

Aus dem Department für Nutztiere und öffentliches Gesundheitswesen in der
Veterinärmedizin
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
Universitätsklinik für Wiederkäuer
Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. vet. Thomas Wittek Dip. ECBHM

**Sonographische Diagnostik von Frakturen des Klauenbeines beim Rind
– Experimentelle Studie an Schlachthofklauen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von

Jasmin Laschinger

Wien, im April 2020

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Der Anteil der an der Untersuchung beteiligten Personen ist gesondert im Manuskript aufgeführt. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, im April 2020

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. med. vet. Johann Kofler, Dip. ECBHM

Drⁱⁿ. med. vet. Alexandra Hund, Dip. ECBHM

Universitätsklinik für Wiederkäuer

Klinische Abteilung für Wiederkäuermedizin

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. med. vet. Eberhard Ludewig, Dip. ECVDI

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Literaturübersicht.....	5
1.1.	Einleitung	5
1.1.1.	Klauenbeinfrakturen	5
1.1.2.	Bedeutung der Ultrasonographie bei orthopädischen Fragestellungen	6
1.2.	Fragestellung und Hypothesen	10
2.	Material und Methode.....	11
2.1.	Schlachthofklauen.....	11
2.2.	Randomisierung.....	11
2.3.	Vorbereitung und Präparation der Klauen	11
2.4.	Versuchsdurchführung.....	14
2.5.	Anteil der an der Untersuchung beteiligten Personen.....	16
2.6.	Statistische Auswertung.....	17
3.	Ergebnisse	19
3.1.	Definitive Stichprobengröße	19
3.2.	Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen	19
3.3.	Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen	21
4.	Diskussion.....	26
5.	Zusammenfassung	33
6.	Summary	34
7.	Abkürzungsverzeichnis.....	35
8.	Literaturverzeichnis.....	36
9.	Abbildungs-/Tabellenverzeichnis.....	39
10.	Anhang.....	41

1. Einleitung und Literaturübersicht

1.1. Einleitung

1.1.1. Klauenbeinfrakturen

Frakturen des Klauenbeines zählen neben Rohrbeinfrakturen zu den häufigsten Frakturlokalisationen beim adulten Rind (Köstlin und Petzoldt 1985, Peitel 1971). Am häufigsten handelt es sich dabei um Transversalfrakturen mit Gelenksbeteiligung. In 64 % der Fälle sind die lateralen Klauen, hier fast ausschließlich jene der Hintergliedmaßen betroffen. Die 36 % der Frakturen an medialen Klauen kommen zu 86 % an den Vordergliedmaßen vor (Köstlin und Petzoldt 1985). Als ursächlich gelten plötzliche Überbeanspruchung durch Abrutschen beim Aufspringen auf harten Böden sowie das Hängenbleiben im Spaltenboden. Prädisponierende Faktoren sind u. a. mangelhafte Klauenpflege, der geringe Abstand zwischen der konkaven *Facies solearis* und der lastaufnehmenden *Facies articularis* des *Os ungulare* sowie in früheren Jahrzehnten die chronischen Fluorvergiftungen (Köstlin und Petzoldt 1985). Auch pathologische Frakturen sind besonders bei chronischen Rusterholzschon Sohlengeschwüren mit nachfolgender Knocheninfektion möglich (Fiedler et al. 2019). Es werden gedeckte und offene Klauenbeinbrüche unterschieden, wobei bei Letzteren die Diagnose kaum Probleme bereitet (Numans und Wintzer 1958). Hingegen fehlen bei gedeckten Klauenbeinfrakturen die Kardinalsymptome einer Fraktur wie Krepitation, abnorme Achsenbrechung sowie abnorme Beweglichkeit aufgrund der festen Umschließung des Klauenbeines durch den Hornschuh. Daher stützt sich die klinische Verdachtsdiagnose bei gedeckten Frakturen des Klauenbeins auf den Ausschluss der Differentialdiagnosen wie z. B. akute Laminitis (Vaughan und Osman 1967) und eitrige Pododermatitis (Baumgartner und Wittek 2018) sowie das Vorliegen folgender Symptome: plötzliches Auftreten einer hochgradigen (hgr.) Stützbeinlahmheit (Fiedler et al. 2019, Vaughan und Osman 1967), vermehrte Pulsation der Mittelfußarterie, vermehrte Wärme am Klauenhorn, geröteter Kronsaum und Schmerzhaftigkeit bei Beugung, Streckung sowie Perkussion und punktuelle Schmerzhaftigkeit bei Zangenpalpation der betroffenen Klaue. Die Tiere versuchen die betroffene Gliedmaße zu entlasten. Bei Frakturen der medialen Klaue wird die Gliedmaße durch Adduktion bzw. Überkreuzen mit der Nachbargliedmaße möglichst weit axial unter den Rumpf gestellt und entlastet, und die laterale Klaue durch deutlich

sichtbare Abduktion, entlastet. Wenn die Klauenbeine zweier Gliedmaßen frakturiert sind, werden beide Extremitäten gekreuzt. Jedoch ist zur sicheren Diagnose einer gedeckten Klauenbeinfraktur eine Röntgenuntersuchung in zwei Ebenen erforderlich (Fiedler et al. 2019, Kofler et al. 2014, Köstlin und Petzoldt 1985, Steiner et al. 2010).

Gedeckte Klauenbeinfrakturen mit oder ohne Gelenksbeteiligung werden konservativ durch Kleben eines Holz- oder Hartplastikklotzes auf die gesunde Nachbarklaue zur Entlastung des frakturierten Klauenbeines behandelt. Der Klotz wird bis zur klinischen Heilung für ca. sechs Wochen belassen (Fiedler et al. 2019, Köstlin und Petzoldt 1985). Zur Reduktion des Frakturspaltes, welcher durch Zug der tiefen Beugesehne am plantaren Frakturfragment v. a. ventral vergrößert wird (Vaughan und Osman 1967) und zur Vermeidung der Bildung einer Kippklaue kann der Klotz an der Nachbarklaue mittels Draht, Schraube oder Stahlfeder fixiert werden (Fiedler et al. 2019). Eine röntgenologische Heilung der Fraktur tritt aber erst nach 24-78 Wochen ein (Köstlin und Petzoldt 1985).

Offene Frakturen des Klauenbeines sind chirurgisch zu versorgen. Je nach vorliegendem Fall durch eine hohe Zehenamputation, bzw. durch Resektion der frakturierten Klauenbeinspitze oder bei offenen Splitterfrakturen durch Resektion des Endstückes der tiefen Beugesehne sowie des Klauensesambeines und des kleineren gelenknahen axialen Fragments des Klauenbeines mit anschließender Klauengelenksresektion (Köstlin und Petzoldt 1985). Bei frischen offenen Klauenbeinfrakturen kann klauenerhaltend operiert werden: Unter intravenöser Stauungsanästhesie wird ein Wunddebridement oder eine Klauenbeinresektion durchgeführt, ein Verband angelegt und die Nachbarklaue mittels Klotz hochgestellt.

Die Prognose ist sowohl bei gedeckten als auch offenen Klauenbeinfrakturen günstig (Fiedler et al. 2019).

1.1.2. Bedeutung der Ultrasonographie bei orthopädischen Fragestellungen

Ultraschallgeräte werden heutzutage in der Rindermedizin nicht nur mehr zur Feststellung der Zyklusphase bzw. zur Trächtigkeitsdiagnose eingesetzt, sondern können auch als diagnostische Methode bei Erkrankungen innerer Organe oder orthopädischen Fragestellungen angewandt werden (Kofler et al. 2014, Nuss et al. 2018). Es können neben Weichteilgewebe wie Muskeln und Sehnen auch synoviale Strukturen wie Gelenke und Sehnenscheiden, und sogar die Oberfläche von Knochen beurteilt werden. Mittels

Ultraschalluntersuchung lassen sich u. a. Hüftgelenkluxation, Osteomyelitis, Sequester, Fissuren, Frakturen, Venenthrombosen sowie Infektionen von Gelenken und anderen synovialen Strukturen nachweisen (Almanza und Whitcomb 2003, Heppelmann et al. 2012, Kofler et al. 1996, Kofler 2009, Kofler et al. 2014, Kofler 2017, Nuss et al. 2018, Starke et al. 2009, Taguchi 2011, Taguchi und Hyakutake 2012).

Seit mehreren Jahren wird dieses bildgebende Verfahren zur Messung der Sohlenhorndicke und der darunter liegenden Fett- und Bindegewebsschicht an Rinderklauen genutzt (Bach et al. 2019, Cecen et al. 2015, Führer et al. 2019, Kofler et al. 1999, Newsome et al. 2017, Van Amstel et al. 2004).

Linearschallköpfe eignen sich sehr gut zur Untersuchung der meisten muskuloskeletalen Strukturen, da sich die Ultraschallwellen parallel zum Schallkopf ausbreiten und zurückkehren (Nuss et al. 2018). Zur Beurteilung der Sohlenhorndicke, der darunter liegenden weichen Gewebe und der Oberfläche der *Facies solearis* der *Phalanx distalis* eignet sich ein 5 MHz (Cecen et al. 2015) bzw. 7.5 MHz (Führer et al. 2019, Kofler et al. 1999) Linearschallkopf im B-Mode nach vorheriger Klauenpflege und Dünnschneiden des Sohlenhorns. Bei einer Sohlenhorndicke unter 10 mm und Horn mit hohem Wassergehalt lassen sich die oben genannten Strukturen am besten darstellen (Kofler et al. 1999). Van Amstel et al. (2004) besprühte vor der Durchführung der Ultraschalluntersuchung das Horn mit Alkohol und verwendete wie alle anderen Untersucher Ultraschallgel zur Verbesserung der Darstellbarkeit der Strukturen. Das Sohlenhorn erscheint hypoechogen, das darunterliegende Weichteilgewebe (Subkutis und Fettpolster) ebenso vorwiegend hypoechogen, während die Grenzfläche zwischen Horn und Weichteilgewebe als dünne echogene Linie dargestellt wird (Cecen et al. 2015, Führer et al. 2019, Kofler et al. 1999). Abbildung 1 zeigt das sonographische Erscheinungsbild des Sohlenhorns, der Grenzfläche zur Unterhaut, der Unterhaut, der Fettpolster und der Knochenoberfläche des Klauenbeines an einer Klaue aus der vorliegenden Studie.

Ultrasonographisch kann man bei Knochen aufgrund distaler Schallauslöschung nur die Oberfläche beurteilen. Diese stellt sich physiologischerweise als glatte hyperechogene Linie dar. Beim Vorliegen von Frakturen ist die glatte hyperechogene Knochenoberfläche unterbrochen und/oder durch Stufenbildung gekennzeichnet, zudem können mitunter auch noch kleine Knochenfragmente dargestellt werden. Es kann versucht werden, den Frakturspalt

durch vorsichtige Manipulation während der Ultraschalluntersuchung zu vergrößern und somit deutlicher darstellbar zu machen. Kleine Knochenfragmente im umliegenden Weichteilgewebe sind als hyperechogene Strukturen mit distaler Schallauslöschung darstellbar. Frakturhämatome stellen sich als anechogene bis hypoechogene Zonen unterschiedlicher Größe im Bereich der Fraktur dar (Kofler et al. 2014). In Abbildung 2 ist die Fraktur eines Klauenbeines ultrasonographisch dargestellt.

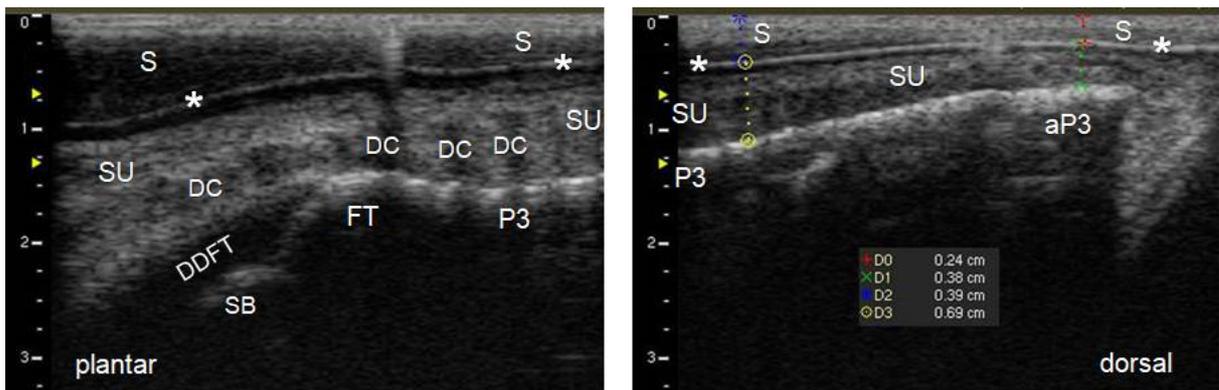


Abbildung 1: Sonographische Darstellung der Sohlenhornschicht, der Unterhaut, der Fettpolster und der plantaren Knochenoberfläche des Klauenbeines bei Vorliegen von dünner Sohle. S = Sohlenhorn. * = Sohlenhorn/Korium-Grenze. SU = Subkutis. DC = Subkutane Fettpolster. SB = *Os sesamoideum distale*. FT = *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines. P3 = *Phalanx distalis*. DDFT = Tiefe Beugesehne. aP3 = *Apex der Phalanx distalis*.

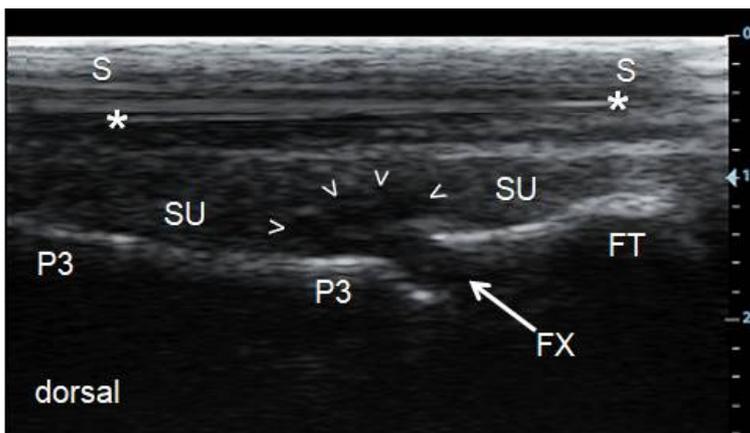


Abbildung 2: Sonographische Darstellung einer Fraktur des Klauenbeines ca. 1 cm dorsal des *Tuberculum flexorium*. S = Sohlenhorn. * = Sohlenhorn/Korium-Grenze. SU = Subkutis. FT = *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines. P3 = *Phalanx distalis*. FX = Frakturspalt. Die kleinen Pfeile kennzeichnen Weichteilschäden (Hämatom) um die Fraktur.

Der Vorteil der Ultraschalluntersuchung gegenüber anderen bildgebenden Verfahren wie Röntgenuntersuchung, Computertomographie oder Magnetresonanztomographie ist nicht nur das handliche und tragbare Format, welches überall und auch sofort einsetzbar ist, sondern auch, dass bei diesem nicht invasiven bildgebenden Verfahren keine schädliche Strahlung erzeugt wird. Des Weiteren können die Dicke von verschiedenen Geweben und Distanzen leicht vermessen werden (Bach et al. 2019, Führer et al. 2019, Kofler et al. 1999, Newsome et al. 2017, Van Amstel et al. 2003, Van Amstel et al. 2004). Nachteilig zu nennen ist die Zeit, welche benötigt wird, um Erfahrung im Umgang mit dem Ultraschallgerät an sich und dem Untersuchungsverfahren sowie bei der Dokumentation der erhobenen Befunde zu bekommen (Nuss et al. 2018).

Artefakte können bei falscher Platzierung des Ultraschallkopfes oder inkorrekten Verstärkereinstellungen auftreten. Meist aber sind Interaktionen der Ultraschallwellen mit den Geweben ursächlich. Von Bedeutung sind v. a. Wiederholungsartefakte, Schallverstärkung und Schallschatten. Wiederholungsartefakte entstehen an stark reflektierenden Grenzflächen wie z. B. Gas oder an der Knochenoberfläche. Dabei werden die Ultraschallwellen zwischen dem Ultraschallkopf und der reflektierenden Struktur hin- und hergeworfen, sodass die dabei entstehenden parallel verlaufenden Mehrfachechos auch hinter der Grenzfläche in regelmäßigen Abstand wiederholt werden. Kometenschweifartefakte sind eine Art der Wiederholungsartefakte, welche entstehen, wenn die Ultraschallwellen auf zwei starke, parallele Reflektoren wie z. B. kleine Gasblasen oder Metall treffen. Dieses Artefakt erscheint als ein sich verjüngender, schmaler Echoschweif distal der reflektierenden Oberfläche (Blond und Buczinski 2009).

Distale Schallverstärkung entsteht, wenn Ultraschallwellen durch flüssigkeitsgefüllte Strukturen wandern, wobei sie kaum abgeschwächt werden. Dadurch verstärken sich die Echos distal dieser flüssigkeitsgefüllten Strukturen, was dazu führt, dass die Gewebe dahinter echoreicher erscheinen (Blond und Buczinski 2009).

Schallschatten an Kanten treten auf, wenn Ultraschallwellen an gebogenen Oberflächen von runden oder ovalen Strukturen (z.B. große Gefäße, Zysten, Sehnen) diffus abgelenkt werden und somit nicht mehr zur Sonde reflektiert werden. Dieser Signalverlust stellt sich ultrasonographisch als hypoechogene Bande distal der gebogenen Oberfläche dar (Blond und Buczinski 2009).

1.2. Fragestellung und Hypothesen

Die Fragestellung dieser Studie war einerseits, ob es möglich ist bei Schlachthofklauen mit artifiziell verursachten Frakturen im Klauenbein bei ausreichend dünner Sohlenhorndicke (< 5 mm) diese mittels ultrasonographischer Untersuchung zu diagnostizieren.

Andererseits sollte die Frage beantwortet werden, ob die Ergebnisse reproduzierbar sind und inwiefern eine bestehende allgemeine Erfahrung der Untersucherin in ultrasonographischer Diagnostik bei der sonographischen Identifizierung von Klauenbeinfrakturen von Bedeutung ist.

Folgende Hypothesen werden überprüft:

- (i) Man kann eine künstlich verursachte Klauenbeinfraktur an Schlachthofklauen mit ca. 5 mm Sohlendicke beim Rind ultrasonographisch diagnostizieren.
- (ii) Die Ergebnisse sind reproduzierbar.
- (iii) Die Sensitivität und Spezifität der Untersuchung sind nicht von der Erfahrung der Untersucherin abhängig.

2. Material und Methode

2.1. Schlachthofklauen

In diese Studie wurden insgesamt 54 Schlachthofklauen von erwachsenen Rindern einbezogen. Es wurden ausschließlich Klauen von Hinterextremitäten verwendet. Die Klauen 1-24 waren über einen längeren Zeitraum bei -18 °C tiefgefroren und wurden einen Tag vor Versuchsbeginn in einem Wasserbad aufgetaut und bis zum nächsten Tag darin belassen. Die Klauen 25-54 wurden am Tag vor dem Versuch von einem Schlachthof bereitgestellt.

Die Studie wurde von der Ethikkommission der Veterinärmedizinischen Universität Wien genehmigt (19/11/2019).

2.2. Randomisierung

Um die Studie zu randomisieren, wurden die Klauen mit Hilfe der Exelfunktion Index den Gruppen „Fraktur Ja“ oder „Fraktur Nein“ zugeteilt. Die Randomisierung wies 25 Klauen eine Fraktur des Klauenbeines zu.

2.3. Vorbereitung und Präparation der Klauen

Sämtliche Klauen wurden einer funktionellen Klauenpflege unterzogen, wobei versucht wurde die Sohlenhorndicke auf ca. 5 mm einzustellen. Das Sohlenhorn wurde also absichtlich dünner als üblich geschnitten, um die Eindringung der Ultraschallwellen bis auf die *Facies solearis* des Klauenbeines zu erleichtern bzw. zu gewährleisten. Verbleibendes loses Horn, welches kleine Mengen Luft einschließt und somit die Schallbarkeit negativ beeinflusst, wurde mit dem Klauenmesser abgetragen.

Anschließend wurde mit einem Skalpell und einer Klinge Nr. 21 von dorsal unmittelbar über dem Saumband ca. 1 cm abaxial des Interdigitalspaltes nach proximal bis in Höhe der Afterklauen, horizontal nach plantar bis an die dazugehörige Afterklaue und weiter leicht schräg nach plantarodistal bis ca. 0,5 cm abaxial des Interdigitalspaltes an den Weichballen ein Schnitt durch die Haut geführt. Der dabei entstandene Hautlappen wurde wie in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt vom darunterliegenden Gewebe abpräpariert.



Abbildung 3: Präparation eines Hautlappens an einer Zehe.



Abbildung 4: Fertig präparierter Hautlappen an einer Zehe.

Der entstandene Hautlappen wurde mit zwei Backhausklemmen erfasst und nach distal weggehalten, damit mit einer Säbelsäge (Makita JR3050T Elektronik-Reciprosäge, MAKITA Werkzeug Ges.m.b.H., Österreich) mit Reciprosägeblatt die Klauen mit einem von abaxial nach axial geführten Schnitt soweit wie möglich distal im Kronbein abgesetzt werden konnten. Die verbleibende Bindegewebs-Haut-Brücke zwischen der Klaue und der Zehe wurde mit dem Skalpell durchtrennt, der Kronbeinrest mit Hilfe von Skalpell, Backhausklemme, Meißel und Lorbeerblattmesser entfernt und somit im Klauengelenk exartikuliert, so dass die Gelenkfläche des Klauenbeines völlig frei lag. Dieser Arbeitsschritt ist in der Abbildung 5 und das Ergebnis in Abbildung 6 bildlich dargestellt. Der Vorgang wurde in gleicher Weise für die Nachbarklaue wiederholt.



Abbildung 5: Entfernung des Kronbeinrestes.



Abbildung 6: Klauenpaar nach Entfernung des Kronbeinrestes und freiliegende Gelenkfläche des Klauenbeines.

Bei jedem Klauenpaar einer Gliedmaße wurde anhand ihrer Größe und Form die laterale und mediale Klaue bestimmt und mit folierten Kärtchen fortlaufend nummeriert. Die Nummern auf den Kärtchen wurden zur Verblindung der Studie mit blickdichtem Klebeband überklebt und mit einem Faden an den Hautlappen der jeweiligen Klaue angenäht.

Bei den durch Randomisierung bestimmten Klauen der Gruppe „Fraktur Ja“ wurde mit einem Hammer und Meißel, welcher an der Gelenkfläche des Klauenbeines angesetzt wurde, eine transversale bzw. schräg transversale Fraktur erzeugt und der Frakturspalt durch Einbringen eines Holzkeiles verbreitert (Abbildung 7). Diese Prozedur wurde unter Wasser durchgeführt, um Lufteinschlüsse im Frakturspalt und dem Weichteilgewebe zwischen *Facies solearis* des Klauenbeines und dem Sohlenhorn zu vermeiden. Die Holzkeile wurden zuvor auf 1-2,5 cm Breite verkleinert und waren maximal 4 cm lang.

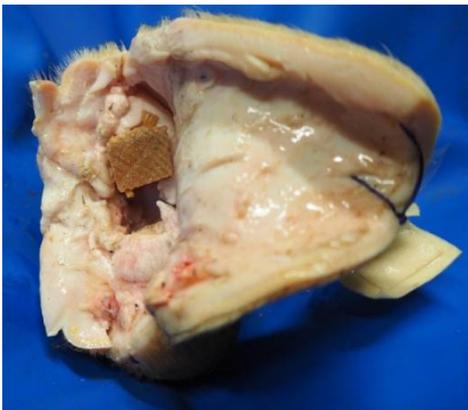


Abbildung 7: Klaue nach Zufügen einer künstlichen Fraktur und Einbringen eines Holzkeiles in den Frakturspalt.



Abbildung 8: Ansicht auf die Sohlenfläche einer fertig präparierten Klaue mit Beschriftung.

Die Darstellbarkeit der künstlich erzeugten Frakturen bzw. der *Facies solearis* des Klauenbeines wurde nun durch einen Experten ultrasonographisch überprüft und bei Bedarf Korrekturen durchgeführt, so dass letztendlich die Fraktur ultrasonographisch durch den Experten sicher dargestellt werden konnte. Diese Person nahm später nicht als Untersucher an der verblindeten Studie teil. Im Anschluss wurden zur Verblindung der Studie bei allen Klauen die Hautlappen über die *Facies articularis* des Klauenbeines angenäht, so dass weder die Gelenkfläche des Klauenbeines noch der eingebrachte Holzkeil erkennbar waren. Die Klauen befanden sich während der gesamten Zeit der Versuchsdurchführung in einem Wasserbad, um das Sohlenhorn feucht und damit besser schallbar zu machen (Abbildung 9).



Abbildung 9: Fertig präparierte Klauen im Wasserbad.

2.4. Versuchsdurchführung

Am ersten Tag wurden die Klauen 1-24 ultrasonographisch durch zwei Personen verblindet untersucht, am Tag danach die restlichen. Die vorbereiteten Klauen befanden sich während des Versuchs in einem mit Wasser gefüllten Behälter, um ein Austrocknen des Sohlenhorns und damit schlechtere Schallbedingungen zu vermeiden. Es wurde ein Ultraschallgerät (DP-30Vet, Shenzhen Mindray Bio-Medical Electronics Co., Ltd., China) mit einem Linearschallkopf und folgenden Einstellungen verwendet: 5 MHz, Fokus eingestellt auf die Ebene der *Facies solearis*, Gain und Zoom je nach Bedarf höher oder niedriger gestellt.

Der Schallkopf wurde wie in Abbildung 10 dargestellt longitudinal auf die mit Ultraschallgel bedeckte Sohlenhornfläche angelegt, wobei sich die Klauenbeinspitze nach Vereinbarung immer links im Bild (Monitor) befand. Die gesamte *Facies solearis* des Klauenbeines wurde ultrasonographisch beurteilt und diagnostizierte Frakturen wurden dokumentiert. Zudem wurde die Distanz der Frakturzone entweder zur Klauenbeinspitze bzw. zum *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines (Referenzpunkte) mit Hilfe der Caliper-Funktion vermessen und dokumentiert. Unmittelbar danach wurde, um identische Bedingungen für beide Untersucherinnen zu gewährleisten, dieselbe Klaue von der zweiten Untersucherin befundet,

welche zuvor nicht im Untersuchungsraum anwesend war. Diese Prozedur wurde für alle Klauen insgesamt zweimal durchgeführt, um die Methode auf Reproduzierbarkeit zu prüfen. Die Reihenfolge der zu untersuchenden Klauen war willkürlich. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden von einem unabhängigen Dritten notiert. Niemand der beteiligten Personen wusste zum Zeitpunkt der Untersuchung, welche Klauen frakturiert waren und welche nicht, wodurch die Studie doppelt verblindet war.



Abbildung 10: Durchführung der ultrasonographischen Untersuchung an der Sohlenfläche einer Klaue.

Um zu prüfen inwiefern die Erfahrung der Untersucherin bei der Befundung von Ultraschallbildern einen Einfluss auf die Ergebnisse in vorliegender Studie hat, wurden eine Untersucherin 1 mit langjähriger klinischer Erfahrung im Umgang mit Ultraschallgeräten und in der Interpretation von Ultraschallbildern sowie eine Untersucherin 2, Studentin der Veterinärmedizin im 11. Semester ohne Erfahrung in der Ultraschalldiagnostik, ausgewählt. Während der ultrasonographischen Untersuchung war neben einer der beiden Untersucherinnen, eine zweite Person zur willkürlichen Festlegung der Reihenfolge der zu untersuchenden Klauen sowie zum Anreichen dieser und des Ultraschallgels sowie eine weitere dritte Person zum Ändern der Schalleinstellungen und zum Notieren der Ergebnisse anwesend. Die zweite Untersucherin war dabei nicht im selben Raum, sondern wurde erst

herbeigerufen, nachdem die ultrasonographische Klauenuntersuchung durch die Vorgängerin abgeschlossen war.

Nach Beendigung der ultrasonographischen Klauenuntersuchung an den jeweiligen Tagen wurden die Hautlappen über der *Facies articularis* weggeschnitten und die Holzkeile aus dem Frakturspalt entfernt. Nun wurden von jeder Klaue Röntgenbilder im dorsoplantaren und lateromedialen Strahlengang angefertigt. Die Röntgenuntersuchung wurde mit einem stationären Röntgengerät (Philips Super 100CP) und einem digitalen Flachbilddetektor (Fuji D-EVO II C24) durchgeführt. Es wurden konstante Einstellparameter verwendet (Belichtung: 50 kV – 9 mAs; Fokus-Detektor-Abstand: 100 cm). Die abgesetzten Klauen wurden dabei auf der Sohlenseite gelagert (D65°Pa/Pl).

Zur Überprüfung der Richtigkeit der ultrasonographisch gestellten Diagnosen (Fraktur Ja/Nein) wurden die Ergebnisse der Untersucherinnen mit der vorher erstellten Liste der randomisierten Daten abgeglichen. Um zu kontrollieren, ob dabei tatsächlich der Frakturspalt oder etwaige andere Strukturen wie z. B. periostale Veränderungen aufgrund von chronischer Klauenrehe identifiziert wurden, erfolgte ein Vergleich der gemessenen minimalen sowie maximalen Distanzen vom *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines bzw. der *Apex* des Klauenbeines bis zum röntgenologisch dargestellten Frakturspalt bzw. der Frakturzone auf der seitlichen Röntgenaufnahme mit den gemessenen Distanzen der Ultraschalluntersuchungen. Es wurden Abweichungen von ± 2 mm toleriert. Lediglich bei den Röntgenbildern der Klauen Nr. 7, 37 und 40 wurden aufgrund von Überlagerungen und Uneindeutigkeit beim Verlauf des Frakturspaltes in der seitlichen Aufnahme zur Vermessung die dorsoplantaren Röntgenaufnahmen verwendet.

Die Röntgenbilder wurden mit dem Programm JiveX DICOM Viewer (VISUS Health IT GmbH, Bochum, Deutschland) ausgewertet.

2.5. Anteil der an der Untersuchung beteiligten Personen

Bei der Versuchsplanung, -vorbereitung und -durchführung wurde die Autorin (JL) von Herrn Univ.-Prof. Dr. med. vet. Johann Kofler, Dip. ECBHM (JK) und Frau Drⁱⁿ. med. vet. Alexandra Hund, Dip. ECBHM (AH) begleitet. Die Idee zur Studie stammt von JK. Vorversuche zur Präparation der Klauen wurden hauptsächlich von JK und JL durchgeführt. Maßnahmen zur Randomisierung und Verblindung wurden von JL und AH entwickelt und

implementiert. Die Vorbereitung der Klauen und Durchführung der Untersuchungen an den Versuchstagen erfolgte durch JK, AH und JL gleichermaßen. Die Röntgenbilder wurden von Frau Drⁱⁿ. med. vet. Katrin Schieder (KS) angefertigt. Außerdem wurde JL von KS in der Anwendung des Programms JiveX DICOM Viewer, welches zur Auswertung der Röntgenbilder verwendet wurde, instruiert. Die Auswertung und Interpretation der Daten sowie die Anfertigung der wissenschaftlichen Arbeit erfolgte zum größten Teil durch JL selbst, sie wurde dabei in geringem Maße von JK und AH unterstützt.

2.6. Statistische Auswertung

Bei Planung der Studie wurde eine Stichprobenkalkulation durchgeführt (G*Power, Version 3.1.). Bei einer festgelegten Power von 80 %, einem Alpha von 5 % und einer Effektgröße (Omega) von 0,5 musste demnach die Stichprobengröße mindestens 32 Klauen umfassen. Um eine repräsentative Aussage treffen zu können, wurden daher 54 Klauen in die Studie einbezogen.

Mit Hilfe von Microsoft Office Excel 2016 wurden die Sensitivität und Spezifität der Ergebnisse gesamt, je Untersucherin sowie jene der einzelnen Durchgänge nach den Formeln 1.0 und 2.0 berechnet. Die Übereinstimmung der Ergebnisse beider Durchgänge einer Untersucherin sowie vergleichend jene der Durchgänge zwischen den Untersucherinnen wurde in Prozent berechnet. Kappa ist ein statistisches Maß für die Interrater- als auch Intrarater-Reliabilität und wird nach der Formel 3.0 berechnet. Wobei p_0 für die relative Übereinstimmung, p_e für die Wahrscheinlichkeit zufälliger Übereinstimmung steht.

$$\text{Sensitivität} = \text{richtig positiv} / (\text{richtig positiv} + \text{falsch negativ}) \quad (1.0)$$

$$\text{Spezifität} = \text{richtig negativ} / (\text{falsch positiv} + \text{richtig negativ}) \quad (2.0)$$

$$\text{Kappa} = (p_0 - p_e) / (1 - p_e) \quad (3.0)$$

Die Werte des Cohens Kappa wurden nach Landis & Koch (1977) wie folgt interpretiert:

Kappa Wert:	Stärke der Übereinstimmung:
<0,1	schlechte Übereinstimmung
0,00-0,20	etwas Übereinstimmung
0,21-0,40	ausreichende Übereinstimmung

0,41-0,60	mittelmäßige Übereinstimmung
0,61-0,80	substanzielle Übereinstimmung
0,81-1,00	(fast) vollkommene Übereinstimmung

3. Ergebnisse

3.1. Definitive Stichprobengröße

In diese Studie wurden insgesamt 54 Schlachthofklauen von Rindern älter als sechs Monate einbezogen, wobei drei dieser Klauen, Nr. 2 und Nr. 42 letztlich wegen Lufteinschlüssen im Frakturspalt, Nr. 6 wegen schlechter Schalleigenschaften des Sohlenhornes, noch vor dem eigentlichen Versuchsbeginn ausgeschlossen wurden. Somit wurde jede der 51 präparierten Klauen insgesamt zweimal von jeder Untersucherin geschallt und eine Diagnose bezüglich des Vorliegens einer Fraktur bzw. deren Lage in Relation zum *Tuberculum flexorium* oder der Klauenbeinspitze gestellt. Von den 51 Klauen in der Studie wiesen 25 eine artifiziell zugefügte und durch Randomisierung festgelegte Fraktur des Klauenbeines auf.

3.2. Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen

Am ersten Versuchstag wurden 22 zuvor tiefgefrorenen Klauen, am zweiten Tag 29 frische Schlachthofklauen ultrasonographisch untersucht. Alle Klauen befanden sich vor Versuchsbeginn für mehrere Stunden im Wasserbad. Untersucherin 1 stellte bei drei (zuvor gefrorenen) Klauen eine falsche Diagnose, Untersucherin 2 bei fünf zuvor gefrorenen und acht frischen Klauen.

Nach Ausschluss der zwei Klauen mit Lufteinschlüssen im Frakturspalt verblieben noch zehn mediale und 15 laterale Klauen mit frakturiertem Klauenbein in der Studie. Insgesamt stellten beide Untersucherinnen gemeinsam bei je acht medialen und je acht lateralen Klauen eine falsche Diagnose.

In Tabelle 1 sind die Sensitivität und Spezifität, in Tabelle 3 und 4 im Anhang die Detailergebnisse der Untersuchungen von Untersucherin 1 und Untersucherin 2 aufgelistet.

Insgesamt stellte jede der Untersucherinnen 102 Diagnosen, wobei Untersucherin 1 99-mal korrekte ultrasonographische Befunde erhob. Zwei Frakturen wurden von der erfahrenen Untersucherin beim ersten Durchgang nicht als solche erkannt und als falsch negativ befundet. Im zweiten Durchgang stellte Untersucherin 1 neben 24 richtig positiven, 26 richtig negativen und keinen falsch positiven Diagnosen eine falsch negative Diagnose.

Untersucherin 2 diagnostizierte bei 46 Klauen die vorliegende Fraktur und bei 43 Klauen die Unversehrtheit des Klauenbeines richtig. Bei 13 Klauen wurde eine inkorrekte Diagnose

gestellt, wobei vier frakturierte Klauenbeine nicht als solche erkannt wurden und bei neun Klauen fälschlicherweise eine Fraktur diagnostiziert wurde. Bei getrennter Betrachtung der beiden Durchgänge wurden im ersten Durchgang zwei falsch negative und vier falsch positive Diagnosen gestellt. Die Anzahl der richtig positiven und falsch negativen Ergebnisse blieb im zweiten Durchgang unverändert. Die Zahl der falsch positiven Diagnosen erhöhte sich von vier auf fünf, da eine nicht frakturierte Klaue fälschlicherweise als frakturiert diagnostiziert wurde. Es wurde jedoch nicht immer bei denselben Klauen eine falsche Diagnose gestellt.

Tabelle 1: Sensitivität und Spezifität der Ergebnisse

Untersucherin	Durchgang	Sensitivität	Spezifität
1	1. Durchgang	92 %	100 %
1	2. Durchgang	96 %	100 %
1	1. + 2. Durchgang	94 %	100 %
2	1. Durchgang	92 %	85 %
2	2. Durchgang	92 %	81 %
2	1. + 2. Durchgang	92 %	83 %
1 und 2	1. Durchgang	92 %	92 %
1 und 2	2. Durchgang	94 %	90 %
1 und 2	1. + 2. Durchgang	93 %	91 %

Beim Vergleich der Ergebnisse der beiden Durchgänge der Untersucherin 1 wurde festgestellt, dass bei 50 Klauen im ersten sowie zweiten Durchgang die gleiche Diagnose gestellt wurde, was eine Übereinstimmung von 98 % bedeutet. Untersucherin 2 hingegen stellte im zweiten Durchgang bei 48 Klauen dieselbe Diagnose wie im ersten Durchgang, was eine Übereinstimmung der Ergebnisse beider Durchgänge von 94 % bedeutet.

Werden die Ergebnisse des ersten bzw. zweiten Durchganges der Untersucherin 1 jenen der Untersucherin 2 gegenübergestellt, wird bei beiden Durchgängen eine Übereinstimmung der Ergebnisse von 88 % ersichtlich. In anderen Worten stellten die beiden Untersucherinnen pro Durchgang in 45 von 51 Fällen dieselbe Diagnose.

Berücksichtigt man die Wahrscheinlichkeit zufälliger Übereinstimmung in den Berechnungen der Übereinstimmung der Ergebnisse je Durchgang zwischen den beiden Untersucherinnen

erhält man in beiden Fällen ein Cohens Kappa der Interrater-Reliabilität von 0,77. Interpretiert man diesen Wert nach Landis und Koch (1977) liegt eine substantielle Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der Untersucherinnen vor.

Das Cohens Kappa der Intrarater-Reliabilität für Untersucherin 1 beträgt 0,96, für Untersucherin 2 0,88. Beide Werte werden nach Landis und Koch (1977) in den höchsten Bereich, als fast vollkommene Übereinstimmung, eingestuft.

Die Sohlenhorndicke der Klauen wurde an den abgespeicherten Ultraschallbildern vermessen und betrug zwischen 2,4 mm und 11 mm.

3.3. Ergebnisse der Röntgenuntersuchungen

Die Röntgenuntersuchung aller 51 Klauen ergab, dass Frakturen des Klauenbeines nur an den 25 durch Randomisierung ausgewählten Klauen vorlagen.

Um zu kontrollieren, ob ultrasonographisch tatsächlich der Frakturspalt identifiziert wurde oder andere Unregelmäßigkeiten der Knochenoberfläche als solche gewertet wurden, erfolgte ein Vergleich der gemessenen Distanzen der Frakturspaltposition mit der seitlichen Röntgenaufnahme (Tabelle 2). Es wurden Abweichungen von ± 2 mm aufgrund von Messungenauigkeiten bei beiden Verfahren (Sonographie, Röntgen) toleriert. Sämtliche ultrasonographisch gemessenen Distanzen vom hinteren Rand des *Tuberculum flexorium* bzw. von der Klauenbeinspitze zum Frakturspalt befanden sich innerhalb des radiologisch gemessenen Referenzbereiches.

Lediglich bei den Klauen Nr. 7, 37 und 40 lagen die ultrasonographisch gemessenen Werte bis zu 2 cm außerhalb der radiologisch bestimmten Referenzbereiche. Die Röntgenbilder dieser Klauen wurden genauer betrachtet, um die ultrasonographisch gemessenen Werte nachzuvollziehen.

Tabelle 2: Ergebnisse der radiologischen und ultrasonographischen Messungen aller 25 frakturierten Klauen.

Klaue Nr.	Frakturbereich Ultraschall in cm	Frakturbereich Röntgen in cm	Abweichung in mm
1	1,70 - 1,98	1,75 - 2,11	-
5	3,18 - 3,35	3,17 - 3,87	-
7	2,10 - 2,91	2,02 - 4,00	-
8	1,72 - 2,54	1,50 - 2,64	-
9	1,74 - 2,33	1,85 - 2,35	± 1 mm
12	1,95 - 2,50	1,07 - 2,71	-
13	1,20 - 2,68	0,98 - 2,67	-
15	1,95 - 2,18	1,50 - 2,24	-
16	-	0,71 - 1,12	-
19	2,30 - 2,70	2,23 - 2,63	± 1 mm
25	2,84 - 2,94	2,12 - 2,95	-
28	1,96 - 2,24	1,85 - 2,71	-
29	2,46 - 2,74	2,67 - 2,94	± 2 mm
31	1,22 - 1,39	1,08 - 2,11	-
32	2,04 - 3,53	2,00 - 4,43	-
34	2,39 - 2,80	2,07 - 3,33	-
35	2,75 - 3,14	2,79 - 3,08	± 1 mm
37	1,28 - 1,78	0,63 - 1,59	± 2 mm
38	2,08 - 2,68	2,21 - 2,87	± 2 mm
39	2,63 - 3,07	2,89 - 3,7	± 2 mm
40	2,69 - 3,00	1,28 - 3,65	-
43	2,86 - 3,45	1,14 - 3,59	-
46	2,17 - 3,35	2,21 - 3,26	± 1 mm
52	1,80 - 1,90	1,45 - 1,91	-
53	1,00 - 2,85	0,99 - 3,68	-

Bei Klaue Nr. 7 (Abbildung 11) war in der seitlichen Röntgenaufnahme der schräge Verlauf des Frakturspaltes nicht sichtbar. Daher wurde zur Distanzmessung die dorsoplantare Röntgenaufnahme herangezogen.

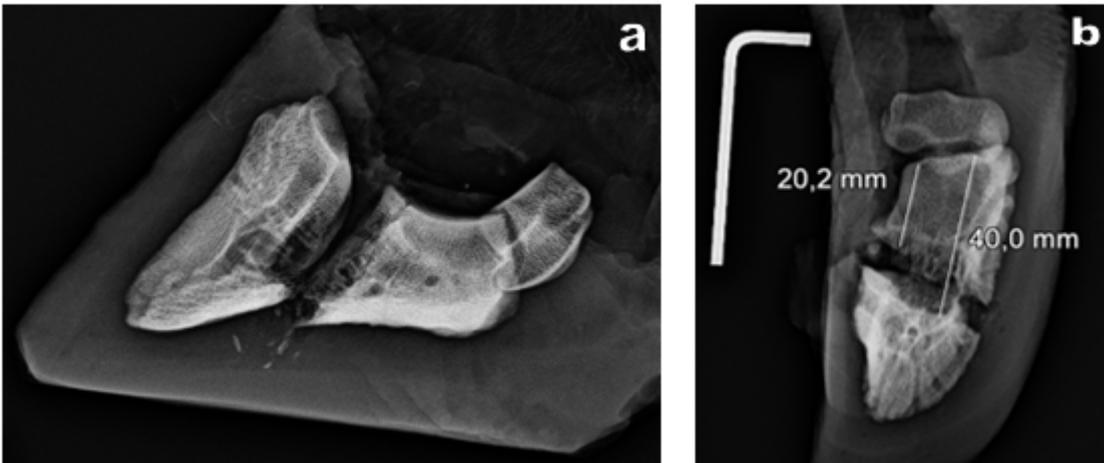


Abbildung 11: Seitliche (a) und dorsoplantare (b) Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 7 mit Darstellung der Fraktur des Klauenbeines.

Die ultrasonographische Diagnose der Fraktur der Klaue Nr. 40 bereitete keine Schwierigkeiten (Abbildung 12). Aber auf der seitlichen Röntgenaufnahme (Abbildung 13) war nur schwer erkennbar, dass hier mehrere Frakturlinien vorhanden waren. Auf der dorsoplantaren Röntgenaufnahme waren diese Frakturlinien deutlicher erkennbar.

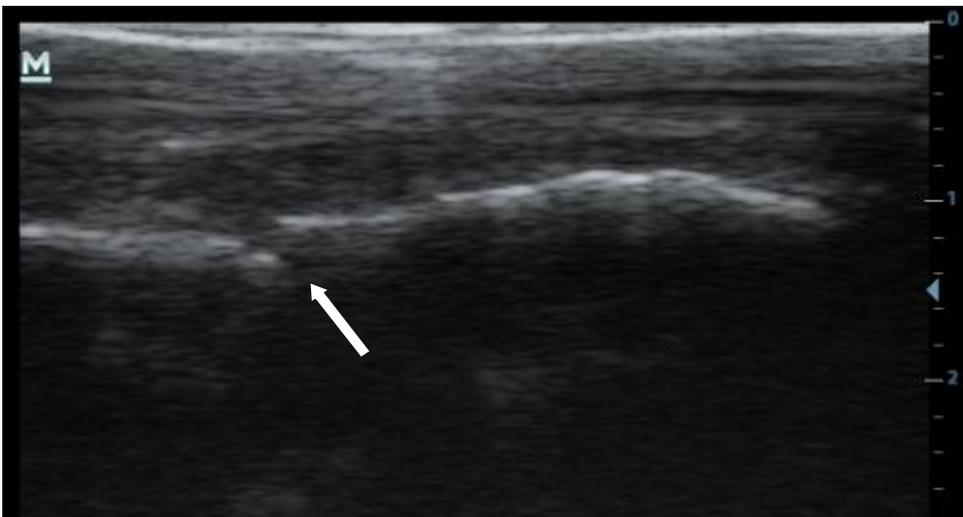


Abbildung 12: Ultrasonographische Darstellung der Fraktur (Pfeil) des Klauenbeines der Klaue Nr. 40 mit kurzer Unterbrechung der hyperechogenen Knochenlinie sowie ggr. Stufenbildung.

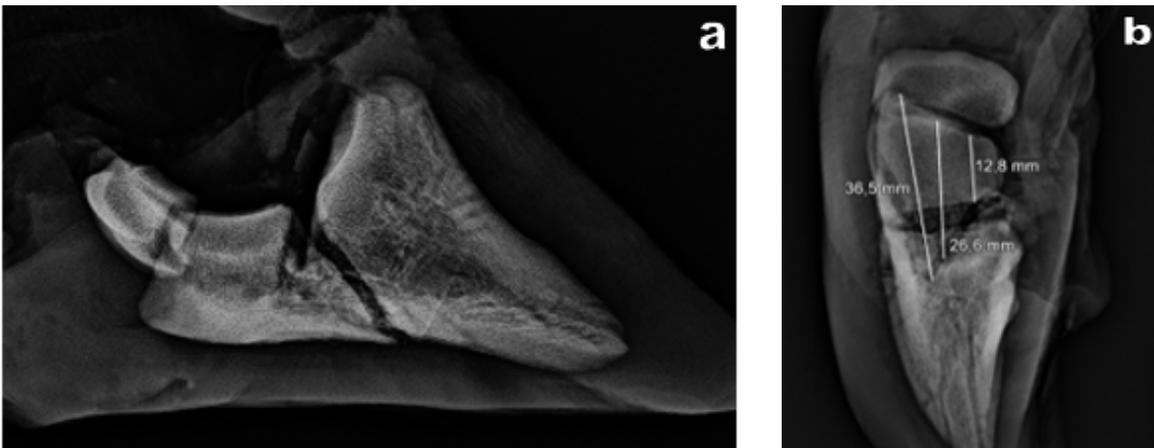


Abbildung 13: Röntgen der Klaue Nr. 40 im seitlichen (a) und dorsoplantaren (b) Strahlengang mit Darstellung der Fraktur des Klauenbeines.

Nach genauerer Betrachtung der Röntgenbilder waren sämtliche ultrasonographisch gemessenen Distanzen nachvollziehbar, sie lagen innerhalb des röntgenologisch bestimmten Referenzbereiches und daher vertretbar.

Einen Sonderfall stellt die Klaue Nr. 12 dar. In Abbildung 14 wird ersichtlich, dass hier ein Knochenfragment vorhanden war und der Frakturbereich besonders lang ist.

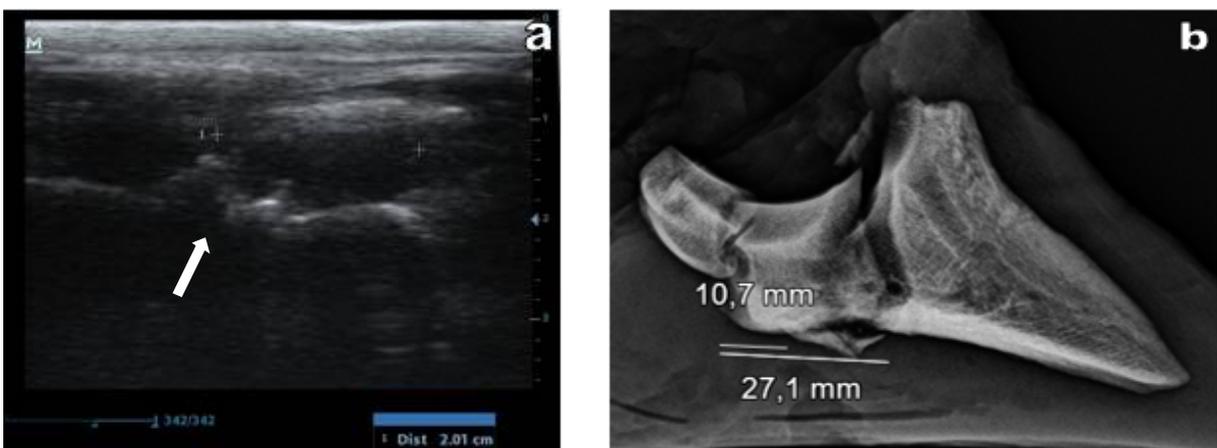


Abbildung 14: (a) Sonogramm des plantaren Abschnittes des Klauenbeines der Klaue Nr. 12 mit der Klauenbeinfraktur (Pfeil) und Vermessung der Distanz zwischen dem hinteren Ende des *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines und dem Frakturpalt: gemessene Distanz: 2,01 cm (= 20,1 mm). (b) Seitliche Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 12 mit Vermessung der minimalen und maximalen Distanz vom hinteren Ende des *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines zum röntgenologisch darstellbaren Frakturpalt: minimale Distanz: 10,7 mm, maximale Distanz: 27,1 mm.

Die Klaue Nr. 16 wurde als einzige von keiner der Untersucherinnen per Ultraschalldiagnostik als frakturiert erkannt. Das Ultraschallbild und die Röntgenaufnahme dieser Klaue sind als Abbildung 15 beigefügt.

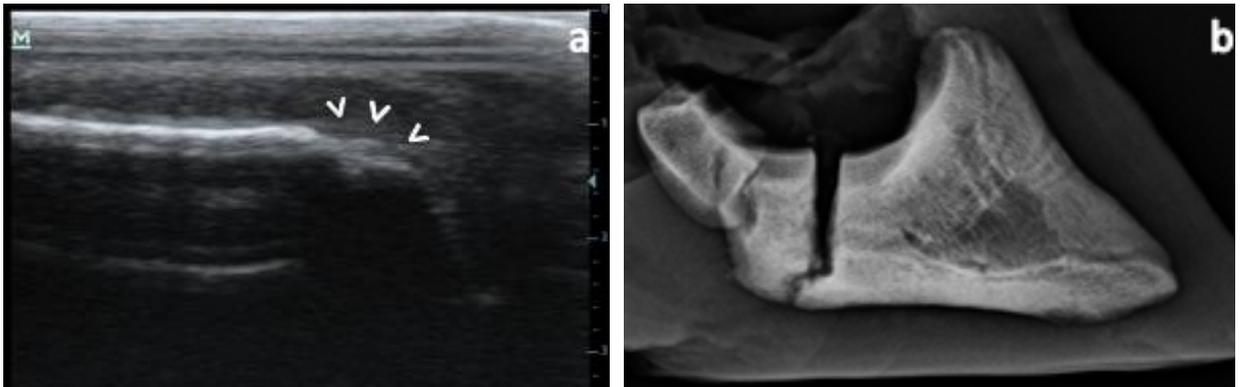


Abbildung 15: (a) Sonogramm des plantaren Abschnittes der Klaue Nr. 16 mit dem schwer erkennbaren Frakturspalt (Pfeile). (b) Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 16 im seitlichen Strahlengang, wo ersichtlich ist, dass an der plantaren Kontur des Klauenbeines der Frakturspalt sehr schmal ausgebildet ist im Gegensatz zum gelenkspaltnahen Abschnitt des Knochens.

4. Diskussion

Frakturen des Klauenbeines zählen zu den häufigsten Frakturlokalisationen beim adulten Rind (Köstlin und Petzoldt 1985, Vaughan und Osman 1967). Der Goldstandard zur Diagnostik einer gedeckten Klauenbeinfraktur ist die Röntgenuntersuchung in zwei Ebenen (Kofler et al. 2014, Steiner et al. 2010). Meist steht den TierärztInnen in der Nutztierpraxis aber kein Röntgengerät zur Verfügung (Kofler et al. 2014). Daher wird eine Therapie häufig nach Ausschluss der Differentialdiagnosen aufgrund einer klinischen Verdachtsdiagnose eingeleitet (Köstlin und Petzoldt 1985, Vaughan und Osman 1967). Allerdings sind viele in der Nutztierpraxis tätigen TierärztInnen heute mit einem Ultraschallgerät ausgestattet. Daher wurde in der vorliegenden Studie die Eignung der ultrasonographischen Untersuchung zur Diagnostik von gedeckten Klauenbeinfrakturen bewertet.

Der für die Studie verwendete Linearschallkopf mit einer Frequenz von 5,0 MHz wurde aufgrund von Empfehlungen diverser früherer Studien gewählt, weil damit die besten Ergebnisse in Bezug auf Darstellung und Messungen zu erzielen sind (Cecen et al. 2015, Kofler et al. 1999, Tsuka et al. 2017). Diese Autoren beschrieben die Echogenität des Sohlenhornes und der darunterliegenden weichen Gewebe unterschiedlich. Dies könnte durch die zeitliche Differenz zwischen diesen Arbeiten und der damit verbundenen qualitativen Weiterentwicklung der Schallgeräte und der somit verbesserten Darstellung der Bilder erklärt werden. In unserer Studie stellte sich das Sohlenhorn hypoechogen und die darunterliegenden Gewebe überwiegend hypoechogen dar. Die Knochenoberfläche des Klauenbeins war als hyperechogene Linie mit distaler Schallauslöschung erkennbar.

Um diese Strukturen ultrasonographisch gut darstellen zu können, wurde bei der Präparation der Klauen eine Sohlenhorndicke von ca. 5 mm angestrebt. Tatsächlich war sie zwischen 2,4 mm und 11 mm dick und auch bei dickerem Sohlenhorn konnten die Schallwellen bis zur Knochenoberfläche durchdringen. Auch in der Studie von Van Amstel et al. (2003) gelang dies bei 151 Klauen mit einer mittleren Sohlenhorndicke von 7.1 ± 1.3 mm.

Die Schallleitungseigenschaften des Klauenhorns werden verbessert je größer der Wassergehalt des Horns ist bzw. je dünner das Sohlenhorn ist (Bach et al. 2019, Führer et al. 2019, Mason et al. 2012, Van Amstel et al. 2004). Dies trifft bei Kühen in vielen Laufställen mit einem gewissen Ausmaß der Hornabrasion und ständiger Feuchtigkeit in den Laufflächen sehr häufig zu (Führer et al. 2019, Van Amstel et al. 2004). Um die

Schalleistungseigenschaften von tiefgefrorenen Klauen zu optimieren, empfahlen Kofler et al. (1999) tiefgefrorene Klauen vor der Ultraschalluntersuchung in einem Wasserbad aufzutauen, sowie eine Klauenpflege vorzunehmen, um möglichst plane Flächen zu schaffen, welche eine perfekte Ankopplung für den Linearschallkopf ermöglicht. Durch die Verwendung eines Wasserbades wird ein höherer Wassergehalt im Horn und somit relativ weiches Sohlenhorn erreicht. Dies erleichtert die ultrasonographische Darstellung der verschiedenen Strukturen im Hornschuh, während sehr trockenes und sprödes Horn die Eindringung von Schallwellen behindert bzw. verhindert (Kofler et al. 1999). In vorliegender Studie wurden die Klauen bis zu 24 Stunden vor Versuchsbeginn und auch noch unmittelbar vor dem Versuch in einem Wasserbad aufbewahrt, um die äußeren Hornschichten vor Austrocknung zu schützen. Das Horn aller Klauen, mit Ausnahme der Klaue Nr. 6, waren für die Schallwellen gut durchringbar.

Die ultrasonographische Untersuchung durch das Sohlenhorn bei lebenden Rindern wurde bereits mehrfach beschrieben und ist im Regelfall nach Herstellung planer Sohlenflächen durch Klauenpflege gut durchführbar (Bach et al. 2019, Führer et al. 2019, Mason et al. 2012, Newsome et al. 2017, Van Amstel et al. 2004). Van Amstel et al. (2003) konnten *in vivo* bei 151 Klauen das Sohlenhorn, die darunterliegenden Weichteilgewebe und die distale Oberfläche des Klauenbeines nur nach vorheriger Klauenpflege ultrasonographisch darstellen. Die Untersuchung von Klauen von 98 Kühen, welche auf einem abrasiven Gussasphaltboden gehalten waren, war in den allermeisten Fällen sogar nur nach Reinigung mit Wasser und Auftragen von Kontaktgel möglich (Führer et al. 2019). Ooshita et al. (2019) verfolgten ultrasonographisch den Heilungsverlauf einer gedeckten Klauenbeinfraktur bei einer Holstein-Kuh nur nach vorheriger Klauenpflege. Daher ist grundsätzlich davon auszugehen, dass das Sohlenhorn und die darunterliegenden Strukturen an Klauen lebender und im Laufstall gehaltener Tiere auch ohne vorherige Behandlungen zur Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes des Hornes ultrasonographisch untersucht werden können, jedoch vorausgesetzt, dass eine plane Sohlenoberfläche besteht (Kofler et al. 1999).

Des Weiteren stellt sich die Frage, inwiefern das Tieffrieren der Klauen einen Einfluss auf die Schallbarkeit hat. Am ersten Versuchstag wurden 22 zuvor tiefgefrorene Klauen, am zweiten Tag 29 frische Schlachthofklauen befundet. Alle Klauen befanden sich vor Versuchsbeginn für mehrere Stunden im Wasserbad. Untersucherin 1 stellte bei drei zuvor gefrorenen Klauen

eine falsche Diagnose, Untersucherin 2 bei fünf zuvor gefrorenen und acht nicht konservierten Klauen. Vergleicht man die Werte dieser zwei Gruppen stellt man fest, dass Untersucherin 1 vom ersten auf den zweiten Versuchstag 7 % weniger und Untersucherin 2 3 % mehr falsche Diagnosen gestellt hat. Daher lässt sich diesbezüglich kein Zusammenhang zwischen den erhobenen Befunden und der Frische bzw. der Konservierungsart der Klauen erkennen. Viel wahrscheinlicher spielen hier andere Faktoren wie z. B. die Tagesverfassung der Untersucherinnen, die Konzentration und die Erfahrung eine Rolle.

Aus der Arbeit von Köstlin und Petzoldt (1985) geht hervor, dass mit 64 % die laterale Klaue häufiger als die mediale betroffen ist. In vorliegender Studie wurden die Klauen randomisiert den Gruppen „Fraktur Ja“ und „Fraktur Nein“ zugeteilt. Es befanden sich nach Ausschluss der zwei Klauen mit Lufteinschlüssen im Frakturspalt noch 10 mediale und 15 laterale Klauen in der Studie. Dies entspricht einer Verteilung von 40 % zu 60 %. Die Untersucherinnen stellten insgesamt bei je 8 medialen und je 8 lateralen Klauen eine falsche Diagnose. Daraus lässt sich schließen, dass die Lokalisation der Fraktur an der Zehe keinen Einfluss auf die ultrasonographische Diagnosestellung hat, egal ob die mediale oder laterale Klaue betroffen ist.

Etwas schwierig gestaltete sich die sonographische Vermessung der Position der Frakturzone. Zur Distanzmessung wurden je nach Lokalisation der Fraktur entweder die Klauenbeinspitze oder das hintere Ende des *Tuberculum flexorium* als Referenzmesspunkte herangezogen. Da sich die Frakturen meist weiter kaudal am Klauenbein befanden wurde zum Großteil das hintere Ende des Beugeknorrens als Referenzmesspunkt verwendet. Dieser ist aufgrund seiner unregelmäßigen Form, die plantare Kontur verläuft nicht im rechten Winkel zur Längsachse des Klauenbeines, nicht optimal dafür geeignet. Je nachdem, ob man den Schallkopf weiter abaxial bzw. weiter axial positioniert hatte und die Messungen vornahm, resultieren dadurch größere bzw. kleinere Messwerte. Um den Referenzmesspunkt am hinteren Ende des *Tuberculum flexorium* für beide Untersucherinnen möglichst einheitlich zu wählen, führte ein unabhängiger Dritter die Messungen zu der von den Untersucherinnen angezeigten Frakturzone durch. Hinzu kam, dass v. a. bei Schrägfrakturen an unterschiedlichen Stellen gemessen werden konnte und der Schallkopf teilweise auch leicht quer gehalten wurde.

Auch bei Vermessung der genannten Distanzen an den Röntgenbildern war der Referenzmesspunkt am hinteren Ende des *Tuberculum flexorium* nicht immer eindeutig

festzulegen, bedingt durch den Summationseffekt. Zudem erschwerten geringgradig verkippte Aufnahmen die Festlegung dieses Referenzmesspunktes zusätzlich. All diese Faktoren bedingen, dass kein exakter Wert für die Lage der Frakturzone bestimmt werden konnte. Darauf wurde auch bei der Vermessung der Frakturzone auf den Röntgenbildern Rücksicht genommen und ein minimaler sowie maximaler Wert für die Distanz der Frakturzone vom hinteren Ende des *Tuberculum flexorium* bzw. von der Klauenbeinspitze bestimmt. Wenn sich die ultrasonographisch bestimmte Distanz innerhalb dieser am Röntgenbild bestimmten Bandbreite mit einer Toleranz von ± 2 mm befand, galt die sonographische Festlegung der Position der Fraktur als richtig.

Je nach Untersucherin und Durchgang reichte die Sensitivität der ultrasonographischen Frakturdiagnostik von 92 % bis 96 %, die Spezifität von 81 % bis 100 %. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich die sonographische Untersuchung der plantaren Klauenbeinkontur über das Sohlenhorn sehr gut zum Ausschluss bzw. zur Bestätigung einer Klauenbeinfraktur eignet. Aufgrund der Interrater-Reliabilität von 0,77 kann gefolgert werden, dass die Erfahrung der Untersucherin im Umgang mit Ultraschallgeräten sowie bei der Befundung von Ultraschallbildern einen geringen Einfluss auf das Ergebnis der Untersuchung hat. Basierend auf den Werten der Intrarater-Reliabilität von 0,88 bis 0,96 ist die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gegeben.

Die Klauenbeinfrakturen in vorliegender Studie wurden artifiziell erzeugt. Vergleicht man diese Röntgenbilder mit jenen von lebenden Rindern mit einer akzidentellen Klauenbeinfraktur, ist die Form des Frakturspaltes der auffälligste Unterschied (Abbildung 16). *In vivo* entfernen sich die Fraktarenden durch den Zug der tiefen Beugesehne distal deutlich voneinander. Der Frakturspalt divergiert nach distal. In *ex vivo* musste ein Keil in den Frakturspalt eingebracht werden, um die Fraktarenden einigermaßen auseinanderzuhalten und somit sonographisch darstellbar zu machen. Der Frakturspalt bei den artifiziell herbeigeführten Frakturen divergiert nach proximal. Durch den nach distal divergierenden Frakturspalt *in vivo* kann eine Klauenbeinfraktur ultrasonographisch deutlich leichter diagnostiziert werden. Des Weiteren hat man *in vivo* den Vorteil einer typischen Anamnese (plötzlich aufgetretene Lahmheit), klinisch kann man aufgrund der Fußung der schmerzhaften Klaue (Abduktion bzw. Adduktion) und der klinischen Prüfung der Schmerzhaftigkeit mittels

Untersuchungszange bereits sicher die erkrankte Klaue identifizieren (Baumgartner und Wittek 2018). Zudem erlaubt eine sorgfältige Palpation mit der Untersuchungszange oftmals eine gute Eingrenzung der schmerzhaften Zone an der Klaue bei Vorliegen einer Klauenbeinfraktur (Köstlin und Petzoldt 1985), so dass dadurch eine ultrasonographische Untersuchung und Befundung gezielter in einem umschriebenen Bereich an der Klaue vorgenommen werden kann.

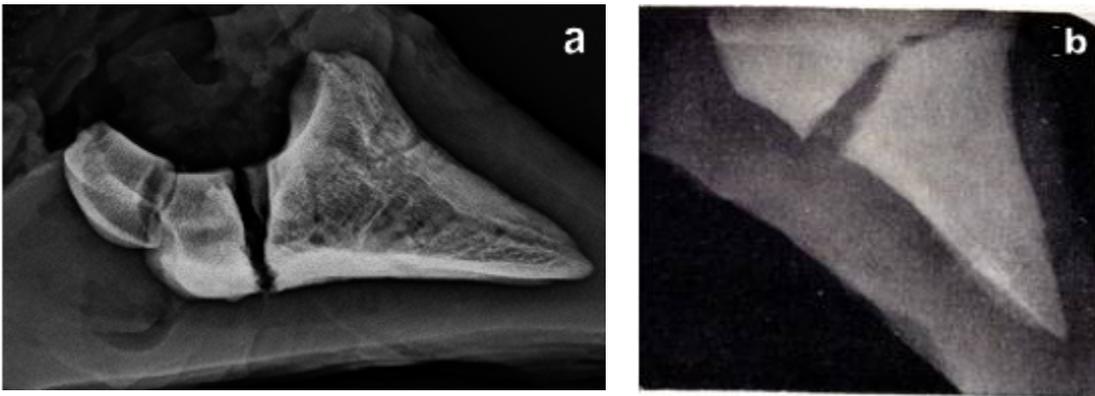


Abbildung 16: (a) Seitliche Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 52 mit artifiziell erzeugter Klauenbeinfraktur.

(b) Röntgenaufnahme im seitlichen Strahlengang einer zwei Tage alten Klauenbeinfraktur bei einem Rinderpatienten. Quelle: (Vaughan und Osman 1967).

Als Erklärung für die falsch positiven und falsch negativen Befunde können Artefakte oder periostale Veränderungen aufgrund von chronischer Klauenrehe genannt werden, welche durch die Untersucherinnen falsch interpretiert wurden und dadurch zu diesen Fehldiagnosen führten. In Abbildung 17 ist als Beispiel das Ultraschallbild einer falsch positiv befundeten Klaue, sowie das Ultraschallbild einer Klaue mit periostalen Veränderungen aufgrund von chronischer Klauenrehe dargestellt. Abbildung 15b zeigt das Ultraschallbild einer falsch negativ befundeten Klaue.

Es wäre sinnvoll zu diesem Thema der sonographischen Diagnostik von Klauenbeinfrakturen weitere Studien an lebenden Tieren mit echten Klauenbeinfrakturen durchzuführen. Aufgrund der geringen Prävalenz von Klauenbeinfrakturen (Peitel 1971) wäre dies auf jeden Fall ein Langzeitprojekt und sollte daher als multizentrische Studie angelegt werden.

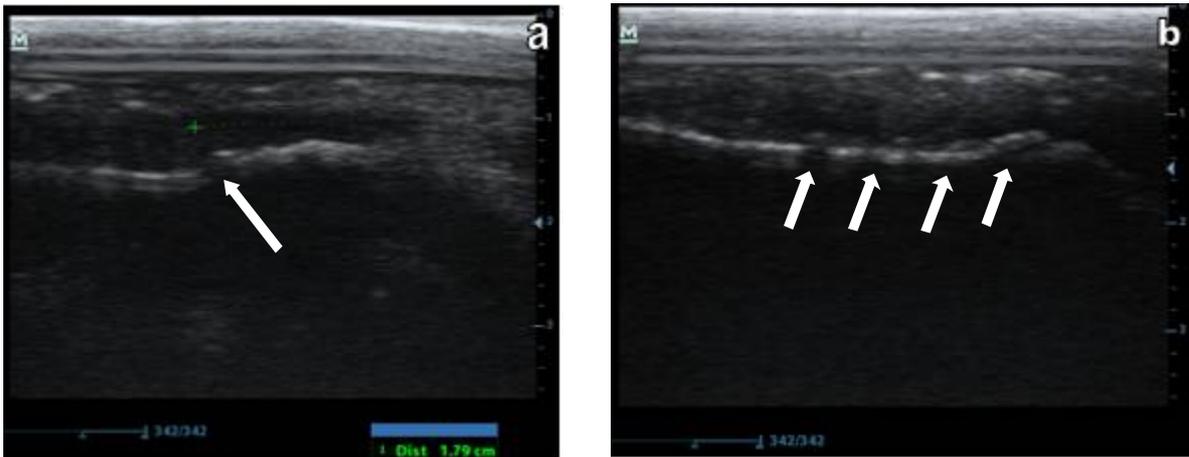


Abbildung 17: (a) Sonogramm der plantaren Klauenbeinoberfläche der Klaue Nr. 44, welche falsch positiv befundet wurde. Ausschlaggebend dafür war wohl die kurze Konturunterbrechung (auf Höhe +. Pfeil). (b) Sonogramm der plantaren Klauenbeinoberfläche einer Klaue mit ggr. periostalen Unregelmäßigkeiten (Pfeile) aufgrund von chronischer Klauenrehe im Bereich des *Tuberculum flexoriums* und auch kranial davon.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass artifiziell erzeugte Klauenbeinfrakturen an Schlachthofklauen mit einer Sohlenhorndicke von 2,4 mm bis 11 mm ultrasonographisch diagnostiziert werden können. Die Ergebnisse der vorliegenden sonographischen Studie sind reproduzierbar. Die Erfahrung der Untersucherin im Umgang mit Ultraschallgeräten sowie bei der Befundung von Ultraschallbildern hatte nur einen geringen Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse. Somit ist die Ultraschalldiagnostik mit einem 5,0 MHz Linearschallkopf, wie er auch zur Trächtigkeitsdiagnostik beim Rind verwendet wird, zur Bestätigung bzw. zum Ausschluss einer klinisch vermuteten Klauenbeinfraktur auch für TierärztInnen in der Praxis gut geeignet. Die vorliegende Studie hat gezeigt, dass nicht 100 % der artifiziell erzeugten Klauenbeinfrakturen richtig diagnostiziert wurden bzw. dass es dabei Klauen gab, welche sonographisch nicht befundet werden konnten. Die Studie zeigte aber auch, dass die Intrarater-Reliabilität einer erfahrenen Untersucherin für die sichere Erkennung einer Klauenbeinfraktur an der Schlachthofklaue 0,96 betrug. Somit konnten alle Hypothesen der vorliegenden Studie durch die Ergebnisse bestätigt werden.

Überträgt man diese sehr guten Ergebnisse auf reale Verhältnisse bei einem Rinderpatienten, welcher wegen plötzlich aufgetretener und hgr. Lahmheit vorgestellt wird, dann ist durchaus

vorstellbar, dass die sonographische Untersuchung einen hohen diagnostischen Wert hat. Voraussetzung hierfür ist, dass aufgrund der Schmerzhaftigkeit bereits klinisch eindeutig die kranke Klaue identifiziert und der schmerzhafteste Bereich an der Klaue mit Hilfe der Untersuchungszange enger eingegrenzt werden kann. Eine eitrige Pododermatitis aufgrund einer nicht vorhandenen Eintrittspforte muss mit hoher Wahrscheinlichkeit auszuschließen sein. In Zweifelsfällen bleibt aber trotzdem die Röntgenuntersuchung der Goldstandard für die Diagnostik von gedeckten Klauenbeinfrakturen, auch wenn sie möglicherweise in Zukunft vermutlich von der Ultraschalluntersuchung für die Abklärung einer Klauenbeinfraktur in der Rinderpraxis verdrängt werden wird.

5. Zusammenfassung

Frakturen des Klauenbeines zählen neben Rohrbeinfrakturen zu den häufigsten Frakturlokalisationen beim adulten Rind. Dabei handelt es sich meist um Transversalfrakturen mit Gelenksbeteiligung aufgrund eines Traumas. Zur sicheren Diagnose einer gedeckten Klauenbeinfraktur ist eine Röntgenuntersuchung in zwei Ebenen, vornehmlich in der latero-medialen Aufnahmerichtung, erforderlich. Meist steht den TierärztInnen in der Nutztierpraxis kein Röntgengerät, dafür aber ein Ultraschallgerät mit einem 5 – 7,5 MHz Linearschallkopf, zur Verfügung.

Das Ziel der vorliegenden doppelt verblindeten, randomisierten, experimentellen Studie war die Überprüfung, ob die ultrasonographische Diagnostik mit einem 5,0 MHz Linearschallkopf geeignet ist, um gedeckte Klauenbeinfrakturen zu identifizieren.

Es wurden 54 Totklauen zufällig mittels Randomisierung den Gruppen „Fraktur ja“ und „Fraktur nein“ zugeordnet und so präpariert, dass die Durchführung einer doppelt verblindeten Studie gewährleistet war. Jede Klaue wurde zweimal von jeder Untersucherin mit einem 5,0 MHz Linearschallkopf untersucht und eine Diagnose bezüglich des Vorliegens einer Fraktur bzw. deren Lage gestellt. Die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen wurden mit den anschließend angefertigten Röntgenaufnahmen der Klauen verglichen. Sämtliche ultrasonographisch gemessenen Frakturlokalisationen befanden sich innerhalb des röntgenologisch bestimmten Referenzbereiches der Frakturzone ± 2 mm.

Für die ultrasonographische Untersuchung wurde eine Sensitivität von 93 %, eine Spezifität von 91 % und eine Interrater-Reliabilität von 0,77 berechnet. Die Intrarater-Reliabilität einer erfahrenen Untersucherin betrug 0,96 und einer unerfahrenen Untersucherin 0,88.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass artifiziell erzeugte Klauenbeinfrakturen an Schlachthofklauen von Rindern mit einer Sohlenhorndicke von 2,4 mm bis 11 mm ultrasonographisch diagnostiziert werden können. Die Ergebnisse der Studie waren reproduzierbar. Die Erfahrung der Untersucherin im Umgang mit Ultraschallgeräten sowie bei der Befundung von Ultraschallbildern hatte einen nur geringen Einfluss auf die Ergebnisse. Diese Resultate sollen TierärztInnen in der Nutztierpraxis ermutigen, zukünftig die Ultraschalldiagnostik zur Absicherung von klinisch vermuteten Klauenbeinfrakturen bei Rinderpatienten anzuwenden.

6. Summary

Fractures of the *distal phalanx* belong beside fractures of the *mectacarpus/metatarsus* to the most common fracture locations among adult cattle. These fractures are usually transversal fractures involving the joint. They might occur due to trauma. To obtain a reliable diagnosis of a closed fracture, an X-ray examination in two levels, primarily in the latero-medial direction, is necessary. However, since most commonly ruminant veterinarians have no X-ray machine at their disposal, they have to rely on an ultrasound unit with a 5 – 7,5 MHz linear transducer. For this reason, this double-blinded, randomized and experimental study aims to investigate the suitability of ultrasound scanners with a 5 MHz linear transducer for diagnosing covered fractures of the *third phalanx* in cattle.

A total of 54 claws taken from slaughtered cattle were randomly assigned to the groups “fracture” and “no fracture” and were prepared in a way, that a double-blinded study could be carried out. All claws were examined twice by each examiner with a 5 MHz ultrasound unit and diagnosed with regard to the presence of a fracture and its location. The results of the ultrasonography were compared to X-ray images of the fractured claws. All locations of the fracture as determined by ultrasound were situated within the radiologically determined fracture zone of ± 2 mm.

A sensitivity of 93 %, a specificity of 91 % and an interrater reliability of 0.77 were calculated for the ultrasonographic examination. Whereas the intrarater reliability for an experienced examiner amounted to 0.96, the interrater reliability for an inexperienced examiner amounted to 0.88, respectively.

It can be concluded that artificially created fractures of the third phalanx in claws of slaughtered cattle which show a sole horn thickness ranging from 2.4 mm to 11 mm can be diagnosed using ultrasonography. The results of this study were reproducible. In addition, the experience of the examiner with ultrasound units and her diagnosis of ultrasound images hardly exerted any influence on the results. These results should encourage veterinarians in livestock practice to use ultrasound diagnostics to secure clinically suspected claw bone fractures in cattle patients.

7. Abkürzungsverzeichnis

evtl. = eventuell

hgr. = hochgradig

ggr. = geringgradig

MHz = Megahertz

TF = *Tuberculum flexorium*

KBS = Klauenbeinspitze

8. Literaturverzeichnis

- Almanza A, Whitcomb MB. 2003. Ultrasonographic Diagnosis of Pelvic Fractures in 28 Horses. 49th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners.
- Bach K, Nielsen SS, Danscher AM, Capion N. 2019. Ultrasonographical examination of bovine claws through the sole horn on weight-bearing claws. *Journal of Dairy Science*, 102 (5): 4364–4375.
- Baumgartner W, Wittek T, Hrsg. 2018. *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere. Orthopädischer Untersuchungsgang*. Neunte. Auflage. Stuttgart: Enke, 178-231.
- Blond L, Buczinski S. 2009. Basis of ultrasound imaging and the main artifacts in bovine medicine. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, (25): 553–565.
- Cecen G, Salci H, Intas DS, Celimli N, Caliskan GU. 2015. Ultrasonographic and macroscopic comparison of the thickness of the capsule, corium, and soft tissues in bovine claws: an in vitro study. *Journal of Veterinary Science*, 16 (1): 107–112.
- Fiedler A, Maierl J, Nuss K, Hrsg. 2019. *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. Zweite. Auflage. Stuttgart, New York: Thieme, 152-156.
- Führer G, Majoros Osova A, Vogl C, Kofler J, (Keine Angabe). 2019. Prevalence of thin soles in hind limbs of dairy cows housed on fully-floored versus partially-floored mastic asphalt areas in Austria. *The Veterinary Journal*, (245).
- Heppelmann M, Staszyc C, Rehage J, Starke A. 2012. Arthrotomy for the treatment of chronic purulent septic gonitis with subchondral osteolysis in two calves. *New Zealand Veterinary Journal*, 60 (5): 310–314.
- Kofler J. 2009. Ultrasonography as a diagnostic aid in bovine musculoskeletal disorders. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 25 (3): 687-731.
- Kofler J. 2017. Surgical treatment of septic arthritis of proximal joints and treatment of bone sequestra in cattle. *Revista Acadêmica: Ciência Animal*, 15 (Suppl 2): 67.
- Kofler J, Buchner A, Sendlhofer A. 1996. Application of real-time ultrasonography for the detection of tarsal vein thrombosis in cattle. *The Veterinary Record*, (138): 34–38.
- Kofler J, Geissbühler U, Steiner A. 2014. Diagnostic imaging in bovine orthopedics. *The Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*, 30 (1): 11-53, v.

- Kofler J, Kübber P, Henninger W. 1999. Ultrasonographic Imaging and Thickness Measurement of the Sole Horn and the Underlying Soft Tissue Layer in Bovine Claws. *The Veterinary Journal*, (157): 322–331.
- Köstlin R, Petzoldt F-J. 1985. Zur Klauenbeinfraktur beim Rind. *Tierärztliche Umschau*, (40): 864–874.
- Landis JR, Koch GG. 1977. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*, (1): 159–174.
- Mason WA, Laven LJ, Laven RA. 2012. An outbreak of toe ulcers, sole ulcers and white line disease in a group of dairy heifers immediately after calving. *New Zealand Veterinary Journal*, (60): 76–81.
- Newsome RF, Green MJ, Bell NJ, Bollard NJ, Mason CS, Whay HR, Huxley JN. 2017. A prospective cohort study of digital cushion and corium thickness. Part 1: Associations with body condition, lesion incidence, and proximity to calving. *Journal of Dairy Science*, 100 (6): 4745–4758.
- Numans SR, Wintzer HJ. 1958. Gedeckte Klauenbeinfrakturen während des Weideganges beim Rind. *Deutsche Tierärztliche Wochenschrift*, 65. (8).
- Nuss K, Müller J, Boppart J, Devaux D, Braun U, Geyer H. 2018. Orthopaedic ultrasonography in cattle. In: Katagiri S, Misawa N (eds). *Proceedings of 30th World Buiatrics Congress*, Sapporo, Japan: 90–96.
- Ooshita K, Itou Y, Ishibashi I. 2019. Ultrasonographic findings of healing process in fracture of the distal phalanx in a cow. In: Kiyoshi Taguchi, Hrsg. *20th International Symposium and 12th International Conference on Lameness in Ruminants*. Tokyo.
- Peitel M. 1971. Frequenz der Extremitätenfrakturen und wirtschaftliche Schäden bei Pferd und Rind. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, (58): 158–163.
- Starke A, Heppelmann M, Meyer H, Rehage J. 2009. Diagnostik und Therapie der septischen Monarthritides Rindes. *Tierärztliche Praxis*, (37): 20–30.
- Steiner A, Geissbühler U, Stoffel M, Wegmüller M, Hrsg. 2010. *Bovine Radiology - Digital Diagnostic Atlas*. Erstest ed. Bern, University of Berne, Switzerland.
- Taguchi K. 2011. Ultrasonographic Appearance of Bovine Coxofemoral Luxation in Different Directions. *Journal of Veterinary Science & Technology*, 01 (S3).

- Taguchi K, Hyakutake K. 2012. Ultrasonographic findings in two calves with bone sequestration of an extremity. *The Veterinary Record*, 170 (25): 649.
- Tsuka T, Murahata Y, Azuma K, Osaki T, Ito N, Okamoto Y, Imagawa T. 2017. Detection sensitivity of bovine hoof structures using ultrasonography. *Proceedings of 19th International Symposium and 11th International Conference of Lameness in Ruminants*: 171–172.
- Van Amstel S, Palin F, Rorhbach B, Shearer J. 2003. Ultrasound measurement of sole horn thickness in trimmed claws of dairy cows. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 223 (4): 492–494.
- Van Amstel S, Shearer J, Palin F. 2004. Moisture content, thickness, and lesions of sole horn associated with thin soles in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, (87 (3)): 757–763.
- Vaughan LC, Osman MAR. 1967. Fracture of the Third Phalanx in Cattle. *The Veterinary Record*, (80).

9. Abbildungs-/Tabellenverzeichnis

Abbildung 1: Sonographische Darstellung der Sohlenhornschicht, der Unterhaut, der Fettpolster und der plantaren Knochenoberfläche des Klauenbeines bei Vorliegen von dünner Sohle. S = Sohlenhorn. * = Sohlenhorn/Korium-Grenze. SU = Subkutis. DC = Subkutane Fettpolster. SB = <i>Os sesamoideum distale</i> . FT = <i>Tuberculum flexorium</i> des Klauenbeines. P3 = <i>Phalanx distalis</i> . DDFT = Tiefe Beugesehne. aP3 = <i>Apex</i> der <i>Phalanx distalis</i>	8
Abbildung 2: Sonographische Darstellung einer Fraktur des Klauenbeines ca. 1 cm dorsal des <i>Tuberculum flexorium</i> . S = Sohlenhorn. * = Sohlenhorn/Korium-Grenze. SU = Subkutis. FT = <i>Tuberculum flexorium</i> des Klauenbeines. P3 = <i>Phalanx distalis</i> . FX = Frakturspalt. Die kleinen Pfeile kennzeichnen Weichteilschäden (Hämatom) um die Fraktur.	8
Abbildung 3: Präparation eines Hautlappens an einer Zehe.	12
Abbildung 4: Fertig präparierter Hautlappen an einer Zehe.	12
Abbildung 5: Entfernung des Kronbeinrestes.	12
Abbildung 6: Klauenpaar nach Entfernung des Kronbeinrestes und freiliegende Gelenkfläche des Klauenbeines.	12
Abbildung 7: Klaue nach Zufügen einer artifiziellen Fraktur und Einbringen eines Holzkeiles in den Frakturspalt.	13
Abbildung 8: Ansicht auf die Sohlenfläche einer fertig präparierten Klaue mit Beschriftung.	13
Abbildung 9: Fertig präparierte Klauen im Wasserbad.	14
Abbildung 10: Durchführung der ultrasonographischen Untersuchung an der Sohlenfläche einer Klaue.	15
Abbildung 11: Seitliche (a) und dorsoplantare (b) Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 7 mit Darstellung der Fraktur des Klauenbeines.	23
Abbildung 12: Ultrasonographische Darstellung der Fraktur (Pfeil) des Klauenbeines der Klaue Nr. 40 mit kurzer Unterbrechung der hyperechogenen Knochenlinie sowie ggr. Stufenbildung.	23
Abbildung 13: Röntgen der Klaue Nr. 40 im seitlichen (a) und dorsoplantaren (b) Strahlengang mit Darstellung der Fraktur des Klauenbeines.	24
Abbildung 14: (a) Sonogramm des plantaren Abschnittes des Klauenbeines der Klaue Nr. 12 mit der Klauenbeinfraktur (Pfeil) und Vermessung der Distanz zwischen dem hinteren Ende des <i>Tuberculum flexorium</i> des Klauenbeines und dem Frakturspalt: gemessene Distanz:	

2,01 cm (= 20,1 mm). (b) Seitliche Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 12 mit Vermessung der minimalen und maximalen Distanz vom hinteren Ende des *Tuberculum flexorium* des Klauenbeines zum röntgenologisch darstellbaren Frakturspalt: minimale Distanz: 10,7 mm, maximale Distanz: 27,1 mm..... 24

Abbildung 15: (a) Sonogramm des plantaren Abschnittes der Klaue Nr. 16 mit dem schwer erkennbaren Frakturspalt (Pfeile). (b) Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 16 im seitlichen Strahlengang, wo ersichtlich ist, dass an der plantaren Kontur des Klauenbeines der Frakturspalt sehr schmal ausgebildet ist im Gegensatz zum gelenkspaltnahen Abschnitt des Knochens..... 25

Abbildung 16: (a) Seitliche Röntgenaufnahme der Klaue Nr. 52 mit artifiziell erzeugter Klauenbeinfraktur. (b) Röntgenaufnahme im seitlichen Strahlengang einer zwei Tage alten Klauenbeinfraktur bei einem Rinderpatienten. Quelle: (Vaughan und Osman 1967)..... 30

Abbildung 17: (a) Sonogramm der plantaren Klauenbeinoberfläche der Klaue Nr. 44, welche falsch positiv befundet wurde. Ausschlaggebend dafür war wohl die kurze Konturunterbrechung (auf Höhe +. Pfeil). (b) Sonogramm der plantaren Klauenbeinoberfläche einer Klaue mit ggr. periostalen Unregelmäßigkeiten (Pfeile) aufgrund von chronischer Klauenrehe im Bereich des *Tuberculum flexorium*s und auch *kranial* davon.31

Tabelle 1: Sensitivität und Spezifität der Ergebnisse..... 20

Tabelle 2: Ergebnisse der radiologischen und ultrasonographischen Messungen aller 25 frakturierten Klauen. 22

Tabelle 3: Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen des Untersucherin 1. TF = *Tuberculum flexorium*. KBS= Klauenbeinspitze. 41

Tabelle 4: Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen des Untersucherin 2. TF = *Tuberculum flexorium*. KBS = Klauenbeinspitze. 43

10. Anhang

Tabelle 3: Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen des Untersucherin 1. TF = *Tuberculum flexorium*. KBS= Klauenbeinspitze.

Nr.	Fraktur		Diagnose 1	Lage Frakturspalt in cm	Bezugspunkt	Diagnose 2	Lage Frakturspalt in cm	Bezugspunkt
1	Ja	Lateral	Ja	1,7	TF	Ja	1,98	TF
2	Ja	Medial	-	-	-	-	-	-
3	Nein	Medial	Nein			Nein		
4	Nein	Lateral	Nein			Nein		
5	Ja	Lateral	Ja	3,35	TF	Ja	3,21	TF
6	Nein	Medial	-	-	-	-	-	-
7	Ja	Lateral	Nein			Ja	2,91	TF
8	Ja	Medial	Ja	2,1	KBS	Ja	2,54	KBS
9	Ja	Medial	Ja	2,3	TF	Ja	2,33	TF
10	Nein	Lateral	Nein			Nein		
11	Nein	Lateral	Nein			Nein		
12	Ja	Medial	Ja	2,01	TF	Ja	2,5	TF
13	Ja	Lateral	Ja	1,27	TF	Ja	1,7	TF
14	Nein	Medial	Nein			Nein		
15	Ja	Lateral	Ja	2,18	TF	Ja	1,95	TF
16	Ja	Medial	Nein			Nein		
17	Nein	Medial	Nein			Nein		
18	Nein	Lateral	Nein			Nein		
19	Ja	Lateral	Ja	2,7	TF	Ja	2,3	TF
20	Nein	Medial	Nein			Nein		
21	Nein	Medial	Nein			Nein		
22	Nein	Lateral	Nein			Nein		
23	Nein	Lateral	Nein			Nein		
24	Nein	Medial	Nein			Nein		
25	Ja	Medial	Ja	2,84	TF	Ja	2,94	TF

26	Nein	Lateral	Nein			Nein		
27	Nein	Lateral	Nein			Nein		
28	Ja	Medial	Ja	2,2	TF	Ja	1,98	TF
29	Ja	Lateral	Ja	2,46	TF	Ja	2,74	TF
30	Nein	Medial	Nein			Nein		
31	Ja	Lateral	Ja	1,27	TF	Ja	1,22	TF
32	Ja	Medial	Ja	3,04	KBS	Ja	3,07	KBS
33	Nein	Medial	Nein			Nein		
34	Ja	Lateral	Ja	2,8	TF	Ja	2,61	TF
35	Ja	Lateral	Ja	2,75	KBS	Ja	3,14	TF
36	Nein	Medial	Nein			Nein		
37	Ja	Lateral	Ja	1,66	TF	Ja	1,28	TF
38	Ja	Medial	Ja	2,08	TF	Ja	2,55	TF
39	Ja	Lateral	Ja	3,07	TF	Ja	2,71	TF
40	Ja	Medial	Ja	2,69	TF	Ja	2,89	TF
41	Nein	Lateral	Nein			Nein		
42	Ja	Medial	-	-	-	-	-	-
43	Ja	Medial	Ja	3,28	TF	Ja	3,45	TF
44	Nein	Lateral	Nein			Nein		
45	Nein	Medial	Nein			Nein		
46	Ja	Lateral	Ja	3,07	KBS	Ja	3,35	KBS
47	Nein	Lateral	Nein			Nein		
48	Nein	Medial	Nein			Nein		
49	Nein	Medial	Nein			Nein		
50	Nein	Lateral	Nein			Nein		
51	Nein	Medial	Nein			Nein		
52	Ja	Lateral	Ja	1,9	TF	Ja	1,87	TF
53	Ja	Lateral	Ja	2,83	TF	Ja	2,85	TF
54	Nein	Medial	Nein			Nein		

Tabelle 4: Ergebnisse der Ultraschalluntersuchungen des Untersucherin 2. TF = *Tuberculum flexorium*. KBS = Klauenbeinspitze.

Nr.	Fraktur		Diagnose 1	Lage Frakturspalt in cm	Bezugspunkt	Diagnose 2	Lage Frakturspalt in cm	Bezugspunkt
1	Ja	Lateral	Nein			Nein		
2	Ja	Medial	-	-	-	-	-	-
3	Nein	Medial	Nein			Nein		
4	Nein	Lateral	Nein			Nein		
5	Ja	Lateral	Ja	3,26	TF	Ja	3,18	TF
6	Nein	Medial	-	-	-	-	-	-
7	Ja	Lateral	Ja	2,1	TF	Ja	2,55	TF
8	Ja	Medial	Ja	1,72	KBS	Ja	1,9	KBS
9	Ja	Medial	Ja	1,74	TF	Ja	2,1	TF
10	Nein	Lateral	Nein			Nein		
11	Nein	Lateral	Nein			Nein		
12	Ja	Medial	Ja	1,95	TF	Ja	2,3	T
13	Ja	Lateral	Ja	2,68-1,2	TF	Ja	2,6	T
14	Nein	Medial	Nein			Ja	1,69	KBS
15	Ja	Lateral	Ja	2,14	TF	Ja	2	TF
16	Ja	Medial	Nein			Nein		
17	Nein	Medial	Nein			Nein		
18	Nein	Lateral	Nein			Nein		
19	Ja	Lateral	Ja	2,63	TF	Ja	2,5	TF
20	Nein	Medial	Nein			Nein		
21	Nein	Medial	Nein			Nein		
22	Nein	Lateral	Nein	Rehe		Nein	Rehe	
23	Nein	Lateral	Nein			Nein		
24	Nein	Medial	Nein			Nein		
25	Ja	Medial	Ja	2,85	TF	Ja	2,91	TF
26	Nein	Lateral	Ja	1,93	TF	Ja	2,55	TF

27	Nein	Lateral	Nein			Nein		
28	Ja	Medial	Ja	1,96	TF	Ja	2,24	TF
29	Ja	Lateral	Ja	2,55	TF	Ja	2,73	TF
30	Nein	Medial	Nein			Nein		
31	Ja	Lateral	Ja	1,32	TF	Ja	1,39	TF
32	Ja	Medial	Ja	2,42-2,6	KBS	Ja	3,53-2,04	TF
33	Nein	Medial	Ja	0,9	TF	Ja	0,95	TF
34	Ja	Lateral	Ja	2,7	TF	Ja	2,39	TF
35	Ja	Lateral	Ja	2,76	KBS	Ja	3,02	TF
36	Nein	Medial	Nein			Nein		
37	Ja	Lateral	Ja	1,78	TF	Ja	1,51	TF
38	Ja	Medial	Ja	2,32	TF	Ja	2,68	TF
39	Ja	Lateral	Ja	2,73	TF	Ja	2,63	TF
40	Ja	Medial	Ja	3	TF	Ja	2,9	TF
41	Nein	Lateral	Nein			Nein		
42	Ja	Medial	-	-	-	-	-	-
43	Ja	Medial	Ja	2,86	TF	Ja	3,07	TF
44	Nein	Lateral	Ja	3,3	TF	Ja	1,79	TF
45	Nein	Medial	Nein			Nein		
46	Ja	Lateral	Ja	2,17	KBS	Ja	3,25	KBS
47	Nein	Lateral	Nein			Nein		
48	Nein	Medial	Nein			Nein		
49	Nein	Medial	Nein			Nein		
50	Nein	Lateral	Nein			Ja	0,93	TF
51	Nein	Medial	Nein			Nein		
52	Ja	Lateral	Ja	1,8	TF	Ja	1,87	TF
53	Ja	Lateral	Ja	2,31	TF	Ja	2,81-1	TF
54	Nein	Medial	Ja	0,9	TF	Nein		