

## II. LITERATURÜBERSICHT

### 1. Definition der Kralle

Die Kralle (Unguicula) gilt nach BOAS (1883) und ZIETZSCHMANN (1918) als die ursprünglichste Form des Zehenendorganes. Der Nagel (Unguis) entstand durch Rückbildung des Sohlenhornes und verringerter Krümmung der Hornplatte. Huf (Ungula) und Klaue entstanden durch Verstärkung von Sohlenhorn und Hornplatte, sowie Verminderung der Plattenkrümmung in Längsrichtung.

In der Literatur wird die Kralle im engeren und im weiteren Sinne definiert.

Die Kralle im engeren Sinne (i.e.S.) wird von GEGENBAUER (1885) als der Hornschuh definiert, der nach einer Mazeration isoliert ist. Damit sind die lebenden, tiefen Epidermisschichten ausgeschlossen, da diese bei der Mazeration zerstört werden (BAIER, 1950).

BOAS (1894) zählt zur Kralle i.e.S. die „oben“<sup>1</sup> (dorsal) und „seitlich“ (lateral) liegende Krallenplatte und die „unten“ (palmar bzw. plantar<sup>2</sup>) liegende Krallensole, bezieht aber stets in seine Betrachtungen Krallenwall und Ballen mit ein und weist damit auf die Komplexität der Kralle hin. SEIDEL (1992) definiert nur die gekrümmte Krallenplatte als Kralle i.e.S., da das Sohlenhorn beim „Ausschuhen“ (Exunguiculation) an der Lederhaut verbleibt.

ZIETZSCHMANN (1918) führt nun die Bezeichnung „Kralle im weiteren Sinne“ (i.w.S.) ein und setzt diesen Begriff mit dem von ihm ebenfalls geprägten Begriff „Zehenendorgan“ gleich. Die Kralle i.w.S. umfaßt das dritte Zehenglied (Krallenbein), das distale Zehengelenk, die am Krallenbein ansetzenden Bänder und Sehnen und, als Überzug, die modifizierte Haut, wozu Krallenwall und Ballen mitberücksichtigt werden. Der Autor bezeichnet auch erstmals den proximalen Teil der Kralle, in dessen Bereich das meiste Horn produziert wird, als Krone. SEIDEL (1992) unterscheidet dagegen die Begriffe „Kralle im weiteren Sinn“ und „Zehenendorgan“. Zu ersterem zählt er die epidermale Matrix mit dem von ihr gebildeten Krallenplatten- und Sohlenhorn sowie die modifizierte Lederhaut mit den von ihr umhüllten Stützteilen (Processus unguicularis des Krallenbeines und Os sesamoideum distale). Zum Ze-

---

<sup>1</sup> Vom Autor verwendete Begriffe, die mitunter auch überholte Bezeichnungen darstellen können, werden in Anführungsstriche gestellt.

<sup>2</sup> Im weiteren Verlauf des Textes wird nur noch die Bezeichnung palmar verwendet, wobei im Falle einer Kralle der Hintergliedmaße der Begriff plantar einzusetzen ist.

henendorgan zählt er zusätzlich zur Kralle den Zehenballen, der bei Huf und Klaue innerhalb des Hornschuhs eingeschlossen ist. Deswegen dürfen nur dort die Begriffe „Huf und Klaue im weiteren Sinn“ und „Zehenendorgan“ synonym gebraucht werden.

## **2. Funktion der Kralle**

Unterschiedliche Funktionen homologer Körperteile äußern sich in der spezifischen Struktur derselben. Aus der Form des Zehenendorganes lassen sich Rückschlüsse auf die Lebensweise eines Tieres ziehen.

Wie alle Zehenendorgane dient die Kralle in erster Linie als Schutzorgan der Extremitätenspitze und als Waffe für Angriff oder Verteidigung (ZIETZSCHMANN, 1918). Darüber hinaus dient die Kralle zum Graben und, besonders bei der Katze, zum Ergreifen und Klettern. Während Klaue und Huf die Körperlast tragen müssen, übernehmen dies bei den Krallentieren die Zehen- und Sohlenballen (BOAS, 1883).

### **2.1. Katzenkralle**

Die Spitze der Katzenkralle ist dolchartig scharf und ihre Seitenränder baummesserartig schneidend. Sie wird von HABERMEHL (1995) als Schneidkralle bezeichnet. Beim Hängeklettern dient sie als Einhakvorrichtung.

Die Krallen der Katze verharren mittels elastischer Bänder in einer Schonstellung, in der sie keinen Bodenkontakt haben. Das distale Krallengelenk wird stark überstreckt, dabei liegt die dorsale Krallenbeinbasis der mittleren Phalanx lateral an. Durch Kontraktion des tiefen Zehenbeugers (WÜNSCHE u. PREUSS, 1972) wird der Widerstand der elastischen Bänder überwunden. GONYEA u. ASHWORTH (1975) wiesen nach, daß zum Vorstrecken der Krallen eine gleichzeitige Kontraktion von Zehenbeugern und Zehenstreckern nötig ist, bei alleiniger Kontraktion der Zehenbeuger kommt es nur zu einer Beugung der Phalangen. FREWEIN und WALLER-BERGER (1994) schreiben die Beugung der Zehengelenke mit gleichzeitigem Ausfahren der Krallen der Kontraktion des *M. flexor digitalis profundus* zu, während die Beugung der Zehengelenke ohne Ausfahren der Krallen auf die Kontraktion des *M. flexor digitalis superficialis* zurückzuführen ist. Da die elastischen Bänder auch fächerförmig dort in die Haut einstrahlen, wo diese sich auf die Kralle umschlägt, wird die Haut bei

vorgestreckter Stellung der Kralle zurückgestreift und zurückgehalten (WÜNSCHE u. PREUSS, 1972). Die Feliden sind die einzigen Krallenträger, bei denen dieser Mechanismus ausgebildet ist (ZIETZSCHMANN, 1918). Ist die Katze zur Kontraktion der tiefen Beugesehne nicht mehr fähig, wie es z. B. bei einer Tenektomie zur Verhinderung des Kratzens der Fall ist (eine Operation, die in den USA durchaus üblich, in Deutschland dagegen aus tierschützenden Gründen verboten ist), so wird die Kralle in ihrer Form dicker und stumpfer, da die Katze nicht mehr in der Lage ist, die Krallen zu wetzen und sie dabei scharf zu machen, indem sie sie von alten Hornscheiden befreit (RIFE, 1988).

BOAS (1883) weist auf die deutliche Ausprägung des Nagelwalles sowie der knöchernen Crista unguicularis des Grab- und Kletterwerkzeuges Kralle hin. Dies ist bei der Katze stärker als beim Hund der Fall und soll der Verankerung der Kralle dienen.

## **2.2. Hundekralle**

Bei der Hundekralle liegt durch den Bodenkontakt eine ständige Beanspruchung vor. Die distalen Seitenteile der Krallenplatte werden an ihrem palmaren, bzw. plantaren Ende permanent abgenützt. Dadurch besteht die distale Krallenfläche des Hundes aus der außengelegenen u-förmigen harten Krallenplatte, dem zentralen terminalen Röhrenchorn (siehe Punkt 3) und dem palmar gelegenen weichen Sohlenhorn (DOBLER, 1967). HABERMEHL (1995) bezeichnet die Kralle des Hundes als eine Scharrkralle.

## **3. Die mesoskopische und mikroskopische Anatomie der Fleischfresser - kralle**

Zur Morphologie der Fleischfresserkralle liegen etliche, bis auf wenige Ausnahmen meist zeitlich schon weit zurückliegende Untersuchungen in der Literatur vor. Oft wird jedoch nicht exakt zwischen der Kralle des Hundes und der der Katze unterschieden. Dies ist eine unzulässige Vorgehensweise, da grundsätzliche Unterschiede vorliegen, wie die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen. In der Literatur scheinen die Untersuchungsbefunde für die Katzen-

kralle wie für die Hundekralle zu gelten, und nur die Unterschiede der Katzenkralle zur Kralle des Hundes werden an entsprechender Stelle hervorgehoben.<sup>3</sup>

Bei den Fleischfressern sind am Vorderfuß fünf Krallen, am Hinterfuß vier Krallen vorhanden, die erste (mediale) Kralle fehlt in der Regel. Bei **Hunden** tritt gelegentlich an der Bekkengliedmaße die erste Kralle als Afterkralle atavistisch auf. Sie wird als Wolfskralle bezeichnet (BUDRAS et al., 1996). In sehr viel geringerem Maße ist dies auch bei der **Katze** zu beobachten. Bei beiden Spezies sind die dritte und vierte Kralle am kräftigsten ausgebildet. Die Krallen der **Hunde** sind überwiegend pigmentiert (SEIDEL, 1992). Sie sind je nach Farbe des Hundes weiß oder braun gefärbt (SIEDAMGROTZKY, 1870).

Im Gegensatz dazu sind die Krallen der **Katzen** meist unpigmentiert (FREWEIN u. WALLER-BERGER, 1994).

### 3.1 Form

Die Kralle ist bei der **Katze** in ihrer äußeren Form um ein vielfaches schmäler als hoch, sie ist in ihrem Querschnitt bilateral stark komprimiert. In ihrer Längsachse ist sie stark gebogen, sie endet in einer scharfen Spitze, die aus dem Horn der über dem korialen Rückenwulst liegenden Epidermis stammt. Die Krümmung der Kralle führt SIEDAMGROTZKY (1870) auf die stärkere Hornproduktion am Rückenteil zurück.

Die dorsale und palmare Kontur der Felidenkralle wird von zwei logarithmischen Spiralen begrenzt. Dadurch erhält die Kralle in Bezug auf die Festigkeit eine Idealform, da sich die auftretenden Spannungen beim Gebrauch der Kralle optimal auf ihrer Oberfläche verteilen können (KÖRTING, 1990; MATTHECK u. REUSS, 1991).

Die Kralle der **Caniden** hat die Form eines wenig gebogenen, meist dreikantigen Kegels von plumper Gestalt (ZIETZSCHMANN, 1918). SEIDEL (1992) bezeichnet die Form der Hundekralle als einen dorsal leicht gewölbten, spitz zulaufenden Zylinder.

---

<sup>3</sup> Diese Vorgehensweise wird hier beibehalten, da sie die Verhältnisse in der Literatur widerspiegeln.

### 3.2 Segmenteinteilung

ZIETZSCHMANN (1917, 1918) unterteilt die Kralle allgemein in zwei endständige (primäre) Hauptteile und zwei akzessorische (sekundäre) Teile, welche basal liegen. Alle Teile setzen sich aus Epidermis und Dermis (Corium) zusammen. Ein Hauptteil ist die Krallenplatte (Parietes corneus unguicularis); eine dicke Epidermisplatte mit den darunter gelegenen lebenden epidermalen Schichten, die als Matrize auf dem sogenannten „Krallen- oder Plattenbett“ (Lectulus parietalis, Corium parieti) liegt, das mit einer Matrize vergleichbar ist. Als „Krallenbett“ werden in ZIETZSCHMANNs Veröffentlichung von 1917 das Corium und die germinativen Epithelzellschichten bezeichnet, in seiner Veröffentlichung von 1918 entspricht es nur dem Corium. Dieses „Krallenbett“ wird vom Autor in ein proximales „Fertilbett“, welches der Krone homolog ist, und ein distales „Sterilbett“ unterteilt. Die über dem „Fertilbett“ liegende Epidermis weist eine hohe Hornproduktionsrate auf und bildet die Hornplatte. Die über dem „Sterilbett“ liegende Epidermis besteht aus nur wenigen Lagen unverhornter Zellen, die die Verbindung zur Hornplatte aufrechterhalten. Dabei geht ZIETZSCHMANN (1917, 1918) nicht auf die Befunde von BOAS (1894) ein, der am Distalende des Sterilbettes die „fertile Matrix der Terminallage“ beschrieben hat (Als „Matrix“ wird bei älteren Autoren ein Epithel bezeichnet, welches eine hohe Hornproduktionsrate aufweist). Der zweite Hauptteil ist die epidermale Krallensohle, die dem „Sohlenbett“ oder „Sohlenlager“ (Corium und germinative Epithelzellen) aufliegt. Beide Teile zusammen bilden die Krallentüte. Zu den akzessorischen Gebilden zählt ZIETZSCHMANN (1917, 1918) den an der Basis der Krallentüte gelegenen Krallenwall, ein ringartiger Hautstreifen, der in einen Dorsal- und einen Palmarteil untergliedert ist. Der Dorsalteil wird als der eigentliche Krallenwall bezeichnet, bestehend aus einer behaarten Außenseite und der haar- und drüsenlosen Innenseite, die mit der Plattenwurzel verklebt ist. Er liefert die weiche Deckschicht (Eponychium). Neben dem echten Krallenwall, der mit der Plattenwurzel verklebt ist, kann nach BOAS (1894) auch ein unechter Krallenwall existieren, der der Krallenplatte nur aufliegt und an der Unterseite Haare tragen kann. Den palmaren Teil bezeichnet ZIETZSCHMANN (1917, 1918) als Zehenballen, der die zweite Hilfseinrichtung der Kralle ist. Dieser ist durch eine Grenzfurche von der Krallensohle getrennt.

BUDRAS und SEIDEL (1992) nehmen eine Einteilung der **Hundekralle** in Segmente analog anderer Zehenendorgane vor. Sie definieren das Saumsegment als das Innenblatt des Krallenwalles. Es reicht bis zum Grunde des Sulcus unguicularis. Seine Epidermis bildet das weiche

Saumhorn (Eponychium), welches als Glasurschicht bezeichnet wird. Das Kronsegment besitzt bindegewebige Zöttchen, über denen die Epidermis Hornröhrchen bildet, die auf dem distalen Weg verdämmern. Das Segment befindet sich unterhalb der knöchernen Crista unguicularis in der Krallentasche. Mit dieser Definition der Reichweite weichen BUDRAS und SEIDEL (1992), ebenso wie FREWEIN und WALLER-BERGER (1994), von der Auffassung anderer Autoren (SIEDAMGROTZKY, 1870; ZIETZSCHMANN, 1918; DOBLER, 1969; HABERMEHL, 1995) ab, die den Rückenwulst zum Kronsegment gehörig zählen. Das vom Kronsegment gebildete Horn wird als Mesonychium oder Schutzschicht bezeichnet. Blättchen sind das Hauptmerkmal des Wandsegmentes, das sich in Rückenwulst und paarige proximale und distale Seitenflächen untergliedert. Das im Wandsegment über der dort gelegenen Epidermis gebildete Horn ist im Bereich des Rückenwulstes das Hyponychium oder Verbindungshorn. Im Bereich der Seitenflächen des Wandsegmentes verhornen die Epidermisblättchen nicht, BUDRAS et al. (1996) sprechen dort von Verbindungsepidermis. Das Sohlensegment befindet sich auf der palmaren Fläche des knöchernen Proc. unguicularis, es bildet bröckliges Horn, welches weitgehend aus der palmar offenen Krallentüte herausfällt.

### 3.3 Krallenepidermis

Die Krallenepidermis wird in verschiedene Abschnitte gegliedert, die jedem Krallensegment zugeordnet sind.

Die Epidermis des Saumsegmentes erstreckt sich auf der Innenseite des Krallenwalles bis zum Grunde des Krallenfalzes und besitzt nach SEIDEL (1992) ein Stratum granulosum, welches aber nicht bis an den Grund und somit an das Kronsegment heranreicht.

Der größte Teil der verhornten Epidermis fügt sich zur Krallenplatte zusammen, die aus Horn besteht, das nach dem Prinzip der harten Verhornung (siehe Punkt 5.1) gebildet wird. Das Horn der Krallenplatte wird aus dem Kronsegment und dem Rückenwulst nachgeschoben. Während die Seitenteile distal des Kronsegmentes gleich dick bleiben, wird die Krallenplatte über dem corialen Rückenwulst nach distal stetig dicker (SIEDAMGROTZKY, 1870; SEIDEL, 1992). Die germinative Epithelzellschicht („Keimschicht“), die von älteren Autoren (SIEDAMGROTZKY, 1870; ZANDER, 1886; BOAS, 1894; GÖPPERT, 1898) „Rete -“ oder auch „Stratum Malpighi“ genannt wird, ist im Kronsegment, über dem Rückenwulst und be-

sonders an der Einschnürungsstelle desselben sehr stark. An dieser Einschnürungsstelle geht der koriale Rückenwulst in die, das Krallenbein umgebende, Lederhaut über. Neben Basal- und Parabasalzellen kommt im Kronsegment ein vierschichtiges Stratum spinosum vor. Die Verhornung erfolgt über mehr als fünf Zellagen (SEIDEL, 1992). Im Kronsegment der **Hunde****krallen** werden Hornröhrchen gebildet, deren Struktur auf dem Weg zur Krallenbeinspitze verstreicht (SEIDEL, 1992; BUDRAS u. SEIDEL; 1992). KÜNZEL (1990) beschreibt dagegen das Horn des Kronsegmentes als einfach geschichtet und strukturlos.

Im Wandsegment ist die unverhornte Epithelzellschicht sehr dünn, so daß die Grenze zwischen dieser Schicht und der Hornplatte sehr deutlich und scharf ist (SIEDAMGROTZKY, 1870). Die Basal- und Parabasalzellen sind wie im Kronsegment palisadenförmig angeordnet. Im Bereich der Krallenbeinspitze haben sie jedoch eine polygonale Form. Das Stratum spinosum umfaßt im Rückenwulstbereich fünf Zellagen, im Seitenflächenbereich drei bis vier Lagen. Dabei ist über dem Rückenwulst eine mehrlagige Übergangszellschicht ausgebildet, die im Seitenflächenbereich fehlt (SEIDEL, 1992). GÜCKEL (1922) beobachtet über dem Rückenwulst ein Stratum granulosum. Die Epidermis des Wandsegmentes produziert beim **Hund** lockeres Horn, das bilateral mit dem Sohlenhorn in Verbindung steht und proximodistal und dorsopalmar stärker wird. Die Verhältnisse sind bei der **Katzenkrallen** nach SIEDAMGROTZKY (1870) genauso, nur wird sehr viel weniger Horn erzeugt, dessen Bildung auch erst weiter palmar, in der Nähe der Sohle einsetzt. Die Innenseite der Krallenplatte des **Hundes** besteht - bis auf einen glatten, proximalen Übergangstreifen - aus unverhornten, miteinander verklebten epidermalen Mikroblättchen (SEIDEL, 1992).

Die Hornzellen der Krallenplatte sind fest ineinandergeschichtet, dadurch kann SIEDAMGROTZKY (1870) keine einzelnen Zellen ausmachen, er erkennt nur eine homogene, leicht absplittende Masse. Dieses Phänomen soll bei der **Katzenkrallen** noch stärker als bei der **Hunde****krallen** ausgeprägt sein. Im Zentrum der Hornzellen der Krallenplatte ist ein „Kernschatten“ sichtbar. Die Hornzellen sind mit ihrer Längsrichtung parallel zur Längsrichtung der Krallenplatte ausgerichtet, was den größtmöglichen Widerstand gegen Abnutzung bedeutet. Die stärkste Abplattung der Hornzellen in der äußeren Region der Krallenplatte liegt in einer Senkrechten, die man auf der äußeren Umgrenzungslinie errichtet. Wo der Rückenwulst sich erhebt, schichten sich die Hornzellen konzentrisch um ihn. SIEDAMGROTZKY (1870) macht diese unterschiedliche Anordnung der Hornzellen für die schnellere und leichtere Abnutzung der Peripherie und der unteren Seitenteile verantwortlich, während um den Rückenwulst ein

Hohlkegel entsteht, der nur so langsam abgenutzt wird, daß immer eine mehr oder weniger scharfe Spitze übrigbleibt. Er ist der Meinung, daß die Widerstandsfähigkeit der Kralle mit der Stärke der konzentrischen Schichtung, bedingt durch die stärkere Abschnürung des Rückenwulstes, wächst. Durch die starke Abschnürung des Rückenwulstes und die konzentrische Anordnung der Epithelzellen um denselben werden kleine, einander einschließende verhornte Hohlkegel gebildet, zwischen denen SIEDAMGROTZKY (1870) unter Anwendung von Alkalien Spalten feststellen konnte<sup>4</sup>.

Distal der Krallenbeinspitze wird in der Wandsegmentepidermis Terminalhorn gebildet, das nach dem Prinzip der weichen Verhornung (siehe Punkt 5.1: Verhornungstypen) entsteht. SEIDEL (1992) findet in diesem Bereich ein Stratum granulosum. Dieses füllt die Krallentüte distal des Krallenbeines aus. BOAS (1894) bezeichnet die Epidermis, aus der das Terminalhorn hervorgeht als „Terminalmatrix“ und das Horn selber als „Terminallage“.

Die Epidermis über den korialen Papillen des Sohlensegmentes des **Hundes** produziert Horn mit schwach angedeuteten Röhren, deren Struktur sich im Gegensatz zu der der Röhren des Kronsegmentes rasch verliert (SIEDAMGROTZKY, 1870). Bei der **Katze** fällt die Andeutung von Hornröhren im Sohlenhorn vollkommen weg. Das Sohlenhorn behält durch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Bildung, Abnutzung und Desquamation die gleiche Dicke bei (SEIDEL, 1992). Die Basalzellen sind in diesem Segment von kubischer Gestalt. BURDAS und SEIDEL (1992) beobachten besonders beim jugendlichen Hund im Sohlensegment von Basalzellen ausgehende, ins Bindegewebe hineinreichende Wurzelfüßchen, die Mikroblättchen darstellen. In proximodistaler Richtung nehmen die Zellagen des Stratum spinosum von vier auf zehn zu. Es existiert ebenso ein Stratum granulosum und nach GÜCKELs (1922) Meinung ein darüber liegendes Stratum lucidum. Die Verhornung erfolgt rasch, wobei die Hornzellen eine unregelmäßige Schollenform aufweisen.

### 3.4 Dermis mit Papillarkörper

Die Dermis (Corium) wird von den älteren Autoren (SIEDAMGROTZKY, 1870; ZIETZSCHMANN, 1918) zusammen mit den germinativen Epithelzellschichten als „Matrix“

---

<sup>4</sup> Dies entspricht dem Prinzip von Vogel- und Reptilienkrallen, die eine glatte, vollkommen das Zehenende umschließende „Matrix“ besitzen, welche ineinandergreifende hornige Hohlkegel produziert.

bezeichnet. Für diese sogenannten „Weichteile“ wird von den Autoren ebenso der Begriff „Bett“ oder - im Falle der Sohle - „Lager“ verwendet. Dieses dient dem verhornten Epidermisüberzug als „Patrize“. Produziert das über der Dermis gelegene Epithel viel Horn, so wird die Dermis mit der germinativen Epithelzellschicht als „eigentliche Matrix“ oder „Fertilbett“ bezeichnet, produziert es wenig oder gar kein Horn, so wird es „Sterilbett“ genannt.

#### 3.4.1 Der Papillarkörper im Saumsegment

Während sich die Epidermis des Saumsegmentes auf der Innenseite des Krallenwalles kurz vor Erreichen des Knochenfalzes verliert, heftet sich die Dermis fest an das Periost der knöchernen Crista unguicularis auf der Innenseite des Falzes, schlägt sich in der Tiefe der Nageltasche (Sinus unguicularis) um und heftet sich dann an den Proc. unguicularis (BUDRAS u. SEIDEL, 1992). Nach SIEDAMGROTZKY (1870) ist der Papillarkörper des Saumsegmentes bei **Hund** und **Katze** glatt, was jedoch von BUDRAS und SEIDEL (1992) für den Hund nicht bestätigt wird. Sie erkennen bei rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen undeutliche warzenförmige Lederhauerhebungen im Bereich des Saumsegmentes.

#### 3.4.2 Der Papillarkörper im Kronsegment

Die Kronlederhaut der **Hundekralle** ist nach ZIETZSCHMANN (1919) mit feinen Papillen besetzt und durch eine deutliche Rinne vom „Sterilbett“ abgetrennt. SIEDAMGROTZKY (1870) beobachtet beim Hund mittlerer Größe in einer ringförmigen Anordnung im Grunde des Knochenfalzes mehrere Reihen von Papillen, die vom Dorsum (vier Reihen) zu den Seiten hin (zwei bis drei Reihen) abnehmen. Je distaler die Papillen liegen, desto spitzer ist ihr Winkel mit dem sie aus dem Corium hervorgehen. SEIDEL (1992) erkennt in rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen, daß die Zöttchen auf quer zur Krallenlängsachse liegenden Blättchen sitzen.

Bei der **Katze** gibt es im Grunde des Krallenfalzes nach SIEDAMGROTZKY (1870) keine Papillen, dagegen beschreibt KÖNIG (1992) bei der Katze am Grunde des Sulcus unguicularis feine Papillen der Lederhaut.

### 3.4.3 Der Papillarkörper im Wandsegment

Die Wandsegmentlederhaut (exklusive des dermalen Rückenwulstes) wird mit der darüberliegenden germinativen Epidermis von ZIETZSCHMANN (1919) und SIEDAMGROTZKY (1870) als das „eigentliche Krallenbett“ bezeichnet, da es in diesem Bereich zu keiner Hornproduktion kommt und die Hornzellen über diesem „Bett“ distal geschoben werden. Bei **Hund** und **Katze** trägt diese Wandsegmentlederhaut parallel zur konvexen Krümmung der Kralle kleine Leistchen, die sich zur Sohle und zum distalen Ende hin in Papillen auflösen.

SEIDEL (1992) und BUDRAS und SEIDEL (1992) unterteilen die Seitenfläche der **Hundekralle** in proximale und distale Bereiche, die durch eine Rinne - die proximopalmar beginnt und distal in einem Bogen dem Rückenwulst zustrebt - voneinander abgegrenzt werden. Auf den proximalen Seitenflächen beobachten sie unregelmäßige Mikroblättchen<sup>5</sup>, auf den distalen Seitenflächen erheblich höhere Blättchen, die makroskopisch gerade noch erkennbar sind und die sich am Distalende zu terminalen, distal gerichteten Lederhautzöttchen zergliedern. Die Blättchen besitzen eine proximodistale, leicht bogenförmige, rückenwulstparallele Ausrichtung.

#### 3.4.3.1 Rückenwulst

Eine Besonderheit der Fleischfresserkralle ist der Rückenwulst, der aus dem basal gelegenen Kronsegment hervorgeht und auf dem Krallenrücken (Dorsum) bis zur Spitze reicht. Durch die enorme Hornproduktion der Epidermis über dem Rückenwulst wird dieser von ZIETZSCHMANN (1918) und SIEDAMGROTZKY (1870) im Rahmen des Steril-/Fertilbett-Konzeptes zur Kronlederhaut gezählt. Sie sprechen ihm die Funktion einer einheitlichen großen Papille zu, die auf dem Dorsum zu größerer Stabilität führt. SEIDEL (1992) nimmt aufgrund der Oberflächenstruktur der Lederhaut im Bereich des Rückenwulstes eine neue Segmenteinteilung vor. Er zählt nur den proximalen Teil des Rückenwulstes mit einer Zöttchenkonfiguration zum Kronsegment und den distalen Teil zum Wandsegment. Bei den **Feliden** erfährt der Rückenwulst die stärkste Ausbildung. Er ist fast auf seiner gesamten Länge

---

<sup>5</sup> Als Mikroblättchen werden diejenigen Dermisleistchen bezeichnet, welche nicht über die Basalzellige der darüberliegenden Epidermis hinausragen, während die Blättchen über mehrere Epithelzellagen in die Epidermis vordringen.

durch eine starke Einschnürung nahezu völlig von der restlichen Lederhaut abgetrennt, welche das Krallenbein umgibt. Bei den **Caniden** sitzt der Rückenwulst proximal mit breiter Basis dem Dorsum des Krallenbeines auf, weiter distal ist er stärker abgeschnürt (ZIETZSCHMANN, 1918). Distal spitzt sich der Rückenwulst zu. Er besitzt dorsal eine Konkavität (SIEDAMGROTZKY, 1870), die SEIDEL (1992) beim Hund nur auf dem distalen Teil beschreibt. Der Rückenwulst ist beim Hund durch eine flache, bogenförmig verlaufende Rinne von den distalen Seitenflächen getrennt. Proximal deutet diese Rinne die Grenze zwischen proximaler und distaler Seitenfläche an (SEIDEL, 1992). Den Papillarkörper des Rückenwulstes beschreibt SIEDAMGROTZKY (1870) beim **Hund** als glatt bzw. mit flachen, ungleichen, längsverlaufenden wallartigen Erhöhungen versehen, die bei der **Katze** nicht vorkommen. SEIDEL (1992) beobachtet beim **Hund** mesoskopisch in Höhe der Krallenbeinspitze gerade noch erkennbare Lederhautblättchen. Mikroskopisch sieht er proximal - nach einem glatten Übergangstreifen vom Kronsegment getrennt - Mikroblättchen, die distal immer größer werden und auf den Kämmen beiderseits der dorsomedianen Rinne auf ihren Firnen Zöttchen ausbilden.

#### 3.4.4 Der Papillarkörper im Sohlensegment

Nach ZIETZSCHMANN (1919) trägt die Sohlenlederhaut der Fleischfresserkralle - er spricht von „Sohlenlager“ - hohe, distal gerichtete Zotten. Sie sind an der Krallenbasis länger und dicker als an der Krallenspitze (SIEDAMGROTZKY, 1870) und nehmen distal in ihrer Anzahl ab (SEIDEL, 1992). SEIDEL (1992) beobachtet bei der **Hundekralle** im Sohlensegment, ebenso wie im Kronsegment, daß die Zöttchen auf - diesmal longitudinal ausgerichteten - Blättchen sitzen, die jedesmal in ihrer Höhe abfallen, wenn sich ein Zöttchen abgeschnürt hat. Bei der **Katzenkralle** streben die Papillen senkrecht nach unten (SIEDAMGROTZKY, 1870).

### 3.5 Subkutis der Kralle

SIEDAMGROTZKY (1870) verneint die Existenz eines subkutanen Bindegewebes im Bereich der Kralle. Er schreibt, die Lederhaut sei innig mit dem Periost des Krallenbeines verbunden. Dem schließen sich FREWEIN und WALLER-BERGER (1994) für den seitlichen Teil des Wandsegmentes an. Im Bereich des Rückenwulstes sprechen sie von einer starken

Ansammlung von Bindegewebe zwischen Periost und Lederhaut. SINOWATZ (1991) erklärt die Subkutis der Haut des Zehenendorganes zum Periost des dritten Zehengliedes.

### 3.6 Krallenbein

Das Krallenbein (Phalanx tertia, Os unguiculare) ist die knöcherne Grundlage der Kralle. Es besteht aus zwei Teilen, der Basis mit Gelenkfläche, Sehnenansatzflächen samt der distal freien Crista unguicularis und dem sich distal anschließenden Processus unguicularis (BUDRAS et al., 1996). Das Krallenbein des **Hundes** ist der mittleren Phalanx im nahezu rechten Winkel angefügt, bei der **Katze** ist dieser Winkel sehr viel kleiner. Der Proc. unguicularis ist in seiner Längsachse dorsal gebogen, seitlich komprimiert und somit krallenförmig gestaltet. Dorsal beobachtet ZIETZSCHMANN (1918) bei manchen Krallenträgern eine Längsrinne oder Längsspalte, während SIEDAMGROTZKY (1870) beim Hund in der dorsalen Mittellinie einen schwachen Kamm sieht. Basal besitzt das Krallenbein den ringartigen Knochenfalz (Crista unguicularis), der in der Basis des häutigen Krallenwalles liegt und somit ebenso (innerhalb des Krallenwalles) die Krallenplatte bedeckt. Bei der **Katze** ist im Gegensatz zum **Hund** der Krallenfalz stärker ausgebildet und folglich der Sulcus unguicularis, bzw. die Krallentasche tiefer. Der Proc. unguicularis ist seitlich stärker komprimiert, in der Längsachse stärker gekrümmt und zudem kürzer. Bei großen Katzen soll sich ferner dorsal auf dem Proc. unguicularis im Grunde des Knochenfalzes ein kleiner Knochenkegel befinden, der dem bindegewebigen Rückenwulst als Grundlage dienen soll (SIEDAMGROTZKY, 1870).

## 4. Die Entwicklung des Zehenendorganes

### 4.1 Die Phylogenese der Kralle

Schon Amphibien, Reptilien und Vögel besitzen Krallen. Diese ähneln in ihrem Bau aber weniger den Krallen der Säugetiere, sondern den Hautschuppen, wie sie bei Reptilien vorkommen. Diese Hautschuppen sind Hautfortsätze, die aus einem Koriumkern und einer verhornenden Epidermisbedeckung bestehen. Wenn der Hornmantel dieser Schuppe fest, unachgiebig und nicht abschilfernd ist, so muß er in Richtung des Hautfortsatzes geschoben

werden, wenn eine neue Schicht der Horntüte innerhalb derselben gebildet wird, um damit Platz für die neugebildete zu schaffen. Dieses Prinzip erfolgt bei den Krallen von Schildkröten, Krokodilen und Vögeln. Sie lassen sich bereits in Krallenplatte und Krallensohle unterscheiden. Ebenso existiert ein „unechter“ Krallenwall, der nur lose der Krallenplatte aufliegt. Zuwachs der Kralle erfolgt von der gesamten Oberfläche der unterliegenden Epidermis, so daß die Hornwand von der Basis zum distalen Ende hin allmählich dicker wird.

Die Krallen oben genannter Tierarten stellen nach BOAS (1931) endständige Schuppen dar. GÖPPERT (1898) hält dagegen die Wirbeltierkralle für eine von Anfang an selbständige Bildung, die mit anderen Hornorganen, wie z. B. den Hautschuppen, genetisch nichts zu tun hat. Der Autor sieht den Urzustand der Wirbeltierkralle noch bei einzelnen Urodelen erhalten. Sie hat sich seiner Meinung nach als ein einfacher, kappenartiger Hornüberzug an spitzen Finger- und Zehenenden durch deren besondere Beanspruchung gebildet.

Bei Brückenechsen und Sauriern ist der distale Teil der Epidermis unter der Krallenplatte, mit Ausnahme des terminalen Endes, nach BOAS (1931) „steril“, d.h. das dort gelegene Epithel bildet kein Horn. Neben der „sterilen Fläche“ existiert also eine sogenannte „Basalmatrix“ proximal an der Kralle und eine „Terminalmatrix“ am Distalende der Kralle, deren Epithelien eine hohe Hornproduktionsrate aufweisen. Die größte Ausdehnung hat die „Basalmatrix“ in der dorsalen Mitte. Die Krallenplatte wird von der Basis bis zum Beginn des sterilen Teiles dicker, danach ist sie gleichbleibend dick. Die Krallenplatte ist besonders im Bereich der dorsalen Mitte aus zwei Schichten zusammengesetzt.

Die Säugetierkralle ist nach dem gleichen Prinzip aufgebaut, hat aber im Gegensatz zum Vorgenannten einen „echten“ Krallenwall, der eng mit der Krallenplatte verbunden ist.

BOAS (1931) nennt für die Herkunft der Säugetierkralle zwei Theorien:

1. Die Krallen der Säuger stammen von denen der Krokodile, Schildkröten und Vögel ab. Letztere besitzen keine Sterilfläche unter der Krallenplatte, die gesamte unterliegende Epidermis ist hornbildend.
2. Da die Krallen der Säuger, Saurier und Brückenechsen eine Sterilfläche besitzen und somit ein unterbrochenes Krallenwachstum aufweisen, ist es denkbar, daß die Krallen von einer Form abstammen, die ebenfalls eine Sterilfläche besaß. Dies bedeutet, daß die Krallen der Schildkröten, Krokodile und Vögel sekundär modifiziert sind; „Basal-“ und „Terminalmatrix“ haben sich vereinigt.

Letztgenannte ist laut BOAS die wahrscheinlichere Theorie, da die zweimalige Ausbildung der „Sterilfläche“ der Kralle (Richtung Säuger und Richtung Saurier bzw. Brückenechse), sehr unwahrscheinlich ist.

## 4.2 Die Ontogenese der Katzenkralle

Bei einer Tragdauer der Katze von 60 bis 63 Tagen bilden sich die Krallen um den 28. bis 29. Tag post conceptionem (p.c.), am 46. Tag p.c. härten sie aus. Am 50. Tag p.c. sind sie weiß und hart (RÜSSE, 1991).

KATO (1977) hat die Entwicklung der Katzenkralle mittels Serienschnitten von Katzenfeten mit 13 bis 115 mm Kopf-Rumpf-Länge untersucht. Anhand seiner Untersuchungen hat er die Entwicklung der Kralle in sechs Stadien eingeteilt.

Im 1. Stadium erfolgt zunächst die Bildung von Handteller und Fußteller ohne erkennbare Zehenanlage bei einer Kopf-Rumpf-Länge von 13,0 bis 13,8 mm für die Vordergliedmaße bzw. 13,5 bis 13,8 mm für die Hintergliedmaße. Dabei wird an der Gliedmaßenspitze ein „apikaler Epidermiskamm“ (eine lokale Epidermisverdickung) sichtbar, die in keinem Zusammenhang mit der späteren Krallenanlage steht. In die zweite Hälfte des ersten Stadiums fällt der Anfang der Fingerbildung, zeitgleich mit den ersten Anzeichen der Krallenbildung. Die Feten haben nun eine Kopf-Rumpf-Länge von 13,1 mm bis 15,0 mm. An den Vorderbeinen werden je fünf, an den Hinterbeinen je vier Finger angelegt. Auf der Dorsal- und Palmarfläche des Fingers, in Höhe der distalen Phalanx, ist eine Epidermalverdickung sichtbar. Die dorsale entspricht dabei der vom Autor so bezeichneten ersten „Nagelanlage“. Das Krallenbein ist als eine Verdichtung mesenchymaler Zellen angedeutet. Diese Vorgänge laufen ebenfalls - mit einer zeitlichen Verzögerung - an den Hinterbeinen ab. Die Entwicklung der dritten und vierten Finger erfolgt jeweils schneller als die der restlichen Finger.

Das 2. Stadium ist bei Feten mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 16,5 bis 19,0 mm sichtbar. Der apikale Epidermiskamm verschwindet und die Bildung des „primären Nagelfeldes“ beginnt. Die dorsalen und palmaren Epidermalverdickungen haben sich nach proximal und distal ausgedehnt und über der Fingerspitze vereinigt. Besonders die epidermale Verdickung der Dorsalfläche schiebt sich gegen die Dermis zu und bildet damit das „primäre Nagelfeld“. KATO (1977) beobachtet knollige und optisch leere Zellen zwischen den polygonalen und ellipsoiden Zellen des Stratum intermedium, sowie Keratohyalin granula und fibrilläre Strukturen in der Epidermis. Die Keratohyalin granula tauchen zuerst in den ellipsoiden Zellen auf der Dor-

salseite der Fingerspitze auf (dem späteren Bereich der „Terminalmatrix“<sup>6</sup>). Fibrilläre Strukturen sieht der Autor zuerst in den ellipsoiden Zellen in der dorsalen Epidermis über der distalen Phalanx. KATO (1977) bezeichnet dies als „primären oder falschen Nagel“. Im Bereich des Krallenbeines haben die mesenchymalen Zellen ein knorpelähnliches Aussehen erhalten. Die gleichen Vorgänge laufen mit einer zeitlichen Verzögerung bei der Hintergliedmaße ab.

Im 3. Stadium (Die Feten haben nun eine Kopf-Rumpf-Länge von 20,7 bis 24,5 mm) wird die Epidermis, besonders im palmaren Bereich, dicker und differenzierter. Es tauchen in den mittleren Zellagen spindelförmige Zellen auf. Zwischen oder auf diesen Zellen beobachtet KATO fibrilläre Strukturen. Als charakteristisch für dieses Stadium nennt KATO die beginnende Keratinisierung des „Nagelfeldes“.

Das 4. Stadium umfaßt Feten mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 26,3 bis 28,4 mm. Dieses Stadium ist durch die deutliche Keratinisierung des Epithels im „Nagelfeld“ geprägt. Der Bereich der Keratinisierung dehnt sich aus. Er umfaßt die vollständige Fingerspitze und reicht palmar im Gegensatz zu dorsal noch weiter proximal bis zur Hälfte der distalen Phalanx. Gleichzeitig hat sich die Epidermisverdickung bis zum Proximalende der distalen Phalanx ausgedehnt. Keratohyalin granula sind deutlich und ausgeprägt im gesamten Keratinisierungsbereich (in besonders dichten Zusammenlagerungen an der Fingerspitze) unterhalb der verhornten Zellagen zu sehen. Die distale Phalanx liegt als knorpeliges Primordialskelett vor. Die Entwicklung der Krallen an der Hintergliedmaße ist weiterhin leicht zeitlich verzögert.

Die Charakteristika des 5. Stadiums ( Feten mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 33,2 bis 45,4 mm) sind die Bildung der „Nagelkrone“ gemeinsam mit der Bildung des Vallum unguis und des Sulcus unguis sowie das Auftreten des Stratum corneum unguis. Die „Nagelkrone“ entsteht durch die Einstülpung des proximalen Endes des Nagelfeldes in die Dermis. Dies geschieht nach KATOs Beobachtungen zuerst auf der dorsalen Fläche, weitet sich dann aber auch auf die lateralen Flächen aus, so daß sich die entstehende „Nagelkrone“ quer zur Gliedmaßenachse krümmt. Die „überlappende“ Haut erhebt sich und bildet damit den „Nagelwall“, der sich im Laufe der Entwicklung distal ausdehnt. Durch das Auftreten eines dünnen Stratum corneum, welches über einer „Keratinisierungszone“ auf der Dorsalseite in Höhe des distalen Endes der distalen Phalanx entsteht, bezeichnet KATO (1977) die dortige Epidermis als „Terminalmatrix“ (33,2 mm Kopf-Rumpf-Länge). Diese „Matrix“ breitet sich nach allen Richtungen, proximal distal sowie lateral aus. Sie wird am Ende der Krallenentwicklung zum größten Teil durch den häutigen „Nagelwall“ verdeckt sein. Wenig später (43,3 mm Kopf-

---

<sup>6</sup> Dieser Begriff ist nicht gleichzusetzen mit dem gleichnamigen Begriff „Terminalmatrix“ von Boas (1894).

Rumpf-Länge ) erscheint eine „Basalmatrix“ im proximalen Nagelfeld in der Nähe des Grundes der Nageltasche. Ihre Keratinisierungszone und das folgende Stratum corneum breiten sich ebenfalls wie die „Terminalmatrix“ in alle Richtungen aus, besonders aber proximal in Richtung der Einstülpung der Epidermis zur Bildung der Nageltasche. Die Keratinisierungszone beschreibt KATO (1977) wie folgt: In den großen hellen Spindelzellen, die während des vierten Stadiums entstanden sind, bilden sich nun feine Granula aus, die nicht mit den Keratohyalingranula früherer Stadien vergleichbar sind. Diese Granula breiten sich entsprechend der Matrix aus, dabei verschwinden in diesen Bereichen die schon früher aufgetretenen Keratohyalingranula. KATO (1977) schließt daraus eine Differenzierung der Keratinisierungszone. Im fünften Stadium der Krallenentwicklung setzt die Verknöcherung der distalen Phalanx ein. Im 6. Stadium wird bei Katzenfeten mit einer Kopf-Rumpf-Länge von 54,1 bis 115,6 mm der Nagel vervollständigt. Bei einer Kopf-Rumpf-Länge von 54,1 mm hat sich die „Nagelkrone“ durch fortwährende Invagination vollends ausgebildet und ist mit der Spitze ihrer Einstülpung unter den Krallenbeinkamm geglitten. Durch die distale Ausdehnung des „Nagelwalles“ wird das proximale Nagelfeld sekundär von Haut bedeckt. Terminal- und Basalmatrix haben sich aufeinander zu entwickelt und vereinigt. Charakteristisch für dieses Stadium ist das Auftreten von Leisten in der Dermis der Terminalmatrix und das Entstehen von zwei Schichten im Stratum corneum. Die Schicht der Keratinisierungszone ist differenzierter und ausgeprägter, in der Terminalmatrix insgesamt aber stärker ausgebildet als in der Basalmatrix. In beiden Matrices kommen in dieser Schicht feine Granula vor. Durch Akkumulation der Granula in der Terminalmatrix formiert sich dort, im Gegensatz zur Basalmatrix, ein Stratum granulosum. Unterhalb der Keratinisierungszone entstehen besonders in der Terminalmatrix zahlreiche vakuoläre Zellen. Mit 115,6 mm Kopf-Rumpf-Länge hat sich die Krallenwurzel vollständig ausgebildet, indem sich im gesamten Bereich des Nagelfalzes bis zu dessen Grund ein Stratum corneum ausgebildet hat. Durch das Anwachsen des Stratum corneum beider Matrices formiert sich die Nagelwand.

Ab einer Kopf-Rumpf-Länge von 62,7 mm sieht KATO (1977) eine Zweischichtung (erkennbar an der unterschiedlichen Verlaufsrichtung der Tonofibrillen) des Stratum corneum, wobei die oberflächliche Schicht von der Basalmatrix und die tiefe von der Terminalmatrix gebildet wird.

Ab einer Kopf-Rumpf-Länge von 80,2 mm entstehen in der Dermis unter der Terminalmatrix Leisten, die sich von ihrem Ursprung in Höhe des Distalendes der distalen Phalanx distal und proximal ausdehnen. Die Verknöcherung der distalen Phalanx setzt sich fort.

Bei einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) eines Fetus von 63 mm erkennt SCHAEFFER (1932) an der äußersten Spitze aller fünf Zehenendglieder der Vordergliedmaßen einen kleinen Verkalkungsherd in der Kralle, der der knorpeligen Krallenbeinspitze kappenförmig aufsitzt und sich besonders an der dorsalen Krümmung des hyalinknorpeligen Krallenbeines ausdehnt. Die Verknöcherung erfolgt zuerst perichondral, dann enchondral. An den Hinterbeinen tritt eine erste Verknöcherung frühestens mit 71 mm SSL auf und zwar zunächst an der dritten und vierten Zehe. Die Verknöcherung der Hintergliedmaße setzt zu einem späteren Zeitpunkt ein. Mit 115 mm SSL lassen die Krallenbeinkerne schon eine leichte dorsale Krümmung und die gelenkseitige Konkavität erkennen. Innerhalb einer Gliedmaße entwickeln sich die Krallenbeine in folgender Reihenfolge: Ph III<sub>3</sub>, Ph III<sub>4</sub>, Ph III<sub>2</sub>, Ph III<sub>5</sub>.

### 4.3 Die Ontogenese der Hundekralle

Zusammenhängende Untersuchungen über die Ontogenese der Hundekralle sind bisher nicht durchgeführt worden.

Bei einer Tragdauer des Hundes von 62 bis 63 Tagen haben sich 40 Tage p.c. die Krallen schon gebildet (RÜSSE, 1991).

SEIDEL (1992) sieht die leistenförmige Lederhautkonfiguration als die ursprüngliche Struktur bei der Entstehung der Kralle an. Diese Leisten werden sekundär in Lederhautzöttchen zergliedert. Dabei steht für ihn die Kralle auf einer niedrigeren Entwicklungsstufe als andere blättchentragende Zehenendorgane, da die Blättchen bei der Kralle nicht alle streng proximal-distal ausgerichtet sind. Die primäre Blättchenanlage wird auch von BRAGULLA (1996) beim Pferd bestätigt.

Beim Hund beginnen die knorpeligen Anlagen der Krallenbeine erst bei 70 mm SSL zu verknöchern (SCHAEFFER, 1934). Danach schreitet aber im Gegensatz zur Katze die Verknöcherung aller Phalangen sehr schnell vorwärts.

### 4.4 Die Ontogenese der Wiederkäuerklaue

Bei einer Tragdauer des **Rindes** von 280 Tagen bildet sich am 60. Tag p.c. die Klauenanlage. Am 80sten Tag p.c. beginnen die Klauen zu verhornen und ab dem 150 Tag p.c. werden sie hart (RÜSSE, 1991).

KUNSIEN (1882) unterteilt die Entwicklung der Rinderklaue in drei Perioden.

Während der ersten Periode erlangt das rundliche Extremitätenende Klauenform. Sohle und Wand lassen sich voneinander abgrenzen, die Krone tritt hervor. Eine nicht genauer bezeichnete starke Epithelmasse, die mächtiger ist als die restliche Epidermis der Extremität, bildet die Klaue.

In der zweiten Periode erfolgt die Anlage des Saumes und des Ballens, zudem die Anlage der Wandblättchen und Sohlenpapillen. Die Blättchenbildung beginnt zunächst in den Wandseitentteilen und setzt sich dann in Richtung Zehenrückenteil einerseits und Trachtenteil andererseits fort. Dabei werden weder proximal die Krone, noch distal die Sohle erreicht. Die Sohlenpapillen werden zuerst distal im Bereich der Klauenspitze angelegt. Diese Bildung schreitet von dort am Sohlenrand entlang palmar und zur Sohlenmitte hin fort. Zwischen den polyedrischen Zellen des Epithels der Sohle entstehen Lagen von abgeplatteten Zellen, die von KUNSIEN (1882) zusammen mit den darüber gelegenen polyedrischen Zellen als Stratum corneum bezeichnet werden, obwohl letztere keine „eigentliche“ Verhornung zeigen. Wenig später erscheinen diese Lagen abgeplatteter Zellen auch in der Wand der Klaue. Im Anschluß an die Entwicklung der Sohlenpapillen erfolgt die Anlage der Kronpapillen, wenig später darauf die der Saumpapillen.

In der sich anschließenden dritten Periode erfolgt im Zehenrückenteil im Bereich des Überganges von der Krone in die Wand die erste Verhornung. Sie schreitet distal und palmar fort. Die währenddessen über den Papillen der Krone und Sohle entstehenden Epithelröhrchen sind zunächst nicht verhornt. Durch die Verhornung erlangt die Klaue ihre definitive Form.

DIRKS (1985) beobachtet beim neugeborenen Kalb ein „epidermales Sohlenkissen“, das als gelblich-weißes, gallertiges Gewebe das Sohlenhorn und den distalen Teil des Wandhorns überzieht. Dieses „Sohlenkissen“ wird aus polygonalen Epidermiszellen gebildet.

Es trocknet an den Hinterklauen neugeborener Kälber schneller als an deren Vorderklauen (PRIETZ, 1987).

Die Entwicklung der Klaue der **Schafe** wird von KORTE (1987) in vier Perioden eingeteilt.

Die erste Periode wird von ihr als die Periode der Segmentbildung bezeichnet. Sie beginnt bei einer Scheitel-Steiß-Länge (SSL) des Fetus von 40 mm mit der Anlage des Kronwulstes. Koriumdifferenzierungen sind noch nicht zu beobachten. Die Klauenbeinanlage ist noch vollständig knorplig. Das Epithel besteht zu Beginn aus einem Stratum basale, einem primitiven

Stratum intermedium und dem Periderm. Es besteht im Kron- und Wandsegment aus 5-6 Zellagen, im Sohlen- und Ballensegment aus 4 Zellagen, gleichzeitig sind in den letzteren Segmenten und im distalen Wandsegment in der Intermediärschicht kleine Granula anzutreffen.

Die zweite Periode ist die der Blättchenbildung, die bei einer SSL des Fetus von ca. 80 mm beginnt. Im Wandsegment bilden sich an den Seitenteilen der Klauenwand erste Epithel- und Koriumblättchen. Das Epithel nimmt in der Zahl der Zellagen proximodistal zu. Es weist im distalen Wandsegment in seiner primitiven Intermediärschicht drei Zonen auf, die der inneren, granulafreien, der mittleren, grobgranulierten und der äußeren, feingranulierten Zone. Diese Gliederung des Epithels findet sich auch im Sohlensegment vor. In den sohlennahen Abschnitten des Ballensegmentes sind diese Granula vereinzelt in den peripheren Lagen des Epithels, inklusive des oberflächlich gelegenen Periderms, zu beobachten. Nun grenzt sich auch der Saum gegenüber des Integumentum commune durch eine Rinne ab. Die Klauenbeinanlage zeigt erste Anzeichen desmalen Ossifikation.

Die dritte Periode bezeichnet KORTE (1987) als die der Zöttchenbildung, die bei einer SSL des Fetus von 100 mm beginnt. Das Saumsegment hat ein starkes, das Kronsegment ein noch stärkeres Stratum intermedium mit peripher gelegenen Granula. Im Wandsegment haben sich nun auch auf dem Zehenrücken Blättchen gebildet, gleichzeitig tritt überall eine durch die verschiedenen Granula gekennzeichnete Dreischichtung des primitiven Stratum intermedium auf. Im Sohlensegment sind die ersten Koriumzöttchen in ihrer Anlage sichtbar. Sie stehen noch nicht mit den Wandblättchen in Verbindung. Zeitlich darauf folgend, entstehen im Kronsegment distoproximal die ersten Anlagen von Koriumzöttchen, sie haben keine Verbindung zu den Wandblättchen. Das Periderm ist zum größten Teil in allen Segmenten verschwunden. Die Verknöcherung der Klauenbeinanlage ist distoproximal zu ca. einem Drittel erfolgt und schreitet weiter fort. Nach der Bildung der Kronzöttchen erfolgt die Bildung der ersten Saum- und Ballenzöttchen.

Die vierte Periode ist die der Hornbildung, die bei einer SSL des Fetus von 215 mm im distalen Kronsegment beginnt. Zeitlich nachfolgend verhornen die proximalen Abschnitte des Wandsegmentes und etwas später Sohlen- und Ballensegment. Als letztes verhornt das Saumsegment. Die Verhornung erfolgt im Kron- und Wandsegment (bis auf den Terminalhornbereich) ohne Ausbildung eines Stratum granulosum. Die Bildung der Ballensegmentzöttchen ist zu Beginn der Verhornungsperiode noch nicht abgeschlossen.

Reste des primitiven Stratum intermedium bleiben im distalen Wandsegmentbereich erhalten, während sie im proximalen Bereich des Segmentes und im Saum-Kronsegment nicht mehr vorhanden sind. Als mächtige Schicht ist das Stratum intermedium im Sohlen- und Ballensegment als sogenanntes „Sohlenkissen“ noch beim geburtsreifen Tier vorhanden.

#### **4.5 Die Ontogenese der Schweineklaue**

Die Entwicklung der Schweineklaue wird von JORQUERA und GARRIDO (1977) in 6 Perioden eingeteilt.

In der ersten Periode (SSL des Fetus 19 - 25 mm; 4 - 4,5 Wochen) besteht die Epidermis aus einem zweischichtigen Epithel, der Basalschicht und dem Periderm. Das Korium beginnt sich zu bilden.

Während der zweiten Periode (SSL des Fetus 25 - 44 mm; 4,5 - 5,5 Wochen) entsteht an der distalen Zehenspitze durch die Bildung eines Stratum intermedium ein mehrschichtiges Epithel, welches sich auf dem Zehenrücken proximal ausdehnt. Es erfolgt eine fortschreitende Koriumdifferenzierung.

In der dritten Periode (SSL des Fetus 44 - 86,5 mm; 5,5 - 8 Wochen) beginnt sich das Korium einzufalten. Lateral und medial der Zehenspitze entstehen längsgerichtete Falten, die sich dorsal ausdehnen. Aus den Falten entwickeln sich Koriumblättchen.

Im Verlauf der vierten Periode (SSL des Fetus 86,5 - 106,2 mm; 8 -9 Wochen) bilden sich die den Koriumfalten entsprechenden Epidermisfalten.

Während der fünften Periode (SSL des Fetus 106,2 - 126,5 mm; 9 - 10 Wochen) erfolgt die Verhornung der Klauenwand. Die Verhornung der Saumsegmentepidermis läuft über ein Stratum granulosum ab. Die Verhornung der Epidermis über der Wand erfolgt ohne ein Stratum granulosum, dafür aber in zwei Etappen. Die primäre Keratinisierung beginnt distal, medial und lateral des Zehenrückens im Bereich der Koriumblättchen, dehnt sich dorsal aus und vereinigt sich auf dem Zehenrücken. Es entstehen verhornte Epidermisblättchen. Die sekundäre Keratinisierung entsteht im Kronsegment, von dort wird das Horn nun proximodistal vorgeschoben.

In der sechsten Periode (SSL 126,5 - 260 mm, 10 - 16 Wochen) schließt sich die Verhornung von Ballen (über ein Stratum granulosum) und Sohle (ohne ein Stratum granulosum) an. Gleichzeitig entstehen im Sohlen-Ballen-Bereich immer mehr Koriumpapillen, zusätzlich entwickelt sich ein subkutanes Ballenkissen. In der Wandepidermis entstehen häufig sekundä-

re Epidermisblättchen. Ein mächtig ausgebildetes Ballenhorn, welches über dem Sohlenhorn liegt, bleibt bis kurz nach der Geburt bestehen und bedeckt die ganze Palmar- bzw. Plantarfläche der Klaue.

#### 4.6 Die Ontogenese des Hufes

ZIETZSCHMANN und KRÖLLING (1955) teilen die Entwicklung des Pferdehufes in vier Perioden ein:

Die erste Periode liegt in der Zeit des zweiten Embryonalmonates. Die bereits verdickte Epidermis sitzt einem noch glatten dermalen Papillarkörper auf. Da schon frühzeitig die Hufform erkennbar ist, kann man Hufplatte und Hufsohle voneinander unterscheiden. Durch mesenchymale Proliferation sind alsbald Krone und Ballen zu identifizieren.

Die mit dem dritten Monat beginnende zweite Periode ist durch die Ausformung des segment-spezifischen Papillarkörpers gekennzeichnet. An der Kron-Wandsegmentgrenze entstehen Wandlederhautblättchen, die sich distal ausdehnen und Kronlederhautpapillen, die sich proximal ausdehnen. Papillen treten an der Sohle zuerst im distalen Bereich auf. In dieser Periode treten im Sohlen-Strahl-Bereich starke Epithelwucherungen auf, die dem Zehenendorgan eine Kegelform verleihen. Dieses epidermale Stoßpolster bezeichnen die Autoren als „Eponychium“. Sie schreiben ihm die Funktion des Schutzes der Eihäute vor Verletzungen zu. Am Ende dieser Periode fällt schon die Ausbildung von sekundären Lederhautleistchen an der Basis der Lederhautblättchen.

Die dritte Periode beginnt mit dem Auftreten von Epidermisröhrchen im Kronbereich (die mit der Epidermisproliferation distal geschoben werden), im distalen Sohlenbereich und im proximalen Strahlbereich. Der modifizierte Papillarkörper wächst weiter an. Am Ende dieser Periode setzt die Verhornung der Epidermis ein.

Die vierte Periode ist durch diese Verhornung gekennzeichnet und setzt mit dem 7. Trächtigkeitsmonat ein. Die Verhornung beginnt am Dorsalteil der Platte und ist erst am Ende der Trächtigkeit abgeschlossen. Sie betrifft nur die permanente Epidermis, nicht aber das als „Eponychium“ bezeichnete epidermale Sohlenkissen. Diese Zellmasse trocknet nach der Geburt ein und wird durch den Gebrauch der Füße abgerieben. Postnatale Reste dieser unverhornten Zellmassen, die nicht abgestoßen werden, sprechen ZIETZSCHMANN und KRÖLLING (1955) als Glasurschicht der Saumeepidermis an, die beim adulten Pferd ebenfalls als Eponychium bezeichnet werden.

BRAGULLA (1996) zieht für die Einteilung der Hufentwicklung die Entstehung des segment-spezifischen Papillarkörpers heran. In drei Abschnitten beschreibt er die Entwicklung des Hufes vor, während und nach der Ausformung des segmentspezifischen Papillarkörpers.

Der erste Abschnitt umfaßt das erste Drittel der fetalen Entwicklung bis zum Ende des 3. Monats der Trächtigkeit. Die Lederhaut läßt sich in ein Stratum reticulare und papillare - dessen zur Epidermis gerichtete Oberfläche glatt ist - unterteilen. Aus dem Ektoderm entstehen zuerst mehrere Schichten unverhornter Peridermzellen. Aus der basalen germinativen Zellschicht entsteht eine erste Epidermisgeneration, bestehend aus einem Stratum basale, einem mehrere Lagen umfassenden Stratum intermedium und einem Stratum corneum. Diese Epidermis ist in den einzelnen Segmenten schon unterschiedlich stark ausgebildet. Ihr sitzen außen noch Peridermzellen auf, die sich aber alsbald abschilfern.

Der zweite Abschnitt umfaßt die Zeit der Entwicklung des segmentspezifischen Papillarkörpers und liegt im zweiten Drittel der Trächtigkeit vom ca. 4. bis 6. Monat. Die erste Ausformung des Papillarkörpers erfolgt im Wandsegment in Form von Leisten am Übergang zum Kronsegment und in Form von Randleisten am Übergang zur Sohle. Während sich die proximalen Leisten distal ausdehnen, entstehen auf den Randleisten die ersten Terminalpapillen. Dann erst beginnt die Entwicklung der proximalen und distalen Kappenpapillen und der sekundären Lederhautblättchen. Im sofortigen Anschluß entwickelt sich der Papillarkörper im Kron- und Sohlensegment über Leisten zu Papillen. Mit einer zeitlichen Verzögerung erfolgt die Ausbildung von Papillen im Strahlsegment und erst deutlich später die Ausformung von Papillen im Saum- und Ballensegment.

Die Ausformung geht zunächst von der fetalen Hufepidermis aus und wird von BRAGULLA (1996) als appositionelle Phase bezeichnet. Basalzellsprosse, die durch lokale Proliferation der Basalzellen entstehen, modulieren dabei die Oberfläche der Lederhaut. In einer zweiten intussuszeptionellen Phase liegt eine gleichzeitige Proliferation von Epidermis und Bindegewebe vor, die zur endgültigen Ausformung des Papillarkörpers führt. Während der Zeit der segmentspezifischen Ausformung des Papillarkörpers entsteht die zweite Hufepidermisgeneration. Für sie ist charakteristisch, daß sie in allen Segmenten mit gewissen zeitlichen Verschiebungen über ein Stratum granulosum nach dem Prinzip der weichen Verhornung verhornt. Für die ersten beiden Hufepidermisgenerationen, die von allen Segmenten gebildet werden und beim neugeborenen Fohlen als weich-elastische Epithelmasse auf der Distalfläche des Hufes sitzt, schlägt BRAGULLA (1991, 1996) statt des Terminus „Eponychium“ älterer

Autoren (ZIETZSCHMANN u. KRÖLLING, 1955) den Begriff „hinfällige Hufkapsel“ vor (Capsula unguulae decidua).

Im dritten Abschnitt der Hufentwicklung, der die Zeit nach der segmentspezifischen Ausformung des Papillarkörpers bis zur Geburt umfaßt, ändert sich die Dimension, aber nicht mehr die Form des Papillarkörpers. Trotzdem erreicht der Papillarkörper des Hufes eines Fetus zur Geburt noch nicht die Größe und den Umfang des Papillarkörpers des Hufes adulter Tiere. Die Hufepidermis liegt nun in einer dritten Generation vor, die einen segmentspezifischen Aufbau in Hornröhrchen mit Zwischröhrchenhorn und Hornblättchen gleich der Hufepidermis adulter Pferde zeigt.

#### **4.7 Die Ontogenese des Finger- respektive Zehennagels**

In der Entwicklung des Nagels unterscheidet UNNA (1876) vier Perioden:

In der ersten Periode, die den 2.-8. Embryonalmonat umfaßt, liegt am Fingerende der sogenannte „primitive Nagel“ bzw. das „Eponychium“ vor. Das Eponychium besteht aus einer stark geschichteten und fest zusammenhängenden Hornschicht, welche die Dorsalseite des Fingers vom Nagelwall bis zur Spitze überzieht.

Während der zweiten Periode tritt durch Abblättern des „Eponychium“ im 8.-9. Embryonalmonat der „eigentliche Nagel“ frei zu Tage. Er ragt wie das „Eponychium“ über die Fingerkuppe hinaus.

Die dritte Periode wird durch das Entstehen von Lederhautpapillen im Nagelbett und unter der Nagelmatrix (die makroskopisch als Lunula bezeichnet wird) gekennzeichnet. Dies geschieht im 8. Embryonalmonat bis mehrere Monate nach der Geburt.

In der vierten Periode liegt der Nagel des Erwachsenen vor. Er entsteht in einem Verhornungsprozeß ohne ein Stratum granulosum. Dies weicht von der Verhornung der behaarten Haut ab.

### **5. Verhornung**

Die Verhornung ist ein Differenzierungsprozeß, der zu Veränderungen der histologischen Struktur der Epithelzellen und somit zur typischen Schichtbildung eines mehrschichtigen Epithels führt. Nach Durchlaufen dieser verschiedenen Schichten (Stratum basale, Stratum

spinosum und, im Falle der weichen Verhornung, Stratum granulosum) endet die Verhornung mit der Bildung „toter“ Hornzellen im Stratum corneum (KÜNZEL, 1990). Voraussetzung für die Verhornung ist die Keratinisierung lebender Epidermiszellen. Die Keratinisierung ist durch die Bildung von Keratin in den Zellen definiert. Sie muß nicht unbedingt zur Verhornung führen und kommt daher auch in unverhorntem Epithelgewebe vor (BRAGULLA, 1996). Während der Verhornung kommt es zur Synthese von Keratin, keratinfilamentassoziierten Proteinen, Bildung von MCGs (Membrane coating granules, siehe dort) und deren Ausschleusung in den Interzellularspalt als MCM ( Membrane coating material, s. d.). Zeitgleich mit der Bildung von MCGs, aber ohne deren Beteiligung, fällt die Entstehung eines Marginalbandes, das sich von innen an das Plasmalemm der verhornenden Zelle anlegt. Es besteht aus elektronendichtem, disulfidreichem Material (HASHIMOTO, 1971a), welches die Widerstandsfähigkeit der Hornzelle gegenüber keratolytischen Reagentien stark erhöht (MERCER u. MATOLTSY; 1969, MATOLTSY u. PARAKKAL, 1967). Die Verhornung endet mit der Nekrobiose der obersten, lebenden Zellen (KÜNZEL, 1990).

## 5.1 Verhornungstypen

Durch verschiedenartigen Verhornungsmodus (harte und weiche Verhornung) und der Qualität des entstandenen Hornes läßt sich „hartes“ und „weiches“ Horn unterscheiden. Aufgrund struktureller Kriterien unterscheiden BUDRAS u. SEIDEL (1992) das „weiche“ Horn zusätzlich in „weiches solides“ (schneidbares) Horn in den tiefen Lagen und „weiches bröckliges“ Horn (sogenanntes „Zerfallshorn“) in den oberflächlichen Lagen.

„Weiches“ Horn geht aus einem mindestens einschichtigen Stratum granulosum hervor. Keratinfilamentassoziierte Proteine (s. d.) liegen im Stratum granulosum in Form von Keratohyalin granula in den Zellen vor. Diese Zellen sind deutlich größer als die nachfolgenden Hornzellen. Saum-, Terminal- und Sohlenhorn sind bei der Hundekralle Beispiele für weiches Horn (SEIDEL, 1992). Die Interzellularspalten des Stratum corneum sind mäanderförmig geschlängelt und weisen unterschiedlich weite Bereiche auf. In engen Bereichen ist der Interzellularkitt feingranuliert, in blasigen Erweiterungen läßt er lamelläre Strukturen erkennen (BUDRAS u. SEIDEL, 1992).

„Hartes“ Horn, welches ohne Durchlaufen eines Stratum granulosum entsteht, liegt bei der Hundekralle im Kron- und Wandsegment vor. Die Hornzellen sind bei der Hundekralle so groß wie ihre lebenden Vorgängerzellen (beim Pferd sind die harten Wandhornzellen sehr viel

größer als die Vorläuferzellen), die gleichmäßig engen Interzellularspalten sind mit feinkörnig-homogenen Inhalt ausgefüllt. In der verhornenden Zelle verbacken keratinogene Filamentbündel zu homogenen Hornmassen.

## **5.2 Zytokeratine**

Zytokeratine sind Polypeptide mit  $\alpha$ -helicaler Struktur. Sie gehören zu den frühesten Intermediärfilamenten, die während der Entwicklung eines Individuums entstehen. Sie haben ein Molekulargewicht von 40 bis 68 kD und werden aufgrund ihres unterschiedlichen pH-Wertes in zwei Subfamilien eingeteilt. Typ I sind mehr saure, Typ II vorwiegend basische Zytokeratine. Verschiedene Keratine sind typisch für die unterschiedlichen Zelllagen eines mehrschichtigen Epithels (FRANKE u. KARTENBECK, 1993; HOCHSTETTER, 1998). Im Stratum basale liegen Präkeratinfilamente über die ganze Zelle verteilt vor (MATOLTSY u. PARAKKAL, 1967). In den darüberliegenden Schichten des Stratum spinosum und Stratum granulosum kommt es zur Zunahme der Zytokeratine in den Zellen. Sie lagern sich - u. a. unter Bildung von Disulfidbrücken zur Stabilisierung - zu Bündeln, sogenannten Fibrillen aneinander (MERCER u. MATOLTSY, 1969). Dadurch steigert sich der Durchmesser der Filamente von 7 nm im Stratum basale auf 9 nm im Stratum corneum (KÜNZEL, 1990). Die Bündelung wird durch keratinfilamentassoziierte Proteine (s. d.) unterstützt, bzw. verstärkt. Häufig sind die Keratinfilamentbündel an Desmosomen verankert (MATOLTSY, 1975).

## **5.3 Keratohyalingranula, keratinfilamentassoziierte Proteine**

Keratohyalingranula sind eine Sonderform amorpher keratinfilamentassoziiertes Keratine unterschiedlicher Größe (0,2 bis 2  $\mu$ m), die von Ribosomen synthetisiert werden (KÜNZEL, 1990; MATOLTSY, 1975). Sie sind typisch für das Stratum granulosum eines mehrschichtigen Epithels, welches dem Prinzip der weichen Verhornung folgt. Die Granula sind oft mit Ribosomen oder Keratinfilamentbündel assoziiert (MATOLTSY u. PARAKKAL, 1967).

Ein keratinfilamentassoziiertes Protein ist das histidinreiche Filaggrin, das in oberen Epidermislagen nachgewiesen werden kann (FRANKE u. KARTENBECK, 1993).

Die stark disulfidhaltigen Proteine der Keratohyalingranula bilden mit den Keratinfilamenten im Laufe der Verhornung in den Zellen des Stratum corneum einen filament-amorphen Matrixkomplex (MATOLTSY, 1975) und tragen somit zur Stabilisierung der Zelle bei.

#### **5.4 MCG / MCM**

Membrane coating granules (MCG) sind spezifische Zellorganellen der verhornenden Epidermis, die vom Golgi-Apparat der Zellen des Stratum spinosum hergestellt und in der distalen Zellperipherie gelagert werden (MÜLLING, 1993). Sie besitzen eine feinkörnige oder lamelläre Struktur und eine Größe von 100 bis 300 nm. Der Inhalt der MCGs, bestehend aus Glykoproteinen, Lipiden und verschiedenen Enzymen, wird in den Interzellularspalt der verhornenden Epidermiszellen ausgeschüttet und liegt dort als Membrane coating material (MCM) vor (ANTHAUER, 1996; BUDRAS et al., 1989; HASHIMOTO, 1971b; MATOLTSY u. PARAKKAL, 1967; MÜLLING, 1993). Dies ist die Kittsubstanz der Epidermis und wird als Interzellularkitt bezeichnet. Seine Aufgabe liegt in der Aufrechterhaltung einer semi-permeablen Barriere, dem Zusammenhalt der Keratinozyten und, durch seinen Gehalt an Hydrolasen (saure Phosphatase), in der Auflösung der Desmosomen im Interzellularspalt, sowie der Desquamation und der Selbstzerstörung der Hornzellen (BUDRAS u. BRAGULLA, 1991; MÜLLING, 1993).

#### **5.5 Verhornung und Entwicklung fetaler Epidermis**

BRAGULLA (1996) erkennt bei der fetalen Entwicklung der Hufepidermis beim Pferd drei Epidermisgenerationen, die sich im Laufe der Entwicklung ablösen. Die einzelnen Generationen lassen sich durch ihren Keratinisierungs- und Verhornungsgrad voneinander unterscheiden. Das Periderm, welches als erstes aus dem Stratum germinativum, bzw. basale hervorgeht, zählt der Autor zwar zur Hufkapsel, nicht aber zur Hufepidermis, da die Zellen dieser einschichtigen Zelllage unverhornt und kernhaltig sind und somit nicht der Definition einer Epidermis (mehrschichtig verhornendes Epithel) entsprechen. Das Periderm bleibt bis zur vollständigen Verhornung der darunterliegenden Epidermis als Schutzschicht vorhanden. Es hat einen hohen Anteil kurzketziger Keratine, die bis zum Verschwinden des Periderms nachweisbar sind. Langkettige Keratine mit einem Molekulargewicht von 56,6 bzw. 67 kD sind erst mit dem Entstehen eines Stratum intermedium belegbar. Sie sind gleichzeitig das erste Anzeichen einer Verhornung der Epidermis (DALE, 1985).

Die Epidermiszellen der ersten Generation sind gering keratinisiert und besitzen keine keratinfilamentassoziierten Proteine. Die Epidermiszellen der zweiten Generation bilden in ihrer Gesamtheit die „hinfällige Hufkapsel“ (BRAGULLA, 1996). Die Epidermis zeichnet sich durch einen weichen Verhornungstyp (ein Stratum granulosum ist vorhanden) in allen Segmenten aus. Die Epithelmassen werden von den verschiedenen Autoren unterschiedlich benannt. ZIETZSCHMANN und KRÖLLING (1955) bezeichnen die weichen Epithelmassen, die beim fetalen Pferdehuf am Wandsegment und besonders an der Sohlenfläche auftreten, als „Eponychium“. Dieser Begriff wird von ERNST (1954) und DIRKS (1985) abgelehnt, da er schon mit der Bezeichnung des Saumhornes beim adulten, bzw. geborenen Pferd belegt ist. ERNST (1954) verwendet den Begriff „provisorisches Horn“, DIRKS (1985) den Begriff „epidermales Sohlenkissen“. BRAGULLA (1991, 1996) und BRAGULLA und BUDRAS (1991) führen den Begriff „hinfällige Hornkapsel“, „Capsula unguiae decidua“ ein.

Ultrastrukturell erscheinen die hinfälligen Zellen bei unseren Haussäugetieren verschieden. **Beim Fohlen** (BRAGULLA, 1996) enthalten sie im Stratum granulosum ein engmaschiges filamentäres Netzwerk, welches sich mit den keratinfilamentassoziierten Proteinen im Stratum corneum zu Keratinschollen verbindet, die den Zellen ein marmoriertes Aussehen geben. An der Zytolemminnenseite entsteht ein marginales Band. Membranstapelhaltige MCGs werden in den Interzellularspalt ausgeschleust. Zellorganellen und Zellkerne sind abgebaut. Dies alles läßt den Autor zu dem Schluß kommen, daß bei den Zellen der hinfälligen Hufkapsel eine echte Verhornung stattfindet.

**Beim Kalb** sehen BRAGULLA et al. (1994) ebenfalls ein engmaschiges Keratinfilamentbündelnetzwerk, welches sich mit basophilen Granula zu acidophilen Keratinschollen verbindet. Die entstandenen Hornzellen sind durch Interzellularkitt miteinander verbunden. DIRKS (1985) beschreibt die Epithelmassen beim fetalen Kalb als gelblich-weißliches gallertiges Gewebe, welches das (permanente) Sohlenhorn und den distalen Teil des (permanenten) Wandhornes überzieht und zum größten Teil aus dem Sohlensegment hervorgeht. Die Epidermiszellen sind polygonal, sie besitzen nur in den tiefsten Schichten einen Zellkern. Im Zytoplasma liegen zahlreiche ungebundelte Tonofilamente, die ein Netzwerk bilden. Das dazwischen gelegene Zytoplasma ist optisch leer, Zellorganellen sind lichtmikroskopisch nicht zu sehen. Ausbuchtungen und Einziehungen der stark angefärbten Zellmembranen greifen ineinander. Der schmale Interzellularspalt enthält nur wenig Kitt, in vereinzelter Erweiterung ist er optisch leer. Im Bereich von Desmosomen ist der Interzellularkitt verdickt. Nach DIRKS (1985) liegt keine Verhornung des „epidermalen Sohlenkissens“ vor, da es zu keiner

Bündelung und Verbackung der Tonofilamente kommt. Zudem fehlt das marginale Band, die Desmosomen verdämmern nicht und es werden keine ausreichenden Mengen an Interzellularkitt gebildet. Sie bezeichnet das „epidermale Sohlenkissen“ als minderfestes Horn mit höherem Wassergehalt.

GEYER (1980) bemerkt **beim Schwein** intra- und extrazellulären Hohlräume. Über den Grad der Verhornung dieser hinfalligen Zellen macht er keine Angaben.

Die, nach BRAGULLA (1996), dritte Epidermisgeneration bildet die permanente Hufkapsel und verhornt segmentspezifisch nach dem weichen, bzw. harten Verhornungsmodus.

Generell existieren keine fetalen Keratine per se. Je jünger embryonale Epidermiszellen sind, desto kürzer sind die darin enthaltenen Keratinketten. Diese Keratine sind im Laufe der Entwicklung nicht mehr nachweisbar, da die Keratine langkettiger werden. Bis auf kurzkettige Keratine mit einem Gewicht von 40 bzw. 52 kD kommen alle Keratine, die in den fetalen Epidermiszellen existieren, im Laufe der Verhornung auch in den Zellen der adulten Epidermis vor. Das keratinfilamentassoziierte Protein Filaggrin ist erstmals beim Auftreten eines Stratum granulosum nachweisbar und ein spezifischer (ultrastruktureller) Marker für diese Zellage (DALE, 1985).

## 6. Erkrankungen der Kralle

Echte Krallenerkrankungen sind bei Hund und Katze relativ selten (MULLER, KIRK u. SCOTT, 1993). Häufig wird im Zuge systemischer Erkrankungen die Kralle befallen.

Die Paronychie ist eine Entzündung der Weichteile in der Krallenumgebung. Sie kann bakterieller Ursache sein, die selten primär bedingt ist. Autoimmunerkrankungen wie Pemphigus und Lupus erythematoses sind weitere Ursachen, ebenso kann Paronychie bei generalisierter Demodikose oder Diabetes mellitus auftreten. Die Infektion hat ihren Ursprung unter dem Krallenfalz an der Krallenbasis, so daß die Krallentüten sich bei fortschreitender Erkrankung lockern und ausfallen können (Onychomadesis).

Bei der Onychomykose ist *Microsporum canis* bei den Katzen und *Trichophyton mentagrophytes* bei den Hunden die häufigste Ursache. Als Therapie bleibt nur die Amputation der gesamten Phalanx distalis.

Brüchige Krallen (Onychorrhaxis, die Kralle splittert vom freien Ende her) sind bei Katzen meist traumatisch bedingt. Bei Teckeln liegt eine gewisse Rassendisposition vor, deren Ätiologie nicht geklärt ist.

Bei der Hyperthyreose der Katze tritt neben fokaler oder symmetrischer Alopezie ein verstärktes Krallenwachstum auf, einhergehend mit abnormer Härte und Dicke der Krallen,. Dies ist beim Hund bei der Akromegalie zu finden (MULLER, KIRK u. SCOTT, 1993).

Chronische Thalliumvergiftungen können bei Hund und Katze zu einer Parakeratose des Kronsaumes führen.

Die Retentionshyperkeratose täuscht durch mangelnde Abschilferung der palmaren Kante und der distalen Spitze der Krallentüte, die bei der Katze schichtweise erfolgt, eine vermehrte Verhornung vor. Dies kann vorkommen, wenn die Katze nicht mehr in der Lage ist, die Krallen auszufahren (siehe auch Punkt 2.2: Funktion der Katzenkrallen) (DÄMMRICH und LOPPNOW, 1990).

LETTOW (1988) beobachtet bei Hunden (besonders Schnauzer und Riesenschnauzer sind prädisponiert) eine Erkrankung des Krallenbettes in Form eines Plattenepithelkarzinoms, bzw. eines malignen Melanoms. Diese Geschwülste führen zu einer Osteolyse der Phalanx tertia, die sich zuerst am Proc. unguicularis manifestiert. Von außen ist eine Störung der Hornbildung sichtbar, die sich durch gesteigertes Krallenwachstum, Aufsplitterung, Bruch oder Spaltenbildung der Krallen äußert. Die Krallen gehen schließlich verloren und werden nicht wieder nachgebildet. Dabei kann man schon frühzeitig proliferierendes Gewebe zwischen behaarter Haut und Krallenwurzel bemerken.

Bei der Katze sind Plattenepithelkarzinome und Melanome dagegen meist am Kopf lokalisiert.

Eine seltene Erkrankung des Zehenendorgans der Katze stellt die ulzerierende Pododermatitis dar, die die Ballen befällt. Sie kann durch primäre Reizungen, Virusinfektionen, Sarkome oder durch Autoimmunerkrankungen hervorgerufen werden (MEDLEAU et al., 1982).