4-38,5)	32,9 (20,3-44,1)	46,6 (30,3-68,8)	40,4 (30,4-55,2)	40,8 (33,2-48,6)	36,5 (32,4-41,4)
Fläche des Röhrchens (µm²)	12122,0 (7835,8-18281)	10178,9 (3103,1-22595,4)	20898,2 (3563,3-39322,4)	18985,7 (6311,7-37794,1)	15785,6 (6096,4-33259,8)	12368 (6307,5-21983,2)
Max. Durchmesser (µm)	205,8 (152,7-273,7)	168,5 (78,2-280,2)	255,5 (104,2-355,9)	247,0 (111,7-335,4)	195,4 (106,0-300,7)	188,9 (120,7-281,3)
Min. Durchmesser (µm)	78,7 (61,4-89,1)	76,6 (48,6-111,3)	105,2 (46,8-148,8)	99,2 (75,2-152,2)	102,2 (72,9-148,2)	90,5 (66,8-111,3)
Rinden-Mark-Verhältnis	5,9	4,8	6,6	8,3	7,7	7,4
Röhrchen / mm²	23,9	32,9	16,4	17,1	27,0	30,4
Anteil des Röhrchenhorns (%)	29,0	36,0	33,0	42,0	46,0	44,0

* Anzahl der vermessenen Röhrchen

** Medianwert (maximaler und minimaler Wert)

◆ errechneter Zeitpunkt der Hornbildung

F. Härte- und Feuchtigkeitsmessung

1) Härtemessung

Zur Härtemessung standen sieben verschiedene Hufe zur Verfügung, die spätestens 12 Stunden nach der Schlachtung untersucht wurden.

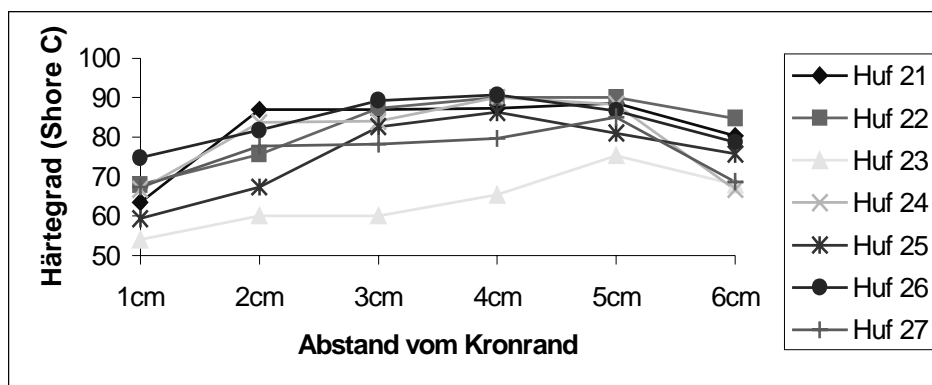
1.1 Das innere Kronhorn

Bei der Härtemessung des inneren Kronhorns fällt auf, dass die Metallkugel, die in das Horn eindringt, kleine Abdrücke hinterlässt. Weiterhin bleibt der Messwert erst nach einigen Sekunden stabil, was auf eine hohe Elastizität hinweist. Die Messungen erfolgten im Abstand von 1 cm, beginnend kurz unterhalb des Kronrandes und endend ca. 1 cm oberhalb vom Tragrand. Hierbei steigen die Härtewerte, gemessen in Shore-Einheiten, leicht an. An der letzten Messposition, auf Höhe der Hufbeinspitze, erfolgt jedoch wieder eine geringgradige Abnahme der Hornhärte.

Im Durchschnitt lässt sich eine Härte von 64,8 Shore-Einheiten kurz unterhalb des Kronrandes ermitteln, die im weiteren proximodistalen Verlauf entlang des Zehenrückenteiles auf 85 Shore-Einheiten ansteigt. Kurz oberhalb des Tragrandes sinken diese Werte wieder auf 74,7 Shore-Einheiten.

Tabelle 14: Härtewerte im inneren Kronhorn (Shore C-Einheiten)

Hufnr.	Abstand vom Kronrand					
	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
21	63,5	87	87	87,3	88,6	80,3
22	68	75,6	87,3	90	90	84,8
23	54	60	60	65,3	75,3	68
24	66,7	83,7	84	90	88,3	66,7
25	59,3	67,3	82,7	86,3	81	75,7
26	74,7	81,7	89,3	90,7	86,7	78,7
27	67,3	77,7	78,3	79,7	85	68,7
Mittelwert aller Hufe	64,8	76,1	81,2	84,2	85,0	74,7
Standardabw. aller Hufe	6,7	9,6	10,0	9,1	5,2	7,0

Textabbildung 1: graphische Darstellung der Härtewerte von Hornproben des inneren Kronhorns in Abhängigkeit von deren Abstand vom Kronrand

1.2. Das mittlere Kronhorn

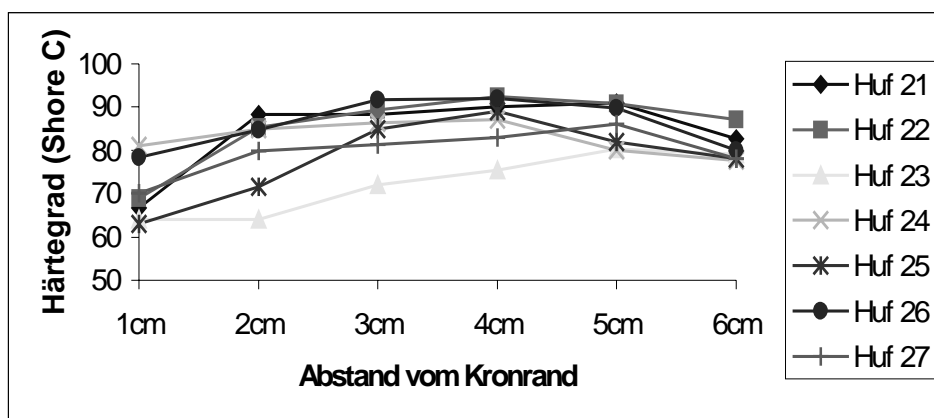
Das mittlere Kronhorn weist höhere Härtewerte auf als das innere. Weiterhin ist keine so starke Elastizität nachzuweisen, die Härtemessung ist nahezu sofort nach dem Eindringen der Metallkugel abgeschlossen, da die Werte konstant bleiben. Auch lässt sich makroskopisch kein Eindringen der Kugel in das Horn feststellen.

Entlang des proximodistalen Verlaufes der Messung ist wiederum eine Zunahme der Hornhärte zu verzeichnen, lediglich auf Höhe der Hufbeinspitze sinken die Werte geringgradig ab. Die durchschnittliche Hornhärte an der ersten Messstelle beträgt 70,3 Shore-Einheiten. Ungefähr 2 cm oberhalb des Tragrandes ist die maximale Härte von 86,9 Shore-Einheiten erreicht, um danach wieder auf 80,3 Shore-Einheiten abzusinken.

Tabelle 15: Härtewerte im mittleren Kronhorn (Shore C-Einheiten)

Hufnr.	Abstand vom Kronrand					
	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
21	66,7	88,3	88,3	90	91	82,7
22	69	85,3	89,3	92,3	90,7	87
23	64	64	72	75,3	80,3	79
24	81	85	86,3	87	80	77,7
25	63	71,7	85	89	82	78
26	78,3	84,7	91,7	92	89,7	80
27	70	79,7	81,3	83	86	78
Mittelwert aller Hufe	70,3	79,8	84,8	86,9	85,7	80,3
Standardabw. aller Hufe	6,4	8,8	9,4	6,0	4,9	3,4

Textabbildung 2: graphische Darstellung der Härtewerte von Hornproben des mittleren Kronhorns in Abhängigkeit von deren Abstand vom Kronrand



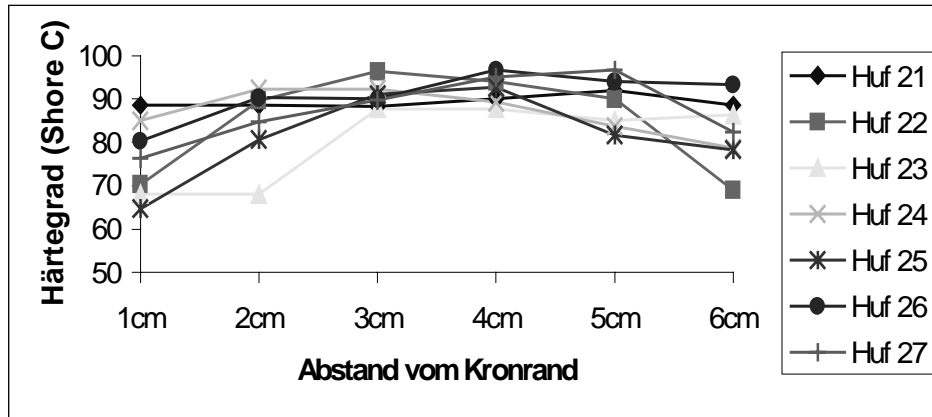
1.3 Das äußere Kronhorn

Kurz unterhalb der äußeren Hufoberfläche lassen sich die höchsten Härtewerte ermitteln. Sie betragen bereits 1 cm distal des Kronrandes durchschnittlich 76,2 Shore-Einheiten, steigen im proximodistalen Verlauf auf 92,2 Shore-Einheiten und sinken kurz oberhalb des Tragrandes geringgradig auf 82,4 Shore-Einheiten ab. Alle Werte bleiben sofort nach Abschluss der Messung konstant, Eindrücke des Messinstrumentes im Horn sind nicht zu verzeichnen.

Tabelle 16: Härtewerte im äußeren Kronhorn (Shore C-Einheiten)

Hufnr.	Abstand vom Kronrand					
	1cm	2cm	3cm	4cm	5cm	6cm
21	88,6	88,6	88,3	90	92	88,6
22	70,3	89,6	96,3	94	90	69
23	68	68	87,7	87,7	85	86,3
24	85	92,3	92,3	89,3	83,7	78,7
25	64,7	80,7	91	92,7	81,7	78,3
26	80,3	90,3	90	96,7	94	93,3
27	76,3	84,7	89,7	95	96,7	82,3
Mittelwert aller Hufe	76,2	84,9	90,8	92,2	89,0	82,4
Standardabw. aller Hufe	9,0	8,4	2,9	3,3	5,7	7,5

Textabbildung 3: graphische Darstellung der Härte­werte von Hornproben des äußeren Kronhorns in Abhängigkeit von deren Abstand vom Kronrand



Alle Hufe zeigen an der proximalen Entnahmestelle höhere Werte als weiter distal, unabhängig von dem Zeitpunkt, zu dem sie vermutlich gebildet wurden. Da der Bildungszeitpunkt des Horns -wie im Abschnitt „Material und Methoden“ beschrieben- errechnet werden kann, lässt sich demzufolge keine Abhängigkeit der Härte von der Jahreszeit der Hornbildung feststellen.

2) Feuchtigkeitsmessung

Bei den bereits zur Härtemessung herangezogenen sieben Hufen wurden an den definierten Entnahmestellen ca. 1 cm³ große Hufproben entnommen, die bis zur Gewichtskonstanz getrocknet wurden.

2.1 Das innere Kronhorn

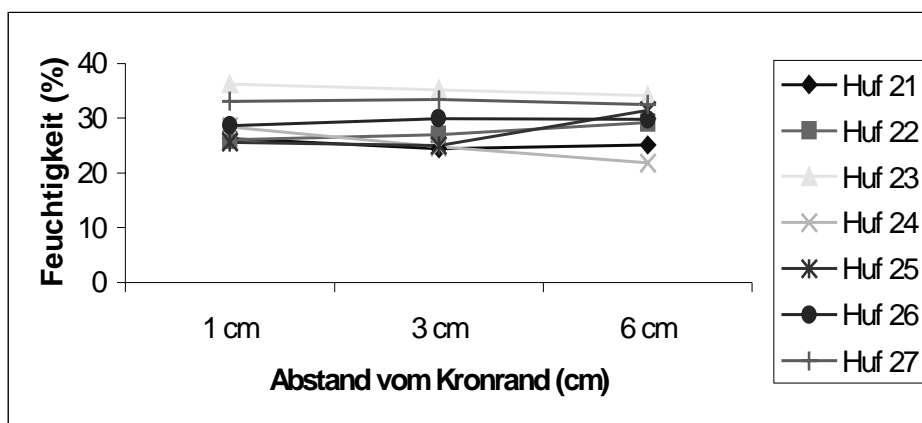
Die Feuchtigkeit des inneren Kronhorns ist wesentlich höher als die des äußeren Kronhorns. Sie beträgt in der proximalen Hälfte des Zehenrückenteils durchschnittlich 30,5 % und sinkt in der unteren Hälfte nur geringgradig auf einen Wert von

28,5 % ab. Bei einigen Hufen nimmt der Feuchtigkeitsgehalt kurz oberhalb des Tragrandes wieder etwas zu.

Tabelle 17: Feuchtigkeitswerte im inneren Kronhorn (%)

Huf-Nr.	Abstand vom Kronrand		
	1 cm	3 cm	6 cm
Huf 21	26,2	24,4	25,1
Huf 22	26	27	29,2
Huf 23	36,2	35,2	34,1
Huf 24	28,4	24,7	21,8
Huf 25	25,6	25	31,4
Huf 26	28,6	29,9	29,7
Huf 27	33,1	33,4	32,5
Mittelwert aller Hufe	30,5	28,5	29,1
Standardabweichung aller Hufe	4,2	4,8	4,4

Textabbildung 4: graphische Darstellung des Feuchtigkeitsgehaltes von Hornproben des inneren Kronhorns in Abhängigkeit von deren Abstand zum Kronrand



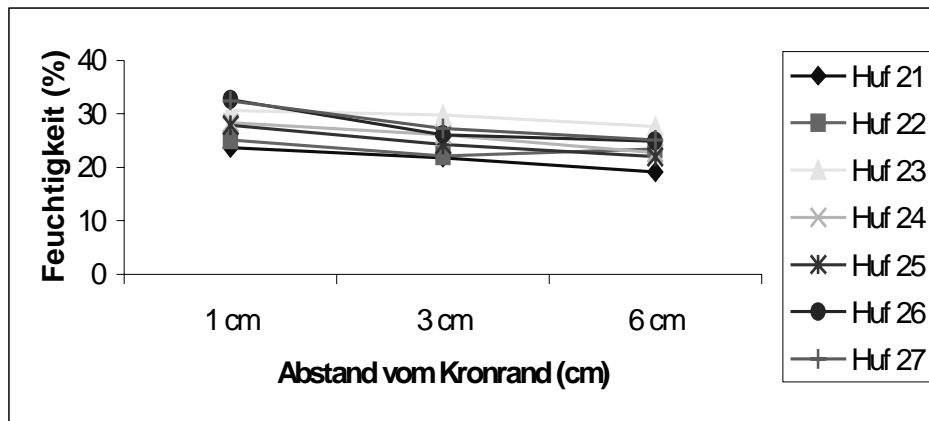
2.2 Das mittlere Kronhorn

Der Feuchtigkeitsgehalt dieses Abschnittes beträgt kurz unterhalb des Kronrandes durchschnittlich 28,7 % und sinkt relativ stark auf 23,5 % ab. Auch hier ist bei einem Huf eine Zunahme der Feuchtigkeit auf Höhe der Hufbeinspitze festzustellen.

Tabelle 18: Feuchtigkeitswerte im mittleren Kronhorn (%)

	Abstand vom Kronrand (cm)		
	1 cm	3 cm	6 cm
Huf 21	23,7	21,8	19,1
Huf 22	25,1	22,1	23,4
Huf 23	30,6	29,8	27,6
Huf 24	28,3	26,1	22,7
Huf 25	27,9	24,2	22
Huf 26	32,7	26,1	24,9
Huf 27	32,5	27,3	25,1
Mittelwert aller Hufe	28,7	25,3	23,5
Standardabweichung aller Hufe	3,48	2,86	2,69

Textabbildung 5: graphische Darstellung des Feuchtigkeitsgehaltes von Hornproben des mittleren Kronhorns in Abhängigkeit von deren Abstand zum Kronrand

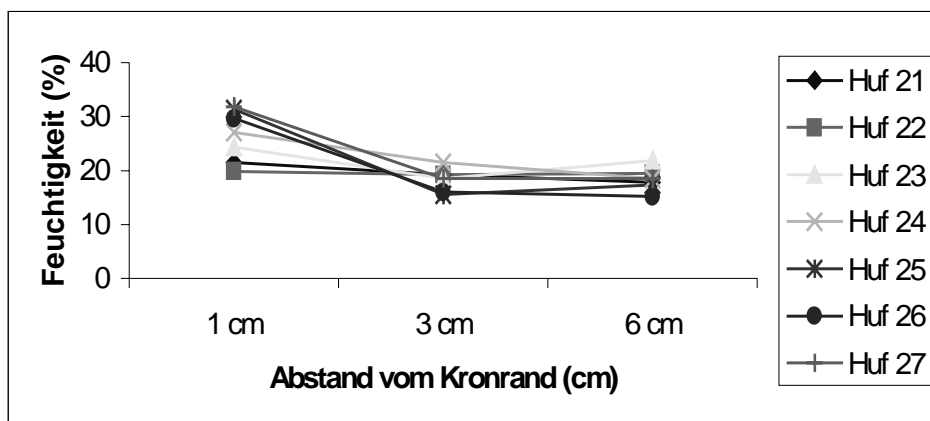


2.3 Das äußere Kronhorn

Den geringsten Wassergehalt weist das Horn kurz unterhalb der äußeren Hufoberfläche auf. In der oberen Hälfte des Zehenrückenteiles ist ein Feuchtigkeitsgehalt von 26,5 % festzustellen, der bis zum Tragrand auf durchschnittlich 18,4 % abfällt. Bei einigen Hufen ist wiederum ein Anstieg der Feuchtigkeit an der distalen Probenentnahmestelle zu verzeichnen.

Tabelle 19: Feuchtigkeitswerte im äußeren Kronhorn (%)

Huf-Nr.	Abstand vom Kronrand (cm)		
	1 cm	3 cm	6 cm
Huf 21	21,5	19,3	17,9
Huf 22	19,9	19,3	19,5
Huf 23	24,3	18,5	21,9
Huf 24	27,1	21,5	18,5
Huf 25	31,4	15,5	17,3
Huf 26	29,7	16	15,2
Huf 27	31,9	18,6	18,5
Mittelwert aller Hufe	26,5	18,4	18,4
Standardabweichung aller Hufe	4,78	2,06	2,05

Textabbildung 6: graphische Darstellung des Feuchtigkeitsgehaltes von Hornproben des äußeren Kronhorns in Abhängigkeit von deren Abstand zum Kronrand

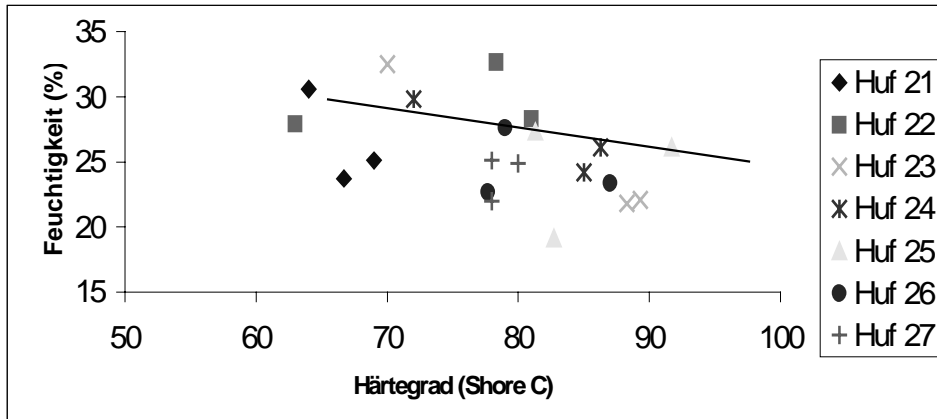
Auch auf den Feuchtigkeitsgehalt des Horns lässt sich im inneren, mittleren und äußeren Kronhorn kein Einfluss der Jahreszeit der Hornbildung feststellen.

3) Veränderung der Härte und Feuchtigkeit während der Hornreifung und -alterung

Bei allen Hornproben kann unabhängig von der Jahreszeit, in der das Horn gebildet wurde, eine Zunahme der Härte und eine Abnahme des Feuchtigkeitsgehaltes entlang des proximodistalen Verlaufes des Zehenrückenteiles festgestellt werden. Häufig sinkt die Härte kurz oberhalb des Tragrandes wieder leicht ab und der Feuchtigkeitsgehalt steigt etwas an. Dies ist sowohl im inneren Kronhorn als auch im mittleren und äußeren Kronhorn zu verzeichnen. Zur Bestimmung der Abhängigkeit dieser beiden Variablen wird der Pearsonsche Korrelationskoeffizient berechnet. Er beträgt im inneren Kronhorn -0,36, im mittleren Kronhorn -0,45 und im äußeren Kronhorn -0,51. Um die Korrelation zu bewerten, wird der p-Wert ermittelt. Wenn dieser Wert kleiner als 0,05 ist, wird von einer Korrelation gesprochen, während Werte über 0,05 keine Korrelationen anzeigen. Der p-Wert des inneren Kronhorns besitzt einen Wert von 0,109, bei diesen Messungen ist also keine deutliche Abhängigkeit der Härte von der Feuchtigkeit festzustellen. Im mittleren Kronhorn beträgt der p-Wert 0,04 und im äußeren Kronhorn 0,018. In diesen Bereichen ist also eine Abhängigkeit der Härte von der Feuchte bei den untersuchten Hufen zu erkennen.

Um die Korrelation der Härte und der Feuchtigkeit im mittleren und äußeren Kronhorn deutlich aufzuzeigen, wird eine Graphik und eine dazugehörige Regressionsgrade mit Hilfe des Computerprogramms Excel 97 ® gezeichnet.

Textabbildung 7: graphische Darstellung der Korrelation der Härte und Feuchtigkeit im mittleren Kronhorn



Textabbildung 8: graphische Darstellung der Korrelation der Härte und Feuchtigkeit im äußeren Kronhorn

