

Mikroskopische Untersuchung der Pferde Zähne und ihrer Umgebung – Teil 1: Allgemeines und Histologie der Schneidezähne

Hans Geyer¹, Eliana Zoller-Schiesser², Anton Fürst² und Michelle Jackson²

¹ Veterinär-Anatomisches Institut, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 260, 8057 Zürich, Switzerland

² Department für Pferde, Klinik für Pferdechirurgie, Vetsuisse-Fakultät, Universität Zürich, Winterthurerstrasse 260, 8057 Zürich, Switzerland

Zusammenfassung: In Ergänzung zu den bildgebenden Verfahren soll die vorliegende Arbeit Bilder zur Histologie der Zähne des Pferdes samt ihrer Umgebung vermitteln. Teil 1 der Arbeit umfasst die Methodik und die Histologie der Schneidezähne, Teil 2 befasst sich mit der Histologie der Backenzähne. Aus den Gebissen von 3 Pferden verschiedenen Alters wurden nach der Fixation ganze Zähne oder Teile der Gebisse ohne Entkalkung in Methyl-Methacrylat (MMA) eingebettet. Daraus wurden um 500µm dicke Hartschnitte bis zu einer Grösse von 60 × 110 mm hergestellt und vorwiegend nach Giemsa gefärbt. Die Oberflächen der Schnitte ergaben sowohl Übersichtsbilder als auch Details der Zahnschichten und der sie bildenden Zellen mitsamt ihrer Umgebung in hoher Auflösung. Die Bilddokumentation umfasst eingehend das 5-jährige Pferd, da bei dieser Altersgruppe über lange Zeit wenig Veränderungen vorkommen. In Längs- und Querschnitten werden die Pulpaöhle, die Zahnschichten und die Schmelzbecher, (Kunden) bis ins Detail gezeigt. An den unentkalkten Präparaten blieb insbesondere der Schmelz vollständig erhalten. In der Umgebung der Zähne sind im ca. 500µm starken Periodontium neben den gegen apikal gerichteten Fasern vor allem zirkulär um den Zahn verlaufende Faserbündel vorhanden. Der Kieferknochen enthält viel lockere Spongiosa, in der die inneren, an das Periodontium angrenzenden Lamellen, mit einer Stärke bei nur 200µm sehr dünn sind. Beim 2-jährigen Pferd sieht man im Längsschnitt durch den 1. Schneidezahn des Oberkiefers im Ersatzzahn (I₁, 101) die Bildung der Zahnschichten sowie den Schmelzbecher in seiner Entstehung. Außerdem erkennt man an den Wurzeln des Milchzahnes Zeichen des aktiven Abbaus der Zahnschichten. An den Schneidezähnen des 13-jährigen Pferdes fallen im Unterkiefer die starke Schrägstellung der Schneidezähne auf sowie die gegen apikal größeren Zwischenräume zwischen den Zähnen. Die durch das Periodontium und die lockere Struktur der Kieferknochen weiten Zwischenräume sind mit dafür verantwortlich, dass es mit zunehmendem Alter oft zu einer Auflockerung zwischen den Schneidezähnen bis zu deren Ausfall kommen kann. Die Bilddokumentation der Pferde Zähne samt ihrer Umgebung möchte für Diagnostik und Therapie Kenntnisse zur Struktur der Gewebe an den verschiedenen Lokalisationen der Gebisse vermitteln.

Schlüsselwörter: Gebiss, Pferd, Histologie der Schneidezähne, Periodontium, Kiefer

Microscopic examination of horse teeth and their surrounding tissues – Part I: Overview and histology of the incisors

In addition to imaging techniques and microscopic examinations of individual teeth and neighbouring structures, horse dentition with surrounding tissues should be represented on large hard sections. Part 1 of the paper covers the methodology and histology of the incisors, part 2 deals with the histology of the molars. The whole heads of three horses aged 2, 5 and 13 years were fixed by drip infusion with a mixture of 2.5% glutaraldehyde and 1.3% formaldehyde in the common carotid artery of each side. Teeth or rows of teeth were selected from each jaw and embedded in methyl methacrylate (MMA) without decalcification. From these, hard sections with a size of up to 60 × 110 mm were produced with the help of band saws and a microtome milling machine and stained primarily with Giemsa. A general view of the horse's skull shows the macroscopic anatomy, the position and approximate length of the teeth and their designations in the horse's dentition. The 500µm thick hard sections for the histology of the teeth produced clear images of the surface of the respective sections in overview images with good detail at high magnification. The image documentation starts first with the 5-year-old horse after change of dentition, because at this age unchanged structures persist for a long time. In longitudinal and cross-sections, the incisors within their structures are shown in detail. In addition, the surroundings with gingiva, periodontium and jaw bone are shown. All tooth images can be seen "in situ" in the jaw. All tooth tissue especially the enamel, are completely preserved. The pulp cavity and the tooth-forming cells, as well as the structure and depth of the enamel cups, are shown. Adjacent to the teeth, the 500µm thick periodontium with its fibre bundles of connective tissue could be shown in details. In addition to the Sharpey's fibres directed towards the tooth root, mainly circularly running fibre bundles were detected in the periodontium. In the maxillary bones, the bone lamellae bordering the tooth in the cancellous bone were very thin, with a thickness of only 200µm. The surrounding jaw bones generally showed a very loose structure with their abundant cancellous bone. In the 2-year-old horse, the longitudinal section through the permanent first incisor of the upper right jaw (101) shows the formation of the dental tissues as well as the enamel cup in its formation. In addition, the roots of the deciduous teeth show signs of active decay of the dental tissues. In the lower jaw of the incisors of the 13-year-old horse, the strong obliquity of the incisors is noticeable, as well as the larger spaces between the teeth apically. The wide spaces between the teeth due to the periodontium and the loose structure of the jaw bones are partly responsible for the fact that, with increasing age, loosening between the incisors can occur. These histological examinations of the incisors and their normal surrounding tissues, in the form of selected images, are intended to provide veterinarians, working in dentistry, with knowledge of which tissues they may find at respective locations.

Keywords: equine dentistry, histology, incisors, periodontal anatomy, histology

Zitation: Geyer H., Zoller-Schiesser E., Fürst A., Jackson M. (2023) Mikroskopische Untersuchung der Pferde Zähne und ihrer Umgebung – Teil 1: Allgemeines und Histologie der Schneidezähne. *Pferdeheilkunde* 39, 104–114; DOI 10.21 836/PEM20230201

Korrespondenz: Dr. Michelle Jackson, Vetsuisse Fakultät Zürich, Klinik für Pferde, Winterthurerstrasse 260, 8057 Zurich, Schweiz; mjackson@vetclinics.uzh.ch

Eingereicht: 22. Dezember 2022 | **Angenommen:** 22. Januar 2023

Einleitung

Nach den alten Standardwerken zur Anatomie der Zähne in *Ellenberger und Baum* (1943) erfolgten eingehende Beschreibungen der Pferde Zähne. Im Lehrbuch der Anatomie der Haustiere von *Nickel, Schummer und Seiferle*, Band II sind die Pferde Zähne sowie die der anderen Haustierarten durch *Habermehl* (1987) ausführlich beschrieben. *Habermehl* hatte bereits zuvor Grundlagen zur Altersbestimmung der Haus- und Labortiere mit besonderer Berücksichtigung der Zähne veröffentlicht (*Habermehl* 1975). Die deutschsprachigen Lehrbücher von *König und Liebich* (2019), *Salomon et al.* (2020) und vor allem auch *Wissdorf et al.* (2010) zeigen zusammenfassend im deutschsprachigen Raum die bisherigen Kenntnisse zur Anatomie der Pferde Zähne. Im englischen Sprachraum sind die Lehrbücher von *Baker und Easley* (2005) und *Easley et al.* (2011) wegweisend. Zahlreiche Arbeiten von *Dixon et al.* (z. B. 1999, 2013) befassen sich mit Zahnerkrankungen des Pferdes, basierend auf anatomischen Grundlagen ähnlich wie die Arbeiten von *Staszuk et al.* (2015) und *Simhofer et al.* (2008). Das Lehrbuch von *Vogt* (2011) gibt deutschsprachig eine umfassende Übersicht zur Zahnheilkunde beim Pferd. Nach Erscheinen der Dissertation *Zoller* (2020) ist noch auf folgende Literatur hinzuweisen.

Das von *Earley et al.* (2020) herausgegebene Buch «Equine dentistry and oral surgery» in der Reihe *Vet. Clinics North America, Equine Practice*, gibt eine breite Übersicht zur Geschichte der Pferdeheilkunde und vor allem zu heutigen Erkrankungen der Zähne sowie über neue Techniken zur Zahnbehandlung. Weitere neu erschienene Arbeiten befassen sich mit Fissuren (*Polaris et al.* 2020) und Karies (*Borkent et al.* 2020) der Pferde Zähne unter besonderer Berücksichtigung der morphologisch nachweisbaren Veränderungen. *Turner et al.* (2021) berichten über Zahnverlängerungen an Backenzähnen des Ober- und Unterkiefers im Zusammenhang mit Erkrankungen des Periodontiums. *Sterkenburgh et al.* (2022) zeigen an einem Computermodell die jeweils belasteten Stellen der Kauflächen in den verschiedenen Phasen des Kauvorganges. *Rossgardt et al.* (2022) untersuchten die Pulpahöhle und ihre Zellen an Schneide- und Backenzähnen bei jungen und alten Pferden. *Albers et al.* (2022) erfassten radiologisch und histologisch die allfälligen Veränderungen im apikalen Bereich der Schneidezähne in Altersgruppen zwischen 9 und bis über 20 Jahre alten Pferden. Die beiden letztgenannten Autorengruppen arbeiteten histologisch jeweils mit entkalkten Zähnen.

Die vorliegende Arbeit ist eine von *H. Geyer* und *M. Jackson* erstellte Kurzfassung der Dissertation von *E. Zoller-Schiesser*. In Ergänzung zu den bildgebenden Verfahren sollte am Beispiel von 3 Pferden die mikroskopische Struktur von Längs- und Querschnitten der Zähne samt ihrer Umgebung dargestellt werden. Die Befunde sollen zeigen, mit welchen Strukturen der behandelnde Tierarzt bei der täglichen Arbeit konfrontiert ist.

Material und Methoden

Zur mikroskopischen Untersuchung der Gebisse wurden gezielt drei Pferde verschiedenen Alters ausgewählt:

1. ein Pferd im Alter von 5 Jahren nach dem Zahnwechsel und mit allen Zähnen in Reibung.
2. ein 2-jähriges Pferd vor dem Zahnwechsel.
3. ein 13-jähriges Pferd, bei dem auch das apikale Längenwachstum beendet sein soll.

Von drei Pferden, die ohne Veränderungen im Kopfbereich aus anderen Gründen euthanasiert werden mussten, wurde unmittelbar nach der Euthanasie der Kopf mit halbem Hals abgetrennt. Nach kurzem Entleeren des Blutes wurden die Köpfe mit einem Haken durch ein Bohrloch des Halswirbelkörpers so aufgehängt, dass Mund- und Nasenöffnung zum Boden schauten. Nach Freilegen der *A. carotis communis sinistra* und *dextra* wurde in beide Arterien eine Knopfkanüle eingebunden und beide Arterien je mit 2 Litern 0,9% Kochsalzlösung im raschen Dauertropf aus 1,50 m Höhe gespült. Der Spüllösung waren pro l 2000 Einheiten Heparin zugesetzt.

Unmittelbar nach der Spülung wurden die Köpfe mit einem Gemisch aus 2,5% Glutaraldehyd und 1,3% Formaldehyd durch Tropfinfusion während ca. 4 Stunden fixiert. Auf jeder Seite wurden dazu 1,5–2 l des Fixationsgemisches verbraucht. Die feste Konsistenz des Gewebes inklusive der Haut zeigten die gelungene Fixation über das Gefäßsystem an. Nach Einwirken der Fixationslösung über 3 Tage bei Zimmertemperatur wurde in jede der beiden Carotiden mit einer Spritze und mäßigem Druck nochmals je 500 ml der Fixationslösung injiziert. Danach wurden die Köpfe während 24 Stunden bei 4 °C gekühlt.

Zur Entnahme der einzelnen Zähne oder von Gebissabschnitten mit ihrer Umgebung wurden mit einer Fleischbandsäge aus den gekühlten und halbierten Köpfen die entsprechenden Bereiche zugesägt. Diese großen Gewebelöcher (Länge bis 11 cm und Dicke 3–4 cm) wurden zur Nachfixierung nochmals für ca. 1 Woche in das Fixationsgemisch nach *Wild* (1995) aus 2,5% Glutaraldehyd und 1,3% Formaldehyd eingelegt. Zur Herstellung der Hartschnitte wurden wegen des großen Arbeitsaufwandes vor allem diejenigen Zähne ausgewählt, die von klinischem Interesse sind. Dabei wurde die Zahnreihe einer Seite für Längsschnitte und die Zahnreihe der anderen Seite für Querschnitte bestimmt. Die Reste der jeweiligen Gebisse wurden in eine 2%ige Formaldehydlösung eingelegt.

Die ausgewählten Proben wurden über 6–8 Wochen in einer aufsteigenden Alkoholreihe entwässert und über 4 Tage mit Xylol unter Vakuum entfettet, und über 6–8 Wochen im Kühltank bei 4 °C mit Methylmethacrylat infiltriert und ausgehärtet. Die großen, harten Blöcke aus Methylmethacrylat wurden zuerst wieder mit einer Fleischbandsäge grob zugesägt. Auf diese Blöcke wurde mit einem Schnellkleber (Cyano-

acrylat, Cementit CA 25, Firma Merz und Benteli, CH 3 172 Niederwangen) ein Halter aus Methylmethacrylat aufgeklebt zum Einspannen der großen Blöcke in eine Bandsäge mit Diamant-beschichteten Sägeblättern (Firma Exakt, D-22 851 Norderstedt).

Die Blöcke mit den Zähnen wurden auf dieser Bandsäge im Abstand von 2 mm serienweise in Schnitte zerlegt. Die so hergestellten Schnitte wurden mit Cementit CA 25 auf matte Acrylglas-Platten aufgeklebt und mit einer Mikrotom-Fräse (Leica SP 2'500 und SP 2'600) auf eine Dicke bei 500 µm gefräst. Diese Hartschnitte wurden vor allem nach Giemsa, bei einigen Präparaten auch nach van Kossa und Eosin sowie mit Hämalaun-Eosin gefärbt (Romeis 1 989). Zur Auswertung der gefärbten Hartschnitte dienten das Stereomikroskop Leica M16 und das Lichtmikroskop DMLB (Leica) sowie Fotografien der ganzen Präparate.

Befunde

Ein Übersichtsbild zur makroskopischen Anatomie des Schädels und seiner Zahnreihen sowie zu den Bezeichnungen der Zähne inklusive ihrer Benennung in Zahlen (Triadan 1 972) ist in Abb. 1 zu sehen. Die Zeichnung ist eine linke Seitenansicht des Schädels von einem 10-jährigen Wallach, bei dessen Gebiss außer den Kronen auch der intraalveoläre Teil der Zähne samt ihren Längsachsen dargestellt ist. Das Bild zeigt jeweils die langen schmelzhaltigen Zahnkörper, bestehend aus der Krone und seinem intraalveolären Teil, sowie die engen, nur

aus Dentin und Zement bestehenden Wurzeln, die oft gegen kaudal geneigt sind. Die Abbildung soll für die nachfolgenden histologischen Bilder sowohl für die Schneidezähne als auch die Backenzähne (Teil 2) eine Orientierungshilfe zur Lokalisation der Schnitte darstellen. Dabei beachte man, dass sowohl die Schneidezähne (Abb. 2–3) als auch die Backenzähne des Oberkiefers Schmelzbecher, Infundibula oder Kunden haben (Abb. 1–2, Teil 2). Dagegen haben die flachen, mehr medial stehenden Backenzähne des Unterkiefers nur Schmelzfalten (Abb. 11, Teil 2), die außer den Schmelzbechern auch im Oberkiefer vorkommen (Abb. 2, Teil 2).

In Abb. 1 ist an den seitlichen Schneidezähnen die Grenze zwischen der Krone und dem intraalveolären Teil des Zahnes zu sehen. Im Bereich der Backenzähne ist diese Grenze zwischen Krone und intraalveolärem Zahnteil als «Alveolenrand» durch eine dunkle Linie besonders hervorgehoben. Diese Stelle ist jeweils auch der Ansatz des Zahnfleisches, das bedeutet, dass hier das Zahnfleisch, Gingiva, in die außen am Zahn anliegende dünne Wurzelhaut, das Periodontium übergeht, mit der die Zähne in der Alveole befestigt sind. Parallel zum Alveolenrand verläuft die Kaufläche der Backenzähne in einem nach kaudal leicht ansteigenden Bogen, der auch als Spee-Kurve bezeichnet wird und die bei der Bearbeitung der Kauflächen zu berücksichtigen ist. Im kaudalen Bereich der Backenzähne des Oberkiefers sind auch die beiden Kieferhöhlen zu beachten, die vom letzten Prämolaren (P₄, 208) bis zum letzten Molaren (M₃, 211) reichen (Abb. 1/p-q). Zur Kontrolle der Kauvorgänge ist auch noch die Lage des Kiefergelenks kaudal am Jochbogen (Abb. 1/w) wichtig. Weitere

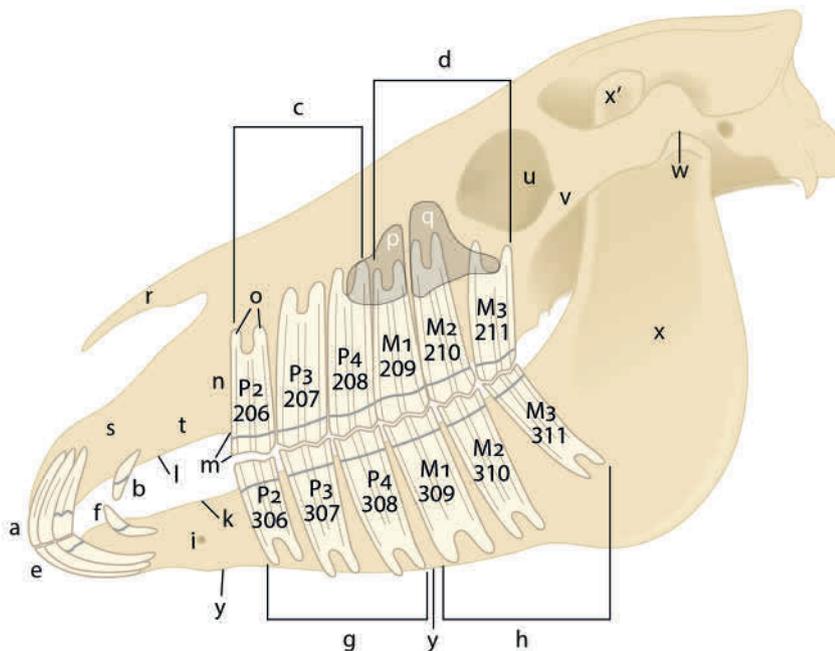


Abb. 1 Schädel und Gebiss eines 10-jährigen Pferdes (Wallach) mit Darstellung der Zahnfächer und Verlauf der Längsachsen der Zähne. Ansicht von links. **a** Schneidezähne, Incisivi des linken Oberkiefers, I₁ (201, medial), I₂ (202), I₃ (203, lateral); **b** Eckzahn, Caninus des linken Oberkiefers (C, 204); **c** Prämolaren des linken Oberkiefers (P₂-P₄, 206–208); **d** Molaren des linken Oberkiefers (M₁-M₃, 209–211). **e** Incisivi des linken Unterkiefers I₁ (301, medial), I₂ (302), I₃ (303, lateral); **f** Caninus des linken Unterkiefers (C, 304); **g** Prämolaren des linken Unterkiefers (P₂-P₄, 306–308); **h** Molaren des linken Unterkiefers M₁-M₃, 309–311). **i** Foramen mentale; **k-l** zahnfreier Rand, Margo interalveolaris (= Lade); **k** des Unterkiefers, **l** des Oberkiefers; beachte kaudal von **k** und **l** den Alveolenrand, Margo alveolaris (graue Linie). **m-o** nur am P₂ superior bezeichnet: **m** Krone; **m-n** Zahnkörper, **n** sein intraalveolärer Teil; **o** Zahnwurzel; **p-q** Kieferhöhle, Sinus maxillaris: **p** rostraler Teil, **q** kaudaler Teil. **r** Os nasale; **s** Os incisivum; **t** Maxilla; **u** Orbita; **v** Jochbogen; **w** Kiefergelenk;

x Unterkieferast, **x'** sein Processus coronoideus; **y** Kehrlang = Margo ventralis des Unterkieferkörpers. | *Skull and dentition of a 10-year-old horse (gelding) showing the alveoles and the longitudinal axis of the teeth. Left side view. a* Incisors of the left maxilla, I₁ (201, medial), I₂ (202), I₃ (203, lateral); **b** Caninus of the left maxilla (C, 204); **c** premolar teeth of the left maxilla P₂-P₄, 204-208); **d** molar teeth of the left maxilla (M₁-M₃, 209-211). **e** Incisors of the left mandible I₁, (301, medial), I₂ (302), I₃ (303, lateral); **f** Caninus of the left mandible (C, 304); **g** premolar teeth of the left mandible (P₂-P₄, 306-308); **h** molar teeth of the left mandible (M₁-M₃, 309-311). **i** Foramen mentale; **k-l** interalveolar space, Margo interalveolaris: **k** of the mandible, **l** of the maxilla; see caudal from **k** and **l** the alveolar border, Margo alveolaris (dark line). **m-o** only described in the maxillary P₂: **m** crown; **m-n** body of the tooth, Corpus dentis; **n** intraalveolar part of Corpus dentis; **o** dental root = true root; **p-q** maxillary sinus, Sinus maxillaris: **p** rostral part, **q** caudal part. **r** Os nasale; **s** Os incisivum; **t** Maxilla; **u** Orbita; **v** zygomatic arch, Arcus zygomaticus, **w** temporomandibular joint; **x** Ramus mandibulae, **x'** its Processus coronoideus; **y** ventral border of Corpus mandibulae.

Details zur Nomenklatur der Zähne und zu den Eigenschaften der Zahnschubstanzen sind in der Originalfassung der Dissertation zu ersehen, falls sie in dieser Kurzfassung nicht erwähnt sind.

Zur Histologie der Schneidezähne zeigen die Abb. 2–3 einen Längsschnitt durch den linken Oberkiefer und den Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes (Stute). Der Schnitt liegt in der Mitte des ersten Schneidezahns (I_1 , 201, 301). Die Incisivi des Oberkiefers sind deutlich länger als die des Unterkiefers. So wurde im Oberkiefer eine Länge der Schneidezähne von der Krone bis zum apikalen Ende von 5–6 cm im Unterkiefer dagegen nur eine Länge von 4–5 cm gemessen. Der Durchmesser der Schneidezähne nimmt gegen apikal ab. Wegen der gegen apikal konisch zulaufenden Form der Schneidezähne und der gegen kaudal gerichteten Krümmung erscheinen in den Abb. 2–3 die seitlichen Schneidezähne I_2 - I_3 als Quer- oder Schrägschnitte. Im Längsschnitt durch den ersten Schneidezahn ist in diesem Bild der intraalveoläre Teil nicht bis zur Spitze getroffen, an der in dieser Altersstufe auch noch Zuwachs mit Schmelzbildung zu sehen war.

Am ersten Schneidezahn der beiden Kiefer ist zentral die Pulpahöhle zu sehen (Abb. 2–3/a), die in Richtung Kaufläche in das dunkel erscheinende Ersatzdentin der Pulpahörner übergeht. Man erkennt das die Pulpahöhle umgebende, blaugefärbte Zahnbein, das Dentin (b). Der helle Schmelz der Zähne

(2–3/c) ist außen noch von der dünnen Knochensubstanz, dem Zement (2–3/d) bedeckt. Die Schmelzbecher, Infundibula (auch Kunden genannt) sind im Oberkiefer (2/e) viel tiefer als im Unterkiefer (3/f) und in ihren apikalen Teilen, dem «Boden» der Kunden mit Zement gefüllt.

In der Umgebung des I_1 sieht man an beiden Kiefern den Übergang des Zahnfleisches, Gingiva (Abb. 2–3/g) gegen innen in die hellgrüne, meist dünne Wurzelhaut, das Periodontium (2–3/h). Dem Periodontium anliegend erkennt man bereits hier die dünnen Knochenlamellen der beiden Kiefer. Außer der übrigen Knochensubstanz beider Kiefer sind im Oberkiefer noch die Gaumenstaffeln (2/l) sowie das Venengeflecht (2/m) und das Jacobson'sche Organ zu sehen. Nicht zuletzt sind die Pulpahöhlen und die umgebenden Zahnschubstanzen der seitlichen Schneidezähne zu beachten. Auf Querschnitte in Nähe der Kaufläche (Abb. 4–5) und den detaillierten Bau der Zahnschubstanzen und der zahnbildenden Gewebe (Abb. 6) sowie Details zur Befestigung der Zähne in ihrer Umgebung (Abb. 7) wird anschließend eingegangen.

Der Querschnitt durch den rechten Schneidezahn I_1 (401) vom Unterkiefer mit dem umgebenden Zahnfleisch (Abb. 4) zeigt 10 mm unter der Kaufläche den querovalen Querschnitt des Zahns, dessen Schmelz (d) außen von Zement (e) umgeben ist, der an der Labialfläche oft besonders dünn oder abgerieben ist. Im innen liegenden Dentin (4/c) sieht man das

Abb. 2 Längsschnitt durch den Schneidezahn I_1 (201) im linken Oberkiefer des 5-jährigen Pferdes mit Schrägschnitten durch den apikalen Teil des I_2 (202) und I_3 (203). Ansicht von links. Giemsa-Färbung. Bezeichnungen, siehe Abb. 3. | *Longitudinal section through the first Incisor I_1 (201) of the left maxilla of the 5-year-old horse together with oblique sections through the apical parts of the Incisors I_2 (202) and I_3 (203). Lateral view from the left side. Giemsa-stain. Marks see fig 3.*

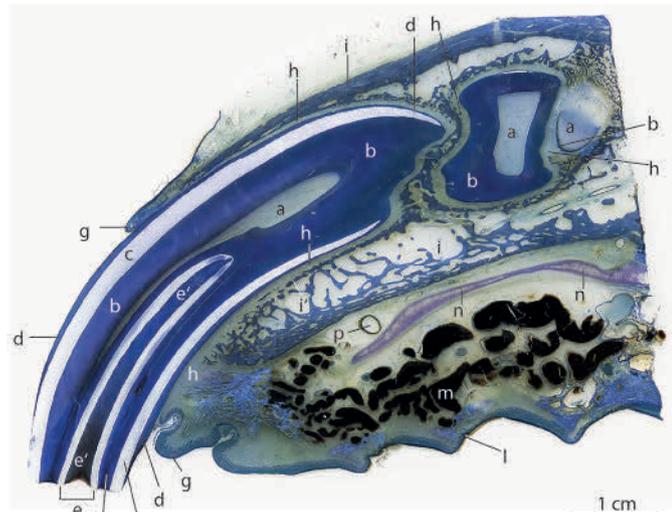


Abb. 2

Abb. 3 Längsschnitt durch den Schneidezahn I_1 (301) im linken Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes mit Schrägschnitten durch den apikalen Teil des I_2 (302) und I_3 (303). Ansicht von links. Giemsa-Färbung. **a** Pulpahöhlen; **b** Dentin; **c** Schmelz; **d** Zement; **e** Kunde im I_1 superior (201), **e'** ihr Zement; **f** Kunde im I_1 inferior (301). **g** Gingiva; **h** Periodontium; **i** Os incisivum, **i'** dünne Knochenbälkchen; **k** Knochen der Mandibula, **k'** dünne Knochenbälkchen; **l-m** Oberkiefer: **l** harter Gaumen, **m** Venengeflecht; **n** Jacobson'sches Organ; **o** Ausschnitt von Abb. 6 A; **p** Gaumenarterie. | *Longitudinal section through the first Incisor I_1 (301) of the left mandible of the 5-year-old horse together with oblique sections through the apical part of the Incisors I_2 (302) and I_3 (303). Lateral view from the left side. Giemsa-stain. **a** pulp cavities; **b** dentin; **c** enamelum; **d** cementum; **e** dental groove = infundibulum of I_1 superior (201), **e'** its cementum; **f** dental groove of I_1 inferior (301). **g** Gingiva; **h** Periodontium; **i** Os incisivum, **i'** thin bone lamellae; **k** mandibular bone, **k'** thin bone lamellae; **l-m** Maxilla: **l** palatum durum, **m** venous plexus, **n** Jacobsons organ, **o** section of fig. 6 A; **p** palatinal artery, A. palatina major.*

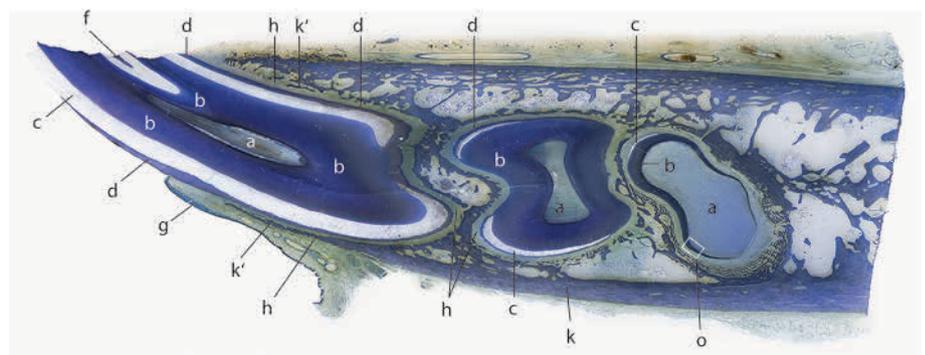


Abb. 3

wenig eröffnete coronale Ende der Pulpahöhle (f) mit umgebendem dunklem Ersatzdentin. Der lingual davon liegende Schmelzbecher, die Kunde (g) ist innen bereits mit Zement ausgefüllt, so dass man hier schon vom Boden der Kunde oder der «Kundenspur» reden kann.

Das Detailbild von der Reibfläche oder Kaufläche des Schneidezahns I₁ vom rechten Unterkiefer (Abb. 5) zeigt den Schmelzrand der Kunde (5a) mit dem innen liegenden Hohlraum (5b), der Pflanzenfasern enthält. Der unmittelbar angrenzende Zement (5/c) ist durch pflanzliche Farbstoffe braun verfärbt, während der gegen außen anschließende, unveränderte Zement (5/d) die reihenartig angeordneten Osteozyten mit ihren Kernen sowie Reste von Gefäßkanälen erkennen lassen.

Die verschiedenen Zahnschichten sind im Detail in Abb. 6 A-C als Ausschnitte eines Wurzelteils (A) sowie von der

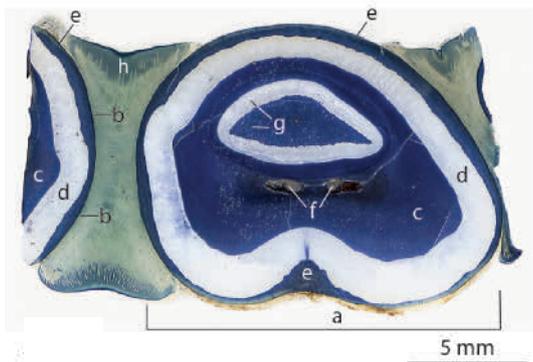


Abb. 4 Querschnitt durch den Schneidezahn I₁ (401) mit angrenzendem I₂ (402) des rechten Unterkiefers vom 5-jährigen Pferd um 10 mm unter der Kaufläche. Beachte die querovale Form der Krone des I₁. Giemsa-Färbung. **a** labiale Seite des I₁; **b** mesiale Seite des I₂; **c** Dentin; **d** Schmelz; **e** Zement; **f** Pulpahöhle; **g** Kunde mit hellem Schmelzrand und innen anliegendem Zement; **h** Zahnfleisch, Epithel. *Transverse section through the Incisor I₁ (401) and the adjoining I₂ (402) of the right mandible of the 5-year-old horse about 10 mm under the occlusal surface. Note the transverse-oval form of the I₁. Giemsa-stain. a labiale side of incisor 1; b mesiale side of incisor 2; c dentin; d enamel; e cement; f pulp cavity; g infundibulum with bright enamel border and the internal adjoining cement; h gingiva, its epithelium.*

Krone (B-C) dargestellt. Abb. 6 A zeigt apikal auch die das Dentin und den Zement bildenden Zellen. In der Pulpahöhle (6 A/a) fallen die zahlreichen Fibroblasten auf. Gegen das seitlich angrenzende Dentin (d) sind die Zellen der Pulpahöhle zu den zylindrischen Odontoblasten (b) angeordnet, die entlang ihrer Fortsätze zunächst das hell erscheinende Prädentin (c) produzieren, aus dem durch die Verkalkung das dunkelblau gefärbte Dentin (d) entsteht. Auf der Seite des Zahnfaches befindet sich das Bindegewebe des Periodontiums (6 A/f), dessen innerste Zellen vergleichbar den Osteoblasten zu Zementoblasten als kubische Zellen angeordnet sind (g). Die Zementoblasten bilden gegen das Dentin die Knochensubstanz des Zements (6 A/e), die im Bild etwas heller blau als das Dentin erscheint.

Ein Längsschnitt durch den medialen (= mesialen) Teil der Krone des ersten Schneidezahns (6 B) zeigt die aneinandergrenzenden Zahnschichten Dentin (a) und Schmelz (b), an dem man die in den Streifen angeordneten Schmelzprismen erkennen kann (b'). Außen am Schmelz liegt der in der ganzen Länge des Zahnkörpers vorhandene Zement (c). Makroskopisch erscheint der unveränderte Zement gelblich. Da seine leicht poröse Oberfläche auch pflanzliche Farbstoffe aufnimmt ist er oft mehr oder weniger stark braun verfärbt. Das makroskopisch gelbliche Dentin zeigt bei einer stark vergrößerten Aufsicht auf die Reibfläche des I₁ (401) vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes sehr deutlich die Röhrenstruktur des Dentins (Abb. 6 C). Innerhalb der hellen Kreise der Röhren sind die im Innern eines jeden Röhrens vorhandenen dunklen Dentinfasern gut zu erkennen.

Die Verbindung der Alveolenwand des Unterkiefers mit dem Zahnkörper zur Verankerung des Zahnes wird in Abb. 7 an einem mit Toluidinblau gefärbten Präparat gezeigt. An einem Querschnitt zwischen dem innersten Knochenbälkchen des Zahnfaches (7/a) und der Peripherie des Zahnkörpers vom I₁ (401) sieht man 22 mm unter der Kaufläche die im Bild nachgezeichneten Sharpey'schen Fasern (c), die vom Periodontium in den Zement (e) des Zahnes einstrahlen. Die Sharpey'schen Fasern verlaufen vor allem im kronennahen Teil des Periodontiums stark in Richtung apikal, um ein «Einsinken» des Zahnes in das Zahnfach durch den Kaudruck zu verhindern. Der über-

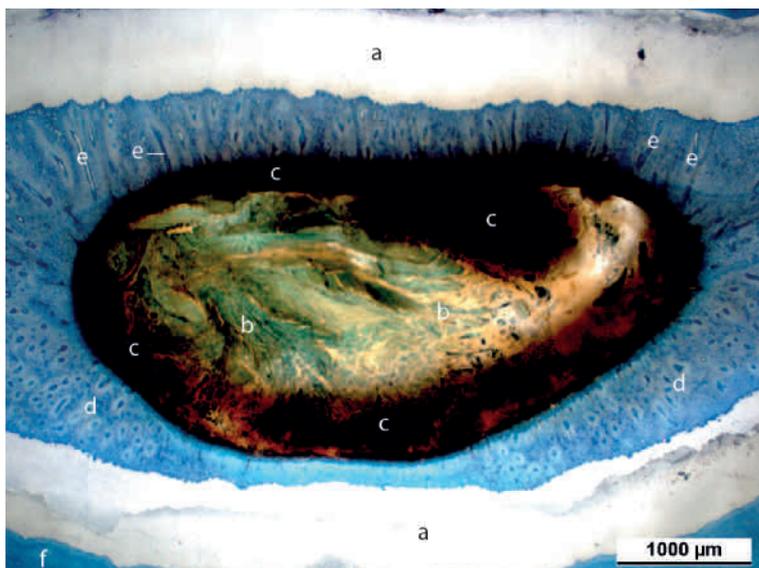
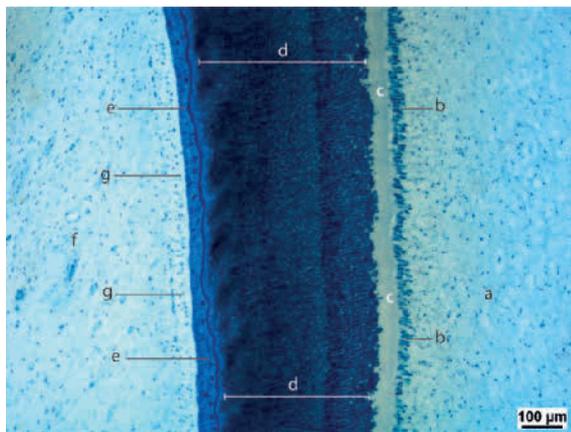


Abb. 5 Aufsicht auf einen Schmelzbecher des I₁ (401). Detailansicht der Reibfläche vom rechten Unterkiefer des 5-jährigen Pferdes. Der Schmelzbecher, die Kunde zeigt in ihrem Inneren Futterpartikel und am Innenrand des Schmelzbechers den durch pflanzliche Farbstoffe braun verfärbten Zement. Giemsa-Färbung. **a** Schmelzrand der Kunde; **b** Hohlraum der Kunde mit Futterpartikeln (grün); **c** brauner Innenrand des Zementes; **d-e** unveränderter Zement: **d** Zementzellen mit Kernen; **e** Reste von Gefäßkanälen; **f** Dentin. *View on the infundibulum of I₁ (401). Detail of the occlusal surface of the right mandible of the 5-year-old horse. The infundibulum shows in its hollow space food-particles (green) and at the inner border of the cup a brownish coloured part of cement, received by brown colours of food. Giemsa-stain. a enamel border of the infundibulum; b hollow space of the cup; c brown inner border of cement; d-e unaltered cement: d cement cells with nuclei, e rests of vascular channels; f dentin.*

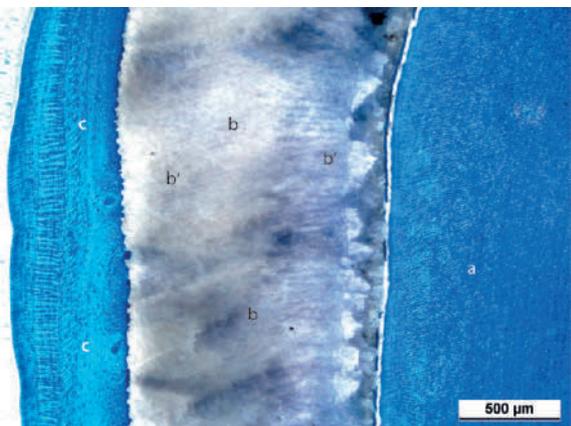
wiegende Anteil der Fasern des Periodontiums verläuft jedoch zirkulär um die Peripherie des Zahnes, was dem Zahn auch Halt gibt. Die zirkulär verlaufenden Faserbündel des Bindegewebes vom Periodontium (7/b) sind im Bild als blaue Punkte sichtbar. Zur Darstellung der Faserbündel des Periodontiums eignete sich die Toluidinfärbung besonders gut. Außer dem Zahnzement des Schneidezahns (7/e) ist auch noch die am Zahn vom Zement bedeckte äußerste Schicht des Schmelzes (7/f) zu sehen als Beleg für die feste Verbindung von der Peripherie zum gesamten Zahn.

Ein Längsschnitt durch einen Milchzahn und seinen Ersatzzahn vom ersten Schneidezahn des rechten Oberkiefers soll

Abb. 6 A–C Darstellung der Zahnschichten an verschiedenen Lokalisationen des 5-jährigen Pferdes. Giemsa-Färbung. | *View of the calcified dental tissues at different locations of the 5-year-old horse. Giemsa-stain.*



6 A Zahnschichten im apikalen Teil des Schneidezahns I₃ (303) vom linken Unterkiefer. Ausschnitt aus Abb. 3/o. **a** Pulpahöhle; **b** Odontoblasten; **c** Prädentin; **d** Dentin; **e** Zement; **f** Periodontium; **g** Zementblasten. | *Calcified tissues in the apical part of the Incisor I₃ (303) of the left mandible, detail of Fig. 3/o. a pulp cavity; b odontoblasts; c pre-dentin; d dentin; e cement; f periodontium; g cementoblasts.*



6 B Zahnschichten an einem Querschnitt durch den mesialen Teil der Krone des I₁ (401) vom rechten Unterkiefer, 10mm unter der Kaufläche, vgl. Abb. 4. **a** Dentin; **b** Schmelz, beachte die in den Streifen angedeuteten Schmelzprismen (**b'**); **c** Zement. | *Calcified tissues in a transverse section through the mesial part of the crown of the I₁ (401) of the right mandible, 10mm under the occlusal surface, see also fig. 4. a dentin; b enamel, see the slight stripes indicating the enamel prisms (b'); c cement.*

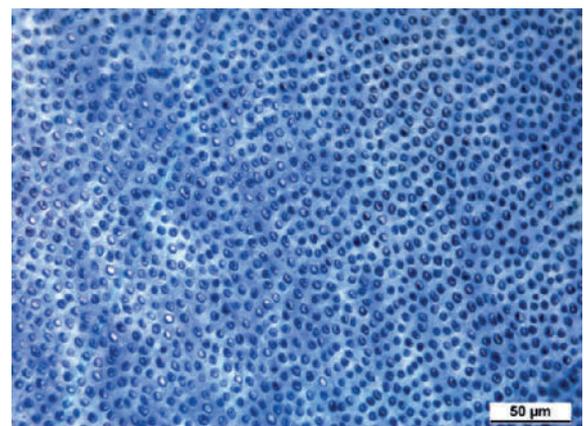
als Beispiel die Verhältnisse beim 2-jährigen Pferd vor dem Zahnwechsel zeigen (Abb. 8 A-B). Am Ersatzzahn (I₁, 401) fallen die weite Pulpahöhle sowie die gegen apikal erfolgende Neubildung der Zahnschichten auf. Am Milchzahn (I_{d1}, 501) sieht man unter der kurzen Krone schon deutliche Abbauvorgänge an seiner Wurzel (8 B).

Am Ersatzzahn ist die Pulpahöhle mit ihrem Bindegewebe (Abb. 8 A/a) vor allem apikal weit und verengt sich in Richtung der Krone. Angrenzend an die Pulpa erkennt man das dunkelblau angefärbte Dentin (b). Der schon weit in die Tiefe reichende helle Schmelzüberzug (c) ist gut zu sehen. Gegen apikal findet man noch Vorstufen des Schmelzes, die nach der Färbung von van Kossa erst eine beginnende Mineralisierung aufweisen (c') und hier blau angefärbt sind. In dem kleinen Ausschnitt aus Abb. 8 A/l wurden auch die Schmelzbildenden Enamelozyten des inneren Schmelzepithels nachgewiesen (Abb. 36 der Dissertation). Außen am Schmelz des Ersatzzahnes sieht man den dünnen Überzug mit Zement (8 A/d), auf das peripher das ebenfalls sehr dünne, hellblau erscheinende Periodontium (f) folgt. Der Knochen des Oberkiefers (g) enthält oft angrenzend an das Periodontium sehr dünne Lamellen von Knochensubstanz, die oft nur um 200µm breit sind.

An dem tief eingesenkten Schmelzbecher, der Kunde des Ersatzzahnes (e) sieht man dem Schmelzrand innen anliegend und am Boden noch verdickt den Zement (d'). Der Innenraum der Kunde ist noch von Bindegewebe ausgekleidet.

Im Oberkiefer wurde unter dem Ersatzzahn des I₁ noch das Zahnsäckchen des I₂ (8 A/k) getroffen, aus dem die Hüllen des Zahnes Zement, Periodontium und der angrenzende Teil des Kieferknochens entstehen. Weiter zeigt Abb. 8 A vom Oberkiefer die Gaumenschleimhaut mit ihren Staffeln (8 A/h) und das Venengeflecht (i) sowie die Gaumenarterie, A. palatina major (j), die bei Zahnbehandlungen möglichst zu schonen ist.

Am Milchzahn sind die Reste der Zahnschichten noch zu erkennen: sie sind gleich bezeichnet wie am Ersatzzahn.



6 C Dentinröhrchen auf der Kaufläche des I₁ (401) vom rechten Unterkiefer. Die Röhrchen sind an den kreisrunden Ringen zu erkennen. Die zentralen Dentinfasern erscheinen als schwarze Punkte. | *Dentin tubules at the occlusal surface of I₁ (401) of the right mandible. The tubules appear as round rings. The central dentin-fibers are the black points in the rings.*

Vom Schmelzbecher ist nur noch ein Rest der Kundenspur, des Bodens der Kunde (Abb. 8 A/e') zu sehen. Die Abbauvorgänge an der Wurzel des Milchzahns, die vor allem am palatinalen Teil der Wurzel sehr ausgeprägt waren, sind im Detail in Abb. 8 B gezeigt. Aus dem zwischen Ersatzzahn und Milchzahn liegenden Bindegewebe des Periodontiums (8 B/c) differenzierten sich die großen Zellen (Makrophagen) zum Abbau der Zahnschubstanzen. Man erkennt hier die den Osteoklasten entsprechenden, großen und mehrkernigen Zellen. Diese bauten auf der einen Seite als Odontoklasten (d) das Dentin (a), und als Zementoklasten (e) auf der anderen Seite den Zement (b) ab. Durch die Lyse der Zahnschubstanzen entstanden auch die entsprechenden Lakunen (f-g). Die Auflösung der Zahnschubstanzen führt dann zuletzt zum Ausfall des Milchzahnes.

Beim 13-jährigen Pferd sind die Schneidezähne des Unterkiefers wenig gekrümmt und verlaufen relativ flach nach vorne oder rostral (Abb. 9). Das Bild zeigt den seitlichen 3. Schneidezahn (I_3 , 303) vom linken Unterkiefer im Längsschnitt. Die Schneidezähne des Unterkiefers waren bei diesem Tier nur noch um 55 mm lang.

Der schmelzhaltige Zahnkörper hatte noch eine Länge um 30 mm; die apikalen 25 mm entfielen auf die nur noch aus Dentin und Zement bestehende Wurzel. Der enge Wurzelkanal wurde auf diesem Schnitt nicht bis zur Spitze getroffen. Das Längenwachstum der Schneidezähne kann aber anhand der Schnitte von diesem Tier als weitgehend abgeschlossen angesehen werden.

Im Unterschied zum Unterkiefer sind die Schneidezähne des Oberkiefers noch mäßig gebogen und mit einer Länge bei 60 mm auch länger als die Schneidezähne des Unterkiefers. Die Kundenspuren sind im Oberkiefer ebenfalls länger als im Unterkiefer.

Der Rest einer Kundenspur ist am I_3 (303) des Unterkiefers in Abb. 9/f zu sehen. Die Kundenspur am seitlichen Schneidezahn des Unterkiefers soll betreffend der Altersbestimmung mit 15 Jahren verschwunden, d.h. abgerieben sein.

In beiden Kiefern haben die Schneidezähne gegen die Spitze eine konische Form, weshalb gegen apikal größere Zwischen-

räume zwischen den Zähnen vorhanden sind. Der Querschnitt des I_1 (401) vom rechten Unterkiefer hat 20 mm unter der Reibfläche eine dreieckige Form (Abb. 10). Der Zahn ist noch größtenteils von Schmelz ummantelt (10/k). Die Pulpaöhle des Zahnes ist hier schon eröffnet. Weiter gegen apikal, das ist 35 mm unter der Kaufläche und 20 mm über der Wurzelspitze hat derselbe Zahn in einem weiteren Querschnittsbild eine längsovale Form und besteht vorwiegend aus den Substanzen der Wurzel Dentin und Zement und hat lediglich labial noch einen Rest von mit Zement bedecktem Schmelz. Dieses Bild ist nur in der Dissertation (Abb. 56) vorhanden. Die Querschnitte und der Längsschnitt zeigen, dass gegen apikal die Schneidezähne außer vom Bindegewebe des Periodontiums immer mehr von locker gebautem Knochengewebe umgeben sind. Da hier, wie auch in der Peripherie der Schneidezähne selbst, Abbauvorgänge stattfinden können, ist das ein klarer Hinweis dafür, dass mit zunehmendem Alter die Schneidezähne apikal locker verankert sind auch ausfallen können.

Diskussion

Material und Methoden

Die Fixation der ganzen Köpfe mit einer Tropfinfusion von einem Gemisch aus 2,5% Glutaraldehyd und 1,3% Formaldehyd hat sich gut bewährt, um die Zähne der verschiedenen Gebisse samt ihrer Umgebung darzustellen. Die Struktur der die Zahnschubstanzen bildenden Zellen, die Hartschubstanzen selbst und die Umgebung waren morphologisch gut erhalten. Lediglich die gegen coronal liegenden Odontoblasten zeigten keine klaren Strukturen, weil hier am Ende der Strombahn in der Pulpa eventuell zu wenig Fixationslösung ankam.

Die Einbettung der verschiedenen Zähne oder von bestimmten Abschnitten des Kiefers in Methyl-Methacrylat dauert zeitlich sehr lange. Durch den Verzicht auf die Entkalkung bleibt der Schmelz vollständig erhalten, der auch bei schonender Entkalkung z.B. mit Ethylen-Diamin-Tetra-Essigsäure (EDTA) verloren gehen kann.

Die Zeit zur Entwässerung, Infiltration und Aushärtung der Blöcke für Hartschnitte dauert mit 2–3 Monaten ähnlich lange

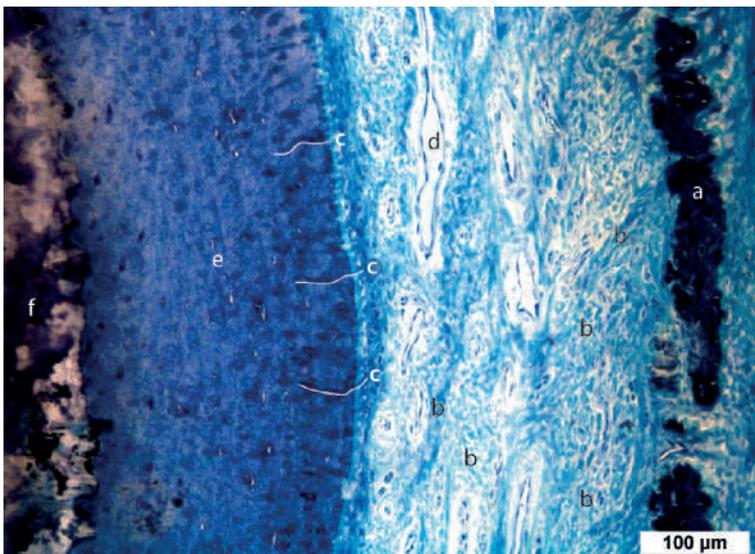


Abb. 7 Verbindung zwischen Unterkiefer und Zement durch Sharpey'sche Fasern des Periodontiums. Querschnitt von den Knochenbälkchen des Unterkiefers bis zum Zahnkörper des I_1 (401) der rechten Seite, 22 mm unter der Kaufläche. Toluidinblau-Färbung. **a** Knochenbälkchen; **b-d** Periodontium: **b** quer und längs getroffene Faserbündel; **c** Sharpey'sche Fasern, beachte die dunklen Fasern, die bis in den Zement ziehen, stellenweise nachgezeichnet (weiße Linien); **d** Venen; **e** Zement; **f** Außenzone des Schmelzes. | Connection between the mandible and cement by Sharpey-fibres of the periodontium. Transverse section from the bone lamellae of the mandible to the body of the incisor I_1 (401) of the right side, 22 mm under the occlusal surface. Toluidinblue-stain. **a** bone lamellae; **b-d** periodontium: **b** fibre-bundles, transverse or longitudinal sectioned; **c** Sharpey-fibres, see the dark fibres, which join the cement, partially marked with white lines; **d** veins; **e** cement; **f** enamel, peripheral part.

wie die schonende Entkalkung mit EDTA wie sie vor allem von Staszuk et al. (2015) und auch in neueren Arbeiten von Albers et al. (2022) angewendet wurden.

Die um 500 µm dicken Hartschnitte ergeben trotz ihrer Dicke nicht nur gute Übersichtsbilder ihrer Oberfläche sondern auch bei starker Vergrößerung von Details im Lichtmikroskop scharfe Bilder. So konnten nicht nur die Zahnschichten sondern auch die zahnbildenden Gewebe bis ins Detail gut dargestellt werden.

In bisherigen Studien zur Histologie der Zähne wurde vor allem mit Entkalkung der Zähne gearbeitet. Die Hartschnitttechnik mit der Einbettung ganzer Zähne oder von Kieferabschnitten bietet den Vorteil, dass ganze Proben erheblicher Größe bis zu 110 mm Länge und 60 mm Breite ohne Entkalkung bearbeitet werden können. Die mit der Mikrotomfräse bearbeiteten Schnitte, deren Oberfläche nach dem Fräsen allenfalls noch poliert werden kann, zeigen sehr klare Bilder in Übersichten und im Detail. So konnten Längs- und Querschnitte ganzer



Abb. 8a Längsschnitt durch den Schneidezahn I₁ (101) und dessen Milchzahn I_{d1} (501) des rechten Oberkiefers von einem 2-jährigen Pferd. Giemsa-Färbung. **a** Pulpahöhle; **b** Dentin; **c** Schmelz (hell), **c'** Vorstufen des Schmelzes (blau); **d** Zement, **d'** Zement am Boden der Kunde; **e** Kunde = Schmelzbecher, **e'** Boden der Kunde des Milchzahns; **f** Periodontium; **g** Knochen des Oberkiefers; **h** Zahnfleisch; **i** Schleimhaut des harten Gaumens mit Venengeflecht; **j** Gaumenarterie; **k** Zahnsäckchen des I₂ (102); **l** apikaler Teil des Ersatzzahnes mit Schmelzbildneren; **m** Ausschnitt von Abb. 8 B, Abbauzone des Milchzahns. | Longitudinal section of the Incisor I₁ (101) and its deciduous precursor I_{d1} (501) of the right maxilla of a 2-year-old horse. Giemsa-stain. **a** pulp cavity; **b** dentin; **c** enamel (bright), **c'** precursors of enamel (blue); **d** cement; **d'** cement at the bottom of the infundibulum; **e** infundibulum with cup and mark (**d'**), **e'** bottom of the infundibulum = mark of the deciduous tooth; **f** periodontium; **g** bone of the maxilla; **h** gingiva; **i** mucosa of the hard palate with vene-plexus; **j** A. palatina major; **k** dental follicle of I₂ (102); **l** apical part of the permanent incisor with Enameloblasts; **m** section of fig. 8 B with disintegration zone of the deciduous tooth.

Zähne mit ihrer Umgebung, dem Periodontium und dem angrenzenden Kiefer inklusive Zahnfleisch in guter Bildqualität dargestellt werden. Diese Schnitte können in Ergänzung zu den bildgebenden Verfahren klar aussagen, welche Gewebe im Normalzustand oder allenfalls bei pathologischen Veränderungen an den jeweiligen Lokalisationen zu erwarten sind. Diese Informationen dürften auch für die in der Zahnheilkunde des Pferdes tätigen Tierärzte von Interesse sein.

Als beste Färbung eignete sich in dieser Arbeit die Färbung nach Giemsa, ähnlich Romeis (1989), da sie alle Gewebe und auch Vorstufen der Verkalkung gut erkennen lässt. Die Verkalkung selbst wurde an einzelnen Schnitten durch den Phosphatnachweis nach van Kossa (Romeis 1989) bestätigt. Außerdem wurden einige Schnitte auch mit allgemein bekannten Routinefärbungen durch Hämalaun-Eosin gefärbt. Die Fasern des Periodontiums und ihre Verbindung waren in der Färbung mit Toluidinblau am besten zu erkennen.

Befunde

Die gegen apikal konisch dünner werdenden Schneidezähne erlaubten keine idealen Längsschnitte von der Krone bis zur Wurzelspitze. Dabei wurde z. B. in Abb. 2–3 nur der Zahnkörper des ersten Schneidezahns getroffen; daneben erschienen aber noch Schrägschnitte von tiefer liegenden Partien der benachbarten Schneidezähne mit den gegen apikal vorhandenen Zahnschichten. Auf Querschnitten oder den in der Länge der Zähne genau zugeordneten Positionen konnten aber die verschiedenen Zahnschichten und die sie bildenden Zellen bis ins Detail gezeigt werden (Abb. 4–7).

Die Struktur und die Tiefe der Schmelzbecher, Infundibula oder Kunden hat bei den Schneidezähnen besondere Bedeutung, da sie auch zur Altersbestimmung beigezogen werden

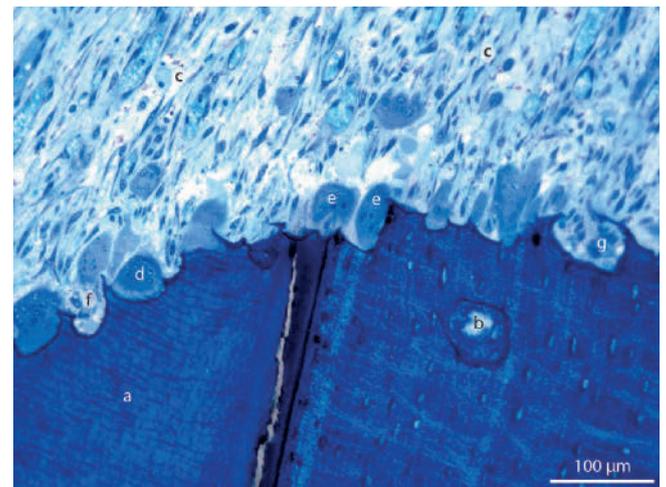


Abb. 8b Osteoklasten an Dentin und Zement des Milchzahnes. Ausschnitt aus Abb. 8 A/m. **a** Dentin; **b** Zement; **c** Periodontium = Bindegewebe zwischen Ersatzzahn und Milchzahn; **d** Osteoklasten, (Odontoklasten); **e** Osteoklasten (Zementoklasten); **f** Lakune im Dentin; **g** Lakune im Zement. | Osteoclasts at dentin and cement of the deciduous tooth. Detail of the location of Fig 8 A/m. **a** dentin; **b** cement; **c** periodontium = connective tissue between the permanent and the deciduous tooth; **d** osteoclasts as odontoclasts; **e** osteoclasts as cementoclasts; **f** lagoon in dentin; **g** lagoon in cement.

(Habermehl 1975, Baker und Easley 2007, Wissdorf et al. 2010, Easley et al. 2011). Zur Abschätzung der Weite und der Tiefe der Schmelzbecher ist der helle Schmelzrand sehr geeignet, die Innenauskleidung mit Zement befindet sich an dem langen Boden der Kunde. Der harte Schmelzrand ist mit der «Daumnagelprobe» nach Habermehl (1975) auch am Boden der Kunden, der «Kundenspur» noch gut fühlbar. Die Abb. 2–3 lassen deutlich erkennen, dass die Schmelzbecher in den Schneidezähnen des Oberkiefers viel tiefer sind als im Unterkiefer. In den coronalen Bereichen, enthalten die Schmelzbecher noch einen Hohlraum. Im Querschnitt der Krone des Schneidezahns von Abb. 5. belegen die pflanzlichen Partikel im Hohlraum der Kunde, dass hier Außeneinflüsse durch die Nahrung auf den Zement am Innenrand der Schmelzbecher einwirken. An der leicht porösen Knochen-substanz des Zementes kann es so durch Säuren zu Auflösungen oder durch pflanzliche Stoffe zu Braun-Verfärbungen kommen (Abb. 5/c). Solche Verfärbungen sind auch außen am Zement der Kronen oft zu sehen.

Das im Schmelzbecher des Ersatzzahnes vom 2-jährigen Pferd innen noch vorhandene Bindegewebe (Abb. 8 A/e) mit dem angrenzenden Zement (8 A/d') oder Zementblasten ist ein Hinweis dafür, dass der Becher entweder von der Seite oder allenfalls von coronal her eingefaltet oder eingestülpt wurde. Je nach Aktivität der Zementblasten kann der Innenraum des

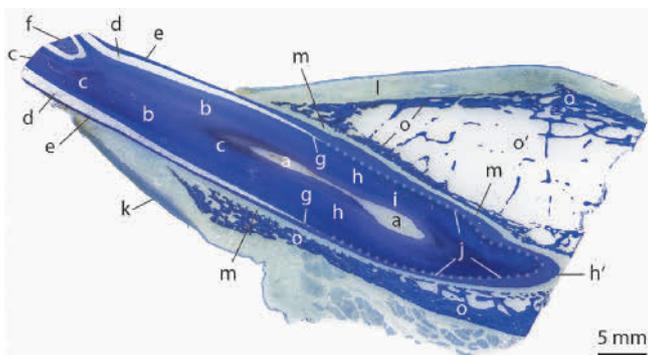


Abb. 9 Längsschnitt durch den äußeren Schneidezahn (I_3 , 303) vom linken Unterkiefer eines 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt befindet sich in der Mitte des Zahnes und zeigt die langgestreckte, wenig gekrümmte Form des Zahnes. Ansicht von links, Giemsa-Färbung. **a** Pulpahöhle, sie ist nur teilweise getroffen, ihr dünnes, apikales Ende ist nicht getroffen; **b** Dentin; **c** Ersatzdentin (als Zahnsternchen labial auf der Reibefläche); **d** Schmelz (hell); **e** peripherer Zement; **f** Rest der Kundenspur = Boden der Kunde mit Zementfüllung; **g** apikales Ende des Schmelzes; **h** Wurzelteil des Zahnes nur mit Dentin und Zement; **h'** apikales Ende der Wurzel; **i** Dentin der Wurzel; **j** Grenze zwischen Dentin und dem peripher liegenden Zement (gepunktete Linie). **k-l** Gingiva: **k** labial, **l** lingual; **m** Periodontium; **o** Knochen der Mandibula, **o'** ihre Spongiosa. Beachte die stellenweise dünnen Knochenbälkchen, angrenzend an das Periodontium. | *Longitudinal section of the outer Incisor I_3 (303) of the left mandible of a 13-year-old horse. The section shows the middle of the tooth and a nearly straight longitudinal, less curved form. Giemsa-stain. a pulpa cavity, only partially sectioned, the thin apical end is not reached in this section; b dentin; c secondary dentin, seen as star labial at the occlusal surface; d enamel (bright); e peripheral cement; f bottom of the infundibulum = mark, filled with cement; g apical end of enamel; h the true root of the tooth, which consists only of dentin and cement, h' apical end of the root; i dentin of the root; j border between dentin and the peripheral cement (dotted line). k-l gingiva: k labial, l lingual; m periodontium; o mandibular bone, o' its spongiosa. Note the partially very thin bone lamellae, adjacent to the periodontium.*

Schmelzbechers, wie apikal am Boden, ganz gefüllt sein. Bei mäßiger Aktivität der Zementbildner bleibt coronal ein Hohlraum im Schmelzbecher bestehen (vgl. Easley et al. 2011).

Die im apikalen Bereich der Zähne noch erfolgende Zubildung der Zahnschubstanzen konnte beim 5-jährigen Pferd an tief liegenden Bereichen (Abb. 2–3; 6 A) nachgewiesen werden. Beim 2-jährigen Pferd ist die Zubildung der Hartschubstanzen vor allem am apikalen Teil des Zahnkörpers des Ersatzzahnes vom I_1 (101) sehr deutlich sichtbar (Abb. 8 A). Dagegen kann der aktive Abbau der Wurzeln des Milchzahnes durch die dort vorhandenen Osteoklasten (als Odonto- und Cementoklasten) und durch die Lakunen an den Zahnschubstanzen (Abb. 8 B) belegt werden.

Die Form der Schneidezähne ist beim jungen wie beim älteren Pferd von Interesse. Dabei beachte man einerseits die langgestreckte Form der flach zum Unterkiefer stehenden Zähne (Abb. 9) beim 13-jährigen Pferd sowie die nur beim 5-jährigen Pferd gezeigten Querschnitte von coronal gegen apikal (Abb. 4–5; 10). Man bedenke, dass bei der konisch gegen die Wurzel zulaufenden Form der Schneidezähne weiter apikal eine längsovale Querschnittsform erscheint, und bei der eigentlichen Wurzel kein Schmelz mehr vorhanden ist.



Abb. 10 Querschnitt durch den inneren Schneidezahn I_1 (401) vom rechten Unterkiefer des 13-jährigen Pferdes. Der Schnitt liegt 20mm unter der Kaufläche und zeigt eine dreieckige Form. Giemsa-Färbung. **a** Zahnfleisch labial; **b** Zahnfleisch lingual; **c-f** Knochen der Mandibula: **c** kompakter Teil, **d** Spongiosa, **e** radiäre Knochenbälkchen angrenzend an das Periodontium, **f** längliche Bälkchen; **g** Periodontium; **h** Pulpahöhle; **i** Dentin; **k** Schmelz (hell); **l** peripherer Zement; **m** Grenze zwischen Dentin und Zement (gepunktete Linie). *Transverse section of the inner Incisor I_1 (401) of the right mandible of the 13-years-old horse. The section lies 20mm under the occlusal surface and shows a triangular form. Giemsa-stain. a gingiva labial; b gingiva lingual; c-f mandibular bone: c its compact part, d spongiosa, e radial oriented lamellae, adjacent to the periodontium, f lamellae, longitudinally arranged; g periodontium; h pulpa cavity; i dentin; k enamel (bright); l peripheral cement; m border between dentin and cement (dotted line).*

In der Umgebung der Zähne und auch der Schneidezähne konnte das Periodontium unter vollständigem Zusammenhang mit den Zähnen selbst und seiner unveränderten Umgebung der Kiefer dargestellt werden. Nach den eigenen Befunden war das Periodontium meist um 500 µm dick. Die Verbindung der Zähne mit ihrer Umgebung wurde mit einem Schwerpunkt des Periodontiums inklusive der Gingiva vor allem von Staszuk et al. (2015), Steinfart et al. (2019) sowie Adams et al. (2022) untersucht. Ihre detaillierten histologisch-histochemischen Untersuchungen geschahen vor allem im Zusammenhang mit den Erkrankungen der Equinen Odontoklastischen Zahnresorption und Hyperzementosis (EOTRH).

Die Befunde zum Periodontium der vorliegenden Arbeit zeigten, dass die Faserbündel des Periodontium besonders deutlich mit der Toluidinblau-Färbung zu erkennen waren. Das gilt sowohl für die Schneidezähne als auch für die in Teil 2 zu besprechenden Backenzähne. Es zeigte sich jeweils, dass die schräg gegen apikal ziehenden Sharpey'schen Fasern vor allem coronal in Nähe des Zahnfleisches sichtbar waren (Abb. 7). Im übrigen verlief der Großteil der Faserbündel zirkulär um den Zahn. Die Masse dieser Fasern sowie besonders die in den Zement einstrahlenden apikal gerichteten Fasern des Periodontiums geben dem Zahn genügend Halt, damit er bei Belastung durch den Kaudruck nicht in die Tiefe des Zahnfaches sinkt.

Der Kieferknochen hatte angrenzend an das Periodontium in der Regel sehr dünne Knochenlamellen (Abb. 2–3; 9–10), die oft nur um 200 µm dick waren. Auch hier stellt sich die Frage, ob diese dünnen Knochenlamellen dem angrenzenden Zahn genügend Halt geben können, und ob sie allenfalls auch von Osteoklasten abgebaut werden.

Der meist lockere Aufbau des Kieferknochens, dessen Spongiosa gegen apikal zunimmt, sowie das Bindegewebe des Periodontiums, aus dem auch Osteoklasten hervorgehen können, sind ein Hinweis dafür, dass es bei älteren Pferden oft zur Lockerung der Schneidezähne kommt.

Kurzfassung der Dissertation von E. Zoller-Schiesser, Zürich 2020

Literatur

- Albers L., Bienert-Zeit A., Staszuk C. (2022) Equine Incisor lesions: Histologic confirmation of radiographic, macroscopic and micro-computed tomographic findings. *Vet. Sci.* 9, 348–364; DOI 10.3390/vetsci9070348
- Baker G. J., Easley J. (2005) Equine dentistry. 2. Auflage, Verlag Elsevier Saunders, Philadelphia
- Baker G. J., Easley J. (2007) Zahnheilkunde in der Pferdepraxis. 2. Auflage, Verlag Elsevier, Urban und Fischer, München
- Borkent D., Reardon R. J. M., McLachlan G., Glendinning L., Dixon P. M. (2020 a) A microbiome analysis of equine peripheral dental caries using next generation sequencing. *Equine Vet. J.* 52, 67–75; DOI 10.1111/evj.13126
- Borkent D., Smith S., Dixon P. M. (2020 b) A histological and ultrastructural study of equine peripheral caries. *Equine Vet. J.* 52, 104–111; DOI 10.1111/evj.13134
- Dixon P. M., Tremaine W. H., Pickles K., Kuhns L., Hawe C., Mc Cann J., McGorum B., Railton D. I., Brammer S. (1999 a) Equine Dental Disease Part 1: A longterm study of 400 cases: Disorders of incisor, canine and first premolar teeth. *Equine Vet. J.* 31, 369–377; DOI 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03835.x
- Dixon P. M., Tremaine W. H., Pickles K., Kuhns L., Hawe C., Mc Cann J., McGorum B., Railton D. I., Brammer S. (1999 b) Equine dental disease Part 2: a longterm study of 400 cases: disorders of development and eruption and variations in position of the cheek teeth. *Equine Vet. J.* 3, 519–528; DOI 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03862.x
- Dixon P. M., Du Toit N., Staszuk C. (2013) A fresh look at the anatomy and physiology of equine mastication. *Vet. Clin. Equine* 29, pp. 257–272; DOI 10.1016/j.cveq.2013.04.006
- Earley E. T., Barratt R. M., Galloway S. S. (2020) Equine dentistry and oral surgery. *Vet. Clin. Equine Pract.* 36.3, 1–689, Verlag Elsevier, Philadelphia
- Easley J., Dixon P., Schumacher J. (2011) Equine dentistry. 3. Auflage, Verlag Saunders Ltd., Philadelphia
- Ellenberger W., Baum H. (1943) Mundhöhle mit Zähnen und Schlundkopf. In Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. 18. Auflage, 369–394, Verlag Springer, Berlin, Heidelberg, New-York. Nachdruck Verlag Springer 1974
- Habermehl K. H. (1975) Altersbestimmung der Haus- und Labor-tiere. 2. Auflage, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
- Habermehl K. H. (1987) Zähne und Gebiss. In: Nickel, R., Schum-mer, A., Seiferle, E.: Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band II, 7. Auflage, 77–100, Verlag Paul Parey, Berlin, Hamburg
- König H. E., Liebich H. G. (2019) Anatomie der Haussäugetiere. Kapitel: Kopfdarm. 7. Auflage, S. 337–348, Verlag Thieme, Stuttgart
- Pollaris E., Staszuk C., Proost K., Boone M. N., Josipovic I., Pardon B., Vlaminck L. (2020) Occlusal fissures in equine cheek teeth: µCT and histological findings. *Vet. J.* 255, 105421; DOI 10.1016/j.tvjl.2019.105421
- Romeis B. (1989) Mikroskopische Technik. Verlag Urban und Schwarzenberg, München, Wien
- Rossgardt J., Heilen L. B., Büttner K., Dern-Wieloch J., Vogelsberg J., Staszuk C. (2022) The equine dental pulp: Histomorphometric analysis of the equine dental pulp in incisors and cheek teeth. *Vet. Sci.* 9, 261–274; DOI 10.3390/vetsci9060261
- Salomon F. V., Geyer H., Gille U. (2020) Anatomie für die Tiermedi-zin. Kapitel Zähne, 4. Auflage, 266–279, Verlag Thieme, Stuttgart. DOI 10.1055/b-007-168897
- Simhofer H., Griss R., Zetner K. (2008) The use of oral endoscopy for detection of cheek teeth abnormalities in 300 horses. *Vet. J.* 178, 396–404; DOI 10.1016/j.tvjl.2008.09.029
- Staszuk C., Suske A., Pöschke A. (2015) Equine dental and periodon-tal anatomy: A tutorial review. *Equine Vet. Educ.* 27, 474–481; DOI 10.1111/eve.12317
- Steinfart S., Röcken M., Vogelsberg J., Failing K., Staszuk C. (2019) The equine gingiva: a histological evaluation. *Front Vet Sci.* 6, 435; DOI 10.3389/fvets.2019.00435
- Sterkenburgh T., Schulz-Kornas E., Nowak M., Staszuk C. (2022) A. computerized simulation of the occlusal surface in equine cheek teeth. *Front. Vet. Sci.* 8, 789133; DOI 10.3389/fvets.2021.789133
- Turner C. M., Reisswig J., Manfredi J. M. (2021) Tooth elongation of maxillary second premolars and mandibular third molars and associated periodontal disease in horses: A retrospective study. *Vet. Dent.* 38, 126–130; DOI 10.1177/08987564211052684
- Triadan H. (1972) Tierzahnheilkunde: Zahnerhaltung (Füllungsthera-pie mit 'Composite materials' und Endodontie) bei Affen und Raub-tieren. *Schweiz. Arch. Tierheilk.* 114, 229–316
- Vogt C. (2011) Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. Verlag Schattauer, Stuttgart
- Wild P. (1995) Persönliche Mitteilung.
- Wissdorf H., Bartmann C. P., Staszuk C., Otto B., Gerhards H. (2010) Kapitel: Zähne und ihr Halteapparat. In: Wissdorf, H., Gerhards, H., Huskamp, H., Deegen, E.: Praxisorientierte Anatomie und Pro-pädeutik des Pferdes. 3. Auflage, Verlag M. & H. Schaper, Han-nover, 156–189
- Zoller-Schiesser E. (2020) Mikroskopische Untersuchung der Pferde-zähne und ihrer Umgebung. Diss. Med. Vet. Zürich