

D. UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

1. Methodik und Injektionstechnik

1.1 Ermittlung von geeigneten Injektionsmedien für die korrosionsanatomische Untersuchung

Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Injektionsmedien und -techniken

Injektionsmedium	Mischungs-Verhältnis	Inj.-Zeit	Inj.-Druck	Polym.-Füllungsgrad dauer (min. gefüllter Gefäßdurchm.)
Technovit® 7001	100 : 1 : 1 (Flüssigk. : Härt. I : Härt II)	10 min	5571 mbar intermittierend	12 h bis 5 mm
Technovit® 7143	3 : 1 (Pulver : Flüssigkeit)	7 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 5 mm
Technovit® 7143	2 : 1 (Pulver : Flüssigkeit)	7 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 5 mm
Technovit® 7143	1,5 : 1 (Pulver : Flüssigkeit)	7 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 5 mm
Technovit® 7143	1 : 1 (Pulver : Flüssigkeit)	7 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 1 mm
Technovit® 7143 + MMA	4 : 4 : 1 (Pulver : Flüssigkeit : MMA)	7 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 5 mm
Tensolzement®	1:30 (Härter : Flüssigkeit)	1,5 h	5571 mbar kontinuierlich	48 h bis 30 µm
Tensolzement® + Ethylacetat (EA)	1 : :3 : 30 (Härter : EA : Flüssigk)	1,5 h	5571 mbar kontinuierlich	48 h bis 5 µm (Kapillaren)
Mercox®	1 : 50 (Acc. : Flüssigkeit)	5 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 5 µm (Kapillaren)
Mercox® + MMA	3 : 1 (Acc. : Flüssigk. : MMA)	5 min	2026 mbar kontinuierlich	6 h bis 5 µm (Kapillaren)
Plastoid®	5 : 1,5 (Flüssigkeit : Pulver)	unbe- grenzt	2026 mbar diskontinuierlich	48 h bis 5 µm (Kapillaren)

Wie aus der obenstehenden Tabelle 3 ersichtlich ist, ist Technovit® 7143 (im Verhältnis 1 : 1 angemischt) bzw. das Technovit® 7143-MMA-Gemisch zur Herstellung von Gefäßübersichtspräparaten geeignet. Der Einsatz von Tensolzement®, Tensolzement®-Ethylacetat-Gemisch, Mercox®, Mercox®-MMA-Gemisch und Plastoid® eignet sich für die Herstellung von Mikrokorrosionspräparaten. Mit allen anderen in der Tabelle aufgeführten Kunststoffen bzw. Kunststoff-Gemischen kann keine ausreichende Gefäßfüllung erzielt werden.

Die folgende Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die exemplarisch ermittelten, injektionsrelevanten Eigenschaften der eingesetzten Injektionsmedien.

Tabelle 4: Übersicht über die Ergebnisse der exemplarischen Ermittlung der injektionsrelevanten Eigenschaften der verwendeten Injektionsmedien (Durchschnittswerte)

Injektionsmedium	Viskosität (cST)	Schrumpfungsfaktor Durchmesser / Höhe der Probekörper (%)	Dichte (g/ml)
Technovit® 7143	50	0 / 3,1	1,21
Technovit® 7143 + MMA	20	0 / 3,4	1,19
Tensolzement®	1200	0 / 5,5	1,16
Tensolzement® + EA	300	0 / 6,5	1,11
Mercocox®	33	0,7 / 7,5	1,17
Mercocox® + MMA	13	3,3 / 8,8	1,11

Bei allen untersuchten Injektionsmedien findet die Schrumpfung bevorzugt in Richtung der Schwerkraft statt.

Für Plastoid® konnten diese Untersuchungen nicht vorgenommen werden, da das Mittel nicht mehr im Handel erhältlich ist, und aus diesem Grunde keine ausreichende Menge des Injektionsmediums mehr vorhanden war.

1.2 Qualität der Mikrokorrosionspräparate

Aufwand/Auswertbarkeit der Präparate

Bei der Herstellung von Gefäßübersichtspräparaten mit *Technovit® 7143* erhält man ca. 66 % "Ausschuß", d. h. mangelhaft oder gar nicht gefüllte Gefäßausgüsse, da die Injektion an frischen Klauen mit *Technovit®* häufig mißlingt. Durch Mischung von *Technovit® 7143* mit monomerem *MMA* kann der Füllungsgrad verbessert werden. Auch mit diesem Injektionsmedium liegt jedoch der Anteil schlecht gefüllter Präparate mit ca. 75 % sehr hoch.

Bei der Injektion mit *Tensolzement®* bzw. dem *Tensolzement®-Ethylacetat-Gemisch* weisen ebenfalls nur etwa 50 % der Präparate eine vollständige Füllung auf, da mit *Tensolzement®* oftmals Schwierigkeiten während der Injektion auftreten. Die Injektion mit dem *Tensolzement®*-

Ethylacetat-Gemisch kann besonders gut bei ausgeschuhten Klauen zum Einsatz gebracht werden. Diese Methode liefert zu etwa 20 % vollständig gefüllte Korrosionspräparate in allen Klauensegmenten, die restlichen Präparate zeigen jedoch eine gute Füllung im Saum-, Ballen- und Sohlensegment sowie im Bereich der Terminalpapillen des Wandsegmentes.

Bei der Verwendung von *Mercocox*[®] als Injektionsmedium sind nur ca. 20 % der erstellten Präparate wegen größerer Füllungsdefekte schlecht auswertbar, 60 % zeigen eine fast vollständige Füllung, 20 % zeigen zumindest gute Füllung im Saum-, Ballen- und Sohlensegment sowie im Bereich der Terminalpapillen. Bei Einsatz von *Mercocox*[®] an zuvor ausgeschuhten Klauen treten verstärkt Extravasate auf, so daß die "Ausbeute" gut bis vollständig gefüllter Präparate bei etwa 66 % liegt. Die Injektion mit *Plastoid*[®] gelingt gut, nur ca. ein Drittel der Präparate können nicht ausgewertet werden.

Als Hauptkriterien für die Bewertung der Qualität der Mikrokorrosionspräparate werden der Füllungsgrad (bis in den Kapillarbereich), die Abbildungsgenauigkeit von Oberflächenstrukturen (Endothelzellkern- und Erythrozytenabdrücke) sowie das Auftreten von Extravasaten bzw. sonstigen Artefakten bewertet.

Füllungsgrad

Mit *Technovit*[®] 7143 können nur die größeren Klauengefäße (Gefäßdurchmesser über 1 mm) sicher gefüllt werden. Die Darstellung der Krongefäße, des Ballennetzes und der axialen und abaxialen Zehengefäße mit dem Arcus terminalis gelingt leicht. Bei zwei Dritteln der Präparate gelingt auch die Darstellung der Sekundäräste des Arcus terminalis. Unter Verwendung des *Technovit*[®] 7143-MMA-Gemisches gelingt bei ca. 50 % der auswertbaren Präparate auch eine Füllung der Zöttchengefäße im Saum- und Ballenbereich, die zentralen Zöttchengefäße endigen jedoch blind.

Saum-, Sohlen- und Ballensegment können mit Hilfe von *Tensolzement*[®]-Ethylacetat-Gemisch, *Mercocox*[®] bzw. *Mercocox*[®]-MMA-Gemisch und *Plastoid*[®] als Injektionsmedium sicher bis in den Kapillarbereich gefüllt werden. Im Bereich des Kron- und des Wandsegmentes treten vor allem im Klauenrückenbereich, auf der axialen Klauenseite und im vorderen abaxialen Klauenbereich häufig entweder vollständige Füllungsdefekte auf, oder es können nur die Unterhautgefäße und die an die Zöttchen bzw. Blättchen heranführenden, basalen Gefäße des tiefen dermalen Netzes gefüllt werden (Abb. 6). Erst durch die Verwendung ausgeschuhter Gliedmaßen kann eine sichere Gefäßfüllung bis in den Kapillarbereich in allen Klauensegmenten erreicht werden (Abb. 5). Häufig wird jedoch das Saumsegment, das bei sonst fast allen Präparaten eine sehr gute Gefäßfüllung aufweist, bei ausgeschuhten Präparaten mit guter Füllung im Wandbereich hier nur mangelhaft gefüllt (Abb. 5a).

Abbildungsgenauigkeit von Oberflächenstrukturen

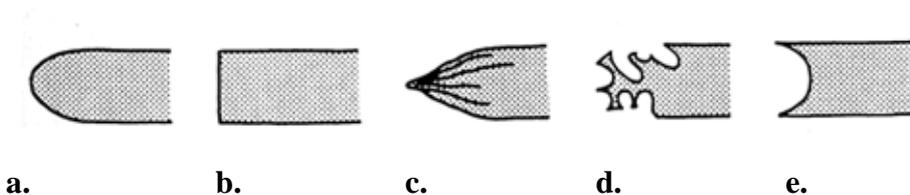
Technovit[®] 7143 bzw. die Technovit[®]-MMA-Mischung haben nur eine geringe Abbildungsgenauigkeit, d. h. sie replizieren die Zellkerneindrücke der Gefäßendothelien nicht. Sowohl Tensolzement[®]-Ethylacetat-Gemisch, Mercocox[®], Mercocox[®]-MMA-Gemisch als auch Plastoid[®] zeigen eine hohe Abbildungsgenauigkeit von Endothelzellkern- (Textabb. 4 u. 5, Abb.12d bis 12f) und Erythrozyteneindrücken (Abb.10c). Am schärfsten und genauesten werden die Oberflächenstrukturen bei Verwendung des Tensolzement[®]-Ethylacetat-Gemisches und des Mercocox[®]-MMA-Gemisches abgebildet.

Extravasat- bzw. Artefaktbildung

Generell kommt es bei Verwendung von Injektionsmedien mit geringerer Viskosität zu stärkerer Extravasation als bei Injektionsmedien mit höherer Viskosität. Demzufolge treten die meisten Extravasate bei der Verwendung von Mercocox[®]-MMA-Gemisch auf. Bei Injektion ausgeschuhter Gliedmaßenenden kommt es bei allen Injektionsmedien zu stärkerer Extravasation, da durch den Ausschuhungsprozeß die Oberfläche der Lederhaut und die darunterliegenden Gefäße zum Teil geschädigt werden.

Die Häufigkeit mumifizierter bzw. unvollständig korrodierter Gefäßwandreste auf den Mikrokorrosionspräparaten ist in erster Linie vom Mazerationsprozess (Säure-/Laugen-Korrosion; Enzym-Digestion; Temperatur; Häufigkeit der Spülschritte) abhängig. Bei gleichen Mazerationsbedingungen kann jedoch ein gehäuftes Auftreten solcher Gefäßwandreste an Mercocox[®]-MMA-Präparaten festgestellt werden.

Als relativ häufiges Artefakt können blind endigende Gefäßausguß-Abschnitte beschrieben werden. Dabei handelt es sich entweder um unvollständig gefüllte Gefäße oder um während des Mazerationsprozesses bzw. bei der Probenentnahme und -bearbeitung abgebrochene Gefäßausgüsse. Dies kann anhand der Form der Gefäßausgußendigung unterschieden werden (Textabb. 3). Die Gefahr von Beschädigungen ist bei den sehr spröden Mikrokorrosionspräparaten aus Mercocox[®]-MMA-Gemisch am höchsten, Tensolzement[®]-Ethylacetat-Präparate sind dagegen relativ stabil.



Textabbildung 3: Typische Formen blinder Endigungen an Gefäßausgüssen
(nach CHRISTOFFERSEN und NILSSON, 1988)

Legende zu Textabbildung 3: **a.** Unvollständige Füllung des Gefäßes mit typischer stumpfer blinder Endigung. **b.** Abgebrochener Gefäßausguß mit glatter, oft scharfkantiger blinder Endigung, typisch für mazerations- bzw. präparationsbedingte Schäden. **c.** Vasospastische blinde Endigung, meist an Arteriolen, seltener an Venulen. Das Streifenmuster verstreicht in Richtung der blinden Endigung. **d.** Blutgerinnsel mit Erythrozytenabdrücken. **e.** Unvollständig gefüllter Gefäßausguß, niedervisköses Injektionsmedium. Während des Auspolymerisierens schrumpft das Methacrylat, bevorzugt im Zentrum dünnerer Gefäßausguß-Abschnitte.

1.3 Volumen der Klauen-Korrosionspräparate

Zur Volumenberechnung wurden nur möglichst vollständig gefüllte Mikrokorrosionspräparate herangezogen, so daß zur Differenzierung einzelner Injektionsmedien bzw. unterschiedlicher Gliedmaßen typen keine ausreichende Präparateanzahl zur Verfügung stand. Die angegebenen Werte stellen deshalb nur Näherungswerte dar. Außerdem wurde während des Mazerationsprozesses die Phalanx media, das distale Sesambein und ein großer Teil des den Arcus terminalis und seine Teilungsäste umgebenden Knochengewebes des Klauenbeines entfernt, so daß das Volumen der die entsprechenden Knochenabschnitte versorgenden Gefäße nicht miterfaßt wurde.

Das Volumen des gesamten Gefäßbettes der einzelnen adulten Hauptklaue beträgt etwa 15 bis 20 ml, wovon allein etwa 10 bis 15 ml auf die größeren Klauengefäße entfallen. Das Gefäßvolumen beider Hauptklauen mit dem Zwischenklauengebiet liegt zwischen 50 und 70 ml. Die einzelnen adulten Afterklauen haben ein Blutgefäßvolumen von 0,5 bis 1,5 ml. Das Klauengefäßvolumen der untersuchten Kälberklauen liegt zwischen 1 und 3 ml für die einzelne Hauptklaue, und beträgt etwa 8 bis 10 ml für beide Hauptklauen mit Zwischenklauengebiet. Die einzelnen Afterklauen der untersuchten Kälbergliedmaßen haben ein Blutvolumen von 0,05 bis 0,1 ml. Grundsätzlich scheinen die berechneten Blutvolumina der lateralen Klauen etwas (bis 1 ml bei adulten Hauptklauen) über denen der medialen Klauen zu liegen. Wegen der ungenügenden Anzahl entsprechender Präparate konnten Differenzierungen von Vorder- und Hintergliedmaßen nicht ermittelt werden.

2. Makroskopische Untersuchung der Klauengefäße anhand von Plastik-Korrosions-Präparaten

Da die Untersuchung der Angioarchitektur der größeren Klauengefäße an Plastik-Korrosionspräparaten erfolgt, sind die im Folgenden angegebenen Gefäßdurchmesser als Innendurchmesser der entsprechenden Gefäße zu verstehen.

2.1 Arterielle Versorgung der Hauptklauen (Abb. 2)

Die Blutgefäßversorgung der Klauen erfolgt hauptsächlich über die palmaren bzw. plantaren Zehenarterien (*Aa. digitales palmares bzw. plantares propriae III bzw. IV axiales et abaxiales*). Die dorsalen Zehenarterien (*Aa. digitales dorsales propriae III bzw. IV axiales et abaxiales*) sind am Korrosionspräparat häufig schlecht oder gar nicht gefüllt, was auf ihre untergeordnete Rolle hinsichtlich der Blutversorgung für die Klauen schließen läßt. An der Schultergliedmaße werden die palmaren Zehenarterien hauptsächlich über die *A. digitalis palmaris communis III* gespeist; an der Hintergliedmaße erfolgt der Hauptzufluß zu den plantaren Gefäßen dagegen durch die *A. digitalis dorsalis communis III*. Das dorsale und das palmare bzw. plantare Gefäßsystem sind durch im Zwischenklauenspalt verlaufende *Aa. interdigitales* miteinander verbunden. Die axialen und abaxialen Zehenarterien sind im Palmar- bzw. Plantarbereich durch anastomosierende *Rr. palmares bzw. plantares phalangium proximalium und mediarum* verbunden.

Die größeren, die Klaue versorgenden arteriellen Gefäße und das aus ihnen hervorgehende arterielle Gefäßnetz liegen grundsätzlich unter den eher oberflächlich gelegenen venösen Gefäßnetzen, so daß man generell von einem tiefen arteriellen und einem superfiziellen venösen, das Klauenbein umgebenden Gefäßmantel sprechen kann.

Die jeweilige schwächere *abaxiale* palmare bzw. plantare Zehenarterie zieht bogenförmig nach abaxial zum Ballengebiet. Ihr Gefäßdurchmesser beträgt zwischen 1,5 und 2 mm. Im Ballengebiet entläßt sie drei bis vier größere Äste (*Rr. tori digitales*, Gefäßdurchmesser zwischen 0,8 und 1,2 mm), die sich zum Ballennetz verzweigen und auch untereinander anastomosieren. Sie versorgen die Lederhaut und das Ballenkissen. Ein größeres Gefäß zieht ungefähr in der Mitte des Ballens gelegen nach distal über den Ballenbereich hinweg an die Sohlenfläche (*R. palmaris bzw. plantaris phalangis distalis*, Gefäßdurchmesser zwischen 1 und 1,2 mm) und verzweigt sich dort. Auf der abaxialen Seite des Ballens zieht ein größeres Gefäß nach proximal in Richtung Krone (*R. coronalis abaxialis bzw. R. dorsalis phalangis mediae et distalis*, Gefäßdurchmesser ca. 1 mm) und anastomosiert mit den arteriellen Krongefäßen, während ein anderes Gefäß als Fortsetzung des *R. palmaris/plantaris phalangis distalis* nach apikal zieht und mit den kaudalen abaxialen Ästen aus dem Arcus terminalis anastomosiert und dort die abaxiale Sohlenlederhaut und distale abaxiale Wandlederhaut versorgt.

Die *axialen* palmaren bzw. plantaren Zehenarterien sind wesentlich stärker ausgebildet (Gefäßdurchmesser zwischen 2 und 3,5 mm) als die abaxialen und ziehen erst in leicht dorsodistaler Richtung an der axialen Zehenkontur entlang. Ursprungsnah geben sie jeweils einen stärkeren, sich dann verzweigenden Ast (*Rr. tori digitales*, Gefäßdurchmesser 1 mm) zum Ballen ab, der mit dem

Ballennetz aus dem abaxialen Zehengefäß anastomosiert. Etwas weiter distal geht ein weiteres, größeres Gefäß in Richtung Sohlenfläche ab (*R. palmaris bzw. plantaris phalangis distalis*, Gefäßdurchmesser ca. 0,8 bis 1 mm), das sich in der axialen Klauenwand aufgabelt und mit schrägem Verlauf sohlenwärts in Richtung Klauenspitze bzw. Ballen zieht. Auf der Höhe des Distalrandes der Phalanx media geht aus der axialen Zehenarterie ein Gefäßstamm (*R. dorsalis phalangis mediae et distalis*) für die Kronarterien hervor. Aus diesem können jeweils eine *A. coronalis superficialis axialis und profunda axialis* entspringen, bei etwa der Hälfte der untersuchten Präparate erfolgt jedoch keine solche Aufspaltung in eine deutlich tiefe bzw. oberflächliche Kronarterie. Die Kronarterien (Gefäßdurchmesser liegen zwischen 0,8 und 1 mm) verästeln sich und ziehen über den Klauenrücken zur abaxialen Klauenseite, wo sie mit dem oben erwähnten Ast der abaxialen palmaren bzw. plantaren Zehenarterie und auch den dorsalen Zehenarterien anastomosieren und das Kronpolster und die Kronlederhaut versorgen. Im weiteren Verlauf der *A. palmaris bzw. plantaris propria III bzw. IV axialis* zweigen einige kleinere Gefäßäste für die Saum- und Kronlederhaut, das Saumpolster und die Zehenstrecker ab. Das axiale Gefäß verläuft dann wieder in mehr distaler und apikaler Richtung und tritt als *A. phalangis distalis* (als Fortsetzung des *R. dorsalis phalangis distalis*) bzw. *ungulae* (Gefäßdurchmesser 1,9 bis 2,2 mm) in den Klauenbeinkanal ein. Im Klauenbeinkanal verläuft die Arterie an der axialen Kontur des Klauenbeines, kehrt an der Klauenbeinspitze im spitzen Winkel um und folgt der abaxialen Klauenbeinkontur bis zum Foramen abaxiale, wo sie wieder austritt und mit dem oben erwähnten Ast der abaxialen Zehenarterie anastomosiert. Im Klauenbeinkanal bildet die Klauenbeinarterie den *Arcus terminalis* (Gefäßdurchmesser ca. 1 mm), von dem eine Vielzahl kleinerer Primäräste¹ abgeht, die in kleinen Kanälchen das Klauenbein durchdringen und an die Lederhaut der einzelnen Segmente gelangen, wobei sie sich in zahlreiche Sekundärästchen aufzweigen. Ihre Gefäßdurchmesser liegen zwischen 0,5 und 1 mm. Die Anzahl der abgehenden Primäräste scheint variabel zu sein, meist folgen sie jedoch dem nachgenannten Verzweigungsmuster.

Kranial bzw. in Richtung Klauenspitze gehen meistens zwei, manchmal drei Primäräste aus der Klauenbeinarterie hervor, die leicht nach axial bzw. abaxial gerichtet an der Klauenspitze den Knochenkanal verlassen und mit zahlreichen untereinander anastomosierenden Sekundärästen die distale Wand- und die Sohlenlederhaut im Bereich der Klauenspitze versorgen.

Aus dem abaxial verlaufenden Schenkel des *Arcus terminalis* treten meist drei bis fünf Primäräste parallel zur Sohlenfläche aus dem Klauenbein heraus und verästeln sich am abaxialen Sohlenrand. Ein größerer Gefäßast entspringt ebenfalls aus dem abaxialen Schenkel des *Arcus terminalis*, zieht jedoch in einem eigenen Knochenkanal nach axial und versorgt dort - nach Austritt aus dem

¹ **Primäräste:** erste, größere Teilungsäste aus dem *Arcus terminalis*; **Sekundäräste:** Teilungsäste der Primäräste.

Knochen und Aufzweigung in mehrere Sekundäräste - das apikale Drittel der axialen Sohlenlederhaut am Sohlenrand und der distalen axialen Wandlederhaut.

Aus dem axialen Schenkel des Arcus terminalis tritt meist ein größerer Primärast an den axialen Sohlenrand heran und verzweigt sich zum Teil noch innerhalb des Knochens in zwei bis drei Äste für den axialen Sohlenrand, die sich nach Austritt aus dem Knochen stärker verästeln und mit den apikal gerichteten Ästen des R. palmaris/plantaris phalangis distalis der axialen Zehenarterie anastomosieren. Zusammen versorgen die genannten Äste die Lederhaut im axialen Sohlenrand- und im distalen axialen Wandbereich.

Für den Wand- und Kronbereich entspringen aus dem axialen Schenkel des Arcus terminalis bei ca. zwei Dritteln der untersuchten Präparate ein einziger, bei den restlichen Präparaten auch zwei Primäräste in dorsaler bis dorsoabaxialer Richtung. Sie verzweigen sich innerhalb des Klauenbeines, so daß letztendlich eine variable Zahl kleinerer Äste das Klauenbein im Bereich des Zehenrückens perforiert, die sich dann weiter aufzweigen und die Lederhaut im Zehenrückensbereich sowie die Lederhaut im proximalen und mittleren axialen und abaxialen Wandbereich sowie im Kronbereich versorgen. Kleinere Äste des Zehenrückens anastomosieren mit Ästen der Kronarterien (AA Anastomosen).

Die Sohlenfläche des Klauenbeines wird meist von nur einem größeren Ast aus dem Arcus terminalis, der sich erst nach Knochenaustritt weiter verzweigt, sowie zwei bis drei weiteren, kleineren Gefäßästen perforiert, die sich dann weiter aufteilen und die Sohlenlederhaut versorgen. Die entsprechenden Gefäßlöcher befinden sich am abaxialen Schenkel der Spitze der Klauenbeinsohlenfläche.

Die arkadenartige Verzweigung der untereinander anastomosierenden Gefäße am Sohlenrand bildet in ihrer Gesamtheit die Sohlenrandarterie (*A. marginalis solearis*). Sie wird am abaxialen Sohlenrand und an der Klauenspitze aus Primär- und Sekundärästen des Arcus terminalis, am axialen Sohlenrand aus Primärästen des Arcus terminalis und Ästen des apikalen Teilungsastes des R. palmaris/plantaris phalangis distalis der axialen Zehenarterie gespeist.

Die sich stark verzweigenden Rr. tori digitales und Rr. palmares bzw. plantares phalangis distalis der axialen und abaxialen Klauenarterien bilden im Bereich des proximalen Ballensegmentes ein weitmaschiges, dreidimensional orientiertes Netz, welches regelmäßig angeordnete, rundliche bis ovale gefäßfreie Kammern aufweist. Diese gefäßfreien Kammern werden nach distal kleiner und abgeflachter.

Die Anzahl der Gefäßlöcher im Klauenbein für die Primär- bzw. Sekundäräste des Arcus terminalis variiert sehr stark bei älteren Tieren (Kühe über vier Jahre) und bei den schon makroskopisch veränderten Klauen. Die Anzahl der Gefäßlöcher kann erheblich vermehrt sein und die Lokalisation

der Gefäßaustrittslöcher von den oben beschriebenen "normalen" Verhältnissen abweichen. Dabei ist auffällig, daß diese Gefäßverlaufsabweichungen vor allem im Bereich der Klauenbeinspitze (Austrittsstelle der apikalen Primäräste), der Klauenbeingrundfläche (Austrittsstelle der Sohlenäste) und im Bereich des Processus extensorius (Austrittsstelle der dorsalen Primär- und Sekundäräste) auftreten.

2.2 Venöse Versorgung der Hauptklauen (Abb. 3)

Um einen besseren Vergleich mit den Angaben aus der Literatur zu ermöglichen, erfolgt die Beschreibung der venösen Versorgung der Klaue - dem Prozedere früherer Untersucher folgend - entgegen dem Blutstrom.

Jede Hauptklaue weist jeweils drei Hauptabflüsse auf, und zwar eine dorsale (*V. dig. dors. propr. III bzw. IV axialis*) und zwei seitliche Zehenvenen (*V. dig. palm. bzw. plant. propr. III bzw. IV axialis und abaxialis*).

Die beiden axialen dorsalen Zehenvenen (Gefäßdurchmesser 2 bis 4 mm) gehen aus der *V. digitalis dorsalis communis III* hervor. Die *V. digitalis dorsalis communis III* und *V. digitalis palmaris communis III* sind über eine starke Anastomose (*V. interdigitalis*) miteinander verbunden. Aus dieser Anastomose, an vielen Präparaten auch direkt aus der *V. digitalis palmaris communis III*, geht an der Vordergliedmaße die *V. digitalis palmaris propria III bzw. IV axialis* hervor. An der Hintergliedmaße fehlt eine solche Anastomose, die axiale Zehenvene geht immer direkt aus der *V. digitalis plantaris communis III* hervor. Die entsprechenden abaxialen Zehenvenen (*V. digitalis palmaris bzw. plantaris propria III bzw. IV abaxialis*) treten als seitliche abaxiale Gefäße an die Phalangen heran. Zwischen den abaxialen seitlichen Venen und der *V. digitalis palmaris communis III* bzw. den axialen seitlichen Venen besteht an der Vordergliedmaße ebenfalls eine Anastomose, die als *R. phalangium proximalium* bezeichnet wird. An der Hintergliedmaße ist die Anastomosenbildung zwischen der jeweiligen axialen und abaxialen plantaren Vene einer Zehe stark ausgeprägt, zusätzlich sind auch die beiden axialen plantaren Venen beider Zehen miteinander verbunden. Die Ableitung des Blutes erfolgt dann über das stärker ausgeprägte abaxiale Gefäß.

Die *abaxiale* seitliche Zehenvene (Gefäßdurchmesser 2 bis 2,5 mm) zieht nach palmar bzw. plantar und tritt mit einem starken Ast in das Ballengebiet, wo sie sich in drei bis vier größere Äste verzweigt. Aus den abaxialen zwei bis drei Teilungsästen (*Rr. tori digitales*) geht ein dichtes Maschenwerk für das Ballenkissen und die Ballenlederhaut hervor. Der erste der drei bis vier palmaren bzw. plantaren Teilungsäste (*R. palmaris bzw. plantaris phalangis mediae anastomotica*) zieht über die Palmar- bzw. Plantarseite der Zehe und anastomosiert mit dem entsprechenden Gefäß

der gegenüberliegenden Klaue im Zwischenklauengebiet, zusätzlich besteht eine Verbindung zur *V. digitalis palmaris* bzw. *plantaris communis* III. Die distale Fortsetzung der abaxialen Zehenvene verläuft an der abaxialen Zehenkontur bis etwa zur Höhe des Distalrandes der *Phalanx media* (*R. dorsalis phalangis mediae abaxialis*), von wo ein Teilungsast in Richtung Zehenrücken verläuft und dort die oberflächliche und tiefe seitliche Kronvene bildet (*V. coronalis superficialis et profunda abaxialis*, Gefäßdurchmesser ca. 1 bis 2 mm) und mit entsprechenden Gefäßen aus der dorsalen axialen bzw. palmaren axialen Zehenvene anastomosiert. Sie drainieren den abaxialen Teil des Saumsegmentes sowie das Kronkissen und die Kronlederhaut und geben auch einige Äste an die abaxiale Wandlederhaut ab. Weiter in Richtung Klauenspitze verläuft die Sammelvene der seitlichen Wand (*V. dorsalis phalangis distalis abaxialis*) für den abaxialen Teil der Wandlederhaut klauenbeinrandparallel als größeres Gefäß (Gefäßdurchmesser ca. 1 mm), sie anastomosiert an der Klauenbeinspitze mit einem entsprechenden, etwa gleich starken Gefäß aus der axialen seitlichen Zehenvene (*V. dorsalis phalangis distalis axialis*) und tritt in das Sohlennetz über. Beide Sammelvenen der Wand verlaufen in einer deutlich ausgeprägten Knochenrinne in der axialen bzw. abaxialen Seitenfläche des Klauenbeines in Höhe des Überganges vom Kron- in das Wandsegment. Die abaxialen und axialen Sammelvenen der Klauenwand nehmen die zahlreichen kleinen, klauenspitzenwärts verlaufenden Äste im Wandbereich aus der axialen palmaren Zehenvene und aus den Kronvenen auf. Diese kleineren Gefäßäste verlaufen ebenfalls in kleinen Knochenrinnen des Klauenbeines. Zahlreiche kleinere Äste ziehen im Bereich des ungulären Sohlenrandes (Wand-Sohlen-Übergang) aus dem Sohlennetz in die Sammelvene der Klauenwand und bilden am Sohlenrand durch arkadenartige Verbindungen die sehr schwache *V. marginis solearis abaxialis* bzw. *axialis*, die jedoch besser als *Plexus venosus marginis solearis* bezeichnet werden sollten.

Die *dorsalen axialen* Zehenvenen ziehen nach distal und abaxial als *R. dorsalis phalangis mediae axialis* und geben in Höhe des Distalrandes der *Phalanx media* zwei nach axial bzw. abaxial gerichtete Äste für den Kronbereich ab, die mit den entsprechenden Ästen aus der abaxialen seitlichen Zehenvene anastomosieren (*V. coronalis superficialis axialis et abaxialis*, Gefäßdurchmesser 1 bis 2 mm). Auch sie geben mehrere Äste an die Saumlederhaut und die Wandlederhaut des Zehenrückens ab.

Die *V. digitalis palmaris* bzw. *plantaris propria axialis* (Gefäßdurchmesser ca. 1,5 bis 2 mm), die meist schwächer ausgebildet ist als das entsprechende abaxiale Gefäß, folgt der axialen Zehenkontur und gibt ebenfalls in Höhe des Distalrandes der *Phalanx media* einen tiefen Ast für den tiefen Kronbereich ab, der mit den oben genannten Ästen aus der abaxialen Zehenvene anastomosiert (*V. coronalis profunda axialis*). Die Distalfortführung des axialen palmaren Zehengefäßes gibt einige Äste an den Saum- und Kronbereich und den axialen Wandbereich

(*Rr. palmares bzw. plantares phalangis distalis*) ab und zieht als schwache Klauenbeinvene (*V. phalangis distalis sive ungulae bzw. Plexus unguaris*, Gefäßdurchmesser ca. 0,5 mm) in den Klauenbeinkanalein. Sie begleitet dort und umhüllt netzartig das gleichnamige arterielle Gefäß und tritt mit diesem am Foramen soleare am abaxialen Klauenbeinrand aus, um dort mit den abaxialen Wand- und Ballenvenen zu anastomosieren. Bei ca. 80 % der untersuchten Präparate ist die Klauenbeinvene doppelt ausgebildet und flankiert beiderseits das arterielle Gefäß. Entsprechend der arteriellen Gefäßabgänge aus dem Arcus terminalis treten auch sehr schwache Venenäste aus dem Klauenbein an den distalen Wandlederhautbereich, die Lederhaut des Wand-Sohlen-Überganges und die Sohlenlederhaut heran. Zusätzlich existieren dorsodistal gerichtete Verbindungen zwischen der Klauenbeinvene und den Wand- bzw. Sohlenlederhautnetzen, die in gesonderten kleinen Klauenbeinkanälchen verlaufen. Aus der palmaren/plantaren axialen Zehenvene ziehen zahlreiche kleine Äste im Wandbereich klauenspitzenwärts zur *V. dorsalis phalangis distalis axialis*.

Im Palmar- bzw. Plantarbereich der Klauenkrone und der Klauenwand treten die Äste der dorsalen und axialen Zehenvenen mit entsprechenden Zweigen der abaxialen Zehenvenen in Verbindung.

Im Bereich des Ballensegmentes, dabei vor allem im proximalen Abschnitt, bildet das venöse Gefäßsystem zusammen mit dem arteriellen System (siehe dort) das weitmaschige Geflecht des subkutanen Ballenpolsters.

Aus allen Hauptvenen geht eine größere Zahl kleiner Venen hervor, die zu den weitmaschigen Ästen der Sohlen- und Wandlederhaut zusammentreten. Zusätzlich existiert peripher ein weiteres, dünnmaschiges Netz, so daß in der Lederhaut der Klaue ein inneres grob- und ein äußeres feinmaschiges Venengeflecht ausgebildet sind.

Folgende Gefäßnetze können unterschieden werden:

- Die venösen *Netze der Wandlederhaut* in doppelter Lage; der Abfluß erfolgt hauptsächlich über die Sammelvenen der Klauenwand in die dorsalen Zehenvenen und die abaxiale Zehenseitenvene, zum Teil auch über die axiale Zehenseitenvene.
- Die venösen *Sohlennetze*, die an der Sohlenspitze immer doppelt ausgebildet sind und im restlichen Sohlenbereich doppelt oder einfach ausgebildet sind; der Abfluß erfolgt über die seitlichen Zehenvenen.
- Die tiefen und oberflächlichen *Netze des Kronbereiches*, die zu den axialen und abaxialen Kronpolsterverenen zusammenfließen und über alle drei großen Zehenvenen drainiert werden.
- Das stark verzweigte doppelte *Ballennetz*, das hauptsächlich über die abaxiale seitliche Zehenvene entleert wird.

- Das undeutliche *Venengeflecht des Klauenbeines*, das über die axiale Zehenseitenvene seinen Abfluß findet; zusätzlich bestehen mehrere Anastomosen zum Kronvenengeflecht.

In regelmäßigen Abständen, besonders an Gefäßgabelungen, finden sich deutlich ausgeprägte, *zweizipflige Venenklappen* an allen größeren Venen im gesamten Klauenbereich. Meist sind die Venenklappen an einem Gefäße so orientiert, daß sie jeweils um 90° versetzt übereinander angeordnet sind (Textabb. 7). An Venen mit einem Gefäßdurchmesser unter 200 bis 150 µm können keine Klappen dargestellt werden. Bemerkenswerterweise finden sich im venösen Wand- und Sohlengflecht keine oder nur sehr wenige Klappen an größeren Gefäßen, dafür jedoch regelmäßig an den Einmündungsstellen kleinere Venen.

Auffallend ist, daß die größeren venösen Gefäßäste einen annähernd runden bis leicht ovalen *Gefäßquerschnitt* aufweisen, während kleinere Venen, vor allem im Bereich der Klauenwand und im fußenden Abschnitt der Klauengrundfläche, stark abgeflacht bzw. abgeplattet sind.

2.3 Afterklauengefäße

Die Gefäßversorgung respektive die Gefäßaufteilung an den Afterklauen entspricht im wesentlichen den Gegebenheiten an den Hauptklauen.

An allen untersuchten Präparaten tritt die *A. digitalis palmaris bzw. plantaris propria II bzw. V axialis* an die axiale Afterklauenregion heran und verläuft bis zur Spitze der Klaue, wo sie im spitzen Winkel auf die abaxiale Klauenkontur übertritt (*Arcus terminalis*) und im Ballenbereich mit der dort verlaufenden, jedoch wesentlich schwächer ausgebildeten *A. digitalis palmaris bzw. plantaris propria II bzw. V abaxialis* anastomosiert. Beide Gefäße entlassen Äste zum Kronbereich der Afterklauen, die als *Aa. bzw. Rr. coronales* bezeichnet werden können. Aus beiden Gefäßen entspringen im palmaren bzw. plantaren Bereich mehrere, stärker verzweigte Äste für den Ballenbereich, die den *Rr. tori digitales* und *Rr. palmares resp. plantares phalangis distalis* der Hauptklauen entsprechen. Ein dorsales, an die Afterklauen herantretendes arterielles Gefäßsystem konnte nicht dargestellt werden.

Das venöse Gefäßsystem der Afterklauen besteht aus einem in allen Segmenten ausgebildeten feinverzweigtem, einfach ausgebildetem Gefäßnetz, welches über zwei seitliche (*V. digitalis palmaris bzw. plantaris propria II bzw. V axialis* und *V. digitalis palmaris bzw. plantaris propria II bzw. V abaxialis*) und ein dorsal verlaufendes, größeres Gefäß (*V. digitalis dorsalis propria II bzw. V axialis*) drainiert wird.

3. Postmortale Angiographie

3.1 Exemplarische Angiographie an der makroskopisch unveränderten adulten Klaue (Abb. 4a)

Das arteriographische Bild bestätigt die anhand der korrosionsanatomischen Präparate beschriebenen Gefäßversorgungsmuster (siehe Abb. 4a).

Die nutritiven Gefäße der Zehenknochen, die während des Mazerationsvorganges bei der Herstellung der korrosionsanatomischen Präparate häufig zerstört werden, können mit Hilfe der Angiographie gut dargestellt werden. Größere Gefäße verlaufen im Markraum der Phalangen, zweigen sich dort sternförmig auf und verzweigen sich als feine Gefäße innerhalb der kortikalen Knochenbälkchen. Die Phalanx distalis und das distale Sesambein werden hauptsächlich über Gefäßäste aus dem Ballennetz und von der Klauenbeinarterie versorgt, die Phalanx media erhält neben Gefäßen aus dem Ballennetz auch Zuflüsse aus dem Kronplexus.

3.2 Exemplarische Angiographie an makroskopisch veränderten adulten Klauen (Abb. 4b)

Die A. phalangis distalis zeigt in ihrem Verlauf durch den Knochenkanal des Klauenbeines häufig Lumenveränderungen bzw. Lumeneinengungen. Am häufigsten kommen solche Konstriktionen an der Ein- bzw. Austrittsstelle des Arcus terminalis, also am Klauenspaltloch bzw. am Wandloch, vor. Auch an den Ursprungsstellen der Primäräste aus dem Arcus terminalis bzw. deren Aufteilung in Sekundäräste können Konstriktionen auftreten, ebenso an den Austrittsstellen der Gefäßäste aus den Knochenkanälchen. Auf solche eingeengte Gefäßabschnitte folgen häufig Bereiche mit vergrößertem Gefäßlumina.

Die Klauenspitze und der fußende Teil des Ballensegmentes erscheinen weniger dicht vaskularisiert als an unveränderten Klauen. Direkt unterhalb der Ansatzstelle der Beugesehnen am Klauenbein (typische Lokalisation für das RUSTERHOLZsche Klauensohlengeschwür) ist die Lederhaut weniger dicht vaskularisiert und die Gefäße erscheinen kleinlumiger als in anderen fußenden Bereichen der Klaue (Abb. 4b).

4. Makroskopische und stereomikroskopische Untersuchung der Gefäße der Klauenlederhaut anhand von Plastik-Korrosionspräparaten

Bei hinreichender Füllung der Blutgefäße der Klauenlederhaut, dabei vor allem der subepidermalen Gefäße, sind am Korrosionspräparat die Form und Oberflächenkonfiguration der Segmente der Lederhaut deutlich zu erkennen, da die Angioarchitektur der einzelnen Segmente direkt mit der Form des Papillarkörpers korreliert² (zur Papillarkörperformation siehe Textabb. 4, S. 88).

Wenn im Folgenden von Papillen, Lamellen und Papillarkörperoberfläche bzw. subpapillären oder sublamellären Strukturen die Rede ist, beziehen sich diese Begriffe auf deren vaskuläres Äquivalent, d. h. auf die Formationen der untersuchten Gefäßausgüsse, die in diese Strukturen hineinziehen, sie versorgen und deshalb deren Aufbau widerspiegeln. Der Ausdruck subepitheliales bzw. subepidermales Gefäßnetz ist aus der Literatur für die dicht an die dermo-epidermale Grenzlinie heranziehenden, diese versorgende Gefäßstrukturen übernommen worden; es handelt sich hierbei um das periphere dermale Gefäßnetz.

4.1 Adulte Klaue

Hauptklauen (Abb. 5a u. 5b):

Das *Saumsegment* (Abbildung 7) ist proximal durch eine seichte Rinne gegen die behaarte Haut, distal durch den Saumfalz gegenüber dem Kronsegment abgesetzt und bildet den deutlichen, ca. 0,5 bis 1 cm breiten, leicht nach außen gewölbten Saumwulst. Der Übergang von der behaarten Haut zum Saumsegment wird durch das Auftreten deutlich längerer Zotten und den Wegfall der typischen Zottenarchitektur in Form eines "Körbchens" rund um den Haarfollikel deutlich. Die Saumfalzrinne ist apikal ca. 2 mm tief und wird axial bzw. abaxial seichter. Die Saumlederhaut geht palmar bzw. plantar unter Verbreiterung auf ca. 1,5 cm und Verlust der deutlichen Trennung vom Kronsegment durch den Falz in die Ballenlederhaut über. Am Falzrand zeigen die Zöttchen am Korrosionspräparat eine Tendenz zur Zusammenlagerung zu großen Zottenbüscheln. Dies ist vor allem an Gefäßausgüssen, die mit der Mercocox[®]-Methylmethacrylat-Mischung hergestellt wurden, zu beobachten (Abb. 6f). Der Übergang vom Saum- in das Zwischenklauensegment im Zwischenklauenbereich der beiden Hauptklauen ist undeutlich und schwer abgrenzbar. Das Oberflächenrelief der Saumlederhaut zeigt dicht beieinanderstehende, proximodistal orientierte, kegelförmige Zöttchen, die versetzt übereinander in Reihen angeordnet sind und in einem leicht nach außen

² Dieser **Zusammenhang zwischen Papillarkörperformation und Angioarchitektur** ergibt sich aus den eigenen Befunden und dem Vergleich mit der Literatur zum Papillarkörper der Rinderklaue. Dies wird in der Diskussion (ab S. 133) erläutert und begründet.

gewölbten Bogen nach distal streben. Ihre Oberfläche wird durch ein dichtes subepitheliales Gefäßnetz gebildet, an der Spitze des Papillenkegels kann eine Gefäßschleife verfolgt werden. Am Übergang zum Kronsegment werden die Saumpapillen spitzer und länger. Der Saumfalz entsteht dadurch, daß die Papillen in diesem Bereich nahezu rechtwinklig auf einer Breite von ca. 1 mm aus der Lederhaut hervorgehen und erst danach distal gerichtet sind. Die distalen Zottenspitzen überragen die Kronfalzrinne. Im palmaren bzw. plantaren Übergangsbereich zur Ballenlederhaut entspringen die Saumzöttchen in einem flacheren Winkel aus der Saumlederhaut, so daß kein deutlicher Falz mehr zu erkennen ist.

Die *Kronlederhaut* (Abb. 7 u. 9) grenzt an die Kronfalzrinne und wird durch das unter ihr gelegene Kronpolster als breiter, aber relativ flacher Kronwulstüberzug vorgewölbt. Ihre stärkste Ausdehnung weist die Kronlederhaut im Bereich des Klauenrückens auf, hier ist sie ca. 2,5 bis 3 cm breit, axial und abaxial verliert sie zunehmend an Breite und geht in die plantare bzw. palmare Ballenlederhaut über. Der Übergangsbereich zur Wandlederhaut ist teilweise durch eine seichte Rinne markiert. Das Kronsegment beginnt mit unterhalb des Saumfalzes gelegenen sehr kurzen, eher gedrungenen Zöttchen, diese werden jedoch im distalen Kronsegmentbereich immer länger und besitzen lang ausgezogene Spitzenschleifen (Abb. 8a). Am Übergang zum Wandsegment werden die Kronzöttchen wieder etwas kürzer. Die Kronzöttchen liegen in dichten Reihen leicht versetzt übereinander. Ihre Basis entspringt nahezu senkrecht aus dem subpapillären Gefäßplexus, die langgezogenen Zöttchenkörper biegen dann gleich senkrecht um und verlaufen parallel zum Klauenbein distal in Richtung Wand-Sohlen-Übergang, wobei sie eine leichte apikale Neigung aufweisen. Am Übergang zum Ballensegment werden die Kronzöttchen sowohl axial wie auch abaxial kürzer und die strenge Winkelung wird distal abgemildert. In diesem Bereich verlaufen die vor allem im abaxialen Bereich lang ausgezogenen Zöttchenspitzen leicht gewellt (Abb. 8b). Im Bereich des Klauenrückens neigen sich die Zöttchenachsen geringfügig in Richtung Klauenspitze; am Übergang von abaxial nach axial, d. h. am Klauenrückengrat, neigen sich die abaxialen Zöttchen etwas stärker als die axialen Zöttchen. Im distalsten Abschnitt des Kronsegmentes werden die Zottenspitzen wieder kürzer, zwischen ihnen können niedrige Dermisblättchen ausgemacht werden bzw. die distalen Reihen der Kronpapillen entspringen aus kleinen Basisleisten, deren distale Fortsetzung den Wandlederhautblättchen entspricht. Segmentuntypisch geformte Zöttchen sind im Kronsegment häufig (Abb. 8a).

Die *Wandlederhaut* (Abb. 11 bis 14) folgt distal auf die Kronlederhaut und weist entsprechend der Winkelung der Klaue proximodistal orientierte, ca. 1 bis 1,5 mm breite Blättchen auf, die rechtwinklig oder leicht nach abaxial bzw. axial geneigt aus der Grundfläche heraustreten. Die Wandlederhaut weist ihre größte proximodistale Ausdehnung wie die Kronlederhaut im Bereich des

Klauenrückens mit 2,5 bis 3 cm Höhe auf und nimmt dann vor allem axial stark in der Ausdehnung ab. Die Lederhautblättchen nehmen proximodistal an Breite zu (max. 1 bis 2 mm), um im distalsten Abschnitt wieder schmaler zu werden. Die Lederhautblättchen nehmen ihren Ursprung aus den gemeinsamen Basisleisten der distalen Kronpapillen. Sie erreichen ihre maximale Breite schnell und ziehen klauenbeinparallel nach distal. Nur in den seitlichen axialen und abaxialen Wandbereichen gehen die Blättchen in einem nahezu rechten Winkel zum darunterliegenden, parallel zur Klauenbeinoberfläche verlaufenden sublamellärem Gefäßplexus hervor, in Richtung Klauenrücken neigen sie sich leicht apikal und bilden einen spitzen Winkel, am axialen und abaxialen Übergang in das Ballensegment neigen sie sich stärker nach palmar bzw. plantar und bilden einen stumpfen Winkel. In den distalen zwei Dritteln des Wandsegmentes sind die Blättchen vor allem im abaxialen Bereich häufig zweigeteilt. Außerdem verlaufen die Blättchen in diesem Wandbereich leicht gewellt. Man erkennt proximodistal, also parallel zur Blättchenachse verlaufende, dickere Gefäße in der Blättchenbasis und am Blättchenfirst. Zwischen ihnen und den senkrecht aus der Blättchenbasis heraustretenden Gefäßen bestehen im inneren Drittel des Blättchens dickere, bogenförmige Gefäßverbindungen. Im mittlereren und distalen Abschnitt des Wandsegmentes und am Wand-Sohlen-Übergang sitzen den Blättchen dichte, schmale, proximodistal orientierte Zöttchen auf (Kappen- und Terminalpapillen). In diesem Bereich verlieren die Wandlederhautblättchen zunehmend an Breite, dies wird jedoch durch die Bildung der Kappen- und Terminalpapillen wieder ausgeglichen. Die Wandblättchen setzen sich am Umschlagsrand in die Fußungsfläche auf die Sohlenlederhaut in Form kurzer Leisten fort. Im abaxialen Wandsegment reicht die Wandlederhaut mit ihren Terminalzöttchen über das Niveau der Sohlenlederhaut um ca 0,5 mm hinaus und führt so in diesem Bereich zur deutlichen dermalen Rand-("Tragrand"³-)bildung am Sohlenrand (Abb. 11a). Auch im axialen Wandsegment bilden die Wandlederhautblättchen mit ihren Terminalzöttchen einen über das Sohlensegment hinausragenden Wulst, dieser beteiligt sich jedoch nicht an der Fußungsfläche der Klaue und kann daher nicht als "Tragrand" bezeichnet werden. Am Scheitelpunkt des Klauenrückens ragen die abaxialen Blättchen etwas stärker über den Klauenrückengrat hinaus als die axialen Blättchen und überlagern diese. Die Blättchen stehen sehr dicht, ca. 50 bis 60 pro cm Lederhaut. Es kommt jedoch beim Korrosionspräparat häufiger zur Zusammenlagerung von Blättchen (am ausgeprägtesten bei Mercoc[®]-Methylmethacrylat-Ausgüssen, Abb. 5, Abb. 6e u. 6f), so daß die Blättchendichte am frischen, nativen Präparat wahrscheinlich höher ist. Der Abstand zwischen den einzelnen Blättchen variiert, generell stehen die Blättchen jedoch abaxial dichter als axial. Nach distal spalten sich die Blättchen

³ Der Begriff "**Tragrand**" wird häufig mißverständlich benutzt, gemeint ist hier wie in den meisten Fällen der unglare Sohlenrand. Als Tragrand im engeren Sinne wird der maßgeblich an der Fußung beteiligte (und damit "tragende") distale Rand der Hornkapsel des Pferdehufes bezeichnet (äußeres und inneres Kronhorn, Horn der weißen Linie).

häufig gabelförmig in zwei Teilungsblättchen, die erst dicht zusammen verlaufen und in Richtung Wand-Sohlen-Übergang dann jedoch denselben Abstand wie die anderen Blättchen zueinander annehmen.

Im *Sohlensegment* (Abb. 16) finden sich entsprechend der Klauenspitzenkontur weitgehend parallel verlaufende, proximodistal orientierte Lederhautleisten auf der Klauenunterseite in Fortsetzung der Wandlederhautblättchen, die mit langen, schlanken, apikal ausgerichteten Zöttchen besetzt sind. Zwischen den deutlichen Sohlenschenkeln liegt ein Bereich mit feinen Zöttchen, die auf ebenfalls parallelen, an der Form der Klauenspitze orientierten Leisten aufsitzen. Im Bereich der Klauenspitze weisen die annähernd gerade verlaufenden Leisten nach apikal, im weiteren Verlauf im axialen bzw. abaxialen Schenkel des Sohlensegmentes ändert sich ihre Ausrichtung über gerade nach außen zum Sohlenrand hin gerichtet bis zur Ausrichtung nach palmar bzw. plantar am Übergang der Sohlenschenkel in das Ballensegment, und sie nehmen hier entsprechend einen eher bogenförmigen Verlauf. Aus den Sohlenleisten entspringen die Sohlenpapillen. Diese sind schlank und kegelförmig, ihre Spitzen sind meist nicht lang ausgezogen. Sie entspringen annähernd senkrecht aus den Sohlenleisten, die Spitzen verlaufen leicht nach apikal geneigt. Die Zottenoberfläche wird im Sohlensegment durch ein dichtes subepitheliales Gefäßnetz, zum Teil mit zwei bis drei deutlichen apikalen Gefäßschleifen, gebildet. Am Übergang des Sohlenlederhautkörpers in die Ballenlederhaut ist die Gefäßfüllung bei einigen Präparaten nicht vollständig: die Gefäße des Papillarkörpers sind hier nicht vollständig gefüllt, nur die Gefäße des subpapillären Gefäßplexus können dargestellt werden. An der Klauenspitze zeigt die Oberfläche der Sohlenlederhaut axial eine leichte Konkavität.

Die *Ballenlederhaut* (Abb. 17 u. 18) erstreckt sich weit klauenspitzenwärts auf die Fußungsfläche der Klaue zwischen die Sohlenlederhautschenkel und geht wie oben beschrieben proximopalmar bzw. -plantar in die Saum-, Kron- bzw. Wandlederhaut über. Sie weist ebenfalls Zöttchen auf, die wellen- oder wirbelförmig angeordneten Leisten aufsitzen und apikal orientiert sind. Aus den Lederhautleisten entspringen die Ballenzöttchen, zwischen den zottentragenden Leisten können jedoch auch niedrige, schmale, diskontinuierliche Leisten auftreten, die keine Zotten bilden, deren First jedoch unterschiedliche Höhen aufweist und kleine Erhebungen bildet. Im palmaren resp. plantaren Bereich der Saum-Ballensegment-Grenze sind die Ballenzöttchen noch ähnlich wie die Saumpapillen langgestreckt konisch geformt und verlaufen relativ gestreckt distal (Abb. 18a). Das typische Zöttchenbild im *proximalen Ballensegment* zeigt eine kräftige, rundliche Basis und in ihrem weiteren Verlauf zur Spitze hin einen gleichmäßigen Dickenverlust, so daß die Zöttchen dann in einer lang ausgezogenen, meist gebogenen Spitze enden. Die Papillenbasen entspringen senkrecht aus den Lederhautleisten, die Zöttchenkörper neigen sich dann leicht apikal, die Spitzen

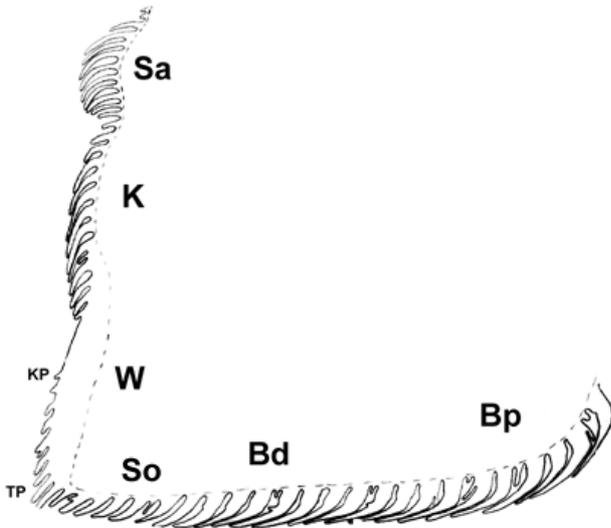
sind dagegen stärker zur Klauenspitze geneigt und verlaufen selbst auch leicht geschlängelt. Am abaxialen Wand-Ballensegment-Übergang entspringen die Ballenpapillen relativ senkrecht aus den annähernd parallel verlaufenden Leisten und biegen dann etwa rechtwinklig, nach distal gerichtet um. Die Papillenspitzen liegen reihenartig übereinander, so daß die übereinanderliegenden Papillenspitzen genauso ausgerichtet sind wie die ihnen benachbarten letzten abaxialen Lamellen des Wandsegmentes und die diesen entspringenden distalen abaxialen Terminalpapillen. Der *distale Abschnitt* des Ballensegmentes liegt zwischen den Schenkeln des Sohlensegmentes und grenzt apikal an den Sohlenkörper. Das Lederhautbild wird in diesem Bereich genau wie im proximalen Ballensegment durch zottentragende Lederhautleisten geprägt. Auch hier sind die Lederhautleisten wellenartig angeordnet, sie verlaufen aber regelmäßiger und strenger parallel zueinander als im proximalen Ballenabschnitt. Im apikalen Bereich entspringen schon die Lederhautleisten leicht nach apikal geneigt aus dem tiefen dermalen Gefäßplexus, am Übergang zum proximalen Ballenabschnitt entspringen sie noch nahezu rechtwinklig. Die Ballenlederhautleisten gehen in die Leisten der Sohlenlederhaut über. Auch im Ballenbereich zeigen die einzelnen Zöttchen die bereits beschriebene Oberflächenstruktur mit dem subepidermalen Gefäßnetz; eine apikale Gefäßschleife ist vor allem im proximalen Bereich deutlich zu sehen.

Afterklauen (Abb. 6a u. 6b):

Die Segmentabgrenzung der Afterklauen entspricht der der Hauptklauen, wobei die Abgrenzung von Sohlen- und Ballensegment schwierig ist, da die Zöttchen bzw. Blättchen in den einzelnen Segmenten relativ gleichförmig hinsichtlich Form, Länge und Ausrichtung bzw. Winkelung dieser Lederhautoberflächenmodifikationen sind. Der Saumfalz ist besonders stark ausgeprägt. In den papillenträgenden Abschnitten der Lederhaut finden sich kurze, stumpfkegelige Zöttchen, die entsprechend der Afterklauenlängsachse orientiert sind. Das Wandsegment weist feine, parallel verlaufende, ebenfalls parallel zur Längsachse orientierte Lederhautblättchen auf.

4.2 Kälberklauen

Die Ausprägung der Klauenlederhautgefäße an der Kälberklaue entsprechen den Gegebenheiten an der adulten Klaue mit entsprechend verkleinerten Dimensionen. Im Bereich der Wandlederhaut treten jedoch keine oder nur selten Teilungsformationen von Blättchen auf.



Textabb. 4: Schematische Darstellung des Papillarkörpers der Rinderklaue

Sa: Saumsegment
 K: Kronsegment
 W: Wandsegment
 KP: Kappenpapillen des Wandsegmentes
 TP: Terminalpapillen des Wandsegmentes
 So: Sohlensegment
 Bd: dist. Abschnitt des Ballensegmentes
 Bp: prox. Abschnitt des Ballensegmentes

5. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

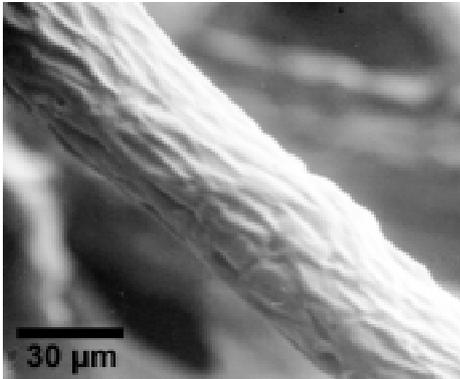
5.1 Allgemeine Bemerkungen zur Gefäßarchitektur

Zur Unterscheidung der einzelnen Abschnitte der Mikrozirkulation an den Gefäßausgüssen, insbesondere der Endstrombahn, werden die Gefäßdurchmesser und -verlauf, der Verzweigungsmodus und die Oberflächenkonfiguration der zu beschreibenden Strukturen berücksichtigt. Im folgenden angegebene Gefäßdurchmesser sind immer als Außendurchmesser der Gefäßausgüsse zu verstehen, d. h., daß diese Angaben den Innendurchmessern der injizierten Gefäße entsprechen. Die Identifizierung der einzelnen Endstrombahnabschnitte anhand von Endothelzellkernabdrücken orientiert sich an den Angaben von LAMETSCHWANDTNER et al. (1984 u. 1990).

Arterien und Arteriolen (Textabb. 5):

Arterien und Arteriolen sind schmaler, verlaufen geradliniger und verzweigen sich weniger oft als die sie begleitenden Venen und Venulen. Der Verzweigungsmodus erscheint regelmäßiger als im kapillären oder venösen Bereich und ist meist dichotom, entweder symmetrisch mit gleichvolumigen Tochtergefäßen oder - seltener - asymmetrisch. Arteriolen besitzen keine Vasa vasorum und haben einen Gefäßdurchmesser von 10 bis 50 µm. Meist werden arterielle Gefäße mit einem Durchmesser unter 80 µm nicht von einem venösen Gefäß begleitet. Arterioarterielle Anastomosen finden sich recht häufig im dermalen Gefäßplexus des Kron- und Ballenbereiches, während arterioarterioläre (10 bis 40 µm) Anastomosen in den Zöttchen und Blättchen seltener auftreten. Der arterielle Gefäßquerschnitt ist fast immer rund, selten queroval. Im arteriellen Kreislaufabschnitt finden sich weniger häufig dilatierte Gefäßabschnitte als im venösen. Im arteriellen Kreislaufschonkel finden sich charakteristische, spindelförmig langgezogene Endothelzellkerneindrücke, die

entlang der Längsachse des Gefäßes regelmäßig angeordnet sind. An Aufzweigungsstellen von Arteriolen finden sich häufig präterminale Sphinkteren, die durch anhand der Querachse des Gefäßes orientierte, sehr schmale und langgezogene Endothelzellkernabdrücke charakterisiert sind.



Textabbildung 5:

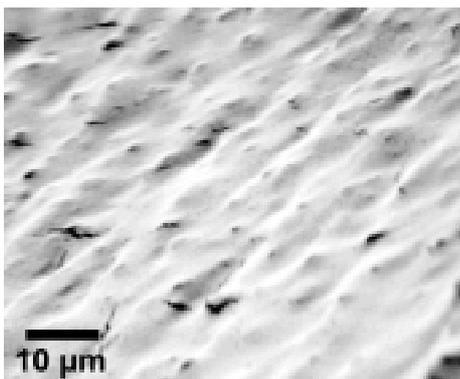
Typische langgezogene, entlang der Achse des Gefäßes orientierte Endothelzellkernabdrücke im arteriellen Kreislaufabschnitt. Mikrokorrosionspräparat, Tensolzement[®]-Ethylacetat.

Kapillaren (Abb.12d bis 12f):

Kapillaren werden anhand ihres Gefäßdurchmessers (unter 10 µm) und ihrer Eingliederung zwischen arteriellem und venösem Schenkel der Endstrombahn bzw. anhand ihres Verzweigungsmodus innerhalb der Endstrombahn identifiziert. Sie verzweigen sich häufig und oft unregelmäßig. Interkapilläre Anastomosen sind sehr häufig. Dilatierte Kapillarbereiche sind ebenfalls sehr häufig. Die Kapillaren weisen tiefe und eher rundliche oder auch gar keine eindeutig zuordnungsbar Endothelzellkernabdrücke auf. Nur sehr selten können arterielle bzw. venöse Kapillaren anhand der für den jeweiligen Kreislaufabschnitt typischen Endothelzellkerneindrücke unterschieden werden.

Venen und Venulen (Textabb. 6):

Venulen haben einen Durchmesser von 10 bis 100 µm, der Querschnitt ist meist queroval bis stark abgeflacht. Sie verzweigen sich sehr häufig, meist unregelmäßig und asymmetrisch. VV Anastomosen sind sehr häufig. Die Venulen verlaufen oft leicht geschlängelt. Im venösen Kreislaufschenkel finden sich ovoide bis polygonale flache Endothelzellkerneindrücke, die unregelmäßig über die ganze Gefäßoberfläche verteilt sind. Venulen besitzen keine Vasa vasorum oder Venenklappen.

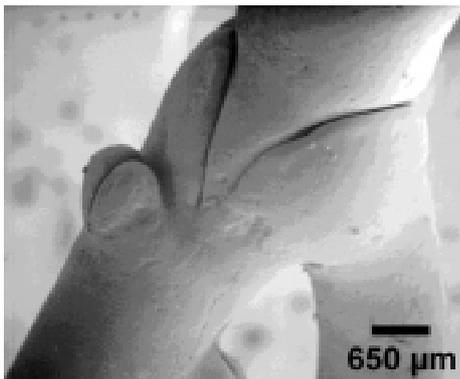


Textabbildung 6:

Typische breitere, eher ovoide Endothelzellkerneindrücke im venösen Kreislaufabschnitt, größere Klauenvene. Mikrokorrosionspräparat, Tensolzement[®]-Ethylacetat.

Venenklappen (Textabb. 7):

Venenklappen finden sich in allen größeren Venen des Zehenendorganes, besonders häufig jedoch im tiefen dermalen Plexus des Kronsegmentes an Aufzweigungsstellen. Die Venenklappen bestehen aus zwei charakteristischen Segeln, die mit ihren nach proximal gerichteten Rändern in das Lumen der Venen hineinragen. Die Segel der übereinander angeordneten Klappen einer Vene sind jeweils versetzt zueinander orientiert. Meist befinden sich die Klappen direkt an Aufzweigungsstellen oder an längeren unverzweigten Gefäßabschnitten.



Textabbildung 7:

Typische zweizipplige Venenklappen. Die Zipfel der Venenklappen ragen nach proximal. An Abzweigungen kleiner Venen finden sich ebenfalls häufig Venenklappen, die an dieser Stelle als Injektionshindernisse wirken können (linker Venenschenkel).
Mikrokorrosionspräparat,
Tensolzement[®]-Ethylacetat.

Kapillarnetze und Gefäßstrukturen mit besonderer Struktur wie AV Anastomosen und Sperr- oder Drossleinrichtungen (Sphinkteren) werden nur in solchen Bereichen der Gefäßausgänge untersucht, die keine oder nur wenige blinde Gefäßendigungen aufweisen, so daß in diesen Gebieten davon ausgegangen werden kann, daß das gesamte Gefäßbett des entsprechenden Bereiches durch den injizierten Kunststoff repliziert wird. Dadurch soll es ermöglicht werden, eine möglichst genaue Angabe über das Auftreten und die Häufigkeit solcher Strukturen sowie deren Eingliederung in der Endstrombahn zu erzielen.

Durch die genannten Kriterien gelingt eine zweifelsfreie Zuordnung der Arterien, Arteriolen, Kapillaren, Venulen und Venen und die Identifikation spezieller, modifizierter Gefäßabschnitte.

Die REM-Untersuchung der Gefäßausgänge offenbart einen charakteristischen Gefäßverzweigungsmodus für die Papillen und Lamellen der Klauenlederhaut⁴:

Allgemeine Angioarchitektur der Lederhautpapillen

Der tiefe dermale Gefäßplexus besteht aus strickleiterartig untereinander verbundenen Arterien- bzw. Venennetzen, die parallel zur Klauenbeinoberfläche angeordnet verlaufen. Aus ihnen entspringen senkrecht verlaufende Gefäßverbindungen zum ebenfalls gitterartig angeordneten

⁴ Zur **Richtungsbezeichnungen** und **Maßangaben** an den Papillen und Lamellen siehe Textabbildung 8 (S. 93).

arteriellen bzw. venösen subpapillären Plexus. Aus dem arteriellen subpapillären Plexus entspringt meist für jede einzelne Papille eine eigene Endarteriole, die in das Lederhautzöttchen hineinzieht; seltener gehen aus einem solchen arteriolären Ast noch einmal kleinere Teilungsäste hervor, die dann einzeln in benachbarte Zöttchen hineinziehen. Schon kurz vor Eintritt in das Lederhautzöttchen gehen aus der Endarteriole und aus dem subpapillären Gefäßplexus Kapillarschleifen hervor, die an die dermo-epidermale Grenzfläche zwischen den einzelnen Lederhautzöttchen heranziehen (interpapilläres subepidermales Kapillarnetz). An der Basis der Lederhautpapille und im Papillenkörper entläßt die zentral in der Papille verlaufende Arteriole ebenfalls Kapillarschleifen, die je nach Lederhautsegment unterschiedlich dicht und unterschiedlich weit bis in den Papillenkörper hinein ausgebildet sind (papilläres subepidermales Kapillarnetz). Die Kapillarschleifen drainieren über kleine postkapilläre Venulen in die ebenfalls zentral in der Papille gelegene Zöttchenvenule. An der Zöttchenspitze geht die Zöttchenarteriole in eine segmenttypisch (Verdrillungsgrad, Länge, Ausrichtung) verlaufende kapilläre Spitzenschleife über, die bis dicht an die dermo-epidermale Grenze heranreicht und dann in die zentrale Papillenvenule übergeht.

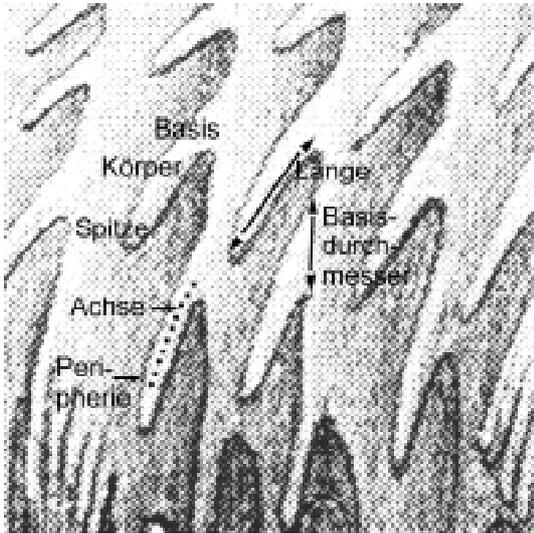
Allgemeine Angioarchitektur der Lederhautlamellen:

Aus dem tiefen dermalen Gefäßplexus, der parallel zur Klauenbeinoberfläche angeordnet ist, streben aufsteigende arterielle bzw. venöse Äste zu den Lederhautlamellen. An deren Basis bilden sie den netzartig angeordneten arteriellen bzw. venösen sublamellären Plexus, der aus proximodistal orientierten, an der Basis der Blättchen verlaufenden, sogenannten Parietalgefäßen gebildet wird, aus dem die lamellären Gefäße für die Lederhautblättchen entspringen. Die Parietalgefäße sind untereinander durch strickleiterartige Querverbindungen vernetzt. Nur sehr selten gehen aus einem Parietalgefäß lamelläre Gefäße für zwei oder drei benachbarte Lamellen hervor, meist versorgen sie nur ein einzelnes Lederhautblättchen. Die Parietalgefäße eines einzelnen Lederhautblättchens verlaufen nicht über die gesamte proximodistale Länge des Blättchens, sondern werden von mehreren, aufsteigenden Gabelästen aus dem tiefen dermalen Plexus gespeist. Aus der A. parietalis eines Lederhautblättchens entspringen die Aa. lamellares, die in der Achse des Blättchens zur Blättchenperipherie ziehen. An der Blättchenbasis geht ein liches Kapillarnetz aus den Blättchenarteriolen hervor, das in ein dichtes postkapilläres Venulennetz drainiert. Etwa auf der Hälfte der Lamellenbreite gehen aus der gerade zur Blättchenperipherie verlaufenden A. lamellaris meist zwei gleichstarke Teilungsäste hervor, von denen einer nach proximal, der andere nach distal ausgerichtet ist. Diese Teilungsäste lösen sich sofort in ein dichtes kapilläres Netz auf. Die A. lamellaris teilt sich bei Erreichen des Blättchenfirstes in zwei gleich starke Tochtergefäße, die in einem sanften Bogen in der Blättchenperipherie distal bzw. proximal ziehen. Im proximalen

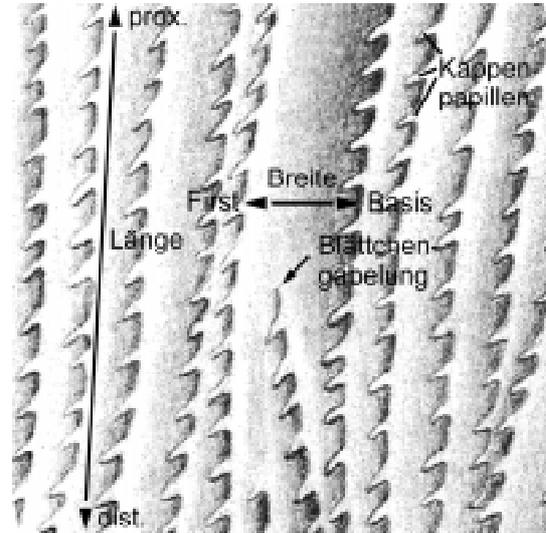
Abschnitt des Wandsegmentes vereinigen sich diese marginalen Teilungsäste der A. lamellaris mit den entsprechenden Teilungsästen der proximal bzw. distal benachbarten A. lamellaris des gleichen Blättchens, so daß man von einer in der Blättchenperipherie gelegenen marginalen Arterienarkade oder A. marginalis sprechen kann. Im distalen Bereich des Wandsegmentes lösen sich diese marginalen Teilungsäste der A. lamellaris gleich in ein dichtes Kapillarnetz auf, welches dann mit den entsprechenden Kapillaren aus den benachbarten Aa. lamellares des gleichen Blättchens anastomosiert. Aus diesem Grunde kann in diesem Bereich keine deutliche Randarterie ausgemacht werden. Im gesamten Wandsegment entspringt aus der marginalen arteriellen Gefäßarkade ein dichtes kapilläres Netz, das in ein ebenfalls dichtes postkapilläres Venulennetz drainiert. Die Kapillar- bzw. Venulennetze, die an der Basis der Lamelle bzw. auf halber Lamellenbreite und in der Blättchenperipherie aus den Blättchenarteriolen bzw. deren proximodistal orientierten Teilungsästen hervorgehen, liegen ebenfalls in der Achse des Blättchens, zeigen also im Gegensatz zur Angioarchitektur der Lederhautzöttchen eine ausgeprägt zweidimensionale Anordnung. In der Blättchenperipherie drainiert das postkapilläre Venulennetz entweder in die im Blättchenfirst proximodistal verlaufende periphere Venenarkade, die in ihrer Gesamtheit auch als Marginalvene aufgefaßt werden kann, oder in die in der Achse des Blättchens gelegenen Vv. lamellares, welche als Verbindung zwischen der Marginalvene im Blättchenfirst und der Parietalvene an der Blättchenbasis die gesamte Breite der Lamelle durchziehen. Die Vv. lamellares eines Blättchens verlaufen nicht so geradlinig wie die entsprechenden arteriellen Gefäße, sondern leicht geschlängelt und stehen über viele unregelmäßige Teilungsäste miteinander in Verbindung. Das basale und das mittlere kapilläre bzw. venuläre Gefäßnetz der Lamelle drainiert ebenfalls über die Vv. lamellares. Im distalen Abschnitt des Wandsegmentes entspringen aus der peripheren arteriellen Arkade kleine hakenförmige, leicht distal orientierte Kapillarschlingen, die in das periphere postkapilläre Venulennetz bzw. in die Marginalvene drainieren. Sie werden distal länger und knicken sofort nach ihrem Ursprung nach distal ab, so daß am Blättchenfirst kleine Gefäßschleifen über den marginalen Blättchengefäßarkaden liegen. Am Wand-Sohlensegment-Übergang werden die peripheren Gefäßschleifen länger, verzweigen sich und zeigen das typische Gefäßbild einer Papille. Der zuführende Schenkel der Gefäßschleife wird zur Zöttchenarteriole, der abführende Schenkel zur Zöttchenvenule, und aus der Zöttchenarteriole geht an der Papillenbasis ein kapilläres Netz hervor.

Da vor allem die Lederhautzöttchen in ihrer Ausprägung, Form und Größe in den einzelnen Segmenten erheblich differieren, ergibt sich eine entsprechende Variationsbreite der oben beschriebenen Gefäßmuster, die den segmentspezifischen funktionellen und mechanischen Aufgaben dieser Lederhautmodifikationen Rechnung tragen.

Textabbildung 8: Richtungsbezeichnungen und Maßangaben an Lederhautpapillen (a) und Lederhautlamellen (b). (Abb.modifiziert nach MÜLLING, 1993)



a. Lederhautpapillen



b. Lederhautlamellen

5.2 Hauptklaue des adulten Rindes

5.2.1 Saumsegment (Abb. 7)

Im ganzen Saumsegment zeigt sich eine einheitliche Gefäßarchitektur der Zotten (Abb. 7a u. 7b). Aus dem sehr regelmäßig in Form eines Gefäßgitters angeordneten und parallel zur Klauenkontur verlaufenden subpapillären Plexus gehen die einzelnen Zottengefäße hervor. Meist entspringen für jede Zotte eine einzelne Arteriole und ein, seltener zwei venöse Gefäße. Nur in Ausnahmefällen entspringen aus dem subpapillären Gefäßplexus größere Gefäßstämme, aus denen dann die entsprechenden Gefäße für zwei oder drei benachbarte Saumzöttchen hervorgehen.

Die A. papillaris centralis zieht von proximal in die Achse des Zöttchens und von dort zur Papillenspitze, dort geht sie unter Bildung einer geraden oder meist umeinander verdrillten Spitzenschleife in die ebenfalls in der Achse des Zöttchens gelegene V. papillaris centralis über, die an der Basis des Zöttchens eher distal liegt (Abb. 7c u. 7d). Im distalen Saumsegmentabschnitt liegen diese Hauptgefäße nicht mehr zentral in der Papillenachse, sondern rücken leicht an den proximalen (Arteriole) bzw. den distalen (Venule) Rand der Papillenbasis. Dadurch verändert sich die Form der Papillenbasen, die Basenquerschnitte erscheinen in proximodistaler Richtung ausgezogen bzw. entwickeln kleine, am distalen bzw. proximalen Rand der Basen gelegene Ausbuchtungen. Aus der Arteriole gehen schon im Bereich der Zöttchenbasis mehrere kleinere Gefäße (Metarteriolen bzw. arterielle Kapillaren) ab, die sich in ein dichtes, subepithelial gelegenes Kapillarnetz auflösen, welches in ein postkapilläres Venulennetz übergeht, das sich in die zentrale

Zöttchenvenule entleert (Abb. 7e). Im distalen Saumsegment und vor allem im Bereich des Klauenrückens werden die Spitzenschleifen länger, plantar bzw. palmar sind sie nur sehr kurz. Die Länge der Saumzöttchen beträgt zwischen 250 und 300 μm am Übergang aus der behaarten Haut, distal können sie eine Gesamtlänge bis 2 oder 3 mm erreichen. Ihr Basisdurchmesser beträgt am Übergang von der behaarten Haut 50 μm , weiter distal zwischen 80 und 100 μm . Die Gefäßdurchmesser der zentralen Papillengefäße liegen zwischen 20 und 60 μm .

Segmentuntypisch geformte Papillen in Form kurzer, meist unverzweigter Gefäßschleifen (Neben- und Sekundärpapillen) sind im Saumsegment selten.

Sehr selten und ohne erkennbare Regelmäßigkeit können im Bereich der Zöttchenbasis kurze, direkte AV Kurzschlüsse vorkommen, die meist nur bis zu 40 μm lang sind und einen Durchmesser von 10 bis 15 μm , seltener bis 30 μm haben. Eine deutlich Abgrenzung eines arteriellen oder venösen Abschnittes dieser Kurzschlüsse anhand der Endothelzellkerneindrücke ist meist schwierig, sie ähneln denen subepithelialer Kapillaren. Aus diesem Grunde können sie nicht eindeutig als AV Anastomosen identifiziert werden.

5.2.2 Kronsegment (Abb. 8 bis 10)

Das subkutane Krongefäßnetz (Kronpolster) ist sehr dicht und besteht aus einem lichten, klein-volumigen arteriellen Plexus, der in einen sehr dichten und großkalibrigen venösen Plexus eingebettet ist (Abb. 10d bis 10f). Die Gefäße verlaufen an der Oberfläche des Klauenbeines in seichten Gefäßrinnen und werden von kleineren Ästen aus den dorsal gerichteten Teilungsästen des Arcus terminalis und den Krongefäßen gespeist. Die größeren Arterien und Venen verlaufen parallel zur Saum-Kronsegment-Grenze und sind über regelmäßig angeordnete, proximodistal verlaufende arterioarterielle (AA) bzw. venovenöse (VV) Gefäßäste miteinander verbunden. Aus den Kronarteriolen geht ein dichtes, geschlängelt verlaufendes Kapillarsystem hervor, das in Form von Knäuelkapillaren in ein ebenfalls sehr dichtes venuläres System drainiert. Die stark geschlängelt verlaufenden Venulen drainieren ihrerseits in - parallel zu den Kronarterien und starken Kronvenen verlaufende - kleinere Venen, die in regelmäßigen Abständen Verbindungen zu den starken Kronvenen aufnehmen und auch untereinander durch ebenfalls regelmäßig auftretende Querverbindungen, die über die stärkeren Hauptgefäße hinwegziehen, miteinander verbunden sind. Im subkutanen Venensystem finden sich auffällig viele zweizipflige Venenklappen.

Der subpapilläre Gefäßplexus des Kronsegmentes besteht aus in regelmäßigen Abständen verlaufenden, proximodistal orientierten großlumigeren Gefäßen, die untereinander durch feinere, strickleiterartig angeordnete Gefäßäste verbunden sind (Abb. 10a u. 10b). Der venöse Gefäßplexus ist feinmaschiger und damit dichter als der entsprechende arterielle Plexus. Die kurzen arteriellen

Querverbindungen sind häufig dilatiert, an ihrem Ursprung bzw. ihrer Einmündungsstelle in die großlumigeren Gefäße weisen sie häufig sphinkterartige Endothelzellkerneindrücke auf (zirkulär verlaufende, sehr schmale Eindrücke).

Aus diesem klauenbeinparallel verlaufenden Gefäßnetz entspringen die aufsteigenden Aa. und Vv. papillares centrales der Kronzotten (Abb. 8c). Dabei ist auffällig, daß der subpapilläre Gefäßplexus auch in den oben genannten Bereichen, in denen die Achse der aus ihm hervorgehenden Zöttchen nicht streng proximodistal sondern leicht apikal geneigt verläuft, seine klauenbeinparallele Ausrichtung nicht verändert.

Im proximalen Teil des Kronsegmentes (Abb. 8e u. 8f) besitzen die Zöttchen noch annähernd runde Basen, die wie im Saumsegment proximodistal etwas spitz ausgezogen erscheinen. Dies wird wie im Saumsegment dadurch verursacht, daß die Hauptpapillengefäße am proximalen Basisrand in die Papille hineinziehen und sie am distalen Basisrand wieder verlassen, so daß die sogenannten "zentralen" Gefäße nicht mehr wirklich zentral in der Papillenbasis liegen. Der Basisdurchmesser der Papillen beträgt zwischen 100 und 150 μm . Die Kronzöttchen sind in diesem Abschnitt insgesamt ca. 450 bis 800 μm lang. Die Zöttchen zeigen dieselbe Angioarchitektur wie im Saumsegment, die Ausbildung des kapillären und venulären subepidermalen Plexus beschränkt sich jedoch auf die proximale Hälfte des gesamten Zöttchens, die distale Hälfte wird nur durch die meist gerade verlaufende Spitzenschleife gebildet. Die zentralen Papillengefäße haben einen Durchmesser zwischen 20 und 60 μm .

Im mittleren Teil des Kronsegmentes (Abb. 9 a) erreichen die Zöttchen ihre längste Ausdehnung. Ihre Basis wird eher queroval mit proximodistaler Ausrichtung, ein subepithelialer Plexus besteht nur noch im proximalen Drittel des Zöttchens, die restlichen zwei Drittel seiner Länge werden von einer lang ausgezogenen, meist gerade oder leicht geschlängelt verlaufenden Spitzenschleife gebildet. Meist liegen A. und V. papillaris centralis in einer Ebene übereinander, wobei das arterioläre Gefäß über (also proximal) dem venulären (distal) liegt und die V. papillaris meist die Unterkante des Zöttchens bildet. In der Basis des Zöttchens kann sich die V. papillaris in zwei oder drei abführende Äste verzweigen. Der Basisdurchmesser der Zöttchen beträgt 130 bis 200 μm . Die Länge der Zöttchen erreicht 1200 bis 1700 μm . In diesem Teil des Kronsegmentes kommen häufiger Zotten vor, die nur aus einer einzigen unverzweigten Gefäßschleife bestehen und bis zu 800 μm Länge erreichen können (*Nebenpapillen*). Sehr kurze kapilläre Schleifen, die aus den Hauptpapillengefäße an der Papillenbasis entspringen, können vorkommen, sind jedoch sehr selten. Im distalen Teil des Kronsegmentes (Abb. 9b bis 9e) werden die Zöttchen wieder kürzer. Ihre Gefäßarchitektur wird zunehmend flacher, da die Zöttchenbasen hier kammartig aus dem subpapillären Plexus hervorgehen. Auch hier werden etwa zwei Drittel der gesamten Länge des

Zöttchens durch die kapilläre Spitzenschleife gebildet. Im Bereich der Zöttchenbasis ist ein zartmaschiges, in der Achse des Zöttchens gelegenes subepitheliales Kapillarnetz ausgebildet. Die Basen haben eine Länge von 100 bis 120 μm , die Zöttchenlänge beträgt 750 bis 450 μm . Am Übergang zum Wandsegment werden die einzelnen, übereinanderliegenden Zöttchenbasen immer langgezogener, bis schließlich keine einzelnen Zöttchenbasen mehr ausgemacht werden können, sondern aus gemeinsamen basalen Leisten die lang ausgezogenen Randschleifen der einzelnen Papillen hervorgehen. Die basalen Leisten gewinnen an Höhe und werden dann zu den Blättchen des Wandsegmentes, während die aus ihnen entspringenden distalen Kronzöttchen immer kürzer und lichter werden. Deren Angioarchitektur besteht schließlich aus immer weniger verzweigten und kürzer werdenden Gefäßschlingen. Aus den Firsten der gemeinsamen Kronpapillenbasisleisten entspringen häufig kleine kapilläre Schleifen (*Sekundärpapillen*).

Neben den beschriebenen komplexeren Gefäßverzweigungstypen mit Kapillarnetzbildung finden sich im gesamten Kronsegment Zöttchen, die nur von einer einzigen, unverzweigten, gerade oder umeinander verdrillt verlaufenden Gefäßschleife gebildet werden (Abb. 9f, *Nebenpapillen*). Ihre Länge variiert von 100 bis 800 μm , die wie bereits erwähnt im mittleren Kronsegmentdrittel besonders häufig auftreten.

Außer im distalen Kronsegmentbereich entspringen an der Kronzöttchenbasis nur sehr selten kleinere Papillenästchen mit eigener, aus den Hauptpapillengefäßen hervorgehender Gefäßschleife, die als *Sekundärzöttchen* bezeichnet werden können.

Im Kronsegment können keine AV Anastomosen dargestellt werden. Als besondere vaskuläre Struktur finden sich jedoch in diesem Segment in einigen Zotten vor dem Übergang vom Zottenkörper in die lang ausgezogene Zottenspitze stark aufgeknaeuelte und gewundene Gefäßabschnitte im arteriellen Kreislaufschenkel (Abb. 10c, *glomus bodies*). Der Gefäßdurchmesser in diesen Bereichen beträgt zwischen 40 und 60 μm , es finden sich hier eher längliche, an der Achse des Gefäßes orientierte Endothelzellkerne oder tiefe, rundliche, unregelmäßig orientierte Eindrücke. Die Länge der Gefäßknäuel beträgt zwischen 200 und 400 μm , die Breite ca. 50 bis 70 μm . Ähnliche Gefäßstrukturen, die jedoch noch stärker aufgeknaeuelt erscheinen, finden sich auch im subpapillären Gefäßplexus des Kronsegmentes. Diese besonderen Gefäßabschnitte sind jedoch sehr selten und lassen keine Regelmäßigkeiten in der Anordnung oder Abhängigkeiten von anderen Gefäßstrukturen erkennen.

Da das Kronsegment zwischen dem Saumsegment mit seinen ausgeprägt kegelförmigen Zöttchen (also einer dreidimensional angelegten Architektur) und dem Wandsegment mit den proximodistal orientierten Blättchen (also einer eher zweidimensional angelegten Architektur) liegt, muß seine Papillarkörperkonformation zwischen diesen beiden Lederhautmodifikationstypen "vermitteln",

also einen Übergang derselben ineinander ermöglichen. Dementsprechend finden sich proximal im Kronsegment rundbasige, noch annähernd kegelförmige Papillen. Im mittleren Drittel weisen sie eher eine querovale Basis auf, ihre Spitzenschleifen sind jedoch schon so wie die Blättchenachsen orientiert. Die Veränderung der Papillengestalt wird im Bereich der Papillenbasen - wie bereits beschrieben - durch das Auseinanderrücken der zentralen Papillengefäße an die proximale bzw. distale Basisperipherie erreicht. Im distalen Drittel entspringen die Zöttchenbasen kammartig, und schließlich können keine einzelnen Zöttchenbasen mehr identifiziert werden, sondern es finden sich gemeinsame basale Leisten. Die Gefäßschleifen werden zunehmend kürzer und weniger komplex.

5.2.3 Wandsegment (Abb. 11 bis 15)

Die Gefäßarchitektur der Lederhautblättchen wird von den in der Achse der Blättchen liegenden, senkrecht aus den sublamellären Gefäßplexus hervorgehenden Aa. und Vv. lamellares dominiert (Abb. 11). Der sublamelläre Gefäßplexus des Wandsegmentes besteht aus in regelmäßigen Abständen verlaufenden, proximodistal orientierten großlumigeren Gefäßen, die untereinander durch feinere, strickleiterartig angeordnete Gefäßäste verbunden sind (Abb. 15a). Der venöse Gefäßplexus ist feinmaschiger und damit dichter als der entsprechende arterielle Plexus. Die proximodistal verlaufenden größeren sublamellären Gefäße liegen in seichten, ebenfalls proximodistal orientierten Gefäßrinnen auf der Klauenbeinoberfläche und werden aus in eigenen Knochenkanälchen verlaufenden kleinen Teilungsästen des Arcus terminalis gespeist bzw. drainiert.

Aus dem sublamellären Gefäßplexus gehen jeweils einzelne, aufsteigende Gefäßstämme hervor, die sich astartig aufgabeln. Die "Gabeläste" verlaufen anfangs auf kurzer Strecke proximodistal orientiert und entsprechen damit den beim Pferd beschriebenen Aa. und Vv. parietales, sie biegen dann rechtwinklig um und treten in das Blättchen ein, von wo aus sie als Aa. und Vv. lamellares dem Blättchenfirst zustreben (Abb. 12a u. 12b). Im Gegensatz zu den beim Pferd beschriebenen Verhältnissen sind die einzelnen "Gabeläste" eines Blättchens jedoch nicht auf der gesamten Blättchenlänge proximodistal miteinander verbunden, weshalb sie nicht als eigenständige, die gesamte Länge des Blättchens durchlaufende Parietalgefäße aufgefaßt werden können. Jeweils zwei bis drei Arterien und vier bis fünf Venen gehen aus einem einzelnen aufsteigenden Gefäßstamm hervor. Selten gehen aus einer "A. bzw. V. parietalis" eines Blättchens auch Lamellengefäße für ein benachbartes Blättchen hervor. Die "Aa. und Vv. parietales" der einzelnen Blättchen sind untereinander durch strickleiterartige Querverbindungen miteinander vernetzt, so daß der sublamelläre Plexus ein dichtes Gefäßnetz mit annähernd quadratisch verlaufenden Maschen darstellt.

Die Aa. lamellares (Abb. 15b) weisen einen runden Gefäßquerschnitt auf und haben meist einen Durchmesser zwischen 30 und 50 μm . Ihre Oberflächen weisen deutliche und meist sehr tiefe Eindrücke von Endothelzellkernen auf, die länglich ausgezogen und an der Längsachse des Gefäßes orientiert sind. Dadurch erhalten die Arteriolen ein streifenartiges Oberflächenrelief. Im Blättchenbereich verlaufen die Arteriolen relativ geradlinig, sie verzweigen sich meist erst im äußeren (peripheren) Drittel des Blättchens. Der Verzweigungsmodus ist meist symmetrisch dichotom. Demzufolge sind AA Anastomosen an der Blättchenbasis selten. Die Vv. lamellares (Abb. 15b) haben einen eher ovalen Gefäßquerschnitt und sind deutlich dicker als die entsprechenden arteriellen Gefäße. Ihre Gefäßdurchmesser erreichen 40 bis 70 μm . Ihre weniger dichten Endothelzellkerneindrücke sind eher rundlich und unregelmäßig über die gesamte Gefäßoberfläche ohne eine eindeutige Ausrichtung verteilt. Die Venen verlaufen weniger geradlinig als die entsprechenden arteriellen Gefäße und verzweigen sich oft und unregelmäßig, so daß VV Anastomosen im gesamten Blättchenbereich ein sehr häufiger Befund sind.

Sowohl die arteriellen als auch die venösen Lamellengefäße ziehen auf relativ direktem Wege in Richtung Blättchenfirst. Im äußeren Bereich der Blättchen verzweigen sie sich erstmalig etwa auf der Hälfte der Blättchenbreite (bei ca. 500 bis 750 μm Breite) arkadenförmig, so daß bogenförmige AA und VV Anastomosen entstehen (Abb. 11 bis 13). Der Bereich der venösen Arkaden beginnt jedoch meistens schon auf geringerer Blättchenbreite als die arteriellen Arkaden. Bis zum Blättchengrat bilden die Lamellengefäße zwei oder drei übereinanderliegende Arkaden, wobei die äußerste Arkadenreihe weit auseinandergezogen und flach erscheint, so daß sie als Randgefäße (*A. bzw. V. marginalis*) bezeichnet werden könnten. Die Blättchenarterien spalten sich im äußeren Blättchendrittel typischerweise symmetrisch dichotom auf, wobei jeweils ein Tochtergefäß distal, das andere proximal in einem sanften Bogen zur Blättchenperipherie zieht und mit dem jeweiligen distalen bzw. proximalen Tochtergefäß der nächstgelegenen Blättchenarterie anastomosiert. Die arteriellen Randgefäße erreichen einen Durchmesser von 30 bis 60 μm , die Marginalvenen zwischen 40 und 100 μm .

Vor allem im basalen Bereich und dann wieder im Bereich der ersten Arkadenreihe gehen aus den Blättchenarterien feine, in der Achse des Blättchens gelegene Kapillaren hervor, die in ein ausgeprägtes und dichtes Venulengeflecht übergehen, welches dann über die Randvene bzw. über die Blättchenvenen drainiert wird. Auffällig ist, daß die einzelnen Blättchenarterien weiter voneinander entfernt verlaufen als die Blättchenvenen; im Versorgungsgebiet einer einzelnen A. lamellaris verlaufen mehrere Vv. lamellares.

Im mittleren Drittel des Wandsegmentes (Abb. 13 u. 14) fallen am Blättchenfirst *kapilläre Schleifen* auf, die aus der Randarterie entspringen und entweder direkt oder nach Übergang in kleine Venulen

in die Randvene münden. Lamellen, die sich distal aufspalten, weisen immer erst distal des Aufspaltungsbereiches kapilläre Schleifen am Blättchenfirst auf. Die Höhe der Kapillarschleifen beträgt etwa 20 bis 40 μm . An einigen Lamellen können zwei oder drei Kapillarschleifen nebeneinander aus dem Blättchenfirst entspringen. Nach distal werden die Kapillarschleifen langsam höher und im distalen Drittel des Wandsegmentes werden sie zu kleinen Papillen, indem die Gefäßschleifen immer dicker und länger ausgezogen werden (*Kappenpapillen*). In diesem Bereich zeigt sich wieder der typische Versorgungstyp für die Lederhautpapillen, indem der zuführende Schenkel der kapillären Schleife zur Zöttchenarteriole, der abführende Schenkel zur Zöttchenvenule wird, die in Form einer kapillären Schleife an der Zottenspitze ineinander übergehen. Die Schenkel der Gefäßschleifen können umeinander verdrillt sein, meist verlaufen sie jedoch hakenförmig proximodistal orientiert, und an der Zottenbasis geht aus den Zöttchenarteriolen ein kapilläres Netz hervor. Schließlich werden die Basisbereiche der Papillen immer länger und weisen eine stärkere Gefäßverzweigung auf. Dadurch entstehen typische *Terminalpapillen* mit kammartigen, stark verzweigten Basen und lang ausgezogenen, stark verzweigten und verdrillten Papillenspitzen, die sogleich nach ihrem Ursprung distal in Richtung Sohlenrand ziehen. Dabei ziehen die Zottenspitzen im abaxialen Wandbereich direkt distal, im axialen Wandsegment ziehen sie leicht nach apikal geneigt distal. Die Spitzen der Kappen- und Terminalpapillen eines Wandblättchens liegen am Blättchenrand schuppenartig übereinander. Dabei verbreitern sich die Zöttchenbasen distal, sie bilden zum Teil richtige Kämmе, und die Papillen selbst werden immer länger. Die Terminalpapillen werden von je einer in der Achse gelegenen A. und V. papillaris durchzogen, die an der Papillenspitze in Form einer kurzen apikalen Schleife ineinander übergehen. Die zentralen Papillengefäße entstammen den Bögen der Marginalgefäße des Blättchens. Aus der Terminalzöttchenarteriole geht ein sehr dichtes, verschlungenes Kapillarnetz hervor, welches über ein dichtes Venulengeflecht in die zentrale Papillenvene mündet. Die starke Basisverbreiterung wird auch dadurch erreicht, daß am proximalen Ursprung der einzelnen Papillen mehrere, proximodistal hintereinanderliegende kapilläre Schleifen, die distal immer höher werden, in den Basiskamm der einzelnen Papillen hineinziehen. Diese Schleifen könnten als *Sekundärpapillen* aufgefaßt werden. Der proximale Grat der Kappen- und vor allem der Terminalpapillen wird somit durch mehrere aufeinanderfolgende kapilläre Schleifen gebildet (Abb. 14c). Die Terminalpapillen stellen den am dichtesten vaskularisierten Abschnitt des ansonsten nicht so stark mit Blutgefäßen versorgten Wandsegmentes dar. An Bruchstellen kann ein sternförmiger Grundriß des Zöttchenkörpers beschrieben werden, der dadurch entsteht, daß am gesamten Zöttchenkegel radiär ausgerichtete subepidermale Kapillar- bzw. Venulenschlingen basoapikal übereinander angeordnet sind und sich über das Niveau des restlichen Papillengefäßkegels erheben.

Die aus den Lamellenfirsten entspringenden (äußeren) Terminalpapillen nehmen distal an Länge und Durchmesser zu, so daß die stärksten Terminalpapillen distal über das Niveau der Klauengrundfläche hinausragen. Die "inneren" Terminalpapillen, die direkt am Unschlagrand der Wandlamellen auf die Sohlenfläche entspringen, sind dagegen wieder kürzer und schlanker.

Gelegentlich findet man "*gespaltene*" Terminalpapillen, in dem Sinne, daß aus einer gemeinsamen Papillengrundfläche im distalen Drittel der Papille zwei meist gleich starke Papillenspitzen hervorgehen (Abb. 20a). Zum Teil lagern sich auch mehrere, dicht nebeneinander oder zusammen entspringende Terminalpapillen zu Zottenbüscheln zusammen. Außerdem finden sich häufig Neben- und Sekundärpapillen, also kleinere (aus relativ unverzweigten aber eigenständig entspringenden Gefäßschleifen bestehende) Papillen bzw. Papillenäste, die auf unterschiedlichster Höhe vom Körper der Hauptpapille entspringen können. Sie werden meist nur von einer einzigen verdrillten Gefäßschleife versorgt, die aus den entsprechenden zentralen Gefäßen der Hauptpapille abzweigt.

Die Kappenpapillengrundflächen erreichen eine Breite von 20 bis 60 μm , ihre Höhe variiert von proximal 30 bis 40 μm , bis zu 80 μm distal am Übergang zu den Terminalpapillen. Die Basen der proximalen Terminalpapillen erreichen eine Breite von bis zu 150 μm , ihre Höhe erreicht bis zu 200 μm , und sie werden bis zu 150 bis 200 μm lang. Die distalen Terminalpapillen erreichen 800 μm Länge und eine Höhe bis 300 μm , ihre Basiskämme beginnen mit einer Breite von 120 bis 150 μm , am Unschlagrand auf die Sohlenfläche erreichen sie eine Breite von 250 bis 300 μm . Besonders im abaxialen Bereich treten an den Terminalpapillenspitzen stark dilatierte Gefäßschlingen auf, vor allem in den Spitzenschleifen. Die Gefäßdurchmesser können in diesem Bereich bis zu 100 μm erreichen. Die dilatierten Abschnitte zeigen jedoch noch deutliche Endothelzellkerneindrücke. An ihrer Grenze zu den nicht dilatierten Gefäßabschnitten können zirkulär verlaufende, längliche Oberflächeneindrücke vorkommen (*Sphinkteren*).

Im abaxialen Wandbereich beträgt der Abstand zwischen den einzelnen Blättchen meist ca. 200 bis 300 μm , in Richtung Klauenrücken werden die Blättchen dichter und der Abstand zueinander verringert sich bis auf 150 μm . Am Übergang zum Ballensegment rücken die einzelnen Blättchen weiter auseinander, ihr Abstand kann dann bis 350 μm betragen. Im axialen Wandsegment beträgt der Blättchenabstand meist überall 250 bis 350 μm . Die Breite der Lederhautblättchen variiert im proximodistalen Verlauf ebenfalls stark. Beim Übergang aus dem Kronsegment sind die Lamellen nur 400 bis 600 μm breit, sie erreichen jedoch schnell ihre maximale Breite mit 1400 bis 1700 μm im mittleren Wandsegmentbereich. Im distalen Wandbereich verlieren sie wieder an Breite, sie sind dann am Übergang zur Sohlenlederhaut zwischen 800 und 600 μm breit. Da aus ihnen in diesem Bereich jedoch die Kappen- und Terminalpapillenreihen entspringen, die nach distal länger und

breiter werden, bleibt die Gesamtbreite der Wandlederhautmodifikationen auch im distalen Bereich bei 1200 bis 1700 μm erhalten. Auffallend ist, daß der Ursprung der Kappen- und Terminalpapillen im Bereich des Klauenrückens etwas weiter distal liegt als in den axialen bzw. abaxialen Wandarealen. Im proximalen Abschnitt des Wandsegmentes kommen zwischen den Lamellen vereinzelt kleine Leisten vor, die zum Teil auch kleine Papillen tragen.

Im Bereich der Blättchenbasis kommen wenige kurze, *direkte oder indirekte AV Anastomosen* zwischen den Aa. und Vv. lamellares vor (Abb. 15c bis 15e). Es handelt sich um kurze Verbindungen zwischen den Gefäßen, die eine Länge bis zu 150 μm erreichen können. Meist verlaufen sie bogen- oder hakenförmig. Es kann immer ein arterieller und ein venöser Schenkel mit für den jeweiligen Abschnitt typischen Endothelzellkerneindrücken (s. o.) unterschieden werden. Der arterielle Abschnitt weist mit 10 bis 15 μm einen deutlich geringeren Gefäßdurchmesser als der venöse mit 20 bis 35 μm auf, am Abgang des arteriellen Anastomosenabschnittes aus der A. lamellaris kann manchmal eine Gefäßeinengung mit zirkulären Zellkerneindrücken beobachtet werden (*präterminaler Sphinkter*). Zwischen dem arteriellen und dem venösen Schenkel der Anastomose kann in einigen Fällen ein deutliches intermediäres Segment mit typischen, sehr tiefen Endothelzellkerneindrücken identifiziert werden (indirekte AV Anastomose). Es ist meist im Scheitel des hakenförmigen Gefäßbogens lokalisiert. Die basalen AV Anastomosen sind jedoch nicht häufig und kommen ohne erkennbare Regelmäßigkeit vor, selbst in Bereichen mit vollständiger Gefäßfüllung kann nicht in jeder "Blättcheneinheit", d. h. den Aa. und Vv. lamellares, die aus jeweils einem basalen Gefäß hervorgehen, ein solcher Gefäßkurzschluß ausgemacht werden. Auch im mittleren und im äußeren Drittel des Blättchens kommen kurze, direkte AV Gefäßkurzschlüsse zwischen den arteriellen und venösen Blättchengefäßen vor. Sie verlaufen jedoch selten gerade, sondern meistens geschlängelt und gebogen. In einigen Fällen treten sie als Doppelbildung auf oder der arterielle Abschnitt drainiert über einen dichotom aufgeteilten venösen Abschnitt. Sie weisen jedoch keine deutlich zuordnungsbarer Endothelzellkerneindrücke auf, sondern ähneln kapillären Strukturen, so daß diese Gefäßkurzschlüsse nicht eindeutig als AV Anastomosen angesprochen werden. Diese Gefäßstrukturen sind selten und kommen nicht regelmäßig in der Blättchenangioarchitektur vor.

Häufiger, wenn auch nicht in erkennbar regelmäßigen Abständen vorkommend, sind am Blättchenfirst sehr kurze (15 bis 20 μm Länge), dafür aber weitlumigere (40 bis 50 μm Gefäßdurchmesser) direkte Gefäßkurzschlüsse zwischen den äußeren arteriellen und venösen Arkaden zu beobachten. Die Endothelzellkerneindrücke sind in diesen kurzen Gefäßabschnitten sehr undeutlich. Aufgrund ihrer Einordnung im terminalen Gefäßbett und da sie keine deutlichen, für AV Anastomosen typische Endothelzellkerneindrücke aufweisen, handelt es sich vermutlich um

sehr kurze und extrem dilatierte Kapillaren. Diese Gefäßkurzschlüsse treten vor allem im proximalen Wandbereich auf, an dem noch keine deutlich erkennbaren kapillären Schleifen aus der Randarterie entspringen. Im distalen Bereich mit den kapillären Schleifen und den aus den Randgefäßen entspringenden Kappen- und Terminalpapillen sind diese kurzen Gefäßkurzschlüsse ein sehr seltener Befund bzw. an den meisten Präparaten nicht vorhanden.

Auch im Bereich der Kappen- und Terminalpapillen kommen AV Anastomosen vor. In der Basis der Papillen findet man kurze, direkte AV Anastomosen, die einen arteriellen und venösen Abschnitt mit den jeweils für sie typischen, oben beschriebenen Endothelzellkerneindrücken aufweisen. Im mittleren Zöttchenbereich treten ebenfalls solche Gefäßkurzschlüsse auf, sie sind jedoch selten und können eine Länge von bis zu 200 µm erreichen. Ihr Verlauf ist meist haken- oder bogenförmig, und sie können Verzweigungen aufweisen. Aber auch in diesem Bereich der Lederhautgefäße ist keine Regelmäßigkeit im Vorkommen und der Verteilung der AV Anastomosen zu erkennen. Bei gespaltenen Terminalpapillen findet sich häufiger an der Aufspaltungsstelle ein kurzer, direkter AV Gefäßkurzschluß.

Im gesamten Blättchenbereich gibt es genau umschriebene dilatierte Gefäßabschnitte (Abb. 12d bis 12f). Diese weisen jedoch stets deutliche und solchen aus nicht dilatierten Gefäßabschnitten entsprechenden Endothelzellkerneindrücke auf, so daß davon ausgegangen werden kann, daß es sich um Funktionszustände der Gefäße und nicht um artifiziell während der Injektion erweiterte Gefäße handelt. Die Dilatationen kommen unregelmäßig verteilt im Bereich der Blättchenvenulen und sehr häufig im Kapillarnetz der Blättchen vor. Im venösen Kreislaufabschnitt treten dilatierte Bezirke meist an einer Verzweigungsstelle auf, die Gefäße sind ballonartig aufgetrieben und weisen auf ihrer Oberfläche deutliche, tiefe, polygonale Endothelzellkerneindrücke auf. Meist folgen die dilatierten Kreislaufabschnitte auf stark verengte Abschnitte mit deutlichen, zirkulär angeordneten Endothelzellkernabschnitten (Sphinkteren). Im Kapillarnetz sind die Gefäßdurchmesser sehr stark erweitert (zum Teil auf bis zu 40 oder 50 µm). Die dilatierten Bereiche erscheinen abgeplattet.

5.2.4 Sohlensegment (Abb. 16)

Die Sohlenleisten werden durch nahezu senkrecht in sie hineinziehende basale Arterien und Venen versorgt, die jeweils auch in der Achse der Leisten untereinander verbunden sind. Die Leistengefäße gehen wiederum aus dem gitterförmig angeordneten subpapillären Sohlenplexus hervor. Aus den basalen Leistengefäßen bzw. als deren distale Fortsetzung entspringen die zentralen Sohlenpapillengefäße. Die A. und V. papillaris centralis verlaufen meist gerade oder leicht geschlängelt im Zentrum des Zöttchens und gehen an der Zöttchenspitze über eine kapilläre Spitzenschleife ineinander über (Abb. 16b bis 16d), ihre Gefäßdurchmesser liegen zwischen 15 und

60 μm . Die hin- und abführenden Schenkel der Spitzenschleifen sind meist stark umeinander verdrillt. Das Verzweigungsmuster der Gefäße ist typisch für die Sohlenpapillen. Schon im Bereich der Papillengrundlage zeigen sie eine ausgeprägte Gefäßverzweigung mit Bildung eines dichten subepithelialen Gefäßnetzes, dieses setzt sich bis an die Papillenspitze fort, so daß die kapilläre Spitzenschleife oft nur schwer zu identifizieren ist. Außerdem werden viele Papillen von zwei oder drei zentralen Gefäßschleifen versorgt, so daß entsprechend viele Spitzenschleifen existieren, wobei jedoch meist eine weiter distal reicht als die anderen. Man könnte diese Papillen also auch als "gespaltene" Papillen (s. o.) bezeichnen, da die einzelnen Schleifengefäße untereinander verbunden sind. Häufig sieht man Gruppierungen von zwei oder drei einzelnen Papillen, deren zentrale Zottengefäße zwar einzeln aus den Sohlenleistengefäßen entspringen, die sich jedoch mit ihren Spitzen zusammenlagern. Zwischen diesen dicht vaskularisierten Papillen kommen *Nebenpapillen* vor, die schlanker und weniger hoch sind als die Hauptpapillen. Sie werden nur von einer Gefäßschleife durchzogen, die meist um sich selbst verdrillt und gar nicht oder nur wenig verzweigt ist. Zusätzlich weisen manche Hauptpapillen an ihrer Basis entspringende *Sekundärpapillen* auf, die durch meist unverzweigte Gefäßschleifen versorgt werden, welche aus den Hauptpapillengefäßen abzweigen. Außerdem können kurze, stummelförmige Papillen und kleine, leistenartige Erhebungen vorkommen, die nur von einzelnen kurzen, unverzweigten Gefäßschleifen bzw. arkadenartig untereinander verbundenen Gefäßschleifen gebildet werden. Die Länge der Sohlenpapillen variiert zwischen 600 und 800 μm , wobei die weiter wandwärts bzw. sohlenrandwärts gelegenen Zöttchen meist länger sind als die inneren Zöttchen der Sohlenchenkel; am niedrigsten sind die Papillen im inneren Bereich des Sohlenkörpers vor der Klauenspitze. Die Sohlenpapillen einer Sohlenlederhautleiste können zu Gruppen angeordnet sein, wobei sie jeweils in zentropetaler Richtung an Basisdurchmesser und Zöttchenlänge zunehmen. Die Basisdurchmesser der Zöttchen am Ursprung aus den Sohlenleisten betragen zwischen 120 und 150 μm . Die Sohlenpapillen haben einen eher rundlichen Papillenquerschnitt, in Richtung Sohlen-Wand-Übergang werden sie jedoch etwas abgeplatteter und nähern sich so in ihrer Form den Terminalpapillen an, die ja - wie oben beschrieben - eher flach sind, da sie aus den Lederhautblättchen hervorgehen.

Die Sohlenlederhaut gehört wie der Bereich der Terminalpapillen zu den stark vaskularisierten Abschnitten der Klauenlederhaut. An der Klauenspitze und im Bereich des abaxialen Sohlenchenkels kommen extrem dilatierte Spitzenschleifen (bis zu 120 μm Durchmesser) mit deutlichen Endothelzellkerneindrücken vor. Diese dilatierten Bereiche können durch zirkulär verlaufende, längliche Endothelzellkerneindrücke von den nicht dilatierten Gefäßabschnitten abgetrennt sein (*Sphinkteren*). An der Basis der Sohlenpapillen können selten und ohne erkennbare Regelmäßigkeit kurze, oft zweigeteilt verlaufende, direkte AV Gefäßkurzschlüsse dargestellt werden (Abb. 16f).

5.2.5 Ballensegment (Abb. 17 bis 19)

Proximaler Abschnitt des Ballensegmentes (Abb. 17a u. 17c):

Im proximalen Abschnitt des Ballensegmentes bilden niedrige, meist senkrecht ausgerichtete oder leicht nach apikal geneigte Lederhautleisten den dichten subpapillären Gefäßplexus, der wiederum aus dem sehr dichten Gefäßnetz der Unterhaut gespeist wird. Das subkutane Gefäßnetz (Abb. 19a bis 19c) besteht aus einem dichten Netzwerk größerer Arterien und Venen, wobei jeweils die arteriellen bzw. die venösen Gefäße untereinander durch strickleiterartige Querverbindungen verbunden sind. Die größeren Ballengefäße zeigen häufig einen geschlängelten Verlauf. Das aus ihnen hervorgehende dichte Netz kleinerer Gefäße ist bienenwabenartig angeordnet. Auch die kleinervolumigen Gefäße, also Arteriolen, kleine Venen und Venulen, zeigen einen stark geschlängelten Verlauf und sind über ein knäueiförmiges Kapillarnetz verbunden.

Die Lederhautleisten werden wie im Sohlensegment durch senkrecht in sie hineinziehende Arterien und Venen versorgt, die sich im Leistenfirst verzweigen und auch untereinander anastomosieren. Aus dem Gefäßgeflecht in der Lederhautleiste entspringend bzw. als deren distale Fortsetzung ziehen die A. und V. papillaris centralis, die im Zentrum des Zöttchens liegen, zur Spitze und gehen über eine sehr lang ausgezogene Spitzenschleife ineinander über. Die hin- und abführenden Schenkel der Spitzenschleife sind im distalsten Abschnitt meist nicht umeinander verdrillt, der abführende Schenkel liegt in der Regel an der Unterseite der Schleife. Im Bereich der Papillenbasis und im unteren Drittel der Zöttchen verzweigt sich die A. papillaris in ein dichtes subepidermales Kapillarnetz, das über kleine Venulen in die Papillenvene drainiert (Abb. 18b u. 18c). Das Kapillarnetz kann an der Papillenbasis kleine, übereinanderliegende Bögen bilden, so daß die Papillenbasis einen sternförmigen Querschnitt bildet. Im Verlauf des Zöttchens liegen diese peripheren Gefäßschleifen jedoch nicht streng basoapikal orientiert übereinander, sondern sind so orientiert, daß sie sich bei Aufsicht auf den Zöttchenkegel korkenzieherartig um die Achse des Zöttchens winden. Häufig teilt sich die Papillenvenule in diesem Bereich in zwei oder drei gleichstarke Äste, die dann in die zugehörige Lederhautleiste ziehen. Die zentralen Papillengefäße weisen einen Durchmesser zwischen 20 und 40 µm auf. Die äußeren zwei Drittel der Ballenzöttchen werden nur von der lang ausgezogenen Spitzenschleife gebildet.

Neben diesen Hauptpapillen treten zahlreiche "segmentuntypische" Nebenpapillen auf (Abb. 18e u. 18f), die entweder gemeinsam mit einer Hauptpapille aus der Lederhautleiste hervorgehen können (*Sekundärpapillen*) oder eigenständig zwischen diesen aus den Leisten entspringen (*Nebenpapillen*). Die Sekundär- und Nebenpapillen weisen eine starke Variationsbreite bezüglich ihrer Breite und Länge auf; meist sind sie schlank und sehr lang ausgezogen, oder sie sind kurz mit

stumpfkegeliger Form. Die schlanken Neben- und Sekundärpapillen werden von einer einzigen unverzweigten Gefäßschleife versorgt, die vor allem im Basisbereich stark umeinander verdreht ist. Die breiteren Nebenpapillen zeigen wie die Hauptpapillen im Basisbereich ein subepitheliales, rippenartig über das Niveau des restlichen Gefäßkegel hinausragendes Gefäßnetz.

An ihrer Basis sind die Hauptpapillen zwischen 120 und 150 μm breit und verjüngen sich bis zu ihrem mittleren Drittel rasch auf 50 bis 80 μm Breite. Ihre Gesamtlänge beträgt zwischen 1 und 2 mm, das heißt, daß die Spitzenschleifen zwischen 500 und 1200 μm lang ausgezogen sind. Die Nebenpapillen sind meist nur 500 bis 800 μm lang. Die nicht zottentragenden Lederhautleisten sind zwischen 20 und 60 μm hoch.

Als besondere Gefäßstrukturen fallen in diesem Abschnitt des Ballens Zöttchen mit spiralartig übereinanderliegenden Papillengefäßen in der Zottenbasis auf (Abb. 18d). Die eintretenden Papillenarterien und auch die Papillenvenen liegen dicht beieinander und sind gartenschlauchartig in zwei bis drei Lagen übereinanderliegend "aufgewickelt" (Rankengefäße), bevor sie in die Achse des Zöttchens eintreten.

Distaler Abschnitt des Ballensegmentes (Abb. 17b, 17d u. 17f):

Die Form und Angioarchitektur der Zotten entspricht den im proximalen Ballensegment beschriebenen Strukturen. Die Zotten sind jedoch spitzkegeliger und in ihren Spitzen nicht so lang ausgezogen. Am Übergang zum Sohlensegment werden die Zotten schlanker, und es neigt sich nicht nur die Papillenspitze nach apikal, sondern die ganze Papille neigt sich durch zunehmende Schrägstellung der Papillennachse zur Klauenspitze. Auch im distalen Ballensegment finden sich neben den spitzkegelförmigen Hauptpapillen lange, schlanke oder kurze, stumpfkegelige *Nebenpapillen* sowie schlanke *Sekundärpapillen*, die jeweils aus einer einzelnen Gefäßschleife gebildet werden. Außerdem treten auch hier nichtzottentragende zwischen den zottentragenden Lederhautleisten auf, jedoch in geringerer Anzahl als im proximalen Ballenabschnitt.

Die Papillendurchmesser betragen an ihrer Basis zwischen 120 und 180 μm , die Länge der Papillen beträgt 800 bis 1400 μm .

In der Papillennbasis und im unteren Drittel der Zöttchen können wenige direkte, kurze AV Anastomosen vorkommen, die den bereits beschriebenen basalen AV Anastomosen in den anderen zottentragenden Lederhautsegmenten entsprechen (Abb. 19d).

5.2.6 Zwischenklauenbereich (Abb. 19e u. 19f)

Der Übergang von der behaarten Haut in den Zwischenklauenbereich wird ebenso wie an der behaarten Haut-Saum-Grenze durch die Längenzunahme der Lederhautzotten und den Wegfall der

körbchenartigen Gruppierung der Papillen (um die Haarfollikel) deutlich. Eine exakte Abgrenzung des Zwischenklauenbereiches zum angrenzenden Saumbereich und palmar bzw. plantar zum Ballensegment ist nicht möglich, der Übergang erfolgt "fließend".

Der Zwischenklauenbereich zeigt dichte, lang ausgezogene Lederhautpapillen, die nahezu senkrecht aus dem subpapillären Plexus entspringen und sich dann sanft distal umbiegen. In ihrer Form, Dichte und Angioarchitektur entsprechen die Zwischenklauenspaltpapillen den Papillen des Saumsegmentes. Sie haben proximal direkt an der Grenze zur behaarten Haut Längen von 300 bis 450 μm , distal erreichen sie zwischen 1 und 2 mm Länge. Die Zottenbasen haben einen Durchmesser von 50 bis 150 μm . Die Zotten zeigen eine wesentlich geringere Abwinkelung als die Saumpapillen, haben aber ebenfalls wie diese die Tendenz zur Zusammenlagerung in Form von Zottenbüscheln (besonders ausgeprägt bei Mercocox[®]-MMA-Präparaten).

5.3 Afterklaue

Die Afterklauen zeigen grundsätzlich die gleichen REM-Strukturen wie die Hauptklauen mit entsprechend kleineren Dimensionen (Abb. 6a u. 6b) und einer geringeren Gefäßdichte, d. h., sie zeigen sowohl eine geringere Dichte der Lederhautzöttchen bzw. -blättchen an sich als auch eine geringere Gefäßdichte in diesen Strukturen (subepidermales kapilläres Netz). Die in die Lederhautpapillen und -lamellen hineinziehenden Gefäße sind nicht eindeutig Arteriolen und Venulen zuzuordnen, sondern haben kapillären Charakter. Sie zeigen weniger und nicht so eindeutige Endothelzellkerneindrücke wie an den Hauptklauen.

Die zottentragenden Segmente der Lederhaut weisen nicht so deutliche Unterschiede in der Papillenangioarchitektur oder -ausrichtung auf. So zeigen z. B. die Kronpapillen keine starke distale Winkelung (Abb. 8d). Die Ballenpapillenspitzen sind nicht so lang ausgezogen wie an der Hauptklaue und nur geringgradig zur Klauenspitze hin geneigt. Die Papillen des proximalen und distalen Ballensegmentes bzw. die Sohlen- und Ballenpapillen sind wegen des Fehlens der segmenttypischen Angioarchitektur und Ausrichtung nur sehr schwierig voneinander abzugrenzen. Außerdem fehlen im gesamten Lederhautbereich Neben- oder Sekundärpapillen. Die Lederhautblättchen teilen sich an der Afterklaue nicht. Das lamelläre Gefäßbild ist an den Afterklauen sehr einfach und besteht aus einem annähernd zweidimensional ausgerichteten, lichten kapillären Netz, das proximal weit ausgezogene Randbögen und erst distal eine periphere Randschleifenbildung aufweist (Abb. 11f). Die Ausbildung von Kappen- und Terminalpapillen ist viel geringgradiger und beginnt weiter distal als an der Hauptklaue. Die Kappenpapillen können nicht eindeutig von Terminalpapillen abgegrenzt werden. Die Sohlen- und Terminalpapillen ähneln sich

ebenfalls in ihrer Ausrichtung und Architektur, so daß auch diese nur schwierig gegeneinander abgegrenzt werden können.

Es können weder basale AV Anastomosen noch sogenannte "glomus bodies" in den Zöttchen und Bättchen dargestellt werden, dilatierte Kreislaufabschnitte mit eindeutigen Endothelzellkernabdrücken kommen ebenfalls nicht vor.

5.4 Kälberklaue

An der Kälberklaue zeigen sich bei der REM-Untersuchung die gleichen Strukturen wie bei der adulten Klaue, jedoch mit entsprechend kleineren Dimensionen.

Auffällig ist, daß generell an den zottentragenden Lederhautsegmenten weniger Neben- und fast keine Sekundärpapillen auftreten. Außerdem sind die Lederhautblättchen nicht gewellt und teilen sich seltener als an der adulten Klaue.

Der Hauptunterschied zu den adulten Klauen liegt in der geringeren Gefäßdichte der Lederhaut. Die Gefäßdichte ist generell in allen Segmenten niedriger, und vor allem das subepidermale kapilläre bzw. venuläre Netz ist nicht so stark ausgebildet. Besonders deutlich ist dies in den Blättchen des Wandsegmentes zu erkennen (Abb. 11d u. 11e). An der Lamellenbasis gehen im Vergleich zu den Verhältnissen an der adulten Klaue viel weniger Kapillaren aus den Aa. lamellares hervor. Ein gut ausgeprägtes kapilläres Netz findet sich erst im äußeren Drittel der Lamellen. Überhaupt ist das lamelläre Gefäßnetz noch nicht so stark in einen deutlichen arteriellen bzw. venösen Kreislaufabschnitt differenziert, es können nur wenige Gefäßabschnitte - diese meist an der Lamellenbasis - mit deutlichen, eindeutigen Endothelzellkerneindrücken oder typischen Verzweigungsmustern dargestellt werden. Generell gewinnt man den Eindruck eines zweidimensional orientierten, arkadenartig verästelten, lichten kapillären Netzes, das im proximalen Wandbereich am Blättchenfirst weit ausgezogene kapilläre Bögen bildet. Erst im distalen Wandbereich wird das kapilläre Netz dichter, und die peripheren Kapillarbögen rücken dichter zusammen und werden länger, um dann wie bei der adulten Klaue schließlich die Kappen- und Terminalpapillengefäße zu bilden. Die Kappen- und Terminalpapillenbildung beginnt jedoch weiter distal als an der adulten Klaue. Besonders die Terminalpapillen sind nicht so dicht angeordnet wie an der adulten Klaue und durch die geringgradigere Ausprägung eines subepidermalen kapillären Netzes auch weniger stark vaskularisiert.

Echte AV Anastomosen sind viel seltener zu finden als an der adulten Klaue, ebenso dilatierte Gefäßabschnitte. Es können keine "glomus bodies" nachgewiesen werden.

5.5 Befunde an unveränderten Klauen nach Injektion mit vasoaktiven Substanzen

Generell entspricht das REM-Bild von Mikrokorrosionspräparaten nach Injektion von Laktat und Histamin den Präparaten ohne diese Vorbehandlung. Auffällig ist jedoch, daß sowohl nach Einwirkung von Laktat als auch von Histamin vermehrt einzelne kapilläre Spitzenschleifen der Lederhautpapillen erweitert sind. Häufig ist das subepitheliale Kapillarnetz der Papillen mit erweiterten Spitzenschleifen nur an der Basis oder gar nicht gefüllt (Abb. 20f). Diese Veränderung findet sich in allen Segmenten.

Außerdem ist bei diesen Präparaten die arterioarterielle Verbindung zwischen dem dorsal ausgerichteten Ast des Arcus terminalis und den Aa. coronales erweitert. Die Gefäße des axialen Bereiches des Wand- und Kronsegmentes sind unter Einwirkung der vasoaktiven Substanzen auch an ausgeschuhten Klauen, die durch die neu entwickelte Injektionsmethode sonst in diesem Bereich eine gute Füllung aufweisen, nur schlecht oder gar nicht gefüllt. Die Klauenbeinarterie erscheint an ihrem Eintritt in den Knochen am Klauenspaltloch eingeengt, ebenso die im Knochen verlaufenden Gefäße des Arcus terminalis und seiner Teilungsäste.

5.6 Exemplarische Befunde an pathologisch veränderten Klauen

An allen untersuchten pathologisch veränderten Klauen bleiben die Grundstrukturen der Angioarchitektur des Papillarkörpers, also der Papillen und Lamellen, in allen Segmenten erhalten. Die Form, Dimensionen, Dichte sowie Ausrichtung der Zöttchen und Blättchen sind jedoch zum Teil erheblich verändert.

Auffällig ist, daß das *Saumsegment* meist gar nicht und das Kronsegment nur wenig von Veränderungen betroffen sind und daß auch die Blättchen des Wandsegmentes nur wenig verändert sind. Im *Kronsegment* treten häufiger Neben- und Sekundärpapillen auf als an unveränderten Klauen, die Dimensionen der einzelnen Zöttchen und deren Ausrichtung bleibt jedoch weitestgehend unverändert. Sogenannte glomus bodies können ebenfalls häufiger als an unveränderten Klauen dargestellt werden, es ist jedoch wiederum keine erkennbare Regelmäßigkeit oder ein Bezug zu bestimmten Strukturen zu erkennen. Im *Wandsegment* gabeln sich die Blättchen häufiger als an unveränderten Klauen, und zwar besonders im abaxialen Wandsegment und im Bereich des Klauenrückens.

Die meisten und auch gravierendsten Veränderungen der Angioarchitektur des Papillarkörpers finden sich an den *Zöttchen des Sohlen- und Ballensegmentes* sowie an den *Terminalpapillen* des Wandsegmentes. In diesen zöttchentragenden Bereichen, die den fußenden Teil der

Klauenlederhaut bzw. die Klauengrundfläche umfassen, ist die Zahl der Neben- und Sekundärpapillen auffallend höher als an unveränderten Klauen. Außerdem treten häufig "gespaltene" Papillen auf (Abb. 20a). Die Form, Größe und Dichte der Zöttchen wie auch ihre Ausrichtung kann erheblich verändert sein.

Zusätzlich finden sich in diesem Bereich wesentlich häufiger dilatierte Gefäßstreckenabschnitte als an unveränderten Klauen. Dabei sind in allen Segmenten der Klauenlederhaut besonders häufig die kapillären Spitzenschleifen erweitert (Abb. 20b), außerdem verlaufen sie häufig stärker geschlängelt als an den unveränderten Klauen (Abb. 14b u. 16b). Diese Veränderung findet sich ebenfalls nur sehr selten im Saumsegment und besonders häufig in den Zöttchen des fußenden Klauenlederhautbereiches.

Basale direkte AV Anastomosen können in allen Segmenten der veränderten Klauen häufiger dargestellt werden als an unveränderten Gliedmaßen. Sie sind besonders häufig im distalen Bereich des Wandsegmentes und in den Lederhautabschnitten der Klauengrundfläche lokalisiert.

5.6.1 Umschriebene Hyperämie der Lederhaut am Prädispositionsort für das RUSTERHOLZ'sche Klauensohlengeschwür

Die Präparate mit umschriebener Hyperämie an der für Klauensohlengeschwüre prädisponierten Lokalisation zeigen nahezu unveränderte Papillenbereiche an der Klauengrundfläche, also im Ballen- und Sohlensegment und an den Terminalpapillen des Wandsegmentes, es kann jedoch ein geringgradig erhöhtes Auftreten von Sekundär- und Nebenpapillen bzw. von "untypischen", also in Form, Länge und Ausrichtung veränderten Hauptpapillen festgestellt werden (Abb. 20c u. 20d).

Die hochgradigen Veränderungen betreffen einen lokalisierten Bereich am Übergang vom proximalen zum distalen Ballensegment in Höhe einer Verbindungslinie zwischen den beiden Enden der Weißen Linie. Hier sind die Papillengefäße stark gefüllt, dilatiert und zeigen häufig einen gewundenen Verlauf. Besonders auffällig ist eine starke Dilation der Spitzenschleifen, die nicht mehr den Ballensegment-typischen langgestreckten, zur Klauenspitze ausgerichteten Verlauf aufweisen, sondern stark geschlängelt und verkürzt erscheinen (Abb. 20e).

Die zuführenden Gefäßäste des Arcus terminalis sowie der Arcus terminalis selbst und die Klauenbeinarterie zeigen keine Lumen- bzw. Verlaufs-Abweichungen im Vergleich zu unveränderten Klauen.

5.6.2 Ballenhornerosion

Bei der Ballenhornerosion ist die Form, Länge und Ausrichtung der Papillen vor allem im proximalen Ballensegment stark verändert und korreliert mit den epidermalen Veränderungen, die

bei der Voruntersuchung der Gliedmaßen offensichtlich wurden. Neben Arealen mit einheitlichem, "normalen" Papillennbild zeigen sich Gebiete mit stark veränderten Papillen.

In den veränderten Arealen variiert das Papillennbild erheblich. Zum einen finden sich Ballensegment-typische Hauptpapillennareale mit erheblich vergrößerten Anzahl von Sekundär- und Nebenpapillen (Abb. 20c u. 20d), daneben treten aber auch stark verkürzte Papillen mit breiten Basen auf ("Stummelpapillen"), denen die für das Ballensegment typische lang ausgezogene Spitzenschleife fehlt, sowie Gebiete, in denen die schmalen Lederhautleisten dominieren, aus denen nur kurze Gefäßschleifen oder wenig verzweigte, kurze Gefäßbögen entspringen. Zusätzlich kommen kurze, gedrungene Papillen mit gespaltenen Papillenspitzen vor. In einigen Gebieten lagern sich die Ballenpapillen verstärkt zu Zottenbüscheln zusammen.

Die veränderten Papillen weisen häufig dilatierte und eingeengte Gefäßbezirke auf, das Gefäßverzweigungsmuster erscheint im Vergleich zu den "ballentypischen" unveränderten Hauptpapillen eher ungeordnet und unregelmäßig. Die subepidermalen Kapillaren sind häufig verdrillt und gewunden, ebenso die kapilläre Spitzenschleife.

An der Basis der Papillen, im tiefen dermalen Gefäßplexus und in den subkutanen Gefäßen finden sich häufiger AA Anastomosen als an unveränderten Klauen. Diese Gefäßkuzschlüsse sind häufig gewunden und zeigen abwechselnd dilatierte und verengte Abschnitte.

5.6.3 Veränderungen im Zwischenklauenspalt/Dermatitis interdigitalis

Diese Präparate sind schon makroskopisch verändert. Die Zotten des Zwischenklauenbereiches sind sehr lang (bis zu 4 mm, in Extremfällen sogar bis zu 5 mm) und sehr stark zu großen Zottenbüscheln zusammengelagert. Das REM-Bild ist durch besonders viele blind endigende, stark dilatierte Papillengefäße und das Auftreten von vielen Kapillarschleifen bzw. blind endigenden Kapillaren charakterisiert. Die extrem verlängerten Hauptpapillen weisen ebenfalls stark dilatierte zentrale Papillengefäße auf und zeigen ein ungeordnetes, häufig stark gewundenes Kapillarsystem. Neben den Hauptpapillen kommen viele segmentuntypisch geformte bzw. ausgerichtete Neben- und Stummelpapillen vor.

Der subpapilläre Plexus hat an vielen Stellen seine geordnete, gitterartige Struktur verloren; stattdessen finden sich ungeordnete Gefäßstränge, die stark miteinander anastomosieren und häufig gewunden sind.

5.6.4 White-Line-Disease

Bei den Präparaten mit White-Line-Disease erscheinen vor allem die Terminalpapillen und die äußeren Papillen des axialen und besonders des abaxialen Sohlensegmentschenkels verändert (Abb. 20a u. 20b). Die distalen Enden der abaxialen Lederhautblättchen teilen sich häufiger.

Wie bei den anderen untersuchten Klauenerkrankungen manifestiert sich die White-Line-Disease ebenfalls in der weitergehenden Zergliederung des Papillarkörpers durch das Auftreten von zusätzlichen Sekundär- und Nebenpapillen sowie deformierten, also "segmentuntypischen" Hauptpapillen. Die Terminal- und Sohlenpapillen variieren stark in ihrer Länge und Breite, in manchen Bereichen treten sie in büschelartigen Gruppen auf. Im abaxialen Sohlensegmentschenkel entspringen die veränderten Papillen in unregelmäßigen Abständen aus den basalen Leisten oder gruppieren sich ebenfalls zu Zottenbüscheln.

Kappen-, Terminal- und Sohlenpapillen zeigen besonders häufig geschlängelt verlaufende (Abb. 14b u. 16b) oder extrem dilatierte Spitzenschleifen (Abb. 20b) und sphinkterartige Gefäßbereiche an ihrer Basis. Zusätzlich fallen aber auch bei diesen Präparaten eine leicht verstärkte Neben- und Sekundärpapillenbildung sowie das Auftreten deformierter Hauptpapillen in den restlichen Abschnitten der Klauengrundfläche auf, jedoch ohne erkennbare Regelmäßigkeit oder besondere Häufung.

6. Lichtmikroskopische Untersuchung von Serienschnitten

Die lichtmikroskopische Untersuchung zur Angioarchitektur der Lederhautgefäße anhand von Serienschnitten war als Kontrolluntersuchung erforderlich, um die Befunde, die anhand der REM-Untersuchung der Mikrokorrosionspräparate erhoben wurden, zu überprüfen.

Die Untersuchung von Mikrokorrosionspräparaten birgt methodisch bedingte Schwachstellen und Probleme (siehe Diskussion, ab S. 122). Das Hauptproblem der Mikrokorrosionsmethode besteht darin, eventuell nur einen Teil der gesamten Mikrovaskularisation zu replizieren bzw. nur bestimmte Wege der Mikrozirkulation (zum Beispiel nur bestimmte nutritive oder funktionelle Kreislaufabschnitte) darzustellen. Außerdem kann eine Diagnose der jeweiligen Kreislaufabschnitte oder besonderer Kreislaufeinrichtungen nicht immer eindeutig anhand des Gefäßverlaufes oder typischer Endothelzellkerneindrücke gestellt werden, und Artefakte können nicht immer sicher als solche abgegrenzt werden. Die Beurteilung von Gefäßdimensionen, die anhand von Mikrokorrosionspräparaten ermittelt werden, sind aufgrund der methodischen Schwierigkeiten kritisch zu betrachten. Die Untersuchung der Lederhautangioarchitektur anhand von Serienschnitten aus der Klauenlederhaut sollte im direkten Vergleich mit der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung

der Mikrokorrosionspräparate deren Ergebnisse hinsichtlich der angesprochenen Problematik überprüfen und komplettieren.

6.1 Untersuchung zum Füllungsgrad der Mikrokorrosionspräparate

Aus mit Mercocox[®]-MMA-Gemisch bzw. mit Tensolzement[®]-Ethylacetat-Gemisch injizierten Gliedmaßenenden wurden vor der Mazeration Proben aus allen Segmenten für eine histologische Voruntersuchung des Füllungsgrades der Klauenlederhautgefäße vorgenommen. Dabei sollte vor allem ermittelt werden, ob die Gefäße der Endstrombahn vollständig mit dem jeweiligen verwendeten Injektionsmedium gefüllt werden konnten.

In den leicht zu füllenden Abschnitten der Klauenlederhautgefäße (Saumsegment, Sohlensegment, Ballensegment, Terminalpapillen des Wandsegmentes) kann der injizierte Kunststoff sicher in allen angeschnittenen Gefäßen dargestellt werden. Die Spitzenschleife als peripherster Abschnitt der Zöttchenendstrombahn ist sowohl im Längs- als auch im Querschnitt mit Kunststoff gefüllt. Die Kapillaren im Zöttchenkörper sind ebenfalls regelmäßig gefüllt.

Auch in den schwerer zu füllenden Abschnitten der Klauenlederhaut (Kronsegment, Wandsegment) sind alle größeren angeschnittenen Gefäße mit dem Injektionsmedium gefüllt. Im Kronsegment sind auch die Spitzenschleifen der Zöttchen und die Kapillaren im Zöttchenkörper mit Kunststoff gefüllt. Im Wandsegment können ebenfalls vollständig gefüllte Abschnitte dargestellt werden, in denen neben den Aa. und Vv. lamellares auch die Kapillaren im Blättchen und die Spitzenschleifen der Kappenpapillen am Blättchenfirst mit dem Injektionsmedium gefüllt sind.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind bereits an anderer Stelle dokumentiert worden (HIRSCHBERG et al., 1999).

6.2 Angioarchitektur der Lederhautgefäße

Die lichtmikroskopische Untersuchung der Angioarchitektur der Lederhautgefäße anhand von Serienschnitten bestätigt die Befunde, die durch die REM-Untersuchung der Mikrokorrosionspräparate ermittelt wurden. Dabei wird deutlich, daß das subepidermale Gefäßnetz (Kapillaren und postkapilläre Venulen) immer bis dicht an die dermo-epidermale Grenzfläche heranzieht. Eine exemplarische Dokumentation aus dem Sohlen- und Wandsegment erfolgt in der Abb. 21.

Allgemeines zur Histologie der Lederhautgefäße

Die *Arterien* der Klauenlederhaut sind vom deutlich muskulösen Typ, ihre Tunica media besteht an größeren und kleineren Arterien fast ausschließlich aus rein zirkulär angeordneter Muskulatur, während die Tunica adventitia aus zirkulär, longitudinal und spiralig verlaufenden (hauptsächlich kollagenen, wenigen elastischen) Fasern besteht. Die Arteriolen bestehen aus englumigen Endothelrohren, denen ein bis zwei Lagen zirkulär orientierter Muskelzellen aufgelagert sind (Abb. 21e). Diese Muskelzellen können an Abzweigungsstellen des Gefäßes stärker ausgeprägt sein und das Gefäßlumen einengen (präterminaler Sphinkter). Als Besonderheit finden sich *Sperr- bzw. Polster-arterien*, deren zirkulärer Ringmuskulatur innen noch deutliche, längsorientierte Muskelzüge anliegen.

Die kleineren *Venen* (Sammelvenulen und kleine Sammelvenen) im tiefen und subpapillären Plexus der Lederhaut der Klaue sind meist großlumig. Neben der Tunica intima mit dem auskleidenden Endothel und dessen Basalmembran können meist keine venentypischen Wandelemente differenziert werden. Die Endothelschläuche liegen in einem lockeren Bindegewebe, das keine eindeutige Zuordnung zur Gefäßwand bzw. zum umliegenden Bindegewebe der Dermis zuläßt (Abb. 21f). Die größeren Venen besitzen keine muskulären Elemente in ihrer Tunica media, welche ausschließlich aus kollagenen, mit spärlichen elastischen Elementen durchsetzten Faserbündeln besteht und kaum von den Faserzügen der Tunica adventitia abzugrenzen ist. Außerdem kommen auch größere Venen vor, die keine deutliche Tunica media oder adventitia besitzen, so daß ihr Wandbau einem sehr großlumigen Endothelschlauch entspricht, der locker in das umgebende Bindegewebe eingefügt ist.