

Aus der Klinik für Pferdechirurgie
Der Veterinärmedizinischen Universität Wien
(Leitung: Univ. Prof. Dr. Florian Jenner)

Röntgenologische Untersuchungen von Dichteverläufen innerhalb des Hufbeines mit und ohne *Crena marginis* *solearis* von Vorderextremitäten adulter Pferde

Diplomarbeit
Veterinärmedizinische Universität Wien

Vorgelegt von
Lisa Ennsmann

Wien, Februar 2020

Betreuerin

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Theresia Licka, Dipl. ACVSMR

Gutachter

Ao.Univ.-Prof. Dr.med.vet. Heinz Buchner

Gewidmet,
in ewiger Dankbarkeit an meinen lieben
verstorbenen Freund, Peter

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	5
2. Literaturübersicht	6
2.1. Hornkapsel	6
2.2. Hufbein	9
2.3. Hufbeinträger	12
2.4. Hufmechanismus	13
2.5. Knochendichte	15
2.6. Radiologie	18
3. Material und Methode	20
3.1. Material	20
3.2. Methode	26
3.2.1. Dichteveränderungen entlang einer proximodistalen Linie durch die Crena marginis solearis	30
3.2.2. Dichteveränderungen entlang einer mediolateralen Linie im Bereich der Crena marginalis solearis	33
3.2.3. Statistik	37
4. Ergebnisse	41
4.1. Dichteveränderungen entlang einer proximodistalen Linie durch die Crena marginis solearis	41
4.2. Dichteveränderungen entlang einer mediolateralen Linie im Bereich der Crena marginis solearis	43
5. Diskussion	48
6. Zusammenfassung	53
7. Summary	54
8. Literaturverzeichnis	56
9. Danksagung	59

1. Einleitung

Der Tragrand des Hufbeines eines Pferdes zieht in seiner Achse die Tragrandkerbe ein. Diese wird Crena marginis solearis genannt und stellt eine anatomische Struktur dar (König und Liebich 2015). Die Crena variiert in der Ausprägung und Größe stark zwischen den Hufbeinen unterschiedlicher Pferde. Das Fehlen oder Vorhandensein einer Crena Marginis solerais ist als anatomische Varianz zu deuten (König und Liebich 2015). Die Diagnose einer vorhandenen Crena marginis solearis am Margo solearis des Hufbeines, wird mit Hilfe der Röntgendiagnostik gestellt. Über die Entstehung der Tragrandkerbe wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Die Theorie, dass die Crena Marginis solearis ein Rudiment eines paarhufigen Vorfahren des Pferdes sei, stellte Andrea Beckstett 2011 auf. Eine Röntgenstudie von Hufbeinen von einem Tag bis zwölf Monate alten Fohlen zeigt, dass sich die Crena zwischen zwei und 12 Monaten bildet (Smallwood 2005). Auch nach einem Bezug zwischen einer Lahmheit und einer vorhandenen Crena ist gesucht worden. Lancaster forschte, ob die Crena Marginis solearis ein Indikator für eine vorhandene Lahmheit sein kann (Lancaster 2013).

Es konnte jedoch bis jetzt weder ein Bezug von der Größe der Crena zur Gesundheit des Pferdes festgestellt werden, noch ob sich die Bildung dieser durch äußere Einflüsse begünstigt. Aufgrund der fehlenden Informationen über die Anatomie der Crena marginis solearis und für ein besseres Verständnis über die Entstehung dieser, wurden die Ergebnisse dieser Studie analysiert und interpretiert.

Ziel dieser Arbeit ist es, durch röntgenologische Untersuchungen des Hufbeines, Eigenschaften der Crena marginis solearis darzustellen. Mit Hilfe von Messungen der Röntgenbilder, konnten anhand von Grauwerten innerhalb des Hufbeines und des Hornschuhs, Dichtewerte gesammelt und verarbeitet werden.

In dieser Arbeit werden zwei Hypothesen aufgestellt.

Die erste Hypothese der vorliegenden Arbeit besagt, dass der Dichteunterschied zwischen dem proximopalmarsten Punkt der Crena marginalis solearis und dem Hornschuh signifikant geringer ist als jener Dichteunterschied zwischen dem Margo solearis ohne Crena und dem Hornschuh. Die zweite Hypothese besagt, dass die Dichte am proximopalmarsten Punkt auf einer mediolateralen Linie über der Crena marginis solearis signifikant geringer ist, als jene Dichte medial und lateral von diesem und dass sich die Dichte entlang einer mediolateralen Linie über dem Margo solearis ohne vorhandenen Crena annähernd konstant verhält.

2. Literaturübersicht

2.1.Hornkapsel

Der Hornschuh weist eine charakteristische Form für die jeweiligen Vorder- und Hinterhufe auf. Diese Form entwickelt sich im Zuge der Belastung in den ersten Lebensmonaten eines Fohlens. Die Hufform bei einem ausgewachsenen Pferd ist bei den vorderen Hufen eher rundlich bis kreisförmig und der Zehenrückenwinkel beträgt 45- 50%. Die Form eines hinteren Hufes ist längsoval und der Zehenrückenwinkel beträgt 50-55 % (König und Liebich 2015).

Die Hufkapsel, bestehend aus einer Hufhaut, umgibt die zentralen Strukturen, wie den distalen Abschnitt des Kronbeines, das Strahlbein, das Hufbein mit dem palmar bzw. plantar gelegenen Hufknorpel und die Hufrolle. Die Hufrolle schließt sich aus Strahlbein, dem Hufrollenschleimbeutel und dem Insertionsabschnitt der tiefen Beugesehne zusammen (Hermann Ruthe 2019). (Siehe Abbildung eins.)

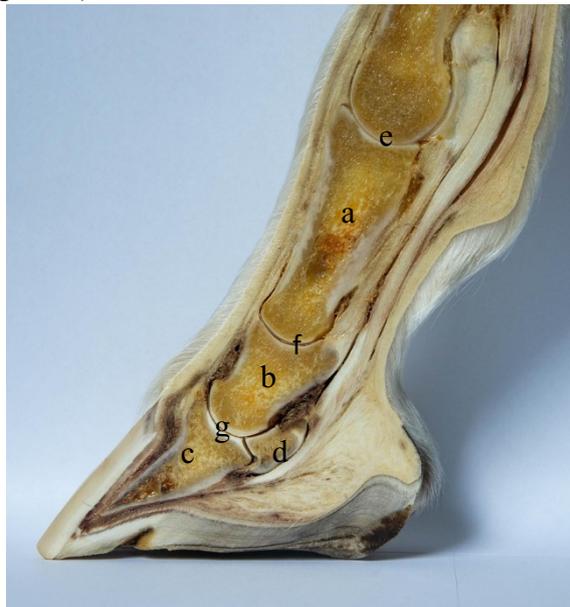


Abbildung 1 Anatomisches Präparat von a Fesselbein, b Kronbein, c Hufbein und d Strahlbein und der von diesen Strukturen gebildeten Gelenken e Fesselgelenk, f Krongelenk und g Hufgelenk

Man unterscheidet die Hufplatte- Paries Corneus- und die Grundfläche- Facies solearis. Die Hufwand bzw. Hufplatte besteht aus vier Abschnitten. Die Dorsalwand bzw. Pars dorsalis, die Seitenwände bzw. Pars lateralis et medialis, die Trachten bzw. Pars mobilis lateralis et medialis und die Eckstreben bzw. Pars inflexa lateralis et medialis. Die Hornwand ist die äußere Begrenzung der Pars

dorsalis und der Pars lateralis et medialis. Im Trachtenbereich ist die Hornkapsel offen und zwischen ihr befindet sich der elastische Strahl. Die Hornwand verläuft im Trachtenbereich weiter und bildet die Eckstreben, die nach innen den Trachtenteil stabilisieren. Die Grundfläche der Hufkapsel besteht aus Tragrand bzw. Margo solearis, Hornsohle bzw. Solea cornea, Strahlhorn bzw. Cuneus corneus und Hornballen bzw. Torus corneus. Die Körperlast wird beim Aufußeln im Wesentlichen vom Tragrand als Fußungsrand getragen (Wissdorf 2010).

Die Hufsegmente lassen sich in fünf Segmente teilen. Die proximalen drei Segmente, das Saumsegment (Limbus), das Kronsegment (Corona) und das Wandsegment (Paries), lassen sich nur beim Ausschuhlen bzw. Exungulation deutlich abgrenzen. An der Grundfläche sind das Sohlensegment (Solea) und das Ballensegment (Torus digitalis) abgrenzbar (Ruthe 2019).

Das Saumsegment verläuft unterhalb des Haaransatzes, ist nur wenige Millimeter breit und geht palmar bzw. plantar in das Ballensegment über. Es besteht aus Saumunterhaut bzw. Tela subcutanea limbi, die zum Saumpolster modifiziert ist, Saumlederhaut bzw. Dermis limbi und Saumoberhaut bzw. Epidermis limbi, welche das weiche Saumhorn bildet. Das Saumsegment dient als Feuchtigkeitsbinder, damit das darunterliegende Kronhorn feucht und elastisch bleibt (König und Liebich 2015).

Das Kronsegment befindet sich distal des Saumsegmentes. Es setzt sich aus Kronunterhaut bzw. Tela subcutanea coronae, die zum Kronpolster bzw. Pulvinis coronae verstärkt ist, der Kronlederhaut bzw. Dermis coronae, die aus distal gerichteten und gereihten Papillen besteht und der Kronepidermis bzw. Epidermis coronae zusammen. Der Röhrencharakter des Kronhorns der Epidermis besitzt eine hohe Zug- und Druckfestigkeit. Es weist eine Innen-, Mittel-, und Außenschicht auf. Jede Schicht besteht aus bestimmten Röhrentypen. In der Außen- und Mittelschicht sind die Hornzellen zwiebelschalenartig angeordnet, um starken Druckkräften entgegen zu wirken (Ronald J Riegel, Susan E Hakola 2010).

Das Wandsegment liegt unter der Schutzschicht des Kronhornes. Es besteht aus einer Wandlederhaut bzw. Dermis parietis, die eine direkte Verbindung mit dem Hufbein über ihr Stratum reticulare aufweist und Wandepidermis bzw. Epidermis parietalis. Eine Unterhaut fehlt hier. Man findet primäre Lederhautblättchen im Stratum papillare der Lederhaut und primäre und sekundäre Epidermisblättchen in der Wandepidermis. Das Hornblättchen existiert nur in primären Epidermisblättchen. Der ständige Zelnachschub lässt die Hornblättchen nach distal schieben, die so durch die weiße Linie erkennbar werden. Die weiße Linie bzw. Zona alba ist ein im Wandsegment gebildetes Wandhorn und macht so das Wandsegment sichtbar. Durch sie entsteht eine flexible Verbindung zwischen harten Kronhorn und Sohlenhorn (König und Liebich 2015).

Das Sohlensegment besteht aus einer Sohlenlederhaut bzw. Dermis solea, dessen Papillen dem Hufbein direkt aufliegen und einem Sohlenepithel bzw. Epidermis soleae, welches eine Röhrenarchitektur besitzt. Die Dicke des Sohlenhorns dient der weißen Linie als Stütze (Wissdorf 2010). (Siehe Abbildung zwei.)

Das Ballensegment liegt palmar bzw plantar am Huf und ist in einem apikalen und distalen Abschnitt unterteilt. Zwischen den Sohlenschenkel kommt der apikale Strahl zu liegen und der proximale Ballen geht in den Saum über (König und Liebich 2015).

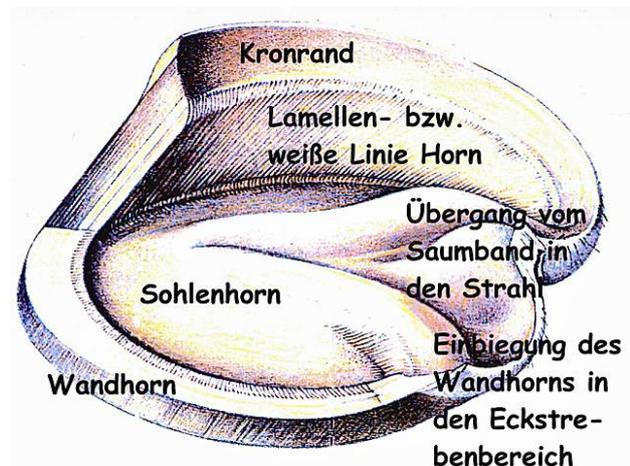


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Hornschuhs
(Quelle: Ganzheitliche Pferdebehandlung von Kopf bis Fuß. <https://gesundehufe.com/hornkapsel.html>; Zugriff 01.05.2019)

2.2.Hufbein

Die Vorderzehenkochen bestehen aus Fesselbein, Kronbein, Hufbein und den drei Sesambeinen. Das Hufbein bzw. Os ungulare besitzt drei Oberflächen, die Wand-, Sohlen und Gelenkfläche.

An der Sohlenfläche setzt die tiefe Beugesehne an. Der Tragrand bzw. Margo solearis wird zusammen mit der Wandfläche gebildet. Wand und Gelenkfläche bilden den Kronrand bzw. Margo coronalis. Dorsoaxial des Kronrandes sitzt der Streckfortsatz bzw. Processus extensorius, palmar treten auf jeder Seite je ein Hufbeinast bzw. Processus palmaris medialis bzw. laterali hervor. Eine am Tragrand zu sehende Einkerbung nennt man Crena marginis solearis. Die Gelenkfläche artikuliert mit dem Sesambein und der Kornbeinwalze (König und Liebich 2015). (Siehe Abbildung drei und vier.)

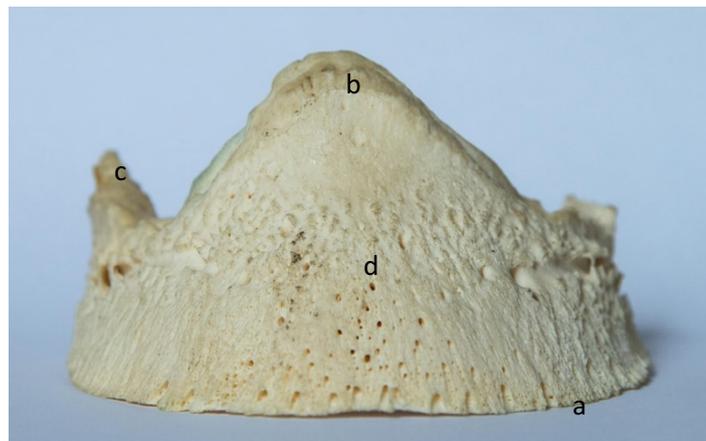


Abbildung 3 Anatomisches Präparat eines Hufbeines ohne Crena marginis solearis, a Margo solearis, b Processus extensorius, c Verknöcherung des Hufknorpels, d Wandfläche

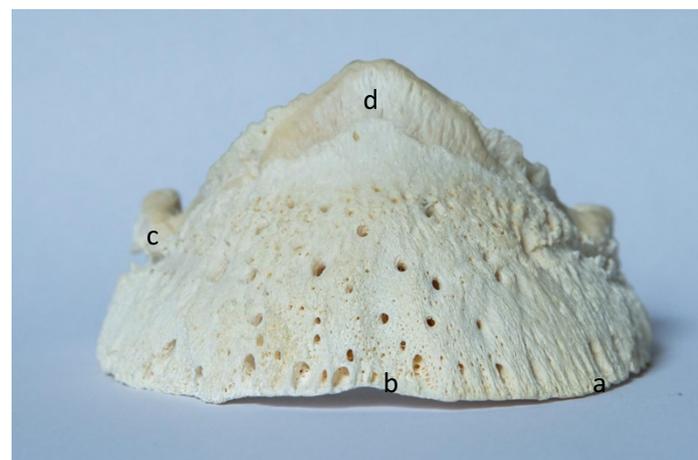


Abbildung 4 Anatomisches Präparat eines Hufbeines mit Crena marginis solearis, a Margo solearis, b Crena Marginis solearis, c Verknöcherung des Hufknorpels, d Processus extensorius

Die Rauigkeit der Wandfläche und das fehlende Periost bieten der Wandlederhaut beste Bedingungen für eine feste Verankerung und somit die Aufhängung des Hufbeines in der Hornkapsel. Zwischen den, nach distal gerichteten Knochenleisten, treten viele Gefäßkanäle hervor. Im Inneren des Hufbeines bildet der Gefäßkanal den Arcus Terminalis. Aus diesem entspringen die vielen Gefäße, die radiär nach Außen ziehen. Das Hufbein besteht aus Spongiosa und Kompakta, die nicht an jeder Stelle des Os unguare gleich stark ausgebildet sind. Die Hufstellung und Belastung des Hufes und somit des Hufbeines ist von großer Bedeutung, für die feine aber poröse Struktur des Knochens. Das Os unguare passt sich dauerhaften Belastungen an und es kann bei Überbelastung zu Umbau von Knochengewebe und sogar zu einer Auflösung von Knochensubstanz bzw. Osteolyse kommen (Budras und Röck 2004).

Das Hufbein kann aber nicht nur durch eine zu starke bzw. einseitige Belastung geschädigt werden, sondern auch durch raumfordernde Prozesse in der Hornkapsel, wie z.B. durch ein Keratom. Dieses wird von epidermalen Zellen in der Lederhaut, die Horn bilden, produziert. Die Zellen bilden Keratinmassen, welche auch mineralisieren können. Man unterscheidet zwei Formen des Keratoms. Einerseits die längliche, zylindrische bis spindelförmige Form und andererseits die rundliche ovale Form. Im englischen Sprachgebrauch werden beide Formen mit „Keratom“ angesprochen. Im Deutschen wird die zylindrische und längliche Form Keratophyllozele oder Hornsäule genannt, bei der rundlichen Form spricht man von Keratom. Sie entstehen meist unter der dorsalen Hufwand fokal im Bereich des Kronsaums. Über die Entstehung eines Keratoms ist noch wenig bekannt, jedoch kann es oft in einem Zusammenhang mit einer vorhergehenden Verletzung im Bereich der Hufwand gebracht werden. Auch nach Infektionen und chronischen Prozessen kann sich ein Keratom bilden. Das Hufbein wird Infolge des Wachstums des Keratoms beschädigt und es kann sogar zu radiologisch sichtbaren Aufhellungen durch Drucknekrosen kommen (Lippold et al 2006).

Einer der weiteren vielen Gründe, die eine Schädigung der Struktur des Hufbeines mit sich bringen, ist eine Ostits des Os unguare. Diese kann generalisiert oder fokal auftreten und kann septisch oder nicht septischen

Ursprungs sein. Es handelt sich hier bei einer Entzündungsreaktion des Hufbeines, auf die eine Demineralisierung des Hufbeines folgen kann. Die häufigste Ursache der Erkrankung ist traumatischer Vorgeschichte. Dauerhafte Bewegung auf zu harten Böden ist in erster Linie ein großer Verursacher einer Ostitis am gesamten Hufbeinrand bzw. Margo solearis. Aber auch andere Ursachen spielen eine Rolle bei einer Ostitis, wie zum Beispiel die Folge einer Hufrehe oder eines Podotrochlose-Syndroms. Lokale Ursachen, die zu einer fokalen Ostitis führen können, sind z.B. Steingallen oder eine akute Entzündung, hervorgerufen durch eine Steingalle (Stashak und Wissdorf 2008).

Subchondrale Knochenzysten im Hufbein stellen sich im Röntgenbild als runde bis ovale Aufhellungszonen dar, meist werden sie von einer Sklerosierungszone umgeben. Die Zysten, die oftmals mit einer gelatinösen, bindegewebigen bis knorpeligen Masse gefüllt sind, findet man meistens zentral im Hufbein, aber auch weit lateral oder medial sind diese zu erkennen. Eine Verbindung zum Hufgelenk kann oft diagnostiziert werden. Weitgehend unbekannt ist jedoch die Ätiologie dieser Zysten. Erforscht ist, dass zum Beispiel Störungen der enchondralen Ossifikation, Fissuren im Knorpel und subchondralen Knochen, Infektionen und vaskuläre Störungen, Prozesse zur Bildung von Knochenzysten begünstigen (Deiss et al. 2001).

Eine weitere sehr schwere Krankheit, die das Hufbein in weiterer Folge betrifft, ist die Hufrehe. Durch das Absinken und Rotieren des Hufbeines und die vermehrte, für das Pferd sehr schmerzhaft Belastung der Hufbeinspitze, kommt es zu röntgenologisch darstellbaren Schädigungen des Hufbeines. Es kann zum Aufbiegen der Hufbeinspitze, Atrophie und sogar zu einer Fraktur der Hufbeinspitze kommen. Bei hochgradiger Hufrehe kann es zu Knochenzubau an der Wandfläche des Hufbeines und im weiteren Sinne sogar zu einem Knochenchwund bzw. Osteolyse kommen. Die Auswirkungen auf das Hufbein werden in Abbildung fünf verdeutlicht.



Abbildung 5 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximal-palmarodistalen Strahlengang, , hochgradige. Osteolyse des Hufbeines bedingt durch eine Hufreheerkankung (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

2.3.Hufbeinträger

Die gesamte Körperlast, die als Druckkraft wirkt, wird über den Hufbeinträger vom Hufbein auf die Hufplatte übertragen und in Zugkraft umgewandelt. Das Hufbein ist über diesen in der Hornkapsel sozusagen aufgehängt. Der Hufbeinträger besteht aus zwei Anteilen, einen bindegewebigen und einen epidermalen Anteil (Wissdorf 2010).

Der bindegewebige Anteil setzt sich aus dem faserknorpeligen Ansatz am Hufbein und dem parallelfasrigen straffen Bindegewebe in der Wandlederhaut zusammen. Das Bindegewebe zieht in die primären und sekundären Lederhautblättchen. Die vitalen Sekundärblättchen und die verhornten Primärblättchen der Wandepidermis bilden den epidermalen Anteil. Durch diese wird die Verbindung zum Kronhorn gebildet. Der Hufbeinträger wird bei jeder Bewegung elastisch gedehnt (König und Liebich 2015).

2.4. Hufmechanismus

Ruthe bezeichnet den Hufmechanismus als Formveränderungen des Hornschuhs bei Be- und Entastung (Ruthe 2019).

Diese Formveränderung kommt dadurch zu Stande, dass der Huf keine starre Struktur ist, sondern er sich aus elastischen Elementen, die in einer Einheit agieren, zusammensetzt. Es kommt so bei einer Krafteinwirkung zu einer Verformung des Hufes und bei keiner Krafteinwirkung wird durch die Elastizität der Ausgangszustand wiederhergestellt. Der Hornschuh selbst mit seiner konkaven Form trägt maßgeblich zur Elastizität bei, sowie Hufbeinträger, Hufknorpel und Strahlpolster. Da auf den Huf nicht nur bei Bewegung Kräfte einwirken, sondern auch in Ruhe, muss der Huf nicht nur vertikalen Kräften, sondern auch beschleunigenden oder bremsenden Kräften, beim Vorwärts-, Rückwärts- oder Seitwärtsgehen, standhalten. Diese wirkenden Kräfte kann man durch ihre Größe, Wirkung und ihren Angriffspunkt charakterisieren. Zusammengefasst kann man die Kräfte als Vektor darstellen, der Kraftvektor findet so seinen Ursprung im Kraftangriffspunkt am Huf. Landung, Stützbeinphase und das Abrollen charakterisieren Größe, Richtung und Angriffspunkt des Vektors. Die erste Kontaktfläche bei der Landung ist der erste Kraftangriffspunkt. Dieser liegt bei physiologischer Fußung an den Trachten. Hier ist die nach hinten gerichtete horizontale Kraft größer als die Vertikale, daraus ergibt sich ein kleiner schräg nach hinten gerichteter Kraftvektor. Der Kraftangriffspunkt während der Stützbeinphase liegt, bei vollem Kontakt des Hufes am Boden, distal der Strahlspitze. Da in der Mitte der Stützbeinphase weder eine bremsende Kraft noch eine beschleunigende Kraft wirkt, ist die horizontale Kraft Null. Die vertikale Kraft erreicht jedoch ihr Maximum, daraus resultiert ein vertikaler und großer Vektor. Dieser Vektor wandert im Laufe der Abstützphase immer weiter in Richtung Zehenspitze und befindet sich beim Abrollen an dieser. Die vertikale Kraft nimmt ab und die horizontale zu, deshalb würde man einen kleinen, in Richtung der Bewegung zeigenden Vektor, zeichnen (Ruthe 2019).

Der Hufmechanismus hat jedoch nicht nur die Aufgabe wirkende Kräfte zu verarbeiten, sondern auch einen sehr wichtigen zirkulierenden Mechanismus. Durch die Verformung des Hufes bei Belastung erweitern sich die Blutgefäße

und bei Entlastung ziehen sie sich wieder zusammen. So entsteht ein Mechanismus, der den Huf adäquat zusätzlich mit Blut versorgt (Woergatter 2003).

Durch den Hufmechanismus kann man am Hornschuh bei Belastung eine typische Verformung sehen. Diese Bewegung äußert sich in verschiedenen Teilen der Hornkapsel und ist durch äußere und innere Faktoren beeinflussbar. Da während der Stützbeinphase der Hufbeinträger nach unten gezogen wird, zeigt der zusammenhängende Wandteil ebenfalls eine Tendenz nach unten. Durch die geringe Kompressionsfähigkeit der Hornröhrchen, neigt sich die Wand um die Hufspitze nach palmar bzw. plantar und distal. Die größte nach „innen“ gerichtete Bewegung ist beim Kronrand und beträgt bis zu 1,5mm. Die Bewegung nimmt zum Tragrand ab, wo sie fast null beträgt. Die hintere Seitenwand und Trachtenwand erfahren bei Belastung die größte Verformung. Bei Absenken des Kronbeines erweitern sich die hinteren Seitenwände und die Trachtenwände nach außen und der Abstand der Ballen zueinander nimmt zu. Zusammengefasst wirkt sich die Belastung auf den Huf wie folgt aus (Ruthe 2019):

- Obere Zehenwand und vordere Seitenwand verengen sich
- Hintere Seitenwand und Trachtenwand erweitern sich
- Untere vordere Wandteile und Übergangsbereich zwischen enger und weiter werdenden Seitenteile erfahren fast keine Bewegung

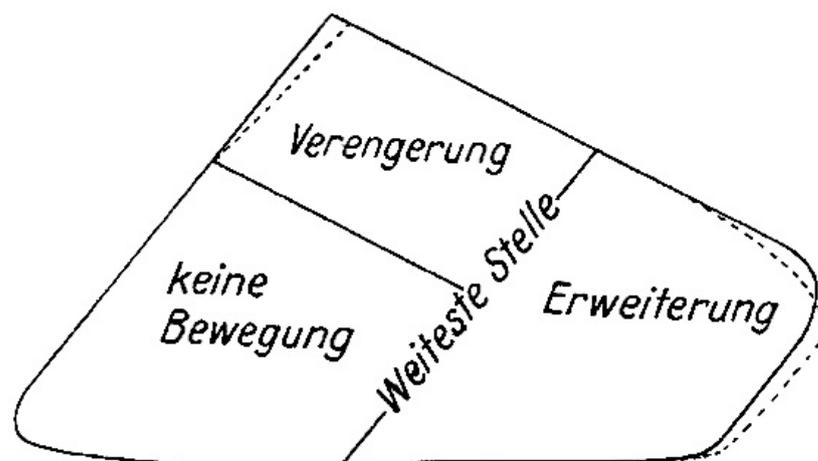


Abbildung 6 Schematische Darstellung des Hufmechanismus, Darstellung zeigt maximale Stützbeinphase (Ruthe 2019)

Beim Hufmechanismus müssen, wie schon erwähnt, die äußeren und inneren Einflüsse einbezogen werden. Die wirksamen äußeren Kräfte sind einerseits vom Gewicht des Pferdes und des eventuell vorhandenen Reiters abhängig, andererseits auch von der Nutzung des Pferdes. Bei einem schweren Kutschenpferd werden andere Kräfte wirken, als bei einem leichtfüßigen Araber. Auch der Untergrund, auf dem ein Pferd gearbeitet wird, trägt maßgeblich zu den äußeren wirkenden Kräften bei. Zum Beispiel bei einem harten Boden kann die Kontaktfläche nur der Tragrand sein, bei einem weicheren Sand hat auch die Sohle, Eckstreben und der Strahl Kontakt zum Boden. Ein weiterer äußerer Faktor stellt der Beschlag dar. Trotz eines Hufschutzes muss der physiologische Hufmechanismus gegeben sein! Die Anzahl der Nägel und die Lokalisation von Aufzügen müssen so gewählt werden, dass sie in den Zonen keiner Bewegung am Huf sitzen (Ruthe 2019).

Innere Faktoren sind die Anatomie des Hufes, dazu zählen die Winkelung und die Länge der Wände, die Wölbung der Sohle und die Größe des Strahls, die Hornqualität und die Verformbarkeit der inneren Strukturen, wie zum Beispiel der Hufknorpel.

2.5.Knochendichte

Schon bereits 1939 versuchte man mit einem Röntgendensiometers die Knochendichte, als Indikator für Gesundheit und Stärke eines Knochens, zu messen (Lindinger 2011).

Diese Methodik wurde verfeinert, hatte aber immer den Nachteil, dass die darüberliegende Weichteilschicht nicht zu dick sein sollte. In weiterer Folge untersuchten Gershon-Cohen et al. mit Hilfe eines Szintillations-Zählers aus dem Gewebe austretende Gammastrahlung, mit dem Ziel die Knochendichte osteoporotischer Veränderungen zu messen. Viele Jahre später (1962) wurden die Gammastrahlen durch Röntgenstrahlen ersetzt. Williams und Mason gelang es den Energieverlust beim Durchstrahlen von Geweben zu ermitteln, dadurch konnte der lineare Absorptionskoeffizient berechnet werden. 1973 wurde die digitale Computertomographie eingeführt und so gelang es Ruegsegger und Elsasser 1976, durch ein zusätzliches Querschnittbild, die Dichtestruktur der

Spongiosa zu erfassen. 1990 wurden Schnittbilder mit Hilfe der Computertomographie zur Hilfe zum Erfassen von flächenhaften Knochendichtemessungen herangezogen, man nannte diese die Computertomographische Osteoabsorptiometrie (Müller-Gerbl 2010).

Die Knochendichte gibt uns Hinweise in welcher Form das Hufbein auf gegebene Umwelteinflüsse reagiert. Diese wird durch Faktoren, wie z.B. Alter und Gewicht des Pferdes oder auch Krankheiten beeinflusst. Wie schon in Kapitel 2.2. behandelt worden ist, gibt es auch Erkrankungen des Hornschuhs, die sich negativ auf das Os unguare auswirken, oder auch Erkrankungen des Hufbeines selbst, die zur Dichteminderung oder Erhöhung führen (Stashak und Wissdorf 2008).

Durch zunehmendes Gewicht des Pferdes, rasse- oder fütterungsbedingt, wird die Belastung auf alle anatomischen Strukturen zunehmen, natürlich auch die, auf den Hufmechanismus wirkenden Kräfte. Innere Strukturen werden so mehr belastet und es kommt zu Abnützungserscheinungen von Knochen. Diese Theorie untersuchen Lejeune et al. in ihrer Studie, bei der sie die Vorderbeine von Kaltblutpferden im Alter von 16 bis 25 Monate untersuchen. Die Wahl fällt auf Kaltblutfohlen, da die anatomischen Strukturen von schwereren Rassen schon in einem jungen Alter, durch das schnell ansteigende Gewicht, größer belastet werden, als jener Pferde leichteren Exterieurs. Die Studie ergibt, dass die ersten Knochenumbauprozesse in einem Alter von 16 Monaten beginnen. Am Stärksten betroffen sind die dorsale Hufbeinwand, die Insertionsstellen von den Kollateralbändern des Hufgelenks und die der Strecksehne (Lejeune 2006).

Weiters spielt die Belastung, eines Pferdes durch Training und die Belastung anatomischer Strukturen, eine wesentliche Rolle. Der Knochen antwortet auf verschiedene Arten. Die Ermüdung eines Knochens, z.B. hervorgerufen durch sehr starkes Training, erkennt man initial durch Mikroläsionen und den Untergang von Osteozyten. Diesem kann man durch stetig aufbauendem Training, mit Erholungsphasen entgegenwirken, da dies einen Knochenaufbau und eine zunehmende Strapazierfähigkeit und Festigkeit durch Osteozyten und endostalen Knochenbelegszellen begünstigt (Engelhardt und Breves 2010).

Viele Studien, die sich mit dem Knochenaufbau beschäftigen, bestätigen das Phänomen, dass die Knochendichte der Cortikalis nach Belastung zunimmt. Die subperiostalen Knochenneubildungen haben eine geringere Dichte und ihnen geht kein Resorptionsgeschehen voraus (Firth 2006).

Wichtig ist auch noch zu erwähnen, dass eine vermehrte Belastung, auch von einer Fehlstellung der Gliedmaße oder des Hornschuhs auf das Hufbein, wirkt. Ein schlechter Beschlag wirkt sich auf den Hufmechanismus aus. Ist dieser in seiner Funktion gestört, kann es zu einer Minimierung der stoßdämpfenden Wirkung kommen und sogar die physiologische Pumpfunktion, die den Huf mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt, wird gestört. Ein falscher Beschlag kann auch zu Spannungen in der Hornwand führen. Stanek et al. beschreiben in Ihrer Studie verschiedene Eisen und deren Auswirkungen auf den Hornschuh. Spannungsunterschiede erkennt man zwischen einem offenen und einem geschlossenen Eisen, wobei das offene eine höhere Spannung bewirkt. Die Untersuchungen ergeben auch, dass es zu lokalen hohen Spannungswerten im Bereich der Aufzüge kommt. Wie schon in Kapitel 2.2. erläutert wird, kann sich das Hufbein, wegen erhöhten Druckes, pathologisch verändern (Stanek et al.2000).

2.6.Radiologie

Damit ein Röntgenbild entsteht, wird die betroffene Struktur mit Röntgenstrahlung durchstrahlt, dabei wird die Strahlung von dem Gewebe abgefangen und absorbiert. Dieser Vorgang hängt von der Dichte des Gewebes ab. Die nicht absorbierte Strahlung trifft auf den Röntgenfilm. Die Qualität des Röntgenbildes hängt stark von der der Anzahl der Photonen im Röntgenstrahl und dessen Intensität und der Distanz der Röhre zum Gewebe ab. Ein wichtiger Punkt spielt die Lagerung der zu durchleuchtenden Struktur (Butler et al.2008).

In den folgenden Zeilen wird nur auf die Röntgendiagnostik des Hufes und insbesondere die des Hufbeines weiter eingegangen.

Folgende Röntgenbilder werden für die Darstellung der röntgengichten Strukturen im Huf verwendet (König und Liebich 2015):

- Lateromediale Aufnahme
- Dorsopalmare Aufnahme
- Skyline Aufnahme (palmaroproximale-palmarodistale)
- Oxspring Aufnahme (90° dorsoproximal-palmarodistale oblique)
- High coronary Aufnahme (65° dorsoproximal-palmarodistal)

Die verwendete Röntgenaufnahme in dieser Studie ist die dorsoproximal-palmarodistal oblique Aufnahme (Oxspring). Für diese ist der Huf, wie für die anderen Aufnahmen, zunächst zu reinigen, vorhandene Eisen sind zu entfernen, die Hufe sind einzusäumen und ein frischer Sohlenschnitt, um Artefakte am Röntgen zu minimieren, sollte gemacht werden. Das Pferd muss ruhig mit dem zu untersuchenden Huf auf einem Block stehen, so dass die Sohlenfläche vertikal zum Boden steht. Der Zentralstrahl trifft mittig am Saum ein (Dik und Gussner 2002, Butler at al. 2016).

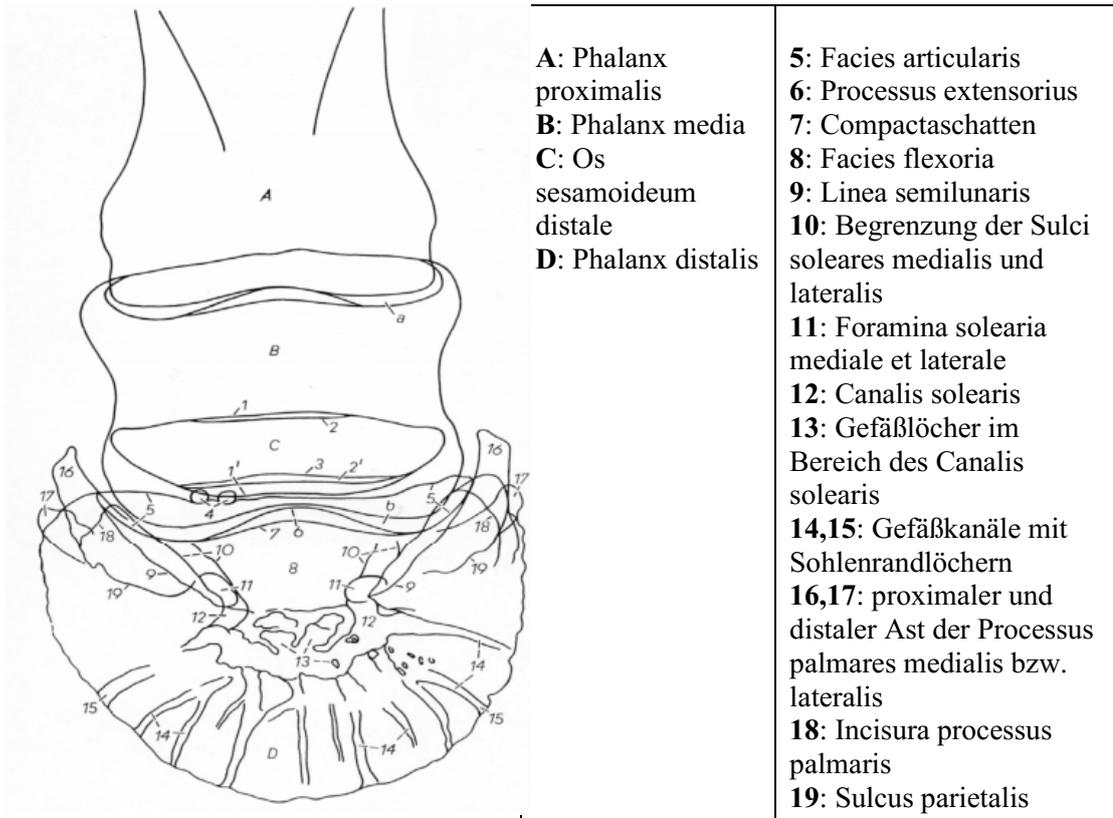


Abbildung 7 Anatomische Skizze einer Zehe des Pferdes in Anlehnung auf eine Röntgenaufnahme im dorsoproximal-palmarodistalen Strahlengang (König und Liebich 2015)

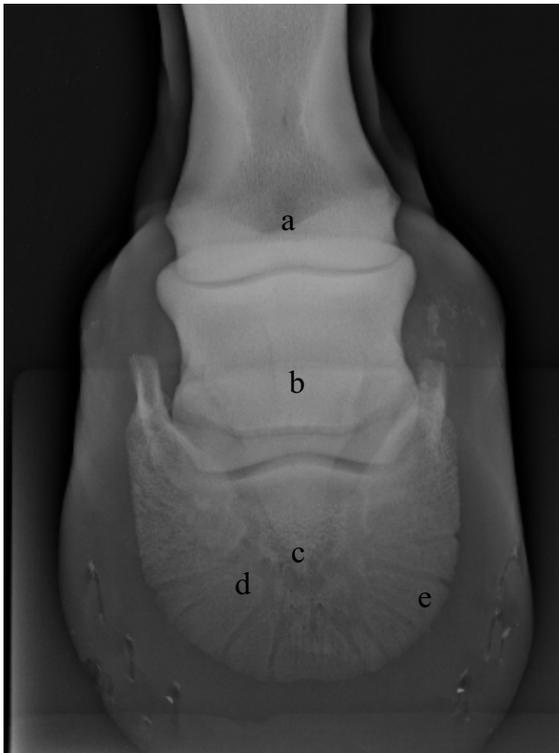


Abbildung 8 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximal-palmarodistalen Strahlengang, a Phalanx proximalis, b Phalanx media, c Phalanx distalis, d Canalis solearis, e Gefäßkanäle mit Sohlenrandlöchern (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

3. Material und Methode

3.1. Material

Für die Auswahl der Proben, die für die folgende Studie verwendet wurden, wurden von insgesamt 100 Pferden die Röntgenbilder der Vorderextremitäten ausgewählt. Die Röntgenbilder wurden an der Veterinärmedizinischen Universität Wien, im Zuge diagnostischer Abklärungen, angefertigt. Es wurden nur Oxspring Aufnahmen zur Beurteilung des Hufbeines herangezogen und von jedem Pferd wurde nur ein Röntgenbild von einer Seite der Vorderhand ausgewählt. Da sich die Beurteilung der Röntgenbilder nur auf das Hufbein und im Speziellen auf die Crena marginis solearis konzentrierten, wurden diejenigen Röntgen aussortiert, bei denen eine Pathologie am Hufbein selbst festgestellt werden konnte. Ein Röntgenbild eines Hufbeines welches eine Ostitis, unabhängig von welcher Ätiologie diese stammte, oder auch eines welches am Hufbein befundenes Keratom aufweist, wurde nicht in die engere Auswahl genommen.

Mit der Hilfe des TIS (Tierspital-Information-System) der Pferdechirurgie der Veterinärmedizinischen Universität Wien und meiner Anwesenheit bei den radiologischen Befundungen der Röntgenbilder der Pferde, die an der Klinik für bildgebenden Diagnostik angefertigt wurden, konnte sichergestellt werden, dass die Hufbeine der Pferde keine für die Studie relevante Pathologien aufwiesen.

Durch das Aussortieren der pathologisch veränderten Hufbeine waren drei Gruppen zu jeweils vierzehn Röntgenbilder aus den ursprünglichen Röntgenbildern der 100 Pferde entstanden. Zunächst wurden die Röntgenbilder der Hufbeine mit Crena Marginis solearis ausgewählt. Aus ursprünglich 59 Pferden die eine Crena am Hufbein besaßen, entstand durch das Auswahlverfahren eine Gruppe mit 14 Röntgenbilder von verschiedenen Pferden. Damit die Gruppen gut miteinander verglichen werden konnten, ist eine gleiche Gruppengröße für die weiteren Gruppen ausgewählt worden.

Auf den Hufbeinen der Gruppe A befand sich eine sehr deutlich ausgebildete *Crena marginis solearis* am Tragrand bzw. *Margo solearis* des Hufbeines. Die Pferde, dieser Gruppe waren zwischen sieben und 17 Jahren alt und unterschiedlicher Rasse, um nicht nur Tendenzen einer einzigen Rasse zu untersuchen. (Siehe Tabelle eins.)

Gruppe B, siehe Tabelle zwei, bildete die Gruppe der Hufbeine mit einer fraglichen *Crena marginis solearis*. Fraglich deshalb, da bei diesen Röntgenbildern eine kleine Einziehung oder begrenzte Unebenheit am *Margo solearis* zu erkennen war. Es wurden nur jene Hufbeine, bei denen im Befund des Röntgenbildes der Zehe eine *Crena Marginis solearis* nicht erwähnt wurde, herangezogen. Auch hier wurden vierzehn Pferde unterschiedlichen Alters, zwischen acht und 19 Jahren und unterschiedlicher Rasse, in Anlehnung auf Gruppe A, ausgewählt.

In Gruppe C wurden die Hufbeine gruppiert, die keine *Crena* am Tragrand besaßen. Zur Hilfe wurde der Befund der Röntgendiagnostik der Pferdeklinik herangezogen. Auch hier wurden annähernd gleiche Rassen wie bei Gruppe A und B gruppiert und auch nur Pferde unterschiedlichen Alters (zwischen drei und 14 Jahren). (Siehe Tabelle drei.)

Wichtig zu erwähnen ist, dass die Pferde sowohl unbeschlagen und beschlagen waren. Die Rassen, das jeweilige Alter, welche Vorderhandextremität und ob das Pferd beschlagen war, wurden in Tabelle eins, zwei und drei zusammengefasst.

Die Namen der Pferde wurden durch Zahlen ersetzt, um so die Anonymität zu bewahren.

Tabelle 1 Gruppe A, Hufbeine mit Crena marginis solearis. Informationen über Rasse, Geschlecht, Alter, Vorderextremität (links vorne – LV oder rechts vorne – RV) und Beschlag (Hufeisen – ja oder nein)

Gruppe A	mit Crena				
Pferd	Rasse	Geschlecht	Alter	RÖ	Hufeisen
1	New Forest	Wallach	16	LV	Nein
2	Haflinger	Stute	14	RV	Nein
3	Warmblut	Wallach	10	LV	Ja
4	Warmblut	Wallach	10	RV	Ja
5	Warmblut	Wallach	7	LV	Ja
6	Quarter Horse	Wallach	17	RV	Ja
7	Warmblut	Wallach	12	RV	Ja
8	Warmblut	Wallach	8	LV	Ja
9	Haflinger	Wallach	8	RV	Ja
10	Warmblut	Stute	12	RV	Ja
11	Warmblut	Wallach	15	RV	Ja
12	Warmblut	Stute	8	LV	Ja
13	Warmblut	Stute	9	RV	Nein
14	Noriker	Wallach	7	RV	Ja

Tabelle 2 Gruppe B, Hufbeine mit fraglicher Crena marginis solearis, Informationen über Rasse, Geschlecht, Alter, Vorderextremität (links vorne – LV oder rechts vorne – RV) und Beschlag (Hufeisen – ja oder nein)

Gruppe B	fragliche Crena				
Pferd	Rasse	Geschlecht	Alter	RÖ	Hufeisen
1	Warmblut	Stute	8	LV	Ja
2	Warmblut	Wallach	6	LV	Ja
3	Warmblut	Stute	13	RV	Ja
4	Warmblut	Wallach	7	RV	Nein
5	Haflinger	Stute	3	LV	Nein
6	Warmblut	Wallach	7	RV	Ja
7	Warmblut	Wallach	4	LV	Ja
8	Warmblut	Wallach	14	LV	ja
9	Warmblut	Stute	9	LV	Ja
10	Warmblut	Wallach	5	LV	Ja
11	Warmblut	Wallach	9	RV	Ja
12	Warmblut	Wallach	4	RV	Ja
13	Warmblut	Wallach	14	RV	Ja
14	Warmblut	Stute	9	RV	Nein

Tabelle 3 Gruppe C, Hufbeine ohne Crena marginis solearis, Informationen über Rasse, Geschlecht, Alter, Vorderextremität (links vorne – LV oder rechts vorne – RV) und Beschlag (Hufeisen – ja oder nein)

Gruppe C	ohne Crena				
Pferd	Rasse	Geschlecht	Alter	RÖ	Hufeisen
1	Haflinger	Stute	18	RV	Ja
2	Warmblut	Stute	8	RV	Ja
3	Haflinger	Stute	19	LV	Nein
4	Huzule	Wallach	8	LV	Ja
5	Warmblut	Wallach	9	RV	Nein
6	Warmblut	Wallach	18	LV	Ja
7	Warmblut	Wallach	11	RV	Nein
8	Endmaßpony	Stute	14	LV	Nein
9	Quarter Horse	Wallach	10	LV	Ja
10	Warmblut	Wallach	13	LV	Ja
11	Warmblut	Stute	10	RV	Nein
12	Quarter Horse	Wallach	11	RV	Ja
13	Konik	Wallach	18	RV	Ja
14	Friese	Stute	17	RV	Ja

In den folgenden Abbildungen neun, zehn und elf werden pro Gruppe je ein Beispielröntgenbild, das an der Bildgebenden Diagnostik der Pferdeklinik der Veterinärmedizinischen Universität angefertigt wurde, gezeigt.



Abbildung 9 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximo- palmarodistalen Strahlengang, Pferd 11 aus Gruppe A Hufbein mit Crena marginis solearis (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2017)



Abbildung 10 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximo- palmarodistalen Strahlengang, Pferd 2 aus Gruppe C, Hufbein ohne Crena marginis solearis (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2016)



Abbildung 11 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximo- palmarodistalen Strahlengang, Pferd 5 aus Gruppe B, Hufbein mit fraglicher Crena marginis solearis (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2017)

Die Röntgenbilder wurden mit Hilfe des Programmes JiveX Dicom Viewer befundet und ausgewählt. Dieses Programm wird extra für Schulungszwecke oder für einen Wissenschaftlichen Zusammenhang kostenlos zum Download zur Verfügung gestellt.

Die ausgewählten Bilder sind in einem weiteren Programm für die Studie bearbeitet worden. ImageJ, in der Version 1.50i von den National Institutes of Health in den USA, ist ein Bildbearbeitungs- und Bildverarbeitungsprogramm. Das Startmenü inklusive der Toolliste wird in Abbildung 12 gezeigt.

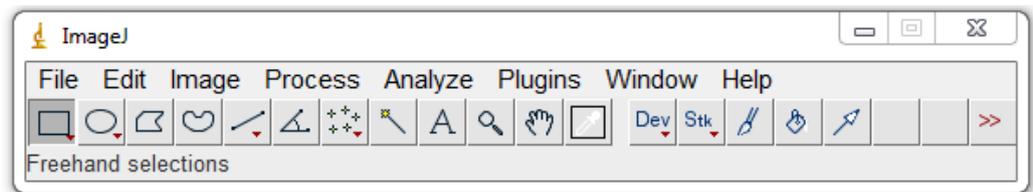


Abbildung 12 Darstellung der Toolliste des Programmes ImageJ, Screenshot aus dem Programm ImageJ. Zu sehen sind die Buttons der Formen und Linien, die für diese Studie verwendet wurden.

Die zu untersuchenden Stellen am Röntgenbild konnten mit Hilfe des ROI (Region of Interest) Managers durch Linien, Ellipsen und Punkte untersucht und gespeichert werden. Mit dem Programm konnte man nicht nur Distanzen messen, sondern auch durch Linien, Punkte oder Formen den Grauwert (Value) messen. Jeder Punkt besaß eine X und ein Y, mit denen er lokalisiert werden konnte und einen Grauwert. Dieser Wert repräsentierte die Dichte des gemessenen Punktes und besaß keine Einheit. Je höher der Grauwertwert desto geringer wurde die Dichte. Mit anderen Worten, konnte man sagen, dass je weißer der zu messende Punkt sich im Röntgenbild darstellte, desto geringer war sein Grauwert. Mit Hilfe eines Messquadrates, das man über das gesamte Röntgenbild legen konnte, konnte man die Stelle mit dem höchsten und die mit dem geringsten Grauwert finden. So wurden für jedes Röntgenbild Dichtemessungen erzielt.

3.2.Methode

Ziel der Arbeit ist es, durch Dichteverläufe und Dichtesprünge mehr über die Crena marginalis solearis zu erfahren.

Für die Messungen wurden an den Oxspring Aufnahmen verschiedene Linien und Zonen gezeichnet, um Dichteverläufe am Hufbein und am Übergang von Hufbein zur Crena zu erhalten. Die ersten Linien waren jene vom Arcus Terminalis zum Tragrand. Zu beachten war hier, dass die Linien nicht in Gefäßkanälen verliefen und sich an dieser Linie keine Artefakte von Strahl oder Sohle befanden. Durch das Tool „Plot Profile“ wurde von jeder Linie jeder Dichtewert miteinander verbunden und so entstand eine Graphik, die den Dichteverlauf entlang einer Linie widerspiegelte. Insgesamt wurden bei jedem Röntgenbild zwischen 12 und 16 Linien vom Arcus Terminalis zum Tragrand gezogen. Wichtig war, dass eine proximodistale Linie, in Abbildung 13 Linie 6, durch den höchsten Punkt der vorhandenen Crena ziehte, oder falls keine Crena vorhanden war, die Linie möglichst axial durch den Margo solearis verlief, damit später die Dichteverläufe beider Linien miteinander verglichen werden konnten. (Siehe Abbildung 13.)

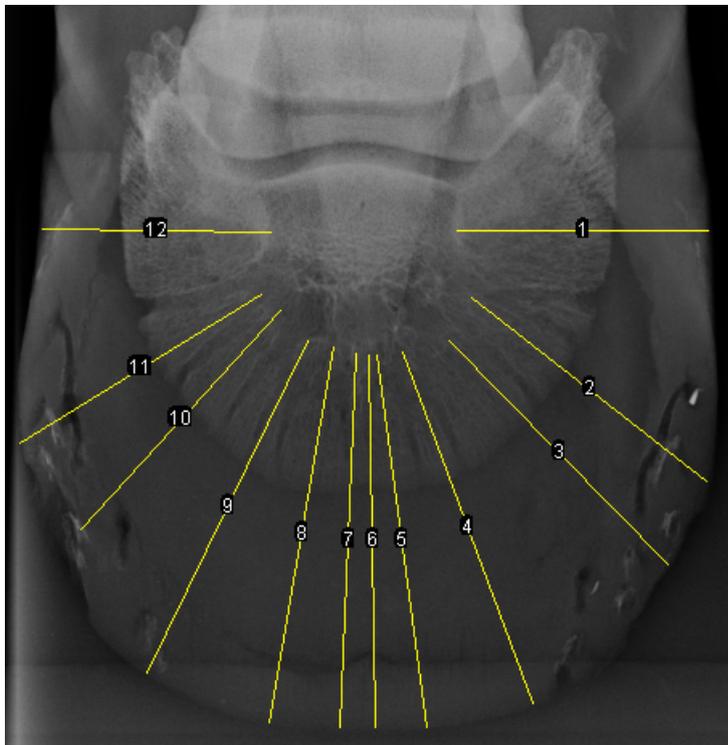


Abbildung 13 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximopalmarodistal obliquen Strahlengang, Pferd 9 aus Gruppe A, Hufbein mit Crena marginis solearis, (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

Im nächsten Schritt wurden zwei Ellipsen gezeichnet. Die größere Ellipse, um die „Region of Interest“ zu markieren, eine zweite kleinere nahm die Form der Crena an, angenommen, dass diese vorhanden war. (Siehe Abbildung 14 und 15.)



Abbildung 14 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximopalmarodistalen Strahlengang, Pferd 4 aus Gruppe A, Hufbein mit Crena marginis solearis, große Ellipse definiert die Region of Interest (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)



Abbildung 15 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximopalmarodistalen Strahlengang, Pferd 4 aus Gruppe A, Hufbein mit Crena marginis solearis, kleinere Ellipse die Crena marginis solearis einnimmt (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

Weiters wurde eine mediolaterale Linie im Bereich der großen Ellipse gezeichnet. Diese war die erste Linie die vollständig innerhalb des Hufbeines gezogen werden konnte. Die Linie war mindestens so lange wie die kleine Ellipse und berührt in der Mitte den höchsten Punkt der Crena marginis solearis, der fraglichen Crena oder war axial des Margo solearis. Die Linie zeigte den Dichteverlauf am höchsten Punkt der Crena gegenüber distanzierten Punkten entlang dieser mediolateralen Linie an. (Siehe Abbildung 16.)



Abbildung 16 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximopalmarodistalen Strahlengang, Pferd 4 aus Gruppe A, Hufbein mit Crena marginis solearis und horizontaler Linie über dieser (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

Nun wurden die erworbenen Daten in Exceltabellen weiterbearbeitet. Zunächst bekam jedes Röntgenbild eine eigene Datei. In dieser wurden alle Werte der einzelnen Linien gesammelt. Die Linien sind nach der jeweiligen Ziffer der Linie im Röntgenbild benannt worden. Die Punkte auf der Linie wurden durch X und Y beschrieben. Durch die Tabellen konnte jeder Linie zur bildlichen Darstellung ein Diagramm zugeordnet werden. Das Diagramm veranschaulichte, dass durch die trabekuläre Struktur des Hufbeines sehr große Dichteunterschiede innerhalb der Linie existieren. Den Sprung von Hufbein zum Hornschuh erkannte man, durch eine Dichteänderung in der Graphik. Die Dichtewerte lagen im Hornschuh näher aneinander und so ergaben sich nur geringere Abweichungen von Punkt zu Punkt. Durch die Abweichung erkannte man sehr genau, wann der Hornschuh beginnt. Um hier Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurde der Abstand von

Beginn der Linie zum Übergang von Hufbein zu Hornschuh im Röntgenbild nachgemessen. In Abbildung 17 sieht man die größere Abweichung entlang des trabekulären Knochens des Hufbeines bis 38 mm. Die Punkte ab 38,15 mm sind näher aneinander und beschreiben die Struktur des Hornschuhs. Der Dichtewert muss hier durch 10.000 dividiert werden, da es durch den Export der Daten von ImageJ in Excel zu einem Verschieben der Dezimalstellen kommt. Die Dichtewerte der Linie zehn in Abbildung 17 sind zwischen 862,70 und 1030,77.

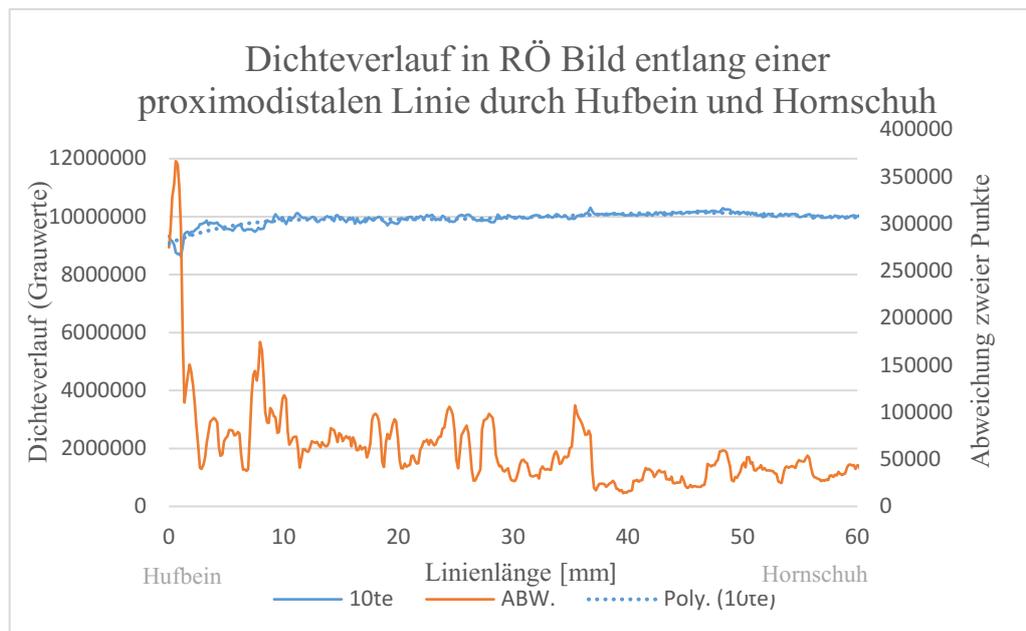


Abbildung 17 Dichteverlauf in einem Röntgenbild entlang einer proximaldistalen Linie durch das Hufbein und den Hornschuh, Pferd 4 aus der Gruppe A, Linie zehn graphisch dargestellt und durch Abweichung und polynome Trendlinie beschrieben.

Um die einzelnen Dichtegrade der Röntgenbilder miteinander vergleichen zu können, musste ein standardisiertes Verfahren angewendet werden. Durch ein Messfeld wurde der Maximalwert und Minimalwert jedes einzelnen Röntgenbildes erhoben. Der hellste Grauwert wurde mit 100% Dichte beschrieben und der dunkelste Grauwert mit 0%. Jeder Punkt zwischen Maximalwert und Minimalwert wurde durch einen Prozentwert beschrieben. Der Grauwert sank mit steigendem Dichtewert. Durch das Messfeld und die Prozentwerte konnte ein standardisiertes Verfahren gewährleistet werden.

Dies waren die Vorarbeiten für die zwei Hypothesen die in dieser Arbeit aufgestellt wurden.

3.2.1. Dichteveränderungen entlang einer proximodistalen Linie durch die Crena marginis solearis

Die schon bestehenden Gruppen A (Crena), B (fragliche Crena) und C (keine Crena) wurden für diese Hypothese verwendet. Jedes Pferd wurde pro Gruppe durchnummeriert. So ergab sich zum Beispiel das Pferd eins aus der Gruppe A oder das Pferd eins aus der Gruppe C. Jedem Pferd wurde nur eine Linie aus dem dazugehörigen Röntgenbild, nämlich jene, die mittig durch den höchsten Punkt der Crena (oder mittig durch die fragliche Crena oder axial durch den Margo solearis ohne Crena) zieht, zugeteilt. (Siehe Abbildung 18.)



Abbildung 18 Röntgenbild der Zehe eines Pferdes im dorsoproximopalmarodistalen Strahlengang, Pferd 2 aus Gruppe A, Hufbein mit Linie durch Crena marginis solearis (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

Die Dichtewerte in Prozent entlang dieser Linie wurden in Tabellen in Excel zusammengefasst. Die einzelnen Punkte auf der Linie waren im 0,15mm Abstand zueinander.

Mit Hilfe des Programmes Excel wurden Dichte absolut, Dichte in Prozent und der Dichtesprung gesammelt und errechnet. Dichte absolut

war der Grauwert des Punktes der aus dem Programm ImageJ übernommen wurde. Für die Ermittlung der Dichte in % wurden zuerst die Differenzen zwischen Minimalwert des gesamten Röntgenbildes und betrachtetem Wert und zwischen Minimal- und Maximalwert ermittelt. Durch Division dieser beiden konnte jedem Dichtewert ein Prozentwert zugeordnet werden. (Siehe Tabelle vier.)

Tabelle 4 Prozentualer und absoluter Dichtewert auf der Basis der Grauwertanalyse in ImageJ auf proximodistalen Linien, in der Oxspringtechnik angefertigten Röntgenbilder von Vorderhufen drei adulten Pferden. Für jedes Röntgenbild wurden das Minimum und das Maximum des Grauwertes erhoben und der prozentuale Dichtewert berechnet. Für jeden auf der X-Achse der Linie definierten Punkt sind die Werte auszugsweise angegeben.

Pferd	1		2		3	
	Minimalwert	Maximalwert	Minimalwert	Maximalwert	Minimalwert	Maximalwert
X [mm]	Dichte [abs]	Dichte [%]	Dichte [abs]	Dichte [%]	Dichte [abs]	Dichte [%]
-8,25	9.932.333	24,52	8.423.248	18,75	8.609.993	23,53
-8,1	10.042.438	22,77	8.423.792	18,74	8.669.039	22,66
-7,95	10.142.123	21,18	8.405.756	19,00	8.606.985	23,57
-7,8	10.113.796	21,63	8.376.473	19,42	8.510.712	24,99
-7,65	10.045.593	22,72	8.389.894	19,23	8.450.380	25,88
-7,5	9.959.130	24,10	8.369.670	19,52	8.429.694	26,18
-7,35	9.887.519	25,24	8.307.768	20,41	8.430.276	26,17
-7,2	9.781.321	26,93	8.329.681	20,09	8.436.390	26,08
-7,05	9.716.013	27,97	8.391.521	19,20	8.453.558	25,83

Um den Dichtesprung zwischen Hufbein und Hornschuh zu berechnen, wurde die Dichte von dem letzten Punkt am Hufbein mit der Dichte des ersten Punktes im Hornschuh subtrahiert. Der Dichtesprung ergab sich so aus zwei Dichtewerten. Um nicht den Überblick zu verlieren, sind nur jene Dichtesprünge berechnet worden, die sich im Umkreis der ausgemessenen Hufbeinkante befanden. Dazu wurde die in ImageJ die Länge der gezeichneten Linie ausgemessen, um so den genauen X Wert zu erhalten. Ein negativer Dichtesprung ergab sich durch eine Reduzierung der Dichte. (Siehe Tabelle fünf.)

Tabelle 5 Dichtesprünge entlang einer proximodistaen Linie durch Hufbein und Hornschuh, Dichtesprünge in Prozent auf innerhal des Hufbeines und des Hornschuhs

	Dichte [abs]	Dichte [%]	Dichtesprung [%]
Hufbein	845.000	24,86	
	857.467	23,12	2,88
	836.867	26,00	2,49
	819.050	28,48	-0,83
	825.000	27,65	-2,18
	840.633	25,47	2,04
	826.000	27,51	5,61
	785.850	33,12	-0,70
	790.867	32,42	-2,81
	811.000	29,61	-0,21
	812.500	29,40	0,30
Hornschuh	810.367	29,70	-3,44
	835.000	26,26	-3,39
	859.250	22,87	-0,15
	860.333	22,72	1,37
	850.500	24,09	1,50

Die Länge der gezeichneten Linie wurde mit Hilfe einer Graphik kontrolliert, siehe nochmals Abbildung 17 auf Seite 29. Weiters wurde der größte und der kleinste Dichtesprung in der jeweiligen Spalte berechnet und der dazugehörige X Punkt.

Die Dichtesprünge wurden innerhalb der Gruppen A, B und C, um eine Gruppendynamik festzustellen, gegenübergestellt. Es wurden Mittelwert und Standardabweichung berechnet.

Die Werte der Gruppen sind miteinander verglichen worden, um zu erfahren, ob der Dichteunterschied von Hufbein zu Hornschuh eine gruppenspezifische Tendenz erzielt. Die Ergebnisse wurden zur besseren Darstellung mit Hilfe von Diagrammen präsentiert.

3.2.2. Dichteveränderungen entlang einer mediolateralen Linie im Bereich der Crena marginis solearis

Bei dieser Analyse wurden die Daten der Gruppen A (Crena), B (fragliche Crena) und C (keine Crena) für die Hypothese verwendet.

Für die Hypothese wurde in den Röntgenbildern über der Crena in die Zone „Ellipse groß“, eine horizontale Linie gezeichnet. Diese Linie ist mindestens so lange wie die Zone „Ellipse klein“. Alle drei Formen konnten mit Hilfe des ROI Manager gespeichert werden und so jederzeit zu dem dazugehörigen Röntgenbild neu aufgerufen werden. Nach dieser Methode wurde auch bei Hufbeinen ohne Crena vorgegangen. Die mediolaterale Linie befindet sich in der Zone „Ellipse groß“, ist mindestens so lange wie die Zone „Ellipse klein“ und ist auf der ersten möglichen Linie innerhalb des Hufbeines. Die kleine Ellipse nimmt maximal ein Drittel der großen Ellipse ein und befindet sich palmarodistal in der großen Ellipse, siehe Abbildung 19.

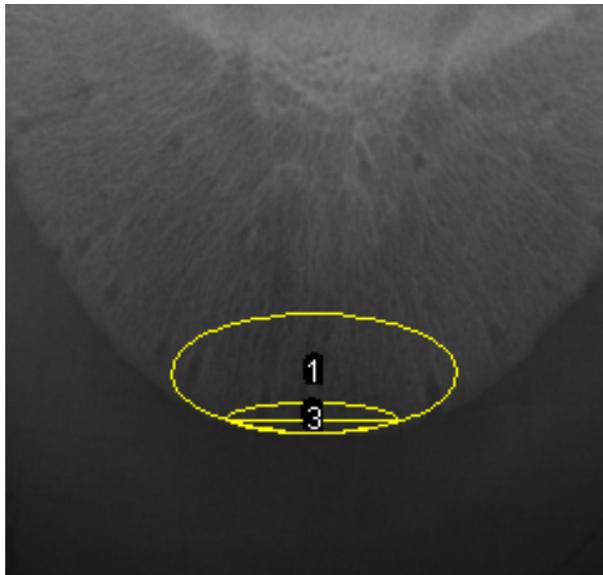


Abbildung 19 Röntgenbild einer Zehe eines Pferdes im dorsoproximalen- palmarodistale obliquen Strahlengang, Pferd 13 aus Gruppe C, Ein vergrößerter Ausschnitt von kleiner Ellipse, großer Ellipse und mediolateraler Linie (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

Die folgenden Abbildungen zeigen, ein Röntgenbild mit vorhandener Crena marginis solearis (siehe Abbildung 20), eine große Ellipse (siehe Abbildung 21) und eine kleine Ellipse (siehe Abbildung 22) eingefügt mit

Hilfe des Programmes ImageJ. In Abbildung 23 ist zusätzlich die mediolaterale Linie eingezeichnet.

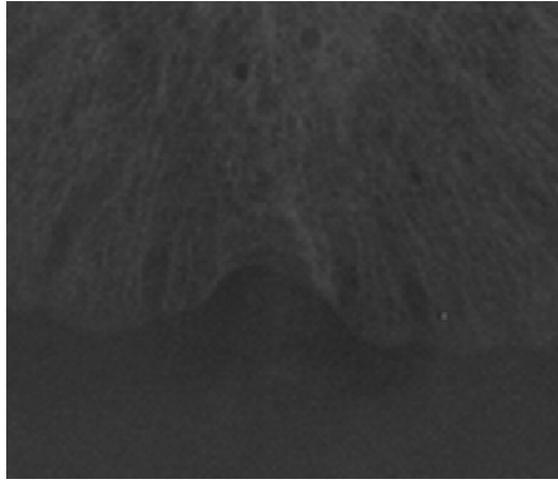


Abbildung 20 Röntgenbild einer Zehe eines Pferdes im dorsoproximalen-palmarodistale obliquen Strahlengang, Pferd 2 aus Gruppe A, Ein vergrößerter Ausschnitt der Crena Marginis solearis (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

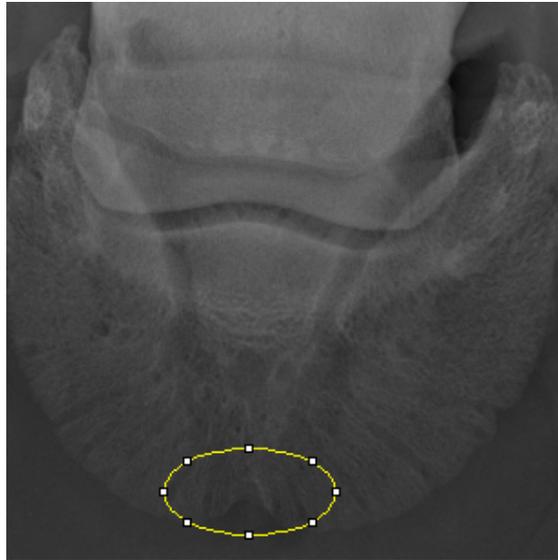


Abbildung 21 Röntgenbild einer Zehe eines Pferdes im dorsoproximalen-palmaroistal obliquen Strahlengang, Pferd 1 aus Gruppe A, Große Ellipse (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)



Abbildung 22 Röntgenbild einer Zehe eines Pferdes im dorsoproximalen-palmaroistal obliquen Strahlengang, Pferd 1 aus Gruppe A. Kleine Ellipse innerhalb Crena Marginis solearis (Bildgebende Diagnostik, Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

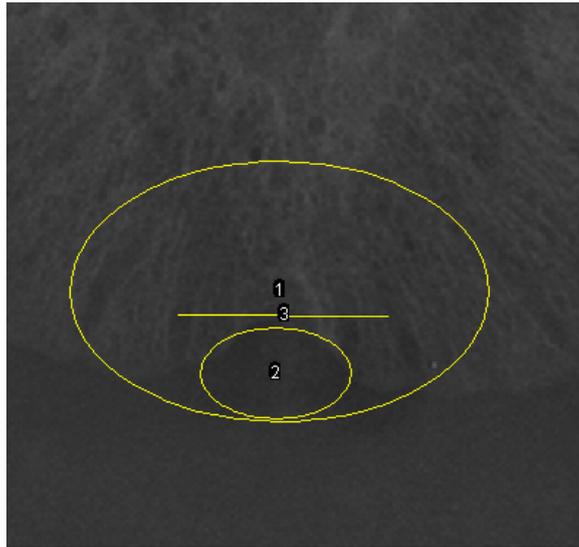


Abbildung 23 Röntgenbild einer Zehe eines Pferdes im dorsoproximalen- palmaroistale obliquen Strahlengang, Pferd 1 aus Gruppe A. Große Ellipse, kleine Ellipse und mediolaterale Linie in ImageJ konstruiert (Veterinärmedizinische Universität Wien, Universitätsklinik für Pferde; 2018)

Die erhobenen Daten wurden in Exceltabellen weiterverarbeitet. Jedem Hufbein wurde eine Tabelle zugeordnet. In dieser wurden die Daten der mediolateralen Linie aus dem ROI Manager und der dazugehörigen Wert X gesammelt. Der ROI Manager ist in Abbildung 24 dargestellt

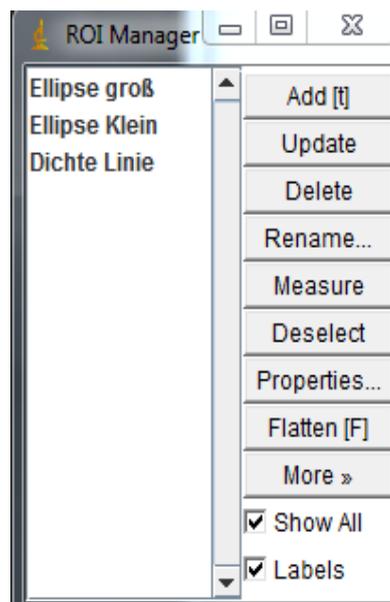


Abbildung 24 Abbildung eines ROI (Region of Interest) Managers des Programmes ImageJ

Der Dichtewert auf der mediolateralen Linie über dem höchsten Punkt der Crena oder mittig über dem Margo solearis ohne Crena marginis solearis wurde als Nullpunkt mit 0mm definiert. In diesem Punkt kreuzt die mediolaterale Linie die sagittale Achse des Hufbeines. Rechts von diesem entlang der mediolateralen Linie wird in 0,15mm Schritten hoch gezählt (positiver Bereich), links davon wird in 0,15mm Schritten nach unten gezählt (negativer Bereich). In Tabelle sechs wird ein Ausschnitt des negativen Bereichs einer mediolateralen Linie dargestellt.

Tabelle 6 Dichtewerte absolut und in Prozent entlang einer mediolateralen Linie über der Crena marginis solearis, Pferd eins aus der Gruppe A

Pferd	1		
Minimalwert		1147	
Maximalwert		520	
X [mm]	Dichte [abs]	Dichte [%]	
-8,25	9.932.333	24,52	
-8,1	10.042.438	22,77	
-7,95	10.142.123	21,18	
-7,8	10.113.796	21,63	
-7,65	10.045.593	22,72	
-7,5	9.959.130	24,10	
-7,35	9.887.519	25,24	
-7,2	9.781.321	26,93	
-7,05	9.716.013	27,97	
-6,9	9.803.833	26,57	
-6,75	9.867.987	25,55	
-6,6	9.844.667	25,92	
-6,45	9.849.148	25,85	
-6,3	9.967.784	23,96	

Die Dichteverläufe entlang der mediolateralen Linie wurden innerhalb einer Gruppe verglichen, um zu sehen, ob es spezifische Unterschiede zwischen den einzelnen Werten und der Crena, nicht vorhandenen Crena oder fraglichen Crena gab. Weiters wurden die Werte der Gruppen untereinander verglichen, um gruppenspezifische Werte zu erzielen.

Die Ergebnisse wurden mit Hilfe von Grafiken bildlich dargestellt.

3.2.3. Statistik

Für die Wiederholbarkeit und die Anwendung der erhobenen Daten auf andere größere Gruppen, wurden die Ergebnisse statistisch überprüft. Folgende Erkenntnisse sind dokumentiert worden.

Zur Erstellung der Statistik wurden der Gesamtmittelwert der Dichteverläufe der drei Gruppen und der Gesamtmittelwert der Dichtesprünge berechnet. Die Daten befinden sich in folgender Tabelle sieben.

Tabelle 7 Gesamtmittelwert der Dichteverläufe und Dichtesprünge und Standardabweichung

	Werte der mediolateralen Linie	Werte der proximodistalen Linie
Gesamtmittelwert	27,127% (Dichteverlauf)	1,6783% (Dichtesprung)
Standardabweichung	7,1554%	0,6244%

Zur Überprüfung welche statistische Methode anwendbar war, wurden die Daten der mediolateralen und proximodistalen Linien auf Normalverteilung geprüft.

Die berechneten Werte wurden in einer Tabelle zusammengefasst und Graphiken wurden zur bildlichen Darstellung erstellt.

Bei der Überprüfung auf Normalverteilung der Daten der mediolateralen Linien, wurde der Mittelwert der Dichte über dem höchsten Punkt der Crena marginis solearis, der fraglichen Crena oder keiner vorhandenen Crena berechnet und diesem wurde ein Binomialverteilungswert zugeordnet. Dieser Wert ergibt sich aus dem Dichtewert über der Crena (fraglicher Crena oder keiner Crena), Gesamtmittelwert und der Standardabweichung von der gesamten Probandengruppe der mediolateralen Linien, welche Gruppe A, B und C zusammenfasst (n=42). Die Hypothesentestung wurde mit Hilfe der Errechnung des P-Values durchgeführt. Es wurde ein Signifikanzniveau von 95% festgelegt. Wenn der errechnete P-Value unter 0.05 liegt, konnte die Nullhypothese

widerlegt werden. Der errechnete P- Wert für die Verteilung der mediolateralen Dichte ergab 0.021, somit konnte die Nullhypothese widerlegt werden und die Arbeitshypothese, dass die Dichte über dem proximodistalsten Punkt über der Crena Marginis solearis entlang einer mediolateralen Linie geringer ist, als jene Dichte seitlich davon.

Bei der Gruppe der proximodistalen Linien wurde die Normalverteilung der Dichtesprünge von Hufbein zu Hornschuh entlang einer mittig durch die Crena marginis solearis, der fraglichen Crena oder dem Margo solearis geprüft. Die Gruppengröße ist ebenfalls 42 (Gruppe A, Gruppe B und Gruppe C). Für die Überprüfung der Verteilung wurden mit Hilfe des Dichtesprunges, der Standardabweichung und des Mittelwertes der gesamten Gruppe die Binomialverteilungswerte bestimmt. Der errechnete P- Wert für die Dichtesprünge von Hufbein zu Hornschuh entlang einer proximodistalen Linie mittig durch die Crena marginis solearis, der fraglichen Crena oder dem Margo solearis beträgt 0,022. Somit konnte hier die Nullhypothese auch widerlegt werden und die Annahme bestätigt, dass die Dichtesprünge bei einer vorhandenen Crena geringer sind, als jene bei keiner Crena.

Abschließend wurde durch den ungepaarten t-Test geprüft, ob die beiden Gruppen A und C sich statistisch signifikant unterscheiden.

Die in Tabelle acht aufgeführten Werte, wurden in die angeführte Formel für die Durchführung des t-Tests eingesetzt. Liegt das Ergebnis des t-Wertes unter dem kritischen Wert von 0,05 bei 95 % Signifikanzniveau unterscheiden sich die beiden Gruppen signifikant.

Tabelle 8 **Berechnungswerte für t-Test**, X1 (Mittelwert), n1 (Gruppengröße) und s1 (Standardabweichung) für Gruppe mit Crena, X2, n2 und s2 für Gruppe ohne Crena

	Mediolateralen Linien	Proximodistale Linien
X1	28,35	2,06
X2	25,85	1,36
n1	14	14
n2	14	14
s1	6,34	0,58
s2	7,04	0,29

Die Überprüfung ergab, dass der t-Wert bei den proximodistalen Linien 0,00041 ergab. Dies liegt deutlich unter dem kritischen t-Wert von 0,05 bei einem Signifikanzniveau von 95 %. Dies verdeutlicht, dass die Annahme durch die graphische Darstellung, dass sich die beiden Gruppen signifikant unterscheiden.

Weiters ist der t-Wert für die mediolateralen Linien berechnet worden. Um die Gruppen A und C miteinander zu vergleichen, wurde hier die polynome Trendlinie (3. Grad) berechnet und für diese das Bestimmtheitsmaß herangezogen. Das Bestimmtheitsmaß für diese polynome Trendlinie bei Gruppe A war höher, als das Bestimmtheitsmaß für die polynome Trendlinie bei Gruppe C. Dies resultierte daraus, dass die mediolateralen Linien der Gruppe C eher geraden Linien annähern. Die Bestimmtheitsmaße der Trendlinien wurden für den T-Test herangezogen. Der T - Wert für die Gruppe A und Gruppe C der mediolateralen Linien lag bei 0,00020 und somit unter dem kritischen Wert von 0.05. Die beiden Gruppen unterscheiden sich statistisch signifikant. Das Bestimmtheitsmaß für jede mediolaterale Linie von Gruppe A und C wird in Tabelle neun veranschaulicht.

Tabelle 9 Bestimmtheitsmaß für jede polynome Trendlinie der mediolateralen Linien, Gruppe A (mit Crena) und Gruppe C (ohne Crena) im Vergleich. Das Bestimmtheitsmaß für eine polynome Trendlinie ist für Gruppe A höher als bei Gruppe C.

	Gruppe A	Gruppe C
Bestimmtheitsmaß	0,3704	0,0148
	0,5194	0,0713
	0,0706	0,0707
	0,1619	0,0516
	0,5141	0,2257
	0,0947	0,0461
	0,2214	0,0643
	0,3263	0,0566
	0,4411	0,0626
	0,2417	0,1001
	0,0491	0,0256
	0,2384	0,1765
	0,7366	0,0256
	0,355	0,0335

Weiters sind der Mittelwert und die Standardabweichung des Bestimmtheitsmaßes für Gruppe A und C berechnet worden. Die Ergebnisse sind in folgender Tabelle zehn zusammengefasst worden. Hier wird nochmals veranschaulicht, dass das Bestimmtheitsmaß für Gruppe A höher war als jenes der Gruppe C.

Tabelle 10 Mittelwert und Standardabweichung des Bestimmtheitsmaßes des Gruppen A und C

	Gruppe A	Gruppe C
Mittelwert	0,31005	0,073214286
Standardabweichung	0,196494086	0,059385881

4. Ergebnisse

4.1. Dichteveränderungen entlang einer proximodistalen Linie durch die *Crena marginis solearis*

Durch die Analyse mit Hilfe der Vermessungen in ImageJ und der daraus resultierenden Excel Dateien, konnten folgende Ergebnisse bei den proximodistalen Linien ermittelt werden.

Zunächst wurden die einzelnen Gruppen analysiert. Bei Gruppe A, dies ist die Gruppe der Hufbeine mit *Crena marginalis solearis*, erkannte man deutlich, dass die Dichtesprünge in % gering waren. Die Dichtesprünge befanden sich zwischen einem Minimalwert von 0,86% und Maximalwert von 1,72 %. Der Mittelwert bei dieser Gruppe lag bei 1,36%. Minimalwert und Maximalwert lagen nahe beieinander, dies beweist, dass die Werte dieser Gruppe homogen verteilt waren. Die Streubreite dieser Gruppe lag bei 0,29% und bewies, dass die Werte näher beim Mittelwert lagen, als bei den Gruppe B und C.

Bei den Dichtesprüngen in % bei Gruppe B erkannte man, dass die Dichtesprünge sehr heterogen verteilt sind. Der Minimalwert liegt in dieser Gruppe bei 0,33% und der Maximalwert bei 3,01%. Dies ergab einen Unterschied von 2,68%. Der Mittelwert der Gruppe mit fraglicher *Crena*, war 1,6% und somit um 0,25% größer als bei Gruppe A. Die Streubreite bei dieser Gruppe ist am höchsten und liegt bei 0,73%.

Bei Gruppe C erkennt man, dass die Gruppe heterogen ist. Die Dichtesprünge sind bei dieser Gruppe von einem Minimalwert von 1,34% bis zu einem Maximalwert von 3,44 %. Der Mittelwert der Gruppe ohne *Crena* ist der höchste aller Gruppen und liegt bei 2,07%. Die Streubreite liegt bei 0,58% und ist höher als bei der Gruppe A.

Die Ergebnisse sind in Diagrammen zusammengefasst worden, um die Dichteunterschiede der einzelnen Gruppen zueinander deutlich ersichtlich zu machen.

In dem folgenden Gruppenvergleich Abbildung 25 stellt jeder Punkt einen Dichtesprung in Prozent dar. Durch die Farbe der einzelnen Werte wird die Homogenität bzw. Heterogenität verdeutlicht.

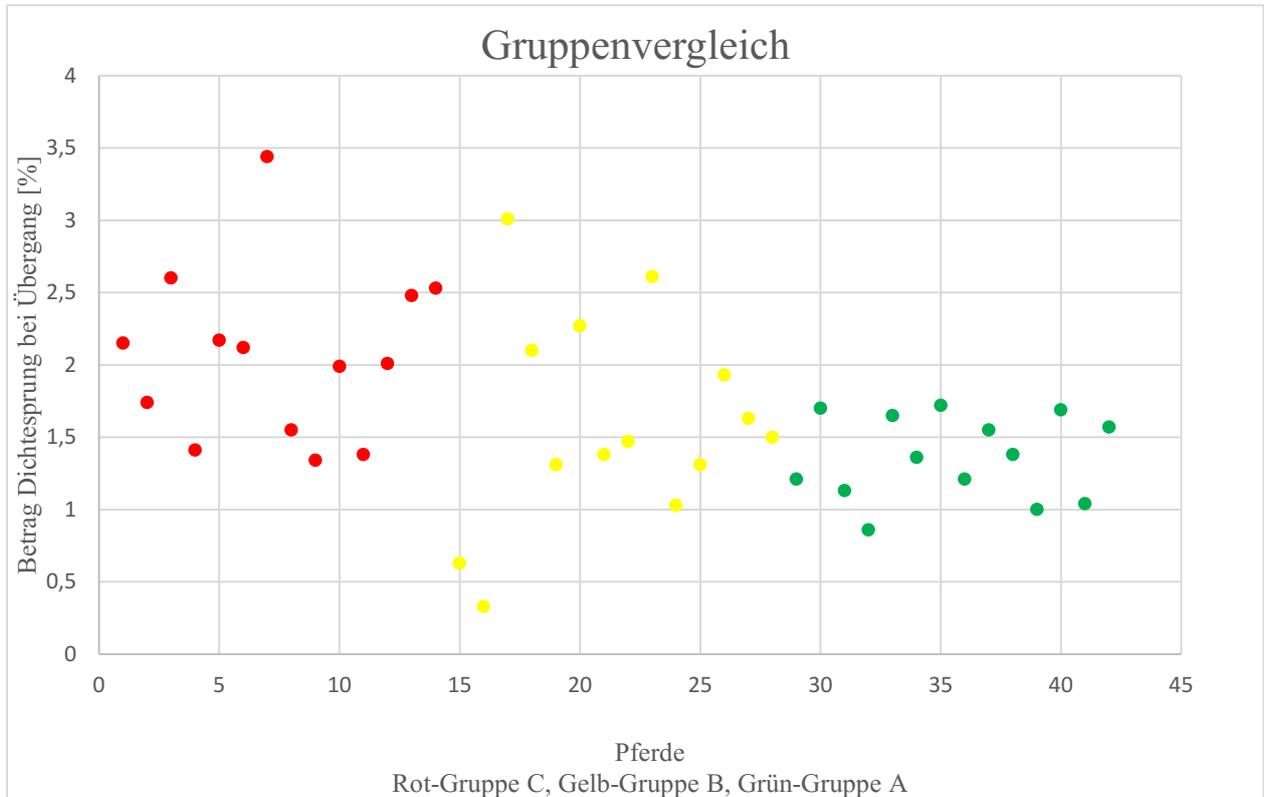


Abbildung 25 Dichtesprünge aller individuellen Hufbeine zusammengefügt in einem direkten Vergleich, Gruppe Rot – Hufbeine ohne *Crena marginis solearis*, Gruppe Gelb- Hufbeine mit fraglicher *Crena marginis solearis* und Gruppe Grün – Hufbeine mit *Crena marginis solearis*

In Abbildung 26 sind die Dichtesprünge der drei Gruppen pro Gruppe dargestellt.

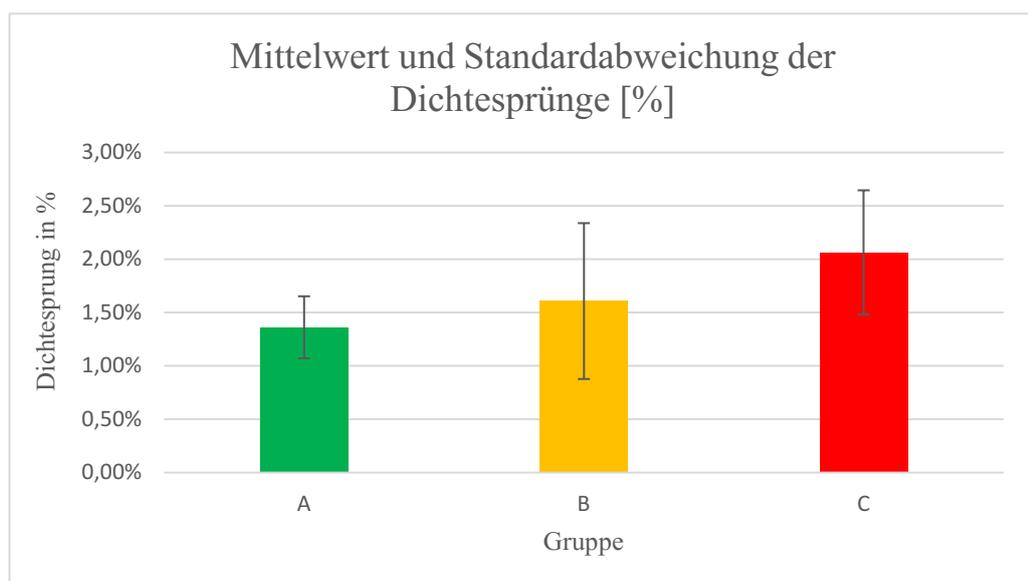


Abbildung 26 Mittelwert und Standardabweichung der Dichtesprünge entlang der proximodistalen Linien von Gruppe A, B und C

4.2. Dichteveränderungen entlang einer mediolateralen Linie im Bereich der Crena marginis solearis

Es wurde die Frage gestellt, wie sich die Dichte über der Crena marginis solearis oder dem Margo solearis entlang einer mediolateralen Linie verhält. Jede Gruppe wurde zunächst einzeln analysiert und danach miteinander verglichen. Abbildung 27 zeigt die Dichte der einzelnen Punkte in % auf einer mediolateralen Linie. Die Punkte wurden im 0,15mm Abstand zueinander gemessen. Der Nullpunkt zeigt den proximodistalsten Punkt auf einer mediolateralen Linie in Gruppe B. Den Dichtewerten wurde zur vereinfachten Darstellung eine polynome Trendlinie dritten Grades hinzugefügt. So konnten die einzelnen mediolateralen Linien der Gruppen miteinander verglichen werden

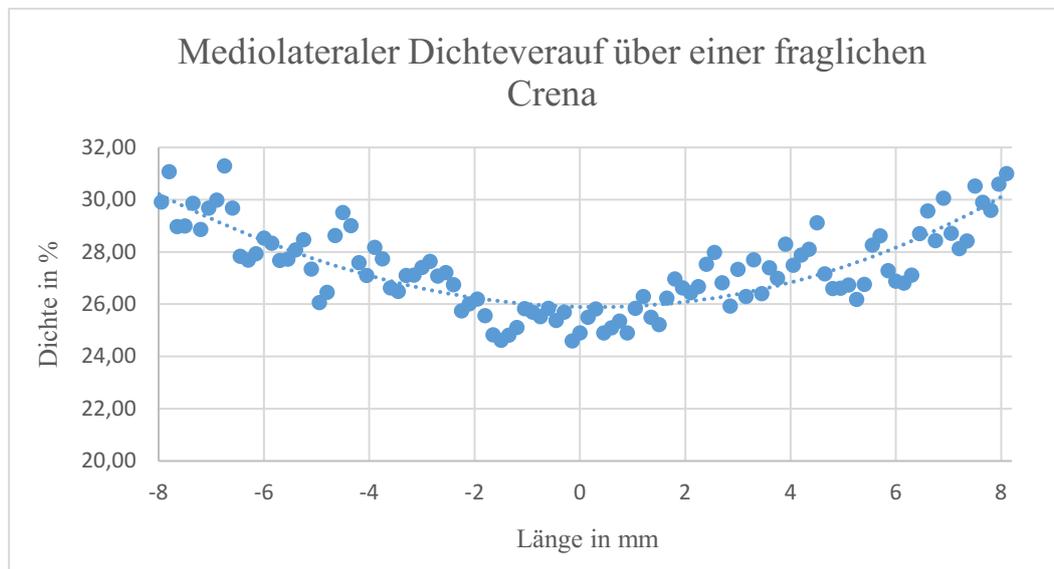


Abbildung 27 **Mediolateraler Dichteverlauf über einer fraglichen Crena marginis solearis**, Pferd 4 aus Gruppe B

Gruppe B (Hufbeine mit fraglicher Crena) zeigte einen inhomogenen Dichteverlauf zwischen den einzelnen Linien. Es zeigten sich polynome Trendlinien, bei denen die Dichte über dem dorsoproximalsten Punkt über der fraglichen Crena geringer war, als an den jeweiligen Enden der Linie. Es gab aber auch Trendlinien mediolateraler Linien, bei denen der Dichteunterschied zwischen der Mitte der Linie und den beiden Enden keinen großen Dichteunterschied in % zeigten und andere, die einen größeren Dichtesprung aufwiesen. Verdeutlicht wurden die Ergebnisse durch Abbildung 28 auf Seite 45. Jeder horizontalen Linie ist eine polynome Trendlinie dritten Grades angenähert

wurden, um den Trend des Dichteverlaufes besser darstellen zu können. Dadurch wurden die Linien alle gleich lang. Es musste beachtet werden, dass die polynomen Linien den Trend, auch am Ende der eigentlich gemessenen Daten weiterführte. So entstand z.B. das Bild, dass einige mediolaterale Linien am Ende dieser, eine Dichte von 40% hatten. Dies war zu vernachlässigen, da der Datensatz zwar den Trend einer Erhöhung der Dichte zeigte, aber die Linie bei einer viel geringeren Dichte aufhörte. Die Polynome waren als Vereinfachung zu sehen, da einzelne Dichtepunkte zu unübersichtlich wären und die Vergleichbarkeit nicht mehr gegeben gewesen wäre. Weiters wurde für jede mediolaterale Linie das Bestimmtheitsmaß für eine polynome Trendlinie und für eine lineare Linie berechnet. Somit konnten die einzelnen Linien zwischen den Gruppen miteinander verglichen werden. Bei der Gruppe B war das Bestimmtheitsmaß für die polynome Trendlinie höher, als das Bestimmtheitsmaß für eine gerade Linie.

Die Gruppe A (Hufbein mit Crena) zeigte ein sehr homogenes Bild der Trendlinien. Die Dichte über dem höchsten Punkt der Crena war die Stelle mit der geringsten Dichte in Prozent. Jeder mediolateralen Linie über der Crena wurde ein Polynom dritten Grades angenähert, siehe Abbildung 29 auf der Seite 45. Hier sind wieder alle Polynome gleich lang, da das Polynom nicht mit der Länge der Linie korreliert. Der größte Dichteunterschied zwischen dem höchsten Punkt der Crena marginis solearis und den beiden Rändern zeigen Polynome K und F. Es wurde wieder das Bestimmtheitsmaß für jede mediolaterale Linie dieser Gruppe berechnet. Das Bestimmtheitsmaß für das Polynom berechnet, war hier höher, als das Bestimmtheitsmaß für eine lineare Linie.

Bei Gruppe C (Hufbein ohne Crena) erschienen die mediolateralen Linien angenähert an ein Polynom sich geradlinig zu verhalten, siehe Abbildung 30, Seite 46. Bei manchen Polynomen, zum Beispiel Polynom B, ist die Dichte über der Mitte des Margo solearis (Mitte des Polynoms) größer, als die Dichte Richtung der Enden der mediolateralen Linie. Es bildete sich ein konvexes Polynom. Im Allgemeinen erkennt man hier den Trend, dass sich die Dichte annähernd gleich entlang der mediolateralen Linie verhielt. Das Bestimmtheitsmaß für das Polynom einer der Linien der Gruppe C war geringer, als das Bestimmtheitsmaß für die Dichtewerte angenähert an einer Linie.

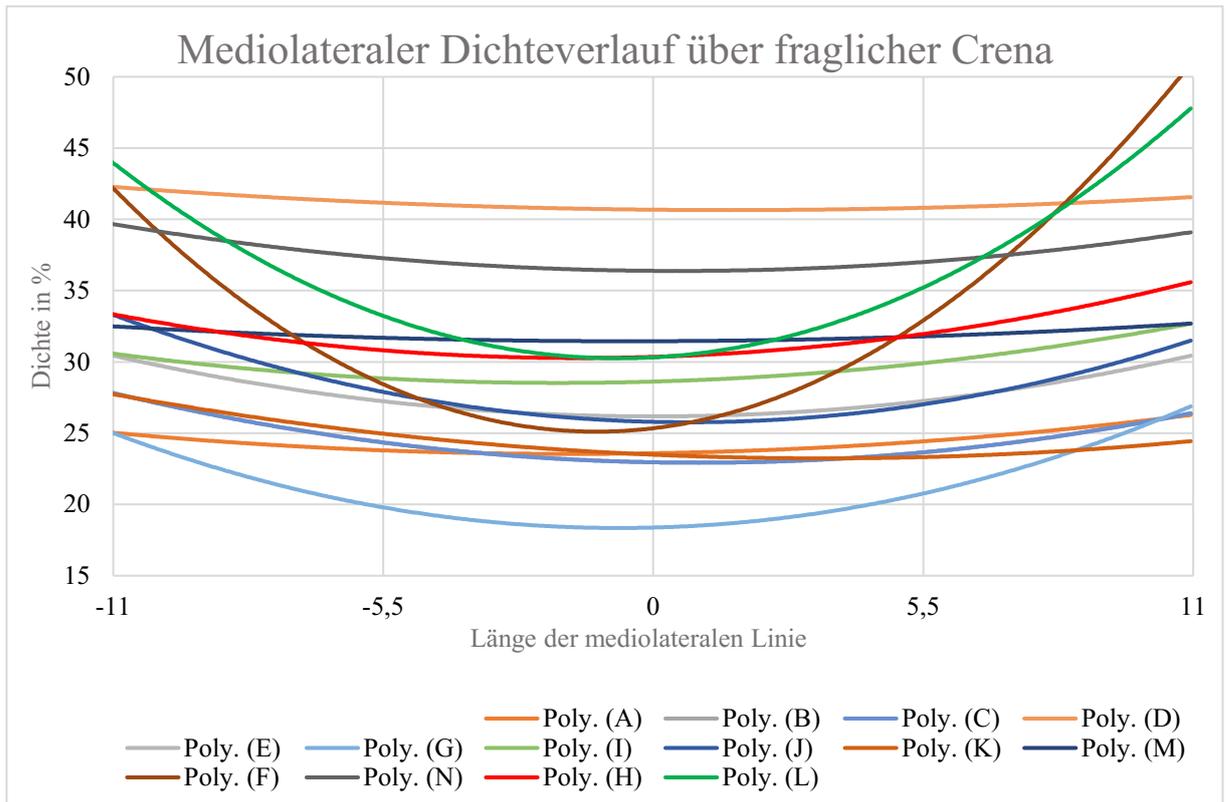


Abbildung 28 Dichteverlauf entlang mediolateralen Linien über einer fraglichen Crena marginis solearis.

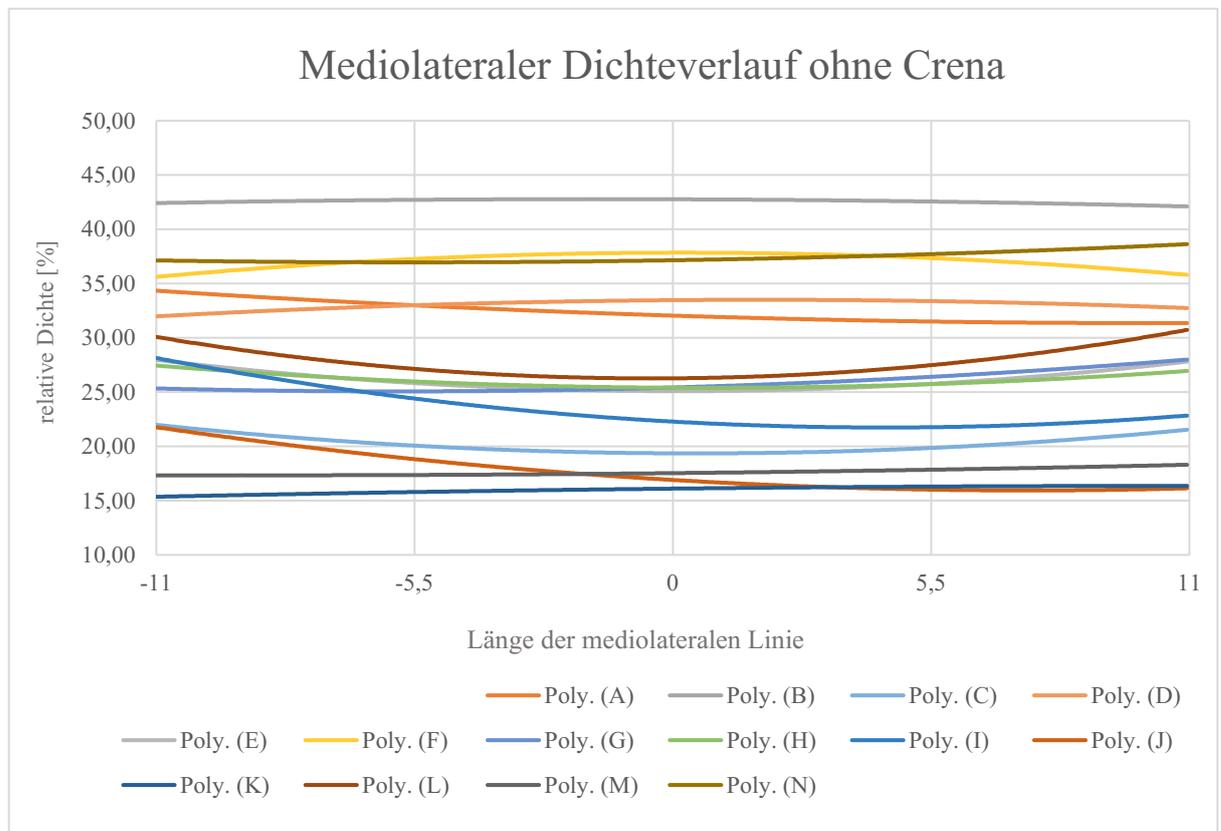


Abbildung 29 Dichteverlauf entlang mediolateralen Linien über dem Margo solearis bei keiner vorhandenen Crena marginis solearis,

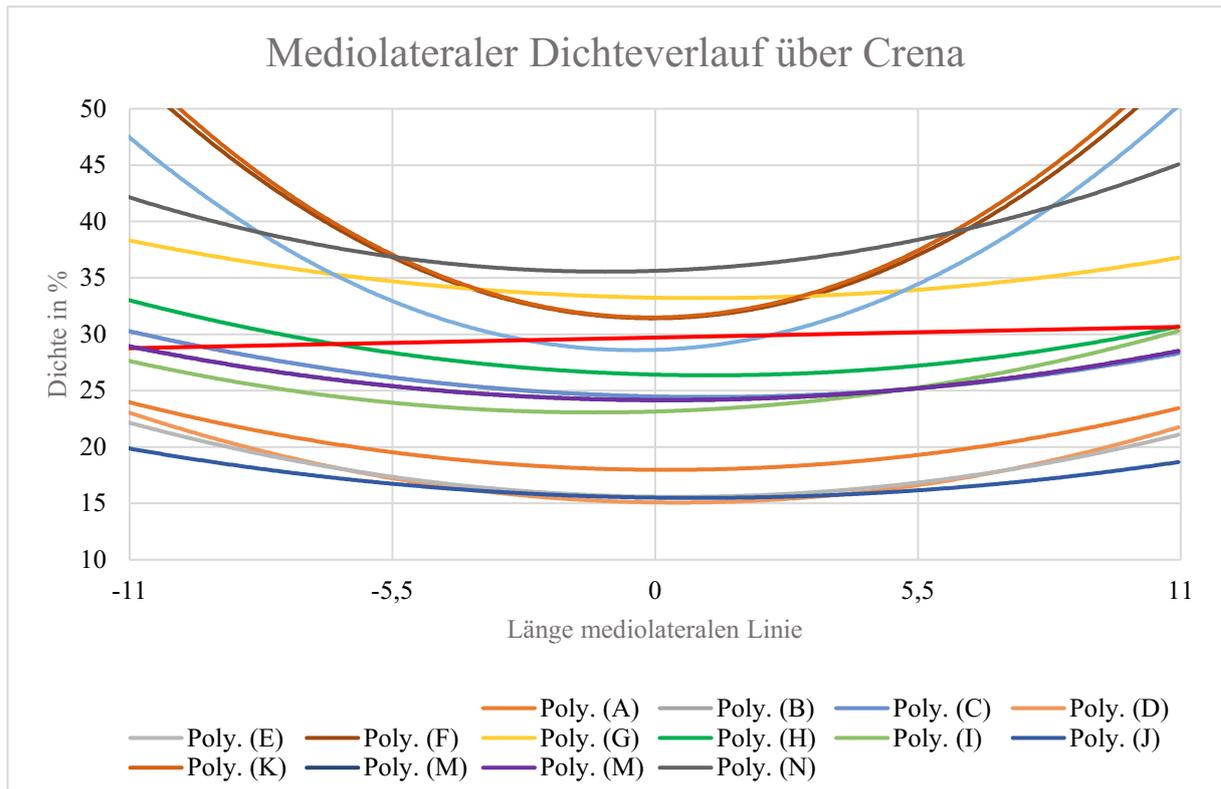


Abbildung 30 Dichteverlauf entlang mediolateralen Linien über einer Crena marginis solearis

In der folgenden Abbildung 31 werden die Ergebnisse der errechneten Mittelwerte und Standardabweichung entlang der mediolateralen Linien der einzelnen Gruppen A, B und C veranschaulicht. Die Standardabweichung ist bei Gruppe C (Hufbein ohne Crena) am größten ist. Die mediolateralen Linien bei den Hufbeinen ohne Crena sind von ihrem Dichteverlauf sehr homogen, die Standardabweichung ist aber hier aber größer, da die Linien unterschiedliche Durchschnitte der Dichte in % aufweisen.

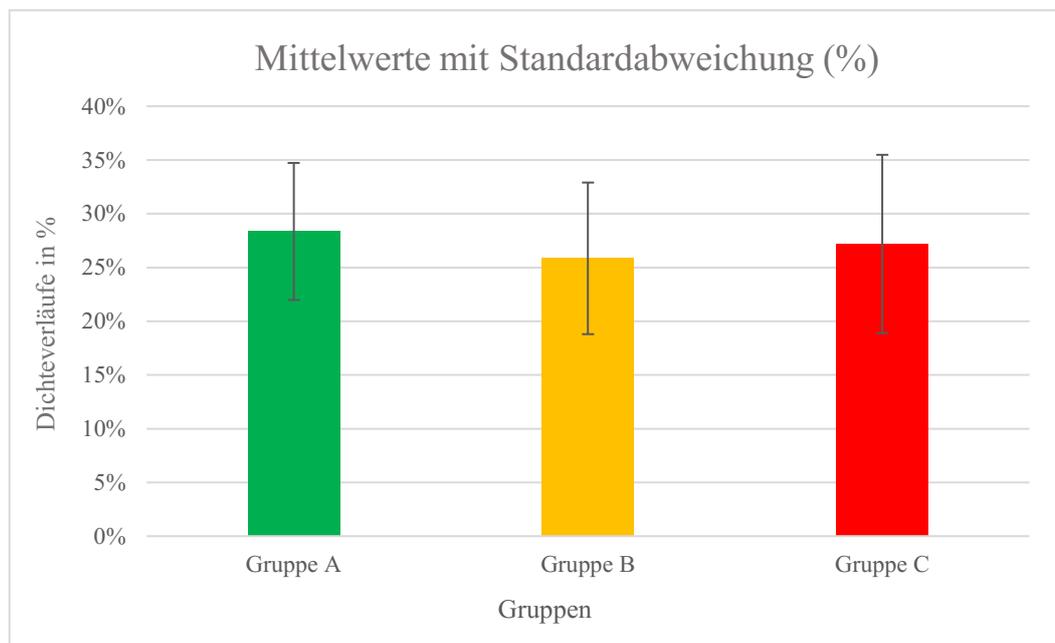


Abbildung 31 Mittelwerte mit Standardabweichung der Dichteverläufe entlang mediolateralen Linien. Gruppe B - mit fraglicher Crena marginis solearis, Gruppe A - mit Crena und Gruppe C - ohne Crena marginis solearis

5. Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Physiologie der *Crena solearis marginalis* zu untersuchen. Die vorliegende Studie zeigt durch einen Dichteverlauf, der durch die Grauwerte der verschiedenen Grautöne in einem Röntgenbild entsteht, Dichteunterschiede innerhalb einer markierten Zone.

Die Studie nimmt an, dass der Dichteverlauf innerhalb einer standardisierten Markierung im Zusammenhang mit einer vorhandenen *Crena marginalis solearis* steht.

Zunächst ist hervorzuheben, dass zunächst viele Röntgenbilder (n=100) betrachtet worden sind. Durch das nötige Ausmustern erkrankter Hufbeine, wie zum Beispiel eine Ostitis des Hufbeines, ist die Probenzahl auf 42 Röntgenbilder dezimiert worden. Dieses Ausscheiden der Röntgenbilder war in Hinblick auf eine Aussagekraft der Dichteverhältnisse wichtig, da die Ergebnisse dieser Arbeit auf gesunde Hufbeine schließen sollten. Es konnte bewiesen werden, dass der Ergebnisunterschied innerhalb der Gruppe der proximodistalen Linien und der mediolateralen Linien signifikant unterschiedlich zwischen Gruppe A und Gruppe B war. Dies bewies, dass die Dichte im Hufbein proximal einer vorhandenen *Crena marginalis solearis* geringer war, als an den Enden auf einer mediolateralen Linie innerhalb des Hufbeines. So konnte bestätigt werden, dass bei den Hufbeinen der Pferde, die in dieser Studie verwendet worden sind, ein signifikanter Dichteunterschied im Hufbein proximal der *Crena* und proximal axial des *Margo solearis* zwischen den Gruppen besteht.

Die Röntgenbilder wurden in gleich große Gruppen (Gruppe A, B und C) gegliedert, in dieser sich verschiedene Pferderassen im adulten Alter befanden. Dies war durch eine fundierte Suche durch das TIS der Veterinärmedizinischen Universität Wien und die Anwesenheit bei den meisten Untersuchungen der Patienten möglich. Hervorzuheben ist, dass die Gruppierung und das Auswahlverfahren durch eine Person und der Hilfe der Befunde, die während des Klinikaufenthaltes erhoben worden sind, getätigt wurden. Es wurden Auswahlkriterien festgelegt und nach diesen wurde systematisch vorgegangen. Positiv ist, dass die Röntgenbilder nur von einer Person ausgesucht worden sind und zusätzlich der Befund langjähriger und erfahrener Radiologinnen und Radiologen hinzugezogen worden ist.

Kritisch zu hinterfragen, ist die Tatsache, dass die Lebensweise des Pferdes und somit die Beanspruchung orthopädischer Strukturen, nicht einbezogen wurde. Im engeren Sinne können das Wissen über die Nutzung, die Haltung und den Sporteinsatz maßgeblich sein. Dichteveränderungen und Dichteverhältnisse im Hufbein können in Korrelation mit einer Überbeanspruchung des Hufbeines stehen und müssen so in die Berechnungen miteinbezogen werden. Es wäre erstrebenswert, dass die Berücksichtigung dieser Faktoren in zukünftige Studien einfließt.

Es wurden sowohl beschlagene als auch unbeschlagene Pferde in der Studie aufgenommen. Hervorzuheben ist, dass die Verteilung beschlagener und unbeschlagener Pferde zwischen den Gruppen annähernd gleich ist (Gruppe A drei unbeschlagene Pferde, Gruppe B fünf unbeschlagene Pferde und Gruppe C drei unbeschlagene Pferde). Die Verteilung innerhalb der Gruppe hält sich nicht die Waage, da es mehr Pferde mit Eisen gibt, als ohne. Dies sollte man in weiteren Studien berücksichtigen, dass die Anzahl der unbeschlagenen und beschlagenen Pferde gleich groß sein soll.

Dem Einflussfaktor der Aufzüge der Eisen wurde in dieser Studie keine Gewichtung gegeben. Die meisten Pferde werden an den Vorderbeinen mit vorderen Aufzügen und an den hinteren Beinen mit seitlichen Aufzügen beschlagen (Ruthe 2012). Ob die Aufzüge in einem direkten Zusammenhang mit dem Vorhandensein oder Größe der *Crena marginis solearis* stehen, ist somit nicht untersucht worden. Diesen Aspekt in weiteren Studien zu untersuchen wäre erstrebenswert, da das Wissen über die Auswirkung von Aufzügen an Hufeisen maßgeblich zur Pferdegesundheit beitragen würde. Eine tierärztliche Empfehlung könnte so an die Hufschmiede weitergegeben werden.

Durch das wenige wissenschaftliche Wissen über die *Crena marginis solearis*, gibt es auch keine Daten, ab welcher Größe die *Crena marginis solearis* als eine solche zu bezeichnen ist. Die Literatur beschreibt eine *Crena* durch das Vorhandensein beider Vorderextremitäten (oder/und Hinterextremitäten), die sich in gleicher Größe darstellen. Die Größe variiert sehr stark und kann bis zu 1,5 cm gehen (König und Liebich 2015).

Wegen dieser Voraussetzung sind drei Gruppen in dieser Studie gebildet worden. Die Gruppe mit vorhandenen *Crena marginis solearis*, die Gruppe der nicht

vorhandenen Crena marginis solearis und die Gruppe der fraglichen Crena marginis solearis. Man kann durch die Gruppe B (fragliche Crena) sehen, dass sich manche Linien aufgrund der Dichtemessungen eher wie bei einer vorhandenen Crena marginalis solearis verhalten und andere wiederum nicht. Der Dichteunterschied zweier Punkte über dem höchsten Punkt der Crena marginis solearis ist geringer, als jeder Dichteunterschied mittig am Margo solearis ohne Crena zum Hornschuh. Die Gruppe A und C wurde miteinander verglichen, da ausgegangen wurde, dass es nur eine Crena marginalis solearis gibt, oder keine. Kontrovers kann man sehen, ob es eine „Vorstufe“ der Crena marginis solearis gibt und diese Gruppe zurecht in die Ergebnisse einfließen lassen soll. Ob eine strenge Linie zwischen vorhandener Crena und nicht vorhandenen Crena gezogen werden soll, müssen weitere Studien beweisen.

Diese Studie zeigt, wie sich der Dichte, mit Hilfe der Grauwertveränderung, entlang einer proximodistalen oder mediolateralen Linie verhält. Es wurden nur die Dichteveränderungen gesunder Hufe gemessen. In weiteren Messungen, wäre es interessant zu wissen, wie sich die Dichten der Knochen bei Pathologien verhalten, um so die erhobenen Dateien der angenommenen physiologischen Dichteveränderung mit einer Pathologie, zum Beispiel die eines Keratoms, zu vergleichen. Für diese Berechnung muss natürlich angenommen werden, dass die Crena marginis solearis eine physiologische anatomische Struktur darstellt. Ähneln die Ergebnisse der Pathologie, die der physiologisch gedachten Crena marginis solearis, muss diese Annahme jedoch weiter hinterfragt werden!

Durch die Ergebnisse der Studie, dass die Dichte über der Crena marginis solearis geringer ist, als jene am Rand der Crena und dass der Dichtesprung wesentlich geringer zwischen Hufbein mit Crena und Hornschuh als jener zwischen Hufbein ohne Crena und Hornschuh ist, können mehrere Theorien aufgebracht werden. Es ist beschrieben, dass jede Änderung physiologischer Kräfte, wie Druck-, Zug-, oder Scherkräfte, in kürzerer Zeit Knochenumbau begünstigen. Der Knochen passt sich an neue statisch-mechanische Kräfte an. Hier begünstigt nicht nur hohe Belastung Knochenumbau, sondern auch länger andauernde geringe Belastung. Hier ist zu beachten, dass jüngere Knochen mit einer Aktivitätshypertrophie oder einer Inaktivitätshypotrophie schneller reagieren als ältere (Müller-Gerbl 2010). Dieser

Vorgang ist aber nicht bis zu einer beliebigen Belastung ausdehnbar. Bei einer Überschreitung der Spannungsgröße schlägt der Knochenanbau in Abbau um. Äußere Kräfte wirken auf den Knochen als Beanspruchung, vor allem auf die Osteozyten, aber auch auf die Interzellularsubstanz. Dieser Reiz hält den Knochenanbau und Knochenabbau die Waage (Müller-Gerbl 2010). Nun stellt sich die Frage, ob die geringere Dichte über der *Crena marginis solearis* im Zusammenhang mit pathologischen Knochenabbau zusammenhängt, da die Spannungsgröße durch zu hohen Druck (Gewicht des Pferdes, Überbeanspruchung durch Haltung/Sport oder Beschlag) überschritten wurde. Dieser Annahme bedarf es weitere wissenschaftliche Studien, die dieses Thema ergreifen und kritisch hinterfragen.

In dieser Studie wurde für jedes Pferd ein Röntgenbild bearbeitet. Dieser Befund stellt eine Momentaufnahme dar. In zukünftigen wissenschaftlichen Arbeiten wäre es erstrebenswert, wenn von einem Pferd mehrere Röntgenstudien über einen gewissen Zeitraum angefertigt und bearbeitet werden. Hier sollte man über Haltung, Nutzung und Hufbearbeitung genaueste Daten erhalten, um diese mit in die Berechnungen fließen zu lassen. So erhält man genaue Daten, wie sich der Knochen verhält und ob es in einem adulten Alter zu weiteren Dichteveränderungen, vor allem im Bereich der *Crena marginis solearis*, kommt.

Dass nur Röntgenbilder erwachsener Pferde in dieser Studie aufgenommen worden sind, wird durch die Annahme begründet, dass sich im adulten Alter der Knochenabbau und Anbau konstanter als im juvenilen Alter verhält. Es gibt Studien, die sich mit der Bildung der *Crena marginis solearis* beschäftigen. Die Studie von Lejeune et al. (2006) untersuchte Hufbeine bei Kaltblutpferden im Alter von 16,5 und 25 Monaten. Die verschiedene Ausprägung der *Crena marginalis solearis* an Hufbeinen wurde in dieser Arbeit beschrieben. Interessant wäre es in zukünftigen Studien auch auf Dichteverläufe bei der Entstehung der *Crena marginis solearis* zu achten. Vor allem muss man beachten, wie sich die Bildung der *Crena* bei Fohlen unterschiedlicher Rassen verhält.

Zusammenfassend gibt diese Studie einen Überblick über die Dichteverhältnisse im Hufbein bei einer *Crena marginis solearis* und bei keiner vorhandenen *Crena*. Durch diese Studie wurde bewiesen, dass sich Grauwerte und deren Verläufe zur Dichtemessung innerhalb des Hufbeines und Hornschuhs eignen.

Die in dieser Arbeit zu Anfang gestellten Fragen konnten beantwortet werden.

Dichteverläufe und Dichtesprünge entlang von mediolateralen und dorsoproximalen Linien verhielten sich, bei Vorhandensein einer *Crena marginis solearis* oder beim Fehlen einer *Crena*, unterschiedlich. Die Ergebnisse beider Gruppen waren signifikant unterschiedlich. Es konnte nicht festgestellt werden, ab wann eine Einziehung des *Margo solearis* als *Crena marginis solearis* beschrieben wird, daher muss es weitere Studien geben, um ein Vorhandensein einer *Crena marginis solearis* zu definieren. Weiters flossen in diese Studie keine Haltungsbedingungen oder Nutzungsbedingungen der Pferde mit ein. Weitere Studien über einen Zusammenhang zwischen Nutzung, Haltung und Beschlag und die *Crena marginis solearis* wären erstrebenswert. Die Ergebnisse dieser Studie sollten als Anfänge weiterer Arbeiten gesehen werden, da das Wissen über die *Crena* mangelhaft ist.

6. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Anatomie der Crena marginis solearis und somit auch die des Hufbeines näher zu erforschen. Es konnten die zwei Hypothesen bestätigt werden, dass die Dichte des Hufbeines unmittelbar über der Crena marginis solearis geringer ist, als jene Dichte über dem Margo solearis und dass der Dichteunterschied von Hufbein zu Hornschuh bei einer bestehenden Crena geringer ist, als bei keiner ausgebildeten Tragrandkerbe.

Dazu wurden 100 Röntgenbilder der Zehe in 90° dorsoproximo-palmarodistal obliquen Strahlengang eines Pferdes an der Veterinärmedizinischen Universität Wien beurteilt. Durch ein Auswahlverfahren wurden Röntgenbilder, die eine Erkrankungen des Hufbeines, wie zum Beispiel Hufrehe, eine Ostitis des Hufbeines oder ein Keratom, zeigten, aussortiert. So entstanden drei Gruppen zu je 14 Röntgenbilder. Zu Gruppe A gehörten alle Röntgenbilder, die eine Crena marginis solearis aufwiesen, zu Gruppe B alle Röntgenbilder, bei denen die Crena marginis solearis am Hufbein fraglich war und Gruppe C beinhaltete die Röntgenbilder, bei denen am Hufbein keine Crena marginis solearis erkannt wurde. Durch die Hilfe von ImageJ konnten die Röntgenbilder vermessen und Dichteverläufe graphisch dargestellt werden. Es wurden proximodistale Linien durch eine vorhandene Crena oder den Margo solearis und mediolaterale Linien über der Crena oder dem Margo solearis gezogen. Durch diese Dichteverläufe konnten statistisch signifikante Unterschiede in der Dichte des Hufbeines zwischen einer vorhandenen oder nicht vorhandenen Crena marginis solearis festgestellt werden. Die Dichtesprünge von Hufbein zu Hornschuh sind bei einer vorhandenen Crena marginis solearis geringer, als jene Dichtesprünge bei keiner Crena marginis solearis. Auch ist die Dichte über dem höchsten Punkt der Crena in Relation zu den Enden auf einer mediolateralen Linie über der Crena marginis solearis geringer, als die Dichte über dem Margo solearis ohne Crena. Es bleibt offen, ob dieser Dichteunterschied eine physiologische Reaktion des Knochens ist, oder ob man die Crena marginis solearis als Antwort einer Überbeanspruchung des Knochens sehen kann.

Die vorliegende Arbeit liefert Informationen über die Crena marginis solearis und kann als Grundlage für weitere Studien angesehen werden.

7. Summary

The aim of the study was to investigate the anatomy of the Crena marginis solearis and the coffin bone more in detail. The study supported two hypotheses that the density of the coffin bone just above the Crena marginis solearis is lower than the density above the Margo solearis and that the difference in density from coffin bone to horn shoe is lower in an existing Crena than in without Crena marginis solearis. For this purpose, 100 X-ray images of the horses toe were assessed in a 90° dorsoproximo palmarodistal oblique beam path at the University of Veterinary Medicine Vienna. By a selection method, X-ray images showing diseases of the coffin bone such as laminitis, coffin osteitis or a keratome were sorted out. This resulted in three groups of 14 X-ray images each. Group A included all X-ray images showing Crena marginis solearis, Group B included all X-ray images in which Crena marginis solearis was questionable on the coffin bone, and Group C included X-rays in which no Crena marginis solearis was detected on the coffin bone. With the help of the software ImageJ, the X-ray images could be measured and density profiles could be graphically displayed. Proximodistal lines were drawn through an existing crena or Margo solearis and mediolateral lines over a Crena or Margo solearis. These density episodes revealed statistically significant differences in the density of the coffin bone between an existing or non-existent Crena marginis solearis. The density changes from coffin bone to horn shoe are lower in an existing Crena marginis solearis than those density jumps with no Crena marginis solearis. Also, the density above the highest point of the Crena is lower in relation to the ends on a mediolateral line above the Crena marginis solearis than the density above the Margo solearis without a Crena. It remains to be verified whether this difference in density is a physiological reaction of the bone, or the Crena marginis solearis is a response to an overstressing of the coffin bone. The paper provides information about Crena marginis solearis and should be used as additional background for further studies.

8. Literaturverzeichnis

Beckstett A. 2001. The toe crena: A laminitic link? *The Horse*

Bowen A J, Burd M A, Craig J J, Craig M. 2013. Radiographic Calibration for Analysis of Bone Mineral Density of the Equine Third Metacarpal Bone. *Journal of Veterinary Science*.33: 1131-1135

Budras K., Röck S., Mülling C, Pfarrer C., Reese S., Kölle S. 2013. *Atlas der Anatomie des Pferdes*. 7. Auflage. Schlütersche Verlag

Budras KD, Patan B, Schiel C. 1998. Entwicklung und Struktur des verhornten Sohlenspornes samt Sohlenrandeinkerbung (Crena) des Hufbeins sowie der Hornsäule samt Hufbeinrinne (Usur). *Wiener Tierärztliche Monatszeitschrift* 85: 369-376

Butler J., Colles C. M., Dyson S., Kold S. E., Poulos P. W. 2008. Foot, pastern and fetlock. *Clinical Radiology of the Horse*

Deiss E, Fürst A, Haas C. Rechenberg B. Geissbühler U. Auer J. 2001. Symptomatik, Diagnostik und Therapie von 5 Pferden mit traumatischen subchondralen Knochenzysten. *Wiener Tierärztliche Monatschrift* 88:1-11

Dik und Gussner. 2002. *Atlas der Röntgendiagnostik*. Schlütersche Verlag. S. 37-46

Dyson S. 2011. Nonseptic osteitis of the distal phalanx and its palmar processes. *Equine Veterinary Education*. 23(9): 472-485.

Engelhardt W, Breves G. 2010. *Physiologie der Haustiere*. 3. Auflage. Stuttgart: Enke

Firth EC. 2006. The response of bone, articular cartilage and tendon to exercise in the horse. *Journal of Anatomy*. 208(4): 513–526

Hinterhofer C, Stanek C, Haider H. 2001. Finite element analysis (FEA) as a model to predict effects of farriery on the equine hoof. *Equine Veterinary Journal Suppl.* 33:58-62

Kold S, Butler J. 2003. Radiograph of the horse- 2. Foot and pastern. *Equine Practice.* April: 208-215

König H., Liebich H. 2015. *Anatomie der Haussäugetiere.* 164-168

Lancaster L. 2013. Equine hoof wall tube density and morphology, *Journal veterinary science.* 75(6): 773-8

Lancaster L., Berg B. 2013. Radiographic findings regarding the toe crena, *Journal of Equine Veterinary Science* 33(10)

Lancaster L. 2011. The toe crena: gross and microscopic examination of the "normal" white line. *Journal of Equine Veterinary Science* 31(10)

Lejeune J, Audigier F, Schneider N, Duvivier D, Tapprest J, Denoix JM, Serteyn D. 2006. Anatomic variations and degenerative changes in the collateral Cartilages and middle and distal Phalanges of the forelimb in Ardenner colts. *Journal of Equine Veterinary Science.* 26(3): 102-112

Lindinger M.T. 2001. Die 3D-Mittelwertsbildung der subchondralen Knochendichte der Zehengelenke an der Schultergliedmaße des Pferdes [Dissertation]

Lippold B. S., Werren C., Ueltschi G. 2006. Soleare Keratome beim Pferd: 2 Fälle. *Pferdeheilkunde* 22 (3): 268-274

Murray RC, Vedi S, Birch HL, Lakhani KH, Goodship AE. 2001. Subchondral bone thickness, hardness and remodelling are influenced by short-term exercise in a site-specific manner. *Journal of Orthopaedic Research.* 19: 1035-1042.

Müller-Gerbl M. 2010. CT-Osteoabsorptiometrie (CT-OAM) – Eine In-vivo-Technik zur Darstellung der subchondralen Mineralisierungsverteilung als Maß für die individuelle Spannungsverteilung in Gelenken. *Orthopaedics and Traumatology* 26(2): 76-83

Rasch K. 2015. The hoof mechanism - the quintessence of horse hoof biomechanics? Tagungsmaterialien, 9. Huftagung der DHG e.V für Tierärzte und Hufbearbeiter

Riegel R., Hakola S.E. 2011. Bild-Text-Atlas zur Anatomie und Klinik des Pferdes-Band1.

Ruthe H. 2012. Der Huf. 6.Auflage. Stuttgart: Enke Verlag. S. 74-78, 142-145, 185-195

Rijkenhuizen A. 2002. Kaufuntersuchung – Klinisch orthopädischer Untersuchungsgang. *Pferdeheilkunde* 18 (3) ,231–240

Smallwood J.E. 2005. A xeroradiographic study of the developing equine foredigit and metacarpophalangeal region from birth to six month of age, *Veterinary Radiology and Ultrasound* 31(5):254 - 259

Stashak T., Wissdorf H. 2008. Adams´Lahmheit bei Pferden. 4. Auflage. Hannover: M. & H. Schaper GmbH

Stanek C, Hinterhofer C, Haider H. 2000. Auswirkungen von offenen und geschlossenen Hufeisen auf die Hufmechanik, analysiert im Finite Element Modell. *Der praktische Tierarzt* 82(9): 722-726

Wissdorf H. 2010. Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes. 3. Auflage. Hannover: M. & H. Schaper

Woergetter C. 2003. Zur Darstellung der equinen Hufmechanik [Dissertation]

Yamada K, Sato F, Higuchi T, Nishikara K, Kayano M, Sasaki N, Nambo Y. 2015. Experimental investigation of bone mineral density in Thoroughbreds using quantitative computed tomography. *Journal Equine Science* 26(3): 81-87

Zani D D, Zani D, Biggi M, Scandella M, Travetti O, Giancamillo M. 2009. Use of magnetic resonance imaging in the diagnosis of bone marrow edema in the equine distal limb: six cases. *Vet Res Commun.* 33(Suppl 1): 225-228

9. Danksagung

Mein größter Dank gilt meiner Betreuerin Prof. Theresia Licka.

Sie war nicht nur stets motivierend, sondern stand mir immer helfend zu Seite. Auch möchte ich mich für die vielen lehrreichen Stunden während der Untersuchungen an der Pferdeklunik der Veterinärmedizinischen Universität bedanken. Ich hatte wirklich immer Freude mit ihr das Thema der vorliegenden Arbeit zu behandeln.

Weiters möchte ich meinem Freund Lukas Danke für seine Unterstützung sagen.

Einen großen Dank möchte ich auch meinen Arbeitgeberinnen Dr. Hoyer-Kammerhofer und Dr. Garzik aussprechen. Sie unterstützen mich fast mein ganzes Studium und erleichterten mir durch flexible Arbeitszeiten dieses zu finanzieren.

Zum Schluss möchte ich meinen Eltern Danke sagen. Danke, dass ihr mich in meinen Entscheidungen immer unterstützt habt. Durch euch bin ich der Mensch geworden, der ich heute bin und kann mit Freude sagen, baldige Tierärztin!