

Aus dem Department für Kleintiere und Pferde
der Veterinärmedizinischen Universität Wien

Institut/Klinik für Pferdechirurgie
(Leiterin: Univ.-Prof. Dr.med.vet. Florien Jenner Dipl.ACVS Dipl.ECVS)

**Retrospektive Analyse von radiologischen
Aufhellungen im proximalen Fesselbein und deren
klinischer Relevanz**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Tabea Metzler

Wien, im Oktober 2021

Betreuerin:

Ao.Univ.-Profⁱⁿ Dipl.ACVS MR Dipl.ECVSMR Drⁱⁿ med.vet. Licka, Theresia

Gutachterin:

Ass.-Prof in Dr in med.vet. Hittmair, Katharina

Gewidmet,
in ewiger Liebe meinen verstorbenen
Großeltern, Hedwig & Walter Metzler und
Herbert Kohler

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....	1
2. LITERATURÜBERSICHT	3
2.1. Anatomie des Fesselbeins und des Fesselgelenks.....	3
2.2. Aufbau und Entwicklung von Knochen	5
2.2.1. Verknöcherung der Epiphysenfuge	6
2.3. Radiologische Untersuchung des Fesselgelenks.....	6
2.4. Auswahl an Pathologien des Fesselgelenks und des Fesselbeins sowie deren radiologisches Erscheinungsbild.....	7
2.4.1. Subchondrale Knochenzysten	7
2.4.2. Osteochondrale Frakturen des Fesselbeins	8
2.4.3. Osteochondrose und Osteochondrosis Dissecans (OCD).....	10
3. MATERIAL UND METHODEN	12
3.1. Datengewinnung	12
3.2. Verarbeitung der Daten	19
3.3. Statistik	20
4. ERGEBNISSE	22
4.1. Deskriptive Statistik	22
4.2. Hypothesenprüfung	27
4.3. Zusätzlich durchgeführte Tests	29
5. DISKUSSION.....	31
6. ZUSAMMENFASSUNG	36
6.1. Summary.....	37
7. LITERATURVERZEICHNIS	38
8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	43
9. TABELLENVERZEICHNIS.....	44
10. ANHANG	45
11. DANKSAGUNG	47

Abkürzungen:

EZM	Extrazellulärmatrix
Bzw.	Beziehungsweise
DICOM	Digital Imaging and Communications in Medicine
SCLs	Subchondral cyst Lesions
Art.	Articulatio
Ligg.	Ligamenta
Sog.	Sogenannt
Ca.	Zirka
OC	Osteochondrose
OCD	Osteochondrosis dissecans
QTL	Quantitative Trail Locus
lmA	lateromediale Ausdehnung
pdA	proximodistale Ausdehnung
BS	Breite Sagittalgrube
lD	lowest density
lDRef	lowest density reference
hD	highest density
hDRef	highest density reference
DV	Dichteverteilung
DVRef	Dichteverteilung Referenzwert
FG	Fesselgelenk
z.B.	zum Beispiel

1. EINLEITUNG

Die *Articulationes metacarpophalangeae* und *metatarsophalangeae* können gemeinsam als Fesselgelenk bezeichnet werden und stellen ein sehr wichtiges Gelenk in Hinblick auf die Nutzung von Pferden dar. Der Verlust der gesunden Funktion des Fesselgelenks kann bei Sportpferden das Ende ihres Einsatzes im Sport bedeuten (Santschi 2008). Bei radiologischen Untersuchungen vom Fesselgelenk im *dorso-palmaren* oder *dorso-plantaren* Strahlengang sind häufig direkt distal der subchondralen Knochenplatte im Bereich der Sagittalgrube Aufhellungen sichtbar. Diese werden in der Literatur im Allgemeinen als physiologisch beschrieben (Butler et al. 2017). Trotzdem bleibt die Fragestellung offen, ob diese Aufhellungen im Zusammenhang mit Pathologien, insbesondere subchondralen Knochenzysten, stehen.

In mehreren Studien wurden Pathologien der Gelenke und Knochen im Zusammenhang mit der Knochendichte untersucht. Unter anderem wurde die Knochendichte des distalen Röhrlbeins in Bezug auf Frakturen untersucht, mit dem Ergebnis, dass die Knochendichte bei den frakturierten Knochen signifikant höher waren als bei den nicht frakturierten. Diese Erkenntnis lässt darauf schließen, dass pathologische Veränderungen der Knochendichte mit einem höheren Risiko einer Fraktur einhergehen (Loughridge et al. 2017). Auch wurde die Knochendichte im Zusammenhang mit Osteoarthritis untersucht, mit dem Ergebnis, dass eine höhere Knochendichte des subchondralen Knochens charakteristisch ist für von Osteoarthritis betroffenen Kondylen des Metacarpophalangealgelenks. (Young et al 2007).

Bislang konnte noch kein Zusammenhang zwischen einer Aufhellung des Knochens als radiologische Veränderung und einem Krankheitsbild des Fesselbeins gefunden werden.

Ziel dieser retrospektiven Arbeit ist es, einen etwaigen Zusammenhang zwischen Größe und Dichteverlauf von Knochenaufhellungen und Daten wie Alter, Nutzung, Lahmheit oder Pathologien im Fesselbein zu evaluieren. Deswegen wurden die Aufhellungen anhand der Grauwerte analysiert und in Korrelation zu bestehendem Wissen über das Pferd gestellt.

In dieser Arbeit wurde folgende Hypothese aufgestellt:

Die Hypothese besagt, dass Größe und Dichteverlauf der Aufhellung, welche axial im Fesselbein direkt distal der Sagittalgrube liegt, mit einer klinisch festgestellten Lahmheit oder radiologischen Befunden des Fesselgelenks zusammenhängt und diese gegebenenfalls graduiert werden kann.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Anatomie des Fesselbeins und des Fesselgelenks

Das Fesselbein, *Phalanx proximalis*, gehört neben der *Phalanx media* und der *Phalanx distalis* zu den Fingerknochen/Zehenknochen (*Ossa digitorum manus/Ossa digitorum pedis*) des allein ausgebildeten dritten Fingers bzw. der Zehe. Dieser ist der längste der Fingerknochen (Budras 2014).

In weiterer Folge werden diese zur Vereinfachung mit Fesselbein (*Ossa digitorum manus* und *pedis*) und Fesselgelenk (*Articulationes metacarpophalangeae* und *metatarsophalangeae*) bezeichnet.

Die Form des Fesselbeins (*Os compedale*) entspricht der eines dorso-palmar/dorso-plantar komprimierten Zylinders. Das *palmare/plantare* Fesselbeindreieck (*Trigonum phalangis proximale*, siehe Abb. 1) wird durch die Fesselbeinleisten begrenzt. Die paraaxial liegende Sagittalrinne unterteilt die *Fovea articularis* in eine etwas kleinere *laterale* und eine etwas größere *mediale* Fläche (Liebich et al. 2015). Die *proximalen* Bandhöcker erheben sich beidseits an der *palmares* Berandung (Nickel et al. 2004).

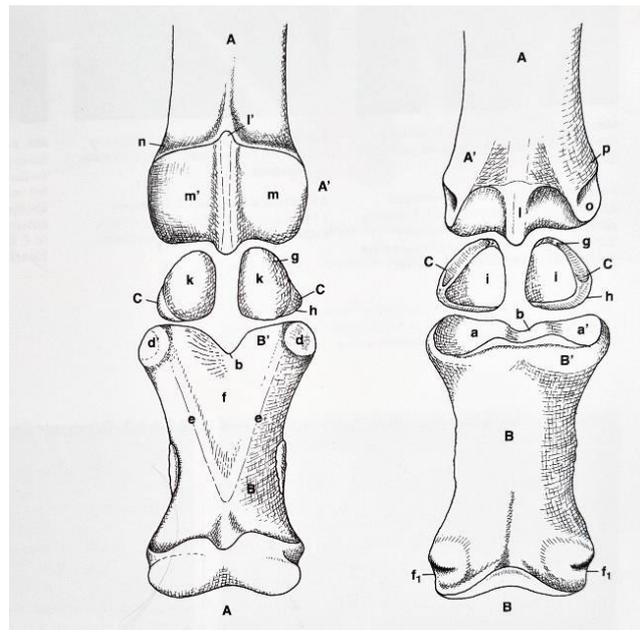


Abb. 1: Skelettanteile des Fesselgelenks einer linken Zehe **A**: Palmaransicht. **B**: Dorsalansicht. **A** Röhreibein, **A'** sein Caput; **B** Fesselbein, **B'** seine Basis; **C** Gleichbeine, **a, a'** Fovea articularis, **b** Sagittalrinne, **f** Trigonum phalangis proximalis, (Wissdorf et al. 2010)

Das Fesselgelenk wird gebildet vom Röhreibein, *Os metacarpale III* an der Vordergliedmaße und *Os metatarsale III* an der Hintergliedmaße, den beiden Gleichbeinen, *Ossa sesamoidea proximalia*, und dem Fesselbein, dem *Os compedale*. Somit ist das Fesselgelenk ein zusammengesetztes Gelenk und funktionell ein vollkommenes Scharniergelenk (Liebich et al. 2015).

In extremer Beugstellung lässt das Gelenk eine geringe Seitwärtsbewegung zu. Ist die Gliedmaße belastet, befindet sich das Gelenk in Hyperextensionsstellung. Der sog. Fesselträger stützt das Gelenk auf der palmaren bzw. plantaren Seite und verhindert dadurch eine übermäßige Hyperextension (Budras 2014).

Als Seitenbänder stellen die *Ligg. collateralia mediale* und *laterale* die Verbindung zwischen der Bandgrube des Röhreibeins und der Bandhöcker des Fesselbeins dar und sind mit der Gelenkkapsel des Fesselbeins verbunden. Zusätzlich gibt es die *Ligg. metacarposesamoidea* bzw. *Ligg. metatarsosesamoidea*, welche zwischen Röhreibein und Sesambeinen verlaufen und die seitlichen Sesambeinbänder, die

Ligg. sesamoidea collateralia laterale und mediale, welche jeweils zwischen der Seitenfläche des Sesambeins und der Bandgrube des Hauptmittelfußknochens sowie dem Bandhöcker des Fesselbeins verlaufen (Nickel et al. 2004).

2.2. Aufbau und Entwicklung von Knochen

Knochengewebe setzt sich aus mineralisierter Extrazellulärmatrix (EZM) und verschiedenen Zelltypen zusammen. Die Hauptkomponente der EZM sind Kollagenfibrillen und Hydroxyapatit-Kristalle, welche vorwiegend aus Calcium, Phosphat- und Hydroxid-Ionen bestehen (Lüllmann-Rauch und Paulsen 2012).

Der Knochen stellt sich in seiner Entwicklung zunächst als knorpeliger Stab dar. Dieser ist von einem bindegewebigen Schlauch, dem *Perichondrium*, umgeben, an dessen Innenfläche sich Osteoblasten befinden und kollagene Fasern ausscheiden. Im weiteren Verlauf lagern die Osteoblasten Kalksalze ein. Dadurch entsteht ein faserreicher Geflechtknochen, der sich zum lamellaren Knochen entwickelt. Durch Auflagerung immer neuer Knochensubstanz entwickelt sich eine *perichondrale* Knochenröhre mit knorpeligen Epiphysen, welche an den Enden herausragen (Abb. 2) (Nickel et al. 2004).

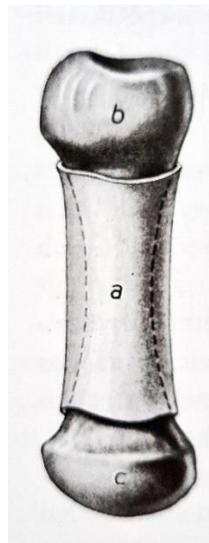


Abb. 2: Anlage des Röhrenknochens (nach Braus 1921) a perichondraler Knochenmantel der Diaphyse, ihren noch knorpeligen Anteil umschließend; b, c knorpelige Epiphysen (Nickel et al. 2004)

2.2.1. Verknöcherung der Epiphysenfuge

Der Schluss und somit die Verknöcherung der proximalen Epiphysenfuge des Fesselbeins des Pferdes findet ungefähr mit 30 Wochen statt (Moshage et al. 2019). Voraussetzung für die Verknöcherung der Epiphysenfugen, ist das Einwandern von Blutgefäßen und Zellen, welche dem *Perichondrium* entstammen. Epiphysenkerne treten als erster Schritt in der Epiphyse auf und beginnen zu verknöchern. Durch das Wachstum dieser Epiphysenkerne, reduziert sich der Knorpel zwischen ihnen und der knöchernen Diaphyse auf eine schmale Platte, dem Epiphysenfugenknorpel. Dies wird bei *Boviden* und *Equiden* bereits zum Zeitpunkt der Geburt erreicht. Das Längenwachstum gestaltet sich dadurch, dass immer wieder neues Material dazukommt, welches abgebaut und durch Knochensubstanz ersetzt wird, solange bis das Längenwachstum abgeschlossen ist. Zu diesem Zeitpunkt schließt sich die Epiphysenfuge vollständig. An der gelenknahen Seite der Epiphyse bleibt aber eine dünne Knorpelschicht bestehen, welche als Gelenkknorpel fungiert (Nickel et al. 2004).

Im Alter von sechs bis neun Monaten ist die proximale Epiphyse des Fesselbeins der Vorderextremität des Pferdes röntgenologisch nicht mehr nachweisbar, an der Hinterextremität erst nach 15 Monaten (Wissdorf et al. 2010).

2.3. Radiologische Untersuchung des Fesselgelenks

Wie aussagekräftig die Bilder sind, hängt wesentlich von der korrekten Vorbereitung, der Lagerung und der Aufnahmebelichtung ab. Für die *dorso-palmare* bzw. *dorso-plantare* Aufnahme des Fesselbeins soll das zu untersuchende Bein gleichmäßig und neutral belastet sein, die Platte wird dann ballennahe unter den Fesselkopf gekippt und am Boden abgestellt. Wichtig ist, dass der Zentralstrahl auf das Fesselgelenk zentriert ist und dabei ca. 90° auf die dorsale Fläche des Fesselbeins gerichtet ist. Dadurch wird der Gelenkspalt nach distal projiziert und überlagerungsfrei dargestellt (Schieder 2015).

Die in dieser Arbeit verwendeten Aufnahmen des Fesselbeins sind ausnahmslos Nativbilder. Da die Absorption abhängig von der Dichte ist, stellt sich Knochen mit einer Dichte von etwa $1,9 \text{ g/cm}^3$ hell dar. Mit einer Dichte von $0,0013 \text{ g/cm}^3$ stellt sich Luft im Röntgenbild dunkel dar (Wicke 2009).

Bei der Darstellung des Fesselgelenks sind das Röhrbein, die Gleichbeine und das Fesselbein zu sehen. Um den *proximalen* Teil des Fesselbeins darzustellen eignet sich eine *dorso-palmar*e Aufnahme des Fesselbeins.

Dabei stellt sich der Gelenkspalt des Fesselgelenks fast symmetrisch und von gleichmäßiger Breite über der Sagittalrinne dar. Der subchondrale Bereich der *Phalanx proximalis* zeigt eine deutliche Abgrenzung zum darunterliegenden spongiösen Knochen. Distal vom subchondralen Knochen der Sagittalgrube zeigt sich manchmal eine weniger dichte Region (Butler et al. 2017). Diese Region ist Gegenstand der vorliegenden Studie.

2.4. Auswahl an Pathologien des Fesselgelenks und des Fesselbeins sowie deren radiologisches Erscheinungsbild

2.4.1. Subchondrale Knochenzysten

Zysten der subchondralen Knochenplatte sind sehr häufig im Metatarsalknochen bzw. Metacarpalknochen jedoch seltener im Fesselbein. Manche dieser SCLs (subchondral cystic lesions) sind Teil eines entwicklungsbedingten Erkrankungskomplexes, welcher während des Wachstums und der Umwandlung von Knorpel zu Knochen entsteht. Zugrundeliegend kann ein subchondrales Knochen-Trauma sein, welches häufiger bei älteren Pferden vorkommt. Sind Gelenkknorpel oder der subchondrale Knochen verletzt, kann synoviale Flüssigkeit in den Knochen eintreten und erhöht so lokal den intraossären Druck, was die Bildung einer Zyste begünstigen kann (Tatarniuk et al. 2020).

Um eine SCL nachzuweisen eignet sich am besten eine *dorsoproximal-palmarodistale/dorsoproximal-plantarodistale* Röntgenaufnahme des Fesselgelenks. Als erstes Zeichen findet man eine flacher werdende subchondrale Knochenplatte, die sich zu einer erst ellipsoiden, dann ovalen Aufhellung verändert und eine vermehrte Röntgendichte um die Läsion zeigt (Butler et al. 2017).

Manche SCLs lassen sich nur mit nicht standardisierten Röntgenaufnahmen diagnostizieren, in anderen Fällen ist eine MRT oder CT Untersuchung zur Diagnose notwendig (Sherlock und Mair 2011).

In einer Studie von Olstad, Østevik et al. (2015) wird eine mangelnde Blutversorgung und eine ischämische Chondronekrose aufgrund einer Osteochondrose als Ursache für sogenannte Pseudozysten oder der Dilatation von Blutgefäßen und somit einer Entstehung von Zysten im epiphysären Knochen beschrieben.

2.4.2. Osteochondrale Frakturen des Fesselbeins

Diese Frakturen sind oft die Folge einer Verletzung aufgrund einer chronischen Ermüdung und akkumulierten Verletzungen. Wiederkehrende Ermüdungsverletzungen können zu einer gehäuften Mikrozerstörung des Knochens und folgend zu einer kompletten Fraktur führen (Kawcak und Barrett 2016).

Es gibt verschiedene Formen der Fraktur, welche sich in

- Lange und kurze, inkomplette Sagittalfrakturen (Abb. 4)
- Komplette Frakturen, mit einem Ende zum lateralen Cortex
- Einfache komplette Frakturen
- Geringe Trümmerfrakturen
- Komplexe Trümmerfrakturen

- Dorsal – frontal
- Ausrissfrakturen *plantaroproximal* bzw. *palmaroproximal* an der Insertionsstellen der Kollateralbänder
- Frakturen der proximalen Epiphyse gliedern (Ruggles 2011).

Eine Sonderform stellt die „Y-Fraktur“ dar, bei welcher die Frakturlinie erst sagittal verläuft und sich dann, ungefähr auf der halben Höhe des Fesselbeins, in zwei Linien aufteilt. Die Diagnose „Fraktur“ ist nur mit einem eindeutigen Röntgenbefund zu stellen. Es werden mindestens eine *dorsopalmare/dorsoplantare* und eine *lateromediale* Aufnahme angefertigt (Brehm et al. 2016).



Abb. 3: Kleine „Stress“-Fraktur des Fesselbeins in die Sagittalgrube. (Kawcak und Barrett 2016)



Abb. 4: Sagittalverlaufende Fraktur, welche bis über die Hälfte des Fesselbeins reicht, (Kawcak und Barrett 2016)

2.4.3. *Osteochondrose und Osteochondrosis Dissecans (OCD)*

Osteochondrose (OC) ist eine häufige und klinisch relevante Erkrankung der Gelenke. Sie ist definiert als Störung der enchondralen Ossifikation und hat multifaktorielle Ursachen. Es wurde unter anderem von Dierks et al. 2010 ein Quantitative Trait Locus (QTL) auf Chromosom 2 untersucht, welcher unter anderem für OC verantwortlich sein kann. Als Ursprung der Erkrankung wird ein fragiler Gelenksknorpel, Störungen in der Chondrozyten-Differenzierung, Nekrose des subchondralen Knochens und die Störung der Blutversorgung des Epiphysenknorpels beschrieben (Ytrehus et al. 2007). Frakturiert der Knorpel über einer osteochondralen Läsion, kann dies zu freien Gelenkskörpern führen und wird folglich als *Osteochondrosis dissecans* (OCD) beschrieben. Die als erste auffindbare Läsion nach einer Störung der Blutversorgung des Ehipysenknorpels stellt sich als ischämische Chondronekrose in einer intermediären Tiefe des Epiphysenknorpels dar (Olstad et. al 2015).

Fragmente und Unregelmäßigkeiten des dorsalen Sagittalkamms und der Kondylen im Fesselgelenk sind am häufigsten aufzufinden. Um eine Diagnose zu stellen, sollte eine Röntgenuntersuchung durchgeführt werden (Abb. 5). Osteochondrale Fragmente werden häufig diagnostiziert ohne dass eine klinische

Relevanz vorhanden ist (Ortved 2017).

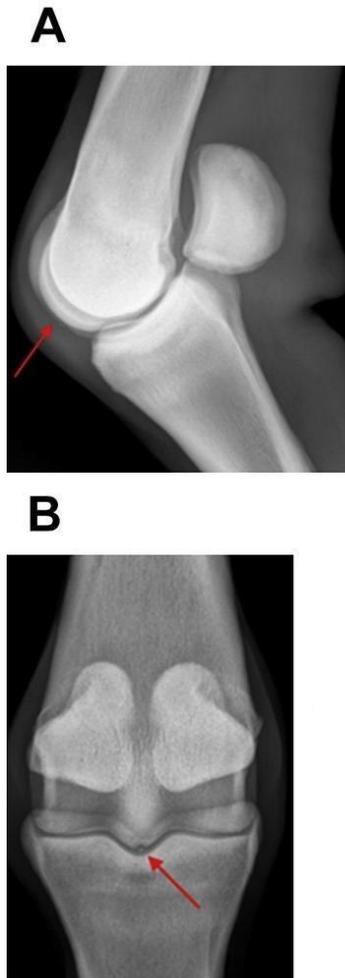


Abb. 5: (A) Lateromediale Aufnahme eines Fesselgelenks (FG) mit Osteochondrose (OC) des Metacarpus (Roter Pfeil) von einem zweijährigen Vollblut (B) Dorsopalmare Aufnahme derselben Läsion, welche in A dargestellt ist (Roter Pfeil) (Courtesy of Dr Dean Richardson, New Bolton Center, University of Pennsylvania, Kennett Square, PA.) (Ortved 2017)

Sind die Läsionen am distalen Teil des Sagittalkamms lokalisiert, können diese am besten am gebeugten Bein mit einem *lateromedialen* Strahlengang oder *dorsoproximal-palmarodistalen* obliquen Aufnahme gefunden werden (Butler et al. 2017).

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. Datengewinnung

Zur Analyse wurden ausschließlich Röntgenbilder aus der Datenbank der Klinik für Bildgebende Diagnostik der Veterinärmedizinischen Universität Wien ausgewählt. Diese waren alle vom gleichem Dateityp DICOM. Die Auswahl fand ohne Wissen über Befunde oder Krankengeschichte statt, es mussten beurteilbare *dorso-palmare* bzw. *dorso-plantare* Aufnahmen des Fesselbeins sein.

Anschließend sind folgende Daten zu dem jeweiligen Pferd, dessen Röntgenaufnahme vom Fesselgelenk (FG) vermessen wurde, aus dem Dokumentationssystem „TIS“ der Veterinärmedizinischen Universität Wien, zur Analyse herangezogen worden:

- Alter
- Geschlecht
- Rasse
- Nutzung
- Grad der Lahmheit
- Ansprechen auf diagnostische Anästhesien
- Röntgenologische Befunde
- Vorder- oder Hinterextremität

Die Daten wurden dann entsprechend in nominale Daten umgewandelt und in Tab. 1-7 angeführt.

Tab. 1: Kategorisierung der Rassen der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden. Kursiv in dritter Spalte aufgezählt, welche Rassen zusammengefasst wurden.

	<i>Rasse</i>	
<i>1</i>	Warmblut	
<i>2</i>	Rennpferd	<i>Traber/Galopper</i>
<i>3</i>	Friese	

4	Isländer
5	Haflinger
6	Kaltblut

Tab. 2: Kategorisierung der Nutzung der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden. Kursiv in dritter Spalte aufgezählt, welche Nutzungsformen zusammengefasst wurden.

Nutzung	
1	Freizeitpferd
2	Sportpferd <i>Dressur/Springpferd/Vielseitigkeit/Voltigieren</i>
3	Jungpferd/Fohlen
4	Rennpferd <i>Traber/Galopper</i>

Tab. 3: Kategorisierung des Geschlechts der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden

Geschlecht	
1	Stute
2	Wallach
3	Hengst

Tab. 4: Kategorisierung der diagnostizierten Lahmheiten an jener Extremität, von welcher die Aufnahmen verwendet wurden. Eingeteilt in 1-6 und k.A. (keine Angabe) bei jenen Pferden, von welchen keine Angaben zu deren Lahmheitsuntersuchungen vorhanden waren

Lahmheit	
1	keine Lahmheit
2	1/5
3	2/5
4	3/5
5	4/5
6	5/5
k.A.	Wurde nicht untersucht

Tab. 5: Kategorisierung der Extremität der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden

Extremität	
1	vorne
2	hinten

Tab. 6: Kategorisierung der positiven diagnostischen Anästhesien der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden und deren Zusammenhang mit dem Fesselgelenk (FG). K.A. (keine Angabe) bei jenen Pferden, bei welchen keine diagnostischen Anästhesien durchgeführt wurden.

Diagnostische Anästhesie

1	Diagnostische Anästhesie beweist, dass Lahmheit sicher nicht im FG Ursprung hat
2	Perineurale Anästhesie kann beweisend für Lahmheit in FG sein
3	Intraartikuläre Anästhesie des FG mit positivem Ausgang, welche sicher beweisend für eine Lahmheitsursache im FG ist
k.A.	es wurde keine Anästhesie durchgeführt

Tab. 7: Kategorisierung der radiologischen Befunde des Fesselgelenks jener Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden

Radiologische Befunde

1	Befund ist nicht im Bereich des Fesselgelenks
2	Befund ist im Bereich des Fesselgelenks, aber ohne Beteiligung des Fesselbeins
3	Befund ist im Bereich des Fesselgelenks, mit Beteiligung des Fesselbeins

Nach Auswahl der Bilder, wurden diese im open-source Bildverarbeitungsprogramm „ImageJ“, entwickelt von einem ehemaligen Mitarbeiter vom NIH (National Institute of Health), analysiert und ausgemessen.

Jedes Röntgenbild hatte eine andere Gesamtspanne an Grauwerten, da diese je nach Belichtungszeit und Strahlenstärke variieren können. Deswegen wurden alle gemessenen Werte umgerechnet, so dass die Gesamtspannen an Grauwerten bei jedem Bild 0-1022 betragen. Ein Grauwert von 0 ist weiß und ein Grauwert von 1022 stellt sich schwarz dar.

Um die in Abb. 6 gezeigte Aufhellung analysieren zu können wurden Referenzwerte in jeder Aufnahme erstellt:

- Breite der Sagittalgrube (BS) als Referenzwert der Längenmaße
- Lowest density reference (IDRef) als Referenzwert für die geringste Röntgendichte

- Highest density reference (hDRef) als Referenzwert für die höchste Dichte im Bereich des FG und somit der höchsten Knochendichte
- Dichteverteilung (DVRef) im Bereich des Fesselgelenks, als Differenz zwischen hDRef und lDRef



Abb. 6: Dorso-palmar Aufnahme des Fesselbeins der Vorderextremität Nr. 30, der gelbe Pfeil zeigt auf die Aufhellung im proximalen Fesselbein (© Klinische Abteilung für Bildgebende Diagnostik, Department für Kleintiere und Pferde, Veterinärmedizinische Universität Wien)

Der Bereich, welcher in dieser Arbeit behandelt wird, wurde in Abb. 7 mit einem violetten Rechteck gekennzeichnet.

Die BS wurde mithilfe eines linearen Auswahltools, welches tangential an die medial und lateral am proximalsten gelegenen Punkte der Sagittalgrube (Abb. 7, gelbe Linie) gelegt wurde und anhand der dadurch entstandenen Grauwertkurve gemessen.

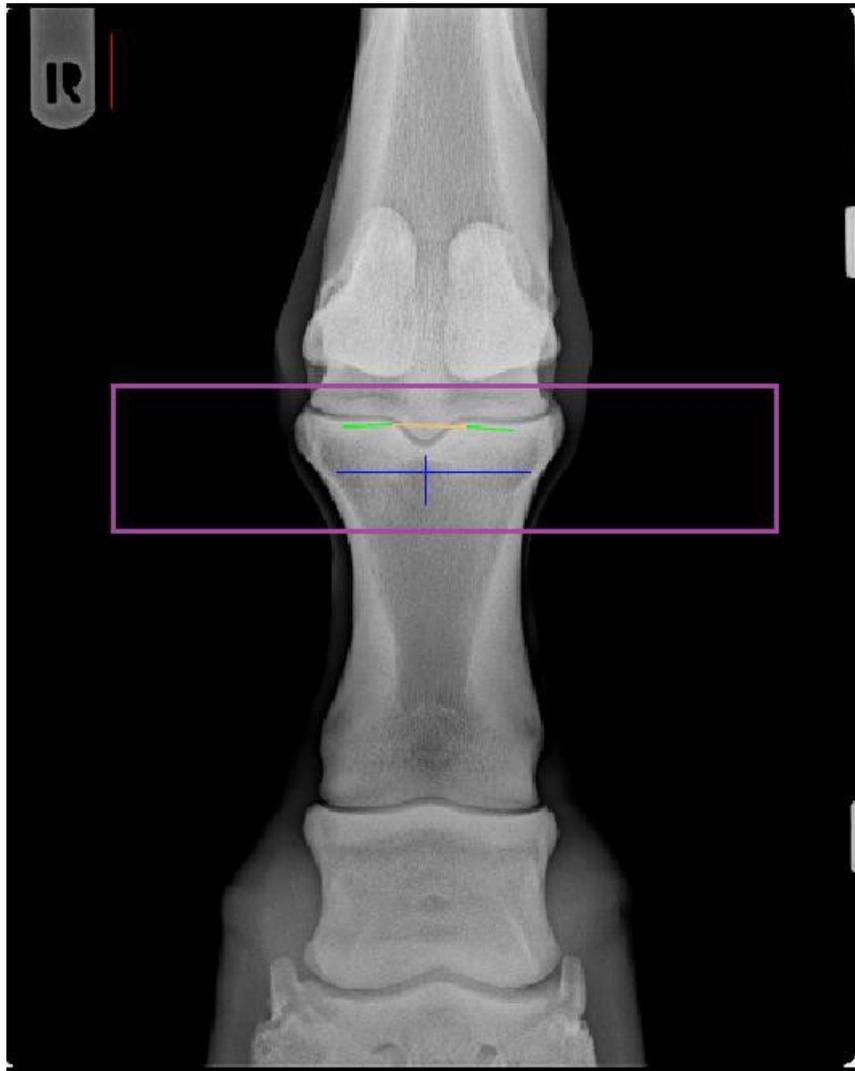


Abb. 7: Dorso-palmar Aufnahme des Fesselbeins mit Darstellung der Linien zur Ausmessung der Sagittalgrube (gelb), des röntgendichtesten Punktes (grün) der Aufhellung (blau) und des am wenigsten röntgendichten Punkt (rot); innerhalb des violetten Rechteckes liegt der Bereich des Fesselgelenkes, auf welchen für den Referenzwert der höchsten Dichte (hDRef) Bezug genommen wird. Aufnahme Nummer 27 (© Klinische Abteilung für Bildgebende Diagnostik, Department für Kleintiere und Pferde, Veterinärmedizinische Universität Wien)

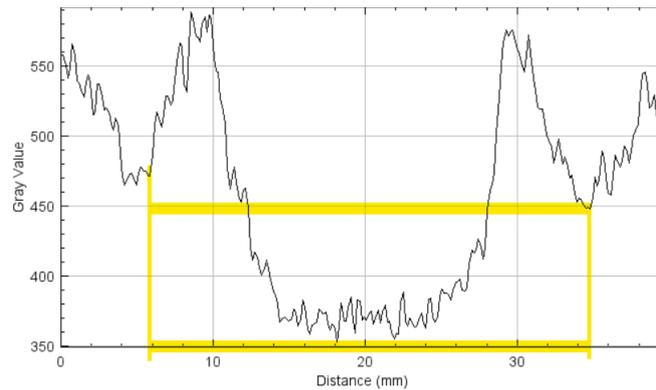


Abb. 8: Plot Profile der Grauwerte der tangential an Sagittalgrube gelegten Linie. Gelb markiert zeigt die BS (mm) der Sagittalgrube. Aufnahme Nr. 25

Anschließend wurde hDRef berechnet. Dazu wurden die Grauwerte auf der je halben Strecke der BS medial und lateral der Sagittalgrube in der subchondralen Knochenplatte gemessen und das 10. Perzentil der dort ermittelten Grauwerte berechnet (Abb. 7, grüne Linien). Weiters wurde der Mittelwert des medialen und lateralen Ergebnisses berechnet und diese Zahl als hDRef im jeweiligen Röntgenbild herangezogen.

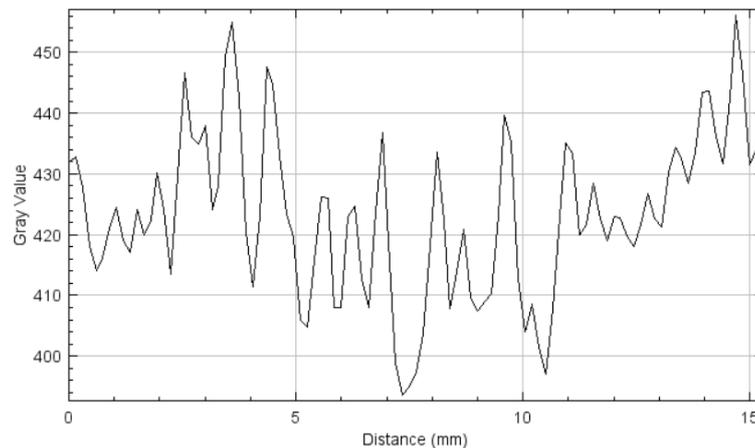


Abb. 9: Plot Profile der Grauwerte der Linie in der subchondralen Knochenplatte für die Berechnung von hDRef (high density reference), Aufnahme Nummer 25,

Für die Berechnung von IDRef wurde eine Strecke ident zu BS neben dem Seitenindikator des jeweiligen Röntgenbildes ausgewertet. Hier wurde das 90. Perzentil errechnet und diesen Wert als IDRef herangezogen.

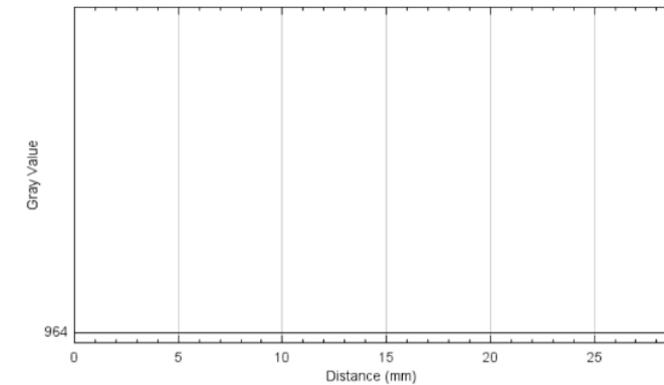


Abb. 10: Plotprofile der Strecke neben der Seitenmarkierung zur Berechnung von IDRef (low density reference), Aufnahme Nummer 25

Um die Größe der Aufhellung zu bestimmen, welche sich meist als Ellipse darstellt, wurden auf ähnliche Weise die lateromediale Ausdehnung (lma) und die proximodistale Ausdehnung (pdA) ausgemessen. (Abb. 7, blaue Linien). Die Messlinien wurden annähernd mittig durch die Aufhellung gezogen. Dies erwies sich als die objektivste Methode, da an der, im Tool „Plotvalue“ (Abb. 8 bis 12) des Programms „ImageJ“, entstandene Grauwerte-Kurve, der Anstieg bzw. der Abfall der Grauwerte als Endpunkte der jeweiligen Dimension herangezogen werden konnte. Von den auf den jeweiligen Strecken gewonnen Grauwerten wurde jeweils ein 10. und ein 90. Perzentil berechnet und deren Differenz die Dichteverteilung (DV) darstellt.

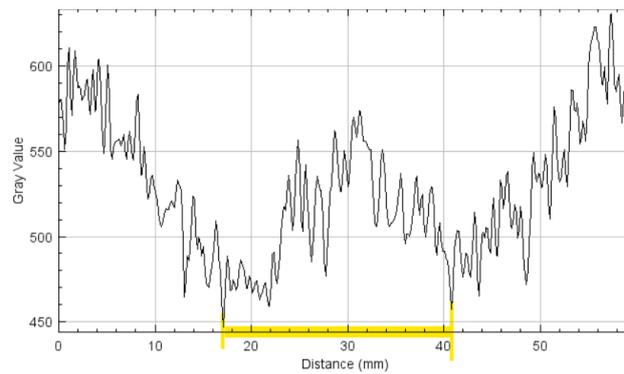


Abb. 11: Plot Profile der Grauwerte der Messlinie der *ImA* (lateromediale Ausdehnung) der Aufhellung. Gelb markiert die Strecke der *ImA* der Aufhellung (mm). Aufnahme Nummer 25

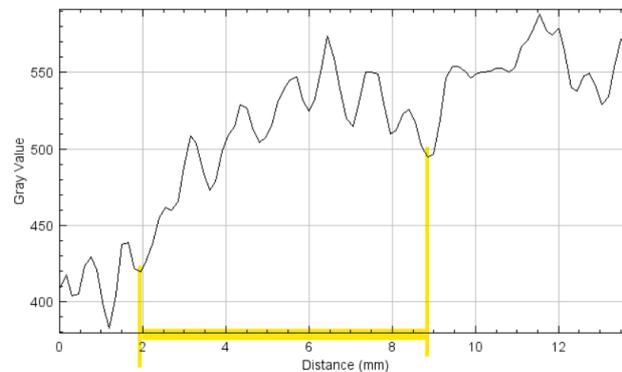


Abb. 12: Plot Profile der Grauwerte der *pdA* (proximodistalen) der Aufhellung. Gelb markiert die Strecke der *pdA* der Aufhellung (mm). Aufnahme Nummer 25

3.2. Verarbeitung der Daten

Da für fast jedes Röntgenbild die Spanne der Grauwerte unterschiedlich waren, wurden diese auf einheitlich 0-1022 umgerechnet. Mit den neu berechneten Werten wurden weitere Daten berechnet:

- Verhältnis der lateromedialen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (*ImA*:BS)
- Verhältnis der proximodistale Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (*pdA*:BS)

- Verhältnis der lateromedialen Ausdehnung der Aufhellung zur proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung (ImA:pdA)
- Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung (DV)
- Verhältnis der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung zum Referenzwert der Dichteverteilung (DV:DVRef)

3.3. Statistik

Die statistische Auswertung über die Daten erfolgte über das Programm „IBM © SPSS © Statistics“ in der Version 27 der Firma IBM ©.

Die Daten wurden über die Pearson-Korrelation über deren Zusammenhang geprüft.

Als Gruppentests wurden der Mann-Whitney-Test und der Mediantest über unabhängige Stichproben angewendet. Es wurden folgende Modelle angewendet, um die Hypothese zu prüfen.

Die Daten wurden jeweils, wie in Tab. 1-7 angeführt, gruppiert. Die Gruppenanalysen für die Kategorien der diagnostischen Anästhesien (Modell 1 und 2) wurden jeweils zweimal durchgeführt. Einerseits über die Kategorie eins und drei, andererseits über die Kategorie eins und zwei.

Modell 1: In diesem Modell wird die Variation von ImA:BA zwischen den Variablen der diagnostischen Anästhesien auf Signifikanz geprüft.

Modell 2: In diesem Modell wird die Variation von pdA:BA zwischen den Variablen der diagnostischen Anästhesien auf Signifikanz geprüft.

Modell 3: In diesem Modell wird die Variation vom DV:DVRef zwischen den Variablen der diagnostischen Anästhesien auf Signifikanz geprüft.

Modell 4: In diesem Modell wird die Variation von $lmA:BA$ zwischen den Variablen der radiologischen Befunde auf Signifikanz geprüft.

Modell 5: In diesem Modell wird die Variation von $pdA:BA$ zwischen den Variablen der radiologischen Befunde auf Signifikanz geprüft.

Modell 6: In diesem Modell wird die Variation von $DV:DVRef$ zwischen den Variablen der radiologischen Befunde auf Signifikanz geprüft.

4. ERGEBNISSE

4.1. Deskriptive Statistik

Es wurden 10 Röntgenbilder ausgeschlossen, die schlecht zu beurteilen waren oder die Daten der zugehörigen Pferde unzureichend waren. Somit wurden 40 Röntgenbilder von 40 unterschiedlichen Pferden untersucht.

Das Alter zeigte sich mit einem Mittelwert von zwölf Jahren und einer Standardabweichung von sechs Jahren. Das jüngste Pferd war einjährig und das älteste 25 Jahre alt. Die Aufteilung der verschiedenen Rassen zeigte sich mit einem Hauptanteil an Warmblütern. Ein Großteil der Pferde, von denen Röntgenbilder angefertigt wurden, wurde freizeitlich genutzt. Elf davon waren aktive Sportpferde und lediglich vier wurden im Rennsport genutzt. Drei Pferde waren Jungpferde beziehungsweise Fohlen.

Wie in Abb. 13 dargestellt, waren die meisten radiologischen Befunde der Pferde, von denen Röntgenbilder des Fesselgelenks angefertigt wurden, auch im Fesselgelenk mit Beteiligung des Fesselbeins.

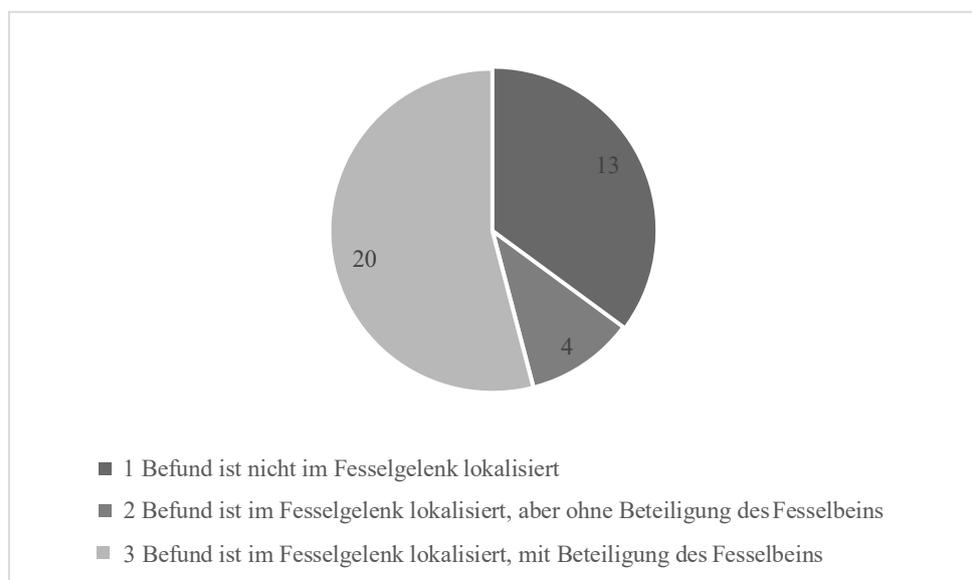


Abb. 13: Radiologische Befunde der Röntgenaufnahmen des Fesselgelenks als Kreisdiagramm.

Es wurden bei allen 40 Röntgenaufnahmen die Referenzwerte für den röntgendichtesten Punkt (hDRef) und den Punkt mit der geringsten Röntgendichte (IDRef) berechnet. Zudem wurde als Referenzwert für das Längenmaß die Breite der Sagittalgrube gemessen (BS). Anschließend wurden die Maße der Aufhellung gemessen: lateromediale Ausdehnung der Aufhellung (ImA) und die proximodistale Ausdehnung der Aufhellung (pdA). Innerhalb dieser Maße wurden die Grauwerte als Maß für die Dichte (hD und ID) berechnet und deren Spanne als Dichteverteilung (DV). Von diesen Werten wurde jeweils das Maximum, Minimum und der Median berechnet (Tab. 8). Dabei muss erwähnt werden, dass kein Bild ohne Aufhellung im proximalen Fesselbein vorlag.

Tab. 8: Berechnete Daten der 40 Röntgenaufnahmen (A.-Nr.). Von jeder Aufnahme sind aufgelistet: Breite der Sagittalgrube (BS) in mm, proximodistale Ausdehnung der Aufhellung (pdA) in mm, lateromediale Ausdehnung der Aufhellung (ImA) in mm, das Verhältnis von ImA zu BS als Prozentangabe, das Verhältnis von pdA zu BS als Prozentangabe, höchste Dichte (hD) und geringste Dichte (ID) innerhalb der Aufhellung angegeben in Grauwerten, die Dichteverteilung (DV) als Differenz von hD und ID innerhalb der Aufhellung in Grauwerten und das Verhältnis von DV zu dem Referenzwert der Dichteverteilung in der analysierten Region des Fesselgelenks als Prozentangabe. Als Gesamtspanne der Röntgenaufnahme ist 0-1022 definiert, wobei 0 das absolute Weiß darstellt und 1022 das absolute Schwarz. Zusätzlich wurde für jeden berechneten Wert der Median, das Minimum (MIN) und das Maximum (MAX) angegeben.

A.-Nr.	BS (mm)	pdA (mm)	ImA (mm)	ImA:BS	pdA:BS	hD	ID	DV	DV:DVRef
1	25,2	5,4	15,3	61%	0,21	528	660	132	18%
2	26,7	9,6	21,2	79%	0,36	623	857	234	39%
3	20,7	5,4	18,9	91%	0,26	660	826	167	25%
4	22,4	3,6	31,1	139%	0,16	704	847	142	25%
5	24,8	12,0	24,8	100%	0,48	643	798	156	24%
6	26,7	14,3	18,2	68%	0,53	440	631	191	27%
7	25,4	10,5	16,1	63%	0,41	689	822	133	19%
8	25,5	6,8	20,9	82%	0,26	692	828	136	21%
9	21,6	13,2	20,7	96%	0,61	549	662	113	17%
10	24,6	6,8	26,3	107%	0,27	556	676	120	19%
11	16,4	7,2	14,6	89%	0,44	538	619	82	14%
12	16,8	9,9	19,3	115%	0,59	480	644	164	25%
13	22,1	8,6	19,2	87%	0,39	482	570	88	14%
14	21,0	3,8	20,4	97%	0,18	482	550	68	11%
15	28,7	7,7	19,7	69%	0,27	503	567	64	10%

16	21,6	3,8	28,8	133%	0,17	500	593	93	16%
17	24,5	7,5	19,7	80%	0,31	432	545	113	17%
18	23,1	12,5	7,2	31%	0,54	193	251	58	6%
19	23,1	11,6	22,2	96%	0,50	417	474	58	9%
20	23,3	6,9	19,8	85%	0,30	505	561	57	9%
21	25,2	5,4	13,5	54%	0,21	520	589	69	12%
22	23,4	11,3	19,8	85%	0,48	477	535	58	12%
23	19,8	5,0	20,6	104%	0,25	466	515	49	10%
24	20,7	11,0	27,8	134%	0,53	459	513	54	9%
25	29,0	7,2	23,7	82%	0,25	465	550	85	15%
26	22,2	9,3	21,2	95%	0,42	488	590	102	19%
27	24,8	13,4	23,1	93%	0,54	487	572	85	14%
28	24,2	15,5	23,9	99%	0,64	269	573	304	51%
29	25,2	6,2	20,4	81%	0,24	456	560	104	17%
30	23,9	8,0	17,1	72%	0,33	442	539	96	16%
31	25,5	7,8	15,6	61%	0,31	456	503	47	10%
32	21,3	9,3	26,0	122%	0,44	464	528	64	10%
33	23,1	5,6	19,1	82%	0,24	495	554	59	10%
34	18,3	7,1	20,0	109%	0,39	408	455	47	9%
35	27,9	7,8	22,2	80%	0,28	502	548	46	8%
36	28,1	9,0	23,0	82%	0,32	480	522	42	7%
37	21,9	6,2	16,8	77%	0,28	616	783	167	26%
38	27,6	9,2	22,5	82%	0,33	605	754	149	21%
39	23,7	6,9	13,7	58%	0,29	717	825	108	21%
40	24,9	6,8	22,8	92%	0,27	611	705	93	15%
<i>MEDIAN</i>	23,8	7,725	20,4	85%	0,31	492	572	93	16%
<i>MIN</i>	16,4	3,6	7,2	31%	0,16	193	251	42	6%
<i>MAX</i>	29,0	15,45	31,05	139%	0,64	717	857	304	51%

Wie auf Abb. 14 nachvollziehbar, sind die Breiten der Sagittalgruben annähernd normal verteilt. In ihrem Minimum betragen sie 16,4 mm, in ihrem Maximum 29 mm und in ihrer Medianen 23,8 mm.

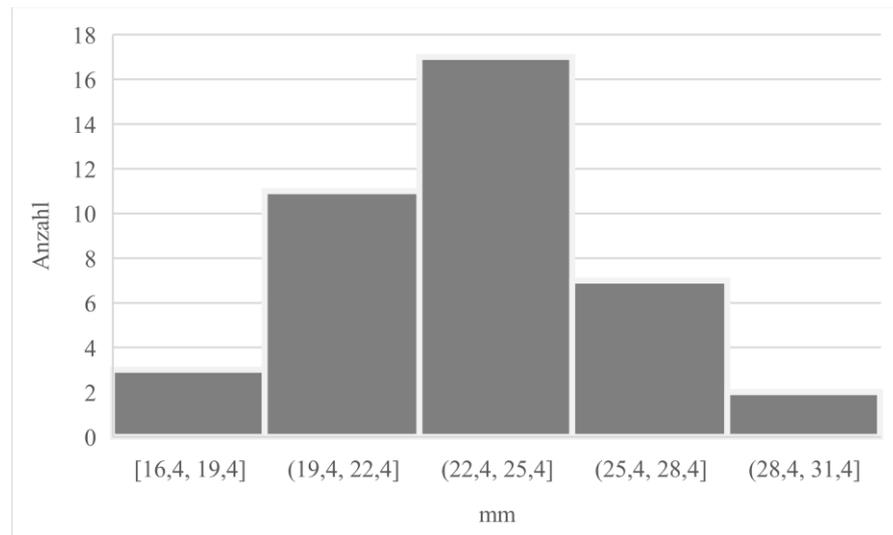


Abb. 14: Histogramm der gemessenen Werte der Breiten der Sagittalgruben in den 40 Röntgenaufnahmen, welche Grundlage für die vorliegende Studie waren. Intervalle sind gekennzeichnet mit Klammern. Die eckige Klammer bedeutet, dass die Intervallgrenze zum Intervall gehört, die runde Klammer bedeutet, dass die Intervallgrenze nicht zum Intervall gehört.

Abbildung 15 zeigt einen Box-Plot, in welchem die Verhältnisse der Breite der Sagittalgrube und die lateromediale Ausdehnung der Aufhellung sehr weit gestreut sind. Das Minimum des Verhältnisses beträgt 31 %, das Maximum 139 % und das Median 85 %. Der Mittelwert liegt bei 88 % und deren Standardabweichung bei 22 %.

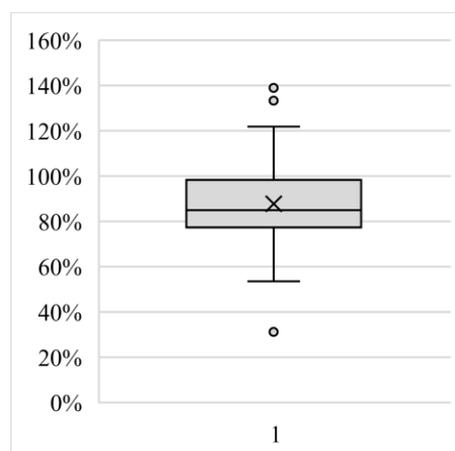


Abb. 15: Boxplot der Verhältnisse zwischen lateromedialer Ausdehnung der Aufhellung (ImA) und der Breite der Sagittalgrube (BS). Wobei das Minimum bei 31 % und das Maximum bei 139 % liegt. Der Median beträgt 85 %.

Um den Dichteverlauf der insgesamt 40 Röntgenbilder darstellen zu können, wurde das Intervall zwischen lD und hD berechnet und als Dichteverteilung (DV) bezeichnet. Um die Varianz zu veranschaulichen, wurde ein Box Plot angefertigt (Abb. 16). Der Median, wie in der Grafik ersichtlich, stellt sich als 93 dar, der Mittelwert beträgt 105. Die Spanne, welche sich noch im eineinhalbfachen des Interquartilsbereichs befindet, liegt zwischen 42 und 234. Der einzige Ausreißer beträgt 304 und ist somit das absolute Maximum der gesamten Dichteverläufe. Dies zeigt, dass sich die Hälfte der errechneten Dichteverläufe innerhalb von 58 und 136 befindet. Die Standardabweichung beträgt 56.

Um das an die verschiedenen Aufnahmeeinstellungen anzupassen, wurden diese ins Verhältnis mit dem entsprechenden Referenzwert (DVRef) gestellt.

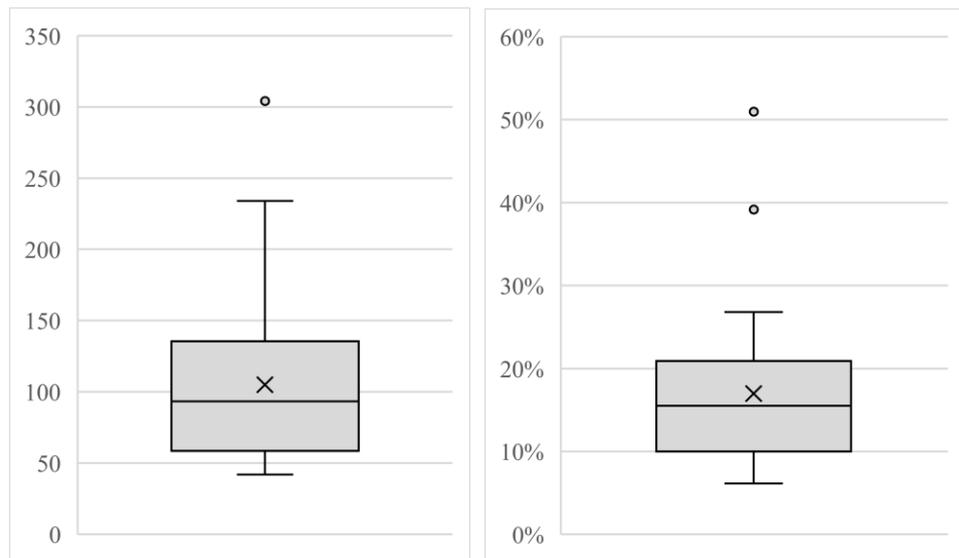


Abb. 16: Boxplots von der Dichteverteilung (DV), links dargestellt und dem Verhältnis von der Dichteverteilung zum Verhältnis zwischen DV und dem Referenzwert für die Dichteverteilung (DVRef), rechts dargestellt. Links sind die Werte in der y-Achse als Grauwerte angegeben, wobei 0 das absolute Weiß, also sehr röntgendicht, 350 Grau, also weniger röntgendicht, und 1022 das absolute Schwarz darstellt.

4.2. Hypothesenprüfung

Die Modelle 1, 2 und 3 wurden mittels Mann-Whitney-U-Test überprüft, wobei zuerst der Zusammenhang zwischen den 3 Werten (ImA:BA, pdA:BA, DV:DVRef) und die diagnostischen Anästhesien Kat. 1 (Lahmheitsursache ist sicher nicht im FG, da eine diagnostische Anästhesie beweisend für die Ursache anderer Lokalisation war) und Kat. 3 (Lahmheitsursache ist sicher im FG, da eine FG-Anästhesie durchgeführt wurde und diese positiv war) überprüft wurden. Dabei zeigte sich auch hier, dass diese sich nicht signifikant unterscheiden (Tab. 9)

Tab. 9: Tabelle über die p-Werte der Modelle 1-3 über Kategorie 1, die Lahmheit ist sicher nicht im Fesselgelenk (FG), da eine diagnostische Anästhesie beweisend für die Ursache anderer Lokalisation war und Kategorie 3, die Lahmheitsursache ist sicher im FG, da eine FG-Anästhesie durchgeführt wurde und diese positiv war, der diagnostischen Anästhesien.

Signifikanzniveau ist bei 0,05

Modell	1	2	3
<i>p</i>	0,355	0,355	0,814

Zusätzlich wurden die Modelle 1, 2 und 3 über die Kat. 1 und Kat. 2 (Lahmheitsursache könnte im FG oder distal davon sein) geprüft. Auch dabei zeigte sich kein signifikanter Unterschied (Tab. 10).

Tab. 10: Tabelle über die p-Werte der Modelle 1-3 über die Kategorien 1, die Lahmheit ist sicher nicht im Fesselgelenk (FG), da eine diagnostische Anästhesie beweisend für die Ursache anderer Lokalisation war, und Kategorie 2, Lahmheitsursache könnte im FG oder distal davon sein, der diagnostischen Anästhesien. Signifikanzniveau ist bei 0,05

Modell	1	2	3
<i>p</i>	0,355	0,189	0,876

Die Hypothesenprüfung von Modell 4 und 5 erfolgte mittels Mediantest bei unabhängigen Stichproben. Dabei zeigte sich ein p-Wert von 0,784 und 0,913. In Abb. 17 sind die Gruppenvergleiche als Box-Plot dargestellt. Somit konnte gezeigt werden, dass die Mediane über die Kategorien hinweg sich nicht

signifikant unterscheiden.

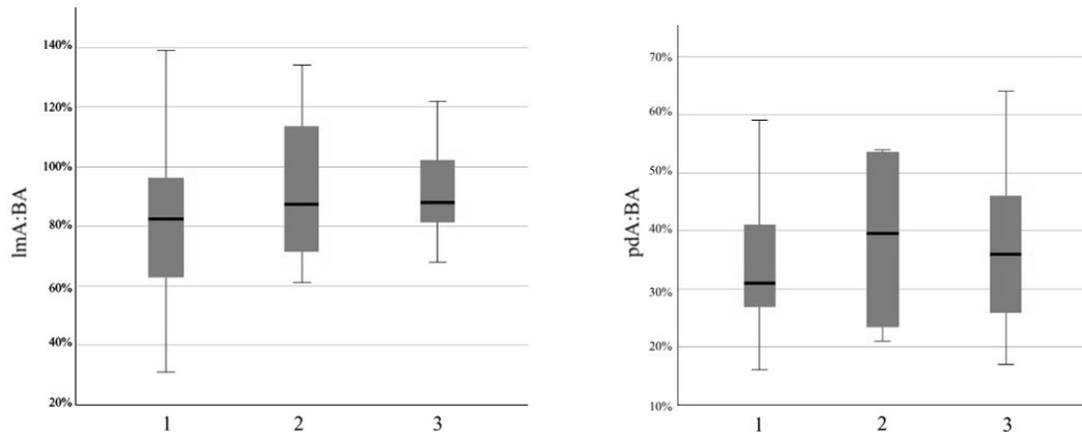


Abb. 17: Boxplot der Gruppenverteilung der Verhältnisse von der lateromedialen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (ImA:BA) und dem Verhältnis der proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (pdA:BA; in Prozent) über die radiologischen Befunde (x-Achse). Befund 1 beschreibt einen Befund außerhalb des Fesselgelenks (FG), Befund 2 einen Befund im FG, aber ohne Beteiligung des Fesselbeins und Befund 3 beschreibt einen Befund im FG, mit Beteiligung des Fesselbeins.

Anschließend wurde Modell 6 mittels einem Mediantest von der DV über die Kategorien der radiologischen Befunde geprüft und auch dabei zeigte sich keine Signifikanz ($p=0,784$). In Abb. 18 dargestellt ist im Boxplot dargestellt kein Unterschied zwischen den Gruppen ersichtlich.

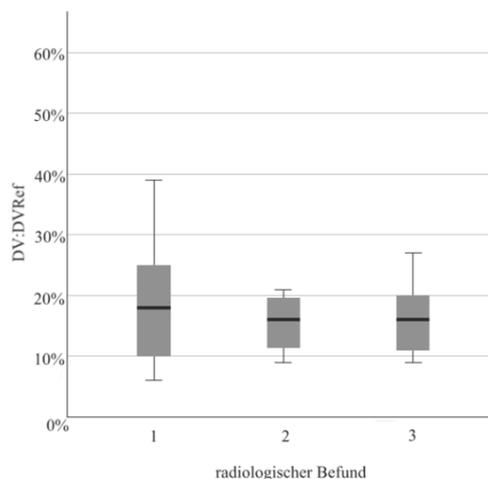


Abb. 18: Box-Plot der Gruppenverteilung der radiologischen Befunde über die Dichteverteilung (DV; angegeben in Grauwerten) der Aufhellung. Befund 1 beschreibt radiologische Befunde außerhalb des Fesselgelenks (FG), Befund 2

beschreibt radiologische Befunde im FG, aber ohne Beteiligung des Fesselbeins und Befund 3 beschreibt radiologische Befunde im FG mit Beteiligung des Fesselbeins.

4.3. Zusätzlich durchgeführte Tests

Um eventuelle anderweitige Zusammenhänge zwischen den Informationen über die Aufhellungen herauszufinden, wurden zusätzliche Tests durchgeführt.

Es wurde ein Mediantest bei unabhängigen Stichproben über die Kategorien der Nutzung (Tab. 2) durchgeführt. Auch hier zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Der Mediantest über lm:BA zeigte ein p-Wert von 0,740, über pd:BA zeigte eine Signifikanz von 0,931 und über die Dichteverteilung (DV:DVRef) von 0,969.

Um einen Zusammenhang zwischen Daten-Sets der zugehörigen Pferde zu prüfen, wurde die Pearson-Korrelation berechnet. Es wurde zuerst das Alter geprüft, ob ein Zusammenhang mit der lmA:BA, pdA:BA und DV:DVRef besteht. Dabei zeigte sich keine signifikante Korrelation (Tab. 11).

Tab. 11: Pearson-Korrelation vom Alter der den Aufnahmen zugehörigen Pferde zu den Werten vom Verhältnis der lateromedialen und proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (lmA:BA und pdA:BA) und dem Verhältnis von der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung und dem Referenzwert zur Dichteverteilung (DV:DVRef).

Angeführt sind der Korrelations-Koeffizient nach Pearson – r und die Signifikanz – p

		lmA:BA	pdA:BA	DV:DVRef
Alter	r	0,059	0,104	0,046
	p	0,714	0,525	0,778

Um einen Zusammenhang zwischen den Dimensionen der Aufhellung und der DV zu eruieren, wurde eine Pearson-Korrelation über den Dichteverlauf (DV:DVRef) und den lmA:BS und pdA:BS gemacht. Auch diese zeigte keine signifikante Korrelation.

Tab. 12: Pearson-Korrelation vom Verhältnis der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung, als Differenz der größten und der wenigsten Dichte innerhalb der Aufhellung, zum Referenzwert der Dichteverteilung ($DV:DVRef$) zu den Werten vom Verhältnis der lateromedialen und proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube ($lmA:BA$ und $pdA:BA$). Angeführt sind der Korrelations-Koeffizient nach Pearson – r und die Signifikanz – p

		<i>lmA:BA</i>	<i>pdA:BA</i>
<i>DV:DVRef</i>	r	0,092	0,217
	p	0,573	0,179

Es wurden Mediantests über die Gruppen der Lahmheitsgrade durchgeführt. Dabei zeigten die Gruppen über $lmA:BS$ mit einem p -Wert von 0,463 keinen signifikanten Unterschied. Auch über $pdA:BS$ ($p=4,54$) und $DV:DVRef$ ($p=0,152$) zeigte sich kein Unterschied zwischen den Gruppen der Lahmheitsgrade.

5. DISKUSSION

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Zusammenhang zwischen der Größe und der Dichteverteilung in der Region der subchondralen Knochenplatte distal der Sagittalgrube mit einer Lahmheit, radiologischen Befunden oder positiven diagnostischen Anästhesien im Fesselgelenk zu finden.

Die in der vorliegenden Studie analysierte Aufhellung des Knochens wird im Lehrbuch von Butler et al. (2017) als normale Anatomie im Fesselbein beschrieben. Bislang gibt es keine Studien, welche dies wissenschaftlich bestätigen. In diesem Zusammenhang kann diskutiert werden, dass die heute verwendeten digitalen Röntgentechniken deutlich weiterentwickelt sind als konventionelle Röntgenfilme. Wie eine Studie von Bindeus et al. (2002) zeigt, sind digitale Röntgenaufnahmen signifikant besser zu beurteilen. In der zitierten Studie wurden 12 Kniegelenks-Aufnahmen von Pferden von mehreren Personen subjektiv hinsichtlich des Kontrastes, der Knochenstruktur und des diagnostischen Nutzens untersucht. Es zeigte sich, dass diese drei Parameter bei digitalen Aufnahmen signifikant besser sind als bei konventionellen Aufnahmen. Somit könnte es durchaus sein, dass die in der vorliegenden Studie beschriebene Aufhellung auf früheren Röntgenfilmen weniger gut darstellbar war und es bis heute auch wenig Grund gab, sich genauer damit zu befassen.

In der vorliegenden Arbeit, wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen der Lahmheitsgrade und den gemessenen Werten der Dimension der Aufhellung ($lmA:BS$ und $pdA:BS$) und der Dichtespanne ($DV:DVRef$) innerhalb der Aufhellung gezeigt. Es muss dabei erwähnt werden, dass die Lahmheitsdiagnostik bei den vorhandenen Befunden von verschiedenen Tierärzten/innen durchgeführt wurde. Starke und Oosterlinck (2019) versuchten mittels 3D-Video-Animationen von Pferden, bei denen durch Animationen Asymmetrien im Gangbild erzeugt wurden, die Verlässlichkeit der visuellen Lahmheitsdiagnostik zu evaluieren. Diese Asymmetrien stellten sich als

Unterschiede in den Amplituden der Kopf- und Beckenbewegungen der Pferde dar und wurden den Probanden/innen mit Unterschieden zwischen 10% und 60% gezeigt. Diese konnten von Pferde- Praktikern/innen und Studenten/innen nicht immer genau erkannt werden. Lediglich 71% konnten Asymmetrien in der Vordergliedmaße und 53% konnten Asymmetrien in der Hintergliedmaße korrekt bestimmen. Dies bestätigt, dass die klassische klinische Lahmheitsdiagnostik unter Umständen aufgrund der Subjektivität der Beurteilenden stark variiert. Zudem zeigen sich bei vielen Pferden in der klinischen Praxis mehrere Lahmheiten gleichzeitig, was die Lahmheitsdiagnostik weiter erschwert. In der zuvor zitierten Studie handelte es sich um Lahmheiten einer einzelnen Extremität, trotzdem konnten wenige die Lahmheit richtig zuordnen. Dies zeigt wie herausfordernd eine visuelle Lahmheitsbeurteilung sein kann. Um somit die Ergebnisse objektiver zu gestalten, könnte in Betracht gezogen werden, die Kohorte mittels eines digitalen Systems, wie z.B. dem System EquiMotion, bezüglich ihres Gangbildes zu analysieren (Bosch et al. 2018).

Es wird beschrieben, dass Knochenzysten eine, abhängig von deren Stadium, sklerosierte Zone um die Zyste aufweisen (Rechenberg et al. 1998). In Bezug zu den in der vorliegenden Studie beschriebenen Aufhellungen konnte dies in keinem Fall radiologisch erkannt werden. Zudem konnten in der vorliegenden Studie in jedem Alter von einem Jahr bis 25 Jahren diese Aufhellungen dargestellt werden und deren Erscheinungsbild unterschied sich nicht wesentlich. Dies kann auch ein Hinweis dafür sein, dass es sich hierbei nicht um eine klassische Knochenzyste als OCL handelt oder damit zusammenhängt. Es wäre zu erwarten, wenn eine sklerosierte Zone vorhanden wäre, dass das Verhältnis der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung zum Referenzwert der Dichteverteilung, gemessen im Bereich des Fesselgelenkes im proximalen Fesselbein, ($DV:DV_{Ref}$) deutlich größer ist. Jedoch wurde beim Untersuchen von Zysten des Femorotibialgelenkes unter anderem gezeigt, dass in mehr als zwei Drittel der untersuchten Gelenke, keine Sklerosierungszone nachgewiesen werden konnte (Jeffcott und Kold 1982). Eben zitierte Studie, wirft die Frage auf,

ob dies auch in der vorliegenden Studie der Fall sein könnte, wobei aber bedacht werden muss, dass die Kondylen des Femurs eine viel größere Knochenmasse haben als das Fesselbein. Dies kann ein Grund dafür sein, dass jene Sklerosierungszonen von Zysten im Femorotibialgelenk nicht eindeutig darstellbar sind und wahrscheinlich im Fesselbein durch dessen geringere Masse gezeigt werden könnte.

Die 40 untersuchten Röntgenaufnahmen wurden stichprobenartig ausgewählt. Häufig ist der Grund für Röntgenaufnahmen des proximalen Fesselbeins die Abklärung einer Lahmheit. In vorliegender Studie konnte kein Zusammenhang zwischen einer klinischen Lahmheit oder eines radiologischen Befundes und dem Erscheinungsbild der Knochenaufhellung nachgewiesen werden. In einer retrospektiven Studie von Miyakoshi et al. (2017) wurden die Zusammenhänge von Auffälligkeiten in Röntgenaufnahmen, wie z.B. Osteophyten, von Rennpferden mit einer späteren Untauglichkeit zur sportlichen Nutzung untersucht. Dort konnte nicht untersucht werden, ob diese Auffälligkeiten auch der Grund für das spätere sportliche Versagen darstellen. Es kann nun diskutiert werden, ob die in der vorliegenden Studie beschriebenen Aufhellungen ein Faktor für späteren Ausfälle in der sportlichen Karriere eines Pferdes sein könnten.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie konnten nicht zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen dem anamnestisch angegebenen Verwendungszweck der Pferde und den Dimensionen bzw. der Dichtespanne der Aufhellung gibt, obwohl die Ergebnisse zeigen, dass die Fesselbeine durchaus unterschiedliche Dichten hatten. Wie bei Noble et al. (2016) nachgewiesen, gibt es volumetrische Mineraleichteunterschiede in den Fesselbeinen von unterschiedlich trainierten Tieren. Es zeigte sich, dass die Mineralknochendichte der subchondralen Knochenplatte im Bereich der Sagittalgrube bei Pferden, welche für Rennen trainiert wurden, relativ höher war als bei untrainierten Pferden (Noble et al. 2016). In einer weiteren Studie wurden zwei Gruppen von Pferden untersucht. Gruppe 1 wurde nicht trainiert und Gruppe 2 wurde auf ein Distanz-Rennen

vorbereitet. Dort zeigte sich, dass die trainierten Pferde deutliche Unterschiede in der Dicke des kortikalen Knochens und dessen Dichte (Rajão et al. 2019) hatten. Nun wäre es interessant, ob sich das Verhältnis zwischen der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung und dem Referenzintervall der Dichteverteilung (DV:DVRef) bei unterschiedlichen Trainingsintensitäten verändert. Um dies genauer nachvollziehen zu können, könnte eine speziellere Form der Knochendichteanalyse herangezogen werden. Es wäre interessant, diese Aufhellung mit einer Methode wie z.B. von Bowen et al. (2013) zu analysieren. Sie entwickelten einen Brightness/Darkness-Index (BDI). Damit könnte die Knochendichte im Zuge der Röntgenuntersuchung nicht invasiv gemessen werden und verschiedene Aufnahmen, welche unter verschiedenen Bedingungen angefertigt wurden, direkt verglichen werden.

Da jede Aufnahme von einem anderen Pferd stammt und jede Röntgenaufnahme eine Momentaufnahme darstellt, wäre es durchaus interessant, Aufnahmen in einem Jahresintervall zu wiederholen und zu vergleichen. Dadurch könnte präziser evaluiert werden, ob die Dimensionen und die Dichteverteilung der Aufhellung sich im Laufe der Zeit verändern. Somit könnte auch die Relevanz in Bezug zu späteren Pathologien, insbesondere von zystoiden Defekten und Fesselbeinfrakturen im Fesselbein besser untersucht werden. Trotzdem kann mit vorliegenden Daten durchaus eine Aussage über den Zusammenhang von Alter und der Dimensionen der Aufhellung und der Dichtespanne, Verhältnis von Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung und dem Referenzwert für die Dichteverteilung, getroffen werden, da die Spanne des Alters der Pferde zwischen 1 und 25 Jahren liegt. Wie in einer Studie von Turley et al. (2014) über Mikroläsionen in der subchondralen Knochenplatte bewiesen wurde, erhöhen sich diese Mikroläsionen bei Rennpferden progressiv mit zunehmendem Alter, was bis zu einem schweren Zerfall des subchondralen Knochens führen kann. Diese Mikroläsionen wurden sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch an Knochenpräparaten von euthanasierten Pferden gezeigt. Im Gegensatz zu zitierter Studie, konnte in der vorliegenden Arbeit, kein signifikanter Zusammenhang

zwischen dem Alter der untersuchten Pferde und der Größe, relativ zur BS, der Aufhellung bzw. der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung gezeigt werden.

In einer 2 Jahre andauernden Studie wurden Verletzungen von Rennpferden untersucht, wobei die zweithäufigste Verletzung Frakturen des Fesselbeins waren und Stressfrakturen der Tibia als häufigste beschrieben werden (Ramzan und Palmer 2011). Bei einer vorhergehenden Studie von Ellis et al. (1987) wurden parasagittale Frakturen im proximalen Fesselbein als häufigste Variante dieser Frakturen beschrieben. In einer späteren Studie wurde auf die parasagittalen Frakturen eingegangen, wobei die häufigste, die lange, durchgehende, parasagittale Fraktur darstellte (Smith und Wright 2014b). In Bezug auf die vorliegende Studie ist interessant, dass diese sehr häufige Fraktur, durch die beschriebene Fesselbein Aufhellung verläuft. In einer weiteren Veröffentlichung beschäftigten sich Smith und Wright (2014a) damit, ob zusätzliche radiologische Veränderungen der proximalen subchondralen Knochenplatte bei Pferden mit Parasagittalfrakturen des Fesselbeines vorliegen. Die Autoren konnten zeigen, dass die subchondrale Knochenplatte des betroffenen Knochens im Bereich der Sagittalgrube signifikant dicker ist als an der kontralateralen Extremität. Nun wäre es zu diskutieren, ob ein höherer Wert von $DV:DV_{Ref}$, als Verhältnis zwischen der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung zum Referenzwert der Dichteverteilung, gemessen im Bereich des Fesselgelenks des proximalen Fesselbeins, $DV:DV_{Ref}$ prädisponierend für eine Sagittalfaktur sein könnte, da jener Wert sich verändert wenn die Dichte im subchondralen Knochen des proximalen Fesselbeins steigt. Es wäre interessant den Zusammenhang zwischen diesen Aufhellungen und Frakturen des Fesselbeins zu untersuchen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die beiden Hypothesen, welche in dieser Arbeit geprüft worden sind, nicht bewiesen werden konnten. Somit konnte im Zuge der vorliegenden Studie die Beschreibung der Aufhellung im Fesselbein als Teil des physiologischen Fesselbeins, wie in Butler et al. (2017) genannt, statistisch unterstützt werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Fesselgelenkserkrankungen können das Ende eines sportlichen Einsatzes bei Pferden bedeuten. Bei röntgenologischen Untersuchungen ist häufig eine distal der subchondralen Knochenplatte der Sagittalgrube gelegene Aufhellung zu finden. Diese wird in dieser Arbeit analysiert und mit radiologischen Befunden, Lahmheiten, Nutzung und Alter korreliert. Für diese retrospektive Analyse wurden 40 Aufnahmen ausgewählt. Es wurden Röntgenaufnahmen von Pferden, welche zwischen einem und 25 Jahren alt waren, untersucht. Die Daten zum jeweils zugehörigen Pferd wurden erfasst und dementsprechend verarbeitet. Nachdem die Breite der Sagittalgrube als Referenz für die Längenmessungen erhoben wurde, sowie die geringste Dichte innerhalb der Röntgenaufnahme, die höchste Dichte im Fesselbein im Bereich des Fesselgelenks und deren Differenz als Dichteverteilung erhoben und als Referenzwerte für das jeweilige Bild festgelegt wurden, wurde die zu diskutierende Aufhellung vermessen und analysiert. Dafür wurde die geringste und die höchste Dichte innerhalb der Aufhellung und deren Differenz als Dichteverteilung gemessen. Zusätzlich wurde auch die *lateromediale* und *proximodistale* Ausdehnung gemessen. Nachdem die gemessenen Werte mit den Referenzwerten ins Verhältnis gesetzt wurden, wurden diese gemeinsam mit den erhobenen Daten statistisch analysiert. Das Ergebnis zeigte, dass es keinerlei Korrelation zwischen den Lahmheiten, radiologischen Befunden, Nutzung und Alter und den Dimensionen und Dichteverteilungen der Aufhellungen gab. Somit unterstützt die vorliegende Arbeit, die aus der Fachliteratur gewonnene Information, dass es sich bei dieser Aufhellung um eine normale anatomische Variante des Fesselbeins handelt. Um konkrete Erkenntnisse über die Entwicklung und Bedeutung dieser Aufhellung zu bekommen, müssten weitere Studien durchgeführt werden.

6.1. Summary

The regular use of a horse can be affected by a variety of pathologies and injuries of the metacarpophalangeal and metatarsophalangeal joints are frequently seen in various settings and can be detrimental for the further development and ultimately also the sporting career. Radiological examinations often show a characteristic radiolucent area within the first phalanx distal to the subchondral bone of the sagittal groove. This specific entity is investigated in detail within this diploma thesis, specifically 40 radiographs were correlated retrospectively with lameness, age and regular activities of the horses. Relevant data were collected and evaluated for horses between 1 and 25 years of age. Within the radiograph, the areas of lowest and the highest densities were used to calibrate the radiographs for comparisons between radiographs, and ultimately to map and characterize the mentioned radiolucent area distal to the subchondral bone with regards to density and dimension (*lateromedial* width and *proximodistal* length). Statistical evaluation of these data did not show any significant correlation between radiological findings, dimension, density allocation of radiolucent area and the age and regular activities of the horses. Thereby this diploma thesis supports evidence from literature that areas of lower radiological density within the first phalanx are a regular anatomical variation seen in horses, without obvious pathological relevance. Additional studies are needed to describe further details regarding development and potential significance of this radiolucent area within the first phalanx.

7. LITERATURVERZEICHNIS

- Tatarniuk D, Trumble T, Baxter GM. 2020. Lameness in the Young Horse. In: Baxter GM Hrsg. Adams and Stashak's Lameness in Horses. Seventh edition. Hoboken NJ: Wiley Blackwell, 1033–1090.
- Bindeus T, Vrba S, Gabler C, Rand T, Stanek C. 2002. Comparison of computed radiography and conventional film-screen Radiography of the equine stifle. *Veterinary Radiology & Ultrasound*: 43(5):455–460. DOI 10.1111/j.1740-8261.2002.tb01033.x.
- Bosch S, Serra Bragança F, Marin-Perianu M, Marin-Perianu R, van der Zwaag BJ, Voskamp J, Back W, van Weeren R, Havinga P. 2018. EquiMoves: A Wireless Networked Inertial Measurement System for Objective Examination of Horse Gait. *Sensors*, 18(3):850. DOI 10.3390/s18030850.
- Bowen AJ, Burd MA, Craig JJ, Craig M. 2013. Radiographic Calibration for Analysis of Bone Mineral Density of the Equine Third Metacarpal Bone. *Journal of Equine Veterinary Science*, 33(12):1131–1135. DOI 10.1016/j.jevs.2013.04.016.
- Brehm W, Burk J, Delling U, Jenny H, Köhler M, Litzke L-F, Novak M, Rijkhuizen A, Schusser GF, Tietje S, Troillet A. 2016. Krankheiten des Bewegungsapparats. In: Brehm W, Gehlen H, Ohnesorge B, Wehrend A, Hrsg. *Handbuch Pferdepraxis*. Vierte., Auflage. Stuttgart: Enke Verlag, 849–1107.
- Budras K-D. 2014. Schultergliedmaße. In: Budras K-D. *Atlas der Anatomie des Pferdes*. Siebte Auflage. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft, 22–55.
- Butler JA, Colles CM, Dyson SJ, Kold SE, Poulos PW. 2017. *Clinical radiology of the horse*. Fourth edition. Chichester, West Sussex: Wiley Blackwell.
- Dierks C, Komm K, Lampe V, Distl O. 2010. Fine mapping of a quantitative trait locus for osteochondrosis on horse chromosome 2. *Animal genetics*, 41 Suppl 2:87–90. DOI 10.1111/j.1365-2052.2010.02113.x.
- Ellis DR, Simpson DJ, Greenwood RE, Crowhurst JS. 1987. Observations and

management of fractures of the proximal phalanx in young Thoroughbreds. *Equine Veterinary Journal*, 19(1):43–49. DOI 10.1111/j.2042-3306.1987.tb02579.x.

ImageJ, Image Processing and Analysis in Java : <https://imagej.nih.gov/ij/index.html>
(Zugriff 14.07.2021)

Jeffcott LB, Kold SE. 1982. Clinical and radiological aspects of stifle bone cysts in the horse. *Equine Veterinary Journal*, 14(1):40–46. DOI 10.1111/j.2042-3306.1982.tb02333.x.

Kawcak CE, Barrett MF. 2016. Fetlock. In : McIlwraith CW, Frisbie DD, Kawcak CE, van Weeren R, MacIlwraith CW, van Weeren PR, Hrsg. 2016. *Joint Disease in the Horse*. Second edition. St. Louis, Missouri: Elsevier: 302–317.

Liebich H-G, König HE, Mairl J, Hinter- oder Beckengliedmaßen (Membrana pelvina). In: König HE, Liebich H-G, Aurich C. 2015. *Anatomie der Haussäugetiere*. Sechste Auflage. Stuttgart: Schattauer: 221–286.

Loughridge AB, Hess AM, Parkin TD, Kawcak CE. 2017. Qualitative assessment of bone density at the distal articulating surface of the third metacarpal in Thoroughbred racehorses with and without condylar fracture. *Equine Veterinary Journal*, 49(2):172–177. DOI 10.1111/evj.12544.

Lüllmann-Rauch R, Paulsen F. 2012. *Taschenlehrbuch Histologie*. Vierte Auflage. Stuttgart: Thieme.

Miyakoshi D, Senba H, Shikichi M, Maeda M, Shibata R, Misumi K. 2017. A retrospective study of radiographic abnormalities in the repositories for Thoroughbreds at yearling sales in Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, 79(11):1807–1814. DOI 10.1292/jvms.16-0425.

Moshage S, McCoy A, Vining R, Polk J, Kersh M. 2019. Structural changes in equine proximal phalanx during growth. *Journal of Equine Veterinary Science*, 76: 52–53. DOI 10.1016/j.jevs.2019.03.047.

- Nickel R, Schummer A, Seiferle E, Frewein J, Augsburg H, Hrsg. 2004. *Bewegungsapparat*. Achte Aufl. Stuttgart: Parey.
- Noble P, Singer ER, Jeffery NS. 2016. Does subchondral bone of the equine proximal phalanx adapt to race training? *Journal of Anatomy*, 229(1):104–113. DOI 10.1111/joa.12478.
- Olstad K, Ekman S, Carlson CS. 2015. An Update on the Pathogenesis of Osteochondrosis. *Veterinary Pathology*, 52(5):785–802. DOI 10.1177/0300985815588778.
- Olstad K, Østevik L, Carlson CS, Ekman S. 2015. Osteochondrosis Can Lead to Formation of Pseudocysts and True Cysts in the Subchondral Bone of Horses. *Veterinary Pathology*, 52(5):862–872. DOI 10.1177/0300985814559399.
- Ortved KF. 2017. Surgical Management of Osteochondrosis in Foals. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 33(2):379–396. DOI 10.1016/j.cveq.2017.03.010.
- Rajão MD, Leite CS, Nogueira K, Godoy RF, Lima EMM. 2019. The bone response in endurance long distance horse. *Open Veterinary Journal*, 9(1):58–64. DOI 10.4314/ovj.v9i1.11.
- Ramzan PHL, Palmer L. 2011. Musculoskeletal injuries in Thoroughbred racehorses: a study of three large training yards in Newmarket, UK (2005-2007). *Veterinary Journal*, 187(3):325–329. DOI 10.1016/j.tvjl.2009.12.019.
- Rechenberg B von, McIlwraith CW, Auer JA. 1998. Cystic Bone Lesions in Horses and Humans: A Comparative Review. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 11(01):8–18. DOI 10.1055/s-0038-1632602.
- Ruggles AJ. 2011. The Proximal and Middle Phalanges and Proximal Interphalangeal Joint. In: Ross MW, Dyson SJ Hrsg. *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse*: Elsevier, 387–393.
- Santschi EM. 2008. Articular fetlock injuries in exercising horses. *The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice*, 24(1):117–132. DOI

- 10.1016/j.cveq.2007.11.011.
- Schieder K. 2015. Kompendium für röntgenologische Untersuchungen am stehenden Pferd. Zweite Auflage. [Print] Veterinärmedizinische Universität Wien
- Sherlock C, Mair T. 2011. Osseous cyst-like lesions/subchondral bone cysts of the phalanges. *Equine Veterinary Education*, 23(4):191–204. DOI 10.1111/j.2042-3292.2010.00222.x.
- Smith MRW, Wright IM. 2014a. Are there radiologically identifiable prodromal changes in Thoroughbred racehorses with parasagittal fractures of the proximal phalanx? *Equine Veterinary Journal*, 46(1):88–91. DOI 10.1111/evj.12093.
- Smith MRW, Wright IM. 2014b. Radiographic configuration and healing of 121 fractures of the proximal phalanx in 120 Thoroughbred racehorses (2007-2011). *Equine Veterinary Journal*, 46(1):81–87. DOI 10.1111/evj.12094.
- Starke SD, Oosterlinck M. 2019. Reliability of equine visual lameness classification as a function of expertise, lameness severity and rater confidence. *The Veterinary Record*, 184(2):63. DOI 10.1136/vr.105058.
- Thrall DE, Widmer WR. 2013. Radiation Protection and Physics of Diagnostic Radiology. In: Thrall DE, Hrsg. *Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology*. 6th ed. St. Louis, Mo. 2–21
- Turley SM, Thambyah A, Riggs CM, Firth EC, Broom ND. 2014. Microstructural changes in cartilage and bone related to repetitive overloading in an equine athlete model. *Journal of Anatomy*, 224(6):647–658.
- Wicke L. 2009. *Atlas der Röntgenanatomie*. Achte Aufl. München: Elsevier Urban & Fischer.
- Wissdorf H, Otto B, Geburek F, Fürst A, Hertsch B, Keller H, Stadtbäumer G. Fesselgelenkbereich, Fesselkopf. 2010. In: Wissdorf H, Bartmann CP. *Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes*. Dritte Aufl. Hannover: M. & H. Schaper, 416–438.
- Young BD, Samii VF, Mattoon JS, Weisbrode SE, Bertone AL. 2007. Subchondral bone density and cartilage degeneration patterns in osteoarthritic metacarpal

condyles of horses. *American Journal of Veterinary Research*, 68(8):841–849.
DOI 10.2460/ajvr.68.8.841.

Ytrehus B, Carlson CS, Ekman S. 2007. Etiology and pathogenesis of osteochondrosis.
Veterinary Pathology, 44(4):429–448. DOI 10.1354/vp.44-4-429.

8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Skelettanteile des Fesselgelenks einer linken Zehe.....	4
Abb. 2: Anlage des Röhrenknochens.....	5
Abb. 3: Kleine „Stress“-Fraktur des Fesselbeins in die Sagittalgrube.....	9
Abb. 4: Sagittalverlaufende Fraktur, welche bis über die Hälfte des Fesselbeins reicht.....	10
Abb. 5: Aufnahme eines Fesselgelenks mit Osteochondrose des Metacarpus.....	11
Abb. 6: Dorso-palmare Aufnahme des Fesselbeins.....	15
Abb. 7: Darstellung der Linien zur Ausmessung.....	16
Abb. 8: Plot Profile der Grauwerte der tangential an Sagittalgrube gelegten Linie	17
Abb. 9: Plot Profile der Grauwerte der Linie in der subchondralen Knochenplatte.....	17
Abb. 10: Plotprofile der Strecke neben der Seitenmarkierung.....	18
Abb. 11: Plot Profile der Grauwerte der Messlinie der lmA (lateromediale Ausdehnung) der Aufhellung.....	19
Abb. 12: Plot Profile der Grauwerte der pdA (proximodistalen) der Aufhellung.....	19
Abb. 13: Radiologische Befunde der Röntgenaufnahmen des Fesselgelenks als Kreisdiagramm	22
Abb. 14: Histogramm der gemessenen Werte der Breiten der Sagittalgruben	25
Abb. 15: Boxplot der Verhältnisse zwischen lateromedialer Ausdehnung der Aufhellung (lmA) und der Breite der Sagittalgrube (BS)	25
Abb. 16: Boxplots von der Dichteverteilung (DV).....	26
Abb. 17: Boxplot der Gruppenverteilung der Verhältnisse von der lateromedialen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (lmA:BA) und dem Verhältnis der proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (pdA:BA; in Prozent)	28
Abb. 18: Box-Plot der Gruppenverteilung der radiologischen Befunde über die Dichteverteilung	28

9. TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Kategorisierung der Rassen der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden. Kursiv in dritter Spalte aufgezählt, welche Rassen zusammengefasst wurden.	12
Tab. 2: Kategorisierung der Nutzung der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden. Kursiv in dritter Spalte aufgezählt, welche Nutzungsformen zusammengefasst wurden.	13
Tab. 3: Kategorisierung des Geschlechts der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden ..	13
Tab. 4: Kategorisierung der diagnostizierten Lahmheiten an jener Extremität, von welcher die Aufnahmen verwendet wurden.....	13
Tab. 5: Kategorisierung der Extremität der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden.....	13
Tab. 6: Kategorisierung der positiven diagnostischen Anästhesien der Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden.....	14
Tab. 7: Kategorisierung der radiologischen Befunde des Fesselgelenks jener Pferde, deren Aufnahmen verwendet wurden.....	14
Tab. 8: Berechnete Daten der 40 Röntgenaufnahmen	23
Tab. 9: Tabelle über die p-Werte der Modelle 1-3 über Kategorie 1 und Kategorie 3.....	27
Tab. 10: Tabelle über die p-Werte der Modelle 1-3 über die Kategorien 1 und Kategorie 2 ..	27
Tab. 11: Pearson-Korrelation vom Alter der den Aufnahmen zugehörigen Pferde zu den Werten vom Verhältnis der lateromedialen und proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (ImA:BA und pdA:BA) und dem Verhältnis von der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung und dem Referenzwert zur Dichteverteilung (DV:DVRef).	29
Tab. 12: Pearson-Korrelation vom Verhältnis der Dichteverteilung innerhalb der Aufhellung, als Differenz der größten und der wenigsten Dichte innerhalb der Aufhellung, zum Referenzwert der Dichteverteilung (DV:DVRef) zu den Werten vom Verhältnis der lateromedialen und proximodistalen Ausdehnung der Aufhellung zur Breite der Sagittalgrube (ImA:BA und pdA:BA)	30
Tab. 13: Tabelle über alle erhobenen und gemessenen Daten der Pferde, dessen Röntgenbilder analysiert wurden und der jeweiligen Aufhellung.....	45

10. ANHANG

Tab. 13: Tabelle über alle erhobenen und gemessenen Daten der Pferde, dessen Röntgenbilder analysiert wurden und der jeweiligen Aufhellung. Angegeben sind zur jeweiligen Aufnahmenummer (Aufnahme Nr.) das Alter (in Jahren), Geschlecht (gegliedert in 1=Stute, 2=Wallach, 3=Hengst), Nutzung (1=Freizeitpferd, 2=Sportpferd, 3=Jungpferd/Fohlen, 4=Rennpferd), Lahmheit (gegliedert ist 1=keine Lahmheit, 2=1/5 lahm, 3= 2/5 lahm, 4= 3/5 lahm, 5= 4/5 lahm, 6 = 5/5 lahm) , diagnostischen Anästhesie (DA, gegliedert in 1= diagnostische Anästhesie beweist, dass der Grund der Lahmheit nicht im Fesselgelenk liegt; 2= diagnostische Anästhesie kann beweisend für eine Lahmheit sein, dessen Grund im Fesselgelenk liegt, 3= diagnostische Anästhesie ist beweisend für einen Befund im Fesselgelenk, da eine intraartikuläre Anästhesie durchgeführt wurde), radiologischer Befund (RadBefund; 1= Befund liegt nicht im Fesselgelenk, 2=Befund liegt im Fesselgelenk, aber ohne Beteiligung des Fesselbeins, 3= Diagnose ist im Fesselgelenk, mit Beteiligung des Fesselbeins), Breite der Sagittalgrube (BS in mm), lateromediale Ausdehnung (ImA in mm) und proximodistale Ausdehnung (pdA in mm) der Aufhellung, der Referenzwert für die höchste Dichte (hDRef in Grauwerten) und für die geringste Dichte (IDRef in Grauwerten), die höchste (hD in Grauwerten) und geringste (ID in Grauwerten) Dichte innerhalb der Aufhellung, die Dichtespanne (DV in Grauwerten) innerhalb der Aufhellung als Differenz von hD und ID, der Referenzintervall der Dichteverteilung (DVRef in Grauwerten) als Differenz zwischen hDRef und IDRef und das Verhältnis zwischen DV und DVRef (DV:DVRef). *Die Grauwerte liegen innerhalb einer Gesamtspanne von 0-1022*

<i>A.Nr.:</i>	<i>Alter</i>	<i>Geschlecht</i>	<i>Nutzung</i>	<i>Lahmheit</i>	<i>DA</i>	<i>RadBefund</i>	<i>Extremität</i>	<i>BS</i>	<i>ImA</i>	<i>pdA</i>	<i>hDRef</i>	<i>IDRef</i>	<i>hD</i>	<i>ID</i>	<i>DV</i>	<i>DVRef</i>	<i>DV:DVRef</i>
1	15	2	2			2	1	25,2	5,4	15,3	277	1014	528	660	132	737	18%
2	11	2	2	3	1	1	2	26,7	9,6	21,2	390	987	623	857	234	597	39%
3	17	1	2	2		1	2	20,7	5,4	18,9	352	1015	660	826	167	663	25%
4	12	2	2	2		1	2	22,4	3,6	31,1	444	1015	704	847	142	570	25%
5	1	1	3	5		3	2	24,8	12,0	24,8	364	1013	643	798	156	650	24%
6	24	2	1	2		3	1	26,7	14,3	18,2	307	1018	440	631	191	712	27%
7	14	2	1	3	1	1	1	25,4	10,5	16,1	329	1011	689	822	133	683	19%
8	14	2	1			2	2	25,5	6,8	20,9	368	1012	692	828	136	644	21%
9	15	2	2	3		3	2	21,6	13,2	20,7	350	1014	549	662	113	664	17%
10	15	2	2	3	2	3	2	24,6	6,8	26,3	391	1007	556	676	120	615	19%
11	3	1	4	2		3	1	16,4	7,2	14,6	382	978	538	619	82	596	14%
12	15	1	2	3	2	1	1	16,8	9,9	19,3	348	1011	480	644	164	663	25%
13	3	3	4	1		3	2	22,1	8,6	19,2	346	968	482	570	88	622	14%
14	17	1	1	3	1	1	2	21,0	3,8	20,4	381	983	482	550	68	602	11%

15	18	2	2	3	1	3	2	28,7	7,7	19,7	370	980	503	567	64	610	10%
16	10	2	1	2		3	2	21,6	3,8	28,8	378	957	500	593	93	579	16%
17	20	1	1	4		1	2	24,5	7,5	19,7	330	1001	432	545	113	671	17%
18	12	2	2	3	2	1	2	23,1	12,5	7,2	80	1022	193	251	58	942	6%
19	12	2	2			1	2	23,1	11,6	22,2	329	971	417	474	58	642	9%
20	13	1	2			1	2	23,3	6,9	19,8	362	974	505	561	57	612	9%
21	13	1	2				2	25,2	5,4	13,5	380	976	520	589	69	596	12%
22	20	2	2	2	2	3	2	23,4	11,3	19,8	384	870	477	535	58	486	12%
23	13	1	1	3	2	3	2	19,8	5,0	20,6	377	870	466	515	49	493	10%
24	15	2	2	4		2	1	20,7	11,0	27,8	364	964	459	513	54	600	9%
25	1	2	3	4		3	2	29,0	7,2	23,7	392	964	465	550	85	572	15%
26	9	2	2	3	2	3	1	22,2	9,3	21,2	430	953	488	590	102	523	19%
27	9	1	2	2		2	1	24,8	13,4	23,1	375	978	487	572	85	603	14%
28	9	1	2	2		3	1	24,2	15,5	23,9	379	976	269	573	304	597	51%
29	2	1	3	3		3	1	25,2	6,2	20,4	368	964	456	560	104	596	17%
30	2	1	3			3	1	23,9	8,0	17,1	369	976	442	539	96	607	16%
31	11	1	2			1	1	25,5	7,8	15,6	383	858	456	503	47	475	10%
32	17	1	1	4	3	3	1	21,3	9,3	26,0	352	968	464	528	64	616	10%
33	7	1	1			3	1	23,1	5,6	19,1	382	982	495	554	59	600	10%
34	16	2	1			3	1	18,3	7,1	20,0	357	870	408	455	47	513	9%
35	3	1	2				1	27,9	7,8	22,2	389	968	502	548	46	579	8%
36	3	1	2				1	28,1	9,0	23,0	388	964	480	522	42	576	7%
37	10	1	2	3	3	3	1	21,9	6,2	16,8	325	967	616	783	167	642	26%
38	25	2	1			3	1	27,6	9,2	22,5	321	1034	605	754	149	713	21%
39	6	1	4	3	2	1	1	23,7	6,9	13,7	484	1000	717	825	108	516	21%
40	10	3	2			1	1	24,9	6,8	22,8	344	960	611	705	93	616	15%
MEDIAN	12	1,5	2	3	2	3	1	23,8	7,73	20,4	368,38	976,93	492	572	93	605	16%
MIN	1	1	1	1	1	1	1	16,4	3,6	7,2	79,84	857,59	193	251	42	475	6%
MAX	25	3	4	5	3	3	2	29,0	15,5	31,05	483,66	1034,00	717	857	304	942	51%

11. DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Diplomarbeitsbetreuerin Theresia Licka bedanken, welche viel Geduld mit mir hatte. Sie unterstützte mich in allen Belangen der Diplomarbeit und motivierte mich stets mit erheiternden Worten.

Weiters gilt mein Dank meinen Arbeitgebern Ingrid und Barbara Brada und dem restlichen Praxisteam, die mir die letzten 2 Jahre meines Studiums immer mit motivierenden Worten zur Seite standen und mich immer unterstützten. Ohne ihre Flexibilität wären diese nicht so unkompliziert gewesen.

Auch möchte ich meinen Freunden ein Dankeschön aussprechen, die mich durch alle Höhen und Tiefen meines Studiums begleitet haben und ich immer Rückhalt bekommen habe. Sie haben mir immer zugehört und mir oftmals wieder ein Lächeln ins Gesicht gezaubert.

Aber meinen allergrößten Dank gilt meinen Eltern, Hanno und Elisabeth Metzler, die mich mein Leben lang, egal welchen Weg ich einschlug, unterstützen und immer hinter mir standen. Trotz der großen Entfernung stehen sie mir immer mit Rat und Tat zur Seite.

DANKE!