

**Aus der Klinik für Klautiere
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Vergleichende Untersuchung zum Einfluss von Verbänden auf die
Wundheilung von ausgewählten Klauenerkrankungen des Rindes**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Marcus Klawitter
Tierarzt aus Ueckermünde

Berlin 2021
Journal-Nr.: 4299

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien
Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Uwe Rösler

Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Kerstin E. Müller

Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Christoph Lischer

Dritter Gutachter: Prof. Dr. Christoph K.W. Mülling

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dairy cows, claws, foot diseases, pododermatitis, lameness, therapy, bandages, risk factors

Tag der Promotion: 10.12.2021

„Dum habemus tempus, operemur bonum!“
-„Solange noch Zeit ist, lasst uns Gutes tun!“-

Franz von Assisi (1182 - 1226)

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	V
1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
2 Literatur.....	3
2.1 Lahmheit	3
2.1.1 Vorkommen.....	3
2.1.2 Leiden der Tiere und wirtschaftliche Bedeutung	3
2.1.3 Risikofaktoren für Lahmheit.....	5
2.1.4 Bewegungsbeurteilung.....	7
2.2 Ausgewählte Klauenkrankheiten	8
2.2.1 Infektiös bedingte Klauenkrankheiten.....	8
2.2.1.1 Dermatitis digitalis	9
2.2.1.2 Dermatitis interdigitalis	16
2.2.2 Nicht-infektiös bedingte Klauenkrankheiten.....	17
2.2.2.1 Rusterholz'sches Sohlengeschwür.....	18
2.3 Verbandsarten im Zusammenhang von Klauenerkrankungen	24
2.3.1 Zweck und Funktion von Verbänden	24
2.3.2 Allgemeiner Aufbau von Klauenverbänden.....	24
2.3.3 Hoher Klauenverband	26
2.3.4 Tiefer Klauenverband	26
2.3.5 Doppelklauenverband	28
2.3.6 Interdigitalverband.....	28
3 Publikationen.....	30
3.1 1. Publikation: Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows.....	30

3.2	2. Publikation: Randomized clinical trial evaluating the effect of bandaging on the healing of sole ulcers in dairy cattle	41
4	Studienübergreifende Diskussion	50
4.1	Studiendesign	50
4.2	Digitale Planimetrie	51
4.3	Standardisierungen	52
4.4	Übergreifender Vergleich des Einflusses von Klauenverbänden auf die Wundheilung bei Dermatitis digitalis (M2-Stadium) und bei unkomplizierten Rusterholz'schen Sohlengeschwüren	53
4.5	Anwendungsdauer des Klauenverbandes - Verbandswechsel	55
4.6	Einfluss der initialen Wundfläche auf den Heilungsverlauf.....	56
4.7	Einfluss des Verbandes und der Läsionsgröße auf die Bewegungsnote.....	56
5	Schlussfolgerungen	58
6	Zusammenfassung	60
7	Summary.....	62
8	Literaturverzeichnis	64
9	Anhang.....	VI
10	Publikationen	VII
10.1	Abstracts/Proceedings	VII
11	Danksagung	VIII
12	Finanzierungsquellen.....	X
13	Selbstständigkeitserklärung	XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht der M-Stadien der DD	11
Abbildung 2: Zyklus der M-Stadien der DD mit potenziellen Übergängen (modifizierte Graphik nach DÖPFER 2014)	12
Abbildung 3: Anlegen eines tiefen Klauenverbandes am Bsp. des RSG's (modifiziert nach DIRKSEN 2006)	27
Abbildung 4: Anlegen eines Interdigitalverbandes am Bsp. der DD	29
Abbildung 5: Anlegen eines tiefen Klauenverbandes am Bsp. der DD.....	VI

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht in der wissenschaftlichen Literatur beschriebener, auf Lahmheit beruhender Milchverluste (in kg) (Angaben für diejenige Laktation, in der die Lahmheit auftrat).....	4
Tabelle 2: Übersicht der Risikofaktoren für Lahmheit	5
Tabelle 3: Bewegungsnoten nach SPRECHER et al. (1997) modifiziert nach GUHL (2009) .	7
Tabelle 4: Prävalenz von ausgewählten nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankungen (in %)	18
Tabelle 5: Prävalenz von Sohlengeschwüren bei Milchkühen nach Laktationsnummer (in %) (modifiziert nach HANEMANN (2014))	19
Tabelle 6: Aufgaben und Funktionen des Verbandes (nach WILLIAMS und MOORES (2009) und HEDLUND (2007) modifiziert nach (SWAIM et al. 2012)	24

Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent	RSG	Rusterholz'sches Sohlengeschwür
CDN	Kanada	S	Schweden
CH	Schweiz	SG	Sohlengeschwür
cm	Zentimeter	SU	Sole ulcer
D	Deutschland	TierSchG	Tierschutzgesetz
DD	Dermatitis digitalis	WLA	Weißer-Linie-Abzess
DI	Dermatitis interdigitalis	WLD	Weißer-Linie-Defekt
DK	Dänemark	z.B.	zum Beispiel
E	Spanien		
ECM	Energie korrigierte Milch (kg)		
et al.	et alii resp. aliae		
FIN	Finnland		
GB	Großbritannien		
h ²	Heritabilitätskoeffizient		
HF	Holstein-Friesian		
ICAR	International Committee for Animal Recording		
IHF	Intra Hoof-fit Gel		
k.A.	keine Angabe		
kg	Kilogramm		
LN	Laktationnummer		
LS	Locomotion Score		
mm	Millimeter		
MMP	Matrixmetalloproteinase		
n	Stichprobenumfang		
N	Norwegen		
NL	Niederlande		
NSAID	nonsteroidal anti-inflammatory drug		
OR	Odds ratio (Chancenverhältnis)		
p	Irrtumswahrscheinlichkeit		
RCT	engl.: randomized clinical trial, Randomisierte klinische Studie		
resp.	respektive		

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Milchrind ist eines der wichtigsten Nutztiere weltweit und hat mit der Produktion von Milch eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Im Jahre 2018 lebten allein in Deutschland 4,1 Mio. Milchkühe (STATISTISCHES BUNDESAMT Mai 2019). Aufgrund einer wachsenden Weltbevölkerung und eines damit einhergehenden steigenden Bedarfs an Lebensmitteln wird sich global betrachtet die Zahl der Milchkühe in den nächsten Jahren weiter erhöhen. Dieser Mehrbedarf hat zu einer Intensivierung der Tierhaltung und deren Leistung geführt. Der eingetretene Strukturwandel von kleinen Betrieben mit Weidehaltung hin zu Großbetrieben mit ganzjähriger Stallhaltung auf meist harten und feuchten Böden (FIEDLER et al. 2019) stellt hohe Anforderungen an die Kuh, die von Natur aus ein Weichbodengänger ist. Der züchterische Fortschritt, der sich in einer stetig steigenden Milchleistung der heutigen Milchkuh äußert, erfordert ein hohes Anpassungsvermögen des Tieres und ein optimales Management des Betriebes. Defizite in den Haltungsbedingungen und/oder dem Management können zu einer hohen Prävalenz lahmer Kühe führen (PRAERI 2020). Der gemittelte Anteil lahmer Tiere in Deutschland liegt in den Regionen „Nord“ und „Süd“ bei ca. 20% und in der Region „Ost“ bei ca. 40%, wobei starke betriebsabhängige Schwankungen von 0% bis 86,6% beobachtet werden (PRAERI 2020).

Das Symptom Lahmheit ist ein Ausdruck von Schmerzen (WHAY et al. 1997) und bedingt Änderungen im Bewegungsmuster und im Verhalten betroffener Tiere (ALSAAOD et al. 2019). Über 90% der Lahmheitsfälle sind auf Klauenerkrankungen zurückzuführen (MCLENNAN 1988, CLARKSON et al. 1996). Hierbei sind das Rusterholz'sche Sohlengeschwür (RSG) und die Dermatitis digitalis (DD) weit verbreitet. Werden erkrankte Tiere nicht umgehend behandelt, kann es zu finanziellen Verlusten durch Minderleistung (HUXLEY 2013), einer kürzeren durchschnittlichen Lebensdauer der Tiere (MARTENS 2016) und einem erhöhten Mehraufwand in der Folgebehandlung kommen. Zudem wird durch die Lahmheit das Wohlbefinden des erkrankten Tieres eingeschränkt. Besteht die Lahmheit über einen längeren Zeitraum ohne Intervention des Tierhalters, ist von einem Verstoß gegen §1 des deutschen Tierschutzgesetzes auszugehen, da dem Tier ohne vernünftigen Grund Schmerzen, Leiden oder Schäden zugefügt werden (TIERSCHG 2006). Daher kommt der Therapie von Klauenerkrankungen eine hohe Bedeutung zu. POTTERTON et al. (2012) stellten in einer Übersichtsarbeit zu diesem Thema fest, dass die wenigsten der gängigen Behandlungsmethoden von Klauenerkrankungen auf solider Evidenz beruhen. Deshalb fordern die Verfasser neben der Etablierung neuer Behandlungsmethoden die Verbesserung und klinische Erprobung bestehender Behandlungskonzepte. Hierbei sollte die „höchste Heilungsrate innerhalb der kürzesten Zeit“ das grundlegende Ziel der Therapie sein

EINLEITUNG

(THOMAS et al. 2015).

Da der Einfluss von Verbänden auf die Heilung von Klauenerkrankungen wenig erforscht ist, und diese Fragestellung zwischen Klauenschneidern, praktischen Tierärzten und Wissenschaftlern kontrovers diskutiert wird, wurde die vorliegende Arbeit konzipiert.

Die Zielsetzung dieser Arbeit war es, den Einfluss von Verbänden auf den Heilungsverlauf ausgewählter Klauenerkrankungen zu untersuchen. Dabei sollten folgende Forschungshypothesen geprüft werden:

1. Bei gleich gearteter lokaler Behandlung der Dermatitis digitalis (M2-Stadium) mit Chlortetrazyklinspray (Cyclo Spray®, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) oder in Form eines Gels mit Kupfer- und Zinkchelaten (Intra Hoof-Fit Gel, Intracare BV, Veghel, Die Niederlande) gestaltet sich die Wundheilung unter Verband (Klauenverband) günstiger (höhere Heilungsrate (= M0-Stadium), Verbesserung der Bewegungsnote und Verringerung der Wundfläche) als ohne Anlegen eines Verbands.
2. Bei gleich gearteter lokaler Behandlung des unkomplizierten Rusterholz'schen Sohlengeschwürs mittels funktioneller Klauenpflege und Entlastung mittels Anbringen eines Kothurns (Holzklotz; zwei Komponentenharz (Demotec 95, Demotec®, Nidderau, Deutschland)) gestaltet sich die Wundheilung unter Verband (Klauenverband) günstiger (höhere Heilungsrate (= vollständige Verhornung des Defektes), Verbesserung der Bewegungsnote und Verringerung der Wundfläche) als ohne Anlegen eines Verbands.
3. Eine maximale Behandlungsdauer von 28 Tagen ist ausreichend, um Klauenerkrankungen wie DD und das RSG zur kompletten Abheilung (DD = Übergang ins M0-Stadium, RSG = vollständige Verhornung des Defektes) zu bringen.

Die Untersuchungen wurden in einer Milchkuhhaltung in Brandenburg durchgeführt, bei der regelmäßig klauenkranke Tiere durch die MitarbeiterInnen der Klinik für Klauentiere des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin behandelt werden. In einer randomisierten kontrollierten Studie (RCT englisch: randomized clinical trial) wurden Tiere mit ausgewählten Klauenerkrankungen (DD im M2-Stadium und unkomplizierte Rusterholz'sche Sohlengeschwüre) eingeschlossen und unter Verwendung antibiotischer und nicht-antibiotischer Tierarzneimittel mit und ohne Verband behandelt. Der Heilungsverlauf der Läsionen wurde auf Grundlage verschiedener Aspekte verglichen.

2 Literatur

2.1 Lahmheit

Lahmheit ist ein Symptom, das durch eine Störung des ordnungsgemäßen Bewegungsablaufs gekennzeichnet und in aller Regel auf Schmerzen zurückzuführen ist (WHAY et al. 1997). Ursächlich liegen dem Symptom Lahmheit vor allem infektiös und nicht-infektiös bedingte Klauenerkrankungen zugrunde (MCLENNAN 1988, CLARKSON et al. 1996, HUXLEY 2013), die zu rund 90% an den Hintergliedmaßen lokalisiert sind (MURRAY et al. 1996). Neben Mastitis und Unfruchtbarkeit stellt Lahmheit die dritthäufigste Abgangsursache von Milchkühen dar (ADR, 2017).

2.1.1 Vorkommen

Lahmheit ist ein weltweites Problem in der Milchkuhhaltung. Veröffentlichungen aus Großbritannien zeigten, dass die Lahmheitsprävalenz auf Betrieben zwischen 25% und 37% beträgt (HUXLEY 2005, BARKER et al. 2010). Für Nordamerika wurde auf Grundlage von Daten aus den Staaten British Columbia und Kalifornien eine Lahmheitsprävalenz von rund 30% ermittelt (VON KEYSERLINGK et al. 2012). In China wurde ebenfalls eine mittlere Lahmheitsprävalenz von 31% festgestellt (CHAPINAL et al. 2014). Die Lahmheitsprävalenz in Milchkuhhaltungen Deutschlands beträgt je nach Region gemittelt zwischen 22% und 40%, wobei jedoch große Unterschiede beobachtet wurden (0% bis 87%, PRAERI (2020)).

In einem Übersichtsartikel stellten britische Forscher einen Anstieg des Vorkommens lahmer Kühe seit den 80er Jahren fest. Die Autoren vermuten einen Zusammenhang mit dem erstmaligen Auftreten und der Verbreitung der infektiös bedingten Klauenkrankheit Dermatitis digitalis (DD) (ARCHER et al. 2010a).

Landwirte unterschätzen die Lahmheitsprävalenz auf ihren Betrieben mindestens um den Faktor vier. In zwei separat durchgeführten Studien erkannten Landwirte 4,8% bzw. 5% lahme Tiere, während geschulte Beobachter in denselben Betrieben 25% bzw. 22% der Tiere als „lahm“ identifizierten (WHAY et al. 2002, HUXLEY 2005). Diese Tatsache ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Landwirte schwer lahme Tiere erkennen (deutliche Schonung von Gliedmaßen), jedoch ungeübt in der Erkennung von Fällen leichter Lahmheit sind (ARCHER et al. 2010a).

2.1.2 Leiden der Tiere und wirtschaftliche Bedeutung

Lahmheit stellt einen Ausdruck von Schmerzen und Leiden bei den betroffenen Tieren dar. Daher ist ein promptes Erkennen, Behandeln und Vermeiden von Lahmheit im Sinne des Tierschutzgesetzes (TIERSCHG 2006) wichtig, da es die Pflicht des Tierarztes ist die Tiere

L I T E R A T U R

vor Schmerzen, vermeidbaren Leiden und Schäden zu schützen. Gleichzeitig führt Lahmheit auch zu massiven ökonomischen Verlusten auf landwirtschaftlichen Betrieben. Abhängig von der Schwere der Erkrankung fallen Kosten für die Behandlung, den zusätzlichen Arbeitsaufwand, die verringerte Milchleistung und den Milchverlust durch Hemmstoffrückstände an. Darüber hinaus sinkt der Schlachtwert lahmer Kühe durch Verminderung der Körperkondition bzw. es kann bis zum Totalverlust kommen (GUHL 2009, HUXLEY 2013).

Die Leistungsfähigkeit lahmer Kühe beginnt in dem Moment zu sinken, in dem die Tiere den Fress- und Tränkebereich nicht mehr dem physiologischen Bedürfnis entsprechend aufsuchen. So verbringen schwer lahme Tiere (LS 5) im Durchschnitt 28 Minuten weniger Zeit beim Fressen, als lahmheitsfreie Tiere (LS 1) und auch die Anzahl der Mahlzeiten pro Tag nimmt bei schwerwiegender Lahmheit ab, wodurch sich die Trockensubstanzaufnahme von schwer lahmen Tieren signifikant reduziert (BACH et al. 2007). Folgend ist eine Milchreduktion festzustellen, die abhängig von der Schwere der Erkrankung bis zu neun Monate anhalten kann (GREEN et al. 2002). Verschiedene Forschungsgruppen haben den Milchverlust während der Laktation ermittelt. Eine Übersicht der Ergebnisse ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tabelle 1: Übersicht in der wissenschaftlichen Literatur beschriebener, auf Lahmheit beruhender Milchverluste (in kg) (Angaben für diejenige Laktation, in der die Lahmheit auftrat)

Milchverlust (in kg)	Autor
270 – 440	(COULON et al. 1996)
314 – 424	(BICALHO et al. 2008)
350	(ARCHER et al. 2010b)
357	(GREEN et al. 2002)
369	(AMORY et al. 2008)
372	(GUDAJ et al. 2012)
574	(AMORY et al. 2008)
857	(HERNANDEZ et al. 2002)

Anzumerken ist, dass Kühe mit überdurchschnittlicher Milchleistung signifikant häufiger lahm werden (BARKEMA et al. 1994, BICALHO et al. 2008). So gaben lahme Tiere vor ihrer Erkrankung, bezogen auf die 305-Tageleistung, im Durchschnitt 342 kg mehr Milch als nicht lahme Tiere (GREEN et al. 2002). Setzt man diese Mehrleistung an Milch in Relation zu den in Tabelle 1 beschriebenen Milchverlusten, so zeigt sich, dass sich die Milchleistung vormals überdurchschnittlich leistungsfähiger Tiere aufgrund der Lahmheit dem Herdendurchschnitt

L I T E R A T U R

anpasst (HUXLEY 2013).

Weitere Einnahmeverluste sind durch eine verminderte Fruchtbarkeit zu verzeichnen, die vor allem durch den negativen Einfluss der Lahmheit auf die Zyklusaktivität und ein weniger ausgeprägtes Brunstverhalten zurückzuführen ist. Lahme Kühe haben eine höhere Wahrscheinlichkeit für einen verlängerten Zyklus (GARBARINO et al. 2004), ein häufigeres Vorkommen von Ovarialzysten (MELENDEZ et al. 2003), damit verbundene häufigere hormonelle Behandlungen (SOGSTAD et al. 2006) und eine unregelmäßigere Ovulation (MORRIS et al. 2009). SANTOS et al. (2011) stellten bei lahmen Kühen eine niedrigere Konzeptionsrate und ein um 2,67-fach erhöhtes Abortrisiko im Vergleich zu nicht lahmen Kühen fest.

2.1.3 Risikofaktoren für Lahmheit

Viele Klauenerkrankungen, die zu Lahmheit bei den betroffenen Tieren führen, sind multifaktorieller Genese. Das bedeutet, dass eine Vielzahl von Risikofaktoren die Entstehung der Erkrankung begünstigt. Liegen mehrerer Risikofaktoren gleichzeitig vor, kann es zu einem Anstieg der Lahmheitsprävalenz auf Herdenebene führen. Dabei lassen sich die Risikofaktoren sechs Gruppen zuordnen, die in Tabelle 2 kurz dargestellt werden.

Tabelle 2: Übersicht der Risikofaktoren für Lahmheit

Risikofaktor	Art	Grund	Quelle
Umgebungs- faktoren u. Kuhkomfort	Laufflächen- beschaffen- heit	Harte, abrasive Oberflächen führen zu vermehrtem Hornabrieb und dünnen Sohlen	HULTGREN (2002), SHEARER et al. (2006)
	Verformbar- keit der Laufflächen	Die Verformbarkeit der Lauffläche beeinflusst die Verteilung der Kräfte innerhalb der Klaue; auf planbefestigten Böden mehr WLA als auf Gummiböden	FJELDAAS et al. (2011)
	Verschmut- zung der Laufflächen	Verschmutzte Laufflächen erhöhen das Risiko für infektiös bedingte Klauenkrankheiten	HULTGREN et al. (2009), FIEDLER et al. (2019)
	Stalleinrich- tung	mangelhaft eingestellte Stalleinrichtung (Liegeboxen usw.) verlängert die Standzeit der Kühe	BICKERT und CERMAK (1997), DIPPEL et al. (2009)
	zu hohe Besatzdichte	Ungünstiges Tier-Liegeplatz-Verhältnis verlängert die Standzeit der Kühe	KRAWCZEL et al. (2008)

L I T E R A T U R

Fütterung	Pansenazi- dose	subklinische Pansenazidose kann über eine gestörte Hornbildung zu Klauenrehe führen	KOFLER und GASTEINER (2002)
	Negative Energiebilanz	Geringe Körperkondition (BCS < 2,5) führt zu einem dünnen Fettpolster im Ballen und erhöht das Risiko für nicht-infektiös bedingte Klauenerkrankungen	RANDALL et al. (2015), GREEN et al. (2014), OEHM et al. (2019)
	Futtermittel-zusatzstoffe	Biotin verbessert die Klauenhornqualität, signifikant geringere Anzahl an Sohlenblutungen	LEAN et al. (2013), LISCHER et al. (2002), BERGSTEN et al. (2003)
postpartaler Zeitraum	Hornbildung	durch Trächtigkeit und Geburt eingeschränktes Vermögen zur Hornbildung (bis zu 20 Wochen pp.)	KEMPSON und LOGUE (1993)
	Hormone und Enzyme	Relaxin und Matrixmetalloproteinasen (MMP) führen zu einer Schwächung des bindegewebigen Stützapparates des Klauenbeinträgers	TARLTON et al. (2002), MÜLLING und LISCHER (2002), GREENOUGH (2007)
Funktionelle Klauen- pflege		mangelnde oder nicht korrekt durchgeführte funktionelle Klauenpflege fördert u.a. über Fehlbelastungen die Entstehung von Klauenkrankheiten	DEMBELE et al. (2006), SOLANO et al. (2015), TOUSSAINT RAVEN (1985)
Umgang mit Tieren	Mensch-Tier- Beziehung	ruhiger Umgang mit Tieren erforderlich, um Unruhe z.B. beim Zutrieb zum Melkstand zu vermeiden und damit das Risiko des Ausrutschens zu verhindern; Vermeidung langer Stehzeiten z.B. im Vorwarte Hof des Melkstandes oder bei Behandlungen	ENDRES (2017)
Genetik	Rasse	Rinder der Rasse Holstein Friesian haben eine 1,6-fach höhere Wahrscheinlichkeit lahm zu werden als Rinder der schottischen Rasse Ayrshire	SARJOKARI et al. (2013)
	Klauenhorn- härte	Rinder der Rasse Harzer Rotvieh haben genetisch bedingt ein härteres Klauenhorn als Schwarzbunte	DIETZ und KOCH (1972)

LITERATUR

2.1.4 Bewegungsbeurteilung

Lahmheit ist ein Symptom, das als Gangveränderung aufgrund einer schmerzbedingten, funktionellen oder strukturellen Störung des Bewegungsapparates definiert ist (KOFLER 2009). Das klinische Bild kann von einer leichten unscheinbaren Gangabweichung bis zur vollständigen Entlastung einer Gliedmaße reichen (KOFLER 2009). In der Praxis haben sich bei Milchkühen visuelle Verfahren zur Bewegungsbeurteilung etabliert (VAN NUFFEL et al. 2015). Das Benotungssystem nach SPRECHER et al. (1997) ist das am weitesten verbreitete System zur Bewegungsanalyse (SCHLAGETER-TELLO et al. 2014). Das Tier wird im Stand und im Schritt anhand einer Skala bestehend aus fünf Noten beurteilt. Dabei wird die Note 1 dem nicht lahmen Tier, die Note 2 einem Tier mit einer geringgradigen Bewegungsstörung ohne sichtbare Schonung von Gliedmaßen und die Noten 3 bis 5 an Kühe mit mittel- bis hochgradiger Lahmheit vergeben (siehe Tabelle 3). Beurteilt werden die Rückenkrümmung, die Schonung von Gliedmaßen und die Schrittlänge (SPRECHER et al. 1997).

Tabelle 3: Bewegungsnoten nach SPRECHER et al. (1997) modifiziert nach GUHL (2009)

Bewegungsnote	Klinische Beschreibung	Beurteilungskriterien
1	normal	Die Kuh steht und geht mit geradem Rücken. Der Gang ist normal.
2	leicht lahm	Die Kuh steht mit geradem Rücken, aber entwickelt während des Gehens einen gekrümmten Rücken. Der Gang bleibt normal.
3	mäßig lahm	Es ist ein gekrümmter Rücken sowohl beim Stehen als auch beim Gehen festzustellen. Der Gang ist beeinträchtigt; es werden kürzere Schritte mit einer oder mehreren Gliedmaßen ausgeführt.
4	lahm	Ein gekrümmter Rücken ist ständig festzustellen. Die Kuh fußt bedächtig jeden Schritt und bevorzugt eine oder mehrere Gliedmaßen.
5	schwer lahm	Die Kuh zeigt zusätzlich ein Unvermögen oder extremen Widerwillen, eine oder mehrere Gliedmaßen zu belasten.

Neben der oben beschriebenen Systematik nach SPRECHER et al. (1997) zur Bewegungsanalyse haben auch andere Autoren Systeme zur Bewegungsbeurteilung erarbeitet (MANSON und LEAVER 1988, WELLS et al. 1993, COOK 2003, FLOWER und WEARY 2006, THOMSEN et al. 2008). In den letzten Jahren wurden vermehrt

L I T E R A T U R

automatisierte Systeme zur quantitativen Ganganalyse entwickelt. Diese lassen sich in Untersuchungsmethoden zur Kraftmessung (kinetisch) oder Bewegungsmessung (kinematisch) unterteilen. Druckkräfte werden mit Druckplatten oder -matten gemessen und Bewegungen mit Beschleunigungssensoren (Accelerometer) oder optischen Systemen (Optical motion capture systems) (VAN DE GUCHT et al. 2018).

2.2 Ausgewählte Klauenkrankheiten

Als Klauenerkrankungen werden Erkrankungen der Klauen, des Zwischenzehenspaltes und des Kronsaums bezeichnet (GUHL 2009). Eine einheitliche Klassifizierung und Benennung von Klauenerkrankungen erfolgt national nach dem „Zentralen Tiergesundheitschlüssel Rind“ (GKUH 2018). Ähnliche Bestrebungen gab es auch auf internationaler Ebene, welche im Jahr 2015 zur ersten Veröffentlichung des ICAR Claw Health Atlas (EGGER-DANNER et al. 2014) und dessen späteren Ergänzungen führten (KOFLER et al. 2020a, KOFLER et al. 2020b). Die Verwendung einheitlicher Diagnoseschlüssel ist für eine systematische Dokumentation und Auswertung von Klauenkrankheiten notwendig.

Entsprechend ihrer Ätiologie werden die Klauenerkrankungen den infektiös bedingten und den nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankungen zugeordnet. Des Weiteren ist eine Einteilung entsprechend der Lokalisation der Läsionen in Krankheiten des Klauenhorns und Krankheiten der Klauenhaut möglich. Im Folgenden wird ein Überblick über die Verbreitung sowie eine kurze Beschreibung von drei ausgewählten Klauenerkrankungen gegeben, die für die vorliegende Arbeit von Bedeutung sind.

2.2.1 Infektiös bedingte Klauenkrankheiten

An der Entstehung von infektiös bedingten Klauenerkrankungen sind bakterielle Erreger beteiligt. Sie treten vornehmlich an der Haut des Zwischenzehen- und Ballenbereiches sowie am Kronsaum auf. Die DD kann sich aber auch auf bestehende nicht-infektiös bedingte Klauenkrankheiten „aufpflanzen“ (KOFLER et al. 2020b). Mit Prävalenzen von 5,3% (BIELFELDT et al. 2005) bis 36% (KOSSAIBATI und ESSLEMONT 2000) sind infektiös bedingte Klauenerkrankungen weltweit in Milch- und Mastviehanlagen anzutreffen (THE BEEF SITE 17.09.2011, DÖPFER und MORLÁN 2008, DÖPFER et al. 2012b) und werden dabei stark durch prädisponierende Faktoren wie z.B. feuchte Laufflächen, anaerobe Bedingungen im Zwischenzehenbereich, Herdengröße und Überbelegung, sowie mangelnden Kuhkomfort begünstigt (BOONE et al. 2009, VON KEYSERLINGK et al. 2012, CHARLTON et al. 2014). Zu den infektiös bedingten Klauenerkrankungen zählen die DD (Mortellaro'sche Krankheit), die Dermatitis interdigitalis (Klauenfäule), die Erosio unguulae (Ballenhornfäule) und die Phlegmona interdigitalis (Zwischenzehenphlegmone oder Panaritium).

2.2.1.1 Dermatitis digitalis

Die DD ist eine multifaktorielle, infektiös bedingte Erkrankung der Zehenhaut, die nach ihrer Erstbeschreibung im Jahre 1974 durch Cheli und Mortellaro auch „Mortellaro'sche Krankheit“ genannt wird (CHELI und MORTELLARO 1974). Aufgrund des Erscheinungsbildes der DD-Läsionen, die durch eine rote Oberfläche mit daraus hervortretenden borstenartigen Haaren gekennzeichnet ist, wird die Erkrankung auch als „Erdbeerkrankheit“ bezeichnet.

Die umschriebenen, ulzerativen resp. proliferativen Läsionen treten unmittelbar proximal sowie dorsal des Kronsaums an der Ballenhaut und an der Haut des Zwischenzehenspaltes auf (DÖPFER 1994, EGGER-DANNER et al. 2014). Gelegentlich ist DD auch um die Afterklauen und abaxial am Kronsaum lokalisiert (MORTELLARO 1994). Die Erkrankung ist weltweit verbreitet und vor allem ihr akutes Stadium bedingt Lahmheit bei den betroffenen Tieren (BLOWEY und SHARP 1988, WELLS et al. 1999). Die durchschnittliche Prävalenz von DD beträgt in Europa zwischen 17% (SCHÖPKE et al. 2013) und 30,7% (SOMERS et al. 2003) und kann aufgrund von betriebsspezifischen Umweltfaktoren auf Herdenniveau zwischen 0% und 83% differieren (HOLZHAUER et al. 2006).

Ätiologie und Beschreibung der Treponemen

Die Ätiologie der DD ist noch nicht vollständig geklärt (WILSON-WELDER et al. 2015). Zahlreiche Studien haben eine Vielzahl von Bakterien in DD-Läsionen identifiziert (KRULL et al. 2014). Während sich die nachgewiesenen Bakterienspezies in den verschiedenen Studien zum Teil unterscheiden, wurden in vielzähligen Studien schraubenförmige Bakterien (Spirochäten) der Gattung *Treponema* spp. nachgewiesen. Im Jahr 2011 gelang erstmals im Rahmen von Infektionsversuchen mit Treponemen in Reinkultur eine Re-Isolierung der Bakterien aus künstlich erzeugten DD-Läsionen, wodurch ein Teil der Henle-Koch-Postulate bestätigt wurde (GOMEZ et al. 2012). Vorangegangene Studien zeigten, dass eine künstliche DD-Infektion an vorgeschädigter Haut (Skarifizierung) möglich war (READ und WALKER 1996). Viele Forscher vermuten daher, dass die Vorschädigung der Haut durch z.B. feuchte Haltungsbedingungen oder andere Bakterien wie *Porphyromonas levii*, *Campylobacter fecalis*, *Fusobacterium necrophorum*, *Bacteroides* spp., *Mycoplasma* spp. und *Gugenheimella bovis* notwendig für das Eindringen der Treponemen ist. Die genannten Erreger werden oft als Begleitkeime der DD identifiziert (DÖPFER et al. 1997, CRUZ et al. 2005, SCHLAFER et al. 2008, BERRY et al. 2010, YANO et al. 2010).

Treponemen, welche die Haupterreger der DD darstellen, sind gramnegativ und leben anaerob oder mikroaerophil. Die spiralförmigen, korkenzieherähnlichen Bakterien besitzen 1 bis 8 Flagellen, mit deren Hilfe sie sich aktiv fortbewegen (EDWARDS et al. 2003). Sie dringen bis in tiefe Schichten der Haut vor und können dort durch verschiedene

L I T E R A T U R

Untersuchungsmethoden nachgewiesen werden (DÖPFER et al. 1997, CAPION et al. 2018). Die 6 bis 15 µm langen Erreger (RADOLF 1996) weisen nur wenige oberflächliche Strukturproteine in der äußeren Membranstruktur auf. Dadurch gelingt es der Mehrzahl der Erreger, sich der Immunantwort des Wirtes zu entziehen. Die Anzahl der Lipoproteine ist dennoch ausreichend, um einen entzündlichen Prozess hervorzurufen (RADOLF 1996). Mit der DD werden drei phylogenetische Gruppen der Treponemen in Verbindung gebracht: *Treponema denticola*, *Treponema phagedenis* und *Treponema medium* (ANKLAM et al. 2017). Treponemen neigen unter Einfluss von Chemikalien, einer Verschiebung des pH-Wertes oder auch bei Einsatz von Antibiotika dazu, aus ihrer aktiven Spiralforn in eine Dauerform (Enzystierung) überzugehen (DÖPFER et al. 2012a). Im Mikroskop zeigen sich dann perlschnurartige Gebilde. Unbekannt ist bisher, wie die Treponemen in diesem Stadium auf Medikamente reagieren. Unter Laborbedingungen kommen die Treponemen innerhalb von 14 Tagen wieder aus dem Enzystierungsstadium heraus und vermehren sich stark, wobei sie kleine Nester bilden.

Neben den bakteriellen Erregern sehen GOMEZ et al. (2012) in ungünstigen Umgebungsbedingungen und in der Genetik die hauptsächlichen Risikofaktoren für die Entstehung der DD. Unter den DD-begünstigenden Umgebungs- und Managementbedingungen werden mangelhafte Klauenpflege mit fehlender Hohlkehlung, eine niedrige Trachtenhöhe, geringe Rutschfestigkeit der Laufflächen, scharfe Kanten (physische Verletzungen), verschmutzte und feuchte Laufflächen, die Verwendung einer Schieberentmischung, die Beschaffenheit und Akzeptanz der Liegeflächen als wichtigste Risikofaktoren für DD genannt (HOLZHAUER et al. 2006, BARKER et al. 2009, PALMER und O'CONNELL 2015).

Der genetische Einfluss gegenüber der Empfänglichkeit für DD wird in jüngeren Studien beschrieben. Hierbei konnten drei Typen von Kühen mit unterschiedlicher genetischer Anfälligkeit für DD identifiziert werden (GOMEZ et al. 2015):

- Typ-1-Kühe leiden niemals an einer M2-Läsion
- Typ-2-Kühe leiden einmalig an einer M2-Läsion, danach nie wieder
- Typ-3-Kühe leiden wiederholt an M2-Läsionen (Rezidive)

Etwa 10% bis 30% der Kühe einer Herde zählen zu den Typ-1-Kühen. Selbst während starker DD-Ausbrüche in der Herde bleiben sie frei von DD. Typ-2-Kühe erkranken einmalig an DD und bleiben dann über lange Zeiträume frei von DD. Sie erscheinen äußerlich frei von DD, beherbergen nach der ersten DD-Infektion aber weiterhin Treponemen in tieferen Hautschichten. 30% bis 60% der Kühe zählen zu den Typ-2-Tieren. Typ-3-Kühe leiden rezidivierend an M2-Läsionen (meist innerhalb von 10 bis 14 Tagen) und sind als

LITERATUR

„Risikotiere“ zu betrachten. Der Anteil der verschiedenen Kuhtypen innerhalb einer Herde entscheidet über die Dynamik der DD in dieser Gruppe und erlaubt eine Vorhersage von DD-Ausbrüchen. Zur Vorhersage eines Ausbruchs auf Grundlage der DD-Symptome bei Einzeltieren wurde eine App entwickelt, die „Pen Walk App“ (DÖPFER et al. 2012b, NIELSEN et al. 2012, TREMBLAY et al. 2016).



Abbildung 1: Übersicht der M-Stadien der DD

Klinisch lässt sich das Erscheinungsbild der DD verschiedenen Stadien zuordnen, welche in Abbildung 1 dargestellt sind. Die sogenannten „M-Stadien“ sind international anerkannt, wobei „M“ für Mortellaro steht. Die insgesamt sechs M-Stadien (M0, M1, M2, M3, M4 und M4.1) bilden hierbei den zyklischen Verlauf der Krankheit ab (DÖPFER 1994, BERRY et al. 2012). M1-Läsionen sind Frühstadien der DD, bei denen die Hautläsionen einen Durchmesser von bis zu 2 cm aufweisen. M1-Läsionen können in einem Rhythmus von

LITERATUR

sieben bis zehn Tagen kommen und gehen, ohne dass es einer Behandlung bedarf. M1-Läsionen gelten als Vorläuferstadium und können zu M2-Läsionen anwachsen, die einem Durchmesser von mehr als 2 cm aufweisen. Diese akuten, ulzerativen und häufig schmerzhaften Läsionen besitzen auf der Wundfläche oder in deren Peripherie oft lang abstehende Haare. Wird eine M2-Läsion lokal behandelt, so bildet sich innerhalb von ein bis zwei Tagen eine dunkle Kruste. Dieses Stadium wird als M3-Läsion bezeichnet. Nach sieben bis zehn Tagen löst sich die feste Kruste ab und darunter kommt meist eine chronisch veränderte Hautoberfläche zum Vorschein, die M4-Läsion. Die Läsionen können entweder ein hyperkeratotisches oder ein proliferatives Erscheinungsbild annehmen. M4-Läsionen sind durch enzystierte Treponemen in tieferen Hautschichten gekennzeichnet, die durch die üblich zur Behandlung der DD verwendeten Tierarzneimittel nicht beseitigt werden (BERRY et al. 2012, DÖPFER et al. 2012b, CUTLER et al. 2013, HARTSHORN et al. 2013). Ein Rezidiv der DD entwickelt sich, wenn auf einer chronischen M4-Läsion eine erosiv umschriebene M1-Läsion entsteht. Dieses Stadium wird als M4.1 bezeichnet; aus diesem kann wiederum eine M2-Läsion entstehen (BERRY et al. 2012). Die DD ist daher als zyklische Erkrankung zu sehen. In Abbildung 2 ist dieser Zyklus mit möglichen Übergängen dargestellt.

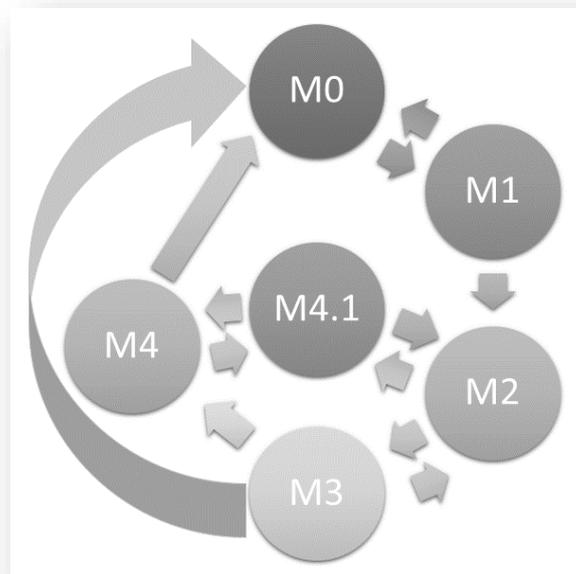


Abbildung 2: Zyklus der M-Stadien der DD mit potenziellen Übergängen (modifizierte Graphik nach DÖPFER 2014)

Therapie

Die Behandlung der DD erfolgt auf Einzeltier- oder Herdenebene (LAVEN und LOGUE 2006, RELUN et al. 2012). Bei der Einzeltierbehandlung kommen lokale und parenterale Tierarzneimittel zur Anwendung, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Einzeltierbehandlung: lokale Therapie

Im Rahmen der lokalen Behandlung von Einzeltieren ist die im Klauenstand angehobene Gliedmaße – einschließlich der Läsionen – gründlich mit Wasser zu reinigen und anschließend zu trocknen (NUSS und STEINER 2019). Es folgt eine lokale Behandlung der betroffenen Areale mit einem für die Tierart und die Indikation zugelassenen Tierarzneimittel.

Tetrazykline

Bei der Einzeltierbehandlung wurde die Wirksamkeit der lokalen Applikation von tetrazyklinhaltigen Sprays (Wirkstoffe: Oxytetrazyklin (OTC) und Chlortetrazyklin (CTC)) auf DD-Läsionen in zahlreichen Studien erforscht und bildet derzeit den „Goldstandard“ der DD-Therapie (BLOWEY und SHARP 1988, EL-GHOUL und SHAHEED 2001).

Um die Wirkstoffmenge zu erhöhen, empfiehlt METZNER (2001), das Spray in zwei Lagen mit 30 Sekunden Abstand aufzusprühen.

Dabei zählen Tetrazykline zu den antibiotisch wirksamen Arzneistoffen, welche von Bakterien der Gattung Streptomyces gebildet werden (HLEBA et al. 2018). Sie wirken bakteriostatisch durch Hemmung der bakteriellen Proteinbiosynthese an den Ribosomen und verhindern somit das Wachstum der Bakterien. Dabei weisen Tetrazykline eine höhere Affinität für bakterielle Ribosomen als für eukaryotische Ribosomen auf, welches die geringe Toxizität für Mensch und Tier erklärt (BUDKEVICH et al. 2008).

Als Breitspektrumantibiotikum sind Tetrazykline sowohl gegen grampositive (z.B. Staphylokokken und Streptokokken) als auch gramnegative Bakterien (z.B. Brucellen und Campylobacter) wirksam. Besonders hervorzuheben ist ihre Wirksamkeit bei der Bekämpfung zellwandloser Keime wie Mykoplasmen, Rickettsien und Chlamydien, wie auch gegenüber Spirochäten (z.B. Treponemen und Borrelien) (NELSON et al. 1993, HLEBA et al. 2018).

Klinische Studien zeigten eine hohe Effektivität von OTC und CTC zur Behandlung der DD beim Rind. Eine Heilungsrate der DD-Läsionen von 87% wurde durch das zweimalige Anbringen eines mit OTC-Lösung (100 mg/ml) getränkten Tupfers unter Verband erreicht, wohingegen eine alleinige Therapie mit Klauenschneiden nur zu einer Heilungsrate von 34% führte (MANSKE et al. 2002c). SHEARER und ELLIOTT (1994) gelang bei nahezu allen Tieren eine Verbesserung der DD-Läsionen während einer fünftägigen Behandlung im Melkstand, bei der die Läsionen täglich mit einer OTC-haltigen Lösung (25 mg/ml) besprüht wurden.

Vereinzelt werden geringe klinische Heilungsraten unter der Anwendung von OTC berichtet und Resistenzen vermutet. So berichten NISHIKAWA und TAGUCHI (2008) nach einmaliger OTC-Behandlung unter Verband, dass sie 29 Tage nach Behandlungsbeginn bei nur 13,8%

L I T E R A T U R

(8 von 58 Läsionen) der primiparen Kühe und bei 38,5% (12 von 31 Läsionen) der multiparen Kühe eine Heilung der DD-Läsionen feststellten. Zudem fanden die Forscher, dass primipare Tiere signifikant größere DD-Läsionen hatten als multipare Tiere. Die Autoren weisen auf einen vierjährigen Gebrauch von OTC auf ihrem Studienbetrieb hin und vermuten eine Resistenz gegenüber dem Wirkstoff OTC.

Thiamphenicol

Die lokale Anwendung von Thiamphenicol-haltigem Spray zeigte einen vergleichbaren Heilungserfolg von DD M2-Läsionen (89%), wie die Behandlung mit OTC-haltigem Spray (75%) (HOLZHAUER et al. 2017).

Salicylsäure

Neuere Studien zeigen, dass die Anwendung von salicylsäurehaltigen Pasten zu einer Verbesserung der DD führt (SCHULTZ und CAPION 2013, KOFLER et al. 2015, CAPION et al. 2018).

Salicylsäure besitzt bei Konzentrationen über 2% eine keratolytische Wirkung auf die lokal behandelten Hautareale (MULLER et al. 1998). Diese Wirkung ist auf die Spaltung von Disulfid- und Wasserstoffbrücken des Keratins zurückzuführen, wobei die Proliferation der Keratinozyten unberührt bleibt. Zudem wirkt Salicylsäure antiseptisch, antiinflammatorisch und juckreizlindernd. Die in Deutschland apothekenpflichtige Paste führte, während einer drei- bis fünftägigen Behandlung von M2- und M4-Läsionen unter Verband, zur Abheilung einer Mehrzahl der DD-Läsionen (FIEDLER et al. 2015, KOFLER et al. 2015). In einer österreichischen Studie waren 21 Tage nach Behandlungsbeginn 64% der M2-Läsionen unter einem Verband mit einer salicylsäurehaltigen Paste geheilt (M0-Läsion), wohingegen es in der Gruppe mit CTC-Spray 28% und in der Gruppe mit einer alleinigen Wasserreinigung (Hydro-Gruppe) nur 16% waren (KOFLER et al. 2015). Darüber hinaus wies eine dänische Studie nach, dass Salicylsäure in Salben- und Pulverform stärker schmerzlindernd bei DD-Läsionen wirkt als CTC-Spray (SCHULTZ und CAPION 2013).

Neben der visuellen Beurteilung des Heilungsprozesses entnahmen CAPION et al. (2018) Biopsieproben aus den DD-Läsionen. Die Autoren stellten eine reduzierende bis eliminierende Wirkung der Salicylsäure auf die Treponemen fest.

KOFLER et al. (2015) sehen in der Anwendung salicylsäurehaltiger Pasten die Möglichkeit zur Antibiotikaeinsparung in der DD-Therapie.

Polyurethan-Wundauflagen

Eine Polyurethan-Wundauflage unter Verband für 10 Tage zeigte bei DD-Läsionen eine signifikante Verbesserung in Bezug zur Größe der DD-Läsionen (FIEDLER et al. 2015). Da

L I T E R A T U R

Polyurethan-Wundaufgaben keinen Wirkstoff besitzen, vermuten die Autoren, dass es durch die Schaffung von optimalen Wundheilungsbedingungen zur Verbesserung der DD-Läsionen kommt.

WEBER et al. (2019) wendeten Polyurethanpflaster für einen Zeitraum von bis zu 56 Tagen unter Verband an, wobei der Verband jeweils nach 14 Tagen erneuert wurde. Die Heilungsrate lag am Tag 56 bei 87%.

Nicht-antibiotische Gele

Zur Behandlung der DD werden topisch auch nicht-antibiotische Gele und Desinfektionsmittellösungen angewendet. Sie besitzen aufgrund der Verwendung von Kupfer-, Zink- oder Aluminiumsalzen einen niedrigen pH-Wert oder haben organische Säuren und ätherische Öle als Wirkstoffe (KOFLER und FIEDLER 2019).

Das Intra Hoof-fit Gel (IHF) (Intra Hoof-fit Gel, Intracare BV, Veghel, Die Niederlande) enthält mikronisierte Kupfer- und Zinkchelate als aktive Substanzen. Die Chelate haben eine Größe von bis zu 3 µm. Die antimikrobielle Wirkung von Zink- und Kupferionen wurde in zahlreichen Studien nachgewiesen (BOYD et al. 2006, WANG et al. 2012, HARTSHORN et al. 2013). Dabei zeigten elektronenmikroskopische Aufnahmen eine Verklumpung der bakteriellen Ribosomen, wenn Treponemen im In-vitro-Versuch eine Lösung mit Zinkionen hinzugefügt wurde (DUPONT et al. 1994). Eine hohe Konzentration an Zinkionen führt außerdem zu fehlerhaft gebildeten metallbindenden Proteinen (MCDEVITT et al. 2011, NAIRN et al. 2016), was zur Denaturierung des Proteins, zu Enzyminaktivierung und sogar zum Zelltod des Bakteriums führen kann (BLENCOWE und MORBY 2003). Sowohl Zink- als auch Kupferionen können die Zellmembran der Bakterien schädigen, woraufhin Zytoplasma ausläuft und das Bakterium abgetötet wird (BLECHER et al. 2011, SANTO et al. 2011).

IHF-Gel besitzt in den Niederlanden eine Tierarzneimittelzulassung ohne Wartezeit auf Milch und Fleisch. In Deutschland ist es als Biozid zugelassen. HOLZHAUER et al. (2011) zeigten, dass IHF-Gel verglichen mit CTC-Blauspray zu einer signifikant höheren Heilungsrate von M2-Läsionen führte. 28 Tage nach Behandlungsbeginn betrug die Heilungsrate von mit CTC behandelten Läsionen 58% und in der IHF Gruppe 92%, wobei Heilung sowohl M0-, als auch M4-Läsionen beinhaltete.

Einzeltierbehandlung: parenterale Therapie

RIEGLER (2014) zeigte in einer deutschen Vergleichsstudie, dass die parenterale Injektion eines Ceftiofur Depotpräparates zu keiner höheren DD-Heilungsrate führte, als die lokale Applikation eines CTC-haltigen Sprays (Heilungsrate Tag 60: 24,6% vs. 28,1%). Der Autor schlussfolgert, dass im Hinblick auf ökonomische Verluste (Wartezeiten auf Milch und Fleisch) und den Antibiotika-Leitlinien der lokalen Therapie der Vorzug zu geben ist.

L I T E R A T U R

Ebenfalls erwies sich die Anwendung von Procain-Penicillin G als erfolgreich. Bei einer Vergleichsanwendung mit zweimaliger bzw. einmaliger täglicher intramuskulärer Applikation von Procain-Penicillin G bzw. Ceftiofur an drei aufeinanderfolgenden Tagen klangen akute DD-Läsionen ab. Hierbei führte Penicillin zu einer Verbesserung aller Läsionen, wohingegen es bei Ceftiofur 13 von 15 Tieren waren. Als Verbesserung wurden sowohl geheilte M0-Stadien als auch chronische M4-Stadien gewertet (READ et al. 1992, READ und WALKER 1998).

Eine viermalige, intramuskuläre Injektion von Oxytetracyclin führte zu einer Heilungsrate von 56,7%. Bessere Ergebnisse wurden, mit 73,3%, nach Anwendung eines Klauenbades mit Natriumhypochlorid erzielt. Am effektivsten erwies sich die Kombination beider Therapien, mit einer Heilungsrate von 86,7% (SILVA et al. 2005).

Gruppenbehandlung

Neben den genannten Einzeltierbehandlungen stellen Klauenbäder eine Behandlungsmöglichkeit für ganze Tiergruppen dar.

Die Anwendung eines erythromycinhaltigen Klauenbades sowie die parenterale Applikation von Cefquinom und Erythromycin erzielten nachweislich eine Verbesserung der DD-Läsionen in den Parametern Ausdehnung, Erosionstiefe und Läsionsfarbe (LAVEN 2006).

Ein Klauenbad mit einer 1 %igen Natriumhypochlorid-Lösung führte zu einer Heilung von 73,3% der Läsionen und war effektiver im Vergleich zu einer viermaligen, intramuskulären Injektion mit Oxytetracyclin und deren Heilungsrate von 56,7%. Die Kombination beider Therapien erzielte die höchste Heilung mit 86,7% (SILVA et al. 2005).

Derzeit gibt es in Deutschland kein Tierarzneimittel, das zur Anwendung in einem Klauenbad in der Indikation DD zugelassen ist.

2.2.1.2 Dermatitis interdigitalis

Die Dermatitis interdigitalis (ID), auch als Klauenfäule bezeichnet, ist eine kontagiöse Klauenerkrankung, bei der eine oberflächliche Entzündung der Haut im Interdigitalspalt auftritt. Der ICAR Claw Health Atlas definiert sie als „Alle Arten milder Hautentzündungen im Bereich der Klauen, die nicht der Dermatitis digitalis (Mortellaro'sche Krankheit) zuzuordnen sind“ (EGGER-DANNER et al. 2014).

Schreitet die Entzündung weiter fort kommt es zur Spaltenbildung im Ballenhorn (DÖPFER und WILLEMANN 1998).

Es sind die gleichen ungünstigen Umweltbedingungen, die sowohl die Entstehung der ID als auch die der DD begünstigen. Bei beiden Klauenkrankheiten wurden Bakterien der Familie

der Spirochäten nachgewiesen (WALKER et al. 1995). HOLZHAUER et al. (2006) sehen die ID als prädisponierend für die Entstehung der DD an.

2.2.2 Nicht-infektiös bedingte Klauenkrankheiten

Nicht-infektiös bedingte Klauenerkrankungen betreffen das Klauenhorn und haben ihren Ausgangspunkt in systemischen (oft in Folge einer Klauenrehe), mechanischen oder chemischen Belastungen. Infolgedessen entstehen Läsionen im Horn, welche das Eindringen von Umweltkeimen ermöglichen und die Sekundärinfektion der darunterliegenden Lederhaut begünstigen. Abhängig von der Lokalisation am Hornschuh können die Läsionen weiter in Defekte des Sohlen-, Wand- oder Ballenhorns unterschieden werden. Zu den primär nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankungen zählen die Klauenrehe (*Pododermatitis aseptica diffusa*), die Doppelte Sohle (*Solea duplicate*), der Weiße-Linie-Defekt, der Hornkluft/-spalt (*Fissura ungulae*), das Sohlengeschwür (*Pododermatitis solearis circumscripta*), die Steingalle (*Pododermatitis solearis aseptica circumscripta*), das Rusterholz'sche Sohlengeschwür (*Pododermatitis solearis septica circumscripta* in typischer Lokalisation), das Sohlenspitzeneschwür (*Pododermatitis apicalis circumscripta*) und das Klauensohlengeschwür in atypischer Lokalisation (*Pododermatitis solearis circumscripta septica* in atypischer Lokalisation). In Tabelle 4 sind die Prävalenzen von ausgewählten nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankungen dargestellt.

L I T E R A T U R

Tabelle 4: Prävalenz von ausgewählten nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankungen (in %)

SG = Sohlengeschwür, WLD = Weiße-Linie-Defekt, RE = Rehe (modifiziert nach HANEMANN (2014))

Autor	Datenerhebung (Zeitraum)	Land	SG	WLD	RE
MURRAY et al. (1996)	1989 – 1991	GB	28,0	22	2,0
SMITS et al. (1992)	1990	NL	5,5	4,5	4,5
SOHRT (1999)	-	D	18,7	-	34,4
MANSKE et al. (2002a)	1996 -1998	S	8,6	8,8	30,0
SOMERS et al. (2003)	1999 – 2000	NL	-	-	47,7
AMORY et al. (2004)	k.A.	GB	5,5	4,9	-
BLOWEY et al. (2004)	k.A.	k.A.	13,8	12,7	-
BIELFELDT et al. (2005)	2001 – 2002	k.A.	15,7	6,1	-
KUJALA et al. (2004)	k.A.	FIN	3,8	8,6	25,9
SANDERS et al. (2009)	2004 – 2007	USA	16,0	10,0	-
SOGSTAD et al. (2005)	2002	N	3,2	9,7	20,4
CRAMER et al. (2008)	2004 – 2005	CDN	9,2	5,2	11,0
VAN DER LINDE et al. (2010)	2006 – 2009	NL	7,0	11,0	38,0
WEBER et al. (2013)	2010 – 2012	D	24,0	8,0	-
KOFLER et al. (2013)	k.A.	k.A.	6,4	37,2	37,8
SCHÖPKE et al. (2013)	k.A.	D	7,1	12,6	57,3
BECKER et al. (2014)	2010 – 2011	CH	0,4	80,7	36,6
SOLANO et al. (2016)	2009 – 2012	CDN	5,5	4,3	2,5

CDN=Kanada; CH=Schweiz; D=Deutschland; DK=Dänemark; E=Spanien; FIN=Finnland;
GB=Großbritannien; k.A.=keine Angabe; N=Norwegen; NL=Niederlande; S=Schweden

2.2.2.1 Rusterholz'sches Sohlengeschwür

Im Jahre 1920 beschrieb Rusterholz erstmals das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür, welches sich als rundlicher Defekt im Horn mit freiliegender, granulierender und entzündeter Lederhaut darstellt (RUSTERHOLZ 1920, EGGER-DANNER et al. 2014). Es tritt am sogenannten „Druckpunkt“ auf, der sich nahe dem Zwischenzehenspalt am Übergang von mittlerem zum hinteren Drittel der Sohlenfläche befindet (RUSTERHOLZ 1920) und in der Region des Hartballens der Klaue liegt (Zone 4, SANDERS et al. (2009)). Das Rusterholz'sche Sohlengeschwür (RSG), welches auch als Pododermatitis solearis circumscripta traumatica bzw. im Angelsächsischen als „sole ulcer

L I T E R A T U R

on the typical site“ bezeichnet wird, ist am häufigsten an den Außenklauen der Hintergliedmaßen und nur vereinzelt an den Innenklauen der Vordergliedmaßen anzutreffen (DIRKSEN 2002). Rusterholz'sche Sohlengeschwüre treten vermehrt bei Kühen mit höherer Laktationszahl (siehe Tabelle 5) und in Stallhaltung auf (GREENOUGH und WEAVER 1997). Mit durchschnittlich 178 bis 216 \$ pro Fall ist das RSG die verlustreichste Klauenerkrankung bei Milchkühen (CHA et al. 2010, DOLECHECK et al. 2019). Auf Milchviehbetrieben ist das RSG mit einer Prävalenz von 5,6% bis 9,2% (MANSKE et al. 2002b, CRAMER et al. 2008, HOLZHAUER et al. 2008) vertreten und ist damit die häufigste nicht-infektiös bedingte Klauenerkrankung.

Tabelle 5: Prävalenz von Sohlengeschwüren bei Milchkühen nach Laktationsnummer (in %) (modifiziert nach HANEMANN (2014))

Autor	Datenerhebung (Zeitraum)	Land	Rasse	LN	LN	LN	LN	LN
				1	2	3	4	5
ENEVOLDSEN et al. (1991)	1978-1982	DK	Dänisch Schwarzbunt	20, 0	23,5			
MANSKE et al. (2002b)	1996-1998	S	Schwedisch Rotbunt, HF	2,6	2,1	1,5	1,1	1,6
ETTEMA et al. (2007)	2002 – 2003	DK	HF	4,7	6,9			
HOLZHAUER et al. (2008)	2002 – 2003	NL	HF	3,4	3,7	4,8	7,9	12, 8
BARKER et al. (2009)	2003 – 2004	GB	HF	31, 0	40, 0	30, 0	51, 0	63, 0
SANDERS et al. (2009)	2004 – 2007	USA	k. A.	16, 0	13, 0	36,0		
OBERBAUER et al. (2013)	2006 – 2009	USA	k. A.	0,2	0,6	0,9	3,3	
BICALHO et al. (2009)	2008	USA	HF	4,2	27,8			
CHARFEDDINE und PÉREZ- CABAL (2017)	2012 – 2014	E	HF	9,5	21,4			

DK=Dänemark; E=Spanien; GB=Großbritannien; HF=Holstein Friesian; k.A.=keine Angabe;
LN=Laktationsnummer; NL=Niederlande; S=Schweden

L I T E R A T U R

Ätiologie und Pathogenese

Pathogenetisch betrachtet entsteht das RSG in Folge einer Lederhautquetschung im Bereich des sogenannten Druckpunktes vor allem wenn Fehl- bzw. Überbelastung vorliegt (z.B. durch Verlagerung des Schwerpunktes bei zu langen Klauen, wenn die Klauenpflege vernachlässigt wird). Im Inneren der Klaue befindet sich hier die Ansatzstelle der tiefen Beugesehne am Klauenbein. Durch vermehrten Druck im benannten Bereich kommt es zu einer Diffusionsstörung mit lokaler Minderversorgung und Nekrose der hornbildenden Zellen der Lederhaut, woraufhin minderwertiges Horn produziert wird (LISCHER 2000c). Der Druck auf die Lederhaut verändert auch die Druckverhältnisse innerhalb der versorgenden Blutgefäße. Es kommt lokal zur Einblutung in die Sohlenlederhaut. Die zur Phagozytose befähigten Keratozyten nehmen die Erythrozyten auf, die später als gelblich-rötliche Einschlüsse nach 6 bis 8 Wochen bei der Klauenpflege im Sohlenhorn sichtbar sind und als „Steingalle“ bezeichnet wird. Der Erkrankungsprozess ist primär aseptisch. Schließlich wird die Hornbildung derart gestört, dass die Lederhaut freiliegt und mit jedem Schritt durch den Defekt im Horn gedrückt wird (Lederhautvorfall). Dieses Erkrankungsstadium wird als unkompliziertes RSG bezeichnet. Die freiliegende Lederhaut kann sich mit ubiquitär vorkommenden Keimen infizieren, die tiefergehende Strukturen wie z.B. Beugesehne, Sesambein, Klauengelenk oder Klauenbein befallen können, was als kompliziertes RSG bezeichnet wird (SMEDEGAARD 1985, TOUSSAINT RAVEN 1998a, LISCHER 2000b).

Risikofaktoren

Risikofaktoren, die zur Entstehung des RSG's führen, werden in systemische und mechanische Faktoren gegliedert.

Zu den systemischen Faktoren zählt die Klauenrehe, die zu einer Senkung des Klauenbeines mit anschließender Lederhautquetschung führen kann (OSSENT und LISCHER 1994). Des Weiteren werden etwa 60 Tage nach der Kalbung vermehrt RSG's beobachtet (TARLTON et al. 2002, NEWSOME et al. 2017). Im peripartalen Zeitraum kommt es durch Hormon- (Relaxin) und Enzymeinwirkung (Matrixmetalloproteinasen) zu einer Erweichung des Halteapparates der Klauen und somit zu einem Absinken des Klauenbeines (TARLTON et al. 2002). In dieser Phase kommt es auch zu Veränderungen in der Energieversorgung der Kühe mit Auswirkungen auf das Ballenpolster. In den Erläuterungen zu 4. wird hierauf detailliert eingegangen.

Die mechanischen Faktoren sind in vier Gruppen einteilbar (NUSS 2019):

1. Erweichung des Klauenhorns in Verbindung mit hartem Untergrund
2. Verschieben des Körper- und Gliedmaßenschwerpunktes

L I T E R A T U R

3. Vermehrte Belastung des Ballens und Schädigung des Ballenpolsters
4. Vermehrte Belastung der Außenklaue

Zu 1.) Die Erweichung des Klauenhorns erfolgt durch unhygienische feuchte Haltungsbedingungen. Diese treten in Anbindehaltung vornehmlich an den Hintergliedmaßen, in Laufstallhaltung ebenfalls an den Vordergliedmaßen auf. Durch die umgebende Feuchtigkeit wird vermehrt Wasser ins Klauenhorn aufgenommen (THYSEN 1987), wodurch die Anzahl Hornröhrchen pro Fläche abnimmt, und das Horn weicher wird und an Widerstandsfähigkeit verliert (DIETZ und KOCH 1972, GUHL 2009). Untersuchungen ergaben einen Wassergehalt im Klauenhorn von rund 22% in Anbindehaltung (THYSEN 1987) und 30% bis 33% in Laufstallhaltung (THYSEN 1987, VAN AMSTEL et al. 2004).

Zu 2.) Der Körperschwerpunkt verlagert sich bei abfallenden Standflächen auf die Hintergliedmaßen, wie sie bei podestartigen Erhöhungen für die Vordergliedmaßen am Futtertisch bzw. bei Kühen mit „Perching“ (Kühe stehen mit den Vorderbeinen in der Hochbox und mit den Hinterbeinen im Laufgang) vorkommen (PHILIPOT et al. 1994). Gleiches passiert bei Kühen mit hoher Milchmenge oder einem sehr großen Euter (CHAPINAL et al. 2009). Beides führt zu einer zunehmenden Belastung der Hintergliedmaßen, welche das Risiko für die Entstehung von RSG's erhöht.

Zu 3.) Durch mangelnde Klauenpflege kommt es zu einem vermehrten Längenwachstum des Klauenhorns. Diese als „Stallklauen“ bezeichnete Klauenform beinhaltet einen abgeflachten Klauenwinkel, wodurch betroffene Kühe vermehrt ballenlastig auftreten und gleichzeitig die tiefe Beugesehne stärker belastet wird (LISCHER und OSSENT 2001). Dies kann zu einer Insertionsdesmopathie an der Oberfläche des Tuberculum flexorium führen, wodurch ungleichmäßige, höckerig hervortretende Exostosen am Knochen entstehen, die zusätzlich die Gefahr einer Lederhautquetschung erhöhen (DIETZ 1970, KÜMPER 2000). Befindet sich die Kuh auf einem harten Untergrund und fehlt eine fachgerechte Hohlkehlung, wird der Fußungsdruck direkt auf die Lederhaut übertragen (TOUSSAINT RAVEN 1998a) und der Rusterholz'sche Druckpunkt vermehrt beansprucht.

SMEDEGAARD (1985) wies in einem Versuch nach, dass eine übermäßige Belastung der Sohlen-Ballenregion ein wichtiger Faktor für die Entstehung von Sohlengeschwüren ist. Er nagelte Kühen ein keilförmiges Hufeisen auf und zwang die Tiere so, vermehrt ballenlastig zu fußen. In der Folge entwickelten die Tiere vermehrt Sohlengeschwüre. TSUKA et al. (2012) wies mittels Computertomographie an 400 Klauen der Hinterbeine (200 Innen- und 200 Außenklauen) alterungsbedingte Knochenveränderungen (Exostosen) am Klauenbein nach, die durch Druck auf die Lederhaut zu Laminitis und RSG's führen können.

L I T E R A T U R

Zu 4.) Rusterholz'sche Sohlengeschwüre treten am häufigsten an den Außenklauen der Hintergliedmaßen auf (RUSTERHOLZ 1920, TOUSSAINT RAVEN 1989, TRANTER und MORRIS 1991). RUSTERHOLZ (1920) führte dies auf eine vermehrte Belastung der Außenklaue zurück, welche in beengter Anbindehaltung durch das Unterstellen der Hinterbeine unter den Körper oder auch durch kleine Seitwärtsbewegungen der Füße um voluminöse Euter herum erfolgt.

Da eine vermehrte Belastung der Außenklaue auch bei gesunden Tieren mit korrekter Gliedmaßenstellung und sogar nach einer funktionellen Klauenpflege nachgewiesen werden konnte, diskutieren Forscher auch eine anatomische Prädisposition (VAN DER TOL et al. 2002, KEHLER und GERWING 2004, CARVALHO et al. 2005, NACAMBO et al. 2007, NUSS und PAULUS 2006).

Untersuchungen zum anatomischen Längenunterschied zwischen der lateralen und medialen Zehe an Schlachtbeinen von Rindern zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von RSG's. Zwar waren die Außenzehen im Mittelwert signifikant länger als die Innenzehen, jedoch war diese Tatsache allein nicht ausreichend zur Entstehung von RSG's (RÜEGSEGGER 2011). Die Autorin merkt an, dass weitere Faktoren für die Entstehung von RSG's nötig sind.

Ein weiterer Risikofaktor ist die Größe und Beschaffenheit des Ballenpolsters, welches als anatomisches Gebilde eine stoßdämpfende Funktion übernimmt (RÄBER et al. 2004). Es nimmt die beim Auftreten entstehenden Zug- und Druckkräfte auf, leitet sie weiter und mildert sie ab. Da das Ballenpolster aus Kollagenfasern und Fettgewebe besteht, beeinflussen Veränderungen an diesen Geweben dessen stoßdämpfende Eigenschaften (VAN AMSTEL und SHEARER 2006b). Ab der dritten Laktation wird das Fettgewebe zunehmend durch kollagenes Fasergewebe ersetzt, was zu einem Qualitätsverlust des Ballenpolsters führt (RÄBER et al. 2004). Des Weiteren beeinflusst der Ernährungszustand der Kühe die Dicke des Fettkörpers (BICALHO et al. 2009, LIM et al. 2015). BICALHO et al. (2009) zeigten, dass Kühe mit einem niedrigen BCS ein dünneres Fettpolster hatten und häufiger lahm waren als Kühe mit einem höheren BCS, welche ein dickeres Fettpolster hatten und seltener lahm waren. OEHM et al. (2019) nennen einen BCS von $\leq 2,5$ als Grenzwert für ein erhöhtes Risiko an Lahmheit zu erkranken.

Klassifizierungssysteme

RSG's werden nach ihrem Schweregrad in unkomplizierte und komplizierte RSG's eingeteilt. Erläuterungen hierzu sind bereits im Abschnitt Ätiologie und Pathogenese dieses Kapitels erklärt.

Eine weitere Klassifizierung erfolgt nach dem Bundeseinheitlichen Diagnoseschlüssel der

L I T E R A T U R

DLG-Arbeitsgruppe Klauenpflege und -hygiene (FIEDLER 2004). Hierbei werden die drei Schweregrade anhand der Größe der Läsion und der Tiefe des betroffenen Gewebes ermittelt. Grad 1 beschreibt ein RSG bis zu einem Durchmesser von 1 cm und mit einer oberflächlichen Lederhautschädigung. Läsionen von Grad 2 haben einen Durchmesser zwischen 1 bis 2,5 cm und weisen z.T. nekrotische Veränderungen der Lederhaut auf. Läsionen von Grad 3 haben einen Durchmesser von über 2,5 cm und gehen mit tiefergehenden nekrotischen Veränderungen einher.

Therapie

Steingallen, die die Anfangsstadien der RSG's bilden, sind durch eine zeitnahe und fachgerechte funktionelle Klauenpflege mit Anpassung der Außen- an die Innenklaue und dem unter Punkt vier der funktionellen Klauenpflege (Behandlung) beschriebenen Entlastungsschnitt zu behandeln (TOUSSAINT RAVEN 1998a).

Bei RSG's Grad 1 bis 3 ist zusätzlich eine Entlastung der Lederhaut am Druckpunkt zu gewährleisten. Während bei sehr kleinen Defekten ein starkes Ausdünnen des Sohlen- und Wandhorns ausreichend sein kann (Entlastungsschnitt), ist bei einer Vielzahl der Läsionen eine komplette Entlastung der erkrankten Klaue durch das Anbringen eines Kothurns an die gesunde Partnerklaue induziert (GREENOUGH 1987). Als Kothurne stehen hölzerne Klötze, Gummischeue und seit kurzem auch derbelastische Schaumgummiklötze aus Neuseeland zur Verfügung.

Eine Untersuchung von PYMAN (1997) zeigte gleiche Heilungsraten von Klauenläsionen bei der vergleichenden Anwendung von Holzklötzen und Gummischuhen. Eine Entlastung der erkrankten Klaue wirkt sich sowohl schmerzlindernd als auch wundheilungsfördernd für die Läsion aus (SHEARER und VAN AMSTEL 2017).

Da die Lederhaut stark innerviert ist, sollte in Fällen, in denen sie frei liegt, eine Regionalanästhesie vor der Durchführung von Korrekturmaßnahmen durchgeführt werden (SHEARER und VAN AMSTEL 2001).

Der Nutzen von der Anwendung nichtsteroidaler Antiphlogistika bei RSG's wird von Autoren unterschiedlich bewertet. LAVEN et al. (2008) fanden keinen signifikanten Unterschied im Schmerzempfinden zwischen Klauenhornläsionen, die mit Tolfenaminsäure (2mg/kg Körpergewicht) und einem Plastiksuh behandelt wurden und Klauenhornläsionen, die nur eine funktionelle Klauenpflege erhielten. THOMAS et al. (2015) berichten von einem positiven Effekt auf die Genesung der Tiere bei Anwendung von Ketoprofen (3mg/kg Körpergewicht) in Kombination mit funktioneller Klauenpflege und der Entlastung der erkrankten Klaue durch einen Klotz.

2.3 Verbandsarten im Zusammenhang von Klauenerkrankungen

2.3.1 Zweck und Funktion von Verbänden

Verbände haben eine Vielzahl von Funktionen (Tabelle 6). Im Allgemeinen sorgen sie für ein wundheilungsförderndes Milieu.

Tabelle 6: Aufgaben und Funktionen des Verbandes (nach WILLIAMS und MOORES (2009) und HEDLUND (2007) modifiziert nach (SWAIM et al. 2012)

-
- Schaffung eines ästhetischen Erscheinungsbildes
 - Schutz der Wunde vor Kontamination
 - Schutz der Wunde vor dem Patienten
 - Schutz des Gewebes vor Austrocknung
 - Schaffung eines feuchten Milieus für die Wundheilung
 - Schaffung eines warmen und sauren Milieus für die Sauerstoffversorgung des Gewebes
 - Reduktion von Schmerzen
 - Verhinderung von Gewebebewegungen, Immobilisierung der Wundränder
 - Druckaufbau zur Verringerung von Hohlräumen und Reduzierung von Ödemen und Blutungen
 - Abgabe lokal wirksamer Medikamente
 - Verhindern des Abwaschens von Medikamenten
 - Aufnahme von Feuchtigkeit
 - Wunddébridement
 - Stabilisation orthopädischer Verletzungen
-

2.3.2 Allgemeiner Aufbau von Klauenverbänden

Klauenverbände sollten laut TOUSSAINT RAVEN (1998b) nur dann angelegt werden, wenn dies erforderlich ist. Die ungünstigen hygienischen Bedingungen in Boxenlaufställen können die Wundheilung behindern und das Anlegen eines trockenen Verbandes erforderlich machen (TOUSSAINT RAVEN 1998b). Als ein Nachteil dieser Maßnahme wird die Schwierigkeit, den Verband unter den gegebenen Umständen trocken zu halten, genannt. Ein kompliziertes Rusterholz'sches Sohlengeschwür erfordert laut TOUSSAINT RAVEN (1998b) grundsätzlich das Anlegen eines Verbandes um den Eintrag von Bakterien in tieferliegende Regionen der Klaue zu vermeiden. Bevor ein Verband angelegt wird, sind die

L I T E R A T U R

Klauen zu behandeln und anschließend von Blut-, Schmutz- und Kotresten zu reinigen und zu trocknen (NUSS und FIEDLER 2019). Die erste Schicht eines Verbandes (**Primärschicht**) steht in direktem Kontakt zur Wunde und wird deshalb auch als **Kontaktschicht** bezeichnet. Bei Klauenverbänden werden für diesen Zweck vor allem Gazetupfer und Kompressen aus Baumwolle oder Kunststofffasern verwendet (TOUSSAINT RAVEN 1998a). Sie halten die aufgetragenen Medikamente an den Läsionen und verhindern ein Verkleben von Watte und anderen Verbandsmaterialien mit der Wunde. Abhängig vom Stadium der Wundheilung und der verwendeten Wundaufgabe kann diese Schicht auch andere Funktionen erfüllen, wie z.B. Wundflüssigkeit aufnehmen oder die Wunde reinigen (Débridement). In letzter Zeit finden innovative Materialien aus der Humanmedizin auch beim Rind Anwendung. Hierzu gehören Polyurethan-Wundaufgaben (Mortella Heal, Dr. Kenndoff GmbH & Co. KG, Hamburg, Deutschland), Schaumstoffauflagen oder Alginat. Wundaufgaben aus Polyurethan erfüllen einen ähnlichen Effekt wie die Wundkruste auf einer Läsion; Sie schützen die Wundfläche, absorbieren Wundexsudat und halten die Wunde gleichzeitig feucht, wodurch ein optimales Wundheilungsmilieu geschaffen wird (FIEDLER et al. 2015).

Die **Sekundärschicht** hat die Aufgabe, den Verband zu polstern und die empfindlichen Strukturen am Unterfuß vor Druck zu schützen. Als Material zur Polsterung ist Watte weit verbreitet, welche sich in natürliche (Baumwolle) und synthetische Watte einteilen lässt. Synthetische Watte hat den Vorteil, dass sie keine Feuchtigkeit/Gülle aufsaugt. Ein Klauenverband, der einer feuchten Umgebung ausgesetzt ist, bleibt somit länger trocken.

Die **Tertiärschicht** dient der Fixierung der anderen Verbandsschichten und schützt zudem vor äußerer Verschmutzung. Die Tertiärschicht muss mit einem adäquaten Zug angebracht werden, um die Primärschicht in Kontakt mit der Wunde zu bringen; dieser darf aber gleichzeitig nicht zu stark sein, um die Absorptionsfähigkeit der Sekundärschicht zu gewährleisten. Als Materialien sind hier vor allem Gazebinden und elastische bzw. starre Baumwollbinden zu nennen. Starre Baumwollbinden haben den Vorteil, dass sie – im Gegensatz zu elastischen Binden – keine Rückstellkräfte besitzen, die nachträglich zum Abschnüren von Strukturen (Afterklauen) oder des gesamten Unterfußes führen können. Die Starrheit der Baumwollbinde kann jedoch bei nicht fachgerecht angelegtem Verband durch Verrutschen zu einer konstanten Reizung der Wunde beitragen. Das Verknoten der beiden Bindenden sollte lateral am Fuß erfolgen, damit kein Druck auf die empfindliche tiefe Beugesehne ausgeübt wird. Das Verknoten der Enden entfällt bei Anwendung von selbsthaftenden Kunststoffbinden. Sie verrutschen zudem nicht so leicht wie Gazebinden und sind schneller anzulegen, weshalb sie in der Praxis zunehmend verwendet werden

L I T E R A T U R

(NUSS und FIEDLER 2019).

Abschließend können Schutzmaterialien aufgebracht werden, die den Verband zusätzlich stabilisieren und gleichzeitig vor Feuchtigkeit schützen (LISCHER 2000a). Im Handel erhältliches imprägniertes Teerband ist aufgrund seiner luftdurchlässigen und wasserabweisenden Eigenschaften geeignet (LISCHER 2000a). Luftundurchlässige Gewebeklebebänder wie z.B. Gaffer Tape oder Duct Tape sollten bei Klauenverbänden vermieden werden, da sie keine Luft an die Wunde lassen (LISCHER 2000a). Um die Haut vor Reibungen und Reizungen durch Klebebänder zu schützen, sollte sie im proximalen Teil des Verbandes ca. 1 cm unterhalb der Polsterung enden (LISCHER 2000a).

2.3.3 Hoher Klauenverband

Als hoher Klauenverband werden Verbände bezeichnet, die über das Fesselgelenk bis zur Hälfte des Metakarpal- bzw. Metatarsalknochens reichen (CLEMENTE 1986). Sie bieten einen starken Schutz vor Verschmutzung, weshalb sie vor allem bei Operationswunden angewendet werden, die proximal über den Klauenhornschuh reichen (CLEMENTE 1986, NUSS und FIEDLER 2019). NUSS und FIEDLER (2019) empfehlen die Anwendung an den Hintergliedmaßen, da hier mit starker Verschmutzung zu rechnen ist.

Beim Anlegen des Verbandes ist auf eine ausreichende Polsterung des Ballens, der lateralen Seite und des Zwischenzehenspaltes zu achten, um Einschnürungen zu vermeiden. Aus demselben Grund sollten die Afterklauen unterpolstert werden (NUSS und FIEDLER 2019). CLEMENTE (1986) empfiehlt, sie komplett im Verband auszusparen, da sonst unter Druckeinwirkung innerhalb weniger Tage Hautnekrosen auftreten können.

2.3.4 Tiefer Klauenverband

Ein tiefer Klauenverband beginnt unterhalb der Afterklauen und wird bei Erkrankungen im Bereich des Klauenhorns bzw. der Klauenlederhaut angewendet (CLEMENTE 1986). NUSS und FIEDLER (2019) empfehlen das Anlegen von tiefen Klauenverbänden an den Vordergliedmaßen, da hier eine geringe Verschmutzungsgefahr besteht. In Abbildung 3 wird das Anlegen eines tiefen Klauenverbandes am Beispiel des RSG's veranschaulicht.

LITERATUR

		
<p>Auf die gesunde Partnerklaue wird ein Klotz angebracht. Die Klauenläsion wird mit Vetsept® Salbe und einer Kompresse abgedeckt.</p>	<p>Auf die anfänglich durch den Interdigitalspalt gelegte Rollenwatte folgen zwei Zirkulärtouren zur Befestigung.</p>	<p>Dann wird die erkrankte Klaue mit der Rusterholz'schen Wicklung gepolstert. Anschließende Zirkulärtouren bilden den Abschluss.</p>
		
<p>Die folgende Baumwollbinde verläuft durch den Zwischenzehenspalt und fixiert den Verband mit zwei Zirkulärtouren.</p>	<p>Das anschließende Aufhängen am Zügel ermöglicht das Einbinden der Sohlenfläche und der Klauen Spitze.</p>	<p>Um die Klauen Spitze fest einzubinden, wird die Binde um 180° gedreht, sodass eine Schlaufe entsteht. Zirkulärtouren schließen sich an.</p>
		
<p>Die folgende Rusterholz'sche Wicklung bringt Druck auf die Läsion. Es folgen Zirkulärtouren.</p>	<p>Zum Abschluss wird der Verband mit einem chirurgischen und zwei einfachen Knoten seitlich am Fuß befestigt.</p>	<p>Angebrachtes Klebeband macht den Verband widerstandsfähiger und der zuletzt aufgetragene Holzteer wirkt wasserabweisend. Alternativ kann auch imprägniertes Teerband verwendet werden.</p>

Abbildung 3: Anlegen eines tiefen Klauenverbandes am Bsp. des RSG's (modifiziert nach DIRKSEN 2006)

2.3.5 Doppelklauenverband

Ein Doppelklauenverband wird dann angelegt, wenn beide Partnerklauen unkompliziert erkrankt sind und somit keine Entlastung durch Anbringen eines Klotzes möglich ist (KINDT und FIEDLER 2013). Bei diesem Polsterverband werden beide Klauen ausreichend mit Watte gepolstert und anschließend verbunden. Die vermeintlich tragfähigere Klaue kann ggf. etwas erhöht werden. Hierfür eignen sich zugeschnittene Teppich- oder Gummireste bzw. auch mehrlagige Keile aus Baumwollbinden (KINDT und FIEDLER 2013).

Aufgrund der ungenügenden Entlastung der erkrankten Klaue ist die Wundheilungsdauer verlängert, und es sind mehrere Verbandswechsel notwendig. Deshalb ist dieser Verband häufig mit höheren Gesamtkosten verbunden (LISCHER 2000c). Um eine bestmögliche Wundheilung zu gewährleisten, sollten die Tiere trocken aufgestellt werden (NUSS und FIEDLER 2019).

Das Anlegen des Verbandes beginnt mit dem Auflegen einer Kompresse auf die Läsion und einer anschließenden Polsterung mit Watte, die vom Fesselbereich durch den Interdigitalspalt läuft und dann in Achtertouren durch den Zwischenzehenspalt und um den Fesselbereich gewickelt wird. Der Hornschuh wird mit überlappenden Wattelagen gepolstert. Eine elastische Binde, die von der Fesselbeuge durch den Zwischenzehenspalt verläuft und somit einen „Zügel“ bildet, befestigt in nachfolgenden Zirkulärtouren den Bereich der Fesselbeuge, wobei sie sowohl oberhalb als auch unterhalb des Haltezügels gewickelt wird. Anschließend Achtertouren befestigen die Watte und werden ebenfalls oberhalb des Haltezügels gezogen. Nun können mögliche Erhöhungen unterhalb der „gesünderen“ Klaue gelegt und mit eingebunden werden. Hierfür können zwei nebeneinanderliegende Mullbinden, Gummireste o.ä. genutzt werden. Um die Binde an der Klaue zu fixieren, wird die Binde an der Klauenspitze einmal um sich selbst gedreht, wodurch eine Schlaufe entsteht. Die Richtung der Wicklung kann dadurch ebenfalls geändert werden. Der Abschluss des Verbandes entspricht dem des tiefen Klauenverbandes (siehe Abbildung 3: Anlegen eines tiefen Klauenverbandes am Bsp. des RSG). Selbsthaftende Binden bzw. Klebeband befestigen die vielen Verbandsschichten (FIEDLER 2013).

2.3.6 Interdigitalverband

Der Interdigitalverband, auch als Zwischenklauenverband bezeichnet, wird zur Abdeckung von Erkrankungen im Zwischenzehenbereich wie z.B. bei Limax oder DD angewendet.

Das Anlegen eines Interdigitalverbandes ist in Abbildung 4 beschrieben. Da der Interdigitalverband aufgrund der offenen Sohlenfläche schnell verschmutzt, sollte ein Verbandswechsel innerhalb von drei bis fünf Tagen erfolgen. Oft reicht eine einmalige Behandlung aus. Bei Phlegmonen können häufigere Verbandswechsel notwendig sein (NUSS und FIEDLER 2019).

LITERATUR



Zuerst wird die Klaue gereinigt. Anschließend kann das gewünschte Medikament aufgetragen und mit einer Kompresse abgedeckt werden.



Es folgt die Polsterung. Auf die anfänglich durch den Interdigitalspalt gelegte Rollenwatte folgen zwei Zirkulärtouren zur Befestigung.



In sich anschließenden „Achtertouren“ wird die gesamte Klaue gepolstert.



Selbsthaftende Binden stellen eine einfache Möglichkeit dar, die Watte zu befestigen.



Wieder wird die Binde zuerst durch den Interdigitalspalt geführt.



Nachfolgende Achtertouren befestigen die Watte und bedecken die Bereiche ...



...am Ballen, im Interdigitalspalt und seitlich im Fesselbereich. Die Sohlenfläche bleibt dabei frei.



Abschließend folgen Zirkulärtouren, die den gesamten Verband festigen.



Um ein Aufräufeln der Binde zu verhindern, kann der Verband äußerlich mit Klebeband stabilisiert werden.

Abbildung 4: Anlegen eines Interdigitalverbandes am Bsp. der DD

3 Publikationen

3.1 1. Publikation: Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows

Dieser Artikel wurde veröffentlicht im:
Veterinary Record Open
Volume: 6

Received November 29, 2017
Revision received February 10, 2019
Accepted February 13, 2019
First published May 22, 2019

Available online May 22, 2019

Authors:
Marcus Klawitter, Dörte Döpfer, Theo Broderick Braden, Ermias Amene,
Kerstin Elisabeth Mueller

DOI: [10.1136/vetreco-2017-000264](https://doi.org/10.1136/vetreco-2017-000264)

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows

Marcus Klawitter,¹ Dörte Döpfer,² Theo Broderick Braden,³ Ermias Amene,² Kerstin Elisabeth Mueller¹

To cite: Klawitter M, Döpfer D, Braden TB, *et al.* Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows. *Veterinary Record Open* 2019;6:e000264. doi:10.1136/vetreco-2017-000264

Preliminary results were presented at the 29th World Buiatrics Congress, Dublin, Ireland, July 2016 and the 19th International Symposium and 11th International Conference on Lameness in Ruminants, Munich, Germany, September 2017

Received 29 November 2017
Revised 10 February 2019
Accepted 13 February 2019



© British Veterinary Association 2019. Re-use permitted under CC BY-NC. No commercial re-use. Published by BMJ.

¹Faculty of Veterinary Medicine, Clinic for Ruminants and Swine, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

²Department of Medical Sciences, University of Wisconsin—Madison, Madison, Wisconsin, USA

³MSSW, School of Medicine, University of Wisconsin—Madison, Madison, Wisconsin, USA

Correspondence to

Marcus Klawitter; marcus.klawitter@fu-berlin.de

ABSTRACT

Objectives and design This trial evaluated the effect of bandaging of acute painful ulcerative bovine digital dermatitis (DD) lesion (stage M2) in dairy cows, tested using two different topical treatments.

Design Randomised clinical trial.

Setting This study was conducted using Holstein-Friesian cows ranging in age from heifers to fourth lactation in a single dairy herd and diagnosed with acute ulcerative DD lesions (stage M2) on the first examination (week 0). Cows were randomly assigned into either a non-bandaged or bandaged group across two treatment conditions: topical chlortetracycline spray (CTC) and Intra Hoof-Fit Gel (IHF). Lesions received standardised bandaging and treatment on a weekly basis. Unhealed lesions could receive up to five repeated treatments, at weekly intervals, within a four-week period. Both M-stage and locomotion were also evaluated and scored weekly. Cows with healthily formed skin (stage M0) were deemed healed and subsequently released from the study.

Results In total, 163 M2 lesions were diagnosed at week 0. Bandaged M2 lesions had a significantly higher probability of cure than non-bandaged lesions regardless of treatment type (HR: 4.1; $P < 0.001$; 95 per cent CI: 2.5 to 6.8). Most healing occurred within the first three weeks of trial. Furthermore, bandaged lesions (group 2 and group 4) were significantly less likely to progress into the chronic hyperkeratotic or proliferative stage (M4) than non-bandaged lesions in group 1 and group 3 (HR: 0.10; $P < 0.001$; 95 per cent CI: 0.04 to 0.22). Out of concern for the cow's wellbeing, this study investigated the effects of bandaging on locomotion. Bandaging had no effect on locomotion for either cows treated with CTC (group 1: median Sprecher score, 2; IQR=1–2; group 2: median Sprecher score, 2; IQR=1–3; $P=0.3$) or IHF (group 3: median Sprecher score, 2; IQR=1–2; group 4: median Sprecher score, 2; IQR=1–3; $P=0.3$).

INTRODUCTION

Digital dermatitis (DD) is a painful disease that causes lameness in cattle worldwide.^{1 2} Signs of DD include ulcerative circular lesions that emit a distinct odour and have a strawberry-like appearance, typically on the skin between the heels.³ The precise aetiology of

DD is not fully understood.⁴ Previous studies have linked multiple bacterial species to DD lesions.⁵ Nonetheless, spirochetes, of the genus *Treponema*, have been consistently found deep within the dermis of infected cows.^{6–8} DD largely appears to be multifactorial including a combination of intrinsic and environmental risk factors: stock purchase, low parity, early lactation and moist unhygienic housing conditions.^{2 9 10}

Improving environmental hygiene and prompt treatment are critical to controlling DD.¹¹ However, due to the complexities around improving environmental hygiene, greater emphasis is placed on treatment.¹² Topical antibiotics like tetracyclines are most effective at treating DD in cows individually, while non-antibiotic footbaths, to a lesser degree, are effective at controlling DD in cows collectively.^{12–14} While timely detecting and treating acute lesions are critical to preventing the spread of DD,¹⁵ clinical trials often underemphasise the importance of management practices, like bandaging, in treatment protocols. Research on identifying the best combination of products, regimens and approaches to treating DD is needed.¹⁶

The use of bandaging in the treatment of DD is questionable. Exposure to dirtiness may both weaken the skin and impact the bioavailability of active compounds in treatment, thereby suspending the healing process.¹⁴ Thus, proper bandaging could facilitate the healing process through ensuring lesion cleanliness and prolonging exposure to treatment.^{17–19} However, bandages left on too long may cause ischaemic tissue damage and provide a hospitable environment for treponemas.^{20–22} More research is needed on the degree and the time to which bandaging facilitates or impedes the healing of DD lesions.²³ Therefore, the aim of this study was

to evaluate the effect of bandaging on healing following topical antibiotic and non-antibiotic treatment.

MATERIALS AND METHODS

This study was designed as a randomised clinical trial. This trial follows the reporting guidelines for randomised controlled trials in livestock and food safety (REFLECT statement)²⁴.

Farm and study design

The trial took place between July 2013 and November 2014 on a commercial Holstein dairy farm in North-eastern Germany. All cows were free-stall housed, had access to concrete flooring and participated in routine claw trimming two to three times a year. This study included heifers and cows with acute, ulcerative DD lesions that were more than 2 cm in diameter (classified as stage M2) on the digital skin on first examination. All lesions were located adjacent to the plantar or palmar coronary band on digital skin between the heels. Lesions on the interdigital skin were not included. A random number chart from a randomisation generator was used to assign lesions to treatment groups. Taking place between July 2013 and June 2014, the first phase of the study focused on bandaging following topical antibiotic treatment. The second phase of the study, taking place between July 2014 and November 2014, focused on bandaging following topical non-antibiotic treatment. The use of footbaths was not allowed during the time of the trial. Parity ranged from heifers to cows in their fourth lactation. The 305-day milk production for each cow was standardised to 4 per cent fat and 3.3 per cent protein using the energy corrected milk (ECM) formula²⁵:

$$\text{ECM milk} = (\text{milk production} \times (0.383 \times \% \text{ fat} + 0.242 \times \% \text{ protein} + 0.7832)) / 3.1138$$

Cows were also categorised into the following scheme based on past hoof treatments and previous trial findings²⁶: (A) type I cows with no M2 lesions, (B) type II cows with M2 lesions but no reoccurrence, (C) type III cows with two or more lesions within a period of time.

Foot examination

All hooves were brushed, cleaned with soap and water, dried with a towel and trimmed by a professional hoof trimmer. Lesion size and locomotion were evaluated, measured and photographed at week 0 and every seven days (\pm three days) for four consecutive weeks, resulting in a total of five observations. DD lesions were macroscopically classified and recorded using a standardised scoring system comprising six stages.^{7 15} Feet with normal skin, without any macroscopical signs of DD, were classified as M0. M1 is an early stage lesion (0–2 cm in diameter) with a moist, ragged red-grey surface. M2 is the acute, classical ulcerative stage manifesting as painful lesions that are more than 2 cm in diameter. M3 comprises the healing stage when the lesion is covered by a scab, which is not painful on touch. M4 is the chronic stage manifesting as hyperkeratosis or surface proliferation. Chronic lesions

with new M1 lesions occurring on the surface were documented as M4.1. Lesions were digitally photographed and magnified using a special software package to measure changes in lesion size and diameter width with enhanced precision (Jalomed, Jalomed GmbH, Germany). A five-point locomotion scoring system²⁷ was used to evaluate and record lameness in cows by assessing for the presence or absence of an arched back when walking or standing. Locomotion was always scored by the same person when cows were walking and standing on a 12 m alley with concrete flooring. Locomotion scores for normal to mildly lame cows ranged from 1 to 2; scores for moderately lame to severely lame cows ranged from 3 to 5.

Treatment

Treatment took place in two phases. Cows in the first phase of the study received an antibiotic spray treatment, containing chlortetracycline (CTC) (Cyclo Spray, Albrecht, Aulendorf, Germany), on M2 lesions twice for 3 seconds at 30 seconds intervals ($n=41$, group 1). Lesions in group 2 ($n=44$) received the same antibiotic treatment, along with a standardised bandaging technique, administered by the examiner to ensure methodological reliability. First, a 10×20 cm gauze square (NOBATOP8, NOBA Verbandmittel Danz GmbH, Wetter, Germany) was applied to the affected area. Afterwards cotton wool (Klauen- und Polsterbinde, Albrecht GmbH, Aulendorf, Germany) was wrapped around the distal extremity starting at the dew claws through the interdigital cleft, followed by two circular layers. The sole of the hooves was spared. Next, a strong, rigid bandage (NOBASOLID, NOBA Verbandmittel Danz GmbH) was placed to hold these layers in place and tied into a knot at the lateral side of the hoof. Finally, a layer of beech tar (Beech tar WDT, Wirtschaftsgenossenschaft deutscher Tierärzte eG, Garbsen, Germany) was brushed onto the bandage to waterproof it against slurry.

Nearly a 2 mm layer of non-antibiotic gel (Intra Hoof-Fit Gel [IHF]; Intracare, Veghel, The Netherlands), containing copper and zinc chelate, was brushed directly onto the M2 lesions of cows in the second phase of the study using the enclosed IHF paintbrush. Slightly more cows were assigned to the non-bandaged group ($n=40$, group 3) than the bandaged group ($n=38$, group 4). The bandaging protocol and technique for group 2 were replicated for group 4 (table 1). All cows remained on a dry surface for 30 min post-treatment. When two legs of a cow were affected with an M2 lesion at week 0, both were treated with the same product (CTC or IHF) and randomly assigned to a bandaged or non-bandaged group.

Using the aforementioned procedure, the same person inspected all animals at weekly intervals. Treatment ended for cows deemed healed (M0, table 2). Unhealed lesions (\neq M0) received up to five repeated applications of treatment during weekly visual inspections for up to four weeks after inclusion into study.

**Table 1** Treatment group assignment and effect of different therapeutic protocols for DD therapy of 163 M2 lesions in 135 cows

Group	Treatment	No. of lesions	No. of healed lesions* (%)
1	CTC	41	18 (43.9)
2	CTC+bandaging	44	38 (86.36)
3	IHF	40	12 (30.0)
4	IHF+bandaging	38	27 (71.1)

*All transitions from painful M2 lesions to M0 at week 4. CTC, chlortetracycline spray; DD, digital dermatitis; IHF, Intra Hoof-Fit Gel.

Statistical analysis

Data analyses were performed using Microsoft Excel 2010 software (Microsoft, Redmond, Washington, USA) and R (V.3.2.0, R Core Team 2015²⁸). Differences in bivariate populations were measured using a Wilcoxon rank-sum statistical test. A Kruskal-Wallis test measured group differences in parity, 305-day ECM production and initial lesion size. Results of Wilcoxon rank-sum statistical test and Kruskal-Wallis test are reported as median and IQR. For tests denoting significance, a Conover's test was used to make post hoc multiple pairwise comparisons between groups to identify differences precisely. Kaplan-Meier survival functions and Cox proportional hazard regression were performed to estimate the time until cure of DD lesions and the development of the chronic (M4) stage. The multivariate Cox proportional hazard regression was performed in a backward stepwise manner. The first

analysis measured the event of cure and other baseline variables like bandaging, treatment group, parity, initial lesion size and an interaction term for bandaging and treatment group. The variable with the highest P value was eliminated at each step with reanalysis between steps, until the final model was obtained. A second multivariate Cox proportional hazard regression was performed in the same way for the event of the chronic (M4) stage. For all tests, values of $P < 0.05$ were considered to be statistically significant. Results of survival analysis are reported as HR with 95 per cent CIs. It is assumed that the probability of the event of interest (either to cure or progress into chronic M4 stage) is the same for DD lesions recruited early and late in the study. This assumption was tested by splitting a cohort of lesions in those who were recruited early and those recruited late and checking if their survival curves were different.

RESULTS

Distribution of animals and lesions

In total, 198 M2 lesions from 170 cows were diagnosed at week 0. Cows that either lost their bandage at the time of follow-up, received a systemic antibiotic treatment, NSAIDs or suffered from other claw diseases besides DD were excluded from this study ($n=35$ lesions in 35 cows), resulting in a final sample size of 135 cows with 163 lesions. Twelve DD lesions were located on the forefeet (7.4 per cent) and 151 lesions on the hind feet (92.6 per cent). A detailed flow diagram of leg inclusion is shown in [figure 1](#). Group differences for parity, 305-day

Table 2 Scoring of DD lesions from week 1 to week 4 after treatment of M2 DD at week 0

Week	Group	M0	M1	M2	M3	M4	M4.1	Total number
1	1	1	2	11	14	13	0	41
	2	17	7	12	8	0	0	44
	3	2	3	19	4	12	0	40
	4	3	7	26	2	0	0	38
2	1	6	3	8	9	14	0	40
	2	10	7	5	4	1	0	27
	3	5	1	2	3	27	0	38
	4	10	12	9	3	1	0	35
3	1	8	2	4	5	14	1	34
	2	9	3	4	0	1	0	17
	3	3	3	1	2	22	2	33
	4	11	7	7	0	0	0	25
4	1	3	1	4	7	11	0	26
	2	2	1	4	0	1	0	8
	3	2	5	0	3	19	1	30
	4	3	4	5	1	1	0	14

M0 healed stage, M1 early stage, M2 ulcerative stage, M3 healing stage, M4 chronic stage, M 4.1 chronic lesion with a small area of ulceration; total number of observations at week 0: group 1 (CTC) had $n=41$ lesions, group 2 (CTC + bandaging) had $n=44$ lesions, group 3 (IHF) had $n=40$ lesions, group 4 (IHF + bandaging) had $n=38$ lesions. DD, digital dermatitis.

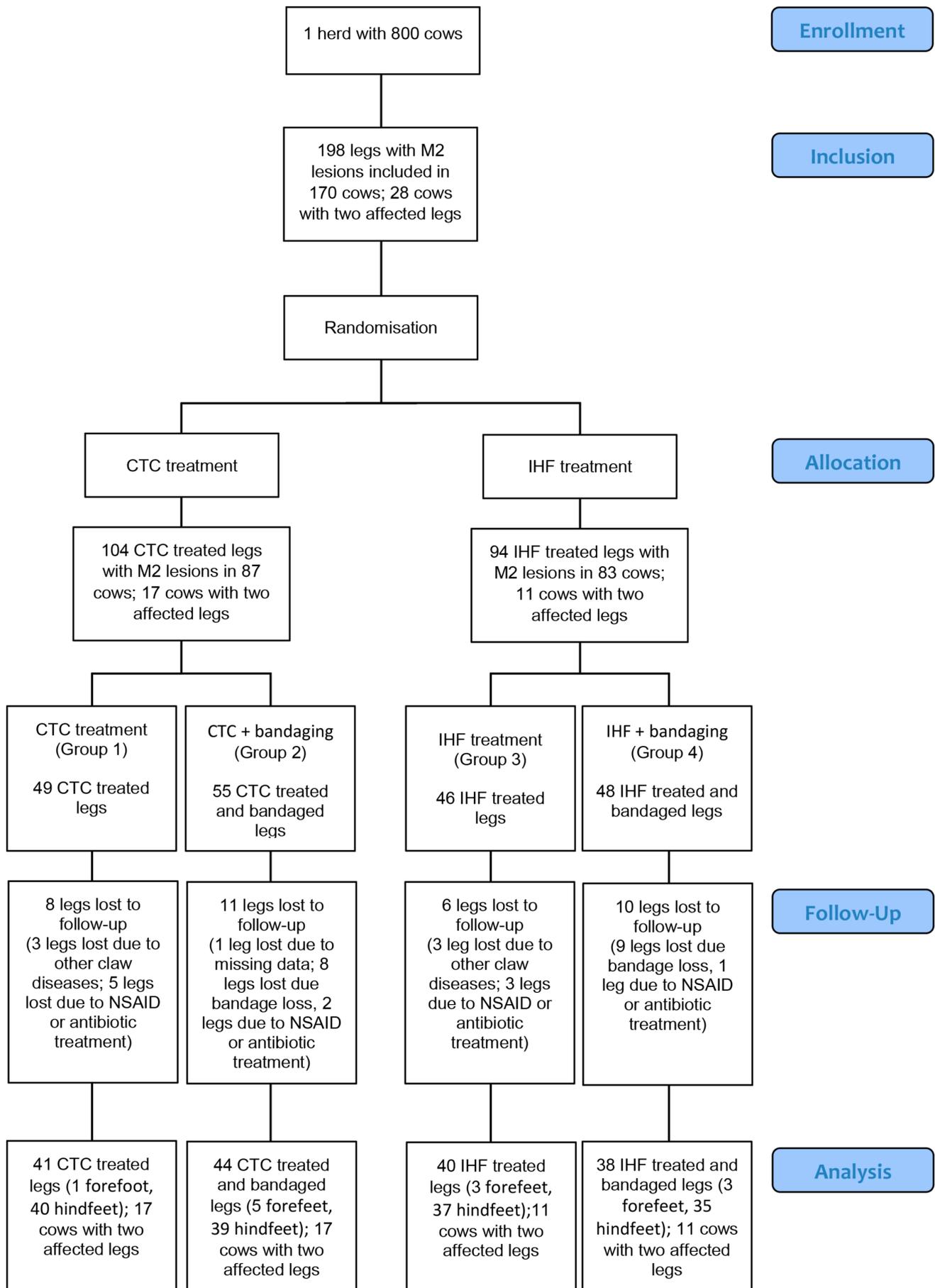


Figure 1 Flow diagram of leg inclusion. CTC, chlortetracycline spray; IHF, Intra Hoof-Fit Gel.

**Table 3** Baseline measures and comparisons among different treatment groups on basis of parity, energy corrected milk (ECM) and initial size of digital dermatitis lesions

	Group 1 CTC (n=41)	Group 2 CTC+bandage (n=44)	Group 3 IHF (n=40)	Group 4 IHF+bandage (n=38)	P value
Parity	2	1	2	1.5	0.01*
Median±IQR†	±1	±1.25	±2	±1	
305-day ECM (kg)	9233	8718	8595	7941	0.85
Median±IQR†	±3874	±5171	±4827	±3755	
DIM (days)	51.5	75	92.5	91.5	0.14
Median±IQR†	±311	±187	±90.5	±109	
Initial lesion size (cm ²)	6.01	4.65	5.85	8.13	0.03*
Median±IQR†	±6.57	±7.10	±3.54	±4.75	

*Denotes significance at the P<0.05 level.

†IQR was calculated.

IQR, interquartile range; DIM, days in milk; ECM, energy corrected milk CTC, chlortetracycline spray; IHF, Intra Hoof-Fit Gel.

ECM production and initial lesion size are shown in table 3. Multiple post hoc pairwise analysis (Conover's test) identified significant group differences between groups 2 and 3 (P=0.01) and groups 2 and 4 (P=0.04), respectively in parity and initial lesion size. The distribution of M stages during the four weeks period is shown in percentages in figures 2 and 3.

Bivariate analysis

Bandaging had no effect on locomotion for either cows treated with CTC (group 1: median Sprecher score, 2; IQR=1–2; group 2: median Sprecher score, 2; IQR=1–3; P=0.3) or IHF (group 3: median Sprecher score, 2; IQR=1–2; group 4: median Sprecher score, 2; IQR=1–3; P=0.3). However, wound size was significantly larger for lame cows (locomotion scores between 3 and 5; groups 1

and 2: median lesion size, 4.49 cm²; IQR=2.08–8.02 cm²; groups 3 and 4: median lesion size, 5.74 cm²; IQR=3.03–8.36 cm²) than for cows with healthier locomotion scores (lower scores 1 and 2) for both CTC (groups 1 and 2: median lesion size, 3.37 cm²; IQR=1.15–5.82 cm²; P=0.02) and IHF treatment groups (groups 3 and 4: median lesion size, 3.64 cm²; IQR=1.60–6.30 cm²; P<0.001). The clustering of cows in cow type II and III showed no significant impact on lesions size neither at the beginning of the trial for lesions treated with CTC (type II cows: median lesion size, 8.89 cm²; IQR=3.33–16.10 cm²; type III cows: median lesion size, 5.26 cm²; IQR=3.74–8.30 cm²; P=0.2) and IHF (type II cows: median lesion size, 7.41 cm²; IQR=5.11–9.08 cm²; type III cows: median lesion size, 6.58 cm²; IQR=4.68–9.17 cm²; P=0.6) nor during the healing process (week 0–4) (CTC: type II

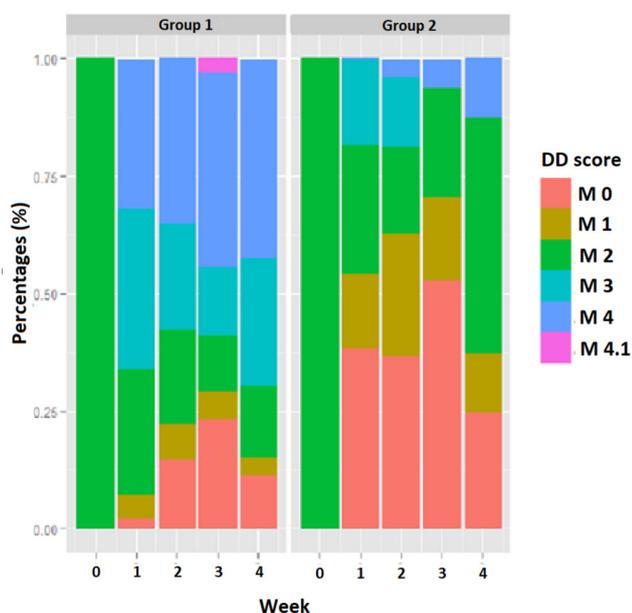


Figure 2 Distribution of M-stages treated with chlortetracycline spray at each examination. DD, digital dermatitis.

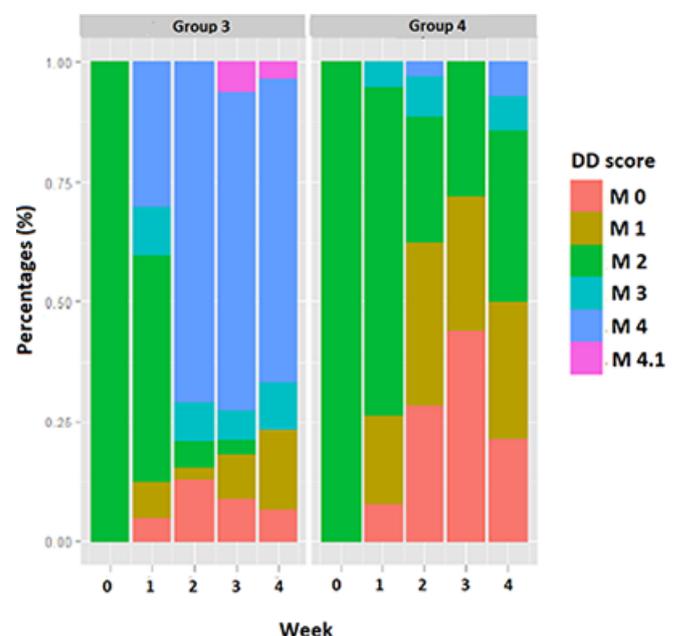


Figure 3 Distribution of M-stages treated with Intra Hoof-Fit Gel at each examination. DD, digital dermatitis.

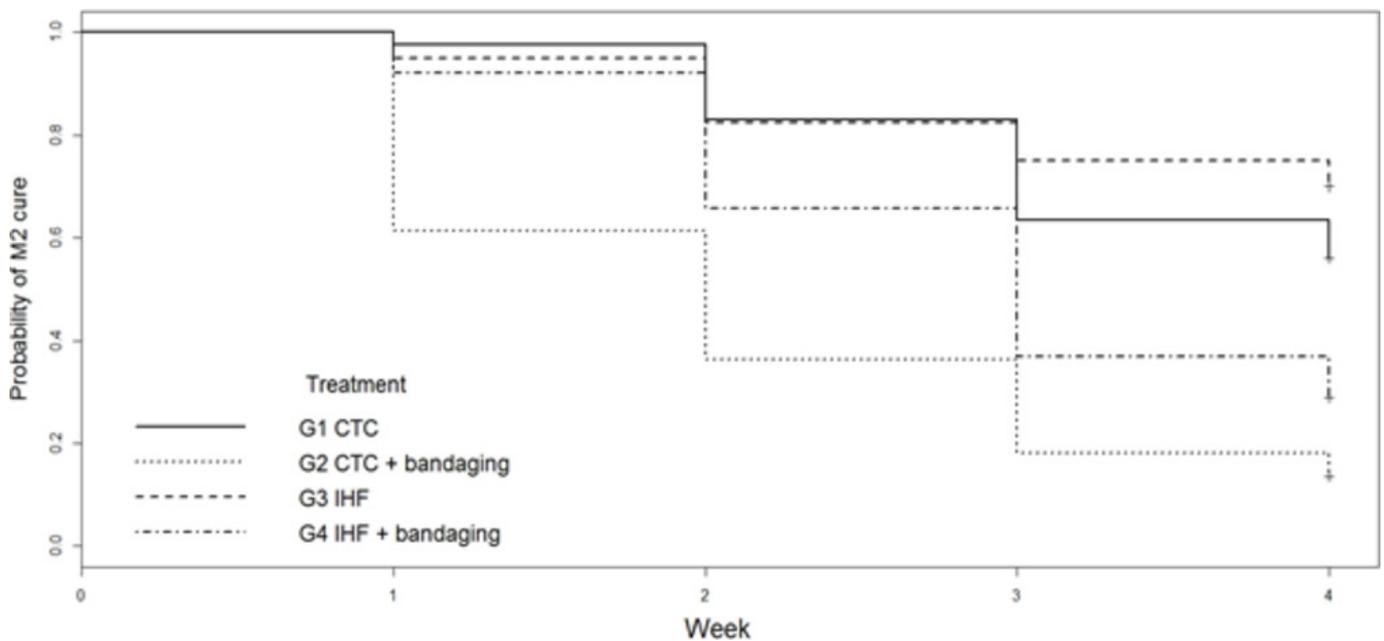


Figure 4 Kaplan-Meier survival analysis plots for digital dermatitis (DD) lesions stratified by different treatment groups and time until cure of DD (M0) as the outcome of interest. CTC, chlortetracycline spray; IHF, Intra Hoof-Fit Gel.

cows: median lesion size, 2.57 cm²; IQR=0.0–6.22 cm²; type III cows: median lesion size, 3.95 cm²; IQR=1.83–6.45 cm²; P=0.08 and IHF: type II cows: median lesion size, 4.39 cm²; IQR=1.72–6.53 cm²; type III cows: median lesion size, 4.27 cm²; IQR=1.99–6.97 cm²; P=0.6).

Survival analysis: time until healing and transition to chronic (M4) stage

Eighty-six per cent of bandaged (n=38, group 2) and 44 per cent (n=18, group 1) of non-bandaged cows receiving CTC treatment were deemed macroscopically healed by week 4, whereas 71 per cent of bandaged (n=27, group 4) and 30 per cent (n=12, group 3) of non-bandaged

cows receiving IHF treatment were healed at the same time. Bandaged lesions had a significantly higher probability of cure than non-bandaged lesions regardless of treatment type (HR: 4.1; P<0.001; 95 per cent CI: 2.5 to 6.8; [figure 4](#)). A Kaplan-Meier graph estimated the overall time until chronic (M4) stage. Specifically, the Cox proportional hazards model compared time until progression into chronic M4 lesions. Results indicated that bandaged lesions (group 2 and group 4) were significantly less likely to progress into chronic M4 stage lesions than non-bandaged lesions in group 1 and group 3 (HR: 0.1; P<0.001; 95 per cent CI: 0.04 to 0.22; [figure 5](#)).

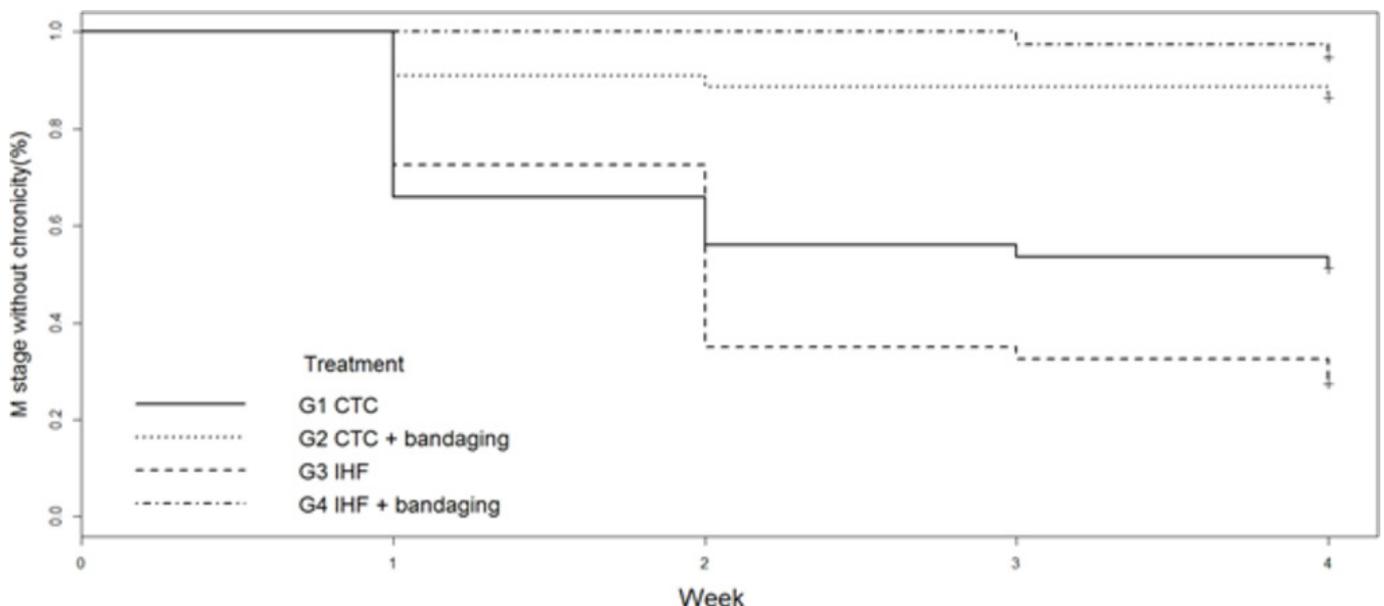


Figure 5 Kaplan-Meier survival analysis plots for digital dermatitis lesions stratified by different treatment groups and survival without the chronic (M4) stage as the outcome of interest. CTC, chlortetracycline spray; IHF, Intra Hoof-Fit Gel.

Furthermore, the multivariate Cox proportional hazard regression identified bandaging as the only variable in the model with a significant effect on the probability of cure as well as on the prevention of the chronic (M4) stage. Most lesions were healed within two to three weeks of the study. Despite significant group differences at the beginning of the trial, results demonstrate that parity ($P=0.7$) and initial lesion size ($P=0.4$) had no significant impact on healing.

Of the 28 cows with two affected legs, 17 and 11 cows were assigned to CTC and IHF treatment groups, respectively. Results for cows with both bandaged and non-bandaged lesions are consistent with overall findings. Cure rates for bandaged CTC lesions had a cure rate of 76 per cent ($n=13$) while 41 per cent ($n=7$) of non-bandaged CTC lesions were cured. Bandaged IHF lesions had a cure rate of 55 per cent ($n=6$), while 9 per cent ($n=1$) of non-bandaged IHF lesions were cured. Transition to chronic (M4) stage was lower for bandaged CTC lesions (6 per cent; $n=1$) than non-bandaged CTC lesions (53 per cent, $n=9$). Similarly, 82 per cent ($n=9$) of non-bandaged IHF lesions transitioned to chronic M4 stage while 9 per cent ($n=1$) of bandaged IHF lesions transitioned.

DISCUSSION

The aim of this study was to evaluate the effect of bandaging in healing lesions with different topical DD treatments. Overall, the cure rate was significantly higher for bandaged lesions (groups 2 and 4) than non-bandaged lesions (groups 1 and 3) regardless of antibiotic (eg, CTC) and non-antibiotic (eg, IHF) treatment. An increased cure rate of painful ulcerative M2 lesions using bandages reduces pain among affected animals, thereby improving animal welfare. Although both groups had the highest cure rates, a 15 per cent difference in cure rates between the groups was detected. A difference in efficacy between the two treatments (CTC and IHF) could be possible explanations, even if they were not identified by the Cox regression as a significant factor in risk of cure. To detect if this was due to sample size, a power analysis with 80 per cent power at $P\leq 0.05$ level of significance determined that the authors needed a sample size of 115 animals per group to evaluate the effect of the active component on cure.

Specifically, 86 per cent and 71 per cent of lesions were cured under bandaged CTC and IHF treatment, respectively by week 4. By contrast, the cure rates for non-bandaged CTC (44 per cent) and IHF (30 per cent) treatment were nearly half that of bandaged lesions within the same period of time. Most healing occurred within the first three weeks of trial. This suggests that maybe longer treatment is less effective. Cure rates for bandaged antibiotic treatment match previous findings of 86–87 per cent.^{18 19} The cure rates for bandaged IHF (71 per cent) and non-bandaged tetracycline (44 per cent) align with a previous study on IHF (Holzhauer and others,²⁹ IHF: 92 per cent

and CTC: 68 per cent), whereby differences in layout of the study, definition of 'cure' and environmental factors, like barn cleanliness and moisture, as well as the M-stage and the anatomical location of the lesion^{30 31} may explain small differences in results. Researchers should further explore the impact of the environment on bandage effectiveness.

Surprisingly, the authors found that bandaging had a significant effect in reducing the transition of M2 into M4 lesions. Many researchers agree that preventing lesions from progressing to M4 is the key to controlling DD¹⁵ because M4 lesions tend to be more hyperkeratotic compared with M2 lesions,³² which complicates the penetrability of topical treatments.³¹ Schultz and Capion³¹ found that M4 lesions were 13.3 times less likely to improve than their M2 equivalents ($P>0.01$). Cows with a history of M4 lesions suffer recurrent lesions that often progress into open lesions on proliferated skin (M4.1).¹⁵

Considering the findings, the authors must address four limitations. First, this study omitted a placebo group for animal welfare reasons. In fact, previous studies find that, M2 lesions, the most painful stage of DD, either show no improvement or even worsen when treated with water spray.³³ Toholj and others¹⁹ researched the effect of bandaging alone. They concluded that bandaging lesions after cleaning with a dry towel had no effect on healing. However, lesions receiving bandaged CTC treatment had significantly higher cure rates. To minimise animal distress, the authors decided to compare the effect of two registered products rather than using a placebo group. Still, the authors acknowledge the importance of having a control group as cure rates are influenced by a myriad of factors (eg, floor cleanliness, cow-to-cubicle ratio and correct cubicle size).³⁴ Replicating this study with negative control groups could entail washing the lesion with soap and water, drying it with a towel and then either bandaging or non-bandaging at weekly intervals, up to five times. Second, the authors must mention that the CTC treatment did not follow the instructions of the manufacturer, who recommends two applications at 30 seconds intervals, once or twice daily for three consecutive days. It was only feasible for us to treat cows once per week, which is comparable to the study by Toholj and others.¹⁹ This may have reduced the cure rate of lesions treated with CTC. Third, detecting the presence of treponemes in histological samples of lesion post-treatment was beyond the scope of this project. While the findings strongly suggest that bandaging prevented the transition of M2 lesions into the chronic M4 stage, the potential lingering presence of treponemes on the skin may cause recurrent infections. Berry and others¹⁵ found that all lesions receiving bandaged lincomycin treatment histologically healed by day 12. However, only roughly half were histologically healed by days 23 and 37. Their findings are consistent with other studies.^{35 36} Future studies should further explore histological long-term reoccurrence rates of bandaged DD lesions. Fourth, this study only examined the effects of bandaging on lesions

adjacent to the coronary band between the heels as these heal significantly faster than lesions on interdigital skin.³⁷ Further studies are required to analyse the effects of bandaging on interdigital lesion.

In this study, cure rates did not differ significantly between bandaged CTC and IHF treatment. The implications of this is that farmers can choose treatment options based on their needs and concerns. The hazard potential of extensive antibiotic treatment, namely antibiotic resistance and the presence of antibiotic residue in milk, meat and surrounding soil of treated animals,^{38–40} may influence strong preference for non-antibiotic formulations. Furthermore, a long history of tetracycline treatment on a farm can cause a reduced efficacy under field conditions.³⁷ Therefore, some researchers have tested different non-antibiotic treatments to overcome these challenges. One study showed that a non-antibiotic paste (Protexin Hoof-Care) containing metallic salts and organic acids is effective against DD.⁴¹ Another study revealed that salicylic acid and polyurethane dressings are useful for the treatment of DD lesions.⁴² A recent study by Chiba and others⁴³ showed that allyl isothiocyanate, a natural extract from plants of family Brassicaceae, is also effective in treating DD. These studies demonstrate that non-antibiotic agents are effective alternatives in the treatment of DD. The authors results highlight an increased efficacy of non-antibiotic treatment in combination with bandaging.

Despite showing the effect of bandaging in promoting healing in treated cows, this study also acknowledges the impracticality of bandaging. The costliness of bandaging, in terms of time and resources,¹⁹ may fatigue farmers. The bandaging process demands skill in applying and removing bandages to protect cows from ischaemic injuries.²⁰ This study used a moderately complex bandaging technique, whereby a layer of beech tar was added to a padded bandage. This technique might have been effective in healing 70 per cent–86 per cent of bandaged lesions because the beech tar layer waterproofed and stabilised the bandage which protected the lesion and prolonged exposure to treatment. Future studies should explore alternatives that mimic the effect of bandaging in protecting and prolonging treatment to lesions,^{18 44} but are more practical in terms of time and application. Such information could help farmers make informed decisions about resources and costs, which may further increase adherence.

CONCLUSION

In this study, the authors found that cure rates for bandaged treatment were significantly higher than non-bandaged treatment regardless of treatment condition (CTC vs IHF), that bandaging significantly prevented the transition of M2 into chronic M4 lesions and that the highest cure rate for bandaging was roughly during the first three weeks of treatment. The authors also found that wound size rather than bandaging had a significant effect on locomotion.

Acknowledgements The authors would like to thank the dairy farmers Mr. Jürgen Tripke and Mrs. Mohr for their participation and interest in this study and the claw trimmers of 'Klaupflege Findeisen GmbH & Co. KG' and Holger Mehler for their patience and accurate trimming of the dairy cows.

Contributors MK and KEM contributed substantially to the conception and design of this study, as well as the acquisition of data. MK, TB, EA and DD analysed and interpreted data. MK and TB wrote an early version of the manuscript, which KEM, EA and DD revised critically for important intellectual content. All authors finally approved the version to be published.

Funding Funding for this project was partly provided by Cusanuswerk scholarship. The study was also supported by the Open Access Publication Fund of Freie Universität Berlin.

Competing interests None declared.

Ethics approval This study was approved for ethical and medical issues by the Regional Veterinary Department Berlin (Landesamt für Gesundheit und Soziales, Number StN 0014-18).

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Data sharing statement Additional unpublished data are not available.

Open access This is an open access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

REFERENCES

- 1 Blowey RW, Sharp MW. Digital dermatitis in dairy cattle. *Vet Rec* 1988;122:505–8.
- 2 Wells SJ, Garber LP, Wagner BA. Papillomatous digital dermatitis and associated risk factors in US dairy herds. *Prev Vet Med* 1999;38:11–24.
- 3 Cornelisse JL, Peterse DJ, Toussaint-raven E. A digital disorder in dairy cattle, digital dermatitis? *Neth J Vet Assoc* 1981;106:452–5.
- 4 Wilson-Welder JH, Alt DP, Nally JE. The etiology of digital dermatitis in ruminants: recent perspectives. *Vet Med Res Rep* 2015;6:155–64.
- 5 Krull AC, Shearer JK, Gorden PJ, et al. Deep sequencing analysis reveals temporal microbiota changes associated with development of bovine digital dermatitis. *Infect Immun* 2014;82:3359–73.
- 6 Blowey R. Diseases of the bovine digit: Part 1 Description of common lesions. *In Pract* 1992;14:85–90.
- 7 Döpfer D, Koopmans A, Meijer FA, et al. Histological and bacteriological evaluation of digital dermatitis in cattle, with special reference to spirochaetes and *Campylobacter faecalis*. *Vet Rec* 1997;140:620–3.
- 8 Miliinovich GJ, Turner SA, McLennan MW, et al. Survey for papillomatous digital dermatitis in Australian dairy cattle. *Aust Vet J* 2004;82:223–7.
- 9 Read D, Walker R. Comparison of papillomatous digital dermatitis and digital dermatitis of cattle by histopathology and immunohistochemistry. *In Proceedings of the 10th international symposium on lameness in ruminants*, Lucerne, 1998:268
- 10 Somers JG, Frankena K, Noordhuizen-Stassen EN, et al. Risk factors for digital dermatitis in dairy cows kept in cubicle houses in The Netherlands. *Prev Vet Med* 2005;71:11–21.
- 11 Oliveira VHS, Sørensen JT, Thomsen PT. Associations between biosecurity practices and bovine digital dermatitis in Danish dairy herds. *J Dairy Sci* 2017;100:8398–408.
- 12 Laven RA, Logue DN. Treatment strategies for digital dermatitis for the UK. *Vet J* 2006;171:79–88.
- 13 Reichenbach H, Jones B, Bewley J. Comparison of Two Footbath Solutions for Digital Dermatitis Control in Dairy Cattle: Two Point Two Percent (2.2%) Copper Sulfate with an Acidifier versus Five Percent (5%) Copper Sulfate. *Intern J Appl Res Vet Med* 2017;15 <https://www.jarvm.com/articles/Vol15Iss2/Vol15%20Iss2Jones.pdf>.
- 14 Relun A, Lehebel A, Bareille N, et al. Effectiveness of different regimens of a collective topical treatment using a solution of copper and zinc chelates in the cure of digital dermatitis in dairy farms under field conditions. *J Dairy Sci* 2012;95:3722–35.
- 15 Berry SL, Read DH, Famula TR, et al. Long-term observations on the dynamics of bovine digital dermatitis lesions on a California dairy after topical treatment with lincomycin HCl. *Vet J* 2012;193:654–8.



- 16 Relun A, Guatteo R, Auzanneau MM, *et al.* Farmers' practices, motivators and barriers for adoption of treatments of digital dermatitis in dairy farms. *Animal* 2013;7:1542–50.
- 17 Cramer G, Lissemore KD, Guard CL, *et al.* Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle. *J Dairy Sci* 2008;91:3888–95.
- 18 Manske T, Hultgren J, Bergsten C. Topical treatment of digital dermatitis associated with severe heel-horn erosion in a Swedish dairy herd. *Prev Vet Med* 2002;53:215–31.
- 19 Toholj B, Kos J, Smolec O, *et al.* Efficiency of different therapeutic protocols in treating digital dermatitis in dairy cows. *Veterinarski arhiv* 2012;82:133–42 www.vet.unizg.hr/vetarhiv/papers/2012-82-2-2.pdf.
- 20 Anderson DM, White RA. Ischemic bandage injuries: a case series and review of the literature. *Vet Surg* 2000;29:488–98.
- 21 Gomez A, Döpfer D, Cook NB, *et al.* Non-healing hoof lesions in dairy cows. *Vet Rec* 2011;169:642.
- 22 Cutler JH, Cramer G, Walter JJ, *et al.* Randomized clinical trial of tetracycline hydrochloride bandage and paste treatments for resolution of lesions and pain associated with digital dermatitis in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2013;96:7550–7.
- 23 Nishikawa A, Taguchi K. Healing of digital dermatitis after a single treatment with topical oxytetracycline in 89 dairy cows. *Vet Rec* 2008;163:574–6.
- 24 O'Connor AM, Sargeant JM, Gardner IA, *et al.* The REFLECT statement: methods and processes of creating reporting guidelines for randomized controlled trials for livestock and food safety by modifying the CONSORT statement. *Zoonoses Public Health* 2010;57:95–104.
- 25 Flachowsky G, Jeroch H, Kirchgeßner M, *et al.* *Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtinder.* Frankfurt: DLG-Verlag, 2001.
- 26 Döpfer D, Van Boven M, Jong DE. A mathematical model for the dynamics of digital dermatitis in dairy cattle. In *Proceedings of the 13th ICPD*, Lansing, USA, 2004:37.
- 27 Sprecher DJ, Hostetler DE, Kaneene JB. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology* 1997;47:1179–87.
- 28 R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing.* Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2015.
- 29 Holzhauer M, Bartels CJ, van Barneveld M, *et al.* Curative effect of topical treatment of digital dermatitis with a gel containing activated copper and zinc chelate. *Vet Rec* 2011;169:555.
- 30 Bathina H, Lising J, Hemling T, *et al.* Correlation of the stage of lesion to the effectiveness of treatment of digital dermatitis. In *Proc. 12th Intern. Symp. Lameness Ruminants*, Orlando, FL, 2002:381–2.
- 31 Schultz N, Capion N. Efficacy of salicylic acid in the treatment of digital dermatitis in dairy cattle. *Vet J* 2013;198:518–23.
- 32 Klitzgaard K, Boye M, Capion N, *et al.* Evidence of multiple *Treponema* phylotypes involved in bovine digital dermatitis as shown by 16S rRNA gene analysis and fluorescence in situ hybridization. *J Clin Microbiol* 2008;46:3012–20.
- 33 Esch M. Untersuchungen zur Wirksamkeit eines Poly-Vinyl-Pyrrolidon (PVP)-Jodkomplexes zur Behandlung der Dermatitis digitalis (D.d.) und zum Bewegungsverhalten von an D.d. erkrankten Milchkühen. 2004. Dissertation https://edoc.ub.uni-muenchen.de/2661/1/Esch_Monika.pdf.
- 34 Holzhauer M. Foot bathing dairy cows with antibiotics. *Vet Rec* 2017;181:270.1–270.
- 35 Berry SL, Read DH, Walker RL, *et al.* Clinical, histologic, and bacteriologic findings in dairy cows with digital dermatitis (footwarts) one month after topical treatment with lincomycin hydrochloride or oxytetracycline hydrochloride. *J Am Vet Med Assoc* 2010;237:555–60.
- 36 Holzhauer M, Bartels CJ, Döpfer D, *et al.* Clinical course of digital dermatitis lesions in an endemically infected herd without preventive herd strategies. *Vet J* 2008;177:222–30.
- 37 Shearer JK, Hernandez J. Efficacy of two modified nonantibiotic formulations (Victory) for treatment of papillomatous digital dermatitis in dairy cows. *J Dairy Sci* 2000;83:741–5.
- 38 Britt JS, Carson MC, von Bredow JD, *et al.* Antibiotic residues in milk samples obtained from cows after treatment for papillomatous digital dermatitis. *J Am Vet Med Assoc* 1999;215:833–6.
- 39 Hamscher G, Sczesny S, Abu-Qare A, *et al.* [Substances with pharmacological effects including hormonally active substances in the environment: identification of tetracyclines in soil fertilized with animal slurry]. *Dtsch Tierarztl Wochenschr* 2000;107:332–4.
- 40 Wallmann J, Schröter K, Wieler L, *et al.* Antibiotic sensitivity in selected veterinary pathogens from sick food animals in Germany: Results 2001 from the study model of the national antibiotic resistance monitoring. *Tierarztl Prax Ausg G* 2003;31:122–31.
- 41 Kofler J, Pospichal M, Hofmann-Parisot M. Efficacy of the Non-antibiotic Paste ProtexinR Hoof-Care for Topical Treatment of Digital Dermatitis in Dairy Cows. *J Vet Med A* 2004;51:447–52.
- 42 Fiedler A, Sauter-Louis C, Maierl J. Polyurethane dressing, tetracycline and salicylic acid use for treatment of digital dermatitis in cattle. A comparative study. *Tierarztl Prax Ausg G* 2015;43:350–8.
- 43 Chiba K, Miyazaki T, Sekiyama Y, *et al.* The therapeutic efficacy of allyl isothiocyanate in cows with bovine digital dermatitis. *J Vet Med Sci* 2017;79:1191–5.
- 44 Watson C. *Bandaging. Lameness in cattle.* London: The Crowood Press, 2007.

3.2 2. Publikation: Randomized clinical trial evaluating the effect of bandaging on the healing of sole ulcers in dairy cattle

Dieser Artikel wurde veröffentlicht im:
Veterinary and Animal Science
Volume: 8

Received July 1, 2019
Revision received August 16, 2019
Accepted August 16, 2019
First published August 28, 2019

Available online August 28, 2019

Authors:
Marcus Klawitter, Theo Broderick Braden, Kerstin Elisabeth Müller

DOI: [10.1016/j.vas.2019.100070](https://doi.org/10.1016/j.vas.2019.100070)

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



Randomized clinical trial evaluating the effect of bandaging on the healing of sole ulcers in dairy cattle

Marcus Klawitter^{a,*}, Theo Broderick Braden^b, Kerstin Elisabeth Müller^a

^a Clinic for Ruminants and Swine, Freie Universität Berlin, Berlin, Germany

^b MSSW, School of Medicine, UW-Madison, Madison, WI 53706, United States

ARTICLE INFO

Keywords:

Dairy cattle
Lameness
Sole ulcer
Treatment
Bandage
Povidone-iodine

ABSTRACT

This randomized clinical trial investigated the effect of bandaging on 56 uncomplicated sole ulcers (SU) among a sample of 52 dairy cows. Following therapeutic hoof trimming and povidone-iodine treatment, all cows received a wooden block on the unaffected claw and were randomly assigned into either a bandaged or non-bandaged group. The bandaging process was standardized and applied by the same veterinarian. Wound size and locomotion were measured weekly. Overall, 19 of 32 SU (59.4%) in the non-bandaged group were healed at week 4 compared to 7 of 24 ulcers (29.2%) in the bandaged group. Healing was significantly higher for non-bandaged than bandaged SU ($P = 0.024$). Bandaging had no effect on locomotion ($P = 0.9$). Cows with a lower locomotion (Sprecher 1 + 2) had significantly smaller lesion sizes (median lesion size, 0.5 cm^2 , IQR = 0.21 to 0.92 cm^2) than animals with locomotion score 3–5 (median lesion size, 0.9 cm^2 , IQR = 0.42 to 1.81 cm^2 ; $P < 0.001$). A multivariate cox proportional hazard regression indicated that bandaging and parity had a significant effect on healing. Specifically, bandaged SU had a significantly lower hazard ratio (HR) to cure compared to non-bandaged SU (HR = 0.32 ; $P = 0.01$; 95% CI = 0.13 to 0.78). Furthermore, cows with parity ≥ 3 had a significantly higher HR to cure compared to cows in their first lactation (HR = 2.73 ; $P = 0.025$; 95% CI = 1.14 to 6.56).

1. Introduction

Lameness in dairy cattle is a global issue that causes impaired animal wellbeing (Whay, Waterman & Webster, 1997), milk production loss (Amory et al., 2008), decreased fertility (Hernandez, Garbarino, Shearer, Risco & Thatcher, 2005) and a higher culling risk (Cramer, Lissemore, Guard, Leslie & Kelton, 2009) leading to substantial economic losses in the dairy industry. Sole Ulcer (SU) is considered the most expensive claw horn disorder with a loss of \$178 USD to \$216 USD per case (Cha, Hertl, Bar & Gröhn, 2010; Dolecheck, Overton, Mark & Bewley, 2019).

With a prevalence of 5.6 to 9.2%, SU is one of the most common non-infectious cause of lameness in cattle (Cramer, Lissemore, Guard, Leslie & Kelton, 2008; Holzhauer, Hardenberg & Bartels, 2008; Manske, Hultgren & Bergsten, 2002). Sole ulcer is defined as a penetration through the sole horn, whereby fresh or necrotic corium is exposed (Egger-Danner et al., 2014). The depth of the affected tissue determines the severity of the SU. In uncomplicated lesions, the corium is exposed during this initial stage of the condition. Complicated SU, however, can develop once deeper structures of the claw become infected (Smedegaard, 1985). Often seen in cows restricted to concrete surfaces,

sole ulcers mostly manifest on the lateral claw of the rear foot and can also occur bilaterally (Greenough & Weaver, 1997). Sole ulcer can cause chronic pain. For more than 28 days after treatment, a lowered nociceptive threshold was found in cows with SU (Whay, Waterman, Webster & O'Brien, 1998).

Accordingly, standard treatment for uncomplicated sole ulcers includes therapeutic trimming and supporting the unaffected claw with a wooden block to relieve weight bearing pressure from the affected claw. This promotes both pain relief and healing (Greenough, 1987). Though researchers contraindicate the use of bandaging claw horn lesions alone (Pyman, 1997; White, Glickman, Embree, Powers & Pearson, 1981), no study has investigated the benefit of applying a block to the unaffected claw and bandaging the affected claw. Protecting the exposed corium from mechanical irritation and slurry may prove beneficial for healing of SU (J. K. Shearer, Plummer & Schleining, 2015). Bandaging has been shown to be effective in healing other claw diseases by prolonging the exposure of treatment to the lesion (Klawitter, Döpfer, Braden, Amene & Mueller, 2019). A review, however, by Potterton et al. (2012) highlights a need for more evidence-based treatment options for claw lesions.

Therefore, the objective of this study was to evaluate the effect of

* Corresponding author.

E-mail address: marcus.klawitter@fu-berlin.de (M. Klawitter).

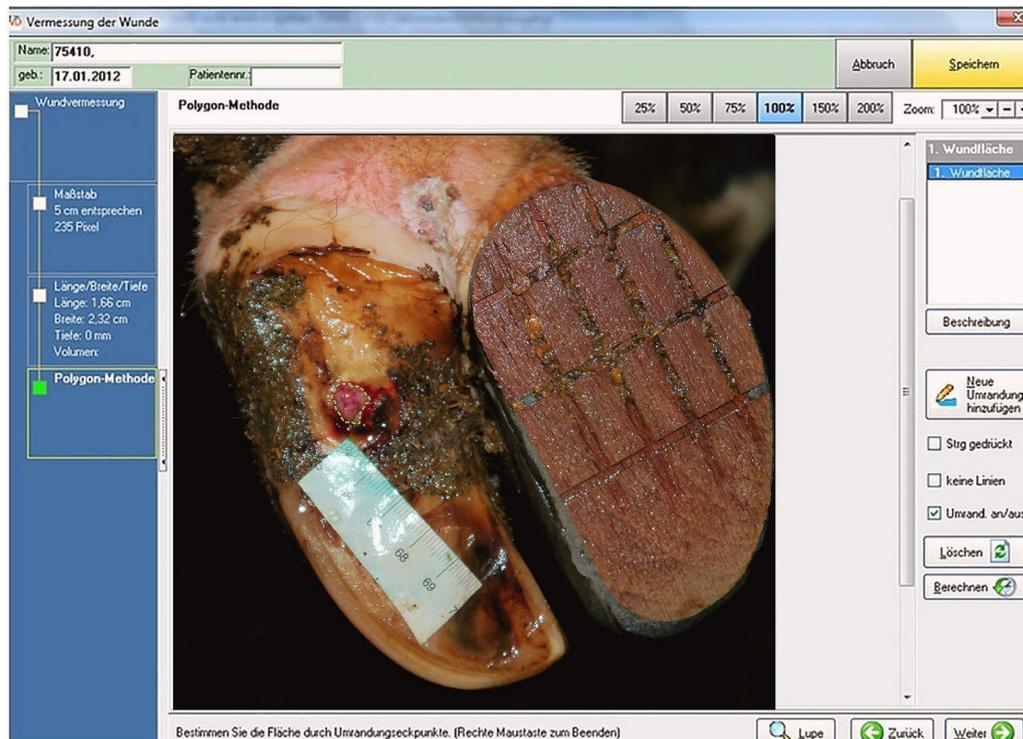


Fig. 1. The computer software “Jalomed WD” was used to measure the length, width and the lesion wound size of SU’s (digital planimetry). The software calculated the lesion size using the polygon-method.

bandaging on the healing process in cows affected by SU in addition to applying a wooden block to the unaffected claw.

2. Material and methods

2.1. Study design and reporting

The present study was a positively controlled, randomized clinical trial (RCT) to test the effect of bandaging on the healing process of SU in dairy cows. The study manuscript followed the reporting guidelines of the REFLECT statement for randomized controlled trials in livestock (O’Connor et al., 2010). A positive control was chosen, whereby all animals received treatment. This prevented unnecessary animal suffering caused by untreated SUs. The Regional Veterinary Department Berlin (Landesamt für Gesundheit und Soziales) approved this study for ethical and medical issues (Number StN 0014-18).

2.2. Farm design and inclusion criteria

This study was conducted on a commercial dairy farm between August 2013 and January 2015 in Northeastern Germany. The farm comprises 800 dairy cows, excluding offspring.

Over the study period of 18 months, animals were enrolled only once. Animals included into the study ranged from being in their first to seventh lactation, belonged to German-Holstein breed and were kept in a free-stall housing system with concrete flooring and cubicles fitted with mattresses. All cows received professional routine claw trimming 2–3 times a year. Enrolled cows were diagnosed with uncomplicated SU at the typical place (Zone 4, according to Greenough & Vermunt, 1991) and had a sound partner claw for blocking. Cows that needed non-steroidal anti-inflammatory drug (NSAID) or antibiotic treatment during the period of the study were excluded. To prevent confounding the effects of treatment, footbaths were not performed during the duration of the trial.

2.3. Clinical examination and documentation recording

Locomotion was scored by the same person according to a 5-point locomotion scoring system (Sprecher, Hostetler & Kaneene, 1997), which assessed the presence or absence of an arched back and the animal’s gait when standing or walking on a 12 m alley with concrete flooring. The locomotion scorer was not blinded to treatment assignment. Locomotion scores for normal to mildly lame cows ranged from 1 to 2; scores for moderately lame to severely lame cows ranged from 3 to 5. Afterwards in the trimming chute, all hooves were brushed, cleaned with soap and water, dried with a towel and trimmed by a professional hoof trimmer following the Dutch method (Toussaint Raven, 1985). Lesions were digitally photographed and measured using the software Jalomed WD (Jalomed GmbH, Lübeck, Germany; Fig. 1), which records and measures changes in lesion size and diameter (Öien, Håkansson, Hansen & Bjellerup, 2002; Richard, Daures, Parer-Richard, Vannereau & Boulot, 2000). Therefore, a digital picture of the wound including a sheet of paper with the size of 5 cm was used to calibrate measurement. Afterwards the length and the width of the lesion were measured. By manually surrounding the outer part of the lesion, the lesion size was calculated using the polygon-method. The lesions, thereafter, were classified and recorded according to a modified standardized scoring system comprising three stages (Fiedler, 2004). Sole ulcer in Stage 1 have a diameter of 1 cm or less. The diameters of SU in Stage 2 ranged from 1 to 2.5 cm. The diameters of SU lesion in Stage 3 had a diameter of 2.5 or greater. Lesion size and locomotion were evaluated, measured and photographed at week 0 and every 7 d (± 1 d) for four consecutive weeks, resulting in a total of up to five observations.

2.4. Randomization and treatments administered

Enrolled animals were randomly assigned to treatment group 1 or 2 by using a random number chart from a randomization generator. Cows in group 1 (G1) received a therapeutic foot trim using the Dutch five step method (Toussaint Raven, 1985). The sole horn around the ulcer

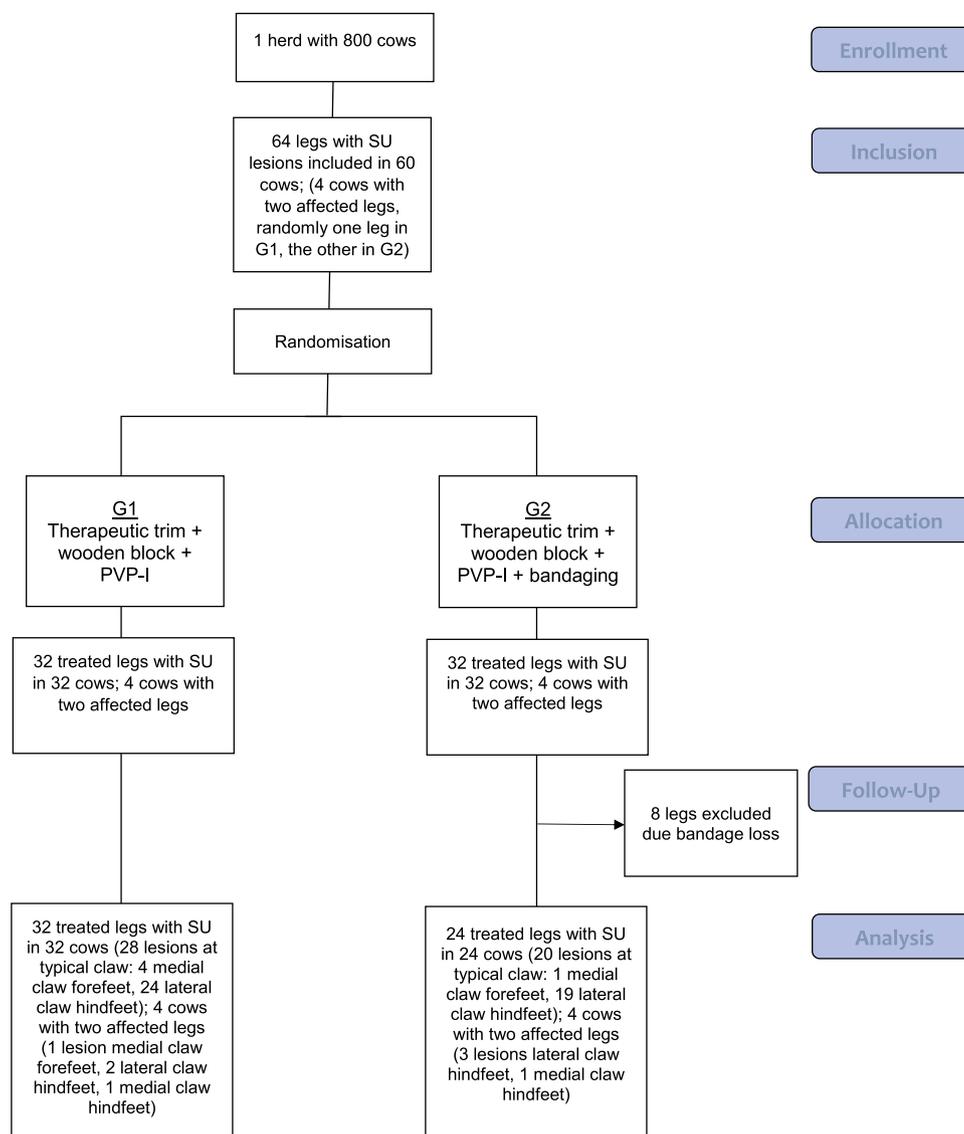


Fig. 2. Flow diagram of leg inclusion of a randomized clinical trial of two groups. SU, sole ulcer; PVP-I, Povidone-iodine.

Table 1

Descriptive statistics of animals in two treatment groups in a randomized clinical trial conducted to test the effect of bandaging on healing of sole ulcers in dairy cows.

	Group 1 Therapeutic trim + wooden block + PVP-I (n = 32)	Group 2 Therapeutic trim + wooden block + PVP-I + bandaging (n = 24)	P value
Parity	1	2	0.2
Median (IQR)	1–2.25	1–3.25	
305-day ECM (kg)	8483	9018	0.7
Median (IQR)	7560–10,029	7478–10,146	
DIM (days)	191	177	0.9
Median (IQR)	116–231	121–271	
Initial lesion size (cm ²)	1.18	1.7	0.3
Median (IQR)	0.7–2.56	1.01–2.43	

IQR, Interquartile range; 305-d ECM, 305-day Energy corrected Milk; DIM, Days in Milk; PVP-I, Povidone-iodine.

including wall horn was carefully dished-out to remove pressure. Afterwards a wooden block was glued on the unaffected claw using Demotec 95 (Demotec®, Nidderau, Germany) to elevate the affected claw. To reduce microbial growth, 15 g of a povidone-iodine (PVP-I) ointment (Vet-Sept® Salbe, Albrecht, Aulendorf, Germany) was applied onto the ulcer. Cows in group 2 (G2) received the same treatment as G1, but also a bandage around the affected claw. The bandaging technique was standardized and always administered by the same person to ensure methodological reliability. A 10 × 20 cm gauze square (NO-BATOP®8, NOBA Verbandmittel Danz GmbH u. Co KG, Wetter, Germany) was applied to the affected area to keep the PVP-I ointment in place and to cover the lesion. Subsequently, cotton wool padding (Klauen- und Polsterbinde, Albrecht GmbH, Aulendorf, Germany) was applied in thin circular layers around the foot starting at the interdigital cleft. A strong, rigid bandage (NOBASOLID®, NOBA Verbandmittel Danz GmbH u. Co KG, Wetter, Germany) covered the underlying application in circular layers, starting at the interdigital cleft. The bandage twisted at 180° to include the tip of the claw and to ensure stability. Finally, Rusterholz technique was applied whereby the bandage was knotted at the lateral side of the hoof to alleviate pressure on the tendons. Adhesive tape (08135 Gewebeklebeband, Wirtschaftsgenossenschaft deutscher Tierärzte eG, Garbsen, Germany) was applied to

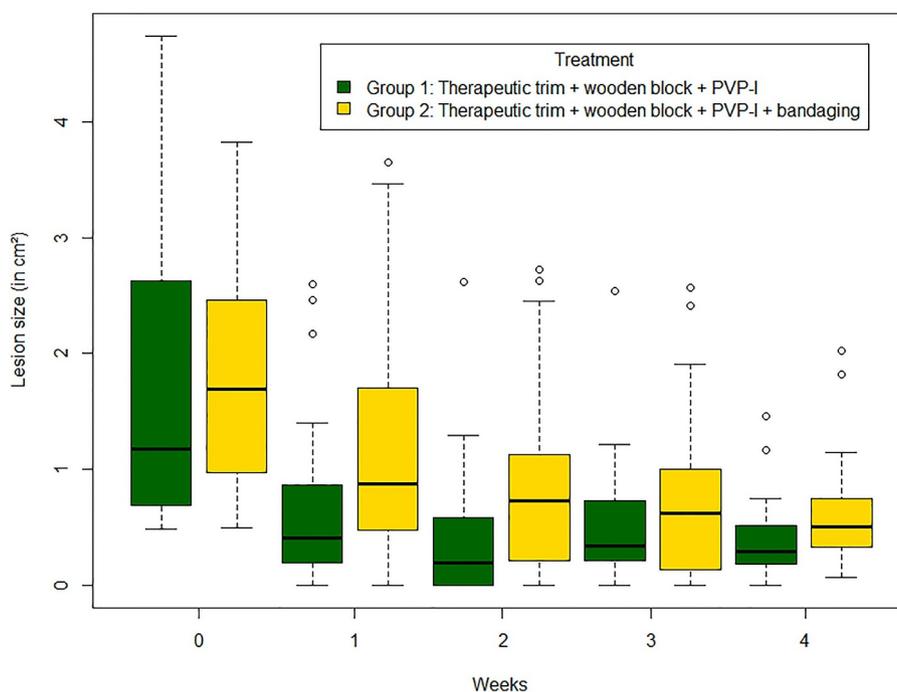


Fig. 3. Boxplot showing lesion sizes of sole ulcer in the non-bandaged Group 1 and the bandaged Group 2 at each examination in a randomized clinical trial. PVP-I, Povidone-iodine.

Table 2

Treatment group assignment and effect of different therapeutic protocols for sole ulcer therapy of 56 lesions in 52 dairy cows in a randomized clinical trial.

Group	Treatment	No. of SU	No. of healed SU* (%)
1	Therapeutic trim + wooden block + PVP-I	32	19 (59.4%)
2	Therapeutic trim + wooden block + PVP-I + bandaging	24	7 (29.2%)

* All transitions from SU with exposed corium to lesions fully covered with new horn.

the knot to prevent breakage. An outer layer of beech tar (Wirtschaftsgenossenschaft deutscher Tierärzte eG, Garbsen, Germany) was brushed onto the bandage to waterproof the bandage against slurry (Lischer et al., 2000). All cows remained on a dry surface for 30 min post treatment. For cows with SU lesions on both legs at week 0, lesions were randomly assigned into either the bandaged or non-bandaged group through coin flipping. The same person inspected all animals at weekly intervals. A blinding of the person administering the intervention to group assignment was omitted because of feasibility reasons. Treatment ended for cows deemed healed, which was defined as lesions fully covered with new horn. Unhealed lesions received up to five repeated applications of treatment during weekly inspections for up to four weeks after inclusion into study.

2.5. Statistical analysis

Data analyses were performed using R (V.3.5.2, R Core Team, 2018). A Wilcoxon Rank Sum Test measured differences in bivariate populations. Results of the Wilcoxon Rank Sum Test are reported as median and interquartile range (IQR). Kaplan-Meier survival functions and Cox proportional hazard regression estimated the time until cure for sole ulcers. Specifically, the multivariate Cox proportional hazard regression was performed in a backward stepwise manner. The event of “cure” was the variable of interest, while bandaging, parity, initial lesion size, locomotion score, 305-d energy corrected milk (305-d ECM) and interaction terms for parity by locomotion score and

locomotion score by initial lesion size were covariates.

The variable with the highest P-value was eliminated at each step with reanalysis between steps, until the final model was obtained. Results of the Cox proportional hazard regression are reported as hazard ratios (HR) with 95% confidence intervals (CI). It was assumed that the probability to cure was the same for SU lesions recruited early and late in the study. This assumption was tested by comparing the survival curves between cohorts recruited early in the study to those recruited late.

Furthermore, a random effect of having two SU was added to the Cox mixed-effects model to assess its' impact on healing. An ANOVA compared the model with the random effect of having two SU to a multivariate Cox proportional hazard model that omitted this effect. For all tests the level of significance was set at $P < 0.05$.

3. Results

3.1. Descriptive results

In total, 64 sole ulcers in 60 cows were included into this study at week 0. Cows that lost their bandage at the time of follow up were excluded from this study ($n = 8$ sole ulcers in 8 cows); resulting in a final sample size of 52 cows with 56 lesions. Four cows had two affected legs. 86% of SU (48/56 lesions) were located at the typical claws (43/56 hind lateral claw; 5/56 lesions front medial claw). A flow diagram of leg inclusion is shown in Fig. 2. Differences for parity, 305-d ECM production and initial lesion size between both treatment groups were calculated using the Wilcoxon Rank Sum Test and are shown in Table 1.

3.2. Bivariate analysis

Bandaging of SU had no effect on animal's locomotion ($P = 0.9$). But cows with lower locomotion scores (Sprecher 1 + 2) had significantly smaller lesion sizes (median lesion size, 0.5 cm², IQR = 0.21 to 0.92 cm²) than animals with locomotion score 3–5 (median lesion size, 0.9 cm², IQR = 0.42–1.81 cm²; $P < 0.001$). The distribution of lesions sizes in G1 and G2 at each examination is shown in Fig. 3.

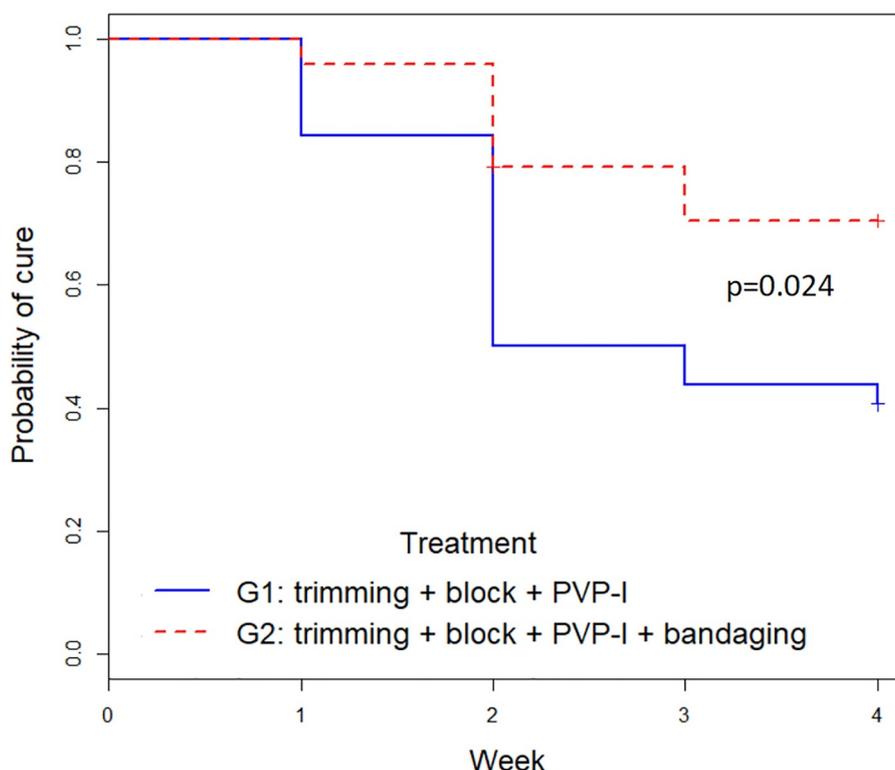


Fig. 4. Kaplan-Meier survival plots for probability of cure for sole ulcers stratified by two treatment groups enrolled in a randomized clinical trial ($P = 0.024$). PVP-I, Povidone-iodine.

3.3. Survival analysis—time until healing

By week four, 59.4% of non-banded ($n = 19$, G1) and 29.2% of banded SU ($n = 7$, G2) were macroscopically deemed healed (Table 2). The log-rank test identified a significantly higher healing rate for SU in the non-banded group compared to the banded group ($P = 0.024$). Fig. 4 displays a Kaplan–Meier Graph of the estimated probability of cure as the outcome of interest for both treatment groups. A multivariate Cox proportional hazard regression found that bandaging and parity had a significant effect on healing. Banded SU had a significantly lower hazard ratio (HR) to cure compared to non-banded SU (HR = 0.32; $P = 0.01$; 95% CI = 0.13 to 0.78). Furthermore, cows with a lactation number ≥ 3 had a significantly higher hazard ratio to cure compared to cows in their first lactation (HR = 2.73; $P = 0.025$; 95% CI = 1.14 to 6.56, Fig. 5).

Results of the four cows with two affected legs matched general findings. More SU healed in the non-banded G1 (3/4 SU) compared to the banded G2 (1/4 SU). The ANOVA found no significant difference in the multivariate Cox proportional hazard model with the random effect of having two SU compared to a model that omitted this effect ($P = 0.6$).

4. Discussion

Lameness is one of the most significant endemic disease problems facing the dairy industry. Claw horn lesions (principally sole hemorrhage, sole ulcer, and white line disease) are some of the most prevalent conditions. Though thousands of cows are treated for these conditions every year (Thomas et al., 2015), experimental evidence is limited on the most effective treatment protocols (Potterton et al., 2012). A randomized, controlled clinical trial was conducted to investigate the effect of bandaging on healing in cows affected by SU in addition to applying a wooden block to the unaffected claw. Healing was defined as lesions fully covered with new horn.

The healing rate of non-banded lesions (59.4%) was twice the rate

of banded lesions (29.2%) at the fourth week of the study. Our healing rate of 59.4% for non-banded lesions was slightly below the one reported by Lischer, Dietrich-Hunkeler, Geyer, Schulze and Ossent (2001), whom observed a healing rate of 68.0% for non-banded lesions after 30 days of treatment. This study differs from previous ones as this is the first study to examine the effect of bandaging the affected foot in addition to blocking the sound foot. Previous studies either examined the solitary effect of bandaging the whole affected foot versus leaving the lesion uncovered (White et al., 1981), or studied elevation of the affected claw versus bandaging the whole affected foot (Pyman, 1997; Sala, Igna & Schuszler, 2008). Our results supported previous findings that bandaging does not improve the healing process in SU. Pyman (1997) compared three different treatment types for sole injuries (1) a wooden block, (2) a rubberized shoe, and (3) applying a padded bandage to the whole foot. The author concluded that both wooden blocks and rubberized shoes had the strongest effect on healing. Wooden blocks and rubberized shoes promoted healing through alleviating weight bearing pressure on the injured claw (Greenough, 1987). Within the context of our study, the elevation gained by blocking might have been diminished by the bandage. Furthermore, the reepithelization process may have been interrupted by the shearing friction between the rigid texture of the cotton layer on the delicate surface of the lesion.

Although our findings suggest that bandaging had no beneficial effect on healing uncomplicated sole ulcers, a bandage may be necessary for more severe cases and specific purposes like controlling hemorrhaging, preventing granulation tissue formation, or protecting large areas of exposed corium (Shearer & van Amstel, 2017) especially in unhygienic environment with slurry and faecals (Toholj, Kos, Smolec & Potkonjak, 2012). Bandaging is also indicated in non-healing SU lesions, whereby the exposed corium is infected with *Treponema* spp. (Evans et al., 2011). In these cases a rigorous surgical debridement in combination with an antibiotic spray (chlortetracycline), a block on the sound claw and a bandage led to 72.7% healing rate after 28 days (Kofler et al., 2015). Bandaging enhances the efficacy of treatment for

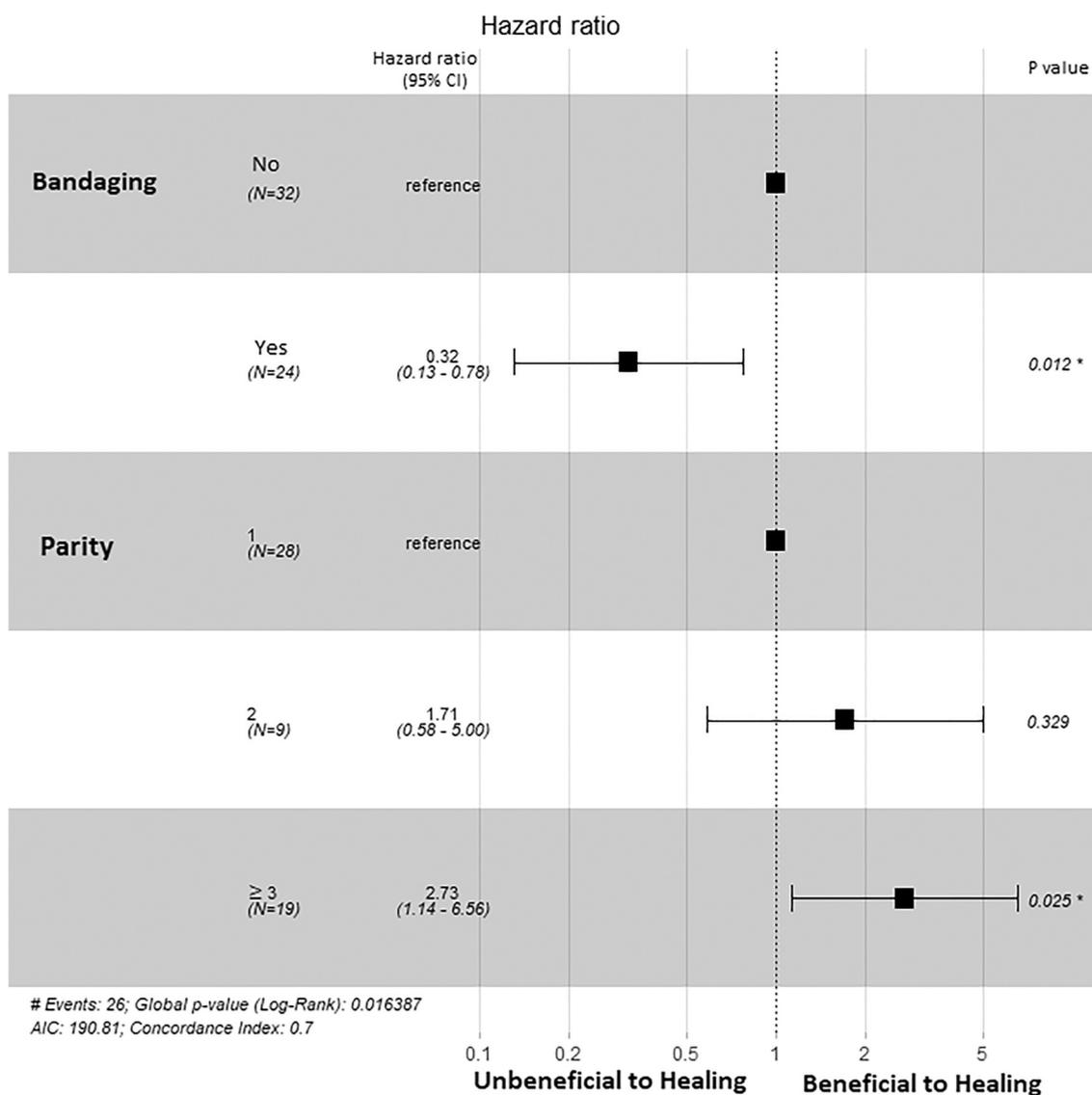


Fig. 5. Forest Plot shows the hazard ratios for cure of sole ulcers in relation to the significant covariates bandaging and parity. The hazard ratios with 95% confidence intervals (95% CI) are represented as black boxes and bars. The area to the right of the dotted vertical line represents the beneficial zone for healing.

Treponema related diseases because it promotes a prolonged exposure to treatment (Klawitter et al., 2019).

This study also found the highest occurrence of SU around 6 months in milk (G1: median 191 DIM, G2: median 177 DIM). This finding is similar to Barker et al. (2009), whom identified the highest rate of SU after 5 months in milk. Differences may stem from individual and farm differences and sample size.

Although parity of 4 or greater is a significant risk factor for developing a sole ulcer (Barker et al., 2009), our results indicated that the healing rate of SU was significantly faster among cows with a higher parity (parity ≥ 3 lactation) than those with a lower parity. Rank order within a mixed herd may explain this result. Cows with a higher lactation number tend to dominate cows with a lower lactation number (Phillips & Rind, 2002; Šárová et al., 2013). Dominant, typically multiparous cows are characterized by intense feeding behavior: spending less time at the feeding alley, consuming more food and water in shorter intervals, and ruminating longer and more quickly than primiparous cows (Dado & Allen, 1994). Furthermore, multiparous cows lie down longer than primiparous cows (Dippel, Schröder, Gutmann, Winckler & Spinka,). Accordingly, healing rates between multiparous and primiparous cows may stem from differences in behaviors that implicate weight bearing pressure on the affected foot. More research is needed to

confirm this assumption.

Sole ulcer is a very painful condition (Why et al., 1998). This study measured locomotion to approximate the degree of protection or irritation that bandaging could cause lesions. We found that the size of the SU, not bandaging, had a significant effect on locomotion whereby larger lesion sizes were associated with higher locomotion scores (Locomotion score 3–5). Theoretically, the number of damaged neurons increases with the size of the wound.

This study omitted the use of NSAIDs to detect changes in locomotion score between bandaged and non-bandaged groups. In general, the benefit of NSAIDs in the treatment of SU is mixed. Laven, Lawrence, Weston, Dowson and Stafford (2008) found no significant difference in outcomes for claw horn lesions treated with tolfenamic acid (2 mg/kg body weight) and a plastic shoe compared with a therapeutic trim alone. Thomas et al. (2015), however, demonstrated a benefit of NSAID treatment (ketoprofen; 3 mg/kg body weight) in addition to either a therapeutic trim or elevation of the diseased claw using a foot block. The authors concluded that NSAID inflammation reducing properties could promote reepithelization of the corium.

In a survey for treatment methods of claw lesions 59% of veterinarians and 53% of hoof trimmers reported the application of topical treatments (Kleinhenz et al., 2014). Following the principle of “first do

no harm” (Shearer & van Amstel, 2017), this study omitted the use of both caustic agents (e.g. copper sulfite) and oxytetracycline soluble powder as these treatments delay healing when directly applied to exposed corium (Shearer, Plummer & Schleining, 2015). Therefore, we chose PVP-I paste as an antiseptic ointment, which has a broad antimicrobial spectrum (WHO, 2016), a lack of resistance, efficacy against biofilms, and is well tolerated (Bigliardi et al., 2017). Clinical studies in human medicine showed that PVP-I does not impede wound healing (Banwell, 2006; Vermeulen, Westerbos & Ubbink, 2010).

Overall, we mention three limitations of our trial: First, the study took place on only one farm. Thomas et al. (2015) reported differences in the tendency to heal for claw horn lesions on different farms. Essentially, farmers may differ in their cow management practices (e.g. environmental cleanliness, follow up treatments, etc.), that could influence the healing process. This aspect could limit the generalizability of our findings. Second, no blood samples were taken from the animals to determine the concentration of iron, vitamin A and biotin. Lischer et al. (2001) found that healing was associated with higher concentrations of these elements. The benefit of these elements, however, depends highly on the vascularization in this area (Eggers, 2001). Third, the authors recognize the importance of blinding treatment assignment and locomotion scoring. It, however, was not feasible for this study due to limited expenses.

Our findings of an improved healing rate of non-bandaged SU treated with a wooden block and PVP-I ointment could help farmers, veterinarians and hoof trimmers to choose the best treatment modality for their cows. An enhanced healing rate of SU supports animal welfare and reduces economic losses.

5. Conclusions

In this study, the authors found that non-bandaged sole ulcers treated with a therapeutic trim, a wooden block and PVP-I ointment were significantly more likely to heal than SU lesions, where an additional bandage was applied. Wound size of SU had a significant effect on locomotion, whereas bandaging had no effect. Most healing occurred during the first three weeks of treatment.

Declaration of Competing Interest

All authors report no conflicts of interest relevant to this article.

Acknowledgments

The authors would like to thank the dairy farmers Mr. Jürgen Tripkle and Mrs. Mohr for their participation and interest in this study and the claw trimmers of ‘Klauenpflege Findeisen GmbH & Co. KG’ and Holger Mehler for their patience and accurate trimming of the dairy cows. The authors also thank all students who helped during this trial.

Funding

Funding for this project was partly provided by Cusanuswerk scholarship. The study was also supported by the Open Access Publication Fund of Freie Universität Berlin.

References

Amory, J., Barker, Z., Wright, J., Mason, S., Blowey, R., & Green, L. (2008a). Associations between sole ulcer, white line disease and digital dermatitis and the milk yield of 1824 dairy cows on 30 dairy cow farms in England and Wales from February 2003–November 2004. *Preventive Veterinary Medicine*, 83(3–4), 381–391. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.09.007>.

Banwell, H. (2006). What is the evidence for tissue regeneration impairment when using a formulation of PVP-I antiseptic on open wounds? *Dermatology*, 212(Suppl. 1), 66–76. <https://doi.org/10.1159/000089202>.

Barker, Z., Amory, J., Wright, J., Mason, S., Blowey, R., & Green, L. (2009). Risk factors for increased rates of sole ulcers, white line disease, and digital dermatitis in dairy

cattle from twenty-seven farms in England and Wales. *J Dairy Sci*, 92(5), 1971–1978. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1590>.

Bigliardi, P. L., Alsagoff, S. A. L., El-Kafrawi, H. Y., Pyon, J.-K., Wa, C. T. C., & Villa, M. A. (2017). Povidone iodine in wound healing: A review of current concepts and practices. *International Journal of Surgery*, 44, 260–268. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2017.06.073>.

Cha, E., Hertl, J., Bar, D., & Gröhn, Y. (2010). The cost of different types of lameness in dairy cows calculated by dynamic programming. *Preventive Veterinary Medicine*, 97(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.07.011>.

Cramer, G., Lissemore, K. D., Guard, C. L., Leslie, K. E., & Kelton, D. F. (2008). Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle. *J Dairy Sci*, 91(10), 3888–3895. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1135>.

Cramer, G., Lissemore, K. D., Guard, C. L., Leslie, K. E., & Kelton, D. F. (2009). The association between foot lesions and culling risk in Ontario Holstein cows. *J Dairy Sci*, 92(6), 2572–2579. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1532>.

Dado, R., & Allen, M. (1994). Variation in and relationships among feeding, chewing, and drinking variables for lactating dairy cows. *J Dairy Sci*, 77(1), 132–144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)76936-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)76936-8).

Dippel, S., Schröder, J., Gutmann, A., Winckler, C., & Spinka, M. *Lying behaviour of primi- and multiparous cows in early lactation*. Paper presented at the: Proceedings of the 46th Congress of the International Society for Applied Ethology, ISAE 2012, Vienna, Austria.

Dolecheck, K. A., Overton, M. W., Mark, T. B., & Bewley, J. M. (2019). Use of a stochastic simulation model to estimate the cost per case of digital dermatitis, sole ulcer, and white line disease by parity group and incidence timing. *J Dairy Sci*, 102(1), 715–730. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14901>.

Egger-Danner, C., Nielsen, P., Fiedler, A., Müller, K., Fjeldaas, T., Döpfer, D., Daniel, V., Bergsten, C., Cramer, G., Christen, A. M., Stock, K. F., Thomas, G., Holzhauer, M., Steiner, A., Clarke, J., Capion, N., Charfeddine, N., Pryce, E., Oakes, E., Burgstaller, J., Heringstad, B., Ødegrd, C., & Kofler, J. (2014). *ICAR Claw Health Atlas. ICAR Technical Series (No.18)*.

Eggers, T. (2001). Die Wundheilung des Rusterholzschens Klauengeschwürs beim Rind. Licht- und transmissionselektronenmikroskopische Auswertung einer kontrollierten klinischen Studie zur Wundheilung und zum Einfluss von Biotin auf den Heilungsverlauf. Dissertation. <http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/diss/2003/fu-berlin/2001/176/Eggers.pdf>.

Evans, N., Blowey, R., Timofte, D., Isherwood, D., Brown, J., Murray, R., et al. (2011). Association between bovine digital dermatitis treponemes and a range of ‘non-healing’ bovine hoof disorders. *Veterinary Record*, 168(8), 214. <https://doi.org/10.1136/vr.c5487-214>.

Fiedler, A. (2004). Der neue bundeseinheitliche Diagnoseschlüssel. In 1. Internationaler Trendreport Klauengesundheit, Hrsg. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. In: Frankfurt: DLG Verlag.

Greenough, P. (1987). Pododermatitis circumscripta (ulceration of the sole) in cattle. *Agri-Practice (USA)*, 8, 17–22.

Greenough, P., & Vermunt, J. (1991). Evaluation of subclinical laminitis in a dairy herd and observations on associated nutritional and management factors. *Veterinary Record*, 128(1), 11–17. <https://doi.org/10.1136/vr.128.1.11>.

Greenough, P., & Weaver, A. (1997). *Lameness in cattle*, 3. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Hernandez, J. A., Garbarino, E. J., Shearer, J. K., Risco, C. A., & Thatcher, W. W. (2005). Comparison of milk yield in dairy cows with different degrees of lameness. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 227(8), 1292–1296. <https://doi.org/10.2460/javma.2005.227.1292>.

Holzhauer, M., Hardenberg, C., & Bartels, C. (2008). Herd and cow-level prevalence of sole ulcers in The Netherlands and associated-risk factors. *Preventive Veterinary Medicine*, 85(1–2), 125–135. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2008.01.004>.

Klawitter, M., Döpfer, D., Braden, T. B., Amene, E., & Mueller, K. E. (2019). Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows. *Veterinary Record Open*, 6(1), e000264. <https://doi.org/10.1136/vetrec-2017-000264>.

Kleinhenz, K., Plummer, P. J., Danielson, J., Burzette, R. G., Gorden, P. J., Coetzee, J., et al. (2014). Survey of veterinarians and hoof trimmers on methods applied to treat claw lesions in dairy cattle. *The Bovine Practitioner*, 48(1), 47–52.

Kofler, J., Glonegger-Reichert, J., Dietrich, J., Sykora, S., Tichy, A., & Brandt, S. (2015). A simple surgical treatment for bovine digital dermatitis-associated white line lesions and sole ulcers. *The Veterinary Journal*, 204(2), 229–231. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2015.03.016>.

Laven, R., Lawrence, K., Weston, J., Dowson, K., & Stafford, K. (2008). Assessment of the duration of the pain response associated with lameness in dairy cows, and the influence of treatment. *New Zealand Veterinary Journal*, 56(5), 210–217. <https://doi.org/10.1080/00480169.2008.36835>.

Lischer, C., Dietrich-Hunkeler, A., Geyer, H., Schulze, J., & Ossent, P. (2001). Healing process of uncomplicated sole ulcers in dairy cows kept in tie stalls: Clinical description and blood chemical investigations. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 143(3), 125–133.

Lischer, C., Geyer, H., Friedli, K., Ossent, P., Näf, I., Pijl, R., et al. (2000). *Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind*, 2Berlin: Parey Erw. Aufl.

Manske, T., Hultgren, J., & Bergsten, C. (2002). Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine*, 54(3), 247–263. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(02\)00018-1](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(02)00018-1).

O’Connor, A. M., Sargeant, J. M., Gardner, I. A., Dickson, J. S., Torrence, M. E., & Dewey, C. E. (2010). The reflect statement: Methods and processes of creating reporting guidelines for randomized controlled trials for livestock and food safety by modifying the consort statement. *Zoonoses and Public Health*, 57(2), 95–104. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2009.0441.x>.

- Öien, R., Håkansson, A., Hansen, B., & Bjellerup, M. (2002). Measuring the size of ulcers by planimetry: A useful method in the clinical setting. *Journal of Wound Care*, 11(5), 165–168. <https://doi.org/10.12968/jowc.2002.11.5.26399>.
- Phillips, C., & Rind, M. (2002). The effects of social dominance on the production and behavior of grazing dairy cows offered forage supplements. *J Dairy Sci*, 85(1), 51–59. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74052-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74052-6).
- Potterton, S. L., Bell, N. J., Whay, H. R., Berry, E. A., Atkinson, O. C. D., & Dean, R. S. (2012). A descriptive review of the peer and non-peer reviewed literature on the treatment and prevention of foot lameness in cattle published between 2000 and 2011. *The Veterinary Journal*, 193(3), 612–616. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.06.040>.
- Pyman, M. (1997). Comparison of bandaging and elevation of the claw for the treatment of foot lameness in dairy cows. *Australian Veterinary Journal*, 75(2), 132–135. <https://doi.org/10.1111/j.1751-0813.1997.tb14173.x>.
- R Core Team. (2018). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. 2018. Retrieved from <http://www.R-project.org/>.
- Richard, J., Daures, J., Parer-Richard, C., Vannereau, D., & Boulot, I. (2000). Of mice and wounds reproducibility and accuracy of a novel planimetry program for measuring wound area. *Wounds-A Compendium of Clinical Research and Practice*, 12(6), 148–154.
- Sala, A., Igna, C., & Schuszler, L. (2008). Comparative aspects of pododermatitis circumscripta (sole ulcer) treatment in dairy cow. *Bulletin UASVM, Veterinary Medicine*, 65(2), <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-vm:65:2:1683>.
- Šárová, R., Špinková, M., Stěhulová, I., Ceacero, F., Šimečková, M., & Kotrba, R. (2013). Pay respect to the elders: Age, more than body mass, determines dominance in female beef cattle. *Animal Behaviour*, 86(6), 1315–1323. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2013.10.002>.
- Shearer, J., Plummer, P., & Schleining, J. (2015a). Effect of topical treatment with oxytetracycline soluble powder or copper sulfate powder on healing of claw lesions. *Proceedings of the paper presented at the 18th international symposium and 10th international conference on lameness in ruminants*.
- Shearer, J. K., Plummer, P. J., & Schleining, J. A. (2015b). Perspectives on the treatment of claw lesions in cattle. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 6, 273. <https://doi.org/10.2147/VMRR.S62071>.
- Shearer, J. K., & van Amstel, S. R. (2017). Pathogenesis and treatment of sole ulcers and white line disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 33(2), 283–300. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.03.001>.
- Smedegaard, H. (1985). Pododermatitis circumscripta (Rusterholzsches sohlangeschwür): Ätiologie und prädisponierende faktoren. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 72(2), 39–43.
- Sprecher, D., Hostetler, D., & Kaneene, J. (1997). A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology*, 47(6), 1179–1187. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00098-8).
- Thomas, H., Miguel-Pacheco, G., Bollard, N., Archer, S., Bell, N., Mason, C., et al. (2015). Evaluation of treatments for claw horn lesions in dairy cows in a randomized controlled trial. *J Dairy Sci*, 98(7), 4477–4486. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8982>.
- Toholj, B., Kos, J., Smolec, O., & Potkonjak, A. (2012). Efficiency of different therapeutic protocols in treating digital dermatitis in dairy cows. *Veterinarski Arhiv*, 82(2), 133–142.
- Toussaint Raven, E. (1985). *Cattle footcare and claw trimming. Cattle footcare and claw trimming*. Ipswich, UK: Farming Press Books 75–106.
- Vermeulen, H., Westerbos, S., & Ubbink, D. (2010). Benefit and harm of iodine in wound care: A systematic review. *Journal of Hospital Infection*, 76(3), 191–199. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2010.04.026>.
- Whay, H., Waterman, A., & Webster, A. (1997). Associations between locomotion, claw lesions and nociceptive threshold in dairy heifers during the peri-partum period. *The Veterinary Journal*, 154(2), 155–161. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(97\)80053-6](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(97)80053-6).
- Whay, H., Waterman, A., Webster, A., & O'Brien, J. (1998). The influence of lesion type on the duration of hyperalgesia associated with hindlimb lameness in dairy cattle. *The Veterinary Journal*, 156(1), 23–29. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(98\)80058-0](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(98)80058-0).
- White, M., Glickman, L., Embree, I., Powers, P., & Pearson, E. (1981). A randomized trial for evaluation of bandaging sole abscesses in cattle. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 178(4), 375–377.
- WHO. (2016). *Global guidelines for the prevention of surgical site infection*. World Health Organization.

4 Studienübergreifende Diskussion

In der modernen Milchviehhaltung sind Klauenerkrankungen weit verbreitet, die oft mit Schmerzen für das betroffene Tier und Leistungseinbußen verbunden sind. Daher sollten Therapiemethoden eine möglichst hohe Heilungsrate innerhalb kürzester Zeit gewährleisten (THOMAS et al. 2015). Jedoch basieren die wenigsten Behandlungen, die angewendet werden, auf wissenschaftlicher Evidenz (POTTERTON et al. 2012). Besonders das Anlegen von Verbänden wird häufig kontrovers diskutiert. Daher war es Ziel der vorliegenden Studien, den Einfluss von Verbänden auf den Prozess der Wundheilung bei häufig vorkommenden, ausgewählten infektiös und nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankungen (DD und RSG) zu untersuchen. Dabei kamen im Rahmen zweier aufeinanderfolgender Studien verschiedene lokal applizierte Tierarzneimittel zur Anwendung. Bei der DD wurde ein Chlortetrazykinhaltiges Spray (Cyclo Spray®, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) bzw. ein Gel mit Kupfer- und Zinkchelaten (Intra Hoof-fit Gel, Intracare BV, Veghel, die Niederlande) aufgetragen. Beim RSG kam eine Povidon-Iod-Salbe (Vet-Sept® Salbe, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) zur Anwendung. Anschließend legte immer die gleiche Person standardisierte Klauenverbände an, während in der Vergleichsgruppe die gleiche Behandlung, jedoch ohne Anlegen eines Verbandes ausgeführt wurde. Nach Erstbehandlung wurde im wöchentlichen Abstand der Heilungsverlauf anhand eines visuellen Scorings (DD: M-Scoring; RSG: Grad 1–3) beurteilt und die Wundfläche mit Hilfe digitaler Planimetrie vermessen. Zudem erfolgte eine Bewegungsanalyse nach SPRECHER et al. (1997). Die Ergebnisse der Behandlungsgruppen mit und ohne Verband wurden mittels verschiedener statistischer Methoden miteinander verglichen.

4.1 Studiendesign

Die vorliegende Studie wurde als randomisierte klinische Studie konzipiert (**RCT** englisch: **randomized clinical trial**), da aufgrund der randomisierten Gruppenzuordnung die Verzerrung (Bias) verringert wird. Dies wird erreicht, indem die Probanden zufällig zwei oder mehr Gruppen zugeordnet, unterschiedlich behandelt und dann im Hinblick auf eine gemessene Reaktion verglichen werden. RCT's bilden den Goldstandard in klinischen Studien (WINDELER et al. 2008).

In der vorliegenden Studie wurde die Behandlungsgruppe mit Verband gegen die Kontrollgruppe ohne Verband verglichen, wobei alle Läsionen mit einem Tierarzneimittel behandelt wurden. TOHOLJ et al. (2012) zeigten in ihrer Untersuchung, dass gereinigte und mit einem Handtuch getrocknete DD-Läsionen unter Verband, bei denen kein Tierarzneimittel angewendet wurde, nicht abheilten. ESCH (2004) wies nach, dass die

DISKUSSION

Wundflächen von ulzerativen und teils schmerzhaften M2-Läsionen, 10 Tage nach der Behandlung, konstant blieben oder sich sogar vergrößert hatten, wenn die Läsionen eine Spraybehandlung mit Wasser (Kontrollgruppe) erfuhren. Aufgrund dieser Erkenntnisse und dem daraus resultierenden Tierschutzaspekt wurden in der vorliegenden Studie die Läsionen der Tiere in der Kontrollgruppe nicht mit einem Placebo versehen bzw. blieben unbehandelt. Die Untersuchung kann daher als „positiv kontrollierte randomisierte Studie“ subklassifiziert werden. Dieses Studiendesign hat sich in Großbritannien bei ähnlichen medizinischen Fragestellungen am Rind bewährt (THOMAS et al. 2015).

4.2 Digitale Planimetrie

Die Vermessung und Berechnung der Ausdehnung der Läsionen (Planimetrie) wurde für jeden Untersuchungszeitpunkt durchgeführt. Während diese Methode in der Humanmedizin zur Dokumentation der Wundheilung weit verbreitet ist (vor allem bei Dekubitus und diabetischen Wunden), wurde in der vorliegenden Studie – nach Wissen des Autors – erstmals die Methode der digitalen Planimetrie bei Klauenerkrankungen von Kühen angewendet. Im Gegensatz zur manuellen Planimetrie, bei der durch Auflegen einer Folie mit Umfahrung des Wundrandes die Wundfläche ermittelt wird, ist bei der digitalen Planimetrie, bei der die Wundfläche zusammen mit einem Maßstab (z.B. Lineal o.ä.) fotografiert und anschließend mit einer computergestützten Software (Jalomed WD, Jalomed GmbH, Lübeck, Deutschland) berechnet wird, kein direkter Kontakt mit der Wunde nötig. Dies hat den Vorteil, dass eine Irritation und Kontamination der Läsion verhindert wird. Gleichzeitig ist die digitale Planimetrie eine einfache Methode für die Praxis, die gegenüber der manuellen Planimetrie ein geringeres Verletzungsrisiko für den Untersucher ausweist, da die Person einen größeren Abstand zum Tier hat und somit besser vor spontanen Bewegungen des Tieres geschützt ist.

Um eine präzise Vermessung der Wundfläche am Computer zu ermöglichen, müssen die Fotos eine gute Bildqualität aufweisen. Hierfür waren gute Belichtungsverhältnisse, wenig Reflexionen auf der Oberfläche (ein Abtrocknen der Läsionen nach der Reinigung mit Wasser ist nötig) und das Vermeiden von Überdeckungen der Wunde durch z.B. Verschmutzungen oder Blutungen (nach Verletzung der Lederhaut) wichtige Kriterien.

Eine Studie von THAWER et al. (2002) zeigt, dass bei der Vermessung von Tierwunden die digitale Planimetrie zu einem genaueren Ergebnis führt als die manuelle Planimetrie. Da dieselbe Studie eine höhere Genauigkeit der Wundflächenvermessung feststellte, wenn statt mehrerer Untersucher nur eine Person die Planimetrie durchführte, wurde dieser Aspekt in der vorliegenden Studie berücksichtigt.

Im Vergleich zu früheren Studien, bei denen die Wundfläche entweder indirekt durch den Grad (z.B. Grad 1-3, FIEDLER (2004)) oder durch Ermittlung der Läsionslänge und -breite

DISKUSSION

bzw. auch nur mittels eines Wertes (Läsionsdurchmesser in cm) dokumentiert wurde (KOFLER 1997, EL-GHOUL und SHAHEED 2001, CAPION et al. 2008), bietet die Anwendung der Planimetrie eine exakte Bestimmung der Läsionsgröße in cm². Hierdurch ist es zum einen möglich auch andere Wundformen als oval und rund präzise zu vermessen, zum anderen können unterschiedlich große Wundflächen, die aber zum selben Erkrankungsgrad gehören (z.B. M2-Stadium, >2cm Durchmesser), im Heilungsverlauf genauer betrachtet werden. Die Einbeziehung der initialen Wundfläche auf den Heilungsverlauf – wie in dieser Studie untersucht – wurde somit erst möglich.

4.3 Standardisierungen

Um valide Ergebnisse zu erhalten, wurden in dieser Studie mehrere standardisierte Untersuchungs-, Behandlungs- und Bearbeitungsschritte integriert.

Zum einen wurde das Anlegen der Verbände standardisiert, sodass alle Verbände gleich aufgebaut und gewickelt waren, zum anderen wurden die Verbände immer von derselben Person angelegt. Dies gewährleistete eine gleichbleibende Qualität der Verbände und vermied Verzerrungen durch unterschiedlich ausführende Personen. In den wenigen Studien, die sich mit Klauenverbänden beschäftigen, werden zwar häufig die verwendeten Verbandsmaterialien aufgeführt, jedoch wird nur selten bis nie eine Wickeltechnik beschrieben. So führen CUTLER et al. (2013) nur an, dass sie einen 5×5 cm großen Gazetupfer in Kombination mit einer selbsthaftenden elastischen Binde zur Behandlung von DD-Läsionen in ihrer Studie verwenden. TOHOLJ et al. (2012) erläutern für ihre zwei Verbandgruppen, dass ein steriler Gazetupfer als erste Schicht verwendet wird und nachfolgend das Klebeband für Klauen der Firma Kromberg® aufgetragen wird. Eine Erwähnung der Wickeltechnik fehlt. PYMAN (1997) hingegen beschreibt grob seine Verbandstechnik für Läsionen am Klauenhorn, bei der er 20 g kristallines Kupfersulfat mittels einer Baumwollwatte auf den Horndefekt auftrug. Anschließend verwendete er die komplette Rolle einer selbsthaftenden Binde, die er um beide Klauen wickelte und deren Enden er mittig auftrennte, um sie miteinander zu verknoten.

Eine Vermeidung von Bias durch die Eingrenzung der Anwender auf eine Person bzw. die Bestimmung der Interrater-Reliabilität bei mehreren Untersuchern ist in Bezug auf das Anbringen der Verbände bei keiner Studie zu finden.

Das Scoring der Klauenläsionen erfolgte in den vorliegenden Untersuchungen grundsätzlich in einem Durchtreibestand. Die Begutachtung der Klauen an der angehobenen Gliedmaße ist laut CRAMER et al. (2018) am besten für die Ermittlung der verschiedenen M-Stadien der DD geeignet. Der Klauenstand wies im Vergleich zur visuellen Beurteilung der DD-Stadien im Melkstand und an im Fressgatter stehenden oder fixierten Tieren (Penwalks) die höchste

DISKUSSION

Genauigkeit in der Ermittlung der M-Stadien auf. Dabei wurde die Beurteilung der M-Stadien ebenfalls nur durch eine Person durchgeführt, um mögliche Bias zwischen verschiedenen Beobachtern zu vermeiden. VANHOUDT et al. (2019) bestätigten dieses Vorgehen, indem sie zeigten, dass es – bezogen auf die Genauigkeit – nur eine mittlere Übereinstimmung im M-Scoring von Fotos zwischen verschiedenen Untersuchern gibt (Gwet's Übereinstimmungskoeffizient; AC1 = 0,48).

4.4 Übergreifender Vergleich des Einflusses von Klauenverbänden auf die Wundheilung bei Dermatitis digitalis (M2-Stadium) und bei unkomplizierten Rusterholz'schen Sohlengeschwüren

In Publikation 1 (KLAWITTER et al. 2019b) wird der positive Einfluss von Verbänden auf die Heilung von DD beschrieben. Dabei war die Heilungsrate (= Anzahl M0-Läsionen) für Läsionen unter Verband signifikant höher als für Läsionen ohne Verband, unabhängig davon, ob die Behandlung mit einem antibiotischen Spray (CTC-Spray, Cyclo Spray®, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) oder mit einem nicht-antibiotischen Gel (IHF-Gel, Intra Hoof-fit Gel, Intracare BV, Veghel, die Niederlande) durchgeführt wurde.

Hingegen war in Publikation 2 (KLAWITTER et al. 2019a) die Heilungsrate von unkomplizierten Rusterholz'schen Sohlengeschwüren unter Verband signifikant geringer (29,2%) als in der Vergleichsgruppe ohne Verband (59,4%).

Eine Erklärung für den unterschiedlichen Einfluss des Verbandes auf die Wundheilung der beiden Erkrankungen kann in der Pathogenese der Erkrankungen vermutet werden. Während es sich bei DD um eine infektiös bedingte Klauenerkrankung handelt, deren Entstehung auf den Einfluss von Bakterien (maßgeblich der Gattung *Treponema* spp.) zurückzuführen ist, handelt es sich beim RSG um eine primär nicht-infektiös bedingte Klauenerkrankung, deren Entstehung vor allem auf abnorme Druck- und Belastungsverhältnisse an der Klaue beruht.

Der Verband ermöglicht eine längere Kontaktzeit zwischen Wundfläche und aufgetragenem Tierarzneimittel. Die lokal applizierten Tierarzneimittel können nicht durch Gülle, die sich in den Laufgängen der Laufställe ansammelt, abgewaschen werden (MANSKE et al. 2002c). Im Falle der DD besteht somit die Möglichkeit, dass die Wirkstoffe der angewendeten Therapeutika (CTC und IHF) länger auf die Bakterien einwirken konnten als auf Läsionen an Klauen ohne Verband. So lässt sich auch die um fast 50% höhere Heilungsrate in den Gruppen mit Verband erklären. Die Hypothese, dass die höhere Heilungsrate (= M0-Stadium) von DD unter Verband hauptsächlich auf eine längere Verweildauer des Medikamentes zurückzuführen ist und nicht primär auf die Schaffung eines wundheilungsfördernden Milieus, wird von den Ergebnissen von TOHOLJ et al. (2012)

DISKUSSION

unterstützt. Die Autoren verglichen fünf verschiedene Behandlungen miteinander (Gruppe 1: Oxytetracyclin-haltiges Spray, Gruppe 2: Oxytetracyclin-haltiges Spray mit Verband, Gruppe 3: CuSo₄; Gruppe 4: CuSo₄ mit Verband; Gruppe 5: nur Verband ohne Medikament). Dabei beobachteten auch sie eine signifikant höhere Heilungsrate bei den Gruppen mit Verband (Gruppe 2 und 4) gegenüber den Gruppen ohne Verband (Gruppe 1 und 3), jedoch ließ sich für das Anlegen eines Verbandes ohne vorherige lokale Applikation eines Arzneimittels (Gruppe 5) kein positiver Einfluss auf den Heilungsprozess nachweisen.

In Publikation 2 (KLAWITTER et al. 2019a) wurde an unkomplizierten RSG's nach Behandlung und lokaler Applikation einer Povidon-Iod-Salbe (Vet-Sept® Salbe, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) ohne Anlegen eines Verbandes fast doppelt so häufig eine komplette Reepithelisierung der Läsionen beobachtet als für RSG's bei denen ein Verband angelegt wurde. Unsere Ergebnisse stimmen mit denen anderer Autoren überein (PYMAN 1997, SALA et al. 2008), auch wenn Unterschiede im Studiendesign bestehen. Während in unserer Studie alle RSG's grundsätzlich mit einem Klotz auf der gesunden Partnerklaue entlastet und nachfolgend mit und ohne Verband behandelt wurden, vergleichen die oben genannten Autoren den Einfluss von Klötzen mit denen von Verbänden, die um den gesamten Fuß gewickelt sind und bei denen keine Entlastung durch einen Klotz gegeben ist. So betrachtet PYMAN (1997) den Heilungsverlauf von Klauenhornerkrankungen unter Anwendung von drei verschiedenen Behandlungsarten: 1.) Entlastung der erkrankten Klaue durch Aufbringen eines Holzklotzes auf die gesunde Gegenklaue 2.) Entlastung mit Hilfe eines Plastikschuhs und 3.) Behandlung mittels eines Verbandes, der um die gesamte Klaue gewickelt wird. Der Autor ermittelte die höchsten Heilungsraten bei den Behandlungsgruppen mit Klotz und Plastiks Schuh. Er kommt zur Schlussfolgerung, dass die Entlastung der erkrankten Klaue der wichtigste Faktor für die Wundheilung von Läsionen des Klauenhornes ist. Derselben Auffassung sind auch GREENOUGH (1987) und TOUSSAINT RAVEN (1998a). Im Hinblick auf diese Tatsache sollten unkomplizierte RSG's vornehmlich mit einem Klotz behandelt werden. THOMAS et al. (2015) empfehlen zusätzlich zur Entlastung durch einen Klotz die Gabe eines NSAID's (Ketoprofen 3 mg/kg Körpergewicht). Diese Behandlung führte 35 Tage nach Therapiebeginn zur höchsten Anzahl an Tieren mit einem physiologischen Gangbild (23 von 41 Tieren). Sollte es dennoch notwendig sein, zusätzlich zur Entlastung mittels Klotzes einen Verband anzulegen, darf der durch diese Maßnahme gewonnene Höhenunterschied nicht durch zu starke Polsterung des Verbandes zunichtegemacht werden (TOUSSAINT RAVEN 1998a, VAN AMSTEL und SHEARER 2006a).

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, dass Scherbewegungen des Verbandes die Wundheilung auf der empfindlichen Läsionsoberfläche beeinflussen können (TOUSSAINT

RAVEN 1998a).

EGGERS (2001) stellt in ihrer histologischen Untersuchung die Bedeutung der Mikrozirkulation für den Wundheilungsverlauf von RSG's heraus. Ihrer Ansicht nach ist diese maßgeblich für den Heilungsverlauf erforderlich. In diesem Kontext ist die Anwendung von Druckverbänden, wie sie in der Vergangenheit zum „Zurückdrücken“ von Lederhautvorfällen angewendet wurden, nicht sinnvoll, da durch den Druck von außen die Durchblutung gestört und ggf. die Wundheilung verzögert wird (TOUSSAINT RAVEN 1998b).

4.5 Anwendungsdauer des Klauenverbandes - Verbandswechsel

In der vorliegenden Studie fanden die Verbandswechsel durchschnittlich im 7 Tage-Rhythmus statt.

Derzeit gibt es keine allgemeingültigen Empfehlungen für den Zeitraum, über den ein Verband im Rahmen der Behandlung einer DD-Läsion oder eines RSG's belassen werden sollte. Abhängig von der Erkrankung, dem angewendeten Medikament, dem Auftreten von Blutungen und den stallspezifischen Umweltverhältnissen variieren die Empfehlungen von 24 Stunden bis hin zu 14 Tagen.

So berichten BJURSTROM und KOHLMAN (2017), dass Döpfer zur Behandlung des akuten DD-Stadiums das Aufbringen von 2 g Oxytetracyclin-Pulver und das Anlegen eines leichten Verbandes empfiehlt, der aus einem Gazetupfer und einer selbsthaftenden Binde besteht. Aufgrund seiner Form wird er „Bikini-Verband“ genannt. Zweck dieses Verbandes ist es, die gesäuberte Läsion für 30 Minuten in Kontakt mit dem antibiotischen Pulver zu bringen. Der Verband soll locker angebracht werden, sodass er von alleine abfällt bzw. spätestens nach 24 Stunden abgenommen wird (BJURSTROM und KOHLMAN 2017).

Im Schrifttum betragen die Angaben zum Zeitraum, über den ein Verband auf einer behandelten DD-Läsion belassen werden sollte, 3 bis 7 Tage (EL-GHOUL und SHAHEED 2001, VAN AMSTEL und SHEARER 2006a, BERRY et al. 2012). HIGGINSON et al. (2011) nahmen zur Behandlung von DD Oxytetracyclin-Pulver für drei Tage unter Verband und erzielten nach 8-12 Tagen eine Heilungsrate von 57,1%.

FIEDLER et al. (2015) empfehlen zur Behandlung chronischer und akuter DD-Läsionen die topische Anwendung von Salicylsäure-haltigen Pasten, wobei ein Verband angelegt und für fünf Tage belassen wird. Histologische Untersuchungen von Biopsiematerial wiesen nach, dass auch Treponemen erreicht werden, die bis in tiefe Hautschichten vorgedrungen sind (CATION et al. 2018).

Eine längere Anwendungsdauer des Verbandes ist bei der Behandlung von DD mit Polyurethanpflastern zu verzeichnen. FIEDLER et al. (2015) ließen anlässlich dieser Untersuchungen die Läsionen während 10 Tagen unter Verband. WEBER et al. (2019)

DISKUSSION

wendeten Polyurethanpflaster bis zu 56 Tage unter Verband an, wobei der Verband in 14-tägigen Intervallen erneuert wurde. Die Heilungsrate lag am Tag 56 bei 87%.

Bei RSG's konnte durch die Anwendung von Verbänden bisher kein positiver Einfluss auf die Wundheilung nachgewiesen werden (WHITE et al. 1981, PYMAN 1997). Jedoch können Verbände bei großen Läsionsflächen oder starken Blutungen und ungünstigen Umgebungsbedingungen indiziert sein (TOUSSAINT RAVEN 1998a, SHEARER et al. 2015). LISCHER (2000a) empfiehlt mit Blut durchtränkte Verbände spätestens nach drei Tagen zu wechseln, da Blut ein guter Nährboden für Bakterien ist. Zudem rät der Autor weiter, schnellstmöglich auf einen Verband zu verzichten, damit Sauerstoff an die Wundfläche gelangt. Beim Pferd konnte jedoch durch eine zusätzliche Verabreichung von Sauerstoff unter einem Metatarsalverband verglichen zu Wunden unter einem Metatarsalverband ohne zusätzliche Sauerstoffgabe durch ein Sauerstoffgerät keine bessere Wundheilung festgestellt werden (TRACEY et al. 2014).

4.6 Einfluss der initialen Wundfläche auf den Heilungsverlauf

Die exakte Vermessung der Wundfläche mittels digitaler Planimetrie ermöglichte es, den Einfluss der initialen Wundfläche auf den Heilungsverlauf zu untersuchen. Hierbei konnte sowohl im Heilungsverlauf von DD-Läsionen (KLAWITTER et al. 2019b) als auch bei RSG's (KLAWITTER et al. 2019a) kein signifikanter Einfluss der Größe der initialen Wundfläche auf den Heilungsverlauf festgestellt werden.

Eine mögliche Erklärung bietet Eggers (2001) Beobachtung, dass unkomplizierte RSG's nicht nur vom Rand her heilen (wie es in der klassischen Wundheilungslehre beschrieben ist), sondern dass sich zusätzlich "Inseln" auf der Wundfläche bilden, welche aus teilungsfähigen Basalzellen bestehen und zur Reepithelisierung der Wunde beitragen. Diese Zellen sind trotz Bearbeitung der Sohle mit dem Klauenmesser in den Zotten der Lederhaut zurückgeblieben und können erklären, weshalb unkomplizierte RSG's häufig schon nach drei Tagen mit neuem Epithel bedeckt sind (EGGERS 2001).

4.7 Einfluss des Verbandes und der Läsionsgröße auf die Bewegungsnote

Mit der Untersuchung des Einflusses von Verbänden auf die Bewegungsnote der Tiere sollte ein möglicher schmerzlindernder Effekt der Verbände durch die Abschirmung der Läsionen gegenüber Umwelteinflüssen (z.B. Steine, Gülle, Stroh ...) überprüft werden. Dieser Effekt konnte sowohl für DD- als auch für RSG-Läsionen nicht bestätigt werden (KLAWITTER et al. 2019a, KLAWITTER et al. 2019b). Da derzeit keine Studien vorliegen, die diesen

DISKUSSION

Gesichtspunkt bearbeitet haben, sind weiterführende Untersuchungen für die Überprüfung dieses Ergebnisses notwendig.

Hingegen konnte in beiden vorliegenden Studien nachgewiesen werden, dass zwischen der Ausdehnung der Läsion und der Bewegungsnote ein Zusammenhang besteht. So hatten Kühe, denen Bewegungsnoten von 3 bis 5 nach SPRECHER et al. (1997) zugeordnet wurden, signifikant größere Wundflächen als Tiere mit den Bewegungsnoten 1 und 2, unabhängig von der Erkrankung (DD oder RSG).

Theoretisch lässt sich diese Tatsache durch die höhere Anzahl an geschädigten Neuronen erklären, die mit einer größeren Ausdehnung der Wundfläche verbunden ist. Bezogen auf die DD ist diese Erkenntnis vornehmlich auf die erosiven und ulzerativen M1- und M2-Läsionen zu beziehen. RIEGLER (2014) ermittelte am angehobenen Bein im Klauenstand die Schmerzhaftigkeit der DD-Stadien mittels digitalen Druckes auf die Läsionen und einer Beobachtung der Reaktion des Tieres. Er fand bei 80% der im Durchmesser kleineren M1-Läsionen eine Schmerzhaftigkeit vor, wohingegen 84% der im Durchmesser größeren M2-Läsionen schmerzhaft waren. Das chronische M4-Stadium ist aufgrund der Proliferation von Epithelzellen weniger dolent. Hier zeigten sich nur 19% der Läsionen als schmerzhaft (RIEGLER 2014).

Unser Ergebnis für RSG-Läsionen wird durch die Erkenntnis von WHAY et al. (1997) bestätigt. Die Forscher wiesen einen hoch signifikanten Zusammenhang zwischen der Bewegungsnote und der Läsionsgröße von Sohlengeschwüren nach ($p < 0.001$).

5 Schlussfolgerungen

Anlass für die vorliegende Arbeit war die Tatsache, dass der Nutzen von Verbänden im Rahmen der Therapie von nicht-infektiös bedingten und infektiös bedingten Klauenkrankheiten seit Jahren Gegenstand intensiver Diskussionen unter Experten ist. Es liegen nur wenige Publikationen zu dieser Thematik vor, die kein schlüssiges Urteil darüber zulassen, ob ein Verband die Heilung fördert, sie verzögert oder aber kein Unterschied zur Behandlung ohne Verband besteht. Die Beurteilung der Wundheilung setzte die Quantifizierung der Wundfläche der Klauenläsion voraus. In dieser Dissertation wurde erstmals die Methode der digitalen Planimetrie zur Vermessung von Klauenläsionen angewendet. Sie ermöglicht eine präzise Vermessung der Wunden und eine systematische Dokumentation des Heilungsverlaufes von Rusterholz'schen Sohlengeschwüren (RSG) und Läsionen der Dermatitis digitalis (DD) und kann für zukünftige, ähnlich gelagerte Untersuchungen empfohlen werden.

Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass nicht pauschal von einem positiven Einfluss von Verbänden auf die Wundheilung von Klauenläsionen ausgegangen werden kann. So wirkten sich Klauenverbände positiv auf den Heilungsverlauf von Läsionen der DD – einer infektiös bedingten Klauenerkrankung – aus. In diesen Fällen könnte der positive Effekt von Verbänden auf die längere Einwirkzeit der lokal applizierten Tierarzneimittel unter Verband zurückzuführen sein, die ohne Verband nach dem Auftragen auf die Läsion durch die Staunässe in den Laufgängen von Liegeboxenlaufställen schnell abgewaschen werden. Auch das Fernhalten der DD-Läsion von schädlichen Umwelteinflüssen könnte eine Rolle spielen.

Beim RSG – einer nicht-infektiös bedingten Klauenerkrankung – verlief der Heilungsprozess ohne Anlegen eines Verbandes schneller als unter Verband. Im Falle eines RSG's bildet die zeitweise Entlastung der erkrankten Klaue die Voraussetzung für eine ungestörte Heilung. Nach Anlegen eines Verbandes kann dieser Effekt verlorengehen, da der Höhenunterschied zwischen der gesunden und der erkrankten Klaue geringer wird, was eine weniger wirksame Entlastung zur Folge hat. Außerdem kann durch Scherbewegungen des Verbandsmaterials der Heilungsprozess gestört werden.

Nach Anlegen eines wasserundurchlässigen, luftdurchlässigen Verbandes konnten in der vorliegenden Arbeit, bei einem Verbandswechsel nach durchschnittlich 7 Tagen, keine negativen Folgen (wie z.B. Hautnekrosen oder Einschnürungen) an den Gliedmaßen der Kühe festgestellt werden. Dennoch ist eine gute Verbandstechnik, eine gezielte Kontrolle von Zustand und Sitz des Verbandes sowie die Abnahme des Verbandes zum vorgegebenen Zeitpunkt für eine erfolgreiche Behandlung zwingend erforderlich.

DISKUSSION

In der Mehrzahl der Fälle heilten die Läsionen, sowohl der DD als auch des RSG's, innerhalb von 28 Tagen und mit drei Verbandswechseln folgend auf die Erstbehandlung vollständig ab, wobei der größte Anteil geheilter Läsionen sowohl im Falle des RSG's als auch der DD innerhalb der ersten zwei bis drei Wochen nach Therapiebeginn zu verzeichnen war.

Die Ergebnisse dieser Studie leisten einen relevanten Beitrag im Rahmen der Diskussion um das Anlegen von Verbänden bei Klauenkrankheiten und liefern eine praxisrelevante Empfehlung für Tierärzte, Klauenpfleger und Landwirte zur Therapie der DD und des RSG's. Es bleibt jedoch festzuhalten, dass die Entscheidung für oder gegen einen Verband immer unter Berücksichtigung der Befunde am Patienten und den Bedingungen der Haltungsumwelt gefällt werden sollte.

6 Zusammenfassung

Vergleichende Untersuchung zum Einfluss von Verbänden auf die Wundheilung von ausgewählten Klauenerkrankungen des Rindes

Klauenerkrankungen sind weltweit eine der häufigsten Gesundheitsstörungen auf Milchviehbetrieben. Um Schmerzen und Leiden der Tiere zu verringern und um ökonomische Verluste zu minimieren, sollten die Tiere prompt behandelt werden, wobei die gewählte Therapieform zu einer hohen Heilungsrate in möglichst kurzer Zeit führen sollte. Hierbei kommen auch Klauenverbände zur Anwendung, obwohl deren Einfluss auf die Wundheilung zwischen verschiedenen Forschern kontrovers diskutiert werden.

Daher war die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, die Wundheilung von ausgewählten Klauenerkrankungen des Rindes (Dermatitis digitalis (DD) und Rusterholz'sches Sohlengeschwür (RSG)) mit und ohne Verband zu vergleichen.

Hierzu wurde eine randomisierte klinische Studie auf einem Milchviehbetrieb in Brandenburg an Rindern der Rasse Holstein-Friesian im Alter von zwei bis neun Jahren durchgeführt. Dabei wurden Tiere mit einer akuten DD M2-Läsion per Zufallsgenerator der Gruppe mit bzw. ohne Verband zugeordnet und abhängig vom Behandlungsregime entweder mit einem Chlortetrazyklin-haltigen Spray (CTC, Cyclo Spray®, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) oder mit dem nicht-antibiotischen Intra Hoof-Fit Gel (IHF, Intra Hoof-fit Gel, Intracare BV, Veghel, die Niederlande) behandelt.

Bei Tieren mit einem unkomplizierten RSG wurde ein Klotz auf die gesunde Partnerklaue geklebt und eine definierte Menge (15 g) Povidon-Iod-Salbe (Vet-Sept® Salbe, Albrecht, Aulendorf, Deutschland) auf die Läsion aufgetragen. Anschließend erfolgte wiederum die Zuordnung in die Gruppe „mit“ bzw. „ohne Verband“ per Zufallsgenerator.

Alle Verbände waren im Aufbau standardisiert und wurden von derselben Person angelegt. Die Wundflächen und die Bewegungsnoten wurden wöchentlich bestimmt. Nicht verheilte Wunden konnten innerhalb einer vierwöchigen Untersuchungsphase bis zu fünf Behandlungen erfahren, die in wöchentlichem Abstand durchgeführt wurden. Kühe mit einer gesunden Haut (M0 Stadium) bzw. komplett verhornten RSG-Läsionen galten als geheilt und wurden fortlaufend aus der Studie entlassen.

Zu Studienbeginn wurden 163 DD M2-Läsionen in die Studie aufgenommen. Dabei zeigte sich, dass M2-Läsionen unter Verband eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit hatten zu

ZUSAMMENFASSUNG

heilen als Läsionen ohne Verband, unabhängig vom verwendeten Medikament (HR: 4,1; $p < 0,001$; 95% CI: 2,5 bis 6,8). Des Weiteren gingen DD-Läsionen der Verbandsgruppen (Gruppe 2 und 4) weniger häufig ins chronische M4-Stadium über als nicht verbundene DD-Läsionen in Gruppe 1 und 3 (HR: 0,10; $p < 0,001$; 95% CI: 0,04 bis 0,22).

Nach vier Wochen waren 19 der 32 RSG-Läsionen (59,4%) in der Gruppe ohne Verband abgeheilt, wohingegen es 7 der 24 Läsionen (29,2%) in der Gruppe mit Verband waren. Die Heilung war signifikant höher in der Gruppe ohne Verband als in der Gruppe mit Verband ($p = 0,024$).

Bei beiden Erkrankungen (DD und RSG) zeigten sich folgende Gemeinsamkeiten:

Der Verband hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Bewegungsnote der Tiere. Jedoch hatte die Größe der Läsionen einen Einfluss auf die Bewegung der Tiere. Kühe mit einer geringeren Bewegungsnote (Sprecher Score 1+2) hatten höchstsignifikant kleinere Läsionen als Tiere mit den Bewegungsnoten 3 bis 5 ($p < 0,001$). Außerdem erfolgte die meiste Heilung innerhalb der ersten drei Wochen nach Behandlung.

Die Ergebnisse zeigen, dass Verbände bei der Behandlung von unkomplizierten RSG-Läsionen (nicht-infektiös bedingte Klauenerkrankung) in der Regel kontraindiziert sind, aber bei der Behandlung von DD-Läsionen (infektiös bedingte Klauenerkrankung) und der Verhinderung chronischer Stadien von Vorteil sind. Die in der Studie verwendete Verbandstechnik war kompliziert, zeitaufwändig und materialintensiv. Zukünftige Studien sollten Alternativen untersuchen, welche die Wirkung der Verbände, wie z.B. Schutz vor Abwaschen des Medikamentes und somit eine längere Einwirkdauer auf die Läsion nachahmen, aber in Bezug auf Zeit und Arbeitsaufwand effizienter sind.

7 Summary

Comparative study on the effect of bandaging on wound healing in selected claw diseases in cattle

Claw diseases are one of the most common health disorders impacting dairy farms around the world. In order to reduce animal suffering and to minimize economic losses, the animals should be treated promptly. The chosen therapy should lead to a high cure rate within the shortest time. While bandaging is widely used in treating various claw diseases, the benefit for the healing process is questioned by scientists.

Therefore, the aim of the present study was to explore the effect of bandaging on the healing process of claw diseases, namely digital dermatitis (DD) and uncomplicated sole ulcers (SU).

For this purpose, a randomized clinical trial was conducted on a dairy farm in Brandenburg using Holstein-Friesian cows ranging from two to nine years in age. Cows with an acute ulcerative DD lesion (stage M2) were randomly assigned into either a non-bandaged or bandaged group and were treated with either topical chlorotetracycline spray (CTC, Cyclo Spray®, Albrecht, Aulendorf, Germany) or non-antibiotic Intra Hoof-Fit Gel (IHF, Intra Hoof-fit Gel, Intracare BV, Veghel, The Netherlands).

For animals with uncomplicated SU's, a wooden block was glued to the unaffected claw and 15 g of povidone-iodine ointment (Vet-Sept® Salbe, Albrecht, Aulendorf, Germany) was applied onto the lesion. A random generator assigned cows to either a „bandaged“ or „non-bandaged“ group.

The bandaging process was standardized and applied by the same person. Lesion size and locomotion were evaluated and scored weekly. Unhealed lesions could receive up to five repeated treatments, at weekly intervals, within a four-week period. Both lesion size and locomotion were also evaluated and scored weekly. Cows with healthily formed skin (stage M0) or completely keratinized lesions were deemed healed and subsequently released from the study.

In total, 163 M2 lesions were diagnosed at week 0. Bandaged M2 lesions had a significantly higher probability of cure than non-bandaged lesions regardless of treatment type (HR: 4.1; $P < 0.001$; 95% CI: 2.5 bis 6.8). Furthermore, bandaged lesions (group 2 and group 4) were significantly less likely to progress into the chronic hyperkeratotic or proliferative stage (M4) than non-bandaged lesions in group 1 and group 3 (HR: 0.10; $P < 0.001$; 95% CI: 0.04 bis 0.22).

S U M M A R Y

Overall, 19 of 32 SU (59.4%) in the non-bandaged group were healed at week 4 compared to 7 of 24 ulcers (29.2%) in the bandaged group. Healing was significantly higher for non-bandaged than bandaged SU ($P = 0.024$).

Both diseases (DD and SU) showed the following similarities:

Bandaging had no significant effect on locomotion. However, lesion size had an effect on animals' locomotion. Cows with a lower locomotion (Sprecher 1 + 2) had significantly smaller lesion sizes than animals with locomotion score 3–5 ($P < 0.001$). Furthermore, most healing occurred within the first three weeks of the study.

The results suggest that bandaging is contraindicated in the treatment of non-infectious claw diseases like uncomplicated sole ulcers but could be useful in treating and preventing the chronicity of DD lesions (infectious claw disease). However, the bandaging technique used in this study was complicated, time-intensive and expensive in materials. Future studies should explore alternatives that mimic the effect of bandaging in protecting and prolonging treatment to DD lesions, but are more practical in terms of time and application.

8 Literaturverzeichnis

ADR (Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V.). (2017). "ADR-Empfehlung 3.1: Leistungsprüfung für funktionale Merkmale bei Bullen und Kühen (Gesundheit, Reproduktion, Nutzungsdauer, Exterieur, Melkbarkeit)." 22. Oktober 2017, from <http://www.adr-web.de/services/files/richtlinien-empfehlungen/ADR-Empfehlung%203.1.1.pdf>.

Alsaad, M., M. Fadul und A. Steiner (2019). "Automatic lameness detection in cattle." *The Veterinary Journal* **246**: 35-44.

Amory, J., Z. Barker, J. Wright, S. Mason, R. Blowey und L. Green (2008). "Associations between sole ulcer, white line disease and digital dermatitis and the milk yield of 1824 dairy cows on 30 dairy cow farms in England and Wales from February 2003–November 2004." *Preventive Veterinary Medicine* **83**: 381-391.

Amory, J. R., Z. Barker, N. Brassey, R. Blowey und L. Green (2004). A Postal Survey of the Incidence of Lameness and Claw Lesions in Dairy Cattle in the UK: A Preliminary Report. Proc. 13th Int. Symp. and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenija: 197-198.

Anklam, K., M. Kulow, W. Yamazaki und D. Döpfer (2017). "Development of real-time PCR and loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assays for the differential detection of digital dermatitis associated treponemes." *PLOS ONE* **12**: e0178349.

Archer, S., N. Bell und J. Huxley (2010a). "Lameness in UK dairy cows: a review of the current status." *In Practice* **32**: 492-504.

Archer, S. C., M. J. Green und J. Huxley (2010b). "Association between milk yield and serial locomotion score assessments in UK dairy cows." *Journal of Dairy Science* **93**: 4045-4053.

Bach, A., M. Dinarés, M. Devant und X. Carré (2007). "Associations between lameness and production, feeding and milking attendance of Holstein cows milked with an automatic milking system." *Journal of Dairy Research* **74**: 40-46.

Barkema, H., J. Westrik, K. Van Keulen, Y. Schukken und A. Brand (1994). "The effects of lameness on reproductive performance, milk production and culling in Dutch dairy farms." *Preventive Veterinary Medicine* **20**: 249-259.

Barker, Z., J. Amory, J. Wright, S. Mason, R. Blowey und L. Green (2009). "Risk factors for increased rates of sole ulcers, white line disease, and digital dermatitis in dairy cattle from twenty-seven farms in England and Wales." *Journal of Dairy Science* **92**: 1971-1978.

Barker, Z., K. Leach, H. Whay, N. Bell und D. Main (2010). "Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales." *Journal of Dairy Science* **93**: 932-941.

LITERATURVERZEICHNIS

- Becker, J., A. Steiner, S. Kohler, A. Koller-Bähler, M. Wüthrich und M. Reist (2014). "Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: I. Prevalence." Schweizer Archiv für Tierheilkunde **156**: 71-78.
- Bergsten, C., P. Greenough, J. Gay, W. Seymour und C. Gay (2003). "Effects of biotin supplementation on performance and claw lesions on a commercial dairy farm." Journal of Dairy Science **86**: 3953-3962.
- Berry, S. L., D. H. Read, T. R. Famula, A. Mongini und D. Döpfer (2012). "Long-term observations on the dynamics of bovine digital dermatitis lesions on a California dairy after topical treatment with lincomycin HCl." The Veterinary Journal **193**: 654-658.
- Berry, S. L., D. H. Read, R. L. Walker und T. R. Famula (2010). "Clinical, histologic, and bacteriologic findings in dairy cows with digital dermatitis (footwarts) one month after topical treatment with lincomycin hydrochloride or oxytetracycline hydrochloride." Journal of the American Veterinary Medical Association **237**: 555-560.
- Bicalho, R., V. Machado und L. Caixeta (2009). "Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion." Journal of Dairy Science **92**: 3175-3184.
- Bicalho, R., L. Warnick und C. Guard (2008). "Strategies to analyze milk losses caused by diseases with potential incidence throughout the lactation: A lameness example." Journal of Dairy Science **91**: 2653-2661.
- Bickert, W. und J. Cermak (1997). Housing considerations relevant to lameness of dairy cows. In: Lameness of Cattle. Philadelphia, W. B. Saunders Co.: 300-307.
- Bielfeldt, J., R. Badertscher, K.-H. Tölle und J. Krieter (2005). "Risk factors influencing lameness and claw disorders in dairy cows." Livestock Production Science **95**: 265-271.
- Bjurstrom, A. und T. Kohlman. (2017). "Prevalence of Digital Dermatitis in Dairy Cattle in Eastern Wisconsin Dairy Herds 2016 Field Survey." Retrieved 27.09.2020, from <https://fyi.extension.wisc.edu/dairy/files/2015/07/2016-hoof-health-report.pdf>.
- Blecher, K., A. Nasir und A. Friedman (2011). "The growing role of nanotechnology in combating infectious disease." Virulence **2**: 395-401.
- Blencowe, D. K. und A. P. Morby (2003). "Zn(II) metabolism in prokaryotes." FEMS Microbiology Reviews **27**: 291-311.
- Blowey, R., L. Green, V. Collis, A. Packington und B. Zemljic (2004). The effects of season and stage of lactation on lameness in 900 dairy cows. Proc. 13th Int. Symp. and 5th

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia: 43-45.

Blowey, R. und M. Sharp (1988). "Digital dermatitis in dairy cattle." *The Veterinary Record* **122**: 505-508.

Boone, R. E., R. A. Bucklin und D. R. Bray (2009). Comparison of freestall bedding materials and their effect on cow behavior and cow health. American Society of Agricultural and Biological Engineers, Reno, Nevada, 21.-24.06.2009.

Boyd, D., H. Li, D. A. Tanner, M. Towler und J. Wall (2006). "The antibacterial effects of zinc ion migration from zinc-based glass polyalkenoate cements." *Journal of Materials Science: Materials in Medicine* **17**: 489-494.

Budkevich, T. V., A. V. El'skaya und K. H. Nierhaus (2008). "Features of 80S mammalian ribosome and its subunits." *Nucleic Acids Research* **36**: 4736-4744.

Capion, N., T. K. Jensen, K. Klitgaard und M. Boye (2008). Relations between macroscopic appearance, histopathologic changes and bacterial diversity in digital dermatitis lesions. Proc. 15th Int. Symp. and 7th Conference on Lameness in ruminants, Kuopio, Finland: 154-155.

Capion, N., E. K. Larsson und O. L. Nielsen (2018). "A clinical and histopathological comparison of the effectiveness of salicylic acid to a compound of inorganic acids for the treatment of digital dermatitis in cattle." *Journal of Dairy Science* **101**: 1325-1333.

Carvalho, V. R. C., R. A. Bucklin, J. K. Shearer und L. Shearer (2005). "Effects of trimming on dairy cattle hoof weight bearing and pressure distributions during the stance phase." *Transactions of the ASAE* **48**: 1653-1659.

Cha, E., J. Hertl, D. Bar und Y. Gröhn (2010). "The cost of different types of lameness in dairy cows calculated by dynamic programming." *Preventive Veterinary Medicine* **97**: 1-8.

Chapinal, N., A. M. de Passillé und J. Rushen (2009). "Weight distribution and gait in dairy cattle are affected by milking and late pregnancy." *Journal of Dairy Science* **92**: 581-588.

Chapinal, N., Y. Liang, D. Weary, Y. Wang und M. Von Keyserlingk (2014). "Risk factors for lameness and hock injuries in Holstein herds in China." *Journal of Dairy Science* **97**: 4309-4316.

Charfeddine, N. und M. A. Pérez-Cabal (2017). "Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows." *Journal of Dairy Science* **100**: 653-665.

Charlton, G. L., D. B. Haley, J. Rushen und A. M. de Passillé (2014). "Stocking density,

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

milking duration, and lying times of lactating cows on Canadian freestall dairy farms." *Journal of Dairy Science* **97**: 2694-2700.

Cheli, R. und C. M. Mortellaro (1974). La dermatitis digitale del bovino. Proc. 8th Int. Conference on Diseases of Cattle, Milan, Italy: 208-213.

Clarkson, M., D. Downham, W. Faull, J. Hughes, F. Manson, J. Merritt, R. Murray, W. Russell, J. Sutherst und W. Ward (1996). "Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle." *Veterinary Record* **138**: 563-567.

Clemente, C. H. (1986). Verbände. In: *Chirurgie am Fuß des Rindes*. C. H. Clemente. Hengersberg, Schober: 35-36.

Cook, N. B. (2003). "Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface." *Journal of the American Veterinary Medical Association* **223**: 1324-1328.

Coulon, J., F. Lescourret und A. Fonty (1996). "Effect of foot lesions on milk production by dairy cows." *Journal of Dairy Science* **79**: 44-49.

Cramer, G., K. D. Lissemore, C. L. Guard, K. E. Leslie und D. F. Kelton (2008). "Herd- and cow-level prevalence of foot lesions in Ontario dairy cattle." *Journal of Dairy Science* **91**: 3888-3895.

Cramer, G., T. Winders, L. Solano und D. H. Kleinschmit (2018). "Evaluation of agreement among digital dermatitis scoring methods in the milking parlor, pen, and hoof trimming chute." *Journal of Dairy Science* **101**: 2406-2414.

Cruz, C., C. Pescador, Y. Nakajima und D. Driemeier (2005). "Immunopathological investigations on bovine digital epidermitis." *Veterinary record* **157**: 834-840.

Cutler, J. H. H., G. Cramer, J. J. Walter, S. T. Millman und D. F. Kelton (2013). "Randomized clinical trial of tetracycline hydrochloride bandage and paste treatments for resolution of lesions and pain associated with digital dermatitis in dairy cattle." *Journal of Dairy Science* **96**: 7550-7557.

Dembele, I., M. Spinka, I. Stehulova, J. Panama und P. Firla (2006). "Factors contributing to the incidence of prevalence of lameness on Czech dairy farms." *Czech Journal of Animal Science* **51**: 102.

Dietz, O. (1970). "Vorkommen, Aetiologie, Pathogenese, Prophylaxe, Therapie der häufigsten Klauenerkrankungen in grossen Rinderbeständen." *Monatshefte für Veterinärmedizin* **25**: 413-418.

LITERATURVERZEICHNIS

Dietz, O. und K. Koch (1972). "Zur Klauengesundheit bei einstreuloser Haltung." Monatshefte für Veterinärmedizin **27**: 269-273.

Dippel, S., M. Dolezal, C. Brenninkmeyer, J. Brinkmann, S. March, U. Knierim und C. Winckler (2009). "Risk factors for lameness in freestall-housed dairy cows across two breeds, farming systems, and countries." Journal of Dairy Science **92**: 5476-5486.

Dirksen, G. (2002). Krankheiten im Bereich der Zehen. In: Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. G. Dirksen, H.-D. Gründer and M. Stöber. Berlin, Wien, Parey. **4**: 912-978.

Dirksen, G. (2006). Nachsorgemaßnahmen nach Operationen an den Zehen. In: Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. G. Dirksen, H.-D. Gründer and M. Stöber, Georg Thieme Verlag. 5. Auflage: 992-995.

Dolecheck, K. A., M. W. Overton, T. B. Mark und J. M. Bewley (2019). "Use of a stochastic simulation model to estimate the cost per case of digital dermatitis, sole ulcer, and white line disease by parity group and incidence timing." Journal of Dairy Science **102**: 715-730.

Döpfer, D. (1994). Epidemiological investigations of dermatitis digitalis on two dairy farms. Dissertation Hannover.

Döpfer, D. (2014). Digital Dermatitis. In: Cattle lameness: Identification, prevention and control of claw lesions. Z. I. B. L. Committee, Zinpro Corporation, Eden Prairie, MN. **1**: 47-51.

Döpfer, D., K. Anklam, D. Mikheil und P. Ladell (2012a). "Growth curves and morphology of three Treponema subtypes isolated from digital dermatitis in cattle." The Veterinary Journal **193**: 685-693.

Döpfer, D., M. Holzhauser und M. van Boven (2012b). "The dynamics of digital dermatitis in populations of dairy cattle: Model-based estimates of transition rates and implications for control." The Veterinary Journal **193**: 648-653.

Döpfer, D., A. Koopmans, F. A. Meijer, I. Szakáll, Y. H. Schukken, W. Klee, R. B. Bosma, J. L. Cornelisse, A. J. A. M. van Asten und A. A. H. M. ter Huurne (1997). "Histological and bacteriological evaluation of digital dermatitis in cattle, with special reference to spirochaetes and Campylobacter faecalis." Veterinary Record **140**: 620-623.

Döpfer, D. und J. B. Morlán (2008). "The paradox of modern animal husbandry and lameness." The Veterinary Journal **175**: 153-154.

Döpfer, D. und M. Willemann (1998). Standardisation of infectious claw diseases. Proceedings of the 10th International Symposium on Lameness in Ruminants: 244-254.

Dupont, D. P., G. E. Duhamel, M. P. Carlson und M. R. Mathiesen (1994). "Effect of divalent

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

cations on hemolysin synthesis by *Serpulina* (*Treponema*) *hyodysenteriae*: inhibition induced by zinc and copper." *Veterinary Microbiology* **41**: 63-73.

Edwards, A., D. Dymock und H. Jenkinson (2003). "From tooth to hoof: treponemes in tissue-destructive diseases." *Journal of applied microbiology* **94**: 767-780.

Egger-Danner, C., P. Nielsen, A. Fiedler, K. Müller, T. Fjeldaas, D. Döpfer, V. Daniel, C. Bergsten, G. Cramer, A. M. Christen, K. F. Stock, G. Thomas, M. Holzhauer, A. Steiner, J. Clarke, N. Capion, N. Charfeddine, E. Pryce, E. Oakes, J. Burgstaller, B. Heringstad, C. Ødegård und J. Kofler (2014). "ICAR Claw Health Atlas." ICAR Technical Series **18**: 45 pp.

Eggers, T. (2001). "Die Wundheilung des Rusterholzschens Klauengeschwürs beim Rind. Licht- und transmissionselektronenmikroskopische Auswertung einer kontrollierten klinischen Studie zur Wundheilung und zum Einfluss von Biotin auf den Heilungsverlauf." Dissertation.

el-Ghoul, W. und B. I. Shaheed (2001). "Ulcerative and papillomatous digital dermatitis of the pastern region in dairy cattle: clinical and histopathological studies." *DTW. Deutsche tierärztliche Wochenschrift* **108**: 216-222.

Endres, M. I. (2017). "The Relationship of Cow Comfort and Flooring to Lameness Disorders in Dairy Cattle." *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* **33**: 227-233.

Enevoldsen, C., Y. Gröhn und I. Thysen (1991). "Sole ulcers in dairy cattle: associations with season, cow characteristics, disease, and production." *Journal of Dairy Science* **74**: 1284-1298.

Esch, M. (2004). "Untersuchungen zur Wirksamkeit eines Poly-Vinyl-Pyrrolidon (PVP)-Jodkomplexes zur Behandlung der Dermatitis digitalis (D.d.) und zum Bewegungsverhalten von an D.d. erkrankten Milchkühen." Dissertation.

Ettema, J. F., N. Capion und A. E. Hill (2007). "The association of hoof lesions at claw trimming with test-day milk yield in Danish Holsteins." *Preventive Veterinary Medicine* **79**: 224-243.

Fiedler, A. (2004). Der neue bundeseinheitliche Diagnoseschlüssel. In: 1. Internationaler Trendreport Klauengesundheit. Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft. Frankfurt am Main, DLG Verlag: 163-186.

Fiedler, A. (2013). Gute gewickelt ist halb geheilt. *Rinderprofi – Das Magazin für moderne Rinderhaltung*. Ausgabe: Oktober: 39-41.

Fiedler, A., J. Maierl und K. Nuss (2019). *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. D. Devaux, C. Egger-Danner, M. Feist et al. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag: 6.

LITERATURVERZEICHNIS

Fiedler, A., C. Sauter-Louis und J. Maierl (2015). "Polyurethane dressing, tetracycline and salicylic acid use for treatment of digital dermatitis in cattle. A comparative study." *Tierärztliche Praxis Großtiere* **43**: 350-358.

Fjeldaas, T., Å. Sogstad und O. J. J. o. d. s. Østerås (2011). "Locomotion and claw disorders in Norwegian dairy cows housed in freestalls with slatted concrete, solid concrete, or solid rubber flooring in the alleys." *Journal of Dairy Science* **94**: 1243-1255.

Flower, F. und D. Weary (2006). "Effect of hoof pathologies on subjective assessments of dairy cow gait." *Journal of Dairy Science* **89**: 139-146.

Garbarino, E. J., J. Hernandez, J. Shearer, C. Risco und W. Thatcher (2004). "Effect of lameness on ovarian activity in postpartum Holstein cows." *Journal of Dairy Science* **87**: 4123-4131.

Gkuh. (2018). "GKUH Gesundheitsmonitoring. Standards. Zentrale Tiergesundheitschlüssel RIND (ZTGS RIND)." Retrieved 21.03.2021, from http://www.gkuh.de/Texte/procedure_recording2.html.

Gomez, A., N. B. Cook, N. D. Bernardoni, J. Rieman, A. F. Dusick, R. Hartshorn, M. T. Socha, D. H. Read und D. Döpfer (2012). "An experimental infection model to induce digital dermatitis infection in cattle." *Journal of Dairy Science* **95**: 1821-1830.

Gomez, A., N. B. Cook, M. T. Socha und D. Döpfer (2015). "First-lactation performance in cows affected by digital dermatitis during the rearing period." *Journal of Dairy Science* **98**: 4487-4498.

Green, L., V. Hedges, Y. Schukken, R. Blowey und A. Packington (2002). "The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows." *Journal of Dairy Science* **85**: 2250-2256.

Green, L., J. Huxley, C. Banks und M. J. Green (2014). "Temporal associations between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd." *Preventive Veterinary Medicine* **113**: 63-71.

Greenough, P. (1987). "Pododermatitis circumscripta (ulceration of the sole) in cattle." *Agri-Practice (USA)* **8**: 17-22.

Greenough, P. und A. Weaver, Eds. (1997). *Lameness in Cattle*. Philadelphia, W.B. Saunders Company.

Greenough, P. R. (2007). The laminitis syndrome. In: *Bovine Laminitis and Lameness*. C. Bergsten, A. Brizzi and C. Muelling. Philadelphia, Elsevier Health Sciences. **1**: 36–54.

Gudaj, R., E. Brydl, J. Posta und I. Komlósi (2012). "Effect of lameness on milk production in

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Holstein-Friesian farms in Hungary." *Allattenyesztes Es Takarmanyozas* **61**: 66-77.

Guhl, E. (2009). "Vergleichende Untersuchung über die Auswirkungen von Laufflächenbelägen aus Gummi und Beton auf Klauenhornqualität, Hornnachschiebung und abrieb, Nettohornwachstum, Lahmheit und Klauengesundheit von Milchrindern in Laufstallhaltung." Dissertation.

Hanemann, M. (2014). Die Auswirkung der Klauengesundheit auf die Milchleistung bayerischer Fleckviehkühe. Dissertation, LMU München.

Hartshorn, R. E., E. C. Thomas, K. Anklam, M. G. Lopez-Benavides, M. Buchalova, T. C. Hemling und D. Döpfer (2013). "Short communication: Minimum bactericidal concentration of disinfectants evaluated for bovine digital dermatitis-associated *Treponema phagedenis*-like spirochetes." *Journal of Dairy Science* **96**: 3034-3038.

Hedlund, C. S. (2007). Surgery of the integumentary system. In: *Small animal surgery*. T. W. Fossum. St. Louis, Missouri, Mosby Inc., Elsevier Inc. **3**: 159-259.

Hernandez, J., J. K. Shearer und D. W. Webb (2002). "Effect of lameness on milk yield in dairy cows." *Journal of the American Veterinary Medical Association* **220**: 640-644.

Higginson, J., G. Cramer, S. Millman, J. Walter und D. Kelton (2011). "Effect of paste or wrap oxytetracycline treatment on papillomatous digital dermatitis." Abstract ADSA.

Hleba, L., I. Charousova, M. Cisarova, A. Kovacik, J. Kormanec, J. Medo, M. Bozik und S. Javorekova (2018). "Rapid identification of *Streptomyces* tetracycline producers by MALDI-TOF mass spectrometry." *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng* **53**: 1083-1093.

Holzhauer, M., C. Bartels, M. Van Barneveld, C. Volders und T. Lam (2011). "Curative effect of topical treatment of digital dermatitis with a gel containing activated copper and zinc chelate." *Veterinary Record* **169**: 555.

Holzhauer, M., C. Hardenberg und C. Bartels (2008). "Herd and cow-level prevalence of sole ulcers in The Netherlands and associated-risk factors." *Preventive Veterinary Medicine* **85**: 125-135.

Holzhauer, M., C. Hardenberg, C. Bartels und K. Frankena (2006). "Herd-and cow-level prevalence of digital dermatitis in the Netherlands and associated risk factors." *Journal of Dairy Science* **89**: 580-588.

Holzhauer, M., R. Ploegmakers-van Deventer, D. Smits und W. Swart (2017). "Comparing the curative efficacy of topical treatment with thiamphenicol and oxytetracycline on digital dermatitis lesions in dairy cattle." *Veterinary Record* **180**: 500-500.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Hultgren, J. (2002). "Foot/leg and udder health in relation to housing changes in Swedish dairy herds." *Preventive veterinary medicine* **53**: 167-189.

Hultgren, J., E. Telezhenko, M. Ventorp und C. Bergsten (2009). Walkway floor design, feed stalls, claw lesions and locomotion in Swedish cubicle-housed dairy cattle. In: Sustainable animal production. The challenges and potential developments for professional farming. Wageningen, Wageningen Academic Publishers: 121-133.

Huxley, J. N. (2005). An investigation into the effects of herd health planning and health and welfare benchmarking on cattle health and welfare on organic dairy farms in south west England.

Huxley, J. N. (2013). "Impact of lameness and claw lesions in cows on health and production." *Livestock Science* **156**: 64-70.

Kehler, W. und T. Gerwing (2004). Effects of functional claw trimming on pressure distribution under hind claws of German Holstein cows. Proc. 13th Int. Symp. and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia: 103-104.

Kempson, S. A. und D. N. Logue (1993). "Ultrastructural observations of hoof horn from dairy cows: changes in the white line during the first lactation." *Veterinary Record* **132**: 524.

Kindt, M. und A. Fiedler. (2013). "Verbände sachgerecht anbringen." *Arbeitsanleitungen, Klauen, Klauenerkrankungen* 17.10.2013, 12:50. Retrieved 16.09.2020 17:30 Uhr, from <https://www.milchpraxis.com/verbaende-und-kloetze-sachgerecht-anbringen/>.

Klawitter, M., T. Braden und K. E. Müller (2019a). "Randomized clinical trial evaluating the effect of bandaging on the healing of sole ulcers in dairy cattle." *Veterinary and Animal Science*: 100070.

Klawitter, M., D. Döpfer, T. B. Braden, E. Amene und K. E. Mueller (2019b). "Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows." *Veterinary Record Open* **6**: e000264.

Kofler, J. (1997). "Auftreten von Dermatitis digitalis ("Mortellaro disease") in einem Milchviehbestand in Niederoesterreich." *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* **84**: 254-265.

Kofler, J. (2009). Orthopädischer Untersuchungsgang. In: *Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere*. W. Baumgartner. Stuttgart, Enke Verlag. **7**.: 216-281.

Kofler, J. und A. Fiedler (2019). Dermatitis digitalis (Mortellaro-Krankheit, "Erdbeerkrankheit"). In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. A. Fiedler, J. Maierl and K. Nuss. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag: 103-112.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Kofler, J., A. Fiedler, N. Charfeddine, N. Capion, T. Fjeldaas, G. Cramer, N. Bell, K. Müller, A. Christen, G. Thomas, B. Heringstad, K. Stock, M. Holzhauer, J. Nieto, C. Egger-Danner und D. Döpfer (2020a). ICAR Claw Health Atlas: Appendix 1 : Digital Dermatitis Stages (M-stages) Rome, Italy, ICAR, 1. Auflage.

Kofler, J., A. Fiedler, N. Charfeddine, N. Capion, T. Fjeldaas, G. Cramer, N. Bell, K. Müller, A. Christen, G. Thomas, B. Heringstad, K. Stock, M. Holzhauer, J. Nieto, C. Egger-Danner und D. Döpfer (2020b). ICAR Claw Health Atlas: Appendix 2 : Digital Dermatitis-associated Claw Horn Lesions. Rome, Italy, ICAR, 1. Auflage.

Kofler, J. und J. Gasteiner (2002). "Klauenrehe – Die wichtigste Klauenerkrankung unserer Milchrinder." *Der fortschrittliche Landwirt*: 1-11.

Kofler, J., C. Innerebner, R. Pesenhofer, A. Hangl und A. Tichy (2015). "Effectiveness of salicylic acid paste for treatment of digital dermatitis in dairy cows compared with tetracycline spray and hydrotherapy." *Berliner und Munchener Tierärztliche Wochenschrift* **128**: 326-334.

Kofler, J., R. Pesenhofer, G. Landl, I. Sommerfeld-Stur und C. Peham (2013). "Monitoring of dairy cow claw health status in 15 herds using the computerised documentation program Claw Manager and digital parameters." *Tierärztliche Praxis. Ausgabe G, Grosstiere/Nutztiere* **41**: 31-44.

Kossaibati, M. und R. Esslemont (2000). The incidence of lameness in 50 dairy herds in England. *Proc. 11th Int. Symp. on Disorders of the Ruminant Digit and 3rd Int. Conference on Bovine Lameness, Parma, Italy*: 160-162.

Krawczel, P. D., C. T. Hill, H. M. Dann und R. J. Grant (2008). "Short Communication: Effect of Stocking Density on Indices of Cow Comfort." *Journal of Dairy Science* **91**: 1903-1907.

Krull, A. C., J. K. Shearer, P. J. Gorden, V. L. Cooper, G. J. Phillips und P. J. Plummer (2014). "Deep Sequencing Analysis Reveals the Temporal Microbiota Changes Associated with the Development of Bovine Digital Dermatitis." *Infection and immunity* **82**: 3359-3373.

Kujala, M., C. Schnier, J. Niemi und T. Soveri (2004). Occurrence of hoof diseases in dairy cattle in Finland. *Proc. 13th Int. Symp. and 5th Conference on Lameness in Ruminants, Maribor, Slovenia*: 11-15.

Kümper, H. (2000). "Entstehungsweise, Therapie und Prophylaxe von Gliedmaßenkrankungen bei Kühen." *Großtierpraxis* **1**: 6-24.

Laven, R. (2006). "Efficacy of systemic cefquinome and erythromycin against digital dermatitis in cattle." *Vet. Rec.* **159**: 19-21.

Laven, R., K. Lawrence, J. Weston, K. Dowson und K. Stafford (2008). "Assessment of the duration of the pain response associated with lameness in dairy cows, and the influence of

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

treatment." *New Zealand Veterinary Journal* **56**: 210-217.

Laven, R. und D. Logue (2006). "Treatment strategies for digital dermatitis for the UK." *The Veterinary Journal* **171**: 79-88.

Lean, I. J., C. T. Westwood, H. M. Golder und J. J. Vermunt (2013). "Impact of nutrition on lameness and claw health in cattle." *Livestock Science* **156**: 71-87.

Lim, P. Y., J. N. Huxley, J. A. Willshire, M. J. Green, A. R. Othman und J. Kaler (2015). "Unravelling the temporal association between lameness and body condition score in dairy cattle using a multistate modelling approach." *Preventive Veterinary Medicine* **118**: 370-377.

Lischer, C. (2000a). Behandlung häufiger Klauenkrankheiten. In: *Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind*. C. Lischer. Berlin, Parey. **2., erw. Aufl.**: 83-93.

Lischer, C. (2000b). Häufige Klauenkrankheiten. In: *Handbuch zur Pflege und Behandlung der Klauen beim Rind*. C. Lischer. Berlin, Parey. **2., erw. Aufl.**: 95-114.

Lischer, C. J. (2000c). *Sohlengeschwüre beim Rind: Pathogenese und Heilungsverlauf*. Habilitationsschrift.

Lischer, C. J., U. Koller, H. Geyer, C. Mülling, J. Schulze und P. Ossent (2002). "Effect of therapeutic dietary biotin on the healing of uncomplicated sole ulcers in dairy cattle—a double blinded controlled study." *The Veterinary Journal* **163**: 51-60.

Lischer, C. J. und P. Ossent (2001). "Bovine sole ulcer: A literature review." *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* **114**: 13-21.

Manske, T., J. Hultgren und C. Bergsten (2002a). "The effect of claw trimming on the hoof health of Swedish dairy cattle." *Preventive Veterinary Medicine* **54**: 113-129.

Manske, T., J. Hultgren und C. Bergsten (2002b). "Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows." *Preventive Veterinary Medicine* **54**: 247-263.

Manske, T., J. Hultgren und C. Bergsten (2002c). "Topical treatment of digital dermatitis associated with severe heel-horn erosion in a Swedish dairy herd." *Preventive Veterinary Medicine* **53**: 215-231.

Manson, F. a. und J. Leaver (1988). "The influence of concentrate amount on locomotion and clinical lameness in dairy cattle." *Animal Science* **47**: 185-190.

Martens, H. (2016). "Leistung und Gesundheit von Milchkühen: Bedeutung von Genetik (Ursache) und Management (Wirkung)." *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Großtiere/Nutztiere*

LITERATURVERZEICHNIS

44: 253-258.

McDevitt, C. A., A. D. Ogunniyi, E. Valkov, M. C. Lawrence, B. Kobe, A. G. McEwan und J. C. Paton (2011). "A Molecular Mechanism for Bacterial Susceptibility to Zinc." *PLOS Pathogens* **7**: e1002357.

McLennan, M. (1988). "Incidence of lameness requiring veterinary treatment in dairy cattle in Queensland." *Australian Veterinary Journal* **65**: 144-147.

Melendez, P., J. Bartolome, L. Archbald und A. Donovan (2003). "The association between lameness, ovarian cysts and fertility in lactating dairy cows." *Theriogenology* **59**: 927-937.

METZNER, M. (2001). "Update zur Dermatitis digitalis des Rindes." *Großtierpraxis* **6**: 47-51.

Morris, M., S. Walker, D. Jones, J. Routly, R. Smith und H. Dobson (2009). "Influence of somatic cell count, body condition and lameness on follicular growth and ovulation in dairy cows." *Theriogenology* **71**: 801-806.

Mortellaro, C. (1994). Digital dermatitis. Proc. 8th Int. Symp. Disorders of the Ruminant Digit, Int Conf Bovine Lameness, Banff, Canada: 137-134.

Muller, E., J. Al-Attar, A. G. Wolff und B. F. Farber (1998). "Mechanism of salicylate-mediated inhibition of biofilm in *Staphylococcus epidermidis*." *Journal of Infectious Diseases* **177**: 501-503.

Mülling, C. und C. Lischer (2002). Neue Aspekte zur Ätiologie und Pathogenese der Klauenrehe. In: *Vet-Med Report. Sonderausgabe*. **4** 12-13.

Murray, R., D. Downham, M. Clarkson, W. Faull, J. Hughes, F. Manson, J. Merritt, W. Russell, J. Sutherst und W. Ward (1996). "Epidemiology of lameness in dairy cattle: description and analysis of foot." *Veterinary Record* **138**: 586-591.

Nacambo, S., Hässig, M., Lischer, C., & Nuss, K. (2007). "Difference in the Length of the Medial and Lateral Metacarpal and Metatarsal Condyles in Calves and Cows—A Post-Mortem Study." *Anatomia, histologia, embryologia*, **6**: 408-412.

Nairn, Brittany L., Zachery R. Lonergan, J. Wang, Joseph J. Braymer, Y. Zhang, M. W. Calcutt, John P. Lisher, Benjamin A. Gilston, Walter J. Chazin, V. de Crécy-Lagard, David P. Giedroc und Eric P. Skaar (2016). "The Response of *Acinetobacter baumannii* to Zinc Starvation." *Cell Host & Microbe* **19**: 826-836.

Nelson, M. L., B. H. Park, J. S. Andrews, V. A. Georgian, R. C. Thomas und S. B. Levy (1993). "Inhibition of the tetracycline efflux antiport protein by 13-thio-substituted 5-hydroxy-6-deoxytetracyclines." *Journal of Medicinal Chemistry* **36**: 370-377.

LITERATURVERZEICHNIS

Newsome, R. F., M. J. Green, N. J. Bell, N. J. Bollard, C. S. Mason, H. R. Whay und J. N. Huxley (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**: 4745-4758.

Nielsen, B. H., P. T. Thomsen, L. E. Green und J. Kaler (2012). "A study of the dynamics of digital dermatitis in 742 lactating dairy cows." *Preventive Veterinary Medicine* **104**: 44-52.

Nishikawa, A. und K. Taguchi (2008). "Healing of digital dermatitis after a single treatment with topical oxytetracycline in 89 dairy cows." *Veterinary Record* **163**: 574-576.

Nuss, K. (2019). Rusterholzsches Sohlengeschwür (Pododermatitis septica circumscripta im Bereich der Hohlkehlung, typisches Sohlengeschwür). In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. A. Fiedler, J. Maierl and K. Nuss. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag: 131-137.

Nuss, K. und A. Fiedler (2019). Nachsorge. In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. A. Fiedler, J. Maierl and K. Nuss. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag: 218-235.

Nuss, K. und Paulus, N. (2006). "Measurements of claw dimensions in cows before and after functional trimming: A post-mortem study." *The Veterinary Journal*, **2**, 284-292.

Nuss, K. und A. Steiner (2019). Spezielle Untersuchung der Klauen. In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*. A. Fiedler, J. Maierl and K. Nuss. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag: 89 - 93.

Oberbauer, A. M., S. L. Berry, J. M. Belanger, R. M. McGoldrick, J. M. Pinos-Rodriguez und T. R. Famula (2013). "Determining the heritable component of dairy cattle foot lesions." *Journal of Dairy Science* **96**: 605-613.

Oehm, A. W., G. Knubben-Schweizer, A. Rieger, A. Stoll und S. Hartnack (2019). "A systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows." *BMC Veterinary Research* **15**: 346.

Ossent, P. und C. Lischer (1994). Theories on the pathogenesis of bovine laminitis. *Proc. Int. Conf. on Bovine Lameness, Banff, Canada*: 207-209.

Palmer, M. A. und N. E. O'Connell (2015). "Digital Dermatitis in Dairy Cows: A Review of Risk Factors and Potential Sources of Between-Animal Variation in Susceptibility." *Animals* **5**: 512-535.

Philipot, J., P. Pluvinage, I. Cimarosti, P. Sulpice und F. Bugnard (1994). "Risk factors of

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

dairy cow lameness associated with housing conditions." *Veterinary Research* **25**: 244-248.

Potterton, S. L., N. J. Bell, H. R. Whay, E. A. Berry, O. C. D. Atkinson, R. S. Dean, D. C. J. Main und J. N. Huxley (2012). "A descriptive review of the peer and non-peer reviewed literature on the treatment and prevention of foot lameness in cattle published between 2000 and 2011." *The Veterinary Journal* **193**: 612-616.

PraeRi. (2020). "Final Report PraeRi, Animal health, hygiene and biosecurity in German dairy cow operations - a prevalence study. 2814HS006." from https://service.ble.de/ptdb/index2.php?detail_id=47148&site_key=145&stichw=2&zeilenzahl_zaehler=598&NextRow=420

Pyman, M. (1997). "Comparison of bandaging and elevation of the claw for the treatment of foot lameness in dairy cows." *Australian Veterinary Journal* **75**: 132-135.

Räber, M., C. J. Lischer, H. Geyer und P. Ossent (2004). "The bovine digital cushion – a descriptive anatomical study." *The Veterinary Journal* **167**: 258-264.

Radolf, J. (1996). *Treponema*. In: *Medical Microbiology*. S. Baron. Galveston (TX): University of Texas Medical Branch at Galveston. **4. Ausgabe**.

Randall, L., M. Green, M. Chagunda, C. Mason, S. Archer, L. Green und J. Huxley (2015). "Low body condition predisposes cattle to lameness: An 8-year study of one dairy herd." *Journal of Dairy Science* **98**: 3766-3777.

Read, D. und R. Walker (1996). "Experimental transmission of papillomatous digital dermatitis (footwarts) in cattle." *Veterinary Pathology* **33**: 607.

Read, D., R. Walker, A. Castro, J. Sundberg und M. Thurmond (1992). "An invasive spirochaete associated with interdigital papillomatosis of dairy cattle." *Veterinary Record* **130**: 59-60.

Read, D. H. und R. L. Walker (1998). "Papillomatous Digital Dermatitis (Footwarts) in California Dairy Cattle: Clinical and Gross Pathologic Findings." *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation* **10**: 67-76.

Relun, A., A. Lehebel, N. Bareille und R. Guatteo (2012). "Effectiveness of different regimens of a collective topical treatment using a solution of copper and zinc chelates in the cure of digital dermatitis in dairy farms under field conditions." *Journal of Dairy Science* **95**: 3722-3735.

Riegler, M. (2014). *Klinische Studie zur Therapie der Dermatitis digitalis : einmalige parenterale Injektion eines Depotpräparates mit dem Wirkstoff Ceftiofur vs. lokale Applikation eines Chlortetrazyklin-haltigen Sprays*. Dissertation, Gießen.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Rüeggsegger, F. (2011). Längenunterschied zwischen lateralem und medialem Zehenskelett bei Kühen mit Rusterholzschon Sohlengeschwüren im Vergleich zu Kühen mit gesunden Klauen. Dissertation, University of Zurich.

Rusterholz, A. (1920). "Das spezifisch-traumatische Klauensohlengeschwür des Rindes." Schweizer Archiv für Tierheilkunde **62**: 505-525.

Sala, A., C. Igna und L. Schuszler (2008). "Comparative aspects of pododermatitis circumscripta (sole ulcer) treatment in dairy cow." Bulletin UASVM, Veterinary Medicine **65 (2)**: 207-211.

Sanders, A. H., J. K. Shearer und A. De Vries (2009). "Seasonal incidence of lameness and risk factors associated with thin soles, white line disease, ulcers, and sole punctures in dairy cattle." Journal of Dairy Science **92**: 3165-3174.

Santo, C. E., E. W. Lam, C. G. Elowsky, D. Quaranta, D. W. Domaille, C. J. Chang und G. Grass (2011). "Bacterial Killing by Dry Metallic Copper Surfaces." **77**: 794-802.

Santos, J., R. Bisinotto, E. Ribeiro, F. Lima, L. Greco, C. Staples, W. Thatcher, M. Smith, M. Lucy und J. Pate (2011). "Applying nutrition and physiology to improve reproduction in dairy cattle." Reproduction in Domestic Ruminants VII: 387-403.

Sarjokari, K., K. O. Kaustell, T. Hurme, T. Kivinen, O. A. Peltoniemi, H. Saloniemi und P. J. Rajala-Schultz (2013). "Prevalence and risk factors for lameness in insulated free stall barns in Finland." J Livestock Science **156**: 44-52.

Schlafer, S., M. Nordhoff, C. Wyss, S. Strub, J. Hübner, D. M. Gescher, A. Petrich, U. B. Göbel und A. Moter (2008). "Involvement of Guggenheimella bovis in digital dermatitis lesions of dairy cows." Veterinary Microbiology **128**: 118-125.

Schlageter-Tello, A., E. A. M. Bokkers, P. W. G. G. Koerkamp, T. Van Hertem, S. Viazzi, C. E. B. Romanini, I. Halachmi, C. Bahr, D. Berckmans und K. Lokhorst (2014). "Manual and automatic locomotion scoring systems in dairy cows: A review." Preventive Veterinary Medicine **116**: 12-25.

Schöpke, K., S. Weidling, R. Pijl und H. Swalve (2013). "Relationships between bovine hoof disorders, body condition traits, and test-day yields." Journal of Dairy Science **96**: 679-689.

Schultz, N. und N. Capion (2013). "Efficacy of salicylic acid in the treatment of digital dermatitis in dairy cattle." The Veterinary Journal **198**: 518-523.

Shearer, J. und J. Elliott (1994). Preliminary results from a spray application of oxytetracycline to treat, control, and prevent digital dermatitis in dairy herds. Proc. 8th International Symposium on Disorders of the Ruminant Digit and International Conference on Bovine Lameness, Banff, Canada: 182.

LITERATURVERZEICHNIS

Shearer, J., S. Van Amstel, M. Benzaquen und L. Shearer (2006). Effect of season on claw disorders (including thin soles) in a large dairy in the southeastern region of the USA. Proceedings of the 14th International Symposium on Lameness in Ruminants, Uruguay, November: 8-11.

Shearer, J. K., P. J. Plummer und J. A. Schleining (2015). "Perspectives on the treatment of claw lesions in cattle." *Veterinary Medicine: Research and Reports* **6**: 273.

Shearer, J. K. und S. R. van Amstel (2001). "Functional and Corrective Claw Trimming." *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* **17**: 53-72.

Shearer, J. K. und S. R. van Amstel (2017). "Pathogenesis and Treatment of Sole Ulcers and White Line Disease." *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice* **33**: 283-300.

Silva, L. A. F., C. A. Silva, J. R. J. Borges, M. C. S. Fioravanti, G. T. Borges und I. B. Atayde (2005). "A clinical trial to assess the use of sodium hypochlorite and oxytetracycline on the healing of digital dermatitis lesions in cattle." *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne* **46**: 345-348.

Smedegaard, H. (1985). "Pododermatitis circumscripta (Rusterholz'sches Sohlengeschwür): Ätiologie und prädisponierende Faktoren." *Wiener Tierärztliche Monatsschrift* **72**: 39-43.

Smits, M., K. Frankena, J. Metz und J. Noordhuizen (1992). "Prevalence of digital disorders in zero-grazing dairy cows." *Livestock production science* **32**: 231-244.

Sogstad, Å., O. Østerås und T. Fjeldaas (2006). "Bovine claw and limb disorders related to reproductive performance and production diseases." *Journal of Dairy Science* **89**: 2519-2528.

Sogstad, Å. M., T. Fjeldaas, O. Østerås und K. P. Forshell (2005). "Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls." *Preventive Veterinary Medicine* **70**: 191-209.

Sohrt, J. T. (1999). Ermittlung von Standardmassen für die Klauenpflege durch Untersuchungen über die Beziehung der anatomischen Innenstruktur zum Hornschuh an Klauen der Hintergliedmasse Deutsch Schwarzbunter Rinder mit Berücksichtigung von Reheveränderungen. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

Solano, L., H. W. Barkema, S. Mason, E. A. Pajor, S. J. LeBlanc und K. Orsel (2016). "Prevalence and distribution of foot lesions in dairy cattle in Alberta, Canada." *Journal of Dairy Science* **99**: 6828-6841.

Solano, L., H. W. Barkema, E. A. Pajor, S. Mason, S. J. LeBlanc, J. C. Zaffino Heyerhoff, C.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

G. R. Nash, D. B. Haley, E. Vasseur, D. Pellerin, J. Rushen, A. M. de Passillé und K. Orsel (2015). "Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns." *Journal of Dairy Science* **98**: 6978-6991.

Somers, J., K. Frankena, E. N. Noordhuizen-Stassen und J. Metz (2003). "Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems." *Journal of Dairy Science* **86**: 2082-2093.

Sprecher, D., D. Hostetler und J. Kaneene (1997). "A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance." *Theriogenology* **47**: 1179-1187.

Statistisches Bundesamt. (Mai 2019). "Fachserie 3, Reihe 4.1." 3. Mai 2019. Retrieved 12.05.2020 17:30 Uhr, from <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Tiere-Tierische-Erzeugung/Publikationen/Downloads-Tiere-und-tierische-Erzeugung/viehbestand-2030410195314.pdf? blob=publicationFile>.

Swaim, S. F., W. C. Renberg und K. M. Shike (2012). *Verbandsmanagement in der Kleintierpraxis: Verbände, Gipse und Schienen*, Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Company KG. Auflage.

Tarlton, J. F., D. E. Holah, K. M. Evans, S. Jones, G. R. Pearson und A. J. F. Webster (2002). "Biomechanical and Histopathological Changes in the Support Structures of Bovine Hooves around the Time of First Calving." *The Veterinary Journal* **163**: 196-204.

Thawer, H. A., P. E. Houghton, M. G. Woodbury, D. Keast und K. Campbell (2002). "Computer-assisted and manual wound size measurement." *Ostomy Wound Manage* **48**: 46-53.

The Beef Site. (17.09.2011). "Lameness in Beef Cattle." Retrieved 13.09.2020, from <http://www.thebeefsite.com/articles/2869/lameness-in-beef-cattle/>.

Thomas, H., G. Miguel-Pacheco, N. Bollard, S. Archer, N. Bell, C. Mason, O. Maxwell, J. Remnant, P. Sleeman und H. Whay (2015). "Evaluation of treatments for claw horn lesions in dairy cows in a randomized controlled trial." *Journal of Dairy Science* **98**: 4477-4486.

Thomsen, P., L. Munksgaard und F. Tøgersen (2008). "Evaluation of a lameness scoring system for dairy cows." *Journal of Dairy Science* **91**: 119-126.

Thyssen, I. (1987). Foot and leg disorders in dairy cattle in different housing systems. In: *Cattle Housing Systems, Lameness and Behaviour*. H. K. Wierenga, Peterse, D.J. Dordrecht, The Netherlands, Martinus Nijhoff: 166-178.

TierSchG (2006). *Tierschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006*

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

(BGBl. I S. 1206, 1313), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2586) geändert worden ist.

Toholj, B., J. Kos, O. Smolec und A. Potkonjak (2012). "Efficiency of different therapeutic protocols in treating digital dermatitis in dairy cows." *Veterinarski arhiv* **82**: 133-142.

Toussaint Raven, E. (1985). *Cattle Footcare and Claw Trimming*. In: *Cattle Footcare and Claw Trimming*. Ipswich, UK, Farming Press Books: 75-106.

Toussaint Raven, E. (1989). *Cattle footcare and claw trimming*, Farming Press Books, Ipswich, U.K. Auflage.

Toussaint Raven, E. (1998a). *Klauenpflege beim Rind*, Deutsche Übersetzung: D. Döpfer, Universität Utrecht. Auflage.

Toussaint Raven, E. (1998b). *Über die Entstehung und die Vorbeuge von Sohlengeschwüren*. In: *Klauenpflege beim Rind*, Deutsche Übersetzung: D. Döpfer, Universität Utrecht: 98-102.

Tracey, A. K., C. J. Alcott, J. A. Schleining, S. Safayi, P. C. Zaback, J. M. Hostetter und E. L. Reinertson (2014). "The effects of topical oxygen therapy on equine distal limb dermal wound healing." *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire canadienne* **55**: 1146-1152.

Tranter, W. P. und R. S. Morris (1991). "A case study of lameness in three dairy herds." *New Zealand Veterinary Journal* **39**: 88-96.

Tremblay, M., T. Bennett und D. Döpfer (2016). "The DD Check App for prevention and control of digital dermatitis in dairy herds." *Preventive Veterinary Medicine* **132**: 1-13.

Tsuka, T., K. Ooshita, A. Sugiyama, T. Osaki, Y. Okamoto, S. Minami und T. Imagawa (2012). "Quantitative evaluation of bone development of the distal phalanx of the cow hind limb using computed tomography." *Journal of Dairy Science* **95**: 127-138.

van Amstel, S. R. und J. K. Shearer (2006a). *Biomechanics of Weight (Load) Bearing and Claw Trimming*. In: *Manual for Treatment and Control of Lameness in Cattle*. S. R. van Amstel and J. K. Shearer. Ames (IA), Blackwell Publishing Professional: 42-126.

van Amstel, S. R. und J. K. Shearer (2006b). "Review of Pododermatitis Circumscripta (Ulceration of the Sole) in Dairy Cows." *Journal of Veterinary Internal Medicine* **20**: 805-811.

van Amstel, S. R., J. K. Shearer und F. L. Palin (2004). "Moisture Content, Thickness, and Lesions of Sole Horn Associated with Thin Soles in Dairy Cattle." *Journal of Dairy Science* **87**: 757-763.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Van De Gucht, T., W. Saeys, J. Van Meensel, A. Van Nuffel, J. Vangeyte und L. Lauwers (2018). "Farm-specific economic value of automatic lameness detection systems in dairy cattle: From concepts to operational simulations." *Journal of Dairy Science* **101**: 637-648.

van der Linde, C., G. de Jong, E. P. C. Koenen und H. Eding (2010). "Claw health index for Dutch dairy cattle based on claw trimming and conformation data." *Journal of Dairy Science* **93**: 4883-4891.

van der Tol, P. P. J., J. H. M. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam und W. A. Weijs (2002). "The Pressure Distribution Under the Bovine Claw During Square Standing on a Flat Substrate." *Journal of Dairy Science* **85**: 1476-1481.

Van Nuffel, A., I. Zwertvaegher, L. Pluym, S. Van Weyenberg, V. M. Thorup, M. Pastell, B. Sonck und W. J. A. Saeys (2015). "Lameness detection in dairy cows: Part 1. How to distinguish between non-lame and lame cows based on differences in locomotion or behavior." **5**: 838-860.

Vanhoudt, A., D. A. Yang, T. Armstrong, J. N. Huxley, R. A. Laven, A. D. Manning, R. F. Newsome, M. Nielen, T. van Werven und N. J. Bell (2019). "Interobserver agreement of digital dermatitis M-scores for photographs of the hind feet of standing dairy cattle." *Journal of Dairy Science* **102**: 5466-5474.

von Keyserlingk, M., A. Barrientos, K. Ito, E. Galo und D. Weary (2012). "Benchmarking cow comfort on North American freestall dairies: Lameness, leg injuries, lying time, facility design, and management for high-producing Holstein dairy cows." *Journal of Dairy Science* **95**: 7399-7408.

Walker, R. L., D. H. Read, K. J. Loretz und R. W. Nordhausen (1995). "Spirochetes isolated from dairy cattle with papillomatous digital dermatitis and interdigital dermatitis." *Veterinary Microbiology* **47**: 343-355.

Wang, C., L.-L. Liu, A.-T. Zhang, P. Xie, J.-J. Lu und X.-T. Zou (2012). "Antibacterial effects of zinc oxide nanoparticles on *Escherichia coli* K88." *African Journal of Biotechnology* **11**: 10248-10254.

Weber, A., E. Stamer, W. Junge und G. Thaller (2013). "Genetic parameters for lameness and claw and leg diseases in dairy cows." *Journal of Dairy Science* **96**: 3310-3318.

Weber, J., S. Richter und M. Freick (2019). "Comparison of the therapeutic efficacy of salicylic acid paste with a polyurethane wound dressing for the treatment of digital dermatitis lesions in dairy cows." *Research in Veterinary Science* **125**: 7-13.

Wells, S., L. Garber und B. Wagner (1999). "Papillomatous digital dermatitis and associated risk factors in US dairy herds." *Preventive Veterinary Medicine* **38**: 11-24.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Wells, S. J., A. M. Trent, W. Marsh und R. Robinson (1993). "Prevalence and severity of lameness in lactating dairy cows in a sample of Minnesota and Wisconsin herds." *Journal of the American veterinary medical association* **202**: 78.

Whay, H., D. Main, L. Green und A. Webster (2002). Farmer perception of lameness prevalence. *Proc. 12th Int. Symp. on Lameness in Ruminants, Orlando, Florida, USA*: 355-358.

Whay, H., A. Waterman und A. Webster (1997). "Associations between locomotion, claw lesions and nociceptive threshold in dairy heifers during the peri-partum period." *The Veterinary Journal* **154**: 155-161.

White, M., L. Glickman, I. Embree, P. Powers und E. Pearson (1981). "A randomized trial for evaluation of bandaging sole abscesses in cattle." *Journal of the American Veterinary Medical Association* **178**: 375-377.

WILLIAMS, J. und A. MOORES (2009). *BSAVA Manual of Canine and Feline Wound Management and Reconstruction*. BSAVA. Cheltenham: 41.

Wilson-Welder, J. H., D. P. Alt und J. E. Nally (2015). "The etiology of digital dermatitis in ruminants: recent perspectives." *Veterinary Medicine: Research and Reports* **6**: 155-164.

Windeler, J., G. Antes, J. Behrens, N. Donner-Banzhoff und M. Lelgemann (2008). "Randomisierte kontrollierte Studien: Kritische Evaluation ist ein Wesensmerkmal ärztlichen Handelns." *Deutsches Ärzteblatt* **105**: 502-506.

Yano, T., K. K. Moe, K. Yamazaki, T. Ooka, T. Hayashi und N. Misawa (2010). "Identification of candidate pathogens of papillomatous digital dermatitis in dairy cattle from quantitative 16S rRNA clonal analysis." *Veterinary Microbiology* **143**: 352-362.

9 Anhang

		
<p>Die Klaue wird zuerst mit Wasser und einer Bürste gereinigt und anschließend abgetrocknet. Auf die Läsion wird das Medikament aufgetragen und mit einem Gazetupfer abgedeckt.</p>	<p>Auf die anfänglich durch den Interdigitalspalt gelegte Rollenwatte folgen zwei Zirkulärtouren zur Befestigung.</p>	<p>Die folgende Baumwollbinde verläuft durch den Zwischenzehenspalt ...</p>
		
<p>...und fixiert den Verband mit vier Zirkulärtouren.</p>	<p>Anschließend wird das eine Ende der Binde mit dem Zügel verknötet. Der Knoten liegt lateral am Fuß, um keinen Druck auf die TBS auszuüben. Er besteht aus einem chirurgischen Knoten, gefolgt von zwei einfachen Knoten.</p>	<p>Abschließend wird der Verband mit Klebeband (Certoplast®) fixiert. Dies wirkt dem Aufgehen des Knotens entgegen und festigt den Verband. Um den Verband wasserabweisend zu machen, wird Holzteer aufgetragen. Wahlweise kann anstelle des Klebebandes und des Holzteers auch imprägniertes Teerband genutzt werden.</p>

Abbildung 5: Anlegen eines tiefen Klauenverbandes am Bsp. der DD

10 Publikationen

10.1 Abstracts/Proceedings

Klawitter M, Braden TB, Döpfer D, Müller KE. **2016.** To bandage or not bandage: The curative effect of bandaging digital dermatitis lesions. 29th World Buatrics Congress

Dublin, Ireland – 03.07.-08.07.2016.

In: The 29th World Buiatrics Congress, Dublin 2016 - Congress Proceedings – Michael Doherty (Hrsg.), Dublin, Irland: Veterinary Ireland 13 The Courtyard, Kilcarbery Park, Nangor Road, Dublin, S. 180, ISBN: 978-1-5262-0432-5

Klawitter M, Braden TB, Döpfer D, Müller KE. **2016.** To bandage or not bandage: the curative effect of bandaging digital dermatitis lesions. 11. Berlin-Brandenburgischer Rindertag, Berlin, 07.–08.10.2016. 11. Berlin-Brandenburgischer Rindertag — Klinik für Klauentiere der Freien Universität Berlin unter Mitwirkung der Deutschen Buiatrischen Gesellschaft (DVG), des Ministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (Hrsg.) Berlin, S. 72–73

Klawitter M, Braden TB, Döpfer D, Amene E, Müller KE. **2017.** What to do? – bandging sole ulcers or not?, 19th International Symposium and 11th Conference on Lameness in Ruminants, Munich, Germany – 06.09.-09.09.2017.

In: Proceedings of the 19th International Symposium and 11th Conference on Lameness in Ruminants. S. 216–217

Klawitter M, Braden TB, Döpfer D, Amene E, Müller KE. **2017.** To Bandage Or Not Bandage: The Curative Effect Of Bandaging Digital Dermatitis Lesions. 19th International Symposium and 11th Conference on Lameness in Ruminants. Munich, Germany – 06.09.-09.09.2017.

In: Proceedings of the 19th International Symposium and 11th Conference on Lameness in Ruminants. S. 48

Klawitter M, Braden TB, Müller KE. **2019** The best treatment for sole ulcers: should we bandage or not? European Bovine Congress, 's - Hertogenbosch, The Netherlands, 11.–13.09.2019

11 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen Menschen bedanken, die auf unterschiedliche Weise zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Insbesondere gebührt mein herzlicher Dank Frau Univ.-Prof. Dr. Kerstin E. Müller für die Überlassung dieses interessanten und praxisnahen Themas. Durch die Aufnahme in Ihre Arbeitsgruppe konnte ich Ihre Begeisterung für die Klauengesundheit erleben und mich selbst davon anstecken lassen. Sie haben mich in der Vorbereitung und während meines Forschungsaufenthaltes in den USA unterstützt und mich stets ermutigt, als Referent an zahlreichen nationalen und internationalen Kongressen teilzunehmen. Diese Schritte haben mich in meiner persönlichen Entwicklung gefördert.

Ich bedanke mich auch bei Frau Prof. Dr. Dörte Döpfer für die Ermöglichung des Forschungsaufenthaltes in ihrer Arbeitsgruppe sowie für die Hilfe bei der Erstellung der Statistik und Korrektur der ersten Publikation.

Dem Cusanuswerk danke ich für die finanzielle und ideelle Förderung durch das Promotionsstipendium. Ebenso danke ich meinen Mitstipendiatinnen und hier insbesondere Ulrike Sträßner und Miriam Stach für die gegenseitige Unterstützung, den geistigen Austausch (auch über das Fachliche hinaus) und für die entstandene Freundschaft. Liebe Ulla, du bist das Beste, was mir in der Stipendienzeit passiert ist!

Ich danke allen Kollegen und Studierenden, die mir bei der praktischen Durchführung meines Forschungsprojektes behilflich waren (u. a. Janine Vögely, Alexander Choucair u. v. m.). Besonders danke ich Herrn Holger Mehler für die stets vorbildliche Klauenpflege, Herrn Andreas Forkmann für die Hilfe bei der Erstellung der Verbandsfotos und Herrn Utz Baron von König für die Bereitstellung der Fotos vom Interdigitalverband (Abbildung 4) sowie für den regen Austausch und die fachliche Diskussion. Auf euch konnte man sich immer verlassen!

Ich danke Herrn Tripke und Frau Mohr von der „agt Agrargenossenschaft Trebbin eG“ für die Möglichkeit, auf Ihrem Betrieb die Studie durchzuführen. Den Klauenschneidern der Firma „Findeisen Klauenpflege GmbH & Co. KG, Woldegk“ danke ich für die gute Zusammenarbeit.

Meinen „Lehrtierärzten“ und in vielen Fällen auch Arbeitgebern, insbesondere Herrn Dr. Norbert Völzke, Dr. Christine Müller, Dr. Hermann Schlüsing und Herrn DVM Michael

Bredow, danke ich für die Ausbildung, Anstellung und Freundschaft. Von euch habe ich viel gelernt. Es war nicht nur fachlich, sondern auch menschlich ein Gewinn!

Ebenso danke ich der Zoetis Deutschland GmbH und meinen Kollegen Alois Tschopp, Christian Wunderlich, Thomas Breuer, Albrecht von Reyher, Torsten Steppin, Ulrich Löschner, Ansgar Busch, Rüdiger Schmidt, Bastian Buschmeyer, Eckhard Fait u. v. m. für die Möglichkeit, die Dissertation neben der Arbeit zu erstellen. Dies war nur durch eure Mithilfe und die Schaffung von Freiräumen möglich.

Mein herzlicher Dank gilt meinem Freund Benjamin Scheitacker, der mir durch sportliche Unterstützung durch alle Höhen und Tiefen der Promotionszeit half und schlussendlich – ohne tiermedizinische Vorkenntnisse – die gesamte Dissertation las und auf Fehler korrigierte.

Mein allergrößter Dank gebührt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Adelheid und Josef Klawitter sowie meinen Großeltern Melitta (†) und Franz (†) Klawitter und Lambert (†) und Maria Wolff. Eure Unterstützung und euer Vorbild haben mich zu dem gemacht, der ich heute bin. Ich danke meinem Bruder Manfred, seiner Frau Sandra und ihren Kindern Maja und Niclas für die emotionalen Ermunterungen und das Glück des Onkel-Seins. Manfred, niemand ist mit mir so eng verbunden wie du. Danke, dass du nie danach gefragt hast, wann ich fertig bin.

Ich danke auch meinen Freunden und insbesondere dir, Theo Braden, für die Motivation und Begleitung in den vergangenen Jahren. Theo, mit deinem Ideenreichtum und der vielen Energie, die wir in das Verfassen und Überarbeiten der beiden englischen Publikationen gesteckt haben, hast du diese Arbeit unterstützt und mitgetragen wie kein anderer. Ohne dich wäre meine Dissertation vielleicht nicht fertig geworden...DANKE!!!

12 Finanzierungsquellen

Die Arbeiten wurden finanziell unterstützt durch ein Promotionsstipendium des Cusanuswerkes (Begabtenförderungswerk in der Bundesrepublik Deutschland).

Die Veröffentlichung der beider Publikationen in einer peer reviewed Open-Access-Zeitschrift wurde durch den Open Access Publikationsfonds der Freien Universität Berlin unterstützt.

Es besteht kein Interessenskonflikt durch die finanzielle Unterstützung der Arbeiten.

13 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 10.12.2021

Marcus Klawitter