

Darstellung altersabhängiger Veränderungen der Zahnpulpen ausgewählter Oberkieferbackenzähne des Pferdes mittels Magnetresonanztomographie

Nora Illenberger, Walter Brehm, Eberhard Ludewig* und Kerstin Gerlach

Chirurgische Tierklinik und Klinik für Kleintiere*, Universität Leipzig

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Beschreibung altersabhängiger Veränderungen der Zahnpulpa ausgewählter Oberkieferbackenzähne von Pferden mittels Magnetresonanztomographie (MRT). Für die Studie wurden magnetresonanztomographische Untersuchungen der Köpfe von insgesamt 28 Pferden unterschiedlichen Alters ausgewertet. Im Fokus der Untersuchung standen das altersabhängige Auftreten einer gemeinsamen Pulpahöhle sowie Größe und Formen der Pulpaäste. Eine gemeinsame Pulpahöhle zeigte sich bei den bis zu dreijährigen Zähnen zu 100 %, bei den 3,5 bis sechsjährigen noch zu 24,5 %. Bei älteren Zähnen konnte keine gemeinsame Pulpahöhle mehr nachgewiesen werden. Die Pulpaäste kommunizieren mit unterschiedlicher Häufigkeit untereinander. Am häufigsten traten Kommunikationen der Pulpaäste 3 und 5 (26,8 %) sowie 1 und 3 (25,4 %) auf, gefolgt von isolierten, nicht kommunizierenden Pulpaästen (18,8 %). Die unterschiedlichen Ausprägungen der Pulpenverbindungen treten dabei signifikant seitensymmetrisch bei den gleichen Zähnen auf (67,2 %). Es besteht eine negative Korrelation zwischen dem Alter und der Ausdehnung der Zahnpulpa ($p < 0,0001$). Die Zahnpulpen des Pferdes sind im MRT sehr gut darstellbar. Sie unterliegen starken altersabhängigen Veränderungen und sind individuell unterschiedlich ausgeprägt. Die Daten dienen als Grundlage für die Beurteilung pathologisch veränderter Pulpen der Backenzähne des Pferdes.

Schlüsselwörter: MRT / Kopf / Pferd / Zähne / Pulpen / bildgebende Diagnostik / Zahnheilkunde

Presentation of age-related changes of the pulp horns in equine upper cheek teeth by MRI

The aim of this study to describe age-related changes of the pulp horns in equine upper cheek teeth 07-10 using magnetic resonance tomography (MRI). MRI-pictures of 28 horse skulls of different ages were evaluated retrospectively. The teeth were examined regarding the age-related existence of the common pulp chamber and the size and shape of the pulp horns. 100% of the three year old and younger teeth showed a common pulp chamber in contrast to the group of 3.5-6 year-old teeth where this was only 24.5%. No older tooth showed a common pulp chamber. The pulp horns communicate in different variations. Most frequently shown was the communication between pulp horns 3 and 5 (26.8%) as well as 1 and 3 (25.4%), followed by isolated, non-communicating pulp horns (18.8%). The different connections between the pulp horns are significant symmetrical in the same teeth of both sides of the skull (67.2 %). There is a negative correlation between the age of the tooth and the size of the pulp ($p < 0,0001$). The pulp of equine cheek teeth can be visualised clearly using MRI. They show distinct age-related changes and individual different manifestations. The information given from this study should be used as a basis for assessing pathological changes in the pulps of equine cheek teeth.

Keywords: MRI / head / horse / teeth / pulps / diagnostic imaging / dentistry

Einleitung

Als Pulpa wird alles Weichgewebe bezeichnet, welches die von den Hartsubstanzen gebildeten Pulpahöhlen im Zahn ausfüllt. Die Blutgefäße, Nerven und undifferenzierten Bindegewebszellen sind in ein Bindegewebs skelett eingebettet. Über das Foramen apicale steht die Pulpa mit dem parodontalen Bindegewebe in Verbindung (Dixon et al. 2007a). Die Oberkieferbackenzähne 07 bis 10 (P 3 bis M2) der Pferde besitzen je fünf, die 06er je sechs und die 11er je sechs bis sieben solcher Pulpaäste (Dixon et al. 2007a, Dixon et al. 2007b).

Die Größe der Pulpahöhlen unterliegt beim Pferd starken altersabhängigen Veränderungen. Durch den kontinuierlichen Abrieb an der Kaufläche muss im Bereich der Pulpaäste über einen langen Zeitraum an deren okklusalem Ende Sekundärdentin angelagert werden, um ihre Freilegung zu verhindern (Dacre et al. 2008a). Sekundärdentin wird jedoch nicht nur am okklusalen Ende der Pulpenhörner angelagert, sondern langsam aber stetig auch an allen Wänden der Pul-

pahöhlen. Dadurch wird mit zunehmendem Alter die Dentinschicht dicker und die Größe der Pulpa nimmt ab (Dixon 2007). Dies kann physiologisch erfolgen oder pathologische Ursachen aufweisen (Dacre 2007, Staszuk 2011) und wurde makroskopisch und histologisch nachgewiesen (Kopke et al. 2012, Dacre et al. 2008a, Staszuk 2011).

Die komplexe Anatomie der hypsodonten Pferde zähne, welche sich mit dem Alter zunehmend ändern, macht Untersuchungen zur Anatomie der Pulpa notwendig. Beim Menschen konnten beispielsweise Unterschiede der Signalintensitäten im MRT in verschiedenen Altersgruppen festgestellt werden (Kress et al. 2007).

In den letzten Jahren hat sich die MRT-Untersuchung für Pferde zähne etabliert. So konnte gezeigt werden, dass die Pulpa des Pferdes selektiv zur diagnostischen Beurteilung mittels MRT dargestellt werden kann (Gerlach et al. 2011). Allerdings existieren erst wenige Referenzdaten zur Beurteilung von Pulpaästen im MRT.

Ziel der vorliegenden Studie war deshalb die Darstellung altersabhängiger Merkmale der Pulpaäste der zentralen Oberkieferbackenzähne des Pferdes mittels Magnetresonanztomographie.

Tiere und Methoden

Für die Studie wurden retrospektiv magnetresonanztomographische Untersuchungen von 28 Pferdeköpfen ausgewertet. Die Tiere waren Patienten der Klinik für Pferde der Ludwig-Maximilians-Universität München der Jahre 2006-2008 und der Chirurgischen Tierklinik der Universität Leipzig der Jahre 2004-2010. Die Untersuchungen wurden entweder aus medizinischen Gründen durchgeführt oder die Köpfe wurden unmittelbar nach Euthanasie abgesetzt und sofort post mortem untersucht.

Im Patientengut waren 16 Wallache, fünf Hengste und sieben Stuten vertreten. Das Alter der Tiere reichte von drei bis 22 Jahren (Mittelwert 9,8 Jahre). Es wurden 20 Warmblüter, drei Haflinger, zwei Norweger, zwei Deutsche Reitponies und ein Quarter Horse untersucht. Die Pferde wiesen einen klinisch gesunden Zahnstatus auf. Die MRT-Datensätze mussten dorsale Schnitte in T2w sowie transversale Schnitte mindestens in T1w oder T2w beinhalten, wobei die Oberkieferbackenzähne mit Ausnahme der Zähne 06 und 11 vollständig abgebildet sein mussten.

Die für die Untersuchung eingesetzten Magnetresonanztomographen waren ein Siemens Magnetom Symphony (1,5 Tesla) mit Wirbelsäulen- und Kniespule (Universität München), wobei die Allgemeinanästhesie hier als Inhalationsnarkose durchgeführt wurde. Weiterhin wurde ein Philips Gyroscan (0,5 Tesla) mit der Körperspule eingesetzt (Universität Leipzig). Die Narkose erfolgte hier ausschließlich als Injektionsnarkose mit Triple Drip-Infusion. Die Parameter variierten mit einem Field of View zwischen 200 und 400 mm, einer Schichtdicke zwischen 0,6 und 5,0 mm, und einer Schichtlücke zwischen 0,5 und 1 mm. Die Nummerierung der Zähne erfolgte hierfür nach dem von Floyd (1991) modifizierten Triadan-System und die der Pulpaäste nach Du Toit et al (2008).

Da jeder Zahn eines Pferdes ein unterschiedliches Alter aufweist, wurde das funktionelle Zahnalter jedes Zahnes nach *Wissdorf et al. (2002)* berechnet. Dabei wurde für die 09er das Alter bei Eruption auf ein Jahr gerundet (6-9 Monate bis ein Jahr) und für die 10er das zeitigste Eruptionsalter angenommen (2-2,5 Jahre). In Abhängigkeit des jeweiligen Zahnalters wurde auf das Vorhandensein einer gemeinsamen Pulpaöhle, der Kommunikationsformen der einzelnen Pulpen sowie der altersabhängigen Verkleinerung der Pulpen getestet. Bei dem Vorhandensein einer gemeinsamen Pulpaöhle wurde davon ausgegangen, dass alle Pulpaäste miteinander in Verbindung stehen.

Die Vermessung der Pulpaäste erfolgte auf mittlerer Höhe des Zahnes. Dazu wurde eine Längenmessung des jeweiligen Zahnes durchgeführt. Mehrere Schnittebenen wurden kombiniert und mithilfe des 3D-Cursors übertragen. Die Längenmessungen in dieser Studie wurden aufgrund starker Schwankungen nur als Hilfswert zur Ermittlung der endgültigen Messenebene verwendet. Danach wurden die Durchmesser der

meist ovalen Pulpaäste (PA) 1 bis PA 5 ermittelt (Abb. 1). Diese Messungen erfolgte alle durch die gleiche Person (N.I.) und wurden dreimal hintereinander durchgeführt, um Messfehler zu minimieren.

Die Messung erfolgte mit dem Programm eFilm der Firma Merge Healthcare (Chicago, Illinois). Die statistische Auswertung wurde mit dem Statistikprogramm PASW 18 (IBM SPSS, Ehningen) und Microsoft Office Excel 2003 (Microsoft, Redmont) durchgeführt. Die Daten wurden auf Normalverteilung mittels Shapiro-Wilk-Test geprüft. Für die Messungen der gemeinsamen Pulpaöhle wurden für die deskriptive Statistik absolute und relative Häufigkeiten des Vorhandenseins einer gemeinsamen Pulpaöhle bestimmt. Zur Absicherung der

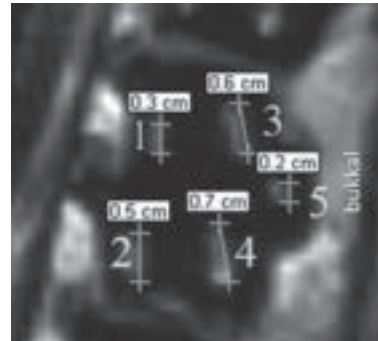


Abb. 1 MRT-Darstellung eines rechten Oberkieferbackenzahnes (109) in T2w. Die Messstrecken zur Vermessung der einzelnen Pulpaäste sind eingezeichnet und nummeriert.
MRI of a right upper cheek tooth (109) in T2w. The measurements of the pulp horns are specified and numbered.

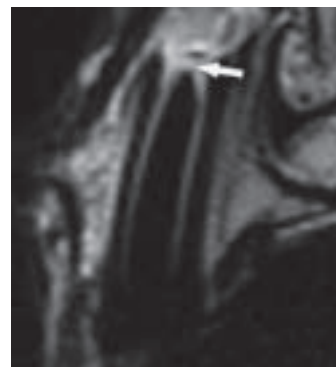


Abb. 2 MRT Abbildung eines rechten 2,5 Jahre alten Oberkieferbackenzahnes 108 im Transversalschnitt in T2w. Die in die gemeinsame Pulpaöhle (Pfeil) mündenden Pulpaäste sind gut erkennbar und signalreich.
MRI of a transverse section of a right upper cheek tooth in T2w. All pulp horns discharging into the common pulp chamber (arrow) are distinctly visible and show a high signal.

Kommunikationshäufigkeit der Pulpaäste wurde der Chi-Quadrat-Test verwendet. Für die Bestimmung der Größenveränderung der Pulpaäste in Abhängigkeit vom Alter wurden die Dreifachmessungen mittels Berechnung der relativen Variationskoeffizienten für die Genauigkeit der Einzelmessungen überprüft, danach erfolgte die Ermittlung der Mittelwerte und Standardfehler. Der Zusammenhang zwischen Alter des Zahnes und Größe der Pulpaäste wurde durch den Korrelationskoeffizienten nach Pearson sowie die Lineare Regressionsfunktion bestimmt. Das Signifikanzniveau lag bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit $p < 0,0001$.

Ergebnisse

Vorhandensein einer gemeinsamen Pulpahöhle

Bei 100 % der Pferde Zähne, die drei Jahre oder jünger sind, ist eine gemeinsame Pulpahöhle vorhanden. Dies entspricht einem realen Alter des Pferdes von ungefähr 6,5 Jahren anhand des jüngsten Zahnes 08 (P4). In der Altersgruppe der 3,5 bis sechs Jahre alten Zähne konnte noch bei 24,5 % der Zähne eine gemeinsame Pulpahöhle nachgewiesen werden. Das tatsächliche Alter des Tieres beträgt damit in dieser Gruppe maximal ca. 9,5 Jahre. Ab einem Alter der Zähne von über sechs Jahren, bzw. einem Alter des Pferdes von über zehn Jahren konnte in keinem Fall noch eine gemeinsame Pulpahöhle dargestellt werden ($p = 0,0001$) (Abb. 2).

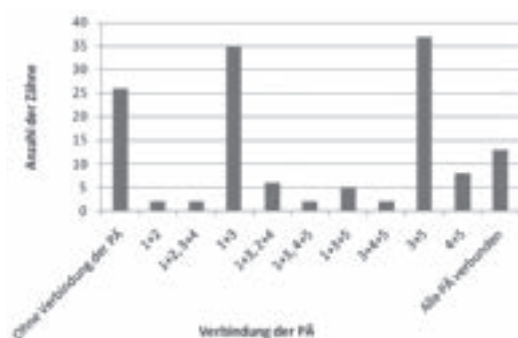


Abb. 3 Darstellung der unterschiedlichen Varianten der Kommunikation der Pulpaäste von Pferden bis zu einem Alter von drei Jahren. Die Pulpaäste sind von 1-5 nummeriert. PÄ = Pulpaäste
Depiction of the different options of communication between the pulp horns of teeth older than three years. Pulps are numbered from 1-5. PÄ = pulp horns

Kommunikation der einzelnen Pulpaäste untereinander

Bei dem Vorhandensein einer gemeinsamen Pulpahöhle wurde davon ausgegangen, dass alle Pulpaäste miteinander in Verbindung stehen. Da dies bei Zähnen eines Alters von drei Jahren oder weniger zu 100 % der Fall war, wurden sie in diesem Teil der Studie nicht berücksichtigt. Bei zwei Pferden waren ausschließlich drei Jahre alte oder jüngere Zähne vorhanden, somit standen 138 Zähne von 26 Tieren zur Verfügung. Die Pulpaäste zeigten unterschiedliche Verbindungen untereinander. Diese unterlagen verschiedenen starken individuellen Schwankungen. Es konnten mehrere verschiedene Verbindungen der Pulpaäste beobachtet werden, die mit unterschiedlicher Häufigkeit auftraten (Abb. 3).

Die beiden Kommunikationsvarianten PA 1 und 3 und PA 3 und 5 (Abb. 4) sowie Pulpen ohne Verbindung untereinander traten signifikant häufiger auf ($p < 0,05$). Von den 26 in diesen Teil der Studie einbezogenen Pferden waren bei drei Tieren keine Bilder von seitengleichen Zahnpaaren vorhanden oder beurteilbar. Somit wurden die Datensätze von 23 Pferden ausgewertet. Insgesamt konnten innerhalb dieser 23 Tiere 58 Zahnpaare ausgewertet werden, d.h. 116 Zähne waren jeweils beidseits vorhanden und ausreichend abgebildet. Bei elf Pferden zeigten sich die Verbindungen der Pulpaäste untereinander in allen Zahnpaaren symmetrisch, also rechts-links identisch, bei acht Tieren war jeweils ein Zahnpaar nicht seitengleich, bei zwei Pferden waren je zwei Paare ungleich und bei jeweils einem Pferd waren drei, bzw. alle vier Zahnpaare

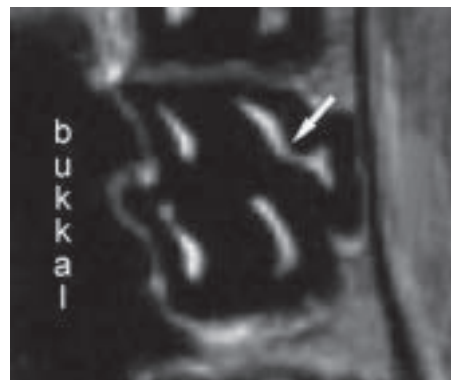


Abb. 4 MRT-Darstellung eines rechten Oberkieferbackenzahnes (09) in T2w. Die Pulpaäste 3 und 5 sind über eine schmale Pulpa-brücke miteinander verbunden (Pfeil).
MRI section of a right upper cheek tooth in T2w. Pulp horns 3 and 5 are communicating (arrow).

nicht rechts-links identisch verbunden. Signifikant mehr Zahnpaare weisen eine Seitensymmetrie auf. Die Verbindungen der Pulpaäste untereinander treten mit einer Häufung von 67,2 % seitensymmetrisch auf.

Bis zu einem Zahnalter von inklusive acht Jahren zeigten sich bis zu fünf verschiedene Verbindungsmöglichkeiten der Pulpaäste, die Variante „keine Pulpaäste verbunden“ ausgenommen. In den folgenden Jahren bis zum Alter des Zahnes von einschließlich 12,5 Jahren sind nur noch maximal drei verschiedene Verbindungen vorhanden, ab diesem Alter des Zahnes nur noch die Verbindung 3 und 5.

Die Variante 1 und 3 kommt mit 83 % gehäuft bei Zähnen in einem Alter von bis zu zehn Jahren vor, 20 % dieser Verbindungen

Tab.1 Formeln zur Berechnung Regressionskurven der Größe des jeweiligen Pulpaastes in der Mitte des Backenzähne (07 bis 10) in Abhängigkeit vom Alter des Zahnes von Großpferden / *Formula for calculation of regression curves of size of the pulp horn in the centre of the respective molar depending on tooth age of the equine upper cheek teeth in warmblood sized horses.*

Pulpaast	Kurve	Korrelationskoeffizient
Pulpaast 1	$Y = -0,033x + 0,68$	$R = -0,53$
Pulpaast 2	$Y = -0,03x + 0,69$	$R = -0,57$
Pulpaast 3	$Y = -0,045x + 0,88$	$R = -0,61$
Pulpaast 4	$Y = -0,052x + 1,05$	$R = -0,65$
Pulpaast 5	$Y = -0,018x + 0,45$	$R = -0,48$
Pulpaäste 1-4	$Y = -0,0401x + 0,824$	$R = -0,702$

Y = Pulpaast in mm, x = Alter des Zahnes in Jahren

dung wiederum in dem Abschnitt bis 5,5 Jahre. In dem Altersabschnitt von zehn bis zu einschließlich 12,5 Jahren finden sich die restlichen 11 % dieser Verbindungsmöglichkeit.

In der Altersgruppe der 13,5 Jahre alten und älteren Zähne weisen elf der 14 ausgewerteten Zähne die Verbindung der Pulpaäste 3 und 5, die anderen 3 Zähne keine Verbindung mehr auf. Eine andere Verbindung der Pulpaäste findet sich ab diesem Alter des Zahnes nicht mehr.

Größenveränderungen der Pulpaäste

Für die einzelnen Pulpaäste wurde die jeweils durchschnittliche Verkleinerung der Größe in der Messebene Mitte des Zahnes in Tab. 1 angegeben. Eine gemeinsame Darstellung

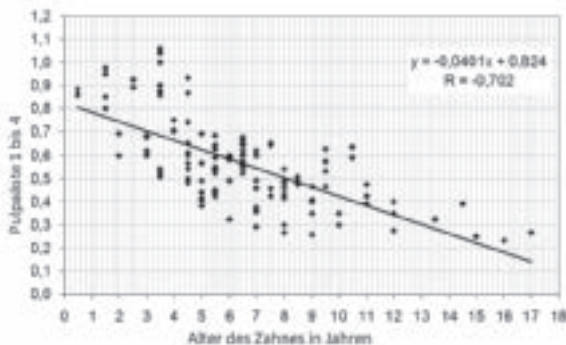


Abb. 5 Streudiagramm der mittleren Durchmesser der Pulpaäste 1-4 von 127 Zähnen von Großpferden. in Abhängigkeit vom Zahnalter. Der Durchmesser der Pulpaäste wurde auf mittlere Höhe der Zähne gemessen.

Scatterplot of the age-related middle cross-section dimension of the pulp horns 1-4 of 127 teeth of horses in the mid-tooth section of an upper cheek tooth.

der Größenabnahme mehrerer Pulpaäste ist in Abb. 5 dargestellt. Es werden die mittleren Durchmesser der Pulpaäste 1-4 von Großpferden abhängig vom Zahnalter abgebildet. Pulpa 5 wurde nicht mit einbezogen, daß die Streuung größer ist. Das bedeutet, dass bei einem fünf Jahre alten Zahn durchschnittlich eine Pulpagröße von ca. 6 mm auf halber Höhe des Zahnes zu erwarten ist. Sie liegt dann bei einem Alter von zehn Jahren bei 4 mm und bei einem 15 Jahre alten Zahn bei ca. 2 mm. Die genauen Werte für jeden Pulpaast und jedes Alter können anhand Tab. 1 errechnet werden.

Diskussion

Die Abbildung der physiologischen Zustände bei altersabhängigen Veränderungen der Pulpen von Pferde Zähnen gelingt mittels MRT sehr gut. Anhand von Messungen der Pulpen, gegliedert nach dem Alter des Zahnes, sind altersabhängige Veränderungen darstellbar.

Die Pulpa gehört neben der gemeinsamen Pulpahöhle und dem Wurzelkanal zum endodontischen System eines Zahnes (Kirkland et al. 1996, Gasse et al. 2004). Da die zentralen Zähne 07-10 das gleiche morphologische Bauprinzip hinsichtlich der Pulpenformationen aufweisen, wurden nur diese Backenzähne für die Studie ausgewählt (Windley et al. 2009).

Die letzten und ersten Oberkieferbackenzähne weisen eine abweichende Anatomie auf (Dixon 2002) und wurden deshalb hier nicht berücksichtigt. Da weiterhin die Positionierung des Kopfes für die MRT-Untersuchung sowie die Auswahl der Platzierung der Ebenen meist für eine Übersicht über alle Zähne optimiert wird, konnte nicht jeder Zahn im für ihn optimalen Winkel dargestellt werden. Backenzähne sind innerhalb eines Schädels nicht alle im exakt identischen Winkel ausgerichtet (Dixon 2007, Thome 1999), so dass hauptsächlich die kaudalen Zähne nicht im optimalen Winkel zur Schnittebene getroffen waren (Gerlach et al. 2011). Insbesondere bei Kleinpferden, Ponies und Miniaturpferden verlaufen die Backenzahnreihen nicht ganz horizontal (Baker 2007), sondern besitzen eine besonders stark ausgeprägte Curve of Spee. Eine Ausrichtung des Darstellungsbereiches für jeden einzelnen Zahn könnte dieses Problem umgehen, allerdings würde dies die Untersuchungszeit extrem verlängern. Eine derart lange Allgemeinanästhesie erhöht die Gefahr von Komplikationen (Richey et al. 1990, Bidwell et al. 2007). Das Narkoserisiko ist insbesondere zu diagnostischen Zwecken zu minimieren, postanästhetische Koliken oder Myopathien sind, tlw. in Abhängigkeit von den eingesetzten Medikamenten, nach Allgemeinanästhesien für MRT-Untersuchungen beschrieben (Anderson et al. 2006, Franci et al. 2006).

Für die vorliegende Studie wurde jeweils das jüngste in der Literatur angegebene Alter für die Eruption der permanenten Zähne angenommen (Wissdorf et al. 2002). Möglich sind jedoch Schwankungen um bis zu einem halben Jahr. Zeitspannen konnten in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden, so dass Abweichungen des tatsächlichen Alters des Zahnes, besonders der molaren Backenzähne möglich sind. Die Länge der Backenzähne schwankt in den ersten fünf Jahren individuell von Zahn zu Zahn, was durch die Geschwindigkeit des Zahnabriebs genauso beeinflusst wird wie durch das Wurzelwachstum (Baker 2007). Auch die unebene Okklusalfäche der Zähne sowie die unterschiedliche Länge der drei Backenzahnwurzeln erschweren die Längenermittlung am Zahn. Mittels der verwendeten Schnittbildtechnik kann nicht mit Sicherheit davon ausgegangen werden, dass je ein Schnitt durch den kürzesten oder längsten Teil des Zahnes dargestellt wurde. Daher wurde die Länge des Zahnes in dieser Arbeit nur als Hilfestellung ermittelt, um die eigentliche Messebene zu bestimmen und in keine Auswertung mit einbezogen.

Aufgrund unterschiedlicher diagnostischer Fragestellungen variierten die gewählten Sequenzparameter. Besonders deutlich waren Unterschiede bei der Ortsauflösung entlang der z-Achse. Diese ergeben sich aus den Differenzen der verwendeten Schichtdicken. Die mit dem Hochfeldsystem erzeugten Aufnahmen weisen im Vergleich zu den Aufnahmen mit den Niederfeldsystem bei gleicher Schichtdicke ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis auf. Prinzipiell ist damit die Detailerkennbarkeit besser. Da allerdings der Objektkontrast groß ist (Weichteilgewebe der Pulpen vs. Zahnhartsubstanz), konnten auch Bilder mit unterschiedlicher Ortsauflösung hinreichend genau bewertet werden.

Für die Abbildung der Pulpen im MRT-Bild haben sich in vergleichenden Studien zur Darstellbarkeit verschiedener zahnnahe Gewebe beim Menschen die T1w- und T2w-TSE-Sequenzen als geeignet erwiesen (Gahleitner et al. 1998). Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns wurden für diese

Arbeit zur Messung T2w-TSE oder fettunterdrückte Sequenzen, falls vorhanden, ausgewertet.

Eine gemeinsame Pulpahöhle trat bei den mittleren Oberkieferbackenzähnen bis zu einem Alter des Zahnes von drei Jahren, was einem Alter des Pferdes von maximal 6,5 Jahren entspricht, immer auf. Bis zu einem Alter des Zahnes von sechs Jahren, was maximal 9,5 Lebensjahren des Pferdes entspricht, konnten noch vereinzelt gemeinsame Pulpahöhlen festgestellt werden. Allerdings liegt die Wahrscheinlichkeit nur noch bei 14,3%. Das Auftreten gemeinsamer Pulpahöhlen bis zu einem Alter des Zahnes von sechs Jahren wird auch von anderen Autoren angegeben (Staszuk 2011). Computertomographisch wurden bei allen Oberkieferbackenzähnen bis zu einem Alter des Zahnes von zwei Jahren gemeinsame Pulpahöhlen gefunden, und bis zu neun Jahren traten teilweise noch gemeinsame Pulpahöhlen auf. Ab einem Alter des Zahnes von 9,5 Jahren konnte dies, in Übereinstimmung mit den eigenen Betrachtungen, in keinem Fall mehr beobachtet werden (Kopke et al. 2012). Geringe Unterschiede in den Angaben können schon durch Unterschiede in den Eruptionszeitpunkten der Zähne begründet sein.

Nach der Aufteilung der gemeinsamen Pulpahöhle bilden sich individuell verschiedene Verbindungen der Pulpaäste heraus (Kopke et al. 2012, Staszuk 2011, Dacre et al. 2008a). Dabei besteht eine Seitensymmetrie hinsichtlich der Pulpenkonfiguration bei 90 % der untersuchten Zähne (Windley et al. 2009) bzw. bei 67,2 % der eigenen untersuchten Zähne. Bestimmte Verbindungen der Pulpaäste kommen dabei häufiger vor als andere. Die Verbindung der Pulpaäste 3 und 5 dominierte in der vorliegenden Arbeit mit 26,8 %, dicht gefolgt von der Verbindung der Pulpaäste 1 und 3 mit 25,4 %. Die häufige Kommunikation der Pulpaäste 3 und 5 wird auch von anderen Autoren bestätigt (Dacre et al. 2008a). Oft folgen die Pulpaäste dem Verteilungsprinzip auf die drei Wurzeln: PA 3 und PA 5 verlaufen gemeinsam in den distalen Anteil der palatinalen Wurzel, PA 4 mündet in den mesialen Teil der palatinalen Wurzel, PA 1 in die bukkomesiale Wurzel, PA 2 in die bukkodistale Wurzel (Staszuk 2011). Kopke et al. (2012) fassen die funktionelle Kombination aus Pulpa- und Wurzelkanal als Pulpakompartiment zusammen und teilen diese in vier Kategorien ein. Kategorie 1 beinhaltet Zähne mit einem einzigen Kompartiment, d. h. alle Pulpa- und alle Wurzeläste münden in eine gemeinsame PH, bei Kategorie 2 treten zwei Pulpakompartimente auf, bei Kategorie 3 drei, bei Kategorie 4 vier solche. Möglich ist auch dieselbe Anzahl Pulpakompartimente mit unterschiedlichen Verbindungen der einzelnen Äste, dies wird als Konfiguration bezeichnet. Bis zu einem Alter des Zahnes von 2,5 Jahren zeigen die Oberkieferbackenzähne 07-10 Kategorie 1, von 3-9 Jahren sind alle vier Kategorien vertreten, von 9,5-16 Jahren sind Kategorien 2, 3 und 4 nachweisbar und bei einem Alter des Zahnes von über 20 Jahren nur noch Kategorie 3 und 4. Die verschiedenen beobachteten Konfigurationen konnten keinem System untergeordnet werden, die Konfiguration ist nahezu unvorhersagbar (Kopke et al. 2012). Einzige Konstante war die Begleitung von PA 3 entweder mit PA 1 und/oder mit PA 5.

Konkrete Aussagen zu altersabhängigen Veränderungen dieser Verbindungen können aus den eigenen Untersuchungen nicht getroffen werden. Dazu hätten jeweils dieselben Pferde zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht werden müssen.

Da sich aber bis zu einem Alter des Zahnes von acht Jahren noch fünf verschiedene Verbindungen und später deutlich weniger darstellen, ist tendenziell eine Abnahme der Verbindungen vorhanden, was auch in anderen Studien bestätigt wird (Windley et al. 2009). Die Erklärung hierfür ist die Anlagerung von Sekundärdentin mit fortschreitendem Alter der Zähne in der Peripherie der Pulpahöhle (Kirkland et al. 1996; Gasse et al. 2004, Dacre et al. 2008a), wodurch es zu einer räumlichen Einengung kommt.

Altersabhängige Größenveränderungen von Pulpaästen wurden histologisch nachgewiesen. Dabei sind die Triadan-Position des jeweiligen Zahnes, der Bereich der Messung am Zahn, dem lateralen oder medialen Bereich des Zahnes sowie das Alter des Zahnes entscheidend (Dacre et al. 2008a, Shaw et al. 2008).

Um die eigene Studie mit den Ergebnissen anderer Untersucher vergleichen zu können, wurden die Absolutwerte ungefähr gleich großer Pferde verwendet. Während bei Shaw et al. (2008) histologisch eine geringe Zunahme der Pulpendurchmesser in der Altersgruppe der 3,5- bis 7-jährigen Zähne festgestellt wurde, sinkt diese in den eigenen Untersuchungen kontinuierlich. Möglicherweise ist die Messung anhand von MRT-Bildern im Vergleich zu histologischen Messungen im Mikrometerbereich an dekalzifizierten Zähnen ursächlich für diese unterschiedliche Wahrnehmung.

Bei einem fünf Jahre alten Zahn ist im MRT-Bild eine Pulpagröße von ca. 0,6 mm zu erwarten. Sie liegt dann bei einem Alter von zehn Jahren bei 0,4 mm und bei einem 15 Jahre alten Zahn bei ca. 0,2 mm. Allerdings gilt dies nur für die Mitte eines Zahnes, da die Pulpen konisch geformt sind und zur Kaufläche hin dünner werden. Im Vergleich von histologischen Messungen in mittlerer Höhe des Zahnes zu subokklusalen Schnitten zeigte sich eine deutliche Größenabnahme des Durchmessers der einzelnen Pulpaäste in Richtung der Kaufläche (Shaw et al. 2008). Weiterhin ist zu beachten, dass die die Zähne eines Pferdes unterschiedlich alt sind. Je älter das Pferd wird, desto mehr nähern sich subjektiv die Pulpengrößen einander an. Bei MRT (Gerlach et al. 2011) und histologischen Untersuchungen (Gasse et al. 2004) war auch bei sehr alten Zähnen immer noch eine Pulpa nachweisbar. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Zähne aufgrund ihres Alters unterschiedlich lang sind und dadurch unterschiedlich tief in der Alveole stecken. Der Mittelpunkt dieser Zähne befindet sich also immer auf einer anderen Höhe, geschnitten werden sie aber im MRT allgemein auf dem gleichen Niveau.

Der Zahn schiebt beständig mit einer Geschwindigkeit von ca. 2-4 mm pro Jahr aus der Alveole (Dixon 2007, Wissdorf et al. 2002). Gleichzeitig erfolgt der Abrieb der Kauflächen. In den ersten zwei Jahren nach der Eruption wächst verlängert sich die Zahnkrone schneller, als sie an Substanz verliert. Erst drei Jahre nach Eruption verliert der Zahn insgesamt an Länge (Baker 2007). Die ersten fünf Jahre nach der Eruption wird der Zahn insgesamt ohne Ausbildung einer typischen Zahnwurzel durch die Anlagerung von allen drei Zahnhartsubstanzen verlängert. Das eigentliche Wurzelwachstum beginnt dagegen mit einem Zahnalter von ca. sechs Jahren und setzt sich bis zu einem Zahnalter von 15 Jahren durch die Anlagerung von Dentin und Zement fort (Staszuk 2011). All diese Faktoren beeinflussen das

Gesamtbild. Wichtig sind diese Werte jedoch bei klinischen Untersuchungen zur Einschätzung der Pulpengröße. Es treten bei Untersuchungen der Zähne im MRT immer wieder deutlich verkleinerte Pulpen oder nicht mehr nachweisbare Pulpen auf (Gerlach et al. 2012). Auch in dieser Studie konnte ein Anteil von 5,7 % nicht gemessen werden, da er nicht abgebildet oder deutlich kleiner war als die Umgebung. Die untersuchten Pferde zähne waren zum Zeitpunkt der Untersuchung als klinisch gesund definiert. Möglicherweise lagen hier bereits Erkrankungen vor, die klinisch noch nicht relevant waren bzw. mit momentanem Erkenntnisstand als physiologisch definiert werden. Der Pferde zahn kann durch Noxen an der Okklusalfäche des Zahnes Tertiärdentin ausbilden (Dacre et al. 2008d, Staszuk 2011). Physiologisch kommt reguläres und irreguläres Sekundärdentin in den Pulpaästen vor (Dacre et al. 2008a) und verengt diese mit zunehmendem Alter (Shaw et al. 2008). Diese Verengung kann lokal auch durch Pulpensteine erfolgen. Es handelt sich dabei um kugelförmige Hartschubstanzgebilde (Staszuk 2011). Sie wurden bei 10 % normaler Pferde zähne nachgewiesen (Dacre et al. 2008d), allerdings auch in einer signifikant erhöhten Anzahl in erkrankten Backenzähnen (Shaw et al. 2008). Fehlende Pulpen, also verschlossene Pulpaäste, werden meist chronischen Infektionen zugeordnet (Shaw et al. 2008). All diese Dentinformen können möglicherweise Ursache von nicht abbildbaren Pulpen sein, ohne dass sie im MRT momentan näher klassifiziert werden können (Gerlach et al. 2012).

Die durchgeführten Untersuchungen dienen als Grundlage für die Beschreibung unveränderter Pulpen in der Magnetresonanztomographie. Die Pulpen des Pferde zahn unterliegen starken altersabhängigen Veränderungen und sind individuell unterschiedlich ausgeprägt, was im MRT nachvollzogen werden kann. Die Dokumentation dieser Veränderungen bildet eine wichtige Grundlage für die Erkennung pathologisch veränderter Pulpen bei zukünftigen Untersuchungen im MRT.

Literatur

Andersen M. S., Clark L., Dyson S. J. und Newton J. R. (2006) Risk factors for colic in horses after general anaesthesia for MRI or nonabdominal surgery: absence of evidence of effect from peri-anaesthetic morphine. *Equine Vet. J.* 38, 368-374

Baker G. J. (2007) Abnormale Gebissabnutzung und paradontale Erkrankungen. In: Baker, G. J., Easley, J.: Zahnheilkunde in der Pferdepraxis. 2. Auflage. München, Jena: Urban und Fischer, 119-128

Bidwell L. A., Bramlage L. R. und Rood W. A. (2007) Equine perioperative fatalities associated with general anaesthesia at a private practice – a retrospective case series. *Vet. Anaesth. Analg.* 34, 23-30

Dacre I. T. (2007) Pathologie. In: Baker, G. J., Easley, J.: Zahnheilkunde in der Pferdepraxis. 2. Auflage. München, Jena: Urban und Fischer, 97-118

Dacre I. T., Kempson S. und Dixon P. M. (2008a) Pathological studies of cheek teeth apical infections in the horse: 1. Normal endodontic anatomy and dentinal structure of equine cheek teeth. *Vet. J.* 178, 311-320

Dacre I. T., Shaw D. J. und Dixon P. M. (2008b) Pathological studies of cheek teeth apical infections in the horse: 3. Quantitative measurements of dentine in apically infected cheek teeth. *Vet. J.* 178, 333-340

Dacre I. T., Kempson S. und Dixon P. M. (2008c) Pathological studies of cheek teeth apical infections in the horse: 4. Aetiopathological findings in 41 apically infected mandibular cheek teeth. *Vet. J.* 178, 341-351

Dacre I. T., Kempson S. und Dixon P. M. (2008d) Pathological studies of cheek teeth apical infections in the horse: 5. Aetiopathological findings in 57 apically infected maxillary cheek teeth and histological and ultrastructural findings. *Vet. J.*, 178, 352-363

Dixon P. M. (2002) The Gross, Histological, and Ultrastructural Anatomy of Equine Teeth and Their Relationship to Disease. *Proc. AAEP* 48, 04.-08.12.2002, Orlando, Florida, 421-437

Dixon P. M. (2007) Zahn-anatomie. In: Baker, G. J., Easley, J.: Zahnheilkunde in der Pferdepraxis. 2. Auflage. München, Jena: Urban und Fischer, 27-52

Du Toit N., Kempson S. A. und Dixon P. M. (2008) Donkey dental anatomy. Part 1: Gross and computed axial tomography examinations. *Vet. J.* 176, 338-44

Floyd M. R. (1991) The modified Triadan system: nomenclature for veterinary dentistry. *J. Vet. Dent.* 8, 18-19

Franci P., Leece E. A. und Brearley J. C. (2006) Post anaesthetic myopathy / neuropathy in horses undergoing magnetic resonance imaging compared to horses undergoing surgery. *Equine Vet. J.* 38, 497-501

Gahleitner A., Nasel C., Schick S., Bernhart T., Mailath G., Dorffner S., Watzek G., Imhof H. und Trattig S. (1998) Dental magnetic resonance tomography (dental MRI) as a method for imaging maxillo-mandibular tooth retention structures. *RöFo.* 69, 424-428

Gahleitner A., Solar P., Nasel C., Homolka P., Youssefzadeh S., Ertl L. und Schick S. (1999) Magnetic resonance tomography in dental radiology (dental MRI). *Radiologe* 39, 1044-1050

Gasse H., Westenberger E. und Staszuk C. (2004): The Endodontic System of the Equine cheek teeth: a re-examination of pulp horns and root canals in view of age-related physiological differences. *Pferdeheilkunde* 20, 13-18

Gerlach K., Brehm W., Gerhards H. und Ludewig E. (2011) Diagnostik von Erkrankungen der Backenzähne des Pferdes mittels Magnetresonanztomographie. *Pferdeheilkunde* 6, 711-718

Gerlach K., Ludewig E., Brehm W. und Delling U. (2012) Magnetic Resonance Imaging (MRI) evaluation of pulps in normal and diseased equine cheek teeth. DOI: 10.1111/j.1740-8261.2012.01971.x

Kirkland K. D., Baker G. J., Marretta S. M., Eurell J. A. C. und Losonsky J. M. (1996) Effect of ageing on the endodontic system, reserve crown and roots of equine mandibular cheek teeth. *Am. J. Vet. Res.* 57, 31-38

Kopke S., Angrisani N. und Staszuk C. (2012). Konfiguration der Pulparäume in equine Backenzähnen Proceedings IGFP-Kongress 03.-04. März 2012, Frankfurt, 43-49

Kress B., Buhl Y., Hähnel S., Eggers G., Sartor K. und Schmitter M. (2007) Age- and tooth-related pulp cavity signal intensity changes in healthy teeth: a comparative magnetic resonance imaging analysis. *Oral. Surg. Oral. Med. Oral. Pathol. Oral. Radiol. Endod.* 103, 134-137

Richey M. T., Holland M. S., McGrath C. J., Dodman N. H., Marshall D. B., Court M. H., Norman W. M. und Seeler D. C. (1990) Equine post-anesthetic lameness. A retrospective study. *Vet. Surg.* 19, 392-397

Staszuk C. (2011) Anatomie. In: Vogt, C. Lehrbuch der Zahnheilkunde beim Pferd. 1. Auflage. Stuttgart: Schattauer, 1-30

Thomè H. (1999) Verdauungsapparat. In: Nickel, R., Schummer, A., Seiferle, E. Hrsg. Frewein, J., Gasse, H., Leiser, R., Roos, H., Thomè, H., Vollmerhaus, B. und Waibl, H. Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band II. 8. Auflage. Berlin, Wien: Blackwell Wissenschafts-Verlag, 15-102

Westenberger E. (2002) Cavum dentis und Pulpa dentis mandibulärer und maxillärer Backenzähne bei Pferden verschiedenen Alters. Diss. Med. Vet. Hannover

Wissdorf, H., Bartmann, C. P., Otto, B. und Gerhards, H. (2002) Zähne. In: Wissdorf, H., Gerhards, H., Huskamp, B., Deegen, E.: Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. 2. Auflage. Alfeld-Hannover: Verlag M und H Schaper; 162-183

Windley Z., Weller R., Tremaine W. H. und Perkins J. D. (2009) Two- and three-dimensional computed tomographic anatomy of the enamel, infundibulae and pulp of 126 equine cheek teeth. Part 1: Findings in teeth without macroscopic occlusal or computed tomographic lesions. *Equine Vet. J.* 41, 433-440

Dr. Kerstin Gerlach
Chirurgische Tierklinik der Universität Leipzig
An den Tierkliniken 21
04103 Leipzig
gerlach@vetmed.uni-leipzig.de