

# Das Blutgefäßsystem im Zahnhalteapparat der Backenzähne beim Pferd

Carsten Staszky und Hagen Gasse

Anatomisches Institut der Tierärztlichen Hochschule Hannover

## Zusammenfassung

Das Blutgefäßsystem des Zahnhalteapparates der Backenzähne von insgesamt 11 Warmblut-Pferden wurde korrosionsanatomisch und histologisch untersucht. Das bemerkenswert dichte Gefäßbett des eigentlichen Ligamentum periodontale stand mit den Gefäßstrecken in der Gingiva und im Alveolarknochen in Verbindung. Es bestand aus zwei – miteinander anastomosierenden – Systemen: einem „peripheren“, d.h. dem Alveolarknochen nahen, venösen Netzwerk; einem „internen“, d.h. zementnahen, kapillären Gebiet. Gefäßorganisation und -architektur stehen im Einklang mit Konzepten, die beiden Systemen unterschiedliche, spezifische Aufgaben zuweisen. Speziell das periphere venöse Netzwerk kann demnach als ein flüssigkeitsgefülltes Druckkissen wirken, das die durch Kaudruck entstehenden Kräfte aufnimmt. Dies gilt nicht nur für die am tiefsten in der Alveole verborgenen apikalen (periradikulären) Bereiche, sondern – wie mit Hinweis auf die physiologische Anisognathie erläutert – auch für das Periodont in den Seitenbereichen des Backenzahns. Vor diesem Hintergrund ist das periodontale Blutgefäßsystem auch pathogenetisch beachtenswert.

**Schlüsselwörter:** Ligamentum periodontale, Backenzahn, Blutgefäße, Pferd

## The blood vessel system of the periodontium of equine cheek teeth

The vasculature in the periodontium of equine cheek teeth was studied by use of corrosion casts and histological sections. Specimens were taken from 11 warm-blooded horses. The vascular bed of the proper periodontal ligament was remarkably dense, and it continued into both the gingival as well as intraosseous blood vessels. It comprised two systems – with anastomoses between them: a “peripheral” (i.e. next to the alveolar bone) network of venous sinuses; an “internal” (i.e. next to the dental cementum) system of capillaries. The vascular organisation and the vascular architecture were found adequate to fit into concepts which assign specific functions to the different vascular systems. In particular, the venous network has been interpreted as a pressure absorbing “cushion”. It receives forces not only in areas that are the deepest in the alveolar cavity, i.e. in apical (periradicular) areas, but – if one considers the physiological anisognathia - in periodontal areas along the axis of the tooth (lingual or buccal sides), too. In view of this, the periodontal vasculature appears also pathogenetically relevant.

**Key words:** periodontal ligament, cheek tooth, blood vessels, horse

## Einleitung

Das Periodontium ist eine funktionelle Einheit, die strukturell aus vier Komponenten besteht: dem Ligamentum periodontale (eigentliches “Zahnhalteband”), dem Alveolarknochen (als Gewebe, an dem das Ligament entspringt), dem Zahnzement (als Gewebe, das dem Ligament Ansatz bietet) und aus der Gingiva.

Entsprechend vielfältig können krankhafte Veränderungen, je nach räumlicher Zuordnung, in Form von Entzündungen, Dystrophien, Neoplasien und Anomalien auftreten. Die Prävalenz für periodontale Erkrankungen wird mit bis zu 60% (bei Pferden, die älter als 15 Jahre sind) angegeben (Crabill und Schumacher 1998; Mueller und Lowder 1998; Baker 1999; Pence 2002). Dies gilt vor allem für die Backenzähne. Dabei sind bestimmte Regionen des Periodonts besonders häufig betroffen: Im Oberkiefer die buccalen und interdentalen; im Unterkiefer linguale und interdentalen Regionen (Crabill und Schumacher 1998; Mueller und Lowder 1998).

Vor allem mangelhafter Zahnabrieb und Zahnfehlstellungen sowie daraus resultierende besondere mechanische Belastungen spielen ätiologisch eine Rolle bei der Entstehung periodontaler Erkrankungen beim Pferd (Baker 1999; Pence

2002). Dementsprechend dürften jene Strukturen des Zahnhalteapparates, die in besonderer Weise mechanischen Kräften ausgesetzt sind bzw. ihnen entgegen wirken, eine große Bedeutung für die Pathogenese periodontaler Erkrankungen haben. Zu diesen mechanisch relevanten Strukturen gehört nicht nur der bindegewebige Halte- / Aufhängeapparat. Vielmehr wird dem System der Blutgefäße im Ligamentum periodontale eine spezielle Bedeutung bei der Aufnahme von Druckkräften beigemessen (Aharinejad et al. 1990; Selliseth und Selvig 1994; Tsukada et al. 2000). Da diesbezügliche spezifische Informationen in den bisherigen Studien des equinen Periodontiums (Kilic et al. 1997; Baker 1999; Pence 2002) nicht enthalten sind, soll nun das Blutgefäßsystem des Zahnhalteapparates von Backenzähnen beim Pferd anhand von Kunststoffausgusspräparaten und histologischen Schnittpräparaten gezielt dargestellt werden.

## Material und Methode

### Korrosionspräparate

Für die Anfertigung von korrosionsanatomischen Präparaten der Blutgefäße standen drei Warmblut-Pferde im Alter von 6,

12 und 15 Jahren zur Verfügung. Die Tiere waren aus medizinischen Gründen euthanasiert worden; Erkrankungen des Gebisses oder des Zahnhalteapparates bestanden nicht. Mit einem horizontalen Sägeschnitt durch die Rami mandibulae und mit einer vertikalen Schnittführung kaudal der Orbita wurde der Kopf zerteilt. So konnten beiderseits die A. alveolaris inferior im Bereich des Foramen mandibulae und die A. infraorbitalis in der Fossa pterygopalatina präpariert und mit Braunülen (G14, 2 x 15 mm) versehen werden. Durch diese wurde zunächst mit Leitungswasser gespült, bis an den Sägeflächen klare Spülflüssigkeit aus den Venen austrat. Anschließend wurden jeweils 100-150 ml eines Epoxydharzes (BIO-DUR E20®) von Hand langsam injiziert. Nach Polymerisation des Kunststoffes wurden die Präparate in NaOH (32%) bei 60°C mindestens zwei Wochen mazeriert und schließlich in 20% Ameisensäure gereinigt. Pro Tier wurden so vier Ausgusspräparate (je zwei von Ober- und Unterkiefer), insgesamt also 12 Präparate hergestellt. Diese wurden weiter in die den einzelnen Backenzahn versorgenden Untereinheiten zerlegt. Diese Teilstücke der Ausgusspräparate wurden unter einer Stereolupe bei bis zu 43facher Vergrößerung untersucht.

#### Histologische Präparate

Von acht weiteren Warmblut-Pferden verschiedener Rassen im Alter von 1-20 Jahren wurden die Backenzahnreihen des Ober- und Unterkiefers mittels Perfusion (beidseitig) über die A. alveolaris inferior und A. infraorbitalis mit Bouinscher Lösung fixiert. 5 Stunden später wurden aus dem Bereich des M1 und seiner unmittelbaren Umgebung mit einer Diamantblattsäge jeweils ca. 10 mm dicke Scheiben quer zur Längsachse des Zahnes herausgesägt, u. z. stets aus drei Horizontalebene(n): (a) subgingivales Drittel der Reservekrone, (b) mittleres Drittel der Reservekrone und (c) quer durch die Zahnwurzel (apikal). Nach Entkalkung in EDTA (25%) bei 37°C über ca. 2 Wochen wurden die Proben Scheiben für die histologische Einbettung weiter zerteilt. Dabei wurde genau protokolliert, von welcher Zahnseite/-fläche die Probenstücke stammten (lingual, buccal, mesial, distal). Die Einbettung erfolgte nach Standardmethoden in Paraffin (Paraplast®, Sherwood) und in Technovit® 7100 (Heraeus, Kulzer). Parafinschnitte (6 µm) und Technovitschnitte (3 µm) wurden routinemäßig mit Hämatoxylin-Eosin, Toluidinblau oder nach der Masson-Goldner-Methode gefärbt und lichtmikroskopisch untersucht.

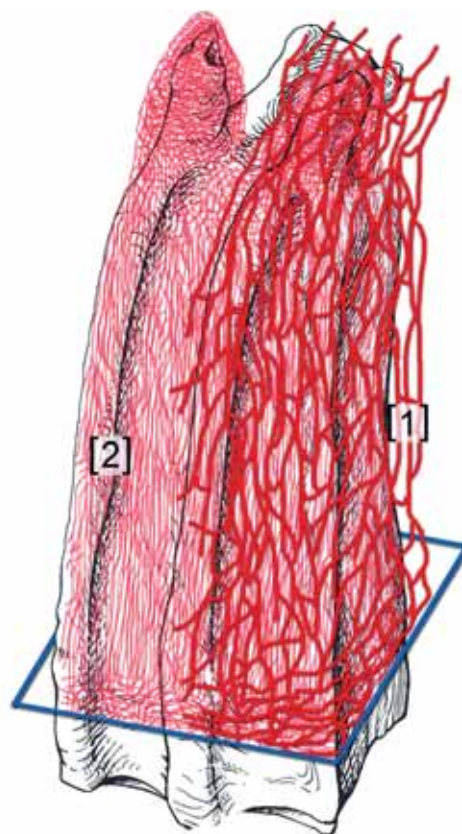
## Ergebnisse

#### Korrosionspräparate

Blutgefäßausgüsse der A. alveolaris inferior des Unterkiefers und der A. infraorbitalis des Oberkiefers erreichten jeweils die Blutgefäßsysteme der Zahnalveolen, des eigentlichen Ligamentum periodontale sowie der Gingiva. Es entstanden dichte Netzwerke aus Blutgefäßausgüssen, die matrisenartig die Zahnoberflächen abformten. Dabei waren im Ligamentum periodontale deutlich zwei Blutgefäßnetze übereinander gelegt: [1] ein alveolarknochennahes (peripheres) Netz aus großlumigen (150–300 µm) Blutgefäßausgüssen; [2] ein zementnahes (internes) Geflecht kleinlumiger Blutgefäße.

[1] Das periphere System (Abb. 1) bestand aus parallel zur Zahnlängsachse ausgerichteten Hauptblutgefäßen, die miteinander durch Queranastomosen zu einem Netzwerk verbunden waren. Abweichend von diesem grundsätzlichen Bauplan waren zusätzlich auch ringförmige Strukturen und blind endende Blutgefäße vorhanden. Subgingival wechselte die primär longitudinale Ausrichtung in eine horizontale, so dass eine subgingivale Blutgefäßmanschette den Übergang vom Blutgefäßsystem des Ligamentum periodontale in das Blutgefäßsystem der Gingiva kennzeichnete.

[2] Die englumigen Blutgefäße des internen Systems (Abb. 1) im Ligamentum periodontale formierten sich zu einem dichten Geflecht aus vorwiegend longitudinal verlaufenden Blutgefäßen, die zu zweit oder dritt als "Bündel" zusammengelagert waren. Sie legten sich den Blutgefäßen des oben genannten peripheren Netzwerks unmittelbar an. Um den kegelförmigen Bereich der Zahnwurzelspitze herum ordnete



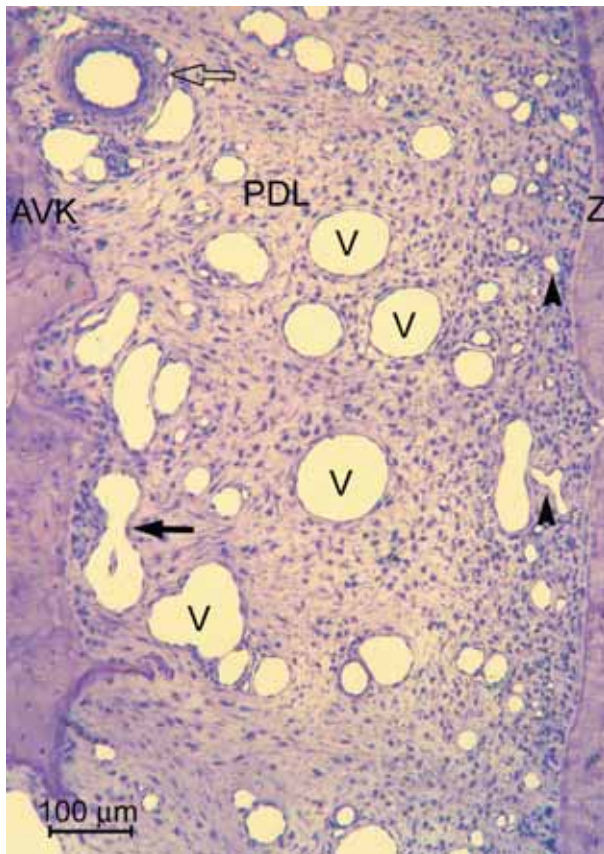
**Abb 1** Schematisierte Darstellung eines Blutgefäßausgusses vom Periodontium eines Pferdebackenzahns. Oberkiefer links, Ansicht von buccal (stark vereinfacht; nicht maßstabsgetreu). Das "periphere" großlumige System [1] ist in Teilen dargestellt, um das darunter gelegene "interne" Kapillarsystem [2] besser sichtbar zu machen. Blaue Linie: Gingivarand  
Schematic drawing of a vascular corrosion cast of the periodontium of an equine cheek tooth. Left upper jaw, buccal aspect (simplified, not to scale). The wide "peripheral" system [1] is drawn incompletely in order to demonstrate the "internal" capillary system [2]. Blue line: Gingival margin

sich das innere Blutgefäßgeflecht zu einer dichten, nestartigen Mulde an. Dabei waren zirkulär verlaufende Blutgefäße und wabenartige Blutgefäßanordnungen die auffälligen Strukturelemente. Beide Blutgefäßsysteme - [1] und [2] - des Ligamentum periodontale standen nicht nur, wie beschrieben,

occlusal mit den gingivalen Blutgefäßen in Verbindung; zusätzlich bestanden seitlich - lingual, buccal, mesial, distal - Anastomosen zu intraossären Blutgefäßen der Alveole. Apikal waren die beiden Systeme mit Aufzweigungsästen der A. alveolaris inferior bzw. der A. infraorbitalis verbunden.

### Histologie

In allen drei Horizontalebene – (a) subgingival, (b) mittlere Höhe der Reservekrone, (c) apikal – konnte ein peripheres, aus weitlumigen Blutgefäßen bestehendes System [1] von einem internen, englumigen System [2] unterschieden werden. Horizontal verlaufende Anastomosen verbanden beide Systeme miteinander.

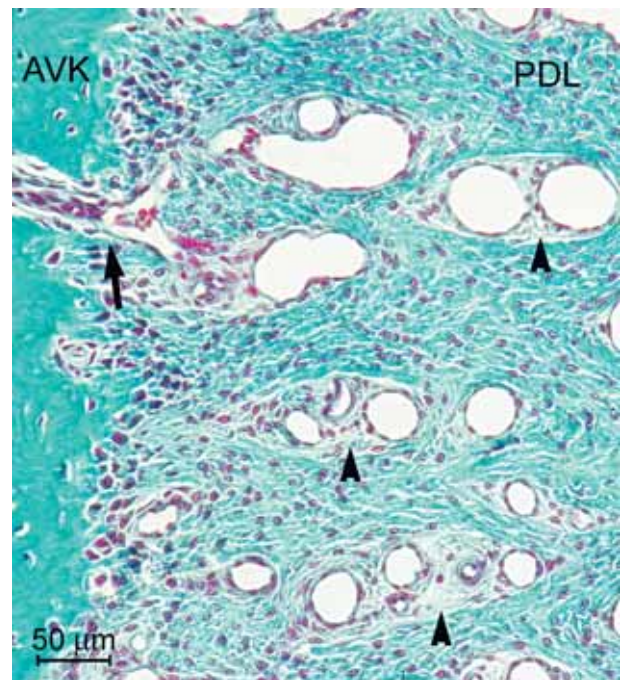


**Abb 2** Querschnitt auf halber Höhe der Reservekrone durch das Periodontium des M1, Oberkiefer links, lingual. Technovitschnitt, Toluidinblaufärbung. Querschnitte der weiten, dünnwandigen Venen (V) sind in der Mitte des Ligamentum periodontale (PDL) und am Alveolarknochen (AVK) gelegen. Alveolarknochen sind Queranastomosen (Pfeil) ausgebildet. In der Nähe des Zements (Z) verlaufen überwiegend Kapillaren (Pfeilköpfe). Spärlich vorhandene Arterien (transparenter Pfeil) sind alveolarknochenah gelegen.

*Transverse section of a first molar tooth's periodontium on a mid-high level of the reserve crown. Left upper jaw, lingual. Technovit embedding, toluidine-blue stain. Transverse sections of wide veins (V) with thin vascular walls are located in the central areas of the periodontal ligament (PDL) and close to the alveolar bone (AVK). Next to the alveolar bone the veins are connected by anastomoses (arrow). Close to the cement (Z) capillaries are the most prominent blood vessels (arrowheads). Arteries (transparent arrow) are rare, being located near the alveolar bone.*

[1] Die alveolarknochenahen, d. h. peripheren Blutgefäße, waren weitlumige ( $> 80 \mu\text{m}$ ), auffällig dünnwandige Venen: ihrem Endothelrohr lagen nur vereinzelt Perizyten oder glatte Muskelzellen auf (Abb. 2 / Abb. 3); Venenklappen waren in keinem der Präparate zu erkennen. Querverbindungen, die durch die Alveolarknochenwand hindurchtraten, schlossen dieses periphere System an die intraossären Blutgefäße an (Abb. 3).

[2] Das zementnahe interne System bestand im wesentlichen aus Kapillaren, die durch locker strukturierte, feinfaserige Bindegewebsscheiden zu Bündeln zusammengefasst waren (Abb. 3). Dabei waren weitlumige "sinusoide" Kapillaren (Lumen  $> 15 \mu\text{m}$ ) von Kapillaren mit einer Lumenweite von unter  $15 \mu\text{m}$  zu unterscheiden. Mit zunehmender Nähe zur Zementoberfläche verringerte sich die Weite der Lumina. Unmittelbar vor der Zementoberfläche waren vereinzelt longitudinale



**Abb 3** Querschnitt auf halber Höhe der Reservekrone durch das Periodontium des M1, Unterkiefer rechts, lingual. Paraffinschnitt, Masson-Goldner-Färbung. Blutgefäße aus dem intraossären Blutgefäßsystem anastomosieren mit Blutgefäßen des Ligamentum periodontale (Pfeil). Die periodontalen Blutgefäße sind durch lockeres Bindegewebe (Pfeilköpfe) zu Bündeln zusammengefasst. AVK: Alveolarknochen, PDL: Ligamentum periodontale

*Transverse section of a first molar tooth's periodontium on a mid-high level of the reserve crown. Right lower jaw, lingual. Paraffin embedding, Masson-Goldner's trichrome stain. Blood vessels out of the intraosseous system are connected to blood vessels in the periodontium (arrow). Bundles of periodontal blood vessels are surrounded by loose connective tissue (arrowheads). AVK: Alveolar bone, PDL: Periodontal ligament*

Anschnitte der Blutgefäßlumina erkennbar. Einzelne von diesen Kapillaren drangen vom Ligamentum periodontale aus senkrecht zur Oberfläche in das Zahnzement ein (Abb. 4). Wandstarke Arteriolen oder Arterien waren nur vereinzelt und dann stets direkt an der Alveolarknochenwand oder aber innerhalb des Alveolarknochens selbst vorhanden. Besondere, bereichstypische Varianten der periodontalen Vaskularisation unterschieden sich vor allem durch die Ausrichtung der Blutgefäße:

(a) Im subgingivalen Bereich des Ligamentum periodontale verlaufende Blutgefäße waren vornehmlich horizontal angeordnet; (b) die Blutgefäße in der Ebene auf halber Höhe der Reservekrone verliefen überwiegend von occlusal nach apikal; (c) in apikalen Bereichen (d.h. im Bereich der Zahnwurzel) waren die Blutgefäße ebenfalls überwiegend parallel zur Zahnängsachse ausgerichtet, allerdings waren zusätzliche Queranastomosen hier häufiger ausgebildet als im zuvor genannten mittleren Bereich.

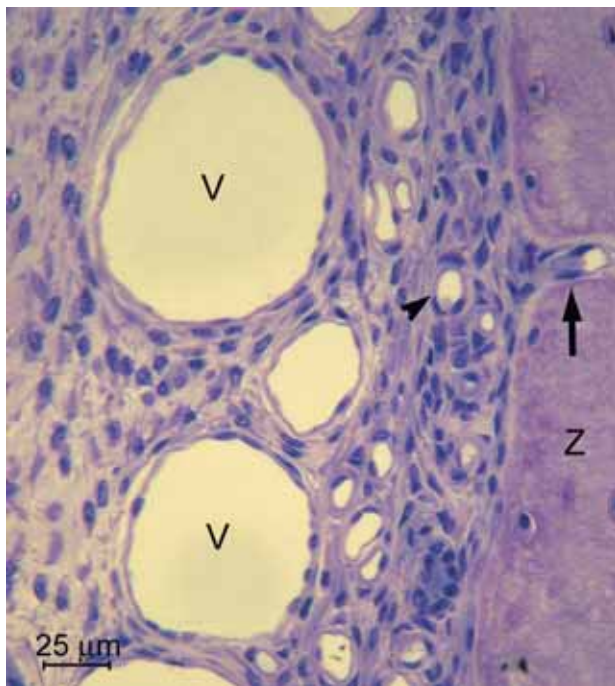


Abb 4 Querschnitt auf halber Höhe der Reservekrone durch das Periodontium des M1, Oberkiefer links, lingual. Technovitchnitt, Toluidinblaufärbung. Die venösen Sinus (V) sind querschnittsen. Kapillaren (Pfeilkopf) befinden sich nahe am Zement (Z) und dringen auch in dieses ein (Pfeil).

*Transverse section of a first molar tooth's periodontium on a mid-high level of the reserve crown. Left upper jaw, lingual. Technovit embedding, toluidine-blue stain.*

*Venous sinuses (V) are cut transversely. Capillaries (arrowhead) are located close to the cement (Z), in places they enter into the cement (arrow).*

## Diskussion

Das Blutgefäßsystem des Zahnhalteapparates erfüllt nicht nur die üblichen Aufgaben als nutritives System bei Wachstum und Reifung des Zahnes oder als Strukturbestandteil im Erkrankungs- und Heilungsgeschehen. Es übernimmt vielmehr auch spezielle mechanische Funktionen im Zusammenhang mit physiologischen Zahnbewegungen. Wie ein "flüssigkeitsgefülltes Druckkissen" absorbieren speziell angeordnete, weite venöse Blutgefäße Druckkräfte, die beim Kauvorgang entstehen (Aharinejad et al. 1990; Tsukada et al. 2000). Diesen funktionell passiven Eigenschaften steht eine aktive Beteiligung bei der Erzeugung von hydrostatischen Druckkräften gegenüber, die zur Gewährleistung eines stetigen Zahnausschubs dienen (Berkovitz 1975; Moxham et al. 1985; Berkovitz 1990; Kirkham et al. 1993). Diese gegensätzlichen, hohen mechanischen Anforderungen - Druckabsorption und Zahnausschub - setzen voraus, dass eine entsprechend hohe Stoffwechselaktivität im Zahnhalteapparat

des hypselodonten Gebisses besteht (Seifert 1983; Berkovitz 1990). Dabei wird das Blutgefäßsystem zugleich vor die Aufgabe gestellt, sich mittels proliferativer und restitutiver Prozesse ständig zu reorganisieren.

Unbehandelt können periodontale Erkrankungen des stoffwechselaktiven Zahnhalteapparates zur Lockerung und zum Verlust einzelner Zähne und damit zu erheblichen funktionellen Beeinträchtigungen des Equidengebisses führen. Der hohe Vaskularisationsgrad (Moxham et al. 1985; Berkovitz 1990) ist an regenerativen Prozessen ebenso beteiligt wie an einer schnellen Ausbreitung einer Entzündungsreaktion. Dies gilt zwar generell für alle Bereiche des Periodonts, doch erscheinen einige Regionen besonders anfällig zu sein: der gingivale Bereich für mechanisch bedingte Irritationen und - überraschender Weise - der periapikale für hämatogen hervorgerufene Entzündungen; hier bildet das Blutgefäßsystem ein ganz besonders dichtes Netzwerk.

Klinisch (und pathogenetisch) bedenkenswert ist auch die Frage, ob das Blutgefäßbett der besonders exponierten Gingiva mit dem des Ligamentum periodontale in Verbindung steht. Gemäß den (älteren) Angaben von Boyer und Neptun (1962), Kindlova und Matena (1962), Carranza et al. (1966) sowie Gaengler und Merte (1983) wurde zunächst die Anordnung von zwei getrennten Blutgefäßgebieten in Erwägung gezogen. Doch haben neuere Untersuchungen an verschiedenen Spezies - Maus (Wong und Sims 1987), Hund (Roush et al. 1989) und Ratte (Tsukada et al. 2000) - gezeigt, dass strukturelle Verbindungen zwischen den Vaskularisationssystemen der Gingiva und des Ligamentum periodontale bestehen. Dies gilt ebenso - wie hier dargestellt - für das Periodontium des Pferdes. Die Kontinuität zwischen gingivaler und periodontaler Vaskularisation stellt also ein generelles Grundmuster dar - mit entsprechenden pathogenetischen Konsequenzen bei primären Entzündungen der Gingiva einerseits oder des periapikalen Zahnbereichs andererseits.

Die Vaskularisation des Periodonts von Zähnen des hypselodonten oder des elodonten Typs ist bisher meist an den wesentlich geringer dimensionierten Zahnreihen von Labornagern untersucht worden. Im Vergleich jener Befunde mit den hier am Zahnhalteapparat des Pferdes dargestellten Befunden werden grundsätzliche Ähnlichkeiten deutlich erkennbar: a) multipler Zufluss zum periodontalen Blutgefäßsystem aus apikalen, seitlichen und gingivalen Regionen; b) Aufteilung in ein alveolarknochennahe - "peripheres" - Blutgefäßsystem und in ein zementnahes - "internes" - Blutgefäßsystem.

Das alveolarknochennahe - "periphere" - Netzwerk im Ligamentum periodontale beim Pferd gleicht hinsichtlich Organisation und Angioarchitektur dem bei Labornagern (Wong und Sims 1987; Aharinejad et al. 1990; Selliseth und Selvig 1994; Tsukada et al. 2000) und Schafen (Spence 1978): Die Blutgefäße waren vornehmlich parallel zur Zahnängsachse ausgerichtet, durch Querverbindungen zu einem Netzwerk arrangiert, hatten weite Lumina und eine dünne Blutgefäßwand. Spence (1978) klassifizierte sie als venöse Sinus. Das Fehlen von Venenklappen in diesem System hat funktionell große Bedeutung: Die Blutflussrichtung ist nicht unidirektional vorgegeben, sondern kann je nach mechanischer Einwirkung in verschiedene Richtungen wechseln (Wong und Sims 1987;

Selliseth und Selvig 1994). Außerdem kann - über rasterelektronenmikroskopisch identifizierte arterio-venöse Shunts (Wong und Sims 1987) - die Bluffülle bei entsprechender Druckbelastung schnell und effizient reguliert werden. Zusätzlich können blind endende venöse Sinus, wie sie auch in anderen Spezies beschrieben sind (Aharinejad et al. 1990; Selliseth und Selvig 1994; Tsukada et al. 2000), zur Drucksteigerung in den Blutgefäßen des peripheren Netzwerks beitragen, so dass druckabsorbierende Eigenschaften - im Sinne eines "Druckkissens" - dem Kaudruck entgegenwirken können. Vor diesem Hintergrund erscheint eine Verdichtung der vaskulären Systeme im peri- und subapikalen Bereich (Selliseth und Selvig 1994) als Ausdruck einer Adaptation an eine dort erhöhte mechanische Druckbelastung. Im Vergleich zu der vorzugsweise mechanischen Aufgabe des peripheren Systems haben die Blutgefäße des "internen" kapillären Systems eher nutritive Aufgaben, z.B. im Zusammenhang mit der Zementogenese (Aharinejad et al. 1990). Sie reichen bis dicht an die Zementoblasten der Zementoberfläche heran. Im histologischen Schnittbild erkennbare horizontale Verlaufsstrecken mögen langgezogenen Kapillarschleifen entsprechen, die in verschiedenen Labornagerspezies rasterelektronenmikroskopisch nachgewiesen wurden (Selliseth und Selvig 1994).

#### Ausblick

Nicht nur der apikale Bereich des Zahns und seines Periodontiums ist besonders durch Kaudruck belastet. Vielmehr sind bestimmte Zonen an den Seitenflächen ebenfalls relativ starken Druck- (nicht nur Zug-) belastungen ausgesetzt. Aufgrund der Abschrägung der Kauflächen (bedingt u.a. durch die physiologische Anisognathie und eventuell verstärkt durch Zahn- und Gebissfehlstellungen) werden die Kaudrücke auch in seitlich (d.h. buccal und lingual) wirkende Schubkräfte umgesetzt, so dass die Kronen der Unterkieferbackenzähne nach lingual, die Kronen der Oberkieferbackenzähne nach buccal gedrängt werden. Dort entstehen analog seitlich oder zumindest schräg wirkende Drücke auf das Gefäßsystem des Periodonts. Diese Vorstellung korreliert mit der Beobachtung, wonach im Unterkiefer besonders die lingualen, im Oberkiefer vor allem buccale Bereiche des Zahnhalteapparats erkranken (Crabill und Schumacher 1998; Mueller und Lowder 1998).

Es ist ferner denkbar, dass die Widerstandsfähigkeit gegen hohe mechanische Beanspruchungen abnimmt, wenn sich mit zunehmendem Lebensalter Strukturveränderungen im vaskulären System des Zahnhalteapparates einstellen. Ein Anstieg der Prävalenz für periodontale Erkrankungen bei älteren Tieren (Crabill und Schumacher 1998; Mueller und Lowder 1998; Baker 1999; Pence 2002) deutet dies an, und erste Hinweise auf eine altersabhängige Verringerung der Blutgefäßanzahl sowie auf regionale Unterschiede der Gefäßdichte im Zahnhalteapparat (bisher unveröffentlichte, eigene Beobachtung) verstärken diesen Eindruck.

Diese beiden Überlegungen fordern weiterführende Untersuchungen heraus, in denen vor allem die möglichen - funktionell notwendigen - regionalen Strukturvarianten in den verschiedenen topographischen Ebenen des Ligamentum periodontale (subgingival, auf halber Höhe, apikal/periradikulär) in den Blick genommen werden.

#### Literatur

- Ahrinejad S., P. Franz, W. Firbas und M. Fakhari (1990): Mandibular and molar vascularization in guinea pigs. *Anat. Rec.* 228, 471 - 477
- Baker G. J. (1999): Abnormalities of Development and Eruption. in: Baker G. J. und J. Easley (Hrsg.): *Equine Dentistry*. W. B. Saunders, London, New York
- Boyer C. C. und C. M. Neptune (1962): Patterns of blood supply to teeth and adjacent tissues. *J. Dent. Res.* 41, 158 - 170
- Berkovitz B. K. B. (1975): Mechanism of tooth eruption. in: Lavelle C. L. B. (Hrsg.): *Applied physiology of the mouth*. John Wright and sons limited, Bristol
- Berkovitz B. K. B. (1990): The structure of the periodontal ligament: an update. *Eur. J. Orthod.* 12, 51 - 76
- Carranza F. A., M. E. Itolz, R. L. Cabrini und C. A. Dotto (1966): A study of periodontal vascularization in different laboratory animals. *J. periodont. Res.* 1, 120 - 128
- Crabill M. R. und J. Schuhmacher (1998): Pathophysiology of acquired dental diseases of the horse. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 14, 291 - 307
- Gaengler P. und K. Merte (1983): Effects of force application on periodontal blood circulation. A vital microscopic study in rats. *J. periodont. Res.* 18, 86 - 92
- Kilic S., P. M. Dixon und A. Kempson (1997): A light microscopic and ultrastructural examination of calcified dental tissue of horses: 4. Cement and the amelocemental junction. *Equine Vet. J.* 29, 213 - 219
- Kindlova M. und V. Matena (1962): Blood vessels of the rat molar. *J. dent. Res.* 41, 650 - 660
- Kirkham J., C. Robinson, J. K. Phull, R. C. Shore, B. J. Moxham und B. K. B. Berkovitz (1993): The effect of rate of eruption on periodontal ligament glycosylaminoglycan content and enamel formation in the rat incisor. *Cell Tiss. Res.* 274, 413 - 419
- Moxham B. J., R. C. Shore und B. K. B. Berkovitz (1985): Fenestrated capillaries in the connective tissues of the periodontal ligament. *Microvasc. Res.* 30, 116 - 124
- Mueller P. O. E. und M. Q. Lowder (1998): Dental sepsis. *Vet. Clin. North Am. Equine Pract.* 14, 349 - 363
- Pence P. (Hrsg.) (2002): *Equine dentistry. A practical guide*. Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, Baltimore
- Roush J. K., P. E. Howard und J. W. Wilson (1989): Normal blood supply to the canine mandibular teeth. *Am J vet Res* 50, 904 - 907
- Seifert K. (1983): Zur Morphologie des Parodontiums beim Kalb: Vergleichende Studien zu der in Brasilien auftretenden Erkrankung „Cara inchada“. *Vet. Med. Diss.. Universität München*
- Selliseth N. J. und K. A. Selvig (1994): The vasculature of the periodontal ligament: a scanning electron microscopic study using corrosion casts in the rat. *J. Periodontol.* 65, 1079 - 1087
- Spence J. A. (1978): Functional morphology of the periodontal ligament in the incisor region of the sheep. *Res. vet. Sci.* 25, 144 - 151
- Tsukada H., H. Ishikawa, S. Nakamura und S. Yoshida (2000): Developmental changes of the vasculature in the periodontal ligament of rat molars: a scanning electron microscopic study of microcorrosion casts. *J. periodont. Res.* 35, 201 - 207
- Wong R. S. T. und M. R. Sims (1987): A scanning electron-microscopic, stereo-pair study of methacrylate corrosion casts of the mouse palatal and molar periodontal microvasculature. *Arch. oral Biol.* 32, 557 - 566

Dr. Carsten Staszky  
 Anatomisches Institut  
 Tierärztliche Hochschule Hannover  
 Bischofsholer Damm 15  
 30173 Hannover  
 Email: Carsten.Staszky@tiho-hannover.de