

# Schnittanatomie an der Zehe des Pferdes – insbesondere zur Feinstruktur der elastischen Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein

Maria Pont<sup>1</sup>, Alexander Probst<sup>1</sup>, Peter Böck<sup>2</sup>, Christine Hinterhofer<sup>3</sup>, Mircea-Constantin Sora<sup>4</sup> und Horst Erich König<sup>1</sup>

Institut für Anatomie<sup>1</sup>, dem Institut für Histologie und Embryologie<sup>2</sup>, der Universitätsklinik für Orthopädie bei Huf- und Klautentieren<sup>3</sup> der Veterinärmedizinischen Universität Wien und dem Institut für Anatomie<sup>4</sup> der Universität Wien

## Zusammenfassung

Im Hinblick auf neue Methoden der bildgebenden Diagnostik wird die Schnittanatomie der Zehe der Vordergliedmaße des Pferdes anhand von E 12 plastinierten Schnitten von nicht injizierten und von solchen, deren Blutgefäße mit rot gefärbtem Biodur gefüllt wurden, dargestellt. Die E 12 plastinierten Präparate wurden mit S 10 Plastinaten, Nativpräparaten und Gefäßkorrosionspräparaten verglichen. Mittels histologischer Schnitte konnte der mikroskopische Bau des sogenannten „Kronbeinschenkels des tiefen Zehenbeugers“ geklärt werden. Insgesamt gelangten 12 Pferdezehen zur Untersuchung. Plastinierte Schnitte zeichnen sich durch Durabilität und vor allem die E 12 Präparate durch Transparenz aus. Schnitte mit gefüllten Blutgefäßen stellen dabei die besten anatomischen Vergleichsobjekte dar. Der sogenannte „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ besteht aus ungeordneten, zarten Kollagenfibrillen durchmischt mit auffallend vielen elastischen Fasern. Er enthält reichlich mikroskopisch kleine Gefäß-Nervenstraßen mit Lymphgefäßen und ist frei von Fettgewebe. Die als Kronbeinschenkel bezeichnete Bindegewebsbrücke wird funktionell als äußerst flexible und elastische Struktur interpretiert, die sich während der Belastung der Gliedmaße proximal ausdehnt und damit der Synovia des Hufgelenks und der Bursa podotrochlearis den dafür notwendigen Reserveraum ermöglicht. Für diese anatomische Bildung wird der Name „elastische Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein“ – „elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx“ – vorgeschlagen.

**Schlüsselwörter:** Vordergliedmaße, Pferd, Schnittanatomie, Zehe, elastische Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein.

## Sectional anatomy of the equine digit – fine structure of the elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx

With regard to new methods of diagnostic imaging, sectional anatomy of the equine front toe was described by E 12 plastic-embedded slices. In two specimens red coloured epoxy resin biodur E 12 was injected into the second common digital palmar artery before sagittal cutting. The E 12 plastic-embedded slices were compared with natural, S 10 plastinated specimens and corrosion casts of the vessels. By means of histological sections the microscopic morphology and mechanical function of the so-called “T-ligament” of the deep digital flexor tendon could be understood. In all 12 equine front toes underwent examination. Plastinated slices are durable and especially E 12 plastic-embedded slices transparent. Sections with injected vessels represent the best anatomic basis of comparison. The “T-ligament” of the deep digital flexor tendon consists of thin, disordered collagen fibers, interweaved with a remarkable number of elastic fibers. The “T-ligament” contains plenty of microscopic small blood vessels, nerves and collateral lymphatic vessels and is free of fatty tissue. The “T-ligament” forms a bridge of connective tissue, its function is interpreted as an exceptional flexible and elastic structure, which stretches under load in proximal direction and offers necessary reserves for the synovial fluid extension of the coffin-joint and the navicular bursa. Instead of the term “T-ligament”, for this bridge of connective tissue the term “elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx” is suggested.

**Keywords:** thoracic limb, horse, sectional anatomy, digit, elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx

## Einleitung und Literatur

Die zunehmende Verfügbarkeit der Schnittbilddiagnostik in der Veterinärmedizin ist für Anatomen und Kliniker eine große Herausforderung. Nicht nur universitäre Bildungsstätten, sondern auch private Tierkliniken investieren in moderne Geräte um neuartige und weiterführende Diagnosemöglichkeiten zu nutzen. In humanmedizinischen Einrichtungen genutzte Computertomographen können ohne wesentliche Adaptionen für veterinärmedizinische Untersuchungen bei

Kleintieren eingesetzt werden. Die anatomischen Grundlagen, die Spezies Hund betreffend, wurde in einer Reihe von Publikationen für Kliniker aufbereitet (Zöggeler et al. 2002, Polgar et al. 2003, Fröhlich et al. 2003 und Herndl et al. 2004).

Für Pferde (Bindeus et al. 1999, Kleiter et al. 1999, Rand et al. 1998, Vrba et al. 2001, Bindeus et al. 2002) müssen schnittbildgebende Systeme, für veterinärmedizinische Anwendungen nachgerüstet werden (Henninger 2002). Am

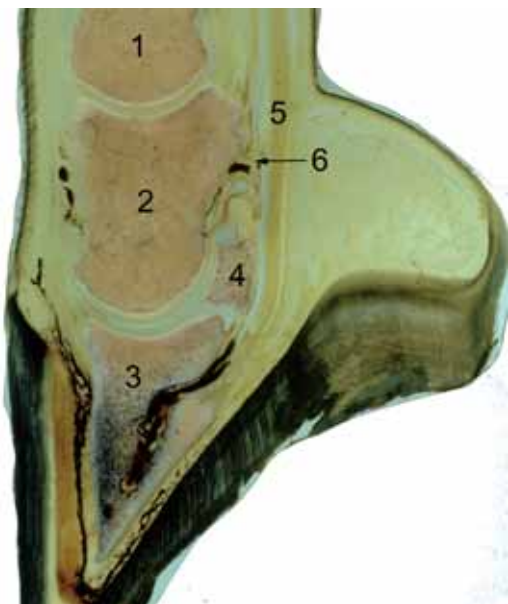
Kopf (SIMHOFER et al. 2002), Hals, sowie an den distalen Abschnitten der Gliedmaßen, trägt die Computertomographie (CT) und die Magnetresonanztomographie (MRT) erheblich zur Diagnosefindung bei (HENNINGER 2002).

In vorliegender Untersuchung soll die Anatomie der Vorderzehe des Pferdes anhand von E 12 Schnitten erläutert und mit solchen, die mit anderen Methoden hergestellt wurden, verglichen werden. Zudem sollen Aspekte zur Feinstruktur des sogenannten „Kronbeinschenkels des tiefen Zehenbeugers“ geklärt werden.

## Material und Methodik

Zur Untersuchung gelangten 12 Zehen der Vordergliedmaßen von Pferden, die an der Veterinärmedizinischen Universität Wien aus zwingenden Gründen euthanasiert werden mussten. Es wurde darauf geachtet, dass an den Zehen keine makroskopisch sichtbaren pathologischen Veränderungen vorhanden waren.

Eine Zehe wurde unmittelbar nach dem Tod des Tieres abgesetzt und bei -180°C tiefgefroren. Nach drei Tagen wurde das Präparat in der Zehenachse mit einer Bandsäge durchgeschnitten, unter fließendem Wasser gesäubert und in frischem Zustand mit einer Leica R 6 photographiert. Drei Zehenendorgane wurden im tiefgefrorenen Zustand bei -18 °C geschnitten. Von einer Zehe wurden 8 mm dicke Frontal-



**Abb 1** Paramedianschnitt durch die Vorderzehe eines Pferdes, E 12 plastiniert, Scheibendicke 3 mm. 1 Fesselbein, 2 Kronbein, 3 Hufbein, 4 Strahlbein, 5 tiefe Beugesehne, 6 elastische Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein.

*Paramedian section of an equine digit, E 12 plastinated, slice thickness 3 mm. 1 proximal phalanx, 2 middle phalanx, 3 distal phalanx, 4 navicular bone, 5 deep digital flexor tendon, 6 elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx.*

schnitte, von der zweiten 10 mm dicke Horizontalschnitte distal des Saumsegmentes und von der dritten Zehe ein Axi-

alschnitt angefertigt. Alle 3 Präparate wurden nach der S 10 Methode (Hagens 1985) plastiniert. Zwei weitere Zehen wurden bei -81 °C tiefgefroren und anschließend 2-4 mm dicke Sagittalschnitte angefertigt. An zwei anderen Präparaten wurden in frischem Zustand die Blutgefäße über die A. digitalis palmaris communis II mit rot gefärbtem Biodur gefüllt (Hagens 1989), danach ebenfalls bei -81 °C tiefgefroren und darauf folgend in 1-4 mm dicke Sagittalschnitte gesägt. Abschließend wurden diese vier Pferdezehen nach der E 12 Methode (Hagens 1989) plastiniert.

An der Zehe eines weiteren Pferdes wurde unmittelbar nach der Euthanasie des Tieres die A. digitalis palmaris communis II freigelegt. In das Gefäß wurden mittels einer Knopfkanüle 40 ml 4%-iges Formalin injiziert. Dadurch wurde das Präparat von innen heraus vorfixiert. Nach dem Absetzen der Zehe wurde diese mittels einer Bandsäge in der Zehenachse halbiert und zur weiteren Fixierung für zwei Wochen in 4%-igem Formalin eingelegt. Danach wurde die Region des „Kronbeinschenkels“ und angrenzende Bindegewebsbereiche als Blöcke exzidiert, sodass sie nach konventioneller Paraffineinbettung orientiert, der Längsachse der Extremität folgend, angeschnitten werden konnten. Folgeschnitte wurden alternierend gefärbt; Hämatoxylin und Eosin als Übersichtsfärbung, van Gieson's Bindegewebsfärbung zur Darstellung der Kollagenfibrillen, Weigert's Resorzin-fuchsin zur Darstellung der elastischen Fasern, und immunhistochemischer Nachweis von Faktor VIII zur Identifikation der Endothelien von Blutgefäßen. Zur histologischen Untersuchung wurden nur Standardmethoden eingesetzt (Romeis 1989).

Von weiteren drei Zehen wurden Gefäßkorrosionspräparate nach Bugge (1963) angefertigt. Hierfür wurden über die A. digitalis palmaris communis II die Blutgefäße orthograd mit Tensolzement gefüllt. Der Injektionsdruck wurde manuell dosiert und so lange gefüllt bis die Injektionsmasse aus den Venen austrat. Nach Aushärten des Methylmetacrylates wurden die Präparate drei Wochen lang in 40%-iger Kalilauge bei Zimmertemperatur mazeriert. Zwei dieser Korrosionspräparate wurden anschließend noch in 10%-ige Salzsäure verbracht um die noch verbliebenen Knochenreste zu entfernen. Die photographische Dokumentation der Schnittpräparate wurde mit einer Leica R 6 und unter Lupenvergrößerung mit Hilfe einer Lupe M 10 der Firma Wild, Heerbrugg, Schweiz vorgenommen.

## Ergebnisse

Abhängig von der Methode der Präparateherstellung waren die anatomischen Strukturen an den Schnitten unterschiedlich gut sichtbar.

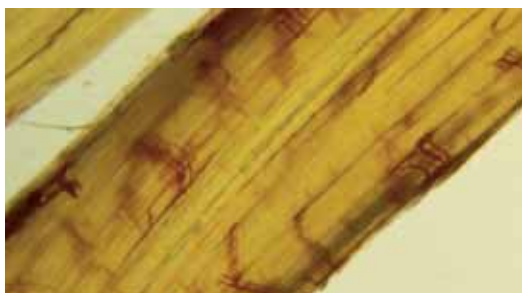
Am Nativpräparat traten die Stützelemente, die Knochen und die Gelenkknorpel deutlich in Erscheinung. An den Knochen konnten die Trabekeln der Spongiosa und die Wandstärke der Compacta, am Gelenkknorpel dessen Dicke in unterschiedlichen Bereichen beurteilt werden. Bänder und Sehnen, sofern angeschnitten waren gut differenzierbar, insbesondere die Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers und die tiefe Beugesehne, zum Teil umhüllt von der Fesselbeugesehnhaut. Von dieser ist die proximal des sogenannten „Kronbeinschenkels“ gelegene Aussackung zu erkennen. Distal des „Kronbeinschenkels“ finden sich die Aussackungen des Hufgelenks

und das proximale Ende der Bursa podotrochlearis. Die Trennwand zwischen den genannten Aussackungen, bislang als „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ bezeichnet, erscheint als relativ dicke und plumpe Struktur, in der quer verlaufende, kräftige Blutgefäße erkennbar sind. Diese Trennwand („Kronbeinschenkel“) verbindet sich mit dem am proximalen Rand des Strahlbeines befindlichen Saum, der die Fläche des Scutum distale vergrößert. Er soll aus querverlaufenden, vom Lig. sesamoideum collaterale abzweigenden Bandfasern bestehen. Von den verhornten Bestandteilen des Zehehendorgans können am Medianschnitt die Schichten der Hufplatte, ihre unterschiedliche Pigmentierung, die Zona alba, die Hufsohle, der Strahl und der Ballen differenziert werden. Von den tiefer gelegenen Segmenten der Lederhaut sind das Saum-, Kron-, Wand-, Sohlen-, Strahl- und Ballensegment zu unterscheiden. Die Lederhaut erscheint durch die kräftige Vaskularisation rötlich. In den Segmenten der Unterhaut sind kaum Strukturen zu erkennen.

An den S 10 Schnitten sind manche Strukturen noch besser erkennbar als am Nativpräparat. So können beispielsweise im Bereich des Hufkissens kräftige Kollagenfasern von



**Abb 2** Saumsegment mit gefüllten Blutgefäßen der Zotten. Limbus with filled blood vessels of the limbic papillae.



**Abb 3** Sehne des tiefen Zehenbeugers mit gefüllten Blutgefäßen. Deep digital flexor tendon with filled blood vessels.

benachbarten locker strukturierten, heller erscheinenden Arealen unterschieden werden, die bei Lupenvergrößerung und im Durchlicht noch deutlicher erkennbar waren. An der Hufkapsel waren im Wandbereich die Hornblättchen und mit der Lupe auch die Huftröhrchen sichtbar. An den Präparaten mit angeschnittenen Blutgefäßen, konnten mit der Lupe im Inneren der Hufkapsel eine in der Mitte gelegene Arterie, begleitet von zwei Venen unterschieden werden. Am Horizontalschnitt waren die Hufknorpel mit anliegenden oder hindurchtretenden Gefäßen erkennbar. An der gesamten Lederhaut

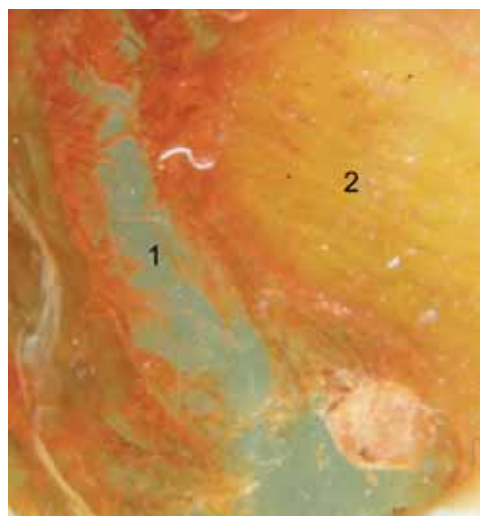
war die außerordentlich dichte Gefäßversorgung auffallend. Die E 12 Schnitte gewinnen zusätzlich dadurch an Qualität, dass sie transparent sind. Strukturen können sowohl im Auflicht als auch Durchlicht betrachtet werden, wodurch ihre räumliche Anordnung verständlicher wird (Abb. 1).

Dies ist vorwiegend an Präparaten mit gefüllten Blutgefäßen von Vorteil. Im Bereich der Lederhaut können dichte Kapillarnetze in den Zotten und Blättchen gesehen werden (Abb. 2). An injizierten Präparaten wird auch im Bereich der Sehnen deren Angioarchitektur sichtbar (Abb. 3).

Im Fesselbereich kann beobachtet werden, dass die Sehnen von einem Netz oberflächlich verlaufender Gefäße versorgt werden, die sich in der Tiefe rechtwinklig in parallel verlaufende Äste verzweigen. Im Gegensatz dazu erfolgt die Vaskularisation des Lig. sesamoideum rectum durch Blutgefäße, die sich von innen heraus in peripher gelegene feinere Äste aufzweigen.

In und um den sogenannten „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ verlaufen besondere Gefäßstrukturen. In diesem Schenkel finden sich kräftige, querverlaufende Arterien und Venen, die zu den Aussackungen der Synovialstrukturen feine, mäanderförmige Äste abgeben. Diese verzweigen sich am distalen Ende der Fesselbeugesehnnenscheide, am proximalen Ende der Bursa podotrochlearis und in der palmaren, proximal gerichteten Aussackung des Hufgelenkes (Abb. 4).

An den transparenten E 12 Präparaten wird bereits bei Betrachtung mit freiem Auge deutlich, dass im „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“, im englischen Sprachraum als „T-liga-

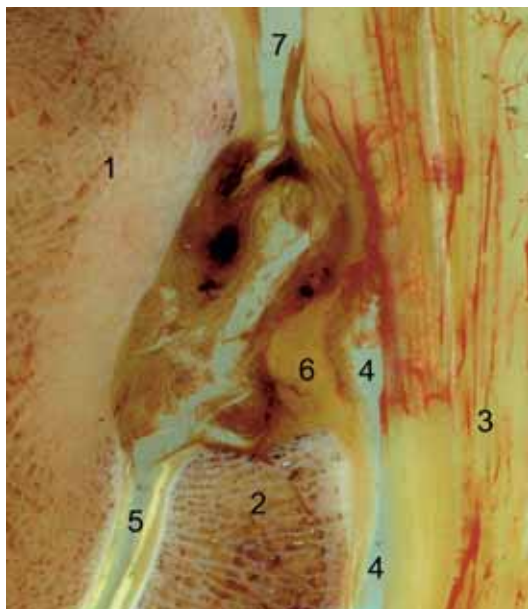


**Abb 4** Proximopalmare Aussackung des Hufgelenkes (1) mit gefüllten Blutgefäßen und Saum am proximalen Rand des Strahlbeines (2).

Proximopalmare recess of the coffin joint (1) with filled blood vessels and fibrocartilage tissue at the seam of the proximal margin of the navicular bone (2).

ment“ bezeichnet, keine derben, kollagenen Sehnenfasern verlaufen, die vom tiefen Zehenbeuger abzweigen und einem klassischen Band entsprechen würden (Abb. 5). Im histologischen Schnitt konnte man besonders deutlich sehen, dass der „Kronbeinschenkel“ lediglich aus Bindegewebe zwischen der proximal gelegenen Wand der Fesselbeugesehnnenscheide, der Gelenkkapsel des Hufgelenkes und der synovialen Wand

der proximalen Aussackung des Hufrollenschleimbeutels besteht. Zwischen den Synovialgebilden liegt interstitielles Bindegewebe, das neben Kollagenfibrillen auffallend reichlich elastische Fasern enthält (Abb. 6A und 6B). Die Kollagenfibrillen zeigen in diesem Bereich keine bevorzugte Verlaufsrichtung, sie sind zarter als die Fasern des Stratum fibro-



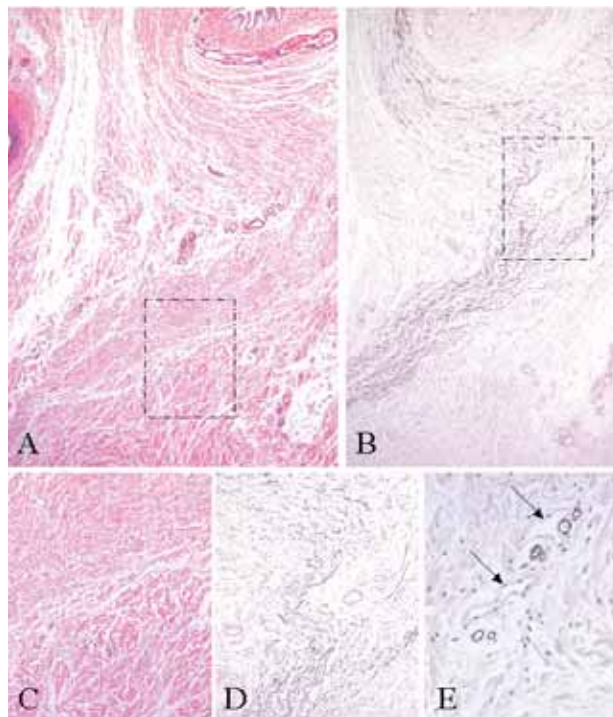
**Abb 5** Bereich der elastischen Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein. Rechteck entspricht Abb. 6A. 1 Kronbein, 2 Strahlbein, 3 tiefe Beugesehne, 4 Bursa podotrochlearis, 5 Hufgelenk, 6 Saum am proximalen Rand des Strahlbeines, 7 Fesselbeugesehnenscheide  
*Area of the elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx. Rectangle corresponds to Abb. 6A. 1 middle phalanx, 2 navicular bone, 3 deep digital flexor tendon, 4 navicular bursa, 5 coffin joint, 6 fibrocartilage tissue at the seam of the proximal margin of the navicular bone, 7 common synovial sheath of flexor tendons*

sum der benachbarten Synovialmembranen (Abb. 6C). Die elastischen Fasern setzen sich distal in das Stratum fibrosum der Gelenkkapsel des Recessus palmaris proximalis des Hufgelenkes, proximal in das Stratum fibrosum der Fesselbeugesehnenscheide fort (Abb. 6D). In dieser Weise entsteht eine elastische Lamelle, die von den Kollagenbündeln eines etwa bestehenden „Kronbeinschenkels“ durchbrochen werden müsste.

Die Bindegewebsschicht des sogenannten „Kronbeinschenkels“ ist weitgehend frei von Fettgewebe. Sie wird von zahlreichen, mikroskopisch kleinen Gefäß-Nervenstraßen durchzogen, die vermutlich der Versorgung der benachbarten Synovialmembranen dienen. Die zarten Nervenstämmchen mit einschichtigem Perineurium werden fast ausnahmslos von markfreien Fasern gebildet und dürften die periarteriellen Plexus versorgen. Die Gefäß-Nervenstraßen schließen auch Lymphgefäße ein. In den Endothelien der Blutgefäße lässt sich der Faktor VIII (von Willebrand) nachweisen, der in den Endothelzellen der begleitenden Lymphgefäße fehlt. Schätzt man die Volumina von Blut- und Lymphgefäßen gegeneinander ab, so fällt dieser Vergleich zu Gunsten der Lymphgefäße aus (Abb. 6E).

Die von den Zehen angefertigten und ausgewerteten Korrosionspräparate zeigten kaum so großen Detailreichtum wie

bei den zuvor injizierten E 12 Schnitten. Im Inneren der Hufkapsel konnte aber die Topographie der Arterien und Venen bestätigt werden, wobei die Arterie immer in der Mitte zwischen zwei Venen verlief. Die Blättchenstruktur der Lederhaut kam im Gefäßkorrosionspräparat lediglich im Bereich der Eckstreben deutlich zum Vorschein.



**Abb 6A** Übersicht über die zentrale Region des sogenannten „T-Ligamentes“. Am rechten oberen Bildrand ist die Synovialmembran der Beugesehnenscheide erkennbar, am linken mittleren Rand der Querschnitt einer Arterie, die nahe der palmaren Oberfläche des Kronbeines eine Arkade bildet. Der untere Bildrand entspricht dem Stratum fibrosum der Synovialmembran des Hufgelenkes. Das zentrale Areal wird von lockerem Bindegewebe eingenommen, derbe Kollagenfaszikeln fehlen. Das markierte Areal entspricht der Abb. 6C. Haematoxylin und Eosin, 50x.  
*General view within the central part of the so-called „T-ligament“. In the right upper corner the synovial membrane of the common synovial sheath of flexor tendons and at the left middle margin the cross-section of an artery, forming an arcade near to the middle phalanx palmar surface, are recognizable. The lower figure margin represents the fibrous layer of articular capsule of the coffin-joint. The central area of the figure shows loose connective tissue. Firm collagen fibers are missing. The rectangle corresponds to Abb. 6C. Hematoxylin and eosin, magnification 50x.*

**Abb 6B** Folgeschnitt zu Abb. 6A. Darstellung der elastischen Fasern. Die reich ausgebildeten elastischen Fasernetze im Bereich der elastischen Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein setzen sich im Stratum fibrosum der Sehenscheide der tiefen Beugesehne (nach oben zu) und in das Stratum fibrosum der Kapsel des Hufgelenkes (nach unten zu) fort. In dieser Weise wird eine elastische Lamelle gebildet, welche die beiden synovialen Strukturen verbindet. Das markierte Areal entspricht der Abb. 6D. Resorzin-fuchsin, 50x.

**Abb 6C** Folgeschnitt zu Abb. 6A. Darstellung des lockeren Bindegewebes. Die Kollagenfaszikel sind hier deutlich sichtbar. Das markierte Areal entspricht der Abb. 6E. Resorzin-fuchsin, 50x.

**Abb 6C** Färbung der Kollagenfasern mit Säurefuchsin, stärkere Vergrößerung des in Abb. 6A markierten Areals. Die Fasern des Stratum fibrosum der Gelenkkapsel des Hufgelenkes (untere Bildhälfte) sind deutlich gröber als die Kollagenfibrillen aus dem Areal der elastischen Kronbeinbrücke (obere Bildhälfte). Bindegewebsfärbung nach van Giesson, 100x.

*Coloring of collagen fibers with fuchsintrisolufonate, larger magnification of the marked area in Abb. 6A. The fibers of the fibrous layer of the articular capsule of the coffin-joint (lower side) are distinctly more coarse than the collagen fibers inside the elastic layer of the middle phalanx (upper side). Colouring of connective tissue (van Giesson), magnification 100x.*

**Abb 6D** Färbung elastischer Fasern, stärkere Vergrößerung des in Abb. 6B markierten Areals. Die Abbildung zeigt die dichten elastischen Netze im Bereich der elastischen Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein. Adventitielles Bindegewebe in Begleitung der Gefäße wirkt dagegen nahezu frei von Elastin. Resorzin-fuchsin, 100x.

*Colouring of elastic fibers, larger magnification of the marked area in Abb. 6B. The figure shows dense elastic fiber meshes inside the elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx. Adventitial connective tissue together with vessels seems to be free of elastin. Resorcine-fuchsine, magnification 100x.*

**Abb 6E** Darstellung von Faktor VIII lässt das Endothel der Blutgefäße deutlich hervortreten und erlaubt dadurch die sichere Differenzierung von Lymphgefäßen (durch Pfeile markiert). Die Kapazität der Lymphgefäße übertrifft die Volumina der begleitenden Blutgefäße deutlich. Färbung für Faktor VIII, 120x.

*Evidence of antihemophilic factor makes the endothelium more prominent and allows an unmistakable differentiation of lymphatic vessels (marked by arrows). The capacity of lymphatic vessels surpasses volumina of collateral blood vessels distinctly. Colouring of antihemophilic factor, magnification 120x.*

## Diskussion

Bevor es möglich war dauerhafte plastinierte Schnitte herzustellen wurden anatomische Schnittpräparate vorwiegend zeichnerisch festgehalten (König und Polsterer-Heindl 2002). Im Falle des Zehenendorganes finden sich solche Schemata in den Atlanten von Schmaltz (1939). Dabei fällt auf, dass damals eine Verbindung zwischen der Sehne des tiefen Zehenbeugers und dem Kronbein negiert wurde. Schmaltz (1939) war der Meinung: „Der tiefe Zehenbeuger setzt mit einem tiefen Abschnitt am oberen Rand des Strahlbeins an“. Die Kraft dieses Schenkels würde über das Lig. sesamoideum distale impar auf die Facies flexoria des Hufbeins übertragen werden. Damit wäre auch die Erklärung plausibel, dass es sich im Falle des Strahlbeins um ein Sesambein, eingelagert in den Verlauf der Sehne des tiefen Zehenbeugers, handelt. Auch gegenwärtig werden Zeichnungen als Darstellungsmethode gewählt, vor allem wenn es sich um die didaktische Hervorhebung von zarteren bzw. feineren Nervenstrukturen handelt (Constantinescu et al. 2004a,b). Nerven stellen sich an plastinierten Präparaten nicht dar, weil sie sich während des Plastinationsvorganges im Zuge der Entfettung bedingt durch ihren hohen Lipidanteil auflösen.

Derzeit gibt es verschiedene Methoden zur Darstellung makroskopischer Strukturen im Bereich der Zehe des Pferdes. Für die Schnittbilddiagnostik bei klinischen Fragestellungen sind sicherlich nicht die feinsten, nur mit Lupe oder Mikroskop darstellbaren Einzelheiten relevant. Trotzdem ist es vorteilhaft, Präparate zur Verfügung zu haben, die bei Bedarf auch unter Lupenvergrößerung analysiert und dauerhaft zum

Vergleich herangezogen werden können. Solche Präparate können heute mit der Methode der Plastination hergestellt werden (Hagens 1985 und 1989). Die Herstellung ist zwar kosten- und zeitaufwendig, unter Berücksichtigung des weiten Anwendungsspektrums und der unbegrenzten Haltbarkeit relativieren sich Preis und Aufwand.

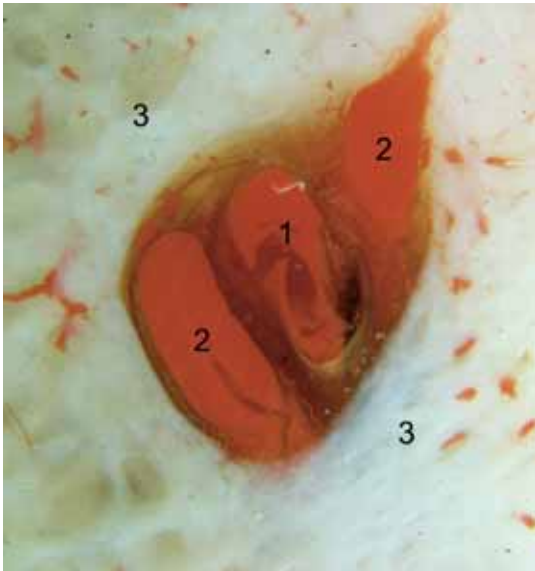
Auf Vorteile der S 10 plastinierten Schnitte als Vergleichsmöglichkeit mit MRT Schnitten und für Lehrzwecke im Fach Anatomie haben schon Latorre et al. (2001) hingewiesen. Die Autoren verwendeten Schnitte von Präparaten, deren Blutgefäße mit gefärbtem Biodur gefüllt waren, werteten diese allerdings nicht unter Lupenvergrößerung aus.

Bereits an nicht injizierten S 10 Präparaten konnten mit der Lupe an den Arteriolen und Venolen, die zur Versorgung der Lederhaut durch das Hufbein ziehen eine besondere arteriovenöse Koppelung beobachtet werden. Dabei wurde im Hufbereich immer eine zwischen zwei Venen gelegene Arterie gesehen (König et al. 2003a). In Höhe des Arcus terminalis und an der A. marginis solearis konnten die Autoren ähnliche Verhältnisse auch an den Korrosionspräparaten feststellen. Mit Hilfe von injizierten E 12 Schnitten konnte diese Tatsache zusätzlich bestätigt werden (Abb. 7 und 8).

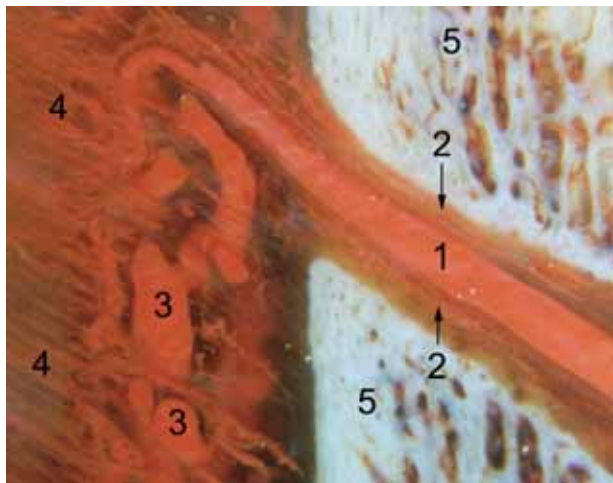
Überlegungen zur Funktion der Bindegewebsbrücke, die bislang als „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ bezeichnet wurde (König et al. 2003b), können dahingehend präzisiert werden, dass die histologisch nachgewiesenen elastischen Fasern eine gute Verformbarkeit des Areales bei gesicherter sofortiger Rückführung gewährleisten und im Moment der Belastung der Gliedmaße eine proximal gerichtete Dehnung dieser Struktur erlauben. Solch eine Dehnung wird bei Injektion in die Gelenkhöhle des Hufgelenkes deutlich und ist auch bei übermäßiger Füllung der Bursa podotrochlearis zu erwarten. Gleichermaßen kann es bei einer hochgradigen Füllung der gemeinsamen Beugesehnscheide, zumindest bei entlasteter Extremität zu einer distalen Verlagerung des „Kronbeinschenkels“ kommen. Im Fall des Hufgelenkes wurde Röntgenkontrastmittel injiziert (Wissdorf et al. 2002), wobei sich die Bindegewebsverbindung weit proximal, bis in die Nähe der Kronbeinlehne ausdehnte. Dieser Mechanismus erfolgt beim Pferd in Bewegung immer bei Belastung der Gliedmaße. Dies deshalb, weil die Synovialflüssigkeit nicht komprimierbar ist und im Hufgelenk lediglich drei Ausweichräume vorhanden sind. Der erste Reserveraum ist der dorsale, proximal gerichteten Endblindsack des Hufgelenkes. An dieser Stelle, unmittelbar unterhalb der Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers, wurden besondere Gefäßbildungen beschrieben, die mit der Produktion und Resorption der Synovialflüssigkeit in Verbindung gebracht wurden (Ruberte et al. 2001). Der zweite Raum wo sich bei Belastung eine Erweiterungsmöglichkeit ergibt, ist die palmare proximale Aussackung, die sich über den Proximalrand des Strahlbeins erstreckt und durch den elastischen „Kronbeinschenkel“ von der Fesselbeugesehnscheide getrennt wird. Eine dritte Entlastungsmöglichkeit für die Synovialflüssigkeit befindet sich in Höhe des Lig. sesamoideum distale impar, wobei durch die straffe Eigenschaft dieses Bandes der Reserveraum begrenzt wird (Abb. 9).

Die Bezeichnung als „T-Ligament“ im englischen Sprachraum (De Lahunta und Habel 1986) für den „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ ist auf jeden Fall nicht korrekt. Die Kollagenfasern in dieser Struktur bilden keine derben Bündel, wie sie für mechanisch wirksame Bänder charakteristisch sind. Ebenso lassen die Kollagenfasern keine bevorzugte Verlaufs-

richtung erkennen. Die Insertion dieses Bandes wäre an der Palmarfläche in der Mitte des Kronbeines zu erwarten, wo Sharpey'sche Fasern in den Knochen einstrahlen sollten, jedoch lassen sich hier weder Rauigkeiten am Mazerationspräparat nachweisen, noch sind makroskopisch oder mikroskopisch einstrahlende Faserbündel zu sehen. Da auch von der Sehne des tiefen Zehenbeugers keine Faserbündel zur Mitte des Kronbeines hin abzweigen, wäre das „T-Ligament“



**Abb 7** Gefüllte Blutgefäße in Höhe des Arcus terminalis. 1 Arterie, 2 Venen, 3 Hufbein  
*Filled blood vessels on the level of the terminal arch. 1 artery, 2 veins, 3 distal phalanx*

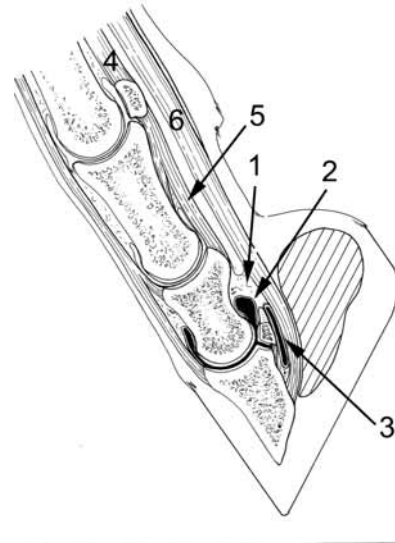


**Abb 8** Verlauf einer Arterie aus dem Arcus terminalis durch das Hufbein zur Wandlederhaut. 1 Arterie, 2 Venen (nicht gefüllt), 3 Gefäßnetz in der Lederhaut, 4 Kapillaren der Lederhautblättchen, 5 Hufbein  
*Arterial branch leaving the terminal arch through the distal phalanx to the corial laminae. 1 artery, 2 veins (not filled), 3 mesh of vessels inside the corium, 4 capillary of the corial lamellae, 5 distal phalanx*

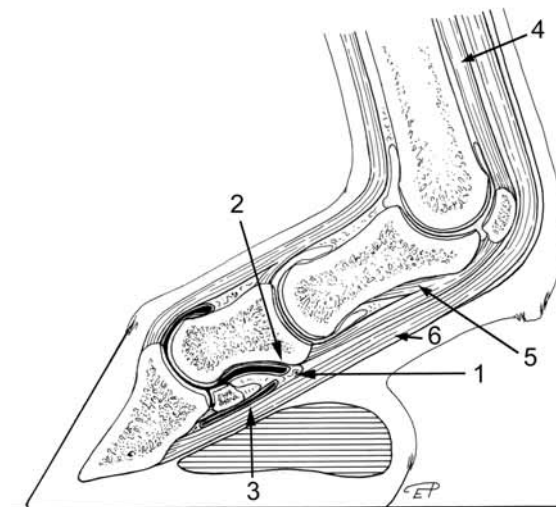
ein Band ohne Ursprung und ohne Ansatz. Der Bereich des sogenannten „T-Ligamentes“ ist auffallend reich an elastischen Fasern, es müsste demnach ein „gemischtes“ kollagen-elastisches Band darstellen. Dies wäre eine einzigartige Bil-

dung, denn in klassischen Bändern und Sehnen sind die elastischen Fasern auf zarte elastische Netze an den Oberflächen der derben Kollagenfaszikel beschränkt, welche hier fehlen.

Auch die deutsche Bezeichnung „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ ist nicht korrekt (Seiferle und Frewein 1992, Liebich et al. 2001, Wissdorf et al. 2002), weil die Kollagen-



**Abb 9A und B** Schematische Darstellung der elastischen Bindegewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein während der Entlastung (A) und Belastung (B) der Gliedmaße. 1 elastische Kronbeinbrücke, 2 proximopalmare Aussackung des Huf-



gelenkes, 3 Bursa podotrochlearis, 4 M. interosseus medius, 5 Lig. sesamoideum rectum, 6 Sehne des tiefen Zehenbeugers  
*Schematic illustration of the elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx during unloading (A) and loading (B) of the extremity. 1 elastic layer of the middle phalanx, 2 proximal palmar recess of the coffin-joint, 3 navicular bursa, 4 interosseus medius muscle, 5 straight sesamoid ligament, 6 deep digital flexor tendon*

faser dieses Bindegewebslagers ihren Ursprung nicht als Abspaltung der Beugesehne nehmen, wie dieses auch in neuen Lehrbüchern graphisch dargestellt wird (Bragulla und Budras 2001). Im Gegenteil, die Faszikel der Beugesehne

sind nicht in Kontakt mit dem „T-Ligament“, sie ziehen daran ohne Unterbrechung oder Konnex vorbei. Dagegen besteht ein klarer Zusammenhang der elastischen Fasern im Bereich des „T-Ligamentes“ zum Stratum fibrosum der Synovialmembranen von Hufgelenk und Beugesehnen Scheide.

In Höhe der Synovialmembran der palmaren proximalen Aus-sackung des Hufgelenkes erscheinen an E 12 plastinierten Scheiben, deren Blutgefäße zuvor gefüllt wurden, Gefäßbil-dungen, die durch ihren mäanderrförmigen Verlauf eine Dehnung dieses Bereiches erlauben (Abb. 4). Die Gefäßschlingen stellen Reservestrecken dar, so dass im Falle einer starken Ver-formung keine Schädigung der Blutgefäße auftreten kann. Die den Blutgefäßen eng benachbarten Lymphgefäße dienen vermutlich der Resorption der von den Blutgefäßen gebil-deten Synovia. Zur Klärung solcher funktioneller Überlegungen tragen histologische Untersuchungen einen wesentlichen Teil bei. Solche haben beispielsweise auch im Falle des Hufbein-trägers dessen Funktion erhärtet (Budras et al. 1997). Auch für stoßbrechende Einrichtungen bewiesen histologische Untersuchungen, dass weder Fett noch elastische Fasern für die Elastizität des Hufkissens verantwortlich sind, sondern lok-kere Bindegewebsräume, die zwischen Kollagenbündeln ein-gelagert sind (König et al. 2003c).

Im Unterschied zur bisher verwendeten irreführenden Bezeich-nung „Kronbeinschenkel des tiefen Zehenbeugers“ oder der englischen Bezeichnung „T-Ligament“ wäre es treffender, die-se lediglich zwischen synovialen Einrichtungen befindliche bindegewebeige, elastische Trennwand als „elastische Binde-gewebsbrücke zwischen tiefer Beugesehne und Kronbein“ oder „elastic layer between deep digital flexor tendon and middle phalanx“ zu bezeichnen.

## Literatur

Bindeus T., T. Rand, K. Alton, H. Imhof und C. Stanek (1999): Mag-netic resonance imaging and ultrasonography of the lumbricale muscles in the horse. *Aust. Vet. J.* 77, 82-84

Bindeus T., S. Vrba, C. Gabler, T. Rand und C. Stanek (2002): Compa-ri-son of computed radiography and conventional film-screen radio-graphy of the equine stifle. *Vet. Radiol. Ultrasound* 43, 455-460

Bragulla H. und K. D. Budras (2001): Hoof (Ungula). In: Budras K. D., W. O. Sack. und S. Röck (Hrsg.) *Anatomy of the Horse*. 3rd ed., Schlütersche, Hannover, S. 24-25

Budras K. D., H. Bragulla, R. Pellmann und S. Reese (1997): Das Huf-bein mit Periost und Insertionszone des Hufbeinträgers. *Wien. Tier-ärztl. Mschr.* 84, 241-247

Bugge J. (1963): A standardized plastic injection for anatomical pur-poses. *Acta Anat.* 54, 177-192

Constantinescu G. M., D. A. Wilson, I. A. Constantinescu und H. E. König (2004a): The anatomoclinical approach to the nerves of the thoracic limb of the horse for performing nerve block anesthesia. *Wien. Tierärztl. Mschr.* (im Druck)

Constantinescu G. M., D. A. Wilson, I. A. Constantinescu und H. E. König (2004b): The anatomoclinical approach to the nerves of the pelvic limb of the horse for performing nerve block anesthesia. *Wien. Tierärztl. Mschr.* (im Druck)

De Lahunta A. und R. E. Habel (1986): *Applied Veterinary Anatomy*. Saunders, Philadelphia, S. 125

Fröhlich I., A. Probst, M. Polgar, M.-C. Sora und H. E. König (2003): Plastinierte P 35 -Gehirnschnitte des Hundes – eine Basis für die klinische Untersuchung mit modernen bildgebenden Verfahren. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 90, 62-66

Hagens G. v. (1985): Heidelberger Plastinationshefter. Sammlung aller Merkblätter zur Plastination. *Anatom. Inst. I, Univ. Heidelberg*

Hagens G. v. (1989): Einführung in die Scheibenplastination. Merk-blatt, Heidelberg, S. 1-15

Henninger W. (2002): Historischer Rückblick auf die Entwicklung der Computertomographie anlässlich der Inbetriebnahme eines neuen Spiral-CT an der Veterinärmedizinischen Universität Wien. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 89, 70-77

Herndl B., A. Probst, M.-C. Sora und H. E. König (2004): Dauerhaf-te, transparente anatomische Schnittpräparate vom Kopf des Hun-des – eine objektive Basis für die Schnittbilddiagnostik. *Wien. Tier-ärztl. Mschr.* (im Druck)

Kleiter M., S. Kneissl, C. Stanek, E. Mayrhofer, U. Baulain und E. Dee-gen (1999): Evaluation of magnetic resonance imaging techni-ques in the equine digit. *Vet. Radiol. Ultrasound* 40, 15-22

König H. E. und E. Polsterer-Heindl (2002): Die anatomische Zeich-nung im Wandel der Zeit. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 89, 171-178

König H. E., A. Popescu, E. Polsterer-Heindl und C. Hinterhofer (2003a): Arteriovenöse Koppelung im Zehenendorgan des Pfer-des. *Pferdeheilkunde* 19, 459-462

König H. E., R. Macher, E. Polsterer-Heindl und C. Hinterhofer (2003b): Der tiefe Zehenbeuger des Pferdes im Bereich des Acro-podium. *Pferdeheilkunde* 19, 476-480

König H. E., R. Macher, E. Polsterer-Heindl, M.-C. Sora, C. Hinterhofer, M. Helmreich und P. Böck (2003c): Stoßbrechende Einrichtungen am Zehenendorgan des Pferdes. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 90, 267-273

Latorre R., J. M. Vazquez, F. Gil, G. Ramirez, O. Lopez-Albors, M. Orenes, F. Martinez-Gomariz und A. Arenciba (2001): Teaching Anatomy of the Distal Equine Thoracic Limb with Plastinated Slic-es. *J. Internat. Soc. for Plastinación* 16, 23-30

Lieblich H.-G., J. Maierl und H. E. König (2001): Vorder- oder Schul-tergliedmaßen (Membra thoracica). In: König H. E. und H.-G. Lie-bich (Hrsg.) *Anatomie der Haussäugetiere*. Bd. I, Bewegungsap-parat, 2. Aufl., Schattauer, Stuttgart, S. 196-198

Polgar M., A. Probst, M.-C. Sora und H. E. König (2003): Plastinierte Körperfeinschnitte als neues Hilfsmittel zur Darstellung der Schnittanatomie am Beispiel der Brusthöhle des Hundes. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 90, 45-52

Rand T., T. Bindeus, K. Alton, T. Voegelé, C. Kukla, C. Stanek und H. Imhof (1998): Low-field magnetic resonance imaging (0.2 T) of tendons with sonographic and histologic correlation. *Investig. Radiol.* 33, 433-438

Ruberte J., A. Carretero, M. Navarro, P. Böck und H. E. König (2001): Vaskularisation der Synovialmembran des Hufgelenks. *Tierärztl. Prax.* 29, 101-107

Romeis B. (1989): *Mikroskopische Technik*. 17. Aufl., Urban & Schwarzenberg, München.

Schmaltz R. (1939): *Atlas der Anatomie des Pferdes*. 2. Teil, Topo-graphische Myologie. 5. Aufl., Schoetz, Berlin, S. 62

Seiferle E. und J. Frewein (1992): Aktiver Bewegungsapparat und Muskelsystem, Myologia. In: *Nickel R., A. Schummer und E. Sei-ferle* (Hrsg.) *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Bewegungsap-parat, Bd.1., 6. Aufl., Parey, Berlin, S. 489-490

Simhofer H., K. Zetner und D. Malleczek (2002): Bilaterale Polydon-tie der zweiten Oberkieferprämolaren bei einer Traberstute: com-putertomographisch unterstützte Diagnostik und Therapie. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 89, 17-20

Vrba S., T. Bindeus und C. Stanek (2001): Magnetic resonance imaging of the palmar carpal region in the horse. *Proc. 20th Int. Congr. Europ. Soc. Vet. Surg. Olbia (Italien)*, 20.-23. 6. 2001, 239

Wissdorf H., B. Otto, B. Hertsch und H. Keller (2002): Hufbereich, Regio ungularis. In: *Wissdorf H., H. Gerhards, B. Huskamp und E. Deegen* (Hrsg.) *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*, 2. Aufl., Schaper, Alfeld-Hannover, S. 384

Zöggeler E., A. Probst, M.-C. Sora und H. E. König (2002): Plasti-nierte Körperfeinschnitte als neues Hilfsmittel zur Darstellung der Schnittanatomie am Beispiel der Bauch- und Beckenhöhle des Hundes. *Wien. Tierärztl. Mschr.* 89, 115-121

Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Erich König  
 Institut für Anatomie  
 Veterinärmedizinische Universität Wien  
 Veterinärplatz 1, 1210 Wien.  
 horst.koenig@vu-wien.ac.at