Aus dem Department für Pathobiologie

der Veterinärmedizinischen Universität Wien

(Departmentsprecher: Univ.-Prof. Dr. rer. nat Armin Saalmüller) Fach: Anatomie

MORPHOLOGIE DER BALLEN AN DER VORDER-EXTREMITÄT DES BRAUNBÄREN (Ursus arctos Linné, 1758)

MORPHOLOGY OF THE PADS OF THE FRONT-LIMB IN BROWN BEARS (Ursus arctos Linné, 1758)

> DIPLOMARBEIT zur Erlangung der Würde einer MAGISTRA MEDICINAE VETERINARIAE der Veterinärmedizinischen Universität Wien

> > vorgelegt von Kira Fraundorfer

Wien, im Dezember 2012

## **BETREUER:**

Ao. Univ.-Prof. Dr. med. vet. Gerald Weissengruber

Institut für Anatomie, Histologie und Embryologie Departement für Pathobiologie Veterinärmedizinische Universität Wien

## **GUTACHTER:**

N.N.

Institut Departement Veterinärmedizinische Universität Wien

## INHALTVERZEICHNIS

1. Einleitung und Fragestellung 1
1.1 Allgemeines zu den Ballen 1
1.2 Allgemeines zum Sohlenkissen 2
1.3 Fragestellung3
2. Literaturübersicht 4
2.1 Allgemeiner Aufbau der Tori 4
2.2 Mensch 4
2.3 Huftiere und Elefant 5
2.4 Fleischfresser
2.5 Bären
3. Material und Methoden 11
3.1 Material 11
3.2 Methodik 11
4. Ergebnisse
4 1 Torus carpeus
4 2 Torus metacarpeus 19
4 3 Tori digitales
5. Diskussion 25
6. Zusammenfassung 27

7. Extended Summary	28
8. Literaturverzeichnis	29
9. Tabellenverzeichnis	32
10. Abbildungsverzeichnis	33

# IM TEXT VORKOMMENDE ABKÜRZUNGEN

GL	Größte Länge
GB	Größte Breite
vo.li	vorne links
vo.re	vorne rechts

## **1. Einleitung und Fragestellung**

### 1.1 Allgemeines zu den Ballen

REESE (2009) beschreibt die Tori an Hand und Fuß als Strukturen aus stark modifizierter Haut. Sie fungieren während der Bewegung als Stoßdämpfer und sollen die Kräfte, die während der Fußung auf die Knochen, die Sehnen und den Bänderapparat wirken, abfangen und so die Druckbelastung mindern (REESE, 2009). An der Vordergliedmaße finden sich von proximal nach distal der Torus carpeus, der Torus metacarpeus und fünf Tori digitales, an der Hintergliedmaße spricht man von proximal nach distal von dem Torus tarseus, dem Torus metatarseus und den fünf Tori digitales (REESE, 2009).

Die Unterhaut der Ballen ist zu einem massiven Polster entwickelt, dabei sind Fettzellen kammerartig von elastischem Bindegewebe umgeben. Auch der Papillarkörper ist entsprechend an mechanische Belastung angepasst und gut ausgebildet und die Epidermis ist an ihrer Oberfläche zu einer dicken, verhornten Hautschicht ausgebildet (GEYER, 2005).

Die Art des Bären sich fortzubewegen ist eine Besonderheit und für ein Säugetier eher ungewöhnlich. Denn, im Gegensatz zu Hund und Katze, und genau wie der Mensch, der Waschbär, das Stachelschwein und der Biber, ist der Bär ein Sohlengänger, kein Zehengänger. Er setzt beim Gehen auf der Ferse auf (WOOD, 1997).

WOOD (1997) schreibt, dass der Schwarzbär seine Vorderextremitäten als Werkzeuge zum Graben verwendet oder um Nahrung zum Maul zu führen. Er nutzt sie ebenfalls um Bäume zu erklimmen. Der Eisbär, der ein guter und ausdauernder Schwimmer ist, hat Schwimmhäute zwischen den Zehen. Seine Ballen sind mit äußerst kleinen, kegelförmigen Noppen versehen, damit er sich auf Schnee und Eis bewegen kann, ohne den Halt zu verlieren. Während der Bär seine Winterruhe hält, findet an der Sohlenhaut ein Umbauprozess statt. Alte Sohlenhaut wird abgestoßen und durch neue ersetzt (WOOD, 1997; KALB, 2007).

## 1.2 Allgemeines zum Sohlenkissen

RÄBER et. al. (2004) beschreiben das Sohlenkissen des Rindes als eine komplexe Struktur, bestehend aus Fett und Bindegewebe, die der Dämpfung beziehungsweise zum Abfangen der Kompressionskräfte dient. Denn da sich der Klauenschuh unter Belastung abflacht und die Seitenwände zur Seite ausweichen, absorbiert das Sohlenkissen den Großteil der Kompression (RÄBER et al. ,2004).

Ähnlich wie beim Rind ist das Sohlenkissen auch bei der Giraffe im proximalen, weniger stark belasteten Bereich, stärker ausgebildet (RAMSNER, 2011).

Beim Pferd haben die proximalen Ballen auf Grund der evolutionären Entwicklung zur unguligraden Fußung ihre Funktion verloren. Sie sind nur mehr rudimentär als Kastanie und Sporn erhalten (REESE, 2009).

Der Ballen der Hauptzehe ist beim Pferd als Strahl in den Huf integriert (BUDRAS et al. ,2009).

Auch vom Elefanten weiß man mittlerweile, dass das Sohlenkissen eine wichtige Rolle beim Auffangen und Verteilen des Druckes, der durch die Belastung während der Fußung auf die Gliedmaßenspitze wirkt, spielt (WEISSENGRUBER et al., 2006).

Hund und Katze besitzen noch alle Tori, doch auch bei ihnen ist der Karpal-/ Tarsalballen auf Grund der Aufrichtung der Gliedmaße funktionslos (REESE, 2009). Nur wenige Studien haben sich mit der Sohlenstruktur und in geringem Ausmaß auch mit dem Aufbau der Sohlenballen bei den Eisbären beschäftigt (MANNING et al., 1985; ORITSLAND et al., 1973).

## 1.3 Fragestellung

Ziel dieser Arbeit ist es, die Ballenstrukturen an der Vorderextremität des Braunbären erstmals nach den Methoden der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie darzustellen.

Es wird angenommen, dass der Aufbau dieser Strukturen nur geringe Unterschiede zu jenen der Hausfleischfresser aufweist.

### 2. Literaturübersicht

### 2.1 Allgemeiner Aufbau der Tori

Die Tori sind Ausformungen der Haut, die aus einer dicken Epidermis und einer Dermis bestehen. Die Epidermis ist die oberste, verhornte Schicht der Haut. Die Dermis, auch Lederhaut genannt, ist die verbindende Schicht zwischen Epidermis und Tela subcutanea, der Unterhaut. In der Tela subcutanea liegt der Pulvinus. Der Pulvinus, der einem aus Fett gebildeten Kissen entspricht, kann, muss aber nicht vorhanden sein (SCHALLER et al, 1992).

### 2.2 Mensch

Der Zehenballen des Menschen ist morphologisch in drei Bereiche geteilt, die auf Grund ihrer Lage und Ausformung jeweils unterschiedliche Funktionen übernehmen (BOJSEN- MÖLLER et FLAGSTAD, 1976).

BOJSEN- MÖLLER und FLAGSTAD (1976) untersuchten den Zehenballen des Menschen und konnten beweisen, dass eine Teilung des Ballens in drei Bereiche vorliegt, die jeweils unterschiedliche Funktionen erfüllen. Zur Verfügung standen 20 in Formalin fixierte und drei frische menschliche Füße. Zusätzlich wurden die Füße von vier Föten im Alter von vier bis sechs Monaten histologisch untersucht. Grundsätzlich bilden die longitudinal, transversal und vertikal ziehenden Aponeurosen der Sehnen zusammen mit Fettkompartimenten, die dazwischen auf Höhe der Metatarsalknochen eingebettet sind, eine ballenartige Struktur, die die Haut mit dem Skelett fest verbindet. Proximal der Metatarsalknochen ziehen die Fasciculi longitudinales der Aponeurosis plantaris. Sie trennen sich an dieser Stelle in fünf superfiziale und zehn profunde Züge. Von den oberflächlichen Zügen ziehen zwei nach lateral und medial außen an den Fuß, die restlichen drei zu den drei mittleren Zehen. Die zehn tiefen Züge formen zwei randständige und acht mittlere sagittale Septen. So zeigt sich deutlich eine Dreiteilung des Zehenballens. Im proximalen Bereich verlaufen die transversalen Faszikuli und die Sagittalsepten der Aponeurosis plantaris. Im Bereich direkt distal der Metatarsalknochen liegen die Fettpölster. Im distalen Bereich ziehen die "Fasciculi longitudinales" der Aponeurosis plantaris an die Haut. Im mittleren Bereich des Ballens befinden sich fünf differenzierbare Fettpölster. Zwischen diesen sind jeweils fünf bis acht Millimeter ausgespart, um Gefäße und Nerven aufzunehmen. Vater- Pacini- Körperchen findet man einzeln oder in Gruppen zu je zwei oder drei in der Umgebung der Digitalnerven beziehungsweise der begleitenden Arterie. Diese Körperchen kommen außerdem gehäuft in jenen Bereichen vor, auf denen das meiste Gewicht lastet. Je nach Belastung des Fußes wird auch ein unterschiedlicher Bereich des Zehenballenpolsters beansprucht. Während des Abstoßens lastet das Gewicht auf dem vorderen Teil des Ballens, die Längsfasern verhindern ein zu starkes Verschieben der Haut und Übertragen die Kräfte auf den Calcaneus. Im Stehen haben der hintere Teil des Ballens und die Ferse Bodenkontakt (BOJSEN- MÖLLER et FLAGSTAD ,1976).

#### 2.3 Huftiere und Elefant

Beim Pferd sind die Tori sehr stark modifizierte Bereiche der Haut und nicht mehr als solche zu erkennen. Dennoch kann man am Huf alle drei Hautschichten identifizieren. Die Lederhaut hat entsprechend der hohen Belastung einen deutlich ausgebildeten Papillarkörper und die Epidermis ist stark verhornt. Die Epidermis wird als "Hufkapsel" bezeichnet. Sie ist mit der Lederhaut durch Lederhautzotten fest verbunden. Im Zuge der evolutionären Entwicklung haben sich die Tori verändert und sind beim Pferd in die Gliedmaßenspitze integriert beziehungsweise nur mehr in rudimentärer Form erhalten. Der Zehenballen ist beim Pferd in den Huf als Strahl (Cuneus ungulae) integriert. Der Torus metacarpeus/ metatarseus der Fleischfresser entspricht beim Pferd dem Sporn (Calcar), der distal palmar/ plantar des Fesselgelenks liegt. Die Kastanie beim Pferd entspricht dem Torus carpeus/ tarseus des Fleischfressers. Sie liegt als haarlose, verhornte Struktur etwa eine Hand breit proxomedial des Carpus beziehungsweise des Tarsus (BUDRAS et. al., 2009).

Beim Rind dient das Sohlenkissen laut RÄBER et.al. (2009) dazu, einen Großteil des Körpergewichtes abzufangen. Interessanterweise ist das Sohlenkissen unter der Ferse, wo es nicht so viel Gewicht trägt, dicker und wird dünner, je weiter man Richtung Zehe kommt. Es setzt sich aus drei Kompartimenten zusammen, die annähernd zylindrisch geformt sind und distal der Phalanx distalis zur Zehenspitze ziehen. Jedes Segment besteht aus lockerem Bindegewebe, das einen unterschiedlichen Anteil an Fettgewebe enthält, das wiederum in kollagenfaseriges Bindegewebe eingebettet ist. Das mittlere der drei Kompartimente dehnt sich zehenspitzenwärts geringgradig oberhalb der Phalanx distalis aus. Das axiale Kompartiment ist größer als das abaxiale. Ebenfalls erwähnenswert ist, dass der Anteil an Fett bei Kalbinnen am geringsten ist und während der ersten Trächtigkeit steigt, bis das Fett nach der dritten Gravidität schließlich mehr und mehr dem Bindegewebe weicht. Überdies enthält das Sohlenkissen in den Vordergliedmaßen mehr Fett als in den Hintergliedmaßen und die lateralen Klauen enthalten mehr Fettgewebe als die medialen. Außerdem wurde beobachtet, dass mit steigendem Alter das mittlere Kompartiment des Sohlenkissens dünner wird (RÄBER et al., 2004).

An der Klaue der Giraffe fand RAMSNER (2011) an der Fußungsfläche größtenteils Horn. Das Ballenhorn gliedert sich in einen apikalen, harten und einen weichen, palmaren beziehungsweise plantaren Teil. Das Ballenhorn ist ein bis zwei Zentimeter dick und wird von der Ballenlederhaut und einem Ballenkissen unterlagert. Das Ballenkissen ist im palmaren Teil der Klaue dicker ausgebildet. Je weiter man zehenspitzenwärts kommt, desto dünner wird es. Der überwiegende Teil des Bindegewebes ist straffes, kollagenes Bindegewebe, das durch gekreuzte Bündel kollagener Fasern charakterisiert ist. Zwischen den Zügen aus kollagenen Fasern befindet sich vor allem Gewebe mit alzianophiler Matrix. In Richtung tiefer Beugesehne formieren sich anfangs dünne Kollagenfaserbündel zu starken Trabekeln. Zwischen diesen Trabekeln liegen viele große Fettläppchen, wenig elastische Fasern, alzianophile Matrix und Gefäße. Lockeres kollagenes Bindegewebe findet man vor allem in der Umgebung von Blutgefäßen und Nerven, sowie im Randbereich des Kissens. Bei der Giraffe scheint das Ballenkissen der Vorderextremität mehr Fett zu enthalten als jenes der Hinterextremität (RAMSNER, 2011).

Der Elefant wird von WEISSENGRUBER et.al. (2006) als Besonderheit unter den Quadrupeden beschrieben. Die Zehen formen gemeinsam mit den Metakarpalknochen einen Bogen, der dem des Menschen nicht unähnlich ist. Zwischen den knöchernen Strukturen beziehungsweise Sehnen, Muskeln und Bändern des Fußes liegen mehrere Kissenteile. Das Sohlenkissen besteht aus weiß- bis gelblichem Fettgewebe und faserigem Bindegewebe. Durch dicke Faserbündel wird es in ein metakarpales und drei mehr oder weniger deutlich ausgeprägte digitale Kompartimente gegliedert. Die einzelnen Kompartimente sind durch bindegewebige Septen abgegrenzt. Die Blutgefäßversorgung der Kissen ist gut ausgebildet. Von den Hauptgefäßen ziehen sowohl Blutgefäße jeweils in die Metapodialkompartimente; auch liegen zahlreiche Gefäße in den diese umgebenden Geweben. Bei der mikroskopischen Untersuchung der Sohlenhaut sieht man eine dick verhornte Epidermis. Diese ist unterlagert von einer Lederhaut, in der zahlreiche Blutgefäße und Nerven liegen. Das Fettgewebe ist von Kollagenfasern, elastischen Fasern und retikulären Fasern umgeben. In den Zehenkompartimenten sieht der Aufbau des Gewebes etwas anders aus. Hier ist fast jede Fettzelle von Fasern umgeben; es dominieren kollagene Fasern gegenüber den elastischen (WEISSENGRUBER et al., 2006).

#### 2.4 Fleischfresser

Hund und Katze sind Zehengänger. Der Torus digitalis der ersten Zehe ist beim Fleischfresser sehr klein ausgebildet, er fehlt komplett an der Hintergliedmaße. Der Torus metacarpeus ist dreilappig und wird beim Fußen belastet, ihm entspricht der Torus metatarseus an der Hintergliedmaße. Der Torus carpeus an der Vordergliedmaße hat keine ihm entsprechende Struktur an der Hintergliedmaße.

Das Horn der Tori enthält andeutungsweise Röhrchenstruktur, besteht jedoch vorrangig aus übereinander geschichteten Hornzellen (GEYER, 2005).

Grundsätzlich können wir drei Gruppen von Tori ansprechen. Die Tori carpei beziehungsweise tarsei, die Tori metacarpei beziehungsweise metatarsei und die Tori digitales. Die proximalen Ballen haben bei unseren Haussäugetieren mit der Aufrichtung der Gliedmaße und der Entwicklung zur digitigraden Fußung beim Fleischfresser beziehungsweise zur unguligraden Fußung bei den Huftieren, ihre Funktion größtenteils eingebüßt. Hund und Katze besitzen einen Torus metacarpeus beziehungsweise metatarseus, der aus der Vereinigung der Ballen der zweiten bis vierten Zehe entstanden ist. Auch ein Torus carpeus ist ausgebildet, allerdings funktionslos (REESE, 2009).

Sowohl in der Unterhaut als auch in der Lederhaut finden sich beim Fleischfresser viele ekkrine Drüsen, die als Schweißdrüsen anzusehen sind (SALOMON et al., 2005).

HABERMEHL (1996) beschreibt den Torus des Fleischfressers als haarloses Hautorgan, das aus einer dicken, weich elastischen Epidermis, die zum größten Teil verhornt ist, aus einer Dermis, die zu einem teilweise hohen Papillarkörper entwickelt ist, und einer Subcutis besteht. Das Bindegewebe der Subcutis wird von vielen elastischen Fasern durchzogen, die nicht-kompressible Fettzellen enthalten. Diese Fettzellen gehören nicht zum Depotfett, sondern zum Baufett, das hier die Bildung eines Stoßkissens bedingt (HABERMEHL, 1996).

#### 2.5 Bären

ROGERS (1974) untersuchte in einem Zeitraum von drei Jahren die Sohlenballen von 32 wilden, einjährigen oder älteren Schwarzbären kurz vor dem Ende ihres Winterschlafes. Zu diesem Zeitpunkt konnte beobachtet werden, dass bei 26 Bären die verhornten Schichten der Epidermis der Tori metacarpei und digitales entweder schon gelockert waren oder sich in einem fortgeschrittenen Stadium des Schälens befanden. Die Tori metacarpei schälten sich in mehreren Stücken, während die Tori digitales sich oft auch im Ganzen ablösten. Vor dem Schälen betrug die Dicke der verhornten Epidermis ein bis vier Millimeter. nach dem Schälen war sie oft nur noch weniger als einen Millimeter dick (ROGERS, 1974).

MANNING et al. (1985) veröffentlichten eine Untersuchung über die Ballen des Eisbären. Ihre Hypothese war, dass der Eisbär im Hinblick auf seinen natürlichen Lebensraum rutschfeste Sohlen haben müsste. Tatsächlich fanden sie dass die Oberflächen der Tori metacarpei allesamt mit kleinen (ungefähr einen Millimeter im Durchmesser) Papillen überzogen sind und eine massive Verhornung aufweisen. Unter dieser harten, verhornten Epidermis befindet sich eine weiche Dermis die aus einem Netzwerk aus Kollagen und elastischen Fasern besteht. Die Rutschfestigkeit scheint sich aus der rauen, harten Oberfläche mit darunter liegendem, weichem Kern zu ergeben (MANNING et. al., 1985).

DAVIS (1964) schreibt über die Tori an der Vordergliedmaße des großen Pandabären (Ailuropoda melanoleuca) dass sie dick und verhornt sind. Die Tori digitales sind alle annähernd elliptisch geformt und gleich groß, bis auf den Torus der fünften Zehe und den des Pollex, diese sind kleiner. Der Torus des Pollex ist der Kleinste und außerdem mit dem Torus metacarpeus durch einen dünnen, haarlosen Hautsteg verbunden. Der Torus metacarpeus ist nach lateral leicht verdickt und bildet an der medialen Seite einen "Radiallappen", der durch eine transversale Furche abgegrenzt wird. Der Radiallappen ist kleiner als der Torus carpeus und von elliptischer Form. Er ist mit dem prominenten Os sesamoideum des Radius verbunden. Der Torus carpeus liegt lateral an der Gliedmaße etwas oberhalb des Torus metacarpeus. Die Tori liegen dichter zusammen als beim Braunbären. An der Hintergliedmaße fehlt der Torus tarseus. Die Tori digitales sind annähernd gleich groß. Der Torus des Hallux ist ähnlich wie an der Vordergliedmaße durch einen dünnen Steg an haarloser Haut mit dem Torus metatarseus verbunden. Der Torus metatarseus ist flach, leicht konvex geformt und annähernd in fünf Läppchen gegliedert, von dem das unter dem Hallux liegende am deutlichsten hervorgehoben ist. Der Torus metatarseus liegt über den Metatarso- Phalangeal- Gelenken, lateral ist er breiter als medial (DAVIS, 1964).

### 3. Material und Methoden

## 3.1 Material

Es standen drei Vordergliedmaßen von zwei Bären zur Verfügung, die der Codierung des Institutes für Anatomie und Histologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien folgend als URS 3 und URS 7 bezeichnet werden.

URS 7 ist ein 40 Jahre altes, syrisches Braunbärweibchen, das 2010 in Schönbrunn verstarb. Für die Präparation waren die linke und rechte Vordergliedmaße erhalten, wobei an der linken nur die Tori digitales vorhanden waren.

Von URS 3, einem ungefähr halbjährigen Braunbärmännchen, das in der Region Naturpark Ötscher vermutlich durch Absturz den Tod fand, war die rechte Vordergliedmaße bis zum Schulterblatt vorhanden.

Alle Extremitäten wurden in Formalin gelagert.

## 3.2 Methodik

Die anatomische Präparation der Tori erfolgte mit einem Skalpell, einer anatomischen und einer chirurgischen Pinzette und einer stumpf- spitzen Schere. Die Befunde wurden beschreibend sowie photographisch (Canon 450 D) festgehalten.

Vor der Präparation wurden die Tori aller drei vorliegenden Gliedmaßen mittels elektronischer Schublehre vermessen. Es wurden die größte Breite (medial- lateral) und die größte Länge (proximal- distal) ermittelt.

Des Weiteren wurden histologische Gewebeproben entnommen. Alle entnommenen Gewebestücke wurden in gepuffertem Formol fixiert und in Paraffin eingebettet. An-

schließend wurden sie mittels Mikrotom geschnitten, auf Objektträger verbracht und mittels Hämatoxylin Eosin Färbung gefärbt.

## 4. Ergebnisse

An der Vordergliedmaße des Braunbären erscheint die am weitesten medial gelegene erste Zehe verkürzt. An jeder Zehe befindet sich ein Torus digitalis; weiters ist ein Torus carpeus und ein großer Torus metacarpeus ausgebildet.

Tabelle 1: Maße aller Ballen der rechten Vordergliedmaße von URS 7; angegeben in Millimetern.

	Größte Länge (GL)	Größte Breite (GB)
Torus carpeus	34,3	37, 1
Torus metacarpeus	57,2	112,1
1.Torus digitalis	29,0	16,5
2.Torus digitalis	37,8	22,4
3.Torus digitalis	36,6	18,8
4.Torus digitalis	38,1	20,8
5.Torus digitalis	34,2	21,9

Tabelle 2: Maße der Tori digitales der linken Vordergliedmaße von URS 7; angegeben in Millimetern.

	GL	GB
1.Torus digitalis	27,9	15,4
2.Torus digitalis	31,7	20,7
3.Torus digitalis	28,9	19,0
4.Torus digitalis	33,0	22,7
5.Torus digitalis	33,1	24,3

	GL	GB
Torus carpeus	24,7	30,8
Torus metacarpeus	55,1	111,0
1.Torus digitalis	29,1	19,0
2.Torus digitalis	32,6	21,3
3.Torus digitalis	31,4	21,9
4.Torus digitalis	35,2	22,2
5.Torus digitalis	34,2	24,8

Tabelle 3: Maße aller Ballen der rechten Vordergliedmaße von URS 3; angegeben in Millimetern.

Folgende Gewebeproben von URS 7 wurden einer histologischen Untersuchung zugeführt:

Linke Vorderextremität: Torus digitalis der zweiten Zehe (Querschnitt), Torus digitalis der vierten Zehe (Längsschnitt).

Rechte Vorderextremität: Torus digitalis der zweiten Zehe (Querschnitt), Torus digitalis der vierten Zehe (Längsschnitt), Torus metacarpeus (Längs- und Querschnitte), Torus carpeus (Längsschnitt, lateraler Teil).



Abbildung 1: Ansicht von palmar URS 7 vorne rechts (vo.re.); 1-5= Tori digitales von medial nach lateral; 6= Torus metacarpeus; 7= Torus carpeus.

### 4.1 Torus carpeus

#### Anatomie

Der Torus carpeus liegt als annähernd halbkugelige Struktur etwa zwei Zentimeter proximal des Torus metacarpeus lateropalmar an der Gliedmaße. Dorsal liegt unter dem Torus carpeus das Os accessorium.

Die Oberfläche des Ballens ist rau, wabenartig und zeigt stellenweise warzenartige Erhebungen.

Der Torus ist etwas verschieblich.

Nach dem Abtragen oberflächlicher verhornter Schichten sind papillenförmige Erhebungen der verhornten Haut von unterschiedlicher Dichte und unterschiedlichem Durchmesser zu sehen. Lateral ist die Verhornung wesentlich dicker als medial.



Abbildung 2: Torus carpeus, URS 7, vo. re.; Crista verhornter Schicht von proximolateral nach distomedial ziehend erkennbar (Pfeil); wabenartige Struktur verhornter Haut.

Das bindegewebig organisierte Fettpolster liegt direkt auf den Musculi flexor und abductor digiti quinti.



Abbildung 3: URS 7 vo. re., latero- proximale Palmaransicht

#### Histologische Untersuchung

Der Karpalballen ist von einem stark verhornten, mehrschichtigen Plattenepithel bedeckt, das durch basale Epidermiszapfen mit dem Stratum papillare des Coriums verzahnt ist. Der Aufbau der verhornten Epidermis entspricht dem allgemeinen Schichtaufbau der Haut und gliedert sich in das am tiefsten liegende Stratum basale, darauffolgend das Stratum spinosum, das Stratum granulosum, das Stratum lucidum und das Stratum corneum (Abb. 4). In der basalen Schicht der Epidermis fanden sich einige Melanozyten mit schwarzbraunen Granula. Die zahlreichen, basalen Keratinozyten wiesen als Melanophoren ebenfalls Melaningranula auf. Eine dem Stratum lucidum entsprechende Epidermisschicht konnte nachgewisen werden.

Die Dermis ist gut erkennbar in das unter der Epidermis liegende Stratum papillare und das wiederum darunter liegende Stratum reticulare aufgeteilt. Im Stratum reticulare sind Drüsen erkennbar, die in ihrer Form und Lage ekkrinen Schweißdrüsen, wie man sie auch bei den Hausfleischfressern findet, entsprechen könnten. Auf Grund des Erhaltungszustandes ist aber keine letztgültige Aussage möglich.

Der Übergang von unbehaarter zu behaarter Haut ist im histologischen Schnitt gut erkennbar. Man sieht Haarfollikel, die in Gruppen angeordnet sind (Abb. 4/3a). Teilweise sind auch die um sie herum gelegenen Schweißdrüsen erkennbar.

Das weiße Fettgewebe in der Unterhaut des Torus carpeus ist Baufett, das von stärkeren Bindegewebssepten, den sogenannten Retinacula cutis (Abb. 4/ 4a), durchzogen ist. Die Retinacula cutis enthalten viele Bündel stärkerer Kollagenfasern. Das Fettgewebe selbst besteht aus Gruppen von univakuolären Fettzellen (Abb. 4/ 4b), den sogenannten Adipozyten. Sie zeigen die für Fettzellen typische Struktur. In der Zelle befindet sich eine große Fettvakuole, die die Zelle ausfüllt und den Zellkern an den Rand verdrängt.

Im Schnitt scheinen die Fettläppchen andeutungsweise halbmondförmig um ein zentrales Kompartiment, das auch ein Fettläppchen darstellt, angeordnet zu sein. Die einzelnen zentralen und peripheren Fettläppchen selbst sind in Ihrer Form rund bis oval.



Abb. 4: Mikroskopisch-anatomischer Bau des Torus carpeus des Braunbären; 1- Übersichtsvergrößerung. Das rote, grüne und gelbe Rechteck geben die Lokalisierung der in Abb. 4/2, 4/3 und 4/4 gezeigten Ausschnittsvergrößerungen an. Blaue Linie: halbmondförmige Anordung der Fettläppchen um ein zentrales Kompartiment; 2- Stark verhornte Epidermis des Karpalballens; c: Stratum basale; d: Stratum spinosum; e: Stratum granulosum; f: Stratum lucidum; g: Stratum corneum, 3- Behaarte Haut; h: in Gruppen angeordnete Haarfollikel; 4- Baufett; i: Bindegewebe; j: Univakuoläre Fettzellen; Färbung Hämatoxylin/Eosin.

#### 4.2 Torus metacarpeus

#### Anatomie

Der Torus metacarpeus ist medial etwa ein Drittel kürzer als lateral, wo er sich auch weiter zur Seite ausdehnt. Der Torus metacarpeus erstreckt sich von den Articulationes metacarpophalangeae bis zu den Phalanges mediae.

Die Oberfläche des Torus ist rau, wabenartig und unterschiedlich pigmentiert. Sie zeigt stellenweise warzenartige Erhebungen. Der Torus metacarpeus ist geringgradig verschiebbar.

Nachdem oberflächliche, verhornte Schichten abgetragen sind, zeigen sich papillenförmige Erhebungen der verhornten Haut von unterschiedlicher Dichte und unterschiedlichem Durchmesser.

Die weitere präparatorische Abtragung der Epidermis ergibt eine deutlich papilläre Strukturierung der verhornten Haut. Ins Innere der Papillen ziehen Blutgefäße.

Nach weiterer Abtragung wird in den untersten Schichten eine wabenartige Strukturierung der verhornten Haut erkennbar. Diese Waben aus verhornter Haut sind an Stellen mit stärkerer Verhornung kleiner und teilweise kreisartig um eine zentrale Wabe angeordnet.

Außerdem zeigt sich am Torus metacarpeus eine ausgeprägte epidermale Furchenbildung. Diese Furchen reichen unterschiedlich weit in die Tiefe, bleiben aber auf die Epidermis beschränkt.

Der Pulvinus des Torus metacarpeus liegt dem darunterliegenden Musculus flexor digitorum profundus bindegewebig auf. Innerhalb des Fettkörpers sind in Längsrichtung ziehende Fasern erkennbar. Je weiter man im Fettgewebe nach palmar kommt, desto deutlicher werden die Faserzüge. Sie umspannen bogenförmig einzelne Kompartimente des Fettpolsters. Blutgefäße laufen nur in den Faserzügen, im Fett sind keine zu erkennen. Nerven konnten auf Grund des Erhaltungszustandes des Präparates nicht eindeutig identifiziert werden.



Abbildung 5: Querschnitt Torus metacarpeus URS 7 vo.re.

#### Histologische Untersuchung

In den Schnitten des Metakarpalballen zeigt sich der für verhornte Epidermis typische Schichtaufbau. Im Vergleich mit dem Karpalballen treten deutlich dickere Bindegewebszüge auf. Sie machen hier ungefähr vierzig Prozent der Dermis aus. Das Baufett des Ballens wird von diesen Bindegewebszügen unterteilt. In den Bindegewebszügen sind zahlreiche Anschnitte dicker, kollagener Faserbündel zu sehen (Abb.6/2a). Die kollagenen Fasern sind distal zahlreicher und es sind sogar einzelne Fettzellen von Bindegewebe ummantelt.

Drüsenanschnitte können im Stratum reticulare am Übergang zum Stratum papillare gefunden werden. Sie sind sowohl in der Peripherie als auch im Zentrum von Fettläppchen vorhanden. Auch diese Drüsen entsprechen in ihrer Struktur ekkrinen Schweißdrüsen (Abb. 6/ 3 a, b und c).



Abbildung 6: Mikroskopisch- anatomischer Aufbau des Metakarpalballen des Braunbären.1-Übersichtsvergrößerung. Das rote und gelbe Rechteck geben die Lokalisierung der in Abb. 6/2 und 6/3 dargestellten Ausschnittsvergrößerungen an. 2- Bindegewebe; a. dickes kollagenes Faserbündel im Querschnitt; 3- Drüsengewebe; a, b und c: angeschnittene Drüsen; Färbung Hämatoxylin/ Eosin

# 4.3 Tori digitales

#### Anatomie

Die fünf Tori digitales liegen distal des Torus metacarpeus. Die Articulatio interphalangea distalis liegt etwas proximal der proximalen Kante des jeweiligen Torus digitalis. Zwischen den Tori digitales bestehen verdickte, schwimmhautartige Strukturen, die teilweise auch eine erkennbare Verhornung aufweisen. Zwischen den Tori digitales und dem Torus metacarpeus liegt ein circa fünf Millimeter breiter, unbehaarter Hautstreifen. Die Oberflächen der unverschieblichen Zehenballen sind glatt und unterschiedlich pigmentiert. Die Konsistenz der Tori digitales ist hart und sie sind nicht eindrückbar.



Abbildung 7: URS 7 vorne links (vo.li.); Tori digitales und Krallen von medial.

Beim schichtweisen Abtragen des Torus digitalis der ersten Zehe wird eine wabenartige, gekammerte Struktur der verhornten Hautschichten erkennbar.



Abbildung 8: URS 7 vo.li.; wabenartig gekammerte Struktur der verhornten Epidermis; verschiedenartige Pigmentierung.

Die arterielle Gefäßversorgung ist im Zentrum der Tori digitales deutlich ausgeprägt. In der Tiefe der Tori sind deutliche Fettkörper erkennbar, die den Endsehnen des Musculus flexor digitorum profundus aufliegen.



Abbildung 9: URS 7 vo.li.; 1- Endsehne des Musculus digitorum profundus, 2-Fettkörper (aufgeschnitten).

#### Histologische Untersuchung

In den Schnitten des Torus digitalis zeigt sich wieder der typische Schichtaufbau verhornter Haut. Auch das Fettgewebe in den Tori digitales entspricht Baufett mit dem ihm charakteristischen Aufbau und einer Gliederung in Läppchen. Meist war der Fettkörper in medialen Abschnitten der Tori stärker ausgebildet.

Sowohl medial als auch lateral sind Drüsen in das Fettgewebe eingelagert, wobei diese lateral deutlich zahlreicher sind. Die Drüsen entsprechen in ihrer Form ekkrinen Schweißdrüsen wie sie auch in den Ballen des Hundes vorkommen.

Der Fettkörper ist von kollagenfaserigen Bindegewebsstraßen durchzogen, deren Anordnung jedoch keinem eindeutigen Muster folgte.

Die verhornten Zellen der Epidermis sind schuppenförmig und scheinen ineinander verzahnt.

#### 5. Diskussion

Da die für die vorliegende Diplomarbeit verwendeten Präparate seit mehreren Jahren in formalinhaltiger Lösung gelagert wurden, entspricht die derbe Konsistenz der Ballen sicher nicht den Verhältnissen am lebenden Tier. Beachtenswert ist, dass sich das unterschiedliche Alter der untersuchten Individuen nicht auf den Verhornungsgrad der Ballen ausgewirkt hat. Diese Beobachtung steht in Einklang mit den Angaben von ROGERS (1974), wonach die oberen Hornschichten der Ballen in regelmäßigen Abständen abgestoßen werden.

Dass Braunbären Sohlengänger sind, macht sich strukturell besonders in der massiven Ausbildung des Torus metacarpeus bemerkbar. Die Subcutis des Torus metacarpeus weist auch in der histologischen Untersuchung jene Organisation auf, die von vielen Autoren (BOJSEN-MÖLLER et FLAGSTAD, 1976; GEYER, 2005; HA-BERMEHL, 1996; REESE, 2009) als typisch für gewichtstragende und stoßbrechende Sohlenkissen beschrieben wird. Die Kissen der Tori digitales und des Torus carpeus weisen hingegen keine typische Strukturierung auf. Der Torus carpeus erscheint bei den Hausfleischfressern rudimentär, während er beim Braunbären eine prominente Struktur darstellt, die bei der Fortbewegung in Bodenkontakt gerät und somit beim Tragen des Körpergewichtes und bei der Stoßbrechung eine gewisse Rolle spielt.

Die Ballen der Bären sind in der zugänglichen Literatur im Hinblick auf ihre Struktur nur unzureichend erfasst. Einzig DAVIS (1964) zeigt die Tori des großen Panda (Ailuropoda melanoleuca) im Vergleich zum Schwarzbären (Ursus americanus) in Abbildungen. Der Torus metacarpeus des großen Panda ist wie ein großes C geformt, dessen medialer Schenkel sich weiter nach proximal ausdehnt und dort dicker erscheint als lateral. Diese Verstärkung an der medialen Seite fand sich auch an den vorliegenden Präparaten des Braunbären. Insgesamt ist der Torus metacarpeus beim großen Panda aber deutlich schmäler. Ein ausgewachsener Panda wiegt 85-125 Kilogramm, ein ausgewachsener Braunbär wiegt 130 bis 550 Kilogramm (WIL- SON et. al., 2009). Das Vorkommen eines kleineren Torus metacarpeus könnte mit dem geringeren Gewicht des Panda in Zusammenhang stehen. Allerdings muss auch das besondere Verhalten der Pandas, nämlich ihr Futter mit den Händen zu ergreifen, in Betracht gezogen werden. Im Gegensatz dazu ist der Torus metacarpeus des Schwarzbären dem des Braunbären sehr ähnlich.

Während die Zehenballen beziehungsweise Ballen distal an der Extremität bei Pferd (BUDRAS, 2009; REESE, 2009), Rind (RÄBER et. al., 2004), Giraffe (RAMSNER, 2011), Elefant (WEISSENGRUBER et. al., 2006) und Mensch (BOJSEN-MÖLLER et FLAGSTAD, 1976; JAHSS et. al. 1992) in das Zehenendorgan oder die Gliedmaßenspitze integriert sind, erscheinen sie bei Hund und Katze (REESE, 2009) sowie den Bären als selbstständige Strukturen, die deutlich abgesetzt und über das umgebende Hautniveau erhaben sind. Größere Unterschiede im Feinbau der Kissen in den Ballen sind im Vergleich - mit Ausnahme des Pferdes (BUDRAS, 2009; REESE, 2009) - nicht erkennbar, was für eine gleichartige Funktion bei den verschiedenen Tierarten und beim Menschen spricht.

### 6. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit wurden die Tori der Vorderextremität des Braunbären von zwei Individuen nach den Methoden der makroskopischen und mikroskopischen Anatomie untersucht. Bei beiden Individuen konnten ein Torus carpeus, ein Torus metacarpeus und fünf Tori digitales nachgewiesen werden. Der morphologische Aufbau der Tori entsprach dem bei Hund und Katze, jedoch ist beim Braunbären der Torus carpeus während der Fußung in Bodenkontakt und auch der erste Zehenballen hat die Größe der anderen Zehenballen. Die Tori des Braunbären sind stark verhornte Bildungen der Haut. Die Schichten der Epidermis lassen sich auch an den Ballen in das Stratum corneum, das Stratum lucidum, das Stratum granulosum, das Stratum spinosum und das Stratum basale einteilen. Die Dermis gliedert sich in das zur Epidermis hin gelegene Stratum papillare und das tiefer liegende Stratum reticulare. Das Stratum corneum ist an den Tori massiv ausgebildet. Im Stratum basale konnten zahlreiche Melanozyten nachgewiesen werden, die Melaningranula enthielten. Im Stratum reticulare befanden sich Drüsen, die in ihrer Struktur ekkrinen Schweißdrüsen, wie man sie auch bei Hund und Katze findet, entsprachen. Unter der Dermis liegt die Subcutis, in der eine Kissenbildung nachgewiesen werden konnte. Diese Kissen bestanden aus einem durch Bindegewebsstraßen in Läppchen unterteilten Fettkörper. In Dermis und Subcutis befanden sich zahlreiche Blutgefäße, Nerven konnten auf Grund des Erhaltungszustandes der Präparate nicht sicher identifiziert werden.

## 7. Extended Summary

#### Morphology of the pads of the frontlimb in brown bears (Ursus arctos Linné, 1758)

In this diploma thesis the pads of the frontlimbs were examined in two individuals using methods of macroscopic and microscopic anatomy. Brown bears possess one carpal pad, one metacarpal pad and five digital pads.

The pads of the brown bear are callous structures of the skin. The epidermis consists of a thick stratum corneum, a stratum lucidum, a stratum granulosum, a stratum spinosum and a stratum basale. The dermis can be divided into the stratum papillare and the stratum reticulare. The tela subcutanea forms a cushion consisting of strands of connective tissue and lobules of fat tissue. In dermis and connective tissue many blood vessels could be identified.

The hemispherical carpal pad is positioned two centimeters proximal the metacarpal pad. It has a rough surface with small, verruciform papillae. The cornified layers on its lateral side are thicker than medial. Its subcutaneous cushion lies palmar of the Musculi flexor and adductor digiti quinti.

In the carpal pad numerous melanozytes are found in the basal layer of the epidermis. The glands within the stratum reticulare could represent sweat glands as found in cats and dogs.

The metacarpal pad lies palmar of the phalanges mediae and of the proximal interphalangeal joint. It shows a massive layer of cornified cells. The subcutaneous cushion of the metacarpal pad lies palmar of the Musculus flexor digitorum profundus. The metacarpal pad shows numerous and thick strands of connective tissue.

The distal interphalangeal joints lie proximal to the proximal edge of the digital pads.

The structure of the pads resambles as in cats and dogs. But contrary to cats and dogs the carpal pad in brown bears is loaded during locomotion and in brown bears the first digit is long and in contact with the ground.

#### 8. Literaturverzeichnis

BOJSEN-MÖLLER, F., FLAGSTADT, K. E. (1976): Plantar aponeurosis and internal architecture of the ball of the foot. Journal of Anatomy, Volume 121, 599-611.

BUDRAS, K.-D. (2009): 1. Kapitel: Haut. In BUDRAS, K.-D., RÖCK, S.: Atlas der Anatomie des Pferdes, 6. Auflage, Schlütersche, Hannover, S.2-3.

DAVIS, D. D. (1964): The giant panda, a morphological study of evolutionary mechanisms. Fieldiana: Zoology Memoirs, Volume 3, 28-31.

GEYER, H. (2005): Äußere Haut, Integumentum commune. In: SALOMON, F. –V., GEYER, H. GILLE, U (Hrsg.): Anatomie für die Tiermedizin, 1. Aufl., Enke, Stuttgart, S. 633-677.

HABERMEHL, K. –H. (1996): Haut und Hautorgane. In: NICKEL, R., SCHUMMER A., SEIFERLE, E.: Anatomie der Haustiere Band 3, 3. Aufl., Parey, Berlin, S. 443-576.

JAHSS, M. H., MICHELSON, J. D., DESAI, P., KAYE, R., KUMMER, F., BUSCH-MAN, W., WATKINS, F., REICH, S. (1992): Investigations into the fat pads of the sole of the foot: anatomy and histology. Foot & Ankle, Volume 13, 233-242.

KALB, R. (2007): Bär Luchs Wolf- Verfolgt Ausgerottet Zurückgekehrt, Leopold Stocker, Graz.

MANNING, D.P., COOPER, J.E., STIRLING, I., JONES, C. M., BRUCE, M. Mc., CAUSLAND, P. C. (1985): Studies on the footpads of the polar bear (Ursus maritimus) and their possible relevance to accident prevention. Journal of Hand Surgery, Volume 10, 303-307.

ORITSLAND, N. A., LENTFER, J. W., RONALD, K. (1974): Radiative surface temperatures of the polar bear. Journal of Mammalogy, Volume 55, 459- 461.

RÄBER, M., LISCHER, Ch. J., GEYER, H., OSSENT, P. (2004): The bovine digital cushion--a descriptive anatomical study. Veterinary Journal London England 1997, Volume 167, 258-264.

RAMSNER, K. (2011): Untersuchung zur Morphologie des Zehenendorgans der Giraffe (Giraffa camelopardalis, Linne 1758), Inaugural-Dissertation, Veterinärmedizinische Universität Wien.

REESE, S. (2009): Allgemeine Körperdecke, Integumentum commune. In: KÖNIG, H. E., LIEBICH, H.-G. (Hrsg.): Anatomie der Haussäugetiere, 4. Aufl., Schattauer, Stuttgart, S. 605-656.

ROGERS, L. L. (1974): Shedding of foot pads by black bears during denning. Journal of Mammalogy, Volume 55, 672-674.

SCHALLER, O. (1992): Integumentum commune. In: CONSTANTINESCU, G. M., HABEL, R. E., SACK, W. O., SCHALLER O., SIMOENS P., DE VOS N. R. (Hrsg.): Illustrated veterinary anatomical nomenclature, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, S. 544-561.

WEISSENGRUBER, G. E., EGGER, G. F., HUTCHINSON, J. R., GROENEWALD, H.B., ELSÄSSER, L., FAMINI, D., FORSTENPOINTNER, G. (2006): The structure of the cushions in the feet of African elephants (Loxodonta africana). Journal of Anatomy, Band 209, S. 781-792.

WILSON, D. E., MITTERMAIER, R. A. (2009): Handbook of the Mammals of the World, Vol.1. Carnivores, Lynx Edicions, Barcelona.

WOOD, D. (1997): Bären. Könemann, Köln.

# 9. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Maße aller Ballen der rechten Vordergliedmaße von URS 7; angegeben in Millimetern.

Tabelle 2: Maße der Tori digitales der linken Vordergliedmaße von URS 7; angegeben in Millimetern.

Tabelle 3: Maße aller Ballen der rechten Vordergliedmaße von URS 3; angegeben in Millimetern.

### 10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Palmaransicht URS 7 vo.re.

Abbildung 2: Palmaransicht Torus carpeus URS 7 vo.re.

Abbildung 3: Lateroproximale Palmaransicht Torus carpeus URS 7 vo.re.

Abbildung 4: Mikroskopisch- anatomische Darstellung des Torus carpeus.

Abbildung 5: Palmaransicht Torus metacarpeus URS 7 vo.re.

Abbildung 6: Mikroskopisch- anatomische Darstellung Torus metacarpeus.

Abbildung 7: Mediolaterale Ansicht der Tori digitales und Krallen URS 7 vo.li.

Abbildung 8: Palmaransicht Torus digitalis quintus URS 7 vo.li.

Abbildung 9: Palmaransicht auf Endsehne des Musculus digitorum profundus, URS 7 vo.li.