

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

**Ermittlung der Prävalenzentwicklung der M-Stadien
der Dermatitis Digitalis in einer Milchkuhhaltung in
Brandenburg über den Zeitraum von zwei Jahren**

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

**vorgelegt von
Marina Volland
Tierärztin aus Bamberg**

**Berlin 2021
Journal-Nr.: 4271**

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

**Ermittlung der Prävalenzentwicklung der M-Stadien der Dermatitis Digitalis in einer
Milchkuhhaltung in Brandenburg über den Zeitraum von zwei Jahren**

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

vorgelegt von
Marina Volland
Tierärztin aus Bamberg

Berlin 2021

Journal-Nr.: 4271

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: PD Dr. Roswitha Merle
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Johann Maierl

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

dairy cow, milk yield, claws, foot diseases, pododermatitis, prevalence,
brandenburg

Tag der Promotion: 29.06.2021

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <<https://dnb.de>> abrufbar.

ISBN: 978-3-96729-122-3

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2021

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2021 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	IX
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	XI
1 Einleitung und Zielstellung	1
2 Literatur.....	3
2.1 Dermatitis digitalis.....	3
2.1.1 Klinisches Erscheinungsbild.....	3
2.1.1.1 Erkrankungsverlauf nach dem M-Schema.....	4
2.1.1.2 Erkrankungsstadien nach dem Iowa DD Scoring-System	6
2.1.1.3 „Kuhtypen“ mit unterschiedlichen Verlaufsformen	6
2.1.2 Ätiologie und Pathogenese der DD.....	7
2.1.2.1 Infektionserreger und DD	7
2.1.2.1.1 Eigenschaften von <i>Treponema</i> ssp. als Leitkeim der DD	9
2.1.2.2 <i>Treponema</i> -bedingte Erkrankungen in anderen Lokalisationen und bei anderen Spezies	10
2.1.2.3 Risikofaktoren für DD	11
2.1.2.3.1 Haltungsform und Hygiene	11
2.1.2.3.2 Biosicherheit	11
2.1.2.3.3 Klima	12
2.1.2.3.4 Fütterung.....	12
2.1.2.3.5 Tierfaktoren und Zucht.....	12
2.1.2.3.6 Funktion der Haut als Schutzbarriere	13
2.1.2.4 DD und Immunsystem.....	14
2.1.2.4.1 Humorale Immunantwort.....	14
2.1.2.4.2 Zelluläre Immunantwort	15
2.1.3 Epidemiologie und Prävalenz.....	16
2.1.4 Diagnostik am Einzeltier als Grundlage der Bekämpfungsstrategie	17
2.1.4.1 Goldstandard - DD-Diagnostik im Klauenstand	17
2.1.4.2 „Pen Walks“- DD-Scoring im Stall.....	17
2.1.4.3 „Milking Parlor Walks“ - DD-Scoring im Melkstand	18
2.1.4.4 Weitere diagnostische Verfahren.....	18
2.1.5 Therapie und Bekämpfungsstrategien	19
2.1.5.1 Systemische Behandlung mit Antibiotika.....	19

2.1.5.2 Lokale Anwendung von Antibiotika	20
2.1.5.3 Lokale Anwendung nicht-antibiotischer Substanzen	21
2.1.5.4 Funktionelle Klauenpflege	22
2.1.5.5 Chirurgische Therapie	23
2.1.5.6 Behandlung und Vorbeuge der DD auf Herdenebene durch Klauenbäder	23
2.1.6 Therapiekontrolle und -erfolg	26
2.1.7 Prophylaxe von Dermatitis digitalis	26
2.2 Validierung von diagnostischen Testmethoden	28
2.2.1 Sensitivität und Spezifität	28
2.2.2 Positiver und negativer prädiktiver Wert	28
2.2.3 Bestimmung der Verlässlichkeit und Wiederholbarkeit	29
2.2.3.1 Beurteilungsskalen	30
2.2.3.2 Einfache prozentuale Übereinstimmung	30
2.2.3.3 Cohen´s Kappa	31
2.3 Ziel der Untersuchungen	32
3 Material und Methoden	33
3.1 Studiendesign und Datenerhebung	33
3.2 Studienbetrieb	34
3.2.1 Klauengesundheitsmanagement	35
3.3 Tierversuchsrechtliche Bestimmungen	36
3.4 Studienteil 1: Bestimmung der Objektivierbarkeit der Scoring-Methode	37
3.4.1 BeobachterInnen	37
3.4.2 Tiere	39
3.4.3 Untersuchungsmethode	40
3.4.3.1 Das vereinfachte M-Schema	40
3.4.3.2 Ablauf der Untersuchung	42
3.5 Studienteil 2: Überprüfung der Treffsicherheit der Scoring-Methode	44
3.5.1 BeobachterInnen	44
3.5.2 Tiere	44
3.5.3 Angewandte Untersuchungsmethoden	45
3.5.3.1 Bonitierung der Unterfüße im Außenmelkerkarussell mittels Merkmalkategorien des modifiziertem M-Schemas	45
3.5.3.2 Goldstandard: Bonitierung der Unterfüße im Klauenstand	45
3.5.3.2.1 Anschließende Behandlung der Läsionen	46

3.6	Studienteil 3: Überprüfung der DD-Prävalenz im Zeitverlauf von 24 Monaten	46
3.6.1	Beobachterin	46
3.6.2	Zeitlicher Ablauf	47
3.6.3	Untersuchte Tiere.....	48
3.6.4	Angewandte Methode	48
3.7	Datenanalyse	48
3.7.1	Studienteil 1: Bestimmung der Objektivierbarkeit der Methode	49
3.7.2	Studienteil 2: Überprüfung der Treffsicherheit der Methode	51
3.7.3	Studienteil 3: Ermittlung der DD-Prävalenz und Verlaufsentwicklung über einen Zeitraum von 24 Monaten	52
4	Ergebnisse	53
4.1	Studienteil 1: Bestimmung der Objektivierbarkeit der Scoring-Methode.....	53
4.1.1	Praktikabilität der Scoring-Methode	53
4.1.2	Intraobserver-Übereinstimmung.....	54
4.1.3	Interobserver-Übereinstimmung.....	56
4.1.4	Einfluss des Erfahrungsgrades des Beobachters/der Beobachterin auf die Intra- und Interobserver-Übereinstimmung.....	60
4.2	Studienteil 2: Überprüfung der Treffsicherheit der Scoring-Methode.....	60
4.2.1	Vergleich der Scoring-Ergebnisse aus dem Außenmelkerkarussell mit dem Goldstandard.....	60
4.2.2	Einfluss des Erfahrungsgrades des Beobachters/der Beobachterin auf die Übereinstimmung mit dem Goldstandard.....	62
4.2.3	Verteilung der Missklassifikationen von DD-Läsionen im Außenmelkerkarussell ..	63
4.2.4	Prävalenz von DD	64
4.2.5	Validierung des diagnostischen Tests – Sensitivität, Spezifität, PPV, NPV	64
4.3	Studienteil 3: Ermittlung der DD-Prävalenz und Verlaufsentwicklung über einen Zeitraum von 24 Monaten.....	66
4.3.1	Anzahl bonitierter Kühe.....	66
4.3.2	Monatliche Prävalenz von DD über 2 Jahre.....	67
4.3.3	Jahreszeitliche Prävalenz von DD	70
4.3.4	Positive und negative prädiktive Werte (PPV, NPV)	73
4.3.5	Persistenz von Merkmalskategorien bei Einzeltieren.....	77

5	Diskussion.....	79
5.1	Einordnung des Betriebs.....	80
5.1.1	DD-Prävalenz auf dem Studienbetrieb	80
5.1.2	Tierzahl	81
5.1.2.1	Ausschlusskriterien.....	82
5.1.3	Visuelle Beurteilung am Außenmelkerkarussell	82
5.2	DD-Scoring im Außenmelkerkarussell ohne Vorreinigung der Klauen	84
5.2.1	Modifikation des M-Schemas nach Döpfer	84
5.2.2	Einordnung des Zeitaufwandes der Scoring-Methode.....	85
5.2.3	Verblindung der Beobachtungen	86
5.2.4	Treffsicherheit der Methode im Spiegel der Literatur.....	86
5.2.5	Objektivierbarkeit der Methode.....	90
5.2.5.1	Intraobserver- und Interobserver-Übereinstimmung	91
5.2.5.1.1	Intraobserver-Übereinstimmung	91
5.2.5.1.2	Interobserver-Übereinstimmung	92
5.2.5.1.3	Einfluss der Erfahrung	93
5.2.5.1.3.1	Bedeutung von Erfahrung und Lerneffekten	94
5.2.5.1.3.2	Beeinflussung der Interobserver-Übereinstimmung.....	96
5.3	Prävalenzentwicklung der DD im Zeitverlauf über 24 Monate	99
5.3.1	Prävalenz der DD des Studienbetriebes im Spiegel der Literatur	99
5.3.2	Erkennung der verschiedenen Kuhtypen.....	101
5.3.3	Monatlicher Verlauf der DD-Prävalenz	103
5.3.4	Jahreszeitlicher Verlauf der DD-Prävalenz.....	104
5.3.5	Ursachen/Risikofaktoren für die Änderung der Prävalenz.....	105
6	Schlussfolgerung	108
7	Zusammenfassung	110
8	Summary.....	113
9	Literaturverzeichnis.....	116
10	Anhang.....	130
10.1	Erhebungsbögen für Melk- und Klauenstand.....	130
	Publikationsverzeichnis	133
	Danksagung	134
	Selbstständigkeitserklärung	135

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Statistische Kategorien des Kappa-Koeffizienten nach LANDIS und KOCH (1977)	31
Tab. 2: Zuordnung der laktierenden Kühe zu den verschiedenen Leistungsgruppen nach Laktationszahl, DIM und Leistungsniveau	34
Tab. 3: Erfahrungsgrade der fünf BeobachterInnen zum Zeitpunkt der Datenerhebung in Abhängigkeit von Berufserfahrung und dem Erwerb von Spezialwissen durch Schulungen und Fortbildungen.....	38
Tab. 4: Bewertungsschemata für DD basierend auf dem M-Schema nach DÖPFER et al. (1997) modifiziert nach BERRY (2012) sowie weitere individuelle Modifikationen zur Bonitierung von DD-Läsionen im Melk- und Klauenstand basierend auf den Erkenntnissen von RELUN et al. (2011)	41
Tab. 5: Ablaufplan zur Validierung der modifizierten Scoring-Methode für M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell im Vergleich zum klassischen M-Scoring im Klauenstand (Studienteile 1 und 2).....	44
Tab. 6: Übersicht über die Betriebsbesuche zum DD-Scoring aller laktierenden Kühe im Außenmelkerkarussell	47
Tab. 7: Finaler Datensatz für die Bewertung von 822 Unterfüßen im Melkstand in drei Kategorien (modifiziertes M-Scoring: M0, Ma und Mc) durch fünf Untersucher an zwei aufeinanderfolgenden Melkzeiten am Außenmelkerkarussell (Auszug); die erste Zahl beschreibt den Zeitpunkt der Beobachtung (1 bzw. 2), die zweite Zahl den jeweiligen Untersucher (1 bis 5); die erste Zeile mit der Ohrmarke zeigt den Score für die linke, die zweite Zeile den Score für die rechte Hintergliedmaße der Kuh.....	49
Tab. 8: Treffsicherheit der Scoring-Methode zur Bestimmung der modifizierten M-Stadien der DD im Außenmelkerkarussell. Auszug aus dem Datensatz zur Erfassung der Ergebnisse der modifizierten M-Stadien der DD an 186 Unterfüßen der Hintergliedmaßen in drei Kategorien (M0, Ma und Mc) durch fünf BeobachterInnen (Nr. 1 bis 5) und im Klauenstand mittels Goldstandard und Goldstandard nach Anpassung, sortiert nach Tieridentifikation (Ohrmarkennummer) und Gliedmaße (linke Hintergliedmaße ist zuerst aufgeführt).....	51
Tab. 9: Mittlere prozentuale Intraobserver-Übereinstimmung aller fünf BeobachterInnen für die Bonitur aller Hintergliedmaßen (n=822) im Melkkarussell nach dem modifizierten M-Schema in drei Merkmalskategorien (Ma, Mc, M0) bzw. in zwei Kategorien (M0, Ma+Mc)	54

Tab. 10: Cohen´s Kappa-Werte zur Auswertung der Intraobserver-Übereinstimmung aller fünf BeobachterInnen (Erfahrungsgrad) bei Bewertung aller Hintergliedmaßen (n=822) im Melkkarussell nach drei (M0, Ma, Mc) bzw. zwei Merkmalskategorien (M0, Ma+Mc) des modifizierten M-Schemas..... 55

Tab. 11: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 1. Übersicht über Cohen´s Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit drei Kategorien (M0, Ma, Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn 57

Tab. 12: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 2. Übersicht über Cohen´s Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit drei Kategorien (M0, Ma, Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn 57

Tab. 13: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 1. Übersicht über Cohen´s Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit zwei Kategorien (M0, Ma+Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn 59

Tab. 14: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 2. Übersicht über Cohen´s Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit zwei Kategorien (M0, Ma+Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn 59

Tab. 15: Treffsicherheit des Scorings von modifizierten M-Stadien der DD; Ergebnisse von fünf verschiedenen BeobachterInnen an beiden Untersuchungsterminen im Vergleich. Cohen´s κ -Koeffizienten zur Beurteilung der Übereinstimmung der fünf BeobachterInnen mit dem Goldstandard (=Bonitur der gereinigten Klauen im Klauenstand) jeweils bei Beurteilung nach drei Kategorien (M0, Ma, Mc) bzw. nach zwei Kategorien (M0, Ma+Mc) 61

Tab. 16: Darstellung der Übereinstimmungen bzw. Missklassifikationen der durch alle fünf BeobachterInnen erhobenen M-Stadien (n=186 Unterfüße von 100 Kühen x5) zu beiden Untersuchungsterminen am Außenmelkerkarussell und im Klauenstand in absoluten Zahlen sowie prozentual (%)..... 63

Tab. 17: Vergleich der ermittelten Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) und aufgeschlüsselt nach den modifizierten M-Stadien (M0, Ma, Mc) im Klauen- und im Melkstand 64

Tab. 18: Statistische Parameter zur Evaluierung der Zuverlässigkeit der Scoring-Methode für die modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell im Vergleich zum Goldstandard (DD-Bonitur im Klauenstand); alle Ergebnisse werden durch Zusammenfassung aller Ergebnisse von beiden Untersuchungstagen als Mittelwerte dargestellt; in Klammern sind die jeweiligen Mittelwerte von Termin 1 und Termin 2 als Range aufgeführt 64

Tab. 19: Anzahl (n) der monatlich über einen Zeitraum von 24 Monaten im Außenmelkerkarussell auf Grundlage der modifizierten M-Stadien mit den drei Merkmalskategorien M0, Ma, Mc beurteilten Kühe..... 66

Tab. 20: Prävalenz der modifizierten M-Stadien der DD auf Einzeltierebene. Übersicht über den Anteil Kühe (in%), die auf Tierebene der schwerwiegendsten, an den Hintergliedmaßen beobachteten Merkmalskategorie (Ma>Mc>M0) zugeordnet wurde und der Prävalenz von DD_{gesamt} auf Grundlage der Addition des Anteils an Kühen mit den jeweiligen Merkmalskategorien Ma und Mc. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf Beobachtungen in monatlichen Intervallen über einen Zeitraum von 24 Monaten. 67

Tab. 21: Entwicklung der Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) auf Einzeltierebene im Verlauf von 24 Monaten. Aufgeführt sind der Mittelwert, der Median, das Maximum und Minimum der DD-Prävalenz auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen unter Berücksichtigung nur der jeweils schwerwiegendsten Läsion auf Hinterfußebene (Ma>Mc>M0) 69

Tab. 22: Prävalenz (%) der verschiedenen Merkmalskategorien der DD (modifizierte M-Stadien Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene, unter Berücksichtigung nur der jeweils schwerwiegendsten Läsion auf Unterfußebene (Ma>Mc>M0). Aufgeführt sind der Mittelwert, der Median, das Maximum und das Minimum des jeweiligen Scores auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen. 69

Tab. 23: Jahreszeitlicher* Verlauf der Prävalenz der verschiedenen Merkmalskategorien des modifizierten M-Schemas der DD (Ma, Mc, M0) und von DD_{gesamt} auf Einzeltierebene. Die Häufigkeiten unter Berücksichtigung nur des jeweils schwerwiegendsten Scores beider Hintergliedmaßen sind wie folgt dargestellt: Winter 2015 (1), Frühling 2015 (2), Sommer 2015 (3), Herbst 2015 (4), Winter 2015/16 (5), Frühling 2016 (6), Sommer 2016 (7), Herbst 2016 (8) und Winter 2016 (9) 72

Tab. 24: Entwicklung der Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) auf Einzeltierebene im jahreszeitlichen Verlauf. Aufgeführt sind der Mittelwert, der Median, das Maximum und Minimum der jahreszeitlichen DD-Prävalenz auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen sowie die daraus ermittelten jahreszeitlichen Schwankungen, gesondert für Winter* und Sommer* 72

Tab. 25: Prävalenz (in %), PPV, NPV für DD auf Einzeltierebene und auf Basis von Beobachtungen im Außenmelkerkarussell in monatlichen Intervallen. Die Ergebnisse werden gesondert für jede Merkmalskategorie der modifizierten M-Stadien der DD (Ma, Mc, M0) sowie für DD_{gesamt} (Ma+Mc) dargestellt. 74

Tab. 26: PPVs und NPVs für die DD-assoziierten Merkmalskategorien DD_{gesamt} (Ma+Mc), aktiv (Ma) und chronisch (Mc) auf Einzeltierebene. Tabellarische Übersicht über Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane. 76

Tab. 27: Persistenz in Merkmalskategorien der DD. In der Tabelle sind Daten von 28 Einzeltieren aufgeführt (modifiziertes M-Stadium, Laktationsnummer), welchen unter Berücksichtigung nur der gravierendsten Merkmalsausprägung an den Hintergliedmaßen (Ma>Mc>M0) an mindestens sechs aufeinanderfolgenden Beobachtungsterminen (n Scorings) am Außenmelkerkarussell ein- und dieselbe Merkmalskategorie zugeordnet wurde. 78

Tab. 28: Erhebungsbogen zur monatlichen DD-Bonitierung im Melkstand 130

Tab. 29: Erhebungsbogen zur Bonitierung der 100 Stichprobentiere im Klauenstand131

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Vereinfachtes Schema zur Bonitur von Unterfüßen im Außenmelkerkarussell zwecks Zuordnung eines M-Stadiums der DD.** Beispielhafte digitale Fotografien von Unterfüßen der Hintergliedmaßen von Milchkühen: M0 (a): keine sichtbaren Hautdefekte; Ma (b): ulzerative Hautveränderungen, unabhängig von der Größe; Mc (c): chronische, hyperkeratotische oder proliferative Hautveränderungen 42
- Abb. 2: Bonitierung der M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell.** Positionierung der BeobachterInnen für die Inspektion der Unterfüße unter Anwendung einer Taschenlampe als Hilfsmittel. 43
- Abb. 3: Intraobserver-Übereinstimmung:** Box-Plots zur Darstellung der Verteilung der κ -Werte der fünf BeobachterInnen bei Anwendung des Scorings für modifizierte M-Stadien der DD nach drei (M0, Ma, Mc) (diagonal schraffiert) und zwei (M0, Ma+Mc) (gepunktet) Kategorien. 55
- Abb. 4: Prävalenzentwicklung der DD auf Einzeltierebene über einen Zeitraum von 24 Monaten (Beobachtungen am Außenmelkerkarussell an ungereinigten Hintergliedmaßen).** Das Balkendiagramm verdeutlicht die Verteilung der schwersten am Einzeltier beobachteten Merkmalskategorie des modifizierten M-Schemas der DD ($Ma > Mc > M0$) auf Basis von Beobachtungen in monatlichen Abständen (fortlaufend nummeriert); absolute Tierzahlen in den Kästchen..... 68
- Abb. 5: Prävalenz (in %) der modifizierten M-Stadien (Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene unter Berücksichtigung nur der jeweils schwerwiegendsten Merkmalsausprägung auf Unterfußebene ($Ma > Mc > M0$)** auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen; Darstellung als Box-Plots..... 70
- Abb. 6: Jahreszeitliche* Prävalenz der modifizierten M-Stadien der DD (Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene.** Die Zahlen auf der x-Achse beziehen sich auf die Jahreszeiten wie folgt: Winter 2015 (1), Frühling 2015 (2), Sommer 2015 (3), Herbst 2015 (4), Winter 2015/16 (5), Frühling 2016 (6), Sommer 2016 (7), Herbst 2016 (8) und Winter 2016 (9) (Prozentzahlen in Kästchen)..... 71
- Abb. 7: Jahreszeitliche* Entwicklung der Prävalenz (in %) der modifizierten M-Stadien (Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene unter Berücksichtigung der schwerwiegendsten Merkmalskategorie.** Die Zahlen auf der x-Achse beziehen sich auf die Jahreszeiten wie folgt: Winter 2015 (1), Frühling 2015 (2), Sommer 2015 (3), Herbst 2015 (4), Winter 2015/16 (5), Frühling 2016 (6), Sommer 2016 (7), Herbst 2016 (8) und Winter 2016 (9). Die y-Achse skaliert die Prozentwerte der drei Merkmalskategorien..... 71
- Abb. 8: Entwicklung der PPVs im Zeitverlauf über 24 Monate auf Einzeltierebene.** Dargestellt sind Ergebnisse gesondert nach DD_{gesamt} ($Ma+Mc$; PPV_{DD}) sowie für die modifizierten Stadien Ma (PPV_{Ma}) und Mc (PPV_{Mc}). 75

Abb. 9: NPVs für die modifizierten M-Stadien im Verlauf von 24 Monaten, erhoben auf Einzeltierebene. In der Grafik ist der NPV für die Merkmalskategorien DD_{gesamt} (Ma+Mc; NPV_DD), Ma (NPV_Ma) und Mc (NPV_Mc) für jeden Beobachtungszeitpunkt im Außenmelkerkarussell über 24 Monate dargestellt..... 75

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Abb.	Abbildung
°C	Grad Celsius
CTC	Chlortetrazyklin
DD	Dermatitis digitalis
DIM	Days in milk (= Laktationstage)
DNA	Desoxyribonukleinsäure
FISH	Fluoreszenz in situ-Hybridisierung
g/L	Gramm pro Liter
ha	Hektar
κ	Kappa-Koeffizient, statistisches Maß für Übereinstimmung
kg	Kilogramm
L	Liter
M	Mortellaro-Stadium nach DÖPFER et al. (1997)
Mkg	Milch-Kilogramm
n	Anzahl
Nr.	Nummer
NPV	negativer Vorhersagewert, negativer prädiktiver Wert
OTC	Oxytetrazyklin
p	p-Wert, Überschreitungswahrscheinlichkeit, Signifikanzwert
PA ₀	prozentuale Übereinstimmung
p _a	gemessene prozentuale Übereinstimmung
PCR	Polymerase-Kettenreaktion
p _e	zufällige prozentuale Übereinstimmung
PPV	positiver Vorhersagewert, positiver prädiktiver Wert
Präv.	Prävalenz
RT-PCR	real-time PCR/ Echtzeit Polymerase-Kettenreaktion
s.a.	siehe auch
SAGE	serielle Analysen der Genexpression
ssp.	Subspezies
T.	Treponema

Tab.	Tabelle
US\$	US-Dollar, Währung der Vereinigten Staaten von Amerika
v.a.	vor allem

1 Einleitung und Zielstellung

Die Dermatitis digitalis (DD) ist eine weltweit auftretende infektiöse Erkrankung der Zehenhaut am Unterfuß des Rindes. Sie befällt bevorzugt die Ballenregion der Hintergliedmaßen, wird aber auch in anderen Lokalisationen beobachtet. Die klinische Symptomatik der DD ist durch verschiedene Krankheitsstadien gekennzeichnet, die nicht schmerzhaft bis extrem schmerzhaft Läsionen umfassen (ICAR WGFT UND INTERNATIONALE KLAUENGESUNDHEITSEXPERTEN 2015, ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020a). In den letzten Jahren wurden als Folge eines sekundären Befalls mit DD Komplikationen im Heilungsverlauf von primär nicht-infektiös bedingten Klauenkrankheiten (z. B. Sohlengeschwüren und Weiße Linie Defekten) beobachtet (ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020b).

Die DD betrifft vor allem Milchkühe in Laufstallhaltung, wird aber auch bei Weidegang und reinen Fleischrindern beobachtet (SULLIVAN et al. 2013). In der Milchkuhhaltung in Brandenburg liegt die Prävalenz der DD exemplarisch zwischen 39,5% und 89,9% (VÖGELY 2020). Das schmerzhaft akute Stadium der DD sowie die DD-assoziierten, primär nicht-infektiös bedingten Klauenkrankheiten sind mit Lahmheit und einer Störung des Allgemeinbefindens der Tiere verbunden. Wirtschaftliche Verluste entstehen nicht nur durch die Kosten für Behandlungsmaßnahmen, sondern auch durch Verminderung der Milchleistung, Verlust an Körperkondition, Fruchtbarkeitsstörungen, vorzeitigen Abgang der Tiere und erhöhten Arbeitsaufwand (LAVEN und LOGUE 2006, BRUIJNIS et al. 2010, REFAAI et al. 2013).

Die Pathogenese der DD ist nicht vollständig geklärt. Es handelt sich um eine polybakteriell bedingte Erkrankung, die nicht den Henle-Koch'schen Postulaten folgt und bei der vor allem Bakterien der Gattung *Treponema* eine herausragende Rolle spielen. Diese können sich in der Tiefe der Epidermis ansiedeln und enzystieren (DÖPFER et al. 2012). In Abhängigkeit vom klinischen Stadium der DD werden die Treponemen durch verschiedene andere Bakterienpezies vergesellschaftet (KRULL et al. 2014).

Die Bekämpfung der DD gestaltet sich schwierig, da es nach Einschleppung in einen Betrieb kaum möglich ist, die Krankheit zu eradikieren. Allenfalls gelingt es, die Krankheit in einem chronisch-stabilen Stadium zu halten und Ausbrüche der mit Lahmheit verbundenen, akuten Form des Leidens zu vermeiden (PLUMMER und KRULL 2017).

Als Grundlage für eine erfolgreiche Bekämpfungsstrategie wird die Diagnostik der DD am Einzeltier angesehen. Die klinische Diagnostik auf der niedrigsten Ebene unterscheidet befallene von nicht befallenen Tieren. Die Befunderhebung auf höherer Ebene beruht auf der Erkennung

verschiedener Krankheitsstadien der DD, den so genannten M-Stadien (DÖPFER et al. 1997). Neben der Vorhersage eines Ausbruchs erlaubt die regelmäßige Diagnostik der M-Stadien eine zeitnahe Behandlung erkrankter Kühe (TREMBLAY et al. 2016).

Da die Erkennung und Dokumentation der verschiedenen Krankheitsstadien im Klauenstand anlässlich des routinemäßigen Herdenschnittes nur zwei Mal pro Jahr erfolgt, bedarf es einer praktikablen Methode zur Erkennung der M-Stadien, die nicht mit dem Betriebsablauf interferiert. Eine solche Methode sollte häufiger (im Idealfall im Abstand von 14 Tagen) durchgeführt werden können, ohne die Tiere einer Stresssituation auszusetzen, wie es bereits beim Verbringen eines Tieres in den Klauenstand der Fall ist (FIEGUTH 2014). Die zeitnahe Behandlung nach Erkennung einer akuten DD-Läsion verbessert deren Heilungsaussichten und hilft, Sekundärerkrankungen zu vermeiden (GOMEZ et al. 2014).

Aus den genannten Gründen waren die Ziele der vorliegenden Arbeit:

1. Die Validierung einer einfachen und schnell auszuführenden Bonitieremethode für die DD bei Milchkühen auf Grundlage der M-Stadien Systematik (DÖPFER et al. 1997), die nicht in den Betriebsablauf eingreift. Zu diesem Zweck wurden die Hintergliedmaßen von Milchkühen, ohne vorherige Reinigung der Klauen, in einem Außenmelkerkarussell durch unterschiedlich erfahrene BeobachterInnen visuell begutachtet und bonitiert. Im Anschluss daran wurden die Rinder in einen Klauenstand verbracht und deren Klauen nach Reinigung der Unterfüße mittels Goldstandardmethode (THOMSEN et al. 2008) erneut bewertet.
2. Die Bestimmung der Objektivierbarkeit der Methode.
Da die Beobachtungen zukünftig durch MitarbeiterInnen der Betriebe ausgeführt werden müssen, galt es, die Wiederholbarkeit der Bewertung zu überprüfen sowie die Treffsicherheit bei Erhebung durch BeobachterInnen mit unterschiedlicher Erfahrung in der Erkennung der verschiedenen M-Stadien der DD zu ermitteln.
3. Die Dokumentation der Prävalenz der verschiedenen M-Stadien der DD an den Hintergliedmaßen von Kühen in einer Milchkuhhaltung mittels regelmäßig (in monatlichen Abständen) erfolgreicher, visueller Beobachtung der Unterfüße aller zu melkenden Kühe im Außenmelkerkarussell über einen Zeitraum von 24 Monaten.

2 Literatur

2.1 Dermatitis digitalis

Die Dermatitis digitalis (DD), auch „Mortellaro´sche Erkrankung“, „Hairy footwarts“ oder „Erdbeerkrankheit“ genannt, wird als Infektion der Haut um die Klauen und/oder den Zwischenklauenspalt beim Rind beschrieben, mit oberflächlichen Defekten (Erosion), meist schmerzhaften tiefen Läsionen (Geschwüren) und/oder chronischer warzenartiger Hautzubildung (Hyperkeratose/Proliferation) (ICAR WGFT UND INTERNATIONALE KLAUENGESUNDHEITSEXPERTEN 2015). Für die verschiedenen klinischen Erscheinungsformen sowie die Komplikationen, die durch die DD hervorgerufen werden, hat ein Konsortium, bestehend aus internationalen Experten eine einheitliche Beschreibung und Nomenklatur festgelegt, die in den Anhängen 1 und 2 des ICAR Atlas der Klauengesundheit zu finden ist (ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020a), (ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020b).

DD wird als eine der häufigsten Ursachen für das Auftreten von Lahmheit bei Milchkühen angesehen (REFAAI et al. 2013), kommt aber sporadisch auch im Bereich der Fleischrinderhaltung vor (SULLIVAN et al. 2013).

Die Erkrankung schränkt das Wohlbefinden der Tiere ein und verursacht weltweit hohe wirtschaftliche Verluste (LAVEN und LOGUE 2006, CRAMER et al. 2008). CHA et al. (2010) beziffern die Verluste mit etwa 132,96 US\$ pro Jahr für jede von DD betroffene Kuh eines Bestandes. Dabei fallen 56,18 US\$ für die reinen Behandlungskosten an, während sich die weiteren Verluste auf die verminderte Milchleistung und Fruchtbarkeit, den Verlust von Tieren, Qualitätsmängel am Schlachtkörper sowie den erhöhten Arbeitsaufwand zurückführen lassen (WALKER et al. 1995, READ und WALKER 1998, BRUIJNIS et al. 2010).

2.1.1 Klinisches Erscheinungsbild

Die DD zeichnet sich durch die oben beschriebenen, charakteristischen Hautläsionen am Unterfuß des Rindes aus. Die Erkrankung durchläuft mehrere Stadien, die sich in ihrem Erscheinungsbild unterscheiden. Es bestehen verschiedene Ansätze, diese einzelnen Phasen der DD zu untergliedern und zu charakterisieren, welche im Folgenden kurz beschrieben werden.

Die ulzerativen Hautveränderungen der akuten Form der DD erscheinen rundlich und weisen eine rötliche, bei Berührung schnell blutende Oberfläche auf, die häufig in Anbetracht ihres

Erscheinungsbildes mit der Oberfläche einer Erdbeere verglichen wird. Daher rührt auch die umgangssprachliche Bezeichnung der DD als „Erdbeerkrankheit“. Am Rand und innerhalb der ulzerativ veränderten Oberfläche befinden sich borstenähnliche, überdurchschnittlich lange Haare (READ und WALKER 1998). Die versehrte Haut bildet an ihrer Oberfläche ein gelbgraues, schmieriges Exsudat, von dem ein charakteristischer Geruch ausgeht. In den meisten Fällen sind die Läsionen plantar in Nähe des Zwischenzehenspaltes am Übergang vom Kronsaum zum Horn lokalisiert. Seltener beobachtet man DD-Läsionen an den Vordergliedmaßen, in Höhe der Afterklauen oder auf der dorsalen Fläche des Unterfußes in Nähe des Zwischenzehenspaltes (CHELI und MORTELLARO 1974, READ und WALKER 1998, RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, EDWARDS et al. 2003, PLUMMER und KRULL 2017, ICAR WGFT AND INTERANTIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020a).

Klinisch wird infolge der oben beschriebenen Erscheinungsform der DD eine Schmerzempfindlichkeit der Ballenhaut beobachtet, welche am stehenden Tier durch die sich wiederholende Entlastung der betroffenen Gliedmaße gekennzeichnet ist. Die erkrankte Gliedmaße wird dabei nur an der Klauenspitze belastet und wiederholt, ruckartig angehoben. Dieses charakteristische Bewegungsmuster von an DD erkrankten Rindern wird mit dem einer „Ballerina“ verglichen oder als typisches „Trippeln“ oder „Wischen“ bezeichnet (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998). Die durch DD hervorgerufene Lahmheit ist auf die Schmerzhaftigkeit der Ulzeration zurückzuführen (READ und WALKER 1998).

Histologisch zeichnen sich akute Läsionen durch den oberflächlichen Verlust und die umschriebene Zerstörung des Stratum corneum und Stratum granulosum der Haut sowie den damit verbundenen Untergang von Keratinozyten aus. An den Rändern der Ulzerationen können Einblutungen vorliegen. Bis ins Stratum spinosum hinein können spiralartig gewundene Bakterien (Spirochäten) vorgefunden werden. Die Epidermis reagiert auf den Zelluntergang mit Proliferation und Hyperplasie. Gleichzeitig zeigt sich im veränderten Gewebe eine massive Anreicherung von neutrophilen und eosinophilen Granulozyten sowie von vereinzelt Plasmazellen (DÖPFER et al. 1997, READ und WALKER 1998, EDWARDS et al. 2003, REFAAI et al. 2013).

2.1.1.1 Erkrankungsverlauf nach dem M-Schema

Für die verschiedenen klinischen Erscheinungsformen der DD hat DÖPFER et al. (1997) fünf verschiedene sogenannte M-Stadien beschrieben. BERRY et al. (2012) haben dieses Schema modifiziert bzw. um ein Stadium ergänzt, sodass insgesamt sechs Stadien unterschieden werden, die mit Kürzeln von M0 bis hin zu M4.1 beziffert werden:

M0 beschreibt eine gesunde Haut am Unterfuß des Rindes ohne Defekte oder chronische Veränderungen der Zehenhaut.

M1 bezeichnet das frühe Stadium der DD, gekennzeichnet durch erste Erosionen oder Ulzerationen der Haut, welche in ihrem Durchmesser zwei Zentimeter nicht überschreiten. Die Läsion des M1-Stadiums ist an der angehobenen und gereinigten Gliedmaße nicht immer unmittelbar zu erkennen, da sie auch an der Zwischenzehenhaut lokalisiert sein kann. Um eine solche Läsion sichtbar zu machen, ist eine Spreizung des Zwischenzehenspaltes mit Hilfe einer geeigneten Zange notwendig.

M2 beschreibt die klassischen, großen, rot gefärbten, schmerzhaften Ulzerationen mit einem Durchmesser von über zwei Zentimetern, Schmerzempfindlichkeit und erhöhter Blutungsneigung.

M3 entspricht dem sogenannten Heilungsstadium, welches nach erfolgter Behandlung beobachtet wird. Der betroffene Hautbereich ist nicht mehr schmerzhaft und die vormalige Läsion ist von einer dicken, bräunlich-schwarzen, schwer ablösbaren Kruste bedeckt, unter der sich gesunde Haut befinden kann. Eine vollständige Abheilung der DD ist durch den Übergang in das M0-Stadium gekennzeichnet.

In der Regel geht jedoch das M3-Stadium der DD in eine chronische Läsion über, die als M4-Stadium bezeichnet wird. Dieses Stadium kann zwei Erscheinungsformen annehmen:

Das M4H-Stadium, welches durch eine Hyperkeratose der ursprünglich befallenen Hautbezirke gekennzeichnet ist. Diese Hyperkeratose zeigt sich in einer Verdickung des Gewebes begleitet von gelblichen, leicht schuppigen Auflagerungen.

Das M4P-Stadium ist durch Proliferation mit warzenartigen (papillomatösen) Wucherungen der betroffenen Hautbezirke gekennzeichnet. Diese Veränderungen haben dem Stadium die Bezeichnung „hairy warts“ eingebracht.

Das M4-Stadium ist im Allgemeinen nicht schmerzhaft.

M4.1 beschreibt ein Krankheitsstadium, bei dem es sich um eine Kombination aus dem chronischen M4-Stadium und dem frühen M1-Stadium mit seinen kleinen Erosionen handelt. Es weist auf einen Neubeginn des Krankheitszyklus hin (BERRY et al. 2012).

Mit M5 bezeichnen BERRY et al. (2012) darüber hinaus das Stadium der ausgeheilten Läsion, das auf das M3-Stadium folgt.

2.1.1.2 Erkrankungsstadien nach dem Iowa DD Scoring-System

KRULL et al. (2014) entwickelten auf der Grundlage eigener Beobachtungen für die Charakterisierung von DD-Läsionen das sogenannte „Iowa-Scoring-System“. Dieses Bonitierungs-schemata ähnelt dem ursprünglichen M-Schema nach DÖPFER et al. (1997), sieht aber gerade bei frühen, sich erst entwickelnden DD-Läsionen, aufgrund adspektorischer Unterschiede, eine weitere Differenzierung der Stadien vor. Die Initialstadien „1“ und „2“ werden jeweils noch einmal in die Untergruppen „A“ und „B“ unterteilt. „A“ steht für Läsionen mit einem ulzerativen Erscheinungsbild, beginnend im Bereich des Zwischenzehenspaltes, wie es bereits für das traditionelle M-Schema beschrieben wurde. Läsionen, die zu „B“ gezählt werden, haben einen eher verkrusteten bis verdickten Charakter und beginnen diffus am Ballen. Stadium „3“ entspricht dann dem Bild der klassischen DD, mit ihren ausgedehnten, rötlichen, schmerzhaften Ulzerationen. „4“ beschreibt auch in diesem Schema die chronische Veränderung der Haut mit papillomatösen Zubildungen. Ein fünftes Stadium charakterisiert die Haut etwa neun Tage nach topischer Behandlung mit Tetracyklinen. In dieser Phase konnten im Gewebe keine Krankheitserreger mehr nachgewiesen werden. Beide frühen Stadien „1“ und „2“ können in eine klassische DD-Läsion übergehen. Die unterschiedliche Morphologie wird mit der Beteiligung unterschiedlicher Bakterienspezies in der Initialphase erklärt. Auffällig ist hierbei, dass bei der „B-Untergruppe“ keine *Treponema* ssp. vorgefunden wurden, während diese Spezies sonst in allen Erkrankungsstadien, auch in der „A-Untergruppe“, nachweisbar waren. Generell nimmt die Diversität der Bakterienspezies in den Läsionen mit dem Fortschreiten der Erkrankung ab, während die Zahl an *Treponema* ssp. steigt. Nach der Behandlung verhält es sich umgekehrt.

2.1.1.3 „Kuhtypen“ mit unterschiedlichen Verlaufsformen

Der Verlauf der DD gestaltet sich bei verschiedenen Kühen unterschiedlich. Es werden somit verschiedene Kuhtypen unterschieden: Typ I-Kühe zeigen zu keinem Zeitpunkt Symptome der DD. Typ II-Kühe sind sporadisch bzw. einmalig von DD befallene Tiere, bei denen die Läsionen vollständig abheilen und nie wieder beobachtet werden. Die DD heilt bei Typ III-Kühen zu keinem Zeitpunkt vollständig aus. Diese Tiere weisen permanent eines der M-Stadien auf (DÖPFER 2009, CAPION et al. 2012).

Eine erbliche Veranlagung für die Empfänglichkeit/Resistenz eines Tieres gegenüber der DD wurde nachgewiesen (SCHOLEY et al. 2012) und wird bereits in der Zuchtwertschätzung berücksichtigt (CHAPINAL et al. 2013, BUNDESVERBAND RIND UND SCHWEIN E.V. 2020).

2.1.2 Ätiologie und Pathogenese der DD

Ätiologie und Pathogenese der DD sind nicht vollständig geklärt. Da die Erkrankung sowohl von Umwelt-, Management- und tierindividuellen Faktoren, als auch durch Infektionserreger beeinflusst wird, geht man von einem multifaktoriellen Geschehen aus (RELUN et al. 2013, PALMER und O'CONNELL 2015) .

Die unterschiedlichen Einflussgrößen und Risikofaktoren sollen im Folgenden beleuchtet werden.

2.1.2.1 Infektionserreger und DD

Der infektiöse Charakter der DD wird vor allem nach Zukauf von an DD erkrankten Kühen in bisher DD-freie Bestände deutlich, denn die Erkrankung breitet sich schnell in einem solchen Betrieb aus (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1999). Für eine ursächliche Beteiligung von Bakterien spricht die gute Heilungstendenz der Läsionen nach lokaler oder systemischer antibiotischer Behandlung (READ und WALKER 1998, HERNANDEZ et al. 1999). Viren und Pilze scheinen eine untergeordnete Rolle zu spielen und konnten auch bei weiterführenden Untersuchungen der Hautveränderungen nur sporadisch in den Läsionen der DD nachgewiesen werden (KRULL et al. 2014).

Bei bakteriologischen Untersuchungen der betroffenen Hautareale konnten regelmäßig verschiedene Spirochäten der Gattung *Treponema* ssp. vorgefunden werden, welche schnell als vermeintliche Leitkeime der DD angesprochen wurden (WALKER et al. 1995, DÖPFER et al. 1997, NORDHOFF et al. 2008, KRULL et al. 2014).

GOMEZ et al. (2012) versuchten in einem Infektionsversuch die DD auszulösen, indem sie ein Homogenisat aus Treponemen auf die skarifizierte Haut am Unterfuß der Hintergliedmaßen gesunder Kühe auftrugen. Um ideale, feuchte und anaerobe Bedingungen für die Bakterien zu simulieren, wurden die Klauen im Anschluss mit feuchten Bandagen und Folie umwickelt. Die Studie zeigte, dass auf diese Weise eine Infektion zwar generell möglich, aber nicht immer zuverlässig reproduzierbar ist. Zahlreiche Autoren kamen zu dem Schluss, dass neben *Treponema* ssp. noch weitere Bakterienspezies an der DD beteiligt sind, weshalb von einem polybakteriellen Geschehen ausgegangen wird (DÖPFER et al. 1997, KRULL et al. 2014, WILSON-WELDER et al. 2015, ZINICOLA et al. 2015).

KRULL et al. (2014) stellten eine dezidierte Aufschlüsselung des Keimspektrums in Unterfußläsionen bei DD zusammen. Sie untersuchten Biopsiematerial von insgesamt 48 Unterfüßen

mittels metagenomischer DNA-Sequenzierung. Dabei konnte die Beteiligung verschiedener *Treponema*-Subspezies nachvollzogen werden. Die anaeroben Spirochäten waren besonders in aktiven, akuten Läsionen als größte Bakteriengruppe anzutreffen. In den frühen und den chronischen DD-Stadien konnten zwar auch *Treponema ssp.* nachgewiesen werden, jedoch schienen sie dort nur von geringerer Bedeutung zu sein. Während auf gesunder Haut am Unterfuß von Rindern ein großes Spektrum verschiedenster Bakterienfamilien angesiedelt war, u.a. Staphylokokken, Streptokokken, *Bacteroidaceae*, Corynebakterien und Pasteurellen, wurden diese im Laufe der Krankheitsentwicklung allmählich durch andere Mikroben aus den Familien der Spirochäten, Mykoplasmen und *Porphyromonadaceae* verdrängt, bis am Ende beinahe nur noch die Spirochäten, aber auch einige Mykoplasmen dominierten. Nach erfolgreicher Behandlung waren wiederum bevorzugt Corynebakterien, Moraxellen und *Porphyromonadaceae* nachzuweisen. Neben diesem Wechsel der vorherrschenden Bakterienfamilien konnten KRULL et al. (2014) im Rahmen ihrer Untersuchungen ebenfalls nachweisen, dass je nach DD-Stadium unterschiedliche *Treponema ssp.* anzutreffen waren. So konnten auf gesunden Kontrollklauen v.a. *Treponema sp33* und diverse andere Subspezies vorgefunden werden, während in frühen Erkrankungsstadien nur fünf verschiedene Spezies (*Treponema phagedenis*, *Treponema sp44* sowie PT1, PT2 und PT3 aus der *Treponema refringens-like*-Familie) nachweisbar waren. In den aktiven Ulzerationen überwogen schließlich PT8, *Treponema denticola*, *Treponema pedis* und *Treponema medium*. Nach Behandlung stieg die Anzahl an unterschiedlichen *Treponema*-Spezies wieder auf etwa zwölf an. Einzige Konstante über alle Stadien stellte *Treponema phagedenis* dar.

ZINICOLA et al. (2015) führten ebenfalls bakteriologische Studien an gesunder und an DD erkrankter Haut durch. Die dominierenden Subspezies in den tieferen Hautschichten von aktiven DD-Läsionen waren in diesem Fall *Treponema denticola*, *Treponema medium* und *Treponema phagedenis*.

RASMUSSEN et al. (2012) beobachteten in Gewebeproben aus befallenen Arealen der Zehenhaut ebenso diverse *Treponema ssp.* sowie *Dichelobacter nodosus* in etwa der Hälfte aller Proben. Daraus schlussfolgerten sie, dass *Dichelobacter nodosus* potenziell eine Wegbereiterfunktion für die Spirochäten erfüllen könnte. Auch CAPION et al. (2012) unterstützen diese Theorie, da sie ebenfalls neben *Treponema ssp.*, *Dichelobacter nodosus* in 29% aller untersuchten Bioplate nachweisen konnten.

Dieser multibakterielle Charakter einer durch Treponemen dominierten Erkrankung ist auch in der Humanmedizin bei Zahnfleischentzündungen, die tief in das Zahnfach reichen können (Periodontitis), beschrieben worden. Auch hier spielen das Milieu und Primärkeime durch Op-

timierung der Kolonisationsbedingungen eine wichtige Rolle für die Ansiedlung von Sekundärkeimen wie etwa *Treponema denticola*. Dies kann z.B. durch die Schaffung anaerober Bedingungen oder die Freisetzung von Wachstumsfaktoren erfolgen (EDWARDS et al. 2003).

2.1.2.1.1 Eigenschaften von *Treponema* ssp. als Leitkeim der DD

In den Läsionen der DD sind verschiedenste Bakterienspezies nachweisbar, wobei jedoch Treponemen dominieren. Es handelt sich um dünne, helikal gewundene Bakterien, die zur Familie der Spirochäten gehören. Sie sind mit einer oder bis zu acht periplasmatischen Flagellen ausgestattet, die die Fortbewegung in viskösen Medien ermöglichen (EDWARDS et al. 2003). Die Bewegung der Bakterien kann sowohl linear als auch rotierend erfolgen (WILSON-WELDER et al. 2013). Alle Spezies dieser Gattung sind obligat anaerob, einige wenige mikroaerophil und daher in ihrer Kultivierung sehr anspruchsvoll (EDWARDS et al. 2003). Sind die äußeren Bedingungen nicht optimal, oder kommt es zu einer übermäßigen Anreicherung von Stoffwechselprodukten, ändern Treponemen ihre Gestalt und bilden kugelige Körper aus (DE CICCIO et al. 1999). Bereits DÖPFER et al. (1997) konnten neben den spiralförmigen Bakterien eine enzystierte Form und zwei Zwischenformen unterscheiden. Die Beobachtung dieser Zwischenstadien und einer enzystierten Form der Treponemen, die besonders in den chronischen Läsionen anzutreffen und durch kugelige Körperchen bzw. kettenartige Strukturen gekennzeichnet sind, erklärt den zyklischen Verlauf der DD mit ihren verschiedenen klinischen Erscheinungsformen. Die enzystierten Formen bleiben vom Immunsystem des Wirtstieres unerkannt, was deren Persistenz in tieferen Hautschichten ermöglicht, die solange bestehen bleibt, bis die Bakterien durch diverse Einflussfaktoren reaktiviert werden und sich wieder in spiralige Stadien umwandeln. Man geht davon aus, dass auf diese Weise ein neuer Erkrankungszyklus beginnt (DÖPFER et al. 2012).

Virulenzfaktoren von Treponemen sind v.a. für die humanpathogenen Spezies, wie z.B. *T. denticola*, die an der Periodontitis des Menschen beteiligt sind, intensiver untersucht. Aufgrund der engen Verwandtschaft mit den beim Rind vorkommenden Spezies, kann davon ausgegangen werden, dass sich die Pathogenitätsmechanismen ähneln (EDWARDS et al. 2003). Neben der Eigenmotilität durch die Geißeln (NORDHOFF und WIELER 2005), spielen diesbezüglich vor allem Proteinase, die den Bakterien das Durchdringen der Basalmembran ermöglichen, eine wichtige Rolle. Die Adhäsion und Kolonisation wird u.a. über Fibronectin und Laminin vermittelt. Major surface protein (Msp) ist ein Oberflächenantigen, das ebenfalls an der Adhäsion sowie an zytopathischen Prozessen in Form von Porenbildung in Epithelzellen beteiligt

ist. Die Schädigung der Wirtszelle erfolgt durch Hämagglutination und durch Hämolyse (EDWARDS et al. 2003, NORDHOFF und WIELER 2005).

Aufgrund des bereits beschriebenen ungenügenden Kultivierungserfolgs gelingt der Nachweis von *Treponema ssp.* bevorzugt mittels Polymerase-Kettenreaktion (PCR) oder Fluoreszenz in situ-Hybridisierung (FISH) (NORDHOFF und WIELER 2005). In Gewebeproben können Treponemen am besten durch eine Silberimprägnierung dargestellt werden, während sich für die Visualisierung lebender Keime die Dunkelfeldmikroskopie eignet (RADOLF 1996).

Bei Schweinen und Rindern wurden Treponemen als Teil der Standortflora im Magen-Darm-Trakt nachgewiesen. Allein im Pansen von Rindern konnten bis zu zehn apathogene Spezies vorgefunden werden, welchen eine Rolle beim dort stattfindenden Kohlenhydratabbau zugesprochen wird (NORDHOFF und WIELER 2005). EVANS et al. (2012) und ZINICOLA et al. (2015) führten den Gastrointestinaltrakt als mögliches Reservoir für Treponemen an, da auch an DD beteiligte Subspezies im Kot nachgewiesen werden konnten. Als weitere Übertragungswege werden der direkte Hautkontakt bzw. der indirekte Kontakt über Klauenmesser im Rahmen der Klauenpflege und -behandlung angenommen (SULLIVAN et al. 2014).

2.1.2.2 *Treponema*-bedingte Erkrankungen in anderen Lokalisationen und bei anderen Spezies

Die DD zeigt in Klinik und Erregerspektrum Ähnlichkeiten zur kontagiösen ovinen Dermatitis digitalis (SAYERS et al. 2009, SULLIVAN et al. 2015). Auch bei Ziegen können *Treponema ssp.* in Läsionen an der Klauenhaut nachgewiesen werden (SULLIVAN et al. 2015).

Die ulzerative Euterdermatitis weist ebenfalls Parallelen zur DD am Unterfuß des Rindes auf, da die Entzündung vor dem Euter oder zwischen den einzelnen Vierteln, makroskopisch betrachtet, klinisch der DD ähnelt und darüber hinaus auch Treponemen aus den Läsionen isoliert werden konnten. Allerdings enthielt nur ein sehr geringer Anteil der untersuchten Eutergewebsproben auch wirklich DD-assoziierte *Treponema ssp.*, weshalb davon auszugehen ist, dass diese nicht primär ursächlich für diese Erkrankung zu sein scheinen. Vielmehr handelt es sich auch hierbei um ein polybakterielles Geschehen (EVANS et al. 2010).

CLEGG et al. (2016) konnten bei der bakteriologischen Untersuchung von ischämischen Zitzennekrosen DD-assoziierte *Treponema ssp.* nachweisen, sodass auch hier von einem Zusammenhang der beiden Erkrankungsbilder ausgegangen werden kann.

Zu den diversen *Treponema*-assoziierten Krankheitsbildern in der Humanmedizin zählen z.B. die Periodontitis oder die Syphilis (EDWARDS et al. 2003).

2.1.2.3 Risikofaktoren für DD

Wie Studien am Tiermodell zeigten, ist das alleinige Vorhandensein von Bakterien nicht ausreichend, um das Krankheitsbild der DD auszulösen (GOMEZ et al. 2012). PALMER und O'CONNELL (2015) untersuchten in einer Übersichtsarbeit die Bedeutung verschiedener Risikofaktoren, wobei sie zwischen Faktoren auf Betriebsebene und auf Tierebene unterschieden.

2.1.2.3.1 Haltungsform und Hygiene

Als relevante Risikofaktoren in der Pathogenese haben sich die Haltungsform und die Hygiene sowie die Ausstattung der Stallungen erwiesen.

SOMERS et al. (2005) fanden eine höhere Wahrscheinlichkeit für DD, wenn den Tieren nur limitiert Weidegang gewährt wurde. Auch ONYIRO et al. (2008) beschreiben eine niedrigere Empfänglichkeit für DD bei Kühen in Weidehaltung im Vergleich zu anderen Haltungssystemen.

Die Haltung in Boxenlaufställen - besonders aber die Abmessungen der Liegeboxen - begünstigten das Vorkommen der DD. Je breiter und länger die Liegeboxen waren, desto weniger an DD erkrankte Kühe wurden beobachtet (SOMERS et al. 2005).

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist die generelle Haltungshygiene. RELUN et al. (2013) ermittelten einen positiven Zusammenhang zwischen dem Verschmutzungsgrad der Gliedmaßen und dem Auftreten von DD. Die Bodenbeschaffenheit spielte in diesem Kontext eine wichtige Rolle. Auf planbefestigten Betonböden befanden sich auch unmittelbar nach der Reinigung häufig noch größere Mengen Gülle als auf Spaltenböden, was sich folglich negativ auf die Unterfußhygiene auswirkte (BARKER et al. 2010). Studien belegen zudem, dass eine schlechte Gliedmaßenhygiene oft mit einem vermehrten Auftreten von Lahmheit einherging (COOK 2004, KARSLIOĞLU KARA et al. 2011).

2.1.2.3.2 Biosicherheit

Die Einschleppung der Erkrankung in den Bestand von außen in eine bis dahin geschlossene und gesunde Herde stellt ein sehr großes Risiko dar. Mögliche Ursachen liegen im Zukauf und dem gemeinsamen Weidegang mit an DD erkrankten Rindern (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1999), oder in mangelnder Personalhygiene bzw. Biosicherheit beim Umgang mit infektiösen

Klauenerkrankungen u.a. im Rahmen von Klauenpflege und Klauenbehandlungen. Bei bakteriologischen Untersuchungen konnten DD-assoziierte *Treponema* ssp. auf einer Vielzahl Klauenmesser sogar noch nach einer Desinfektion mit jodhaltigen Mitteln nachgewiesen werden (SULLIVAN et al. 2014).

2.1.2.3.3 Klima

Das Klima bzw. das Wetter kann das Auftreten von DD beeinflussen. In niederschlagsreichen Perioden des späten Frühjahrs bzw. des frühen Sommers wurden in Kalifornien vermehrt DD-Läsionen beobachtet. Es wurde angenommen, dass die Haut am Unterfuß, die aufgrund der Witterung stetig in Kontakt mit Feuchtigkeit stand, generell anfälliger und weniger widerstandsfähig gegenüber DD wurde (READ und WALKER 1998, GOMEZ et al. 2012). Auch für Neuseeland gibt es Daten, die jahreszeitlichen Schwankungen der DD beschrieben (YANG et al. 2018).

2.1.2.3.4 Fütterung

Eine weitere Einflussgröße stellt die Fütterung der Tiere dar. SOMERS et al. (2005) beobachteten eine höhere Prävalenz von DD bei Kühen mit metabolischem Ungleichgewicht, das sich aufgrund des Angebotes besonders energiedichter Rationen einstellte. Das trifft besonders auf Kühe in der Früh- und Hochlaktation zu.

Durch die Supplementierung von Spurenelementen, wie in erster Linie Kupfer, Zink, Jod und Mangan, konnte in Studien eine geringfügige Reduktion der DD-Prävalenz bzw. des Schweregrads der Ausprägung der Läsionen erreicht werden, die sich jedoch nicht als statistisch signifikant erwies. Der Effekt beruhte möglicherweise auf der Rolle dieser Mikronährstoffe bei der Reparatur und Erneuerung von Zellen. Auch für die humorale und zelluläre Immunantwort sind Spurenelemente unverzichtbar (GOMEZ et al. 2014).

2.1.2.3.5 Tierfaktoren und Zucht

Tierfaktoren, die das Auftreten von DD begünstigen sind die Rasse, das Laktationsstadium, die Parität sowie das Geschlecht. Die Inzidenz der DD erwies sich in Betrieben, in denen Kühe der Rasse Holstein-Friesian gehalten wurden, höher als in Betrieben mit anderen Rassen (HOLZHAUER et al. 2006, RELUN et al. 2013).

Erstlaktierende schienen vermutlich aufgrund der mit der ersten Kalbung verbundenen Immunsuppression und der hohen Belastung des Stoffwechsels durch die einsetzende Milchproduktion bei gleichzeitigem Nährstoffbedarf für das Wachstum anfälliger für DD zu sein. Ab der zweiten Kalbung sank das Risiko wieder (SOMERS et al. 2005).

Die ersten vier Wochen post partum gelten laut ARGAEZ-RODRIGUEZ et al. (1997) als kritischste Phase für das Auftreten von DD bei Milchkühen, während HOLZHAUER et al. (2006) der Hochlaktation das höchste Risiko zuordneten. Diese Autoren vermuten einen Zusammenhang mit der Rationsgestaltung, da die hohen Milchleistungen nach einer hohen Energiedichte des Futters verlangen, was wiederum das Risiko für das Auftreten einer subklinischen Pansenazidose in der Hochlaktation erhöht. Die subklinische Pansenazidose geht mit einer abrupten Absenkung des pH-Wertes im Pansen einher und führt zu einer Belastung der Tiere durch Endotoxine sowie zu einer dünnen Kotkonsistenz. Daraus folgt ein höherer Verschmutzungsgrad der Unterfüße mit den bereits beschriebenen Konsequenzen (SOMERS et al. 2005, RELUN et al. 2013).

Der Konformation der Klauen wird ein Einfluss auf die Empfänglichkeit gegenüber der DD zugeschrieben. Bei Kühen mit übermäßig langen Klauen und demzufolge niedrigerer Ballenhöhe wurden häufiger DD-Läsionen nachgewiesen. Als Ursache wird angegeben, dass die Ballen- und die Zwischenzehenhaut von Rindern mit niedriger Ballenhöhe stärker den Exkrementen in Laufgängen und auf Liegeflächen ausgesetzt sind als bei ausgewogeneren Klauenabmessungen und größerer Ballenhöhe (LAVEN 2007).

Ist ein Unterfuß von DD befallen, bewirkt die damit einhergehende Entzündung und ständige Entlastungshaltung der betroffenen Gliedmaße ein erhöhtes Nettohornwachstum (= Hornproduktion – Hornabrieb) (GOMEZ et al. 2015). Dadurch gewinnt der Ballenbereich bei Klauen mit DD im Vergleich zu gesunden Klauen rasch an Höhe, der Zwischenzehenspalt wird tiefer und der Klauenwinkel weiter. Der tiefere Zwischenklauenspalt begünstigt durch das Anhaften von Schmutz und Exkrementen in diesem Bereich anaerobe Bedingungen, die dem Wachstum von Spirochäten Vorschub leisten.

2.1.2.3.6 Funktion der Haut als Schutzbarriere

Da die Haut eine Barriere zur Außenwelt darstellt, wird ihr bei der Entstehung der DD Bedeutung zugeschrieben (PALMER et al. (2013). Hautdicke und Fettgehalt, die u.a. genetischen Einflüssen bzw. Variationen unterworfen sind (PALMER et al. 2006), bestimmen die Permeabilität der Hautbarriere ebenso wie verschiedenste Umwelteinflüsse. Nachdem die Haut am Unterfuß beispielsweise dem Einfluss von Gülle ausgesetzt wurde, beobachteten PALMER

et al. (2013) eine erhöhte Permeabilität der Hautbarriere, die sich jedoch nicht explizit auf die Empfänglichkeit gegenüber DD auswirkte.

Unter der Annahme, dass die Erreger der DD Haarfollikel oder Talgdrüsen als Eintrittspforte nutzen, wurde die Rolle dieser Strukturen näher untersucht. Da die Dichte der Haare beim Rind genetisch festgelegt ist, könnte eine höhere Anzahl Haarfollikel pro Fläche Einfluss auf die Empfänglichkeit eines Rindes gegenüber DD ausüben (EVANS et al. 2009).

Kühe, welche chronische DD-Stadien oder eine akute Läsion auf der kontralateralen Klaue aufwiesen, neigten dazu, weitere aktive Ulzerationen auszuprägen; deshalb werden entsprechende Vorerkrankungen zu den Risikofaktoren gezählt (RELUN et al. 2013).

Für Kühe, die einem hohen Stresslevel ausgesetzt waren und damit einen höheren Spiegel an proinflammatorischen Zytokinen aufwiesen, erhöhten gleichzeitig vorherrschende unhygienische Umgebungsbedingungen das Risiko DD-Läsionen zu entwickeln, erheblich (REFAAI et al. 2013).

2.1.2.4 DD und Immunsystem

Sowohl die zelluläre als auch die humorale Immunantwort werden durch die Infektion mit *Treponema ssp.*, welche mittels Adhäsinen an die Wirtszelle andocken und mit dieser kommunizieren, aktiviert.

2.1.2.4.1 Humorale Immunantwort

An DD erkrankte Tiere bilden Antikörper gegen Spirochätenantigen, die jedoch keinen protektiven Effekt zeigen, wie besonders an Typ III Kühen deutlich wird. Die Antikörpertiter korrelieren mit dem Ausmaß der Läsionen bzw. der in ihnen nachweisbaren Anzahl Spirochäten (GOMEZ et al. 2014, ORSEL et al. 2018). Kühe mit akuten Läsionen (M2-Stadium) wiesen in Untersuchungen höhere Antikörpertiter auf als gesunde, exponierte Tiere und Tiere nach erfolgter Behandlung. Rezidivierend an DD erkrankte Kühe zeigten einen nur wenig, aber beständig erhöhten Antikörpertiter gegenüber Spirochäten, während Tiere, die im frühen Stadium der DD (M1 oder M4.1) verkehrten, keinen signifikanten Titeranstieg aufwiesen (GOMEZ et al. 2014). Vor allem die Tatsache, dass wechselnde *Treponema ssp.* im Verlauf der DD nachgewiesen werden können, wird als Strategie der Erreger angesehen, die Immunabwehr des Wirtstieres zu umgehen (ORSEL et al. 2018).

Der Fakt, dass die Treponemen lange in den Wirtstieren bzw. in der Wirtsumgebung persistieren können, sodass nahezu jede Kuh irgendwann mit ihnen in Kontakt kommt und in einem gewissen Umfang Antikörper gegen die Erreger produziert, schränkt zusätzlich den diagnostischen Nutzen der Serologie ein (ORSEL et al. 2018).

2.1.2.4.2 Zelluläre Immunantwort

Es besteht die Annahme, dass die an der DD beteiligten Erreger, vor allem *Treponema* ssp., in der Lage sind, die Wirksamkeit der zellulären Immunantwort lokal am Eintrittsort in die Haut zu beeinträchtigen. SCHOLEY et al. (2013) bestätigen mittels RNA-Gen-Sequenzierung die nur schwache lokale Immun- und Entzündungsreaktion auf Wirtsseite sowie einen Anstieg von Wirtsproteinen (z.B. $\alpha 2$ macroglobulin-like 1), die durch Anhaftung auf der Spirochätenoberfläche zur bakteriellen Immunevasion beitragen.

ZUERNER et al. (2007) untersuchten den Einfluss von *Treponema phagedenis*-like auf bovine Makrophagen. Durch serielle Analysen zur Genexpression (SAGE) und RT-PCRs konnten sie feststellen, dass unter Einfluss der Spirochäten in befallenen Geweben proinflammatorische Zytokine wie Interleukin-8 (IL-8) oder GCP-2 hochreguliert, während Rezeptoren und Rezeptorproteine für IL-1, IL-6 und IL-11 herunterreguliert wurden oder konstant blieben. Gleichzeitig wurden Gene, die für die Bildung des Zytoskeletts und zur Antigenpräsentation notwendig sind, herunterreguliert. All dies führt dazu, dass die Immun- und Wundheilungsfunktionen von Makrophagen beeinträchtigt werden, was den Bakterien wiederum ermöglicht der Elimination durch das Immunsystem zu entgehen und Läsionen auszubilden.

Um die DD-assoziierten Veränderungen auf zellulärer Ebene näher zu untersuchen, analysierten REFAAI et al. (2013) Gewebeproben aller fünf DD-Stadien mittels histopathologischer und immunhistochemischer Methoden. Dabei konnten für die Stadien M2 bis M4 Verdickungen der Epidermis und für das M3 Stadium v.a. der Keratinschicht nachgewiesen werden. Im akuten Stadium (M2) wurden zudem zahlreiche eosinophile und neutrophile Granulozyten vorgefunden, was mit der klinisch sichtbaren Entzündung konformgeht. Immunologisch konnte auf Ebene der Keratinozyten, welche neben der Barrierefunktion auch eine wichtige Rolle bei der Wundheilung spielen, lokal eine erhöhte Freisetzung des Zytokins Interleukin-8 festgestellt werden. Dabei handelt es sich um ein Chemokin, das einen Teil der Immunabwehr der Haut darstellt und an der Keratinozytenproliferation beteiligt ist. Eine vermehrte Ausschüttung dieser Botenstoffe könnte somit die Verdickung der Haut sowie deren proliferatives Wachstum im chronischen Stadium erklären (REFAAI et al. 2013).

Neben Keratinozyten sind auch Fibroblasten am Entzündungsgeschehen beteiligt, die im Rahmen der zellulären Immunantwort bei der Wundheilung am Rinderfuß eine Rolle spielen. Hatte man den Fibroblasten in der Vergangenheit nur eine Funktion im Rahmen der Bindegewebsbildung zugesprochen, weiß man heute, dass dieser Zelltyp auch in die Immunabwehr eingebunden ist, lokal proliferiert und Zytokine freisetzt, die die Zellreparatur vermitteln. Der Einfluss von Treponemen auf Keratinozyten und Fibroblasten am bovinen Unterfuß wurde in Zellkulturen untersucht (EVANS et al. 2014). Dabei zeigte sich, dass v.a. die Fibroblastenaktivität und damit die Zytokinproduktion bei der DD erhöht sind. Keratinozyten zeigten im Gegensatz zu den oben genannten Untersuchungen von REFAAI et al. (2013) kaum vermehrte Aktivität. Lediglich die Produktion des Zytokins Tumornekrosefaktor α (TNF α) war erhöht. Die Stimulation von Fibroblasten jedoch und die damit verbundene zellulär vermittelte Entzündungsreaktion bewirkt zugleich eine Zerstörung des betroffenen Gewebes.

2.1.3 Epidemiologie und Prävalenz

Nach der Erstbeschreibung der DD durch CHELI und MORTELLARO (1974) in Italien, erschienen Berichte über das Vorkommen der DD aus aller Welt. HOLZHAUER et al. (2006) ermittelten für Milchkuhhaltungen in den Niederlanden eine Herdenprävalenz von bis zu 83%, mit einer Einzeltierprävalenz von 21 bis 26% bzw. 30%. In einer 1994 durchgeführten Studie wurden in 89% der Milchkuhhaltungen in Südkalifornien (USA) klinische Symptome der DD beobachtet (READ und WALKER 1998), während die Herdenprävalenz für Laufstallhaltungen in Ontario (CAN) bei lediglich 20 bis 25% lag (CRAMER et al. 2008). Im Vereinigten Königreich waren etwa 70% der untersuchten Herden betroffen (LAVEN 2001), wobei die DD bei 15 bis 20% der Lahmheitsfälle als Hauptursache ausgemacht werden konnte (BLOWEY 2005). RODRIGUEZ-LAINZ et al. (1998) beschrieben für Chile eine DD-Herdenprävalenz von 91%, bei einer mittleren Prävalenz auf Tierebene von 6,1%.

Für den Osten Deutschlands liegen Daten von KOENIG et al. (2005) vor, die insgesamt 56340 Holstein-Kühe in neun Milchviehbetrieben untersuchten und bei 13,2% DD-Läsionen vorfanden. Die DD-Inzidenz schwankte in den verschiedenen Herden zwischen 1,8% und 41,8%. VÖGELY (2020) beschrieb für fünf brandenburgische Betriebe Einzeltierprävalenzen zwischen 39,5% und 89,9%.

2.1.4 Diagnostik am Einzeltier als Grundlage der Bekämpfungsstrategie

Die wissenschaftlich begründete Strategie zur Bekämpfung der DD umfasst neben der regelmäßigen Erkennung und Dokumentation der M-Stadien am Einzeltier, die zeitnahe Behandlung akuter Stadien, die Erkennung und Verminderung des Einflusses verschiedener Risikofaktoren sowie die regelmäßige Durchführung von Maßnahmen zur Pflege der Klauen. Als Resultat einer konsequenten Umsetzung von Bekämpfungsmaßnahmen wird nach heutigem Kenntnisstand nicht die komplette Sanierung, sondern die Erreichung eines „kontrollierbaren Zustands“ der DD angesehen. Dazu muss die Intra-Herdenprävalenz für DD bekannt sein, ebenso wie die M-Stadien auf Einzeltierebene (DÖPFER 2009). Der Erfolg von Prophylaxe- und Behandlungsmaßnahmen lässt sich über engmaschige Nachuntersuchungen beurteilen. Nur so können Prävalenzverschiebungen detektiert und ggf. zeitnah gezielte Maßnahmen ergriffen werden (KRULL et al. 2016).

Aufgrund der polybakteriellen Genese der Erkrankung und der schwierigen Kultivierung der Leitkeime aus der Klasse der Treponemen, stützt sich die Diagnostik primär auf die Erkennung der charakteristischen klinischen Symptome der DD am Einzeltier.

2.1.4.1 Goldstandard - DD-Diagnostik im Klauenstand

Als Goldstandard der Diagnostik von DD mit ihren unterschiedlichen Erkrankungsstadien gilt die visuelle Untersuchung des Unterfußes an der angehobenen Gliedmaße im Klauenstand (MANSKE et al. 2002, THOMSEN et al. 2008, ORSEL et al. 2018). Hier können die Klauen nach gründlicher Reinigung inspiziert werden; zudem ist nur an der angehobenen Gliedmaße die Beurteilung der Zwischenzehenhaut durch Spreizung der Klauen mit Hilfe einer Zange möglich. Diese Methode ist sehr zeit- und arbeitsaufwändig und löst bei den Tieren durch das Verbringen in den Klauenstand Stress aus (PESENHOFER et al. 2006, FIEGUTH 2014), weshalb diese Art der Erfassung nur anlässlich des regelmäßig stattfindenden Herdenschnittes erfolgen kann oder während der Behandlung lahmer Tiere.

2.1.4.2 „Pen Walks“- DD-Scoring im Stall

Eine Methode, die bei den Tieren kaum Stress verursacht, ist die Bonitierung der Unterfüße direkt im Stall in Form sogenannter „Pen Walks“. Hierbei können die Rinder am Fressplatz stehend, ggf. auch in Fressfanggittern fixiert, beurteilt werden. Dabei geht der Untersucher

hinter den Tieren entlang, inspiziert die Unterfüße und ordnet den beobachteten Veränderungen ein M-Stadium nach dem bekannten M-Schema nach DÖPFER et al. (1997) zu. Die Inspektion kann auch an freilaufenden Kühen in den Laufgängen erfolgen, indem die Tiere einzeln den Untersucher passieren (TREMBLAY et al. 2016, JACOBS et al. 2017).

2.1.4.3 „Milking Parlor Walks“ - DD-Scoring im Melkstand

Die durch DD verursachten Hautveränderungen lassen sich auch im Melkstand während des Melkvorgangs beurteilen. Da die Tiere hierbei in der Regel ruhig stehen, lassen sich die Unterfüße problemlos inspizieren. Darüber hinaus entsteht für die Kühe im Vergleich zur Goldstandard-Methode kein unvorhergesehener Stress (ORSEL et al. 2018). Durch entsprechende Positionierung des Beobachters im Melkstand wird der normale Arbeitsablauf des Melkpersonals nicht behindert (THOMSEN et al. 2008). Die Verwendung von Hilfsmitteln wie Handspiegeln (RELUN et al. 2011) oder gar kleineren Endoskopen (STOKES et al. 2012) erlaubt eine bessere Sicht auf den Interdigitalspalt. Das Scoring kann jedoch auch ohne den Einsatz solcher Instrumente erfolgen. So verwendeten THOMSEN et al. (2008) und RODRIGUEZ-LAINZ et al. (1998) nur eine Taschenlampe als Lichtquelle.

Bei allen genannten Studien wurden die Klauen vor Inspektion gründlich mit einem Wasserstrahl gereinigt. Der Zeitaufwand wird mit etwa 15 Sekunden pro Kuh inklusive vorheriger Reinigung der Unterfüße angegeben (THOMSEN et al. 2008). Wird zusätzlich ein gestielter Handspiegel verwendet, verdoppelt oder vervierfacht sich die Untersuchungszeit auf bis zu eine Minute. RODRIGUEZ-LAINZ et al. (1998) gaben sogar eine Untersuchungszeit von bis zu zwei Minuten pro Tier an.

2.1.4.4 Weitere diagnostische Verfahren

Weitere technikgestützte diagnostische Methoden schließen die Infrarot-Thermografie und serologische Testverfahren ein. ALSAOD et al. (2014) bestimmten mittels Infrarot-Thermografie die Hauttemperatur am dorsalen und plantaren bzw. palmaren Unterfuß sowie direkt am Kronsaum und kamen zu der Schlussfolgerung, dass Klauen mit DD im Vergleich zu Unterfüßen gesunder Kontrolltiere höhere Oberflächentemperaturen aufweisen.

Auch serologische Untersuchungen wurden hinsichtlich ihrer Eignung für die DD-Diagnostik geprüft. Dabei wurden Unterschiede in den Antikörpertitern in Abhängigkeit vom Erkrankungsstadium ermittelt (s.a. 2.1.2.4.1 Humorale Immunantwort). Die Autoren schlussfolgerten, dass

serologische Untersuchungen durchaus herangezogen werden können, um zusammen mit den klinischen Erscheinungen den DD-Status eines Tieres zu beurteilen (GOMEZ et al. 2014). Als alleiniges Diagnostikum kann die Serologie jedoch nicht empfohlen werden, da die Tiere sehr unterschiedlich auf den Kontakt mit Treponemen reagieren und verschiedene *Treponema* ssp. beteiligt sind (WILSON-WELDER et al. 2015). Auch eine mögliche immunologische Toleranz gegen Treponemen aufgrund der physiologischen Darmbesiedlung durch diese Keime muss hierbei berücksichtigt werden (EVANS et al. 2012, WILSON-WELDER et al. 2015).

2.1.5 Therapie und Bekämpfungsstrategien

Bei der Therapie der DD unterscheidet man zwischen Einzeltier- und Herdenbehandlungen. Beide Methoden können mit oder ohne Einsatz von Antibiotika erfolgen, wobei alle Vorgehensweisen Vor- und Nachteile aufweisen. Des Weiteren wird zwischen der systemischen und der lokalen Anwendung diverser Therapeutika differenziert (LAVEN und LOGUE 2006). Die verschiedenen Bekämpfungsstrategien sollen im Folgenden näher erläutert werden:

2.1.5.1 Systemische Behandlung mit Antibiotika

Eine Möglichkeit der Einzeltiertherapie besteht in der systemischen Verabreichung von Antibiotika, welche relativ einfach umzusetzen ist. Obwohl es bisher kein Standardverfahren für die Bestimmung von minimalen Hemmkonzentrationen bei Treponemen gibt, zeigten *in vitro*-Untersuchungen deren begrenzte Empfindlichkeit gegenüber Lincomycin, Spectinomycin, Oxytetracyclin, Ceftiofur und Gentamicin, während günstige Ergebnisse für Penicillin und dessen Derivate sowie Makrolide verzeichnet wurden (EVANS et al. 2009). Aufgrund der polybakteriellen Genese der DD ist die allumfassende antimikrobielle Therapie stets kritisch zu hinterfragen (PLUMMER und KRULL 2017). In klinischen Studien ließ sich der Therapieerfolg unter anderem für die Wirkstoffe Procain-Penicillin G und Ceftiofur nicht eindeutig nachweisen, wobei READ und WALKER (1998) v.a. für die systemische Behandlung mit Penicillin G eine deutliche Verbesserung der DD-Läsionen beschrieben. Außerdem müssen bei dieser Behandlungsmethode generell Wartezeiten auf Fleisch und Milch in Kauf genommen werden (READ und WALKER 1998, LAVEN und LOGUE 2006, PLUMMER und KRULL 2017).

2.1.5.2 Lokale Anwendung von Antibiotika

Die lokale Behandlung der DD am Einzeltier erfolgt in der Regel über das Aufbringen einer Salbe bzw. Paste auf die DD-Läsionen oder eine Spraybehandlung mit oder ohne Anlegen eines Schutzverbands. Dabei fallen die Wartezeiten kürzer aus als bei der systemischen Anwendung oder entfallen gänzlich, weshalb dies häufig die Behandlungsmethode der Wahl ist (LAVEN und PROVEN 2000, FIEDLER et al. 2015). Die lokale Therapie erfolgt in der Regel im Rahmen der funktionellen Klauenpflege beim Herdenschnitt oder im Rahmen der Einzeltierbehandlung in einem Klauenstand. Meistens wird auf oxytetracyklinhaltige Präparate in Form von Sprays zurückgegriffen, welche als Tierarzneimittel für diese Indikation registriert sind und deren Wirksamkeit in zahlreichen klinischen Studien nachgewiesen wurde (BERRY et al. 2010, FIEDLER et al. 2015, KLAWITTER et al. 2019). Behandlungsprotokolle sehen sowohl die einmalige topikale Behandlung, als auch wiederholte Behandlungen (i.d.R. an drei aufeinanderfolgenden Tagen) zum Teil bis zum Eintritt einer kompletten klinischen Heilung vor, wobei mit oder ohne Schutzverband gearbeitet wurde (LAVEN und LOGUE 2006). KLAWITTER et al. (2017) berichten über die bessere Wirkung der topischen Anwendung von chlortetracyclinhaltigem Blauspray nach Anlegen eines Klauenverbands. Der Heilungsprozess wurde hierdurch beschleunigt und die Rezidivrate reduziert.

HERNANDEZ und SHEARER (2000) stellten bei lokaler Anwendung von Oxytetracyclin am Unterfuß ohne Anlegen eines Verbands Unterschiede im Behandlungserfolg in Abhängigkeit von der Lokalisation der DD-Läsion fest. So heilten Läsionen im Zwischenklauenspalt signifikant schlechter ab als Läsionen am Ballen oder im Bereich der Afterklauen.

In einer zusammenfassenden Betrachtung der verschiedenen antibiotischen Behandlungsstrategien für DD beschrieben LAVEN und LOGUE (2006) den Einsatz weiterer antibiotischer Substanzen, wie zum Beispiel Lincomycin, Chloramphenicol oder Valnemulin lokal am Unterfuß. In einer Studie verglichen LAVEN und HUNT (2001) die Wirksamkeit von Valnemulin gegen Spirochäten mit der von Lincomycin. Von beiden Substanzen wurde zweimal im Abstand von 48 Stunden eine vorgeschriebene Menge mit einer Sprühflasche auf die Läsionen aufgetragen. Beide Mittel konnten eine Verbesserung der klinischen Symptome herbeiführen, ohne signifikanten Unterschied zwischen den beiden Behandlungsgruppen. Diese Autoren kamen jedoch auch zu der Feststellung, dass über die Wirksamkeit vieler Substanzen häufig keine belastbaren wissenschaftlichen Studien vorliegen, und die genannten Stoffe nicht in dieser Indikation und Anwendung zugelassen sind (LAVEN und LOGUE 2006).

Im Rahmen der lokalen Behandlung der DD auf Herdenebene fanden außerdem diverse antibiotikahaltige Klauenbäder Anwendung, die die folgenden Wirkstoffe enthielten: Tetracykline,

Lincomycin, Tylosin, Tiamulin und Dimetridazol. Die Berichte hierzu sind jedoch eher anekdotischer Natur und entsprechen nicht dem wissenschaftlichem Standard (LAVEN und LOGUE 2006).

Ein antibiotisches Klauenbad mit dem Wirkstoff Erythromycin (0,035 g/L) wurde hingegen in einer kontrollierten klinischen Studie hinsichtlich seiner Effizienz untersucht. Diese Studie gibt jedoch weder Auskunft über das ideale Behandlungsregime, noch über die optimale Konzentration der Lösung. Es wurde jedoch ersichtlich, dass Wiederholungen der Behandlung notwendig sind, da zwar die Lahmheit sowie die Schmerzhaftigkeit der Läsionen insgesamt nach vier Tagen abnahmen, jedoch etwa die Hälfte aller Tiere nach elf Tagen noch ein verändertes Gangbild oder aber schmerzhaft Ulzerationen aufwiesen (LAVEN und PROVEN 2000).

In Deutschland gibt es keine zugelassenen Antibiotika, die in Form von Klauenbädern zur Therapie der DD eingesetzt werden dürfen. Im Rahmen eines Therapienotstandes kann ein Tierarzt unter Einhaltung der Umwidnungskaskade (§56a Abs. 2 AMG) und der Antibiotikaleitlinien ein Antibiotikum zur Herdentherapie der DD im Klauenbad verschreiben, sofern eine Behandlung mit anderen, für diese Indikation zugelassenen und lokal anwendbaren Arzneimitteln nicht ausreichend oder zielführend ist. Hierbei sind neben Mindestwartezeiten auf Fleisch und Milch auch Vorschriften zur ordnungsgemäßen Entsorgung der Substanzen einzuhalten (KLEIMINGER 2012).

2.1.5.3 Lokale Anwendung nicht-antibiotischer Substanzen

Um den Antibiotikaeinsatz gering zu halten und damit verbundene Wartezeiten zu umgehen, wird auch die lokale Anwendung von nicht-antibiotischen Substanzen zur Therapie der DD beschrieben. Hierbei finden v.a. Antiseptika wie Benzalkoniumchlorid, Kupferverbindungen, organische Säuren mit essentiellen Ölen und Enzymen sowie organische Verbindungen und Salze verschiedener Spurenelemente Verwendung (LAVEN und LOGUE 2006).

Der Einsatz von Salizylsäure in Form von Pulvern oder Pasten zur Therapie der DD ist weit verbreitet. Die Wirkung eines salizylsäurehaltigen Pulvers wurde in einer Studie mit der von Chlortetrazyklin verglichen (SCHULTZ und CATION 2013). Zu Beginn zeigten sich keine Unterschiede hinsichtlich der Heilungsraten, nach etwa fünf Wochen heilten etwa fünffach mehr Läsionen unter Salizylsäure aus als unter Chlortetrazyklin. Bei den mit Chlortetrazyklin behandelten Tieren war an Tag 14 noch immer eine deutliche Schmerzhaftigkeit einiger Läsionen feststellbar. INNEREBNER (2013) und KOFLENER et al. (2015) führten vergleichbare Untersuchungen mit einer salizylsäurehaltigen Paste durch und kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass ein solches Produkt eine gute Alternative zu antibiotikahaltigen Produkten darstellt. Die

Behandlung wird auch bei DD-assoziierten Klauenhorn-Läsionen empfohlen. In einem solchen Fall sollte zunächst unter Lokalanästhesie eine gründliche Wundrevision erfolgen, und die erkrankte Klaue - wenn erforderlich - mit einem Klotz auf der kontralateralen Klaue entlastet werden, ehe die Läsion mit einer salizylsäurehaltigen Paste bestrichen und mittels Verband geschützt wird (ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020b).

KLAWITTER et al. (2019) wandten in ihrer Studie zum Effekt eines Verbandes auf die Heilung von DD-Läsionen neben einem Chlortetrazyklin-Spray ein Produkt auf der Basis eines Kupfer- und Zink-Chelats (Intra Hoof-Fit Gel, Intracare, Niederlande) an und kamen zu dem Schluss, dass sich die Heilungsraten für beide Produkte nicht signifikant unterschieden.

Einen weiteren antibiotikafreien Therapieansatz am Einzeltier stellt die Verwendung einer kommerziell erhältlichen Polyurethan-Wundaufgabe dar. Diese wurde in einer Studie von FIEDLER et al. (2015) bezüglich ihrer Wirksamkeit mit der lokalen Anwendung von 2,45%igem Tetrazyklinspray bzw. einer salizylsäurehaltigen Salbe verglichen. Dabei zeigte sich in allen drei Behandlungsgruppen eine signifikante Verbesserung der Läsionen ohne deutliche Unterschiede zwischen den drei Behandlungsschemata. Ein großer Vorteil dieser Wundaufgabe ist, dass sie sehr gut hautverträglich ist und keinen Wirkstoff enthält, wodurch auch keine Sperrzeiten anfallen. Um die Wundaufgabe sicher am Wirkort zu fixieren, muss ein Verband angelegt werden.

2.1.5.4 Funktionelle Klauenpflege

LAVEN (2007) beschreiben einen möglichen Zusammenhang zwischen der Klauenkonformation und dem Auftreten der DD, wobei die Ursache-Wirkungsbeziehung nicht geklärt werden konnte. Als signifikant erwies sich hierbei vor allem der Zusammenhang zwischen reduzierter Ballenhöhe und dem gehäuften Vorhandensein von DD-Läsionen. Obwohl der Beweis der Kausalität noch aussteht, wird angenommen, dass eine niedrigere Ballenhöhe die Entstehung von DD-Läsionen begünstigt, da sich die Kontaktzeit des Ballenbereichs mit der Gülle verlängert (SOMERS et al. 2005, LAVEN 2007). Im Rahmen der funktionellen Klauenpflege nach TOUSSAINT RAVEN et al. (1985) wird im „Schritt 3“ die sogenannte Hohlkehlung angebracht. Sie dient neben der Entlastung des klassischen „Druckpunktes“ an der „Rusterholz’schen Stelle“ der besseren Belüftung der Zwischenzehenhaut und damit der Vorbeuge der DD. Darüber hinaus können Fehler in Klauenform und -stellung in gewissem Maße durch die funktionelle Klauenpflege ausgeglichen werden (ICAR WGFT UND INTERNATIONALE KLAUENGESUNDHEITSEXPERTEN 2015).

2.1.5.5 Chirurgische Therapie

Seit einigen Jahren wird ein Übergreifen der DD auf eine vorgeschädigte Lederhaut bei Sohlengeschwüren in verschiedenen Lokalisationen und auf Zwischenzehenwülste (Limax) beobachtet (KOFLER et al. 2015, ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020b). Ein radikal-chirurgisches Vorgehen ist v.a. dann angezeigt, wenn sich diese Erkrankungen als therapieresistent gegenüber den üblichen Behandlungsmethoden erweisen (sogenannte „atypischen Läsionen“ oder „non-healing-lesions“ (PLUMMER und KRULL 2017)) und entweder der Verlust des Tieres oder zumindest einer Klaue (Amputation) zu erwarten ist. Ein radikales Wunddebridement unter Lokalanästhesie in Kombination mit einer lokalen Anwendung eines Antibiotikums oder einer anderen antibakteriell wirksamen Substanz ist hier angezeigt (EVANS et al. 2011, ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020b).

2.1.5.6 Behandlung und Vorbeuge der DD auf Herdenebene durch Klauenbäder

Die Selektion und Behandlung von Einzeltieren ist sehr zeitaufwändig und damit auch kostspielig, weshalb viele Betriebe Gruppenbehandlungsstrategien gegen DD bevorzugen (LAVEN et al. 2012). Der 5-Punkte-Plan zur Kontrolle der DD (BERGSTEN et al.) kann als Hilfsmittel zur strukturierten Vorbeuge und Bekämpfung der DD im Bestand herangezogen werden. Er vereint Biosicherheits-, Prophylaxe- und Therapiekonzepte als komplexe Strategie.

Die Bestandstherapie bzw. die Behandlung der ganzen Herde oder größerer Tiergruppen erfolgt in der Regel am einfachsten über die Anwendung von Klauenbädern. Meist befinden sich diese in der Nähe des Ausgangs vom Melkstand, sodass sie von jeder Kuh passiert werden müssen, die den Melkstand verlässt. Standbädern wird aufgrund der längeren Kontaktzeit des jeweiligen Mittels mit der Haut eine bessere Wirksamkeit gegenüber den Durchgangsklauenbädern zugesprochen (CORNELISSE et al. 1982).

Automatisierte Klauenbäder, wie sie viele Landmaschinenhersteller in ihrem Sortiment führen, erleichtern das Klauenbadmanagement, indem sie hinsichtlich Anwendungszeitpunkt und -häufigkeit individuell programmiert werden können. Zum Teil kann dabei auch zwischen verschiedenen Klauenbad-Formulierungen variiert werden. Ein automatischer Füllungswechsel nach einer bestimmten Anzahl an Tieren ist ebenfalls möglich (DELAVAL , DETER 2017).

Grundsätzlich dient ein Klauenbad der Pflege und Keimreduktion an der Klaue und sollte daher regelmäßig, auch ohne Vorhandensein von Krankheitserscheinungen zur Prophylaxe ebensolcher durchgeführt werden (ORSEL et al. 2018).

Des Weiteren können Klauenbäder zum Einsatz kommen, wenn eine DD-Problematik vorhanden ist und diese bei einer größeren Anzahl Tiere bekämpft werden soll (ORSEL et al. 2018). Diese sinnngemäße Unterscheidung zwischen Klauenpflege- und Heilbädern ist vielen Landwirten nicht bewusst.

Bei Anwendung von Klauenbädern zur Pflege und Keimverminderung an den Unterfüßen sind ein gutes Management (Frequenz der Anwendung, Art und Konzentration des Biozids bzw. Produktes zur Pflege der Klauen, Anzahl Tierpassagen bis zum Wechsel der Flüssigkeit) sowie die Erfüllung bestimmter Anforderungen an die Abmessungen des Klauenbades essentiell (COOK et al. 2012). Durch die entsprechende Länge der Wanne (mind. 3,0 Meter) und eine Füllhöhe von mindestens zehn Zentimetern wird garantiert, dass die Kühe beim Durchschreiten des Klauenbades jeden Unterfuß mindestens zwei Mal bis zu den Afterklauen in die Lösung eintauchen. Es muss darüber hinaus gewährleistet sein, dass das angewandte Mittel stets in ausreichender Menge und vorgeschriebener Konzentration verfügbar ist. Die Lösung sollte nach durchschnittlich 100 bis 300 Kühen erneuert werden, da eine Kontamination mit Fäkalien und Schmutz die Wirksamkeit der eingesetzten Substanzen reduzieren kann (COOK et al. 2012). Dementsprechend wirkt sich eine Vorreinigung der Unterfüße durch ein vorgeschaltetes Wasserbad positiv auf die Haltbarkeit des Klauenpflegeproduktes im Bad aus (MANNING et al. 2016). Laut ORSEL et al. (2018) kann die stringente Anwendung von Bädern zur Reinigung und Pflege der Klauen unter Beachtung der Vorschriften des Herstellers die Prävalenz aktiver DD-Läsionen vermindern.

Wie bei der Einzeltierbehandlung können auch bei der Anwendung von Klauenbädern verschiedene Wirkstoffe zum Einsatz kommen, welche im Folgenden näher erläutert werden sollen.

Am häufigsten wird weltweit die Anwendung von kupfersulfat- oder formaldehydhaltigen Formulierungen in Klauenbädern beschrieben. Die tatsächliche Wirksamkeit ist jedoch kaum belegt. THOMSEN (2015) arbeitete diese Problematik anhand von Kupfersulfat auf und zeigte, dass viele Studien zwar eine Wirksamkeit dieses Wirkstoffs gegen DD proklamieren, es den Studien allerdings häufig an wissenschaftlich begründeter Evidenz fehlt. WAGNER (2014) fand bei ihrer Metaanalyse zur Therapie der DD ebenfalls nur wenige evidenzbasierte Studien, die mit in die Auswertung einbezogen werden konnten. Die Anwendung von Kupfersulfat führte bei etwas mehr als zwei Dritteln der Studien zu einem positiven Effekt, für Formalin lag die berechnete Gesamteffektivität sogar unter null.

Trotz der durchwachsenen Datenlage wird zum Beispiel für Milchkuhhaltungen im Vereinigten Königreich am häufigsten die Anwendung von Formalin und Kupfersulfat beschrieben (HARTOG et al. 2001). LAVEN und HUNT (2002) verglichen die siebentägige Anwendung von

2%igem Kupfersulfat, 1%iger Peressigsäure oder 2,5%iger Formalinlösung mit einer zweitägigen Anwendung eines erythromycinhaltigen (0,035 g/L) Klauenbades und konnten keinen signifikanten Wirkunterschied feststellen, außer, dass Peressigsäure eine geringere Wirksamkeit aufwies als die übrigen Formulierungen. HOLZHAUER et al. (2008) verglichen die gängige Herdenbehandlung in den Niederlanden (Klauenbad einmal wöchentlich, nach zwei aufeinanderfolgenden Melkzeiten mit 4%iger Formalinlösung) mit einem 14-tägigen Protokoll und der Anwendung eines Mehrkomponenten-Produktes in unterschiedlichen Konzentrationen, wobei keine der Alternativbehandlungen im Vergleich zur Standardbehandlung die Anzahl und die Schwere der Läsionen signifikant herabsetzte. SOLANO et al. (2017) konnten bezüglich der Frequenz von Klauenbädern bei der wöchentlichen Anwendung von fünfprozentigem Kupfersulfat im Anschluss an vier aufeinanderfolgende Melkzeiten eine deutliche Reduzierung aktiver DD-Läsionen nachweisen.

Auch bei der Anwendung nicht-antibiotischer Substanzen in einem Klauenbad ist die Sicherheit für das Tier, den Anwender und die Umwelt zu gewährleisten. Dies trifft weder auf Kupfersulfat noch auf Formaldehyd zu. Letzteres gilt als karzinogen und kann beim Tier erhebliche Schmerzen verursachen, wenn es mit akuten DD-Läsionen in Kontakt gerät. Bei der Anwendung von solchen Klauenbädern sollte demzufolge verstärkt auf eine gute Ventilation geachtet werden, um die maximale Konzentration von Formaldehyd in der Umgebungsluft nicht zu überschreiten und das Gesundheitsrisiko für Mensch und Tier gering zu halten (DOANE und SARENBO 2014). Darüber hinaus sollte auf die Einhaltung der richtigen Dosierung bzw. Konzentration von bis zu 2% Formalin Wert gelegt werden. Bei der Verwendung von Kupfersulfat liegt das Problem in erster Linie in der Entsorgung, da es bei hohen Konzentrationen die Umwelt schädigt. Die Entsorgung als Sondermüll ist daher angezeigt und limitiert gleichzeitig den Einsatz aufgrund des damit verbundenen Kostenfaktors (LAVEN und LOGUE 2006).

Andere Ansatzpunkte stützen sich auf den Einsatz ätherischer Öle wie z.B. Teebaumöl oder organischer Säuren als Alternativen für diese oben genannten umweltschädlichen Substanzen. In Untersuchungen zu diesen Stoffen konnte kein Unterschied zur Wirkung von 5%igem Kupfersulfat festgestellt werden (SMITH et al. 2014).

2.1.6 Therapiekontrolle und -erfolg

Bisher ist nicht vorhersehbar, ob oder wann ein Tier nach erfolgter Behandlung ein Rezidiv erleidet. Einige Studien zeigten, dass etwa jede zweite Kuh innerhalb von sieben bis zwölf Wochen aufgrund eines Rezidivs oder einer neuen Läsion behandelt werden musste, wobei die Behandlungsstrategie in diesen Fällen keine Rolle spielte (READ und WALKER 1998). BERRY et al. (2012) kamen zu einem ähnlichen Ergebnis. Innerhalb von elf Monaten mussten in der genannten Studie 54% aller Läsionen erneut behandelt werden.

2.1.7 Prophylaxe von Dermatitis digitalis

Die Eradikation der DD, wurde sie in einen Betrieb eingetragen, scheint ohne den Tierbestand komplett zu erneuern derzeit nicht möglich zu sein. Verschiedene Ansätze verfolgen das Ziel, eine endemische Stabilität zu erzielen, indem ein Gleichgewicht zwischen Infektion und Erkrankung entsteht, in welchem die Tiere zwar in Kontakt mit dem Erreger stehen, aber eine Immunität entwickeln, durch die die Erkrankung nicht in die akute Phase des M2-Stadiums übergeht. Dazu müssen, wie bereits erwähnt, erkrankte Tiere umgehend behandelt, und die Umwelt und die Haltungsbedingungen insoweit optimiert werden, dass das Erkrankungsrisiko sinkt (WILSON-WELDER et al. 2015). Hierzu gibt es auch digitale Hilfsmittel in Form einer App (TREMBLAY et al. 2016).

Zwecks Verhinderung der Einschleppung von DD in eine gesunde Herde wird eine geschlossene Betriebsführung empfohlen. Kann auf Zukäufe nicht verzichtet werden, sollten nur Rinder aus DD-freien Herden angeschafft werden. Bei der Behandlung von Tieren durch Dienstleister wie den Tierarzt oder Klauenpfleger sollte auf ein striktes Hygienemanagement geachtet werden, um einen möglichen Eintrag von DD-assoziierten Erregern bzw. eine Verschleppung von Keimen zwischen Tieren z.B. über kontaminierte Klauenmesser, zu verhindern (LAVEN 2001, SULLIVAN et al. 2014).

Stellt DD in einer Herde bereits ein Problem dar, liegt der Fokus der Bekämpfungsmaßnahmen auf der Vermeidung akuter Ausbrüche sowie auf der Identifizierung und Beseitigung von Risikofaktoren im Betrieb. Diesbezüglich steht die Betriebshygiene, die vor allem die Reinhaltung von Liegeboxen und Laufflächen beinhaltet, im Vordergrund (s.a. 2.1.2.3. Haltungsform und Hygiene). Eine bedeutende Rolle spielt hierbei das Entmistungssystem, da hierüber die Kontaktzeit des Unterfußes mit der Gülle reguliert werden kann. LAVEN (2001) beschrieben niedrigere DD-Raten in Betrieben, welche mittels Traktor entmistet wurden als in solchen mit automatischer Schieberentmistung. Durch Erhöhung der Schieberfrequenz können die Güllemenge in den Laufgängen und damit die Kontaktfläche bzw. Eindringtiefe der Klauen in die

Fäkalien und das vermeintlich damit in Zusammenhang stehende Auftreten von DD reduziert werden (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1999, COOK 2003, COOK 2004, LAVEN und LOGUE 2006).

Als weitere Möglichkeit zur Prävention wird die Anwendung von Impfstoffen geprüft. Obwohl Kühe mit DD eine Antikörperproduktion aufweisen, erwies sich diese nicht als protektiv (GOMEZ et al. 2014, PALMER und O'CONNELL 2015).

Ein konkreter Ansatz einer Immunisierung war der Versuch, ein „Serpens species Bacterin“ gegen DD einzusetzen, da diese Spezies in den Läsionen vorgefunden wurden. Eine Gruppe von Tieren wurde hierfür dreimal im Abstand von vier Wochen mit einer entsprechenden Vakzine geimpft, wobei sich anschließend keine sichtliche Besserung der Symptomatik einstellte, trotz vermehrter Antikörperbildung (FIDLER et al. 2012). Auch andere Autoren konnten bestandsspezifischen Impfstoffen, die u.a. *Treponema*-Antigen enthielten, weder einen therapeutischen noch einen prophylaktischen Effekt zusprechen (SCHÜTZ 2001).

2.2 Validierung von diagnostischen Testmethoden

Diagnostische Tests werden in der Veterinärmedizin angewandt, um zu überprüfen ob ein Tier eine Erkrankung aufweist oder nicht oder um die Verbreitung einer Erkrankung in einer definierten Population zu ermitteln. Dazu ist es unvermeidbar die Aussagekraft und die Verlässlichkeit von Testmethoden zu bestimmen und zu bewerten. Die kann durch die Berechnung von Sensitivität, Spezifität und prädiktiver Werte erfolgen. Im Folgenden sollen die wichtigsten Parameter zur Validierung diagnostischer Testmethoden erläutert werden. Die Angaben stützen sich auf die Lehrbücher von PETRI und WATSON (2013) und GWET (2012).

2.2.1 Sensitivität und Spezifität

Durch Vergleich mit einem als Goldstandard festgelegten Verfahren, lassen sich die Sensitivität und die Spezifität eines diagnostischen Tests berechnen.

Die Sensitivität beschreibt hierbei die Effektivität eines diagnostischen Tests erkrankte Tiere korrekt als solche zu erkennen.

$$\text{Sensitivität} = \frac{\text{korrekt als krank erkannte Tiere}}{\text{alle kranken Tiere}}$$

Die Spezifität gibt Auskunft über den Anteil korrekt als gesund diagnostizierter Tiere.

$$\text{Spezifität} = \frac{\text{richtig als gesund erkannte Tiere}}{\text{alle gesunden Tiere}}$$

Sensitivität und Spezifität sind voneinander abhängig. Steigt der eine Wert, sinkt in der Regel der andere. Wenn das Ziel der Anwendung eines Testverfahrens ist, möglichst viele erkrankte Tiere zu erkennen, um sie anschließend behandeln zu können, sollte man eine Methode mit möglichst hoher Sensitivität bevorzugen. Geht es hingegen darum gesunde Tiere aus einer Population zu selektieren, ist eine hohe Spezifität ausschlaggebend.

2.2.2 Positiver und negativer prädiktiver Wert

Mittels Sensitivität und Spezifität kann folglich entschieden werden, ob der diagnostische Test für die gewünschte Untersuchung geeignet ist. Es kann auf diese Weise jedoch keine Aussage darüber getroffen werden, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Tier die zu ermittelnde Erkrankung auch aufweist, wenn der Test positiv ist oder, dass es bei negativem Testergebnis

gesund ist. Diese Aussage steht in einem Abhängigkeitsverhältnis zur Prävalenz der Erkrankung, mittels welcher prädiktive Werte berechnet werden können, anhand derer eben jene Aussagen über die Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Erkrankung oder Nichterkrankung getroffen werden können. Je höher die Prävalenz einer Erkrankung in einer Population, desto höher ist folglich auch die Wahrscheinlichkeit daran zu erkranken und umso höher ist auch die Treffsicherheit eines diagnostischen Tests.

Der positive prädiktive Wert (PPV) beschreibt den Anteil positiv auf eine Erkrankung getesteter Tiere, die auch tatsächlich erkrankt sind.

$$PPV = \frac{\text{Sensitivität} \times \text{Prävalenz}}{(\text{Sensitivität} \times \text{Prävalenz}) + (1 - \text{Spezifität}) \times (1 - \text{Prävalenz})}$$

Der negative prädiktive Wert (NPV) entspricht den Tieren, die mittels diagnostischem Test als gesund erkannt wurden und es auch wirklich sind.

$$NPV = \frac{\text{Spezifität} \times (1 - \text{Prävalenz})}{((\text{Spezifität} \times (1 - \text{Prävalenz})) + (1 - \text{Sensitivität}) \times \text{Prävalenz})}$$

Mit steigender Prävalenz einer Erkrankung steigt der PPV, während der NPV sinkt.

2.2.3 Bestimmung der Verlässlichkeit und Wiederholbarkeit

Um die Aussagekraft eines diagnostischen Tests beurteilen zu können, ist es erforderlich seine Verlässlichkeit bzw. seine Wiederholbarkeit zu überprüfen. Dazu sollten die Ergebnisse mit jenen vergleichbarer Tests anderer Untersucher oder mit Ergebnissen aus Wiederholungsuntersuchungen verglichen werden.

Die Wiederholbarkeit gibt Auskunft darüber, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass ein Untersucher bei erneuter Testdurchführung innerhalb eines kurzen Zeitraums und unter identischen Voraussetzungen die gleichen Ergebnisse erzielen kann. Dies wird auch als Intraobserver-Übereinstimmung definiert.

Die Reproduzierbarkeit gibt an, ob ein anderer Untersucher unter gleichen Untersuchungsbedingungen, mit der identischen Methode, vergleichbare Ergebnisse erzielen kann. Die Reproduzierbarkeit kann anhand der Interobserver-Übereinstimmung beurteilt werden.

Intra- und Interobserver-Übereinstimmung können durch Automatisierung, standardisiertes Training und Wiederholung optimiert werden. Sind beide Parameter unzureichend, kann der Test als inadäquat betrachtet werden (HOLMES und COCKCROFT 2008).

2.2.3.1 Beurteilungsskalen

Die Beurteilungskriterien die zur Übereinstimmungsmessung herangezogen werden sind in der Regel vorbestimmte Kategorien (kategorische Variablen), die die Ausprägung eines zu bewertenden Merkmals näher beschreiben. Die Beurteilungsskala kann durch einen „Score“ repräsentiert werden, bei dem die verschiedenen Merkmalsausprägungen der zu beurteilenden Materie stark vereinfacht, z.B. durch Zahlen, dargestellt werden. Jede Zahl steht hierbei für eine klar definierte Kategorie, nach der das Untersuchungsobjekt beurteilt werden soll. Ein „Score“ kann einen nominalen oder einen ordinalen Charakter aufweisen (HOLMES und COCKCROFT 2008).

Bei einer nominalen Beurteilungsskala können die verfügbaren Kategorien weder in eine gestaffelte Reihenfolge gebracht werden noch stehen Sie in einem Abhängigkeitsverhältnis zueinander. Die Bezeichnung der Kategorien ist rein nomineller Natur.

Bei einer ordinalen Bewertungsskala können die einzelnen Kategorien gegeneinander gewichtet und zueinander in Bezug gesetzt werden. Es gibt Kriterien, die schwerer wiegen, denen bei einem Vergleich auch mehr Bedeutung beigemessen werden muss (GWET 2012).

2.2.3.2 Einfache prozentuale Übereinstimmung

Die einfachste Form den Grad an Übereinstimmung zwischen zwei Untersuchungen zu ermitteln, ist die Berechnung der einfachen prozentualen Übereinstimmung.

$$PA_0 = \frac{\text{Anzahl exakter Übereinstimmungen}}{\text{Anzahl Beobachtungen}} \times 100$$

Unterscheiden sich die mittleren Übereinstimmungen nicht signifikant von „Null“, entspricht dies einer durchschnittlichen Übereinstimmung. Bei dieser Form der Berechnung fallen allerdings auch zufällige Übereinstimmungen mit ins Gewicht (HOLMES und COCKCROFT 2008).

2.2.3.3 Cohen's Kappa

Cohen's Kappa, oder auch κ , ist der geläufigste Parameter zur Ermittlung von Übereinstimmungen. Hierbei wird die tatsächliche Übereinstimmung um die zufällige Übereinstimmung korrigiert. κ ist wie folgt definiert:

$$\kappa = \frac{pa - pe}{1 - pe}$$

pa beschreibt hierbei die gemessene prozentuale Übereinstimmung, während pe für die erwartete zufällige prozentuale Übereinstimmung steht.

Zur Berechnung werden die Ergebnisse von zwei BeobachterInnen oder von zwei Erhebungen eines Beobachters/einer Beobachterin in den Zeilen und Spalten einer Tafel einander gegenübergestellt. Die zentrale Diagonale zeigt die Häufigkeit der maximalen Übereinstimmung an, die Diagonalen daneben entsprechen den jeweiligen Abweichungen (PETRI und WATSON 2013).

Es gibt kein einheitliches Beurteilungsschema für κ . Der maximale Wert liegt bei „1“ und steht für eine vollkommene Übereinstimmung. Ein Wert von „0“ entspricht einer rein zufälligen Übereinstimmung, während negative Werte signalisieren, dass die Übereinstimmung noch geringer ist als eine rein zufällige Übereinstimmung.

Um κ noch weiter zu kategorisieren und zu interpretieren gibt es unterschiedliche Bewertungsansätze. Das bekannteste und am häufigsten angewandte Schema ist jenes von LANDIS und KOCH (1977) (Tab. 1).

Tab. 1: Statistische Kategorien des κ -Koeffizienten nach LANDIS und KOCH (1977)

Kappa (κ)	Interpretation
< 0.00	schlechte Übereinstimmung
0.00 – 0.20	geringgradige Übereinstimmung
0.21 – 0.40	ausreichende Übereinstimmung
0.41 – 0.60	mittelmäßige Übereinstimmung
0.61 – 0.80	beachtliche Übereinstimmung
0.81 – 1.00	beinahe vollständige Übereinstimmung

κ wird darüber hinaus durch die Anzahl an zu überprüfenden Kategorien beeinflusst, sodass die Werte steigen je weniger Kategorien zur Verfügung stehen.

Bei ordinalen Bewertungskategorien, die unterschiedlich stark gewichtet und ausgeprägt sind, muss ein „gewichteter κ -Koeffizient“ berechnet werden, da eine Abweichung je nach Kategorie schwerer wiegen kann als eine andere (PETRI und WATSON 2013).

2.3 Ziel der Untersuchungen

Der hohe Anteil lahmer Kühe, die hohe Prävalenz von Klauenkrankheiten weltweit und die große Bedeutung, die der DD und deren Sekundärerkrankungen in diesem Zusammenhang zukommt, erfordern gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Klauengesundheit in Milchkuhhaltungen. Diese umfassen kurzfristige (Erkennung lahmer Kühe, Verbesserungen im Hygienemanagement und der Klauenpflege und –behandlung), mittelfristige (Schwachstellenanalyse der Haltungsumwelt und Beseitigung von Mängeln) und langfristige (Entwicklung von Ställen, die den Anforderungen der Tiere mehr entgegenkommen, Schaffung von Laufhöfen, Gewährung von Weidegang) Maßnahmen. Zu den kurzfristigen Maßnahmen, die dazu dienen sollen, die DD in einem „kontrollierbaren Status“ zu halten, gehören die regelmäßige Bonitierung und Dokumentation der M-Stadien mit unmittelbarer Behandlung von Kühen im DD-M2-Stadium und die Umsetzung eines Hygienekonzeptes, welches die regelmäßige (zweimalig pro Woche zu je zwei Melkzeiten) und vorschriftsmäßige Anwendung eines Klauenbades beinhaltet.

Die Einbindung des betreuenden Personals in den Milchkuhhaltungen in die genannten Maßnahmen zur Verbesserung der Klauengesundheit ist unabdingbar. Deshalb wird eine einfache, am Melkstand durchführbare, ausreichend zuverlässige Methode der Bonitierung benötigt, die auch durch betreuendes Personal umgesetzt werden kann und nach Möglichkeit nicht den Betriebsablauf stört.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung und Validierung eines solchen Verfahrens für das Außenmelkerkarussell, das vor allem in Großbetrieben Verwendung findet sowie die Verfolgung der Prävalenz der M-Stadien der DD in einem Großbetrieb, ohne jeglichen Eingriff in das Klauengesundheitsmanagement des Betriebs.

3 Material und Methoden

3.1 Studiendesign und Datenerhebung

Die vorliegenden Untersuchungen stützen sich auf drei Teilkomplexe deren Abläufe im Folgenden geschildert werden sollen:

1. Die **Bestimmung der Objektivierbarkeit der Methode**. BeobachterInnen mit unterschiedlicher Erfahrung in der Erkennung von DD-Stadien am Melkstand führten eine Bonitur der Unterfüße auf Grundlage der Systematik der M-Stadien nach DÖPFER et al. (1997) modifiziert nach BERRY et al. (2012) durch. Die Ergebnisse wurden auf die Übereinstimmung der Beobachter untereinander und bezüglich der Wiederholbarkeit geprüft.
2. Die **Validierung einer einfach und schnell an einem Außenmelkerkarussell auszuführenden Bonitierungsmethode für die DD auf Grundlage der M-Stadien Systematik** (DÖPFER et al. 1997, THOMSEN et al. 2008, RELUN et al. 2011), die nicht mit dem Betriebsablauf einer Milchkuhhaltung interferiert. Zu diesem Zweck wurden die Hintergliedmaßen von Milchkühen in einem Außenmelkerkarussell ohne vorherige Reinigung der Klauen durch unterschiedlich erfahrene BeobachterInnen visuell begutachtet und bonitiert. Im Anschluss daran wurden eine Stichprobe der Rinder entsprechend der Goldstandardmethode in den Klauenstand verbracht und deren Klauen dort nach Reinigung der Unterfüße erneut bewertet.
3. Die **Dokumentation der Prävalenz verschiedener DD-Stadien** an den Hintergliedmaßen von Kühen in einer Milchkuhhaltung in Brandenburg (Deutschland) mittels regelmäßig (in monatlichen Abständen) erfolgender visueller Beobachtung der Unterfüße aller laktierenden Kühe im Außenmelkerkarussell über einen Zeitraum von 24 Monaten ohne jeglichen Eingriff in das Klauengesundheitsmanagement des Betriebs.

3.2 Studienbetrieb

Alle Untersuchungen wurden in einer Milchkuhhaltung im Bundesland Brandenburg (Deutschland) durchgeführt. Zu Beginn der Studie im Januar 2015 wurden in der Milchkuhhaltung 800 Kühe der Rasse Holstein-Schwarzbunt und Holstein-Rotbunt gehalten, von denen etwa 600 Tiere täglich gemolken wurden, während sich die restlichen Tiere in der Trockenstehperiode befanden. Im Juni 2015 wurde der Bestand durch Zukäufe um etwa 200 Tiere auf 1000 Milchkühe erweitert. Die Tagesmilchleistung lag im Untersuchungszeitraum 2015/2016 bei 30,7 Mkg, bei durchschnittlichen Fett- und Eiweißgehalten von 3,95% bzw. 3,42%. Die Zellzahl lag im Mittel bei ca. 182 000.

Neben der Milchkuhhaltung wurden die eigenen Färsenkälber zwecks Remontierung der Milchkuhhaltung aufgezogen, während die männlichen Kälber im Alter von >14 Tagen verkauft wurden. Die Futtergewinnung geschah im angeschlossenen Ackerbaubetrieb, der insgesamt 2900 ha Acker- und 1200 ha Grünland bewirtschaftete.

Die zu melkenden Tiere wurden in einem 2013/2014 neu erbauten Boxenlaufstall gehalten und in Abhängigkeit von der Laktationsnummer bzw. dem Laktationsstadium vier Leistungsgruppen mit separater Futtervorlage zugeordnet (s. Tab. 2). Die Gruppengröße betrug etwa 200 Kühe. Frischmelker bis ca. 10 Tage post partum und kranke Kühe wurden in separaten Gruppen aufgestellt.

Tab. 2: Zuordnung der laktierenden Kühe zu den verschiedenen Leistungsgruppen nach Laktationszahl, DIM und Leistungsniveau

Leistungsgruppe	Bezeichnung	Zeitpunkt der Umstellung der Tiere in die jeweilige Leistungsgruppe nach DIM
1	Hochleistung Jungkühe (1. Laktation)	ab 8 DIM
2	Hochleistung Mehrkalbskühe	ab 9 DIM
3	Niederleistung Mehrkalbskühe	ab 122 DIM
4	Altmelker	ab 213 DIM

Die Fütterung erfolgte in Form einer totalen Mischration (TMR) auf Basis von Anwelk-, Luzerne- und Maissilage, die vom Energiegehalt in ihrer Zusammensetzung an die Milchleistung der einzelnen Leistungsgruppe angepasst wurde.

Der Boxenlaufstall ist mit Liegeboxen in Form von Hochboxen ausgestattet, die mit Gummimatten (WingFlex, Kraiburg, 84478 Waldkraiburg, 84529 Tittmonning, Deutschland) ausgestattet waren und zusätzlich mit geringen Mengen eines Stroh-Kalk-Gemischs eingestreut wurden. Alle Laufgänge waren als Vollgummiböden (Kraiburg, 84478 Waldkraiburg, 84529 Tittmonning, Deutschland) konzipiert und wurden durch einen automatischen Mistschieber gereinigt. Die trockenstehenden Kühe wurden in einem zweiten Laufstall auf gummierten Spaltenböden gehalten. Die Liegeboxen entsprachen jenen aus dem Stall der laktierenden Gruppen. In diesem Stall befanden sich außerdem mehrere Tiefstreuabteile. Diese wurden für die tragenden Rinder kurz vor der Kalbung sowie für lahme und anderweitig erkrankte Kühe genutzt. Die Tiefstreuboxen sind zudem näher am Melkstand gelegen, sodass dort untergebrachte, schwer lahme Tiere, nicht den weiten Weg aus dem Boxenlaufstall auf sich nehmen mussten. Rinder, die Anzeichen der nahenden Geburt zeigten, wurden in separate Abkalbebuchten mit Tiefstreu verbracht. Dort erhielten sie eine mit Chloridsalz angereicherte Anionenration zur Hypokalzämie-Prophylaxe.

Das Melken fand zweimal täglich, jeweils von 7:00 Uhr bis 11:30 Uhr und von 19:00 Uhr bis 23:30 Uhr, in einem Außenmelkerkarussell (Xcalibur 360EX, BouMatic, Madison, WI, USA) mit 50 Melkplätzen statt. Die vier Gruppen wurden in einer festen Reihenfolge gemolken. Kühe, die den Melkstand betraten, wurden über eine automatisierte Tiererkennung erfasst und ihre tägliche Milchmenge gespeichert. Kühe aus dem Krankenstall wurden zuletzt gemolken. Deren Milch wurde in einen separaten Tank gemolken und entsorgt.

Die durchschnittliche Jahresmilchleistung der Herde lag 2015/2016 bei 9826 Mkg pro Tier. Die durchschnittliche Milchleistung im Land Brandenburg betrug 9425 kg pro Kuh im Jahr 2015 (ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER RINDERZÜCHTER E.V. 2016) und 9471 kg pro Kuh im Jahr 2016 (ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER RINDERZÜCHTER E.V. 2017).

3.2.1 Klauengesundheitsmanagement

Der Studienbetrieb verfügte über einen angestellten Klauenpfleger, der kontinuierlich einen funktionellen Klauenschnitt bei den Tieren durchführte und lahme Kühe behandelte. Kühe mit einer schwerwiegenden Lahmheit bzw. Klauenerkrankung wurden zudem bei wöchentlichen Besuchen durch Tierärzte und Tierärztinnen der Klinik für Klauentiere zur Behandlung vor Ort vorgestellt oder in die Klinik überwiesen. Zweimal im Jahr erfolgte ein Herdenschnitt durch professionelle (d.h. an einer der Ausbildungsstätten in Deutschland ausgebildete und geprüfte) Klauenpfleger eines überbetrieblich tätigen Unternehmens für die Klauenpflege. Alle Befunde

und Behandlungen an den Klauen wurden mittels „KLAUE“ (dsp agrosoft GmbH, 14669 Ketzin/Havel, Deutschland), einer Software zur Erfassung und Auswertung der Klauengesundheit, dokumentiert und somit direkt in das Herdenmanagementprogramm importiert.

Die Behandlung der DD am Einzeltier bestand aus einer trockenen Reinigung der Läsion unter Verwendung eines Papierhandtuchs, gefolgt von einer lokalen Anwendung eines tetrazyklinhaltigen Sprays (Cyclo Spray 2,45%, Albrecht GmbH, Aulendorf, Deutschland) und je nach Ermessen des Klauenpflegers mit oder ohne Anlegen eines einfachen Schutzverbandes. Der Verband bestand aus einer Gaze-Wundauflage (NOBAMED Paul Danz AG, Wetter/Ruhr, Deutschland), einer Polsterschicht aus synthetischer Polsterbinde und einer selbsthaftenden Bandage und wurde nach dem Prinzip eines Zwischenklauenverbandes angebracht. Der Verband wurde innerhalb einer Woche abgenommen und die Behandlung bei nicht vollständiger Abheilung wiederholt.

Während des gesamten Versuchszeitraums wurden aufgrund technischer Probleme mit dem automatisierten Klauenbad keine weiteren Maßnahmen zur Förderung der Klauengesundheit, wie beispielsweise Klauenbäder, ergriffen.

3.3 Tierversuchsrechtliche Bestimmungen

Das Studiendesign wurde unter Einbeziehung der Tierschutzbeauftragten des Fachbereichs Veterinärmedizin entworfen. Da die Tierbeobachtung (visuelle Begutachtung der Unterfüße der Hintergliedmaßen im Melkstand) ohne irgendeine Manipulation der Tiere stattfand, musste laut Tierschutzbeauftragter keine Antragsstellung auf Genehmigung eines Tierversuchsvorhabens nach § 8 Abs. 1 des Tierschutzgesetzes für die Datenerhebung erfolgen. Es wurde nicht in den üblichen Tagesablauf der Kühe und der Mitarbeiter auf dem Betrieb eingegriffen. Die Bonitierung im Klauenstand erfolgte im Rahmen eines regulär stattfindenden Klauenschnittes, ausgeführt durch den betriebsangestellten Klauenpfleger und beinhaltete beim Auffinden von behandlungswürdigen Läsionen auch eine umgehende kurative Versorgung selbiger.

Die Studienpopulation umfasste keine Rinder mit schwerwiegender Lahmheit, da solche Tiere durch die Mitarbeiter des Betriebs unmittelbar herausselektiert wurden, um sie den MitarbeiterInnen der Klinik für Klautiere zwecks Behandlung vorzustellen oder in die Klinik zu überweisen.

3.4 Studienteil 1: Bestimmung der Objektivierbarkeit der Scoring-Methode

3.4.1 BeobachterInnen

Zwecks Evaluierung der Objektivierbarkeit der DD-Scoring-Methode am Außenmelkerkarussell sollten Intra- und Interobserver-Vergleiche durchgeführt werden. Dazu wurden fünf BeobachterInnen mit unterschiedlichem Erfahrungsstand bezüglich der Erkennung von DD-Stadien im Melkstand ausgewählt (s. Tab. 3). Es handelte sich dabei um die Verfasserin, zwei weitere TierärztInnen der Klinik für Klautiere der Freien Universität Berlin sowie zwei Studierende der Veterinärmedizin im fünften Studienjahr bzw. im zehnten Fachsemester. Der Erfahrungsgrad der BeobachterInnen stützte sich darauf wie häufig und auf welche Weise sie mit der Bonitierung von DD-Stadien in Kontakt kamen bzw. diese sogar selbst durchführten. Die KlinikmitarbeiterInnen haben aufgrund ihrer Arbeit und durch das Mitwirken an anderen klinischen Studien zum Thema Klauengesundheit im Vergleich zu den beiden Studierenden ein höheres Maß an Erfahrung.

Tab. 3: Erfahrungsgrade der fünf BeobachterInnen zum Zeitpunkt der Datenerhebung in Abhängigkeit von Berufserfahrung und dem Erwerb von Spezialwissen durch Schulungen und Fortbildungen

BeobachterIn	1	2	3	4	5
Erfahrungsgrad	sehr erfahren	erfahren	sehr erfahren	wenig erfahren	wenig erfahren
Jahr der Approbation als Tierarzt/-ärztin	2014	2015	2014	2017*	2017*
Anzahl Jahre der Tätigkeit in Rinderpraxis	2	1**	2	0	0
Fachtierarztausbildung (Anzahl geforderter Fortbildungsstunden)	Ja (40 Stunden)	Nein (20 Stunden)	Ja (40 Stunden)	-	-
Behandlung lahmmer Kühe/Jahr	ca. 200 in Klinik und in Betrieben	-	ca. 300 in Klinik und in Betrieben	-	-
Regelmäßige Bonitur M-Stadien	Ja, monatlich bei ca. 600 Tieren	Ja, zweimal wöchentlich bei ca. 25 Tieren	Ja, wöchentlich bei Klauenbehandlungen im Betrieb bei ca. 15 Tieren	-	-

*voraussichtlicher Abschluss, Studierende der Veterinärmedizin im 10. Fachsemester zum Zeitpunkt der Datenerhebung

**überwiegend wissenschaftliche Tätigkeit

Darüber hinaus verfügten sie durch die Arbeit im Klinikbetrieb und in der ambulanten Praxis über mehrjährige Erfahrung in der Diagnostik und Behandlung lahmer Kühe, welche sie regelmäßig durch betriebsinterne Schulungen sowie den Besuch von Fortbildungsveranstaltungen weiter ausbauten und vertieften (s. Tab. 3).

Alle BeobachterInnen erhielten vor Versuchsbeginn eine Einführung in den Hintergrund und den geplanten Ablauf der Untersuchungen und wurden in die Bonitierung von DD-Stadien nach dem M-Schema von DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) sowie in die anzuwendende, weiter modifizierte und vereinfachte Variante des M-Schemas eingewiesen (s. 3.4.3.1). Hierzu wurden den BeobachterInnen einmalig ca. 20 digitale Fotografien von unterschiedlichen Stadien der DD präsentiert, die im Rahmen der Arbeit von KLAWITTER et al. (2017) im Klauenstand angefertigt worden waren, aber auch Fotomaterial, das von der Verfasserin dieser Arbeit im Melkstand des zuvor genannten Betriebs mit Einverständnis des Betriebsleiters erstellt wurde.

3.4.2 Tiere

Die Datenerhebung wurde an insgesamt 416 laktierenden Kühen der Leistungsgruppen 1 und 2 (s. Tab. 2) jeweils während zwei aufeinanderfolgender Melkzeiten durchgeführt. Es handelte sich hierbei um Kühe der Rassen Holstein-Schwarzbunt und Holstein-Rotbunt im Alter von zwei bis etwa sieben Jahren, die sich zum Untersuchungszeitpunkt alle in der Früh- und Hochlaktation befanden. Die Auswahl dieser beiden Gruppen erfolgte aus logistischen Gründen, da Tiere dieser Gruppen laut Melkreihenfolge zuerst gemolken wurden. Darüber hinaus erlaubte das Vorgehen, dass Kühe, die auch für die Bestimmung der Präzision der Methode genutzt werden sollten, anlässlich des routinemäßig erfolgenden funktionellen Klauenschnitts durch den betriebsangestellten Klauenpfleger innerhalb der folgenden zwei Tage im Klauenstand durch alle BeobachterInnen erneut bonitiert werden konnten. Diese Ergebnisse sollten dann zur Validierung der Methode genutzt werden (s. 3.5).

3.4.3 Untersuchungsmethode

3.4.3.1 Das vereinfachte M-Schema

Die Bonitierung der DD-Läsionen für die ersten beiden Studienteile erfolgte auf Grundlage der M-Stadien-Systematik nach DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) (s. Tab. 4 und ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020a).

Es fanden im Verlauf weitere Modifizierungen statt, welche sich auf die Studie von RELUN et al. (2011) stützten, die von Schwierigkeiten bei der Unterscheidung von chronischen Läsionen (M4) und dem Heilungsstadium (M3) berichteten und als Konsequenz diese beiden Stadien zusammenfassten. THOMSEN et al. (2008) werteten ihre Daten differenziert nach M-Stadien und nach der Erkennung von DD im Allgemeinen, also unabhängig vom genauen M-Stadium, aus.

Diese Erkenntnisse wurden bei der Modifikation des Bewertungsschemas für den Melkstand berücksichtigt und fanden z.T. auch bei der Bewertung im Klauenstand Anwendung (s. Tab. 4).

Eine vorherige Reinigung der Unterfüße im Melkstand wurde nicht durchgeführt, da der routinemäßige Prozess keine solche Reinigung vorsah.

Es wurden lediglich die plantaren Bereiche der Unterfüße der Hintergliedmaßen untersucht, da dort typischerweise DD am häufigsten auftritt (PLUMMER und KRULL 2017). READ und WALKER (1998) fanden bei 82% der untersuchten Kühe DD-Läsionen ausschließlich an den Hintergliedmaßen. Lediglich 13% der Tiere zeigten nur Läsionen an den Vordergliedmaßen. Darüber hinaus war eine gründliche Untersuchung der Vordergliedmaßen aufgrund ihrer Entfernung zum Beobachter nicht zuverlässig durchführbar.

Tab. 4: Bewertungsschemata für DD basierend auf dem M-Schema nach DÖPFER et al. (1997) modifiziert nach BERRY (2012) sowie weitere individuelle Modifikationen zur Bonitierung von DD-Läsionen im Melk- und Klauenstand basierend auf den Erkenntnissen von RELUN et al. (2011)

M-Schema nach DÖPFER, modifiziert nach BERRY	Bewertungsschema modifiziert und korrigiert für Klauenstand (Goldstandard)	Bewertungsschema modifiziert für Melkstand
M0	M0	M0
M1	M1	Ma
M2	M2	
M3	M3	Mc
M4	M4	
M4.1		

Legende:

M0: gesunde Haut

M1: erosive Hautveränderung < 2cm

M2: dolente, erosiv-ulzerative Hautveränderung > 2cm

M3: Heilungsstadium, bräunliche Krusten

M4: chronische, non-dolente, proliferative oder hyperkeratotische Hautveränderungen

M4.1: chronische Hautveränderungen wie bei M4 mit kleinen erosiven Arealen wie bei M1

Ma: aktive DD-Läsion, erosiv-ulzerativ, größenunabhängig

Mc: chronische DD-Läsion, krustös, proliferativ, hyperkeratotisch, kleinere Erosionen irrelevant

Im modifizierten Schema, das am Außenmelkerkarussell Anwendung fand, wurden alle DD-assoziierten Hautveränderungen drei Merkmalskategorien zugeordnet. Erosionen oder Ulzerationen an den Unterfüßen wurden unabhängig vom Durchmesser, als Ma (=aktive DD) kategorisiert. Das M0-Stadium blieb unverändert zu DÖPFER et al. (1997) und wird auch im Folgenden als solches bezeichnet. Alle proliferativen oder hyperkeratotischen Erscheinungen wurden zum chronischen Stadium (Mc) zusammengefasst. Darunter fielen dann evtl. auch M4.1-Stadien, bei welchen die kleinen erosiven Stellen nicht erkannt werden konnten sowie mögliche M3-Stadien. Abb. 1 zeigt beispielhaft welche Art von Läsionen den jeweiligen vereinfachten M-Stadien zugeordnet werden können.

Intao



Abb. 1: Vereinfachtes Schema zur Bonitur von Unterfüßen im Außenmelkerkarussell zwecks Zuordnung eines M-Stadiums der DD. Beispielhafte digitale Fotografien von Unterfüßen der Hintergliedmaßen von Milchkühen: M0 (a): keine sichtbaren Hautdefekte; Ma (b): ulzerative Hautveränderungen, unabhängig von der Größe; Mc (c): chronische, hyperkeratotische oder proliferative Hautveränderungen

3.4.3.2 Ablauf der Untersuchung

Zur Ermittlung der Intra- und Interobserver-Übereinstimmung erfolgte eine Bonitur aller Unterfüße der Hintergliedmaßen von Kühen der Studienpopulation am Außenmelkerkarussell während zwei aufeinanderfolgender Melkzeiten durch fünf BeobachterInnen.

Die Erhebungen erfolgten wie von THOMSEN et al. (2008) beschrieben nach der in Tab. 4 aufgeführten Systematik und dem in Tab. 5 festgehaltenen Zeitplan. Im Einzelnen positionierten sich die BeobachterInnen an verschiedenen Bereichen des Außenmelkerkarussells derart, dass sie den plantaren Bereich der Unterfüße der Hintergliedmaßen beobachten, sich aber nicht untereinander austauschen konnten (s. Abb. 2).



Abb. 2: Bonitierung der M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell. Positionierung der BeobachterInnen für die Inspektion der Unterfüße unter Anwendung einer Taschenlampe als Hilfsmittel.

Als Hilfsmittel wurde eine LED-Taschenlampe (Ansmann X2 LED, Ansmann AG, Assamstadt, Deutschland) verwendet, um den zu begutachtenden Bereich des Unterfußes auszuleuchten.

Die Reihenfolge, in der die Kühe das Außenmelkerkarussell betraten war bei den verschiedenen Melkdurchgängen zufällig. Da die Kühe des Betriebs an den Vordergliedmaßen Pedometer des Herstellers des Melkstandes tragen, erfolgte beim Betreten des Melkstandes die Tieridentifikation und -erfassung sowie Zuordnung zu einem der 50 Melkplätze automatisiert anhand der letzten fünf Ziffern der individuellen Ohrmarke. Zusätzlich zur genannten Information wurden die aktuelle und die zu erwartende Milchmenge von einem Computer gespeichert und konnten an einem Monitor im Melkstand direkt eingesehen werden.

Nach visueller Begutachtung der Unterfüße der Hintergliedmaßen wurde von jedem Beobachter/jeder BeobachterIn die Merkmalskategorie der jeweils linken und rechten Hintergliedmaße nach dem modifizierten Schlüssel (Tab. 4) unter Zuordnung des jeweiligen Melkplatzes auf einem seitenweise fortlaufend nummerierten Befundbogen (Tab. 27) notiert. Durch jene fortlaufende Nummerierung der Befundbögen erfolgte später eine Zuordnung der Ohrmarkennummer des jeweiligen Tieres zur entsprechenden Melkplatznummer.

Eine weitere Helferin fotografierte sämtliche bonitierten Unterfüße der Hintergliedmaßen des betreffenden Melkdurchgangs mit einer digitalen Kamera (Panasonic DMC-G3, Panasonic

Corporation, Kadoma Osaka, Japan) und verifizierte die Ohrmarken der Tiere am Computer im Melkstand.

Der Zeitplan für Studienteil 1 und 2 ist in Tab. 5 dargestellt.

Tab. 5: Ablaufplan zur Validierung der modifizierten Scoring-Methode für M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell im Vergleich zum klassischen M-Scoring im Klauenstand (Studienteile 1 und 2).

Untersuchungstag	Datum und Uhrzeit	Aufgabenstellung
1	25.05.2015 19:00 – 21:00 Uhr	Scoring aller laktierenden Kühe der Leistungsgruppen 1 und 2 beim abendlichen Melken im Außenmelkerkarussell durch alle fünf BeobachterInnen
2	26.05.2015 7:00 – 09:00 Uhr Im Anschluss	Erneutes Scoring aller laktierenden Kühe der Leistungsgruppe 1 beim morgendlichen Melken im Außenmelkerkarussell durch alle fünf BeobachterInnen Befundung einer Stichprobe von 50 Tieren aus Leistungsgruppe 1 im Klauenstand hinsichtlich DD- Stadium
3	27.05.2015 7:00 – 9:00 Uhr Im Anschluss	Erneutes Scoring aller laktierenden Kühe der Leistungsgruppe 2 beim morgendlichen Melken im Außenmelkerkarussell durch alle fünf BeobachterInnen Befundung einer Stichprobe von 50 Tieren aus Leistungsgruppe 2 im Klauenstand hinsichtlich DD- Stadium

3.5 Studienteil 2: Überprüfung der Treffsicherheit der Scoring-Methode

3.5.1 BeobachterInnen

Da der zweite Studienteil auf den ersten aufbaut, und die dort erhobenen Daten mitverwendet wurden, wurde er vom selben Untersuchungsteam durchgeführt wie der erste Abschnitt (s.a. 3.4.1).

3.5.2 Tiere

Von den 416 Kühen der Leistungsgruppen 1 und 2 wurden nach der zweiten Bonitur im Melkstand durch den Herdenmanager je 50 Tiere aus Leistungsgruppe 1 und am Folgetag 50 Tiere aus Leistungsgruppe 2 nach dem Zufallsprinzip selektiert und für die routinemäßige Klauenpflege in den Klauenstand verbracht, wo die Unterfüße durch die unter 3.4.1 genannten BeobachterInnen erneut in Augenschein genommen und bonitiert werden konnten.

Die 100 Kühe gehörten den Rassen Holstein-Schwarzbunt und Holstein-Rotbunt an. Die Tiere befanden sich in der Früh- oder Hochlaktation. Der Gruppe 1 waren Erstlaktierende zugeordnet und in Gruppe 2 waren Mehrkalbskühe aller Laktationszahlen > 1 untergebracht (s. Tab. 2).

3.5.3 Angewandte Untersuchungsmethoden

3.5.3.1 Bonitierung der Unterfüße im Außenmelkerkarussell mittels Merkmalskategorien des modifiziertem M-Schemas

Die Zuordnung der M-Stadien am Außenmelkerkarussell geschah wie unter 3.4.3.2 beschrieben.

3.5.3.2 Goldstandard: Bonitierung der Unterfüße im Klauenstand

Die Untersuchung der Unterfüße im Klauenstand gilt als Goldstandard der DD-Diagnostik und wurde daher als Referenzmethode herangezogen (s.a. 2.1.4.1).

Der an den Untersuchungen unbeteiligte Herdenmanager wählte über das Tiererkennungssystem je 50 Kühe pro Gruppe aus, die nach dem Melkvorgang über ein Selektionstor der routinemäßigen funktionellen Klauenpflege mit Bonitur der M-Stadien im Klauenstand (DEFI, 17348 Woldegk, Deutschland) zugeführt wurden. Die BeobachterInnen hatten während der Bonitierung im Außenmelkerkarussell keinerlei Kenntnis davon, welche Kühe ihnen im Anschluss im Klauenstand erneut zur Bonitur vorgestellt werden. Mit Unterstützung durch den betriebszugehörigen Klauenpfleger wurden die Hintergliedmaßen nacheinander aufgenommen und die Unterfüße mit Wasser, einer Bürste und Papiertüchern gereinigt. Im Anschluss beurteilte jede/r der unter 3.4.1 genannten BeobachterInnen den Unterfuß auf das Vorhandensein von DD-Läsionen und notierte das M-Stadium auf einem Befundbogen (Tab. 28). Von allen Klauen wurden Fotografien mit einer digitalen Kamera (Panasonic DMC-G3, Panasonic Corporation, Kadoma Osaka, Japan) angefertigt.

Für die Bonitur im Klauenstand wurde das komplette M-Schema nach DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) genutzt, welches für die statistische Auswertung um das M4.1-Stadium korrigiert wurde. Vergleichbare Modifikationen gab es auch in früheren Studien (THOMSEN et al. 2008, RELUN et al. 2011). Die jeweiligen Modifikationen des ursprünglichen M-Schemas für die vorliegenden Untersuchungen sind in Tab. 4 dargestellt. Nachdem jede/r BeobachterIn unabhängig von den anderen Anwesenden seine/ihre persönliche Bewertung dokumentiert hatte, wurde nach Beratung der Gruppenmitglieder untereinander ein M-Stadium als Goldstandard für die jeweilige Hintergliedmaße festgelegt.

3.5.3.2.1 Anschließende Behandlung der Läsionen

Nach der Bonitierung wurden alle Kühe mit akuten M2-Läsionen mit zwei Lagen Chlortetrazyklin-Spray (Cyclo Spray 2,45%, Albrecht GmbH, Aulendorf, Deutschland) und einem dreilagigen Zwischenklauenverband behandelt (KLAWITTER et al. 2017). Die erste Schicht bestand hierbei aus einem Gazetupfer (NOBAMED Paul Danz AG, Wetter/Ruhr, Deutschland), der direkt auf die mit dem tetrazyklinhaltigen Spray besprühte Läsion gelegt wurde. Das Ganze wurde schließlich mit einer absorbierenden Baumwollwatte (Klauen- und Polsterbinde, Albrecht GmbH, Aulendorf, Deutschland) gepolstert und diese wiederum mit einer starren Baumwollbinde NOBASOLID, NOBAMED Paul Danz AG, Wetter/Ruhr, Deutschland) fixiert. Am Ende wurde der gesamte Verband mit CERTOPLAST 301- Klebeband (CERTOPLAST Technische Klebebänder GmbH, Wuppertal, Deutschland) abgedeckt, um das Innere vor Feuchtigkeit und Schmutz zu schützen.

3.6 Studienteil 3: Überprüfung der DD-Prävalenz im Zeitverlauf von 24 Monaten

Zwecks Bestimmung der Prävalenz der DD im Betrieb und zur Untersuchung der Dynamik der Veränderungen der DD-Stadien im Zeitverlauf wurden über einen Zeitraum von 24 Monaten Bonituren im Außenmelkerkarussell ausgeführt.

3.6.1 Beobachterin

Sämtliche Untersuchungen wurden durch die Verfasserin (Beobachterin 1) selbst durchgeführt (s.a. 3.4.1, Tab.3).

3.6.2 Zeitlicher Ablauf

Die Datenerhebung fand in etwa monatlichen Intervallen über einen Zeitraum von 24 Monaten statt. Der Untersuchungszyklus begann im Januar 2015 und endete im Dezember 2016.

Tab. 6: Übersicht über die Betriebsbesuche zum DD-Scoring aller laktierenden Kühe im Außenmelkerkarussell

Scoring-Nr.	Datum
1	15.01.2015
2	20.02.2015
3	13.03.2015
4	14.04.2015
5	22.05.2015
6	25.06.2015
7	21.07.2015
8	14.08.2015
9	17.09.2015
10	29.10.2015
11	24.11.2015
12	21.12.2015
13	21.01.2016
14	23.02.2016
15	17.03.2016
16	12.04.2016
17	11.05.2016
18	23.06.2016
19	25.07.2016
20	23.08.2016
21	27.09.2016
22	24.10.2016
23	23.11.2016
24	12.12.2016

3.6.3 Untersuchte Tiere

An jedem Untersuchungstag wurden die Unterfüße der Hintergliedmaßen aller laktierenden Kühe der vier Leistungsgruppen bonitiert (s. Tab. 2). Bis Juli 2015 handelte es sich hierbei um etwa 600, später dann um etwa 800 Kühe der Rassen Holstein-Schwarzbunt und Holstein-Rotbunt in sämtlichen Alterskategorien bzw. Laktationsnummern.

3.6.4 Angewandte Methode

Die monatlichen Inspektionen im Außenmelkerkarussell wurden nach demselben Verfahren wie schon in den ersten beiden Studienteilen durchgeführt (s. 3.4.3.2), und die DD-Läsionen nach den Merkmalskategorien des in Tab. 4 dargestellten modifizierten M-Schemas für DD bonitiert (s.a. 3.4.3.1).

Die Befunde beider Hintergliedmaßen wurden auf einem einfachen Dokumentationsbogen im Tabellenformat (Tab. 27) notiert und der Ohrmarkennummer des jeweiligen Tieres zugeordnet. Pro Umdrehung des Karussells wurde ein fortlaufend nummerierter Befundbogen verwendet, wodurch die Zuordnung der Ohrmarkennummer zum Melkplatz pro Melkdurchgang mithilfe der automatischen Tiererkennung am Computer im Melkstand eindeutig nachzuverfolgen war. In der Regel wurden die Ohrmarkennummern direkt am Tier erhoben. Nur bei Schwierigkeiten diese zu erkennen wurde auf die Computerdaten zurückgegriffen.

Einziges Hilfsmittel, welches zum Bonitieren benutzt wurde, war eine LED-Taschenlampe (Ansmann X2 LED, Ansmann AG, Assamstadt, Deutschland). Sie diente der besseren Ausleuchtung des Zwischenklauenspaltes.

3.7 Datenanalyse

Alle erhobenen Daten wurden mit Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft Corp., Redmond, WA) bearbeitet. Alle weiteren statistischen Auswertungen und Berechnungen erfolgten unter Verwendung der freien Programmiersprache „R“ (R Core Team), der Statistik- und Analyse-Software „IBM® SPSS® Statistics“ – Version 25 (2017) (IBM Deutschland GmbH, 71139 Ehningen) sowie in Zusammenarbeit mit PD Dr. Roswitha Merle und Frau Dr. Maria Volkmann des Instituts für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie des Fachbereichs Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin (Königsweg 67, 14163 Berlin).

Die Auswertung für die Studienteile 1 und 2 erfolgte für jeden Untersucher bzw. jede Untersucherin auf zwei Ebenen:

- (1) basierend auf dem modifizierten M-Schema mit drei Kategorien: M0, Ma und Mc
- (2) binär, wobei lediglich berücksichtigt wurde, ob DD vorliegt (Ma und/oder Mc) oder nicht (M0). Dazu wurde der Datensatz so modifiziert, dass alle Ma- und Mc-Läsionen als DD-positiv und alle M0-Läsionen als DD-negativ zusammengefasst wurden.

3.7.1 Studienteil 1: Bestimmung der Objektivierbarkeit der Methode

Der ursprüngliche Datensatz setzte sich aus mehreren Excel-Tabellen zusammen, die um fehlende Werte und Übertragungsfehler bereinigt wurden.

Für den ersten Teil der Studie wurden die Scorings (modifizierte M-Stadien) aller fünf BeobachterInnen an den beiden Beobachtungszeitpunkten einander gegenübergestellt (Tab. 7).

Tab. 7: Finaler Datensatz für die Bewertung von 822 Unterfüßen im Melkstand in drei Kategorien (modifiziertes M-Scoring: M0, Ma und Mc) durch fünf Untersucher an zwei aufeinanderfolgenden Melkzeiten am Außenmelkerkarussell (Auszug); die erste Zahl beschreibt den Zeitpunkt der Beobachtung (1 bzw. 2), die zweite Zahl den jeweiligen Untersucher (1 bis 5); die erste Zeile mit der Ohrmarke zeigt den Score für die linke, die zweite Zeile den Score für die rechte Hintergliedmaße der Kuh

Kuh ID	Beobachtung 1.1	Beobachtung 1.2	Beobachtung 1.3	Beobachtung 1.4	Beobachtung 1.5	Beobachtung 2.1	Beobachtung 2.2	Beobachtung 2.3	Beobachtung 2.4	Beobachtung 2.5
50205	a	a	c	c	a	c	c	a	c	c
50205	a	a	c	0	c	0	c	c	0	0
50207	0	c	0	0	c	0	c	0	0	0
50207	0	c	0	0	0	c	c	0	0	0
50210	c	c	c	0	0	c	c	c	c	0
50210	c	c	c	0	0	0	c	c	0	0
:

Um die Objektivierbarkeit bzw. die Wiederholbarkeit der Methode zu ermitteln, wurden die Übereinstimmungen der Untersucher untereinander und mit sich selbst berechnet (Inter- und Intraobserver-Übereinstimmung). Dazu wurde zunächst jeweils die einfache prozentuale Übereinstimmung mit folgender Formel bestimmt:

$$PA_0 = \frac{\text{Anzahl exakter Übereinstimmungen}}{\text{Anzahl Beobachtungen}} \times 100$$

Hierbei kann das Ergebnis allerdings durch zufällige Übereinstimmungen verfälscht werden. Deshalb sollten zusätzlich κ -Werte berechnet werden (s.a. 2.2.3.3).

Cohen´s Kappa ist ein statistisches Maß, um die Übereinstimmungsergebnisse zweier Untersucher (Inter-Observer) oder eines Untersuchers zu zwei verschiedenen Zeitpunkten (Intra-Observer) unter Ausschluss der zufälligen Übereinstimmung zu vergleichen.

Cohen´s Kappa ist wie folgt definiert:

$$\kappa = \frac{pa - pe}{1 - pe}$$

pa beschreibt die gemessene prozentuale Übereinstimmung, während pe für die erwartete zufällige prozentuale Übereinstimmung steht.

Um das Maß an Übereinstimmung anhand von κ zu beschreiben bzw. um eine einheitliche Nomenklatur zu erhalten, wurden alle errechneten Werte nach den statistischen Kategorien von LANDIS und KOCH (1977) gruppiert und interpretiert (Tab. 1).

Für den ersten Studienabschnitt wurde Cohen´s Kappa in zwei Kategorien bestimmt:

- I. Intra-Observer-Übereinstimmung: Vergleich der Ergebnisse von beiden Untersuchungstagen aus dem Melkstand für jeden Untersucher einzeln (822 Beobachtungen).
- II. Inter-Observer-Übereinstimmung: Vergleich der Ergebnisse aller Untersucher untereinander an jeweils beiden Untersuchungstagen im Melkstand (822 Beobachtungen x 5).

3.7.2 Studienteil 2: Überprüfung der Treffsicherheit der Methode

Um die Treffsicherheit der Scoring-Methode bezüglich der modifizierten M-Stadien zu evaluieren, wurden die Ergebnisse der Beobachtungen aller fünf BeobachterInnen aus dem Klauenstand (=Goldstandard) an insgesamt 186 Unterfüßen den jeweiligen Ergebnissen des Scorings dieser Hintergliedmaßen im Melkstand gegenübergestellt (Tab. 8).

Auf diese wurden die einfache prozentuale Übereinstimmung sowie κ -Koeffizienten für jedes Datenpaar berechnet, um das Maß an Übereinstimmung zu quantifizieren (s.a. 3.7.1). Insgesamt flossen 186 Beobachtungen aller fünf BeobachterInnen in die Berechnungen ein.

Tab. 8: Treffsicherheit der Scoring-Methode zur Bestimmung der modifizierten M-Stadien der DD im Außenmelkerkarussell. Auszug aus dem Datensatz zur Erfassung der Ergebnisse der modifizierten M-Stadien der DD an 186 Unterfüßen der Hintergliedmaßen in drei Kategorien (M0, Ma und Mc) durch fünf BeobachterInnen (Nr. 1 bis 5) und im Klauenstand mittels Goldstandard und Goldstandard nach Anpassung, sortiert nach Tieridentifikation (Ohrmarkennummer) und Gliedmaße (linke Hintergliedmaße ist zuerst aufgeführt)

Kuh ID	Unterfuß	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4	Nr. 5	Goldstandard	Korr. Goldstandard
00590	1	c	c	0	0	c	c	c
00590	2	c	c	0	0	c	41	c
00601	3	0	c	0	0	0	0	0
00601	4	0	0	0	0	0	0	0
00668	5	0	c	0	0	0	c	c
00668	6	0	c	0	0	0	c	c
00682	7	a	a	a	c	c	41	c
00682	8	a	a	a	c	c	a	a
00693	9	c	c	c	c	c	41	c
00693	10	c	c	c	c	c	41	c
...

Anhand der 186 sowohl im Klauen- als auch im Melkstand beurteilten Unterfüße wurden Sensitivität, Spezifität, Positiver Prädiktiver Wert (PPV) und Negativer Prädiktiver Wert (NPV) berechnet (s. 2.2.2).

Mit den Daten aus dem Klauenstand konnte des Weiteren die Prävalenz für DD bei den laktierenden Kühen des Studienbetriebs ermittelt werden. Diese Kalkulation beinhaltete sowohl die Prävalenz der einzelnen modifizierten DD-Stadien (M0, Ma, Mc) als auch die Gesamtprävalenz von DD unter Einbeziehung aller Ausprägungen (M0, Ma+Mc)

3.7.3 Studienteil 3: Ermittlung der DD-Prävalenz und Verlaufsentwicklung über einen Zeitraum von 24 Monaten

Die Daten aus den monatlichen Melkstand-Scorings wurden auf Einzeltierebene statistisch ausgewertet. Wie durch andere Autoren vorgeschlagen, wurde nur die schwerwiegendere Läsion der an den beiden Hintergliedmaßen dokumentierten modifizierten M-Stadien bei der statistischen Bearbeitung des Datensatzes berücksichtigt (RELUN et al. 2011, GOMEZ et al. 2014). Das Ranking war dabei wie folgt: $M0 < Mc < Ma$. Folglich konnten auch nur Kühe als M0 gewertet werden, wenn sie an beiden Unterfüßen keine Hautveränderungen aufwiesen. Für Kühe, die als Ma kategorisiert wurden, konnten auf der kontralateralen Klaue sowohl eine Mc- als auch eine M0-Läsion festgestellt worden sein. Tiere, die mit Mc bezeichnet wurden, hatten folglich entweder an beiden Unterfüßen chronische Veränderungen, oder die kontralaterale Klaue war mit M0 bewertet worden.

Nach der Datenerhebung wurden alle Befunde in Tabellenform in Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) eingegeben und mit IBM® SPSS® Statistics – Version 25 (2017) (IBM Deutschland GmbH, 71139 Ehningen) analysiert.

Alle Auswertungen erfolgten sowohl auf einer monatlichen als auch auf einer jahreszeitlichen Ebene. Für Letztere wurden die Ergebnisse nach Jahreszeiten insgesamt neun Quartalen zugeordnet. Die Zuordnung der Monate im Jahr zur jeweiligen Jahreszeit, erfolgte wie folgt:

- Winter: Dezember, Januar, Februar
- Frühling: März, April, Mai
- Sommer: Juni, Juli, August
- Herbst: September, Oktober, November

Um die tatsächliche DD-Prävalenz zu ermitteln, wurden auch hier PPVs (Positive Prädiktive Werte) und NPVs (Negative Prädiktive Werte) berechnet.

Die Berechnung erfolgte wie bei 2.2.2 beschrieben und unter Zuhilfenahme der Ergebnisse von Sensitivität und Spezifität aus dem zweiten Studienteil zur Überprüfung der Treffsicherheit der Scoring-Methode.

4 Ergebnisse

4.1 Studienteil 1: Bestimmung der Objektivierbarkeit der Scoring-Methode

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse aus dem Teilkomplex zur Evaluierung der DD-Scoring-Methode im Außenmelkerkarussell hinsichtlich Praktikabilität und Verlässlichkeit aufgeführt.

4.1.1 Praktikabilität der Scoring-Methode

Das Untersuchen der Unterfüße der Hintergliedmaßen von Milchkühen im Außenmelkerkarussell auf das Vorhandensein der charakteristischen Hautveränderungen für DD erwies sich als unproblematisch, da neben einer kleinen Taschenlampe keine weiteren Hilfsmittel benötigt wurden. Aufgrund der erhöhten Position der Tiere im Melkstand befinden sich die Klauen beinahe auf Augenhöhe des Beobachters/der Beobachterin. Der/die BeobachterIn konnte durch die Drehbewegung des Melkkarussells von einem Standort aus alle Unterfüße inspizieren, was die Untersuchungszeit und das Risiko, die Arbeitsabläufe der Melker zu stören, verringerte.

Die benötigte Zeit zur gründlichen Befunderhebung variierte stark in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad der Unterfüße. Die durchschnittliche Erhebungszeit betrug von Beginn der Inspektion bis zum Notieren des Scores circa vier Sekunden pro Gliedmaße. Hinzu kamen noch ca. vier Sekunden pro Tier für das Ablesen und Vermerken der fünfstelligen Ohrmarkennummer auf dem Befundbogen in Verbindung zur Melkplatznummer.

Bei einzelnen Tieren wurde dieser Zeitrahmen überschritten, da die Tiere z.B. nicht ruhig standen, Ohrmarken fehlten oder stark verschmutzt und somit nicht lesbar waren. Diese unkenntlichen oder fehlenden Ohrmarkennummern konnten, dank der automatischen Tiererkennung und solange sich das Tier noch im Melkkarussell befand, an einem Computer direkt im Melkstand nacherhoben werden. Bei jedem Durchgang gab es außerdem einige wenige Tiere oder einzelne Gliedmaßen, die aufgrund von zu starker Verschmutzung, zu geringer Ballenhöhe oder angelegten Verbänden nicht beurteilt werden konnten.

4.1.2 Intraobserver-Übereinstimmung

Fünf BeobachterInnen bonitierten pro Beobachtungszeitpunkt unabhängig voneinander 822 Hintergliedmaßen von 416 Kühen an zwei aufeinanderfolgenden Melkzeiten in einem Außenmelkerkarussell. Die Diskrepanz zwischen der Anzahl untersuchter Kühe und der Anzahl bonitierter Hintergliedmaßen ergab sich hierbei aus bereits beschriebenen möglichen Umständen (Verband, Verschmutzung, etc.), die zur Einstufung einzelner Unterfüße als „nicht beurteilbar“ führten, wohingegen die kontralateralen Gliedmaßen in die Bewertung mit einfließen konnten.

Die prozentuale Übereinstimmung PA_0 zwischen den einzelnen Untersuchern reichte von 55,77% bis 72,94%. Die mittlere Übereinstimmung lag somit bei etwa 60,99% (s. Tab. 9).

Tab. 9: Mittlere prozentuale Intraobserver-Übereinstimmung aller fünf BeobachterInnen für die Bonitur aller Hintergliedmaßen (n=822) im Melkkarussell nach dem modifizierten M-Schema in drei Merkmalskategorien (Ma, Mc, M0) bzw. in zwei Kategorien (M0, Ma+Mc)

Intraobserver-Übereinstimmung in % (PA_0)					
	BeobachterIn	BeobachterIn	BeobachterIn	BeobachterIn	BeobachterIn
	1	2	3	4	5
Hintergliedmaßen bonitiert nach 3 Merkmalskategorien (M0, Ma, Mc)	72,94	62,28	55,77	57,54	56,30
Hintergliedmaßen bonitiert nach 2 Merkmalskategorien (M0, Ma+Mc)	83,79	93,30	83,52	63,12	63,58

Um den Einfluss der zufälligen Übereinstimmung zu reduzieren, wurde für jede/n BeobachterIn Cohen's Kappa berechnet (Tab. 10). Die κ -Werte aller Untersucher für die Differenzierung der drei Kategorien (M0, Ma, Mc) variierten zwischen 0,149 und 0,535, was interpretiert nach LANDIS und KOCH (1977) einer geringen bis maximal ausreichenden Übereinstimmung entspricht. Betrachtet man die Ergebnisse nur auf binärer Ebene (M0, Ma+Mc), also ob DD generell vorhanden ist oder nicht, steigt der κ -Wert des besten Untersuchers auf 0,626 an, was einer mittelmäßigen Übereinstimmung gleichkommt. Auch alle anderen BeobachterInnen konnten nach dieser Kategorisierung bessere Übereinstimmungen erzielen.

Die Verteilung der κ -Koeffizienten aller BeobachterInnen (Tab. 10) ist in Abb. 3 als Boxplot für die beiden Bewertungskategorien dargestellt.

Die prozentuale Übereinstimmung PA_0 stieg ebenfalls an, wenn die Daten lediglich nach dem binären System ausgewertet wurden. Somit konnte BeobachterIn 4 beispielsweise eine Übereinstimmung von 63,12% und BeobachterIn 2 von 93,3% erzielen. Die totale, mittlere Übereinstimmung für alle fünf Untersucher lag schließlich bei 77,44% (s. Tab.9).

Der Unterschied zwischen der Bewertung nach drei bzw. nach zwei Kategorien ist grafisch deutlich erkennbar (Abb.3) und erwies sich nach Durchführung eines t-Tests für abhängige Stichproben auch als statistisch signifikant ($p = 0,027$).

Tab. 10: Cohen´s Kappa-Werte zur Auswertung der Intraobserver-Übereinstimmung aller fünf BeobachterInnen (Erfahrungsgrad) bei Bewertung aller Hintergliedmaßen ($n=822$) im Melkkarussell nach drei (M_0, M_a, M_c) bzw. zwei Merkmalskategorien (M_0, M_a+M_c) des modifizierten M-Schemas

Intraobserver-Übereinstimmung (κ)		
	3 Kategorien (M_0, M_a, M_c)	2 Kategorien (M_0, M_a+M_c)
BeobachterIn 1	0,535	0,626
BeobachterIn 2	0,193	0,390
BeobachterIn 3	0,303	0,522
BeobachterIn 4	0,265	0,328
BeobachterIn 5	0,149	0,191

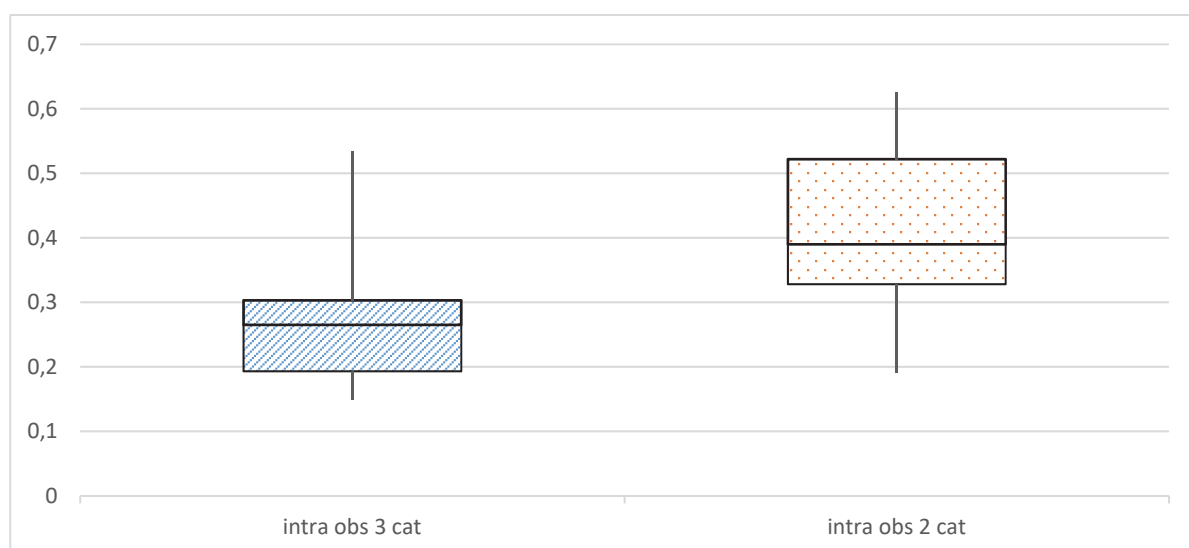


Abb. 3: Intraobserver-Übereinstimmung: Box-Plots zur Darstellung der Verteilung der κ -Werte der fünf BeobachterInnen bei Anwendung des Scorings für modifizierte M-Stadien der DD nach drei (M_0, M_a, M_c) (diagonal schraffiert) und zwei (M_0, M_a+M_c) (gepunktet) Kategorien.

4.1.3 Interobserver-Übereinstimmung

Um die Interobserver-Übereinstimmung zu ermitteln, wurden die Scoring-Ergebnisse aller fünf BeobachterInnen für alle 822 Unterfüße an je beiden Untersuchungstagen miteinander verglichen.

Die Resultate aus der Gegenüberstellung der Scoring-Ergebnisse aller BeobachterInnen unter Anwendung des modifizierten M-Schemas (M0, Ma, Mc) sind in Form von κ -Koeffizienten in Tab. 11 für den Untersuchungszeitpunkt 1 und in Tab. 12 für den Untersuchungszeitpunkt 2 dargestellt.

Zum ersten Untersuchungstermin erreichten die meisten BeobachterInnen nach den Interpretationskategorien von LANDIS und KOCH (1977) nur „schlechte“ oder „geringe“ Übereinstimmungen. Lediglich BeobachterIn 1 konnte mit den BeobachterInnen 3 und 4 jeweils κ -Koeffizienten von 0,315 bzw. 0,213 erzielen, was einer „ausreichenden“ Übereinstimmung entspricht. Gleiches gilt für die BeobachterInnen 4 und 5 mit einem κ von 0,229.

An Untersuchungstag zwei wurden „ausreichende“ Übereinstimmungen zwischen den BeobachterInnen 1, 3, 4 und 5 ($\kappa = 0,345, 0,371$ und $0,304$), zwischen den BeobachterInnen 3, 2 und 4 ($\kappa = 0,225$ und $0,247$) sowie zwischen den BeobachterInnen 2 und 3 ($\kappa = 0,225$) ermittelt. Zwischen BeobachterIn 4 und BeobachterIn 5 konnte die Übereinstimmung als „mittelmäßig“ beurteilt werden ($\kappa = 0,447$).

Somit stiegen die κ -Koeffizienten für die Interobserver-Übereinstimmung am zweiten Untersuchungstag an.

Tab. 11: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 1. Übersicht über Cohen's Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit drei Kategorien (M0, Ma, Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn

	Beobachtung 1.1	Beobachtung 1.2	Beobachtung 1.3	Beobachtung 1.4	Beobachtung 1.5
Beobachtung 1.1	x	0,117	0,315	0,213	0,203
Beobachtung 1.2	0,117	x	0,129	-0,037	-0,039
Beobachtung 1.3	0,315	0,129	x	0,114	0,110
Beobachtung 1.4	0,213	-0,037	0,114	x	0,229
Beobachtung 1.5	0,203	-0,039	0,110	0,229	x

Tab. 12: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 2. Übersicht über Cohen's Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit drei Kategorien (M0, Ma, Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn

	Beobachtung 2.1	Beobachtung 2.2	Beobachtung 2.3	Beobachtung 2.4	Beobachtung 2.5
Beobachtung 2.1	x	0,154	0,345	0,371	0,304
Beobachtung 2.2	0,154	x	0,225	0,073	0,100
Beobachtung 2.3	0,345	0,225	x	0,247	0,204
Beobachtung 2.4	0,371	0,073	0,247	x	0,447
Beobachtung 2.5	0,304	0,100	0,204	0,447	x

Vergleicht man die Ergebnisse aller BeobachterInnen im binären System (M_0 , M_a+M_c), also lediglich unter dem Aspekt ob DD vorhanden ist oder nicht, kann ein Anstieg der κ -Koeffizienten und folglich auch des Grades an Übereinstimmung verzeichnet werden.

Die Ergebnisse für κ unter Anwendung des binären Kategorisierungs-Systems sind in Tab. 13 für den Untersuchungstag 1 und in Tab. 14 für den Untersuchungstag 2 aufgeführt.

So konnten am ersten Untersuchungstag gemäß der Kategorien nach LANDIS und KOCH (1977) „ausreichende“ Übereinstimmungen zwischen den BeobachterInnen 1, 4 und 5 ($\kappa=0,315$ und $0,313$), zwischen den BeobachterInnen 3, 2, 4 und 5 ($\kappa=0,210$, $0,236$ und $0,302$), zwischen BeobachterIn 4 und 5 ($\kappa=0,231$) sowie zwischen BeobachterIn 2 und 3 ($\kappa=0,211$) berechnet werden. BeobachterIn 1 und 3 wiesen eine „mittelmäßige“ Übereinstimmung mit einem κ von $0,566$ auf.

Am zweiten Untersuchungstag war auch im binären Scoring-System ein weiterer Anstieg der κ -Koeffizienten und damit auch des Übereinstimmungsgrades zu verzeichnen. So erzielten die BeobachterInnen 1 und 2, 2 und 3 sowie 3 und 5 jeweils „ausreichende“ Übereinstimmungen mit κ -Koeffizienten von $0,212$, $0,349$ bzw. $0,308$. Zwischen den BeobachterInnen 1, 3, 4 und 5 ($\kappa=0,531$, $0,571$, $0,471$), den BeobachterInnen 3 und 4 ($\kappa=0,461$) sowie 4 und 5 ($\kappa=0,543$) konnten „mittelmäßige“ Übereinstimmungen verzeichnet werden.

Dieser Anstieg innerhalb der zwei Untersuchungstage kann für beide Bewertungskategorien (M_0 , M_2 , M_a bzw. M_0 , M_a+M_c) als statistisch signifikant bewertet werden ($p \leq 0,01$).

Tab. 13: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 1. Übersicht über Cohen's Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit zwei Kategorien (M0, Ma+Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn

	Beobachtung 1.1	Beobachtung 1.2	Beobachtung 1.3	Beobachtung 1.4	Beobachtung 1.5
Beobachtung 1.1	x	0,201	0,566	0,315	0,313
Beobachtung 1.2	0,201	x	0,211	0,046	0,095
Beobachtung 1.3	0,566	0,210	x	0,236	0,302
Beobachtung 1.4	0,315	0,046	0,236	x	0,231
Beobachtung 1.5	0,313	0,095	0,302	0,231	x

Tab. 14: Interobserver-Übereinstimmung für das Scoring von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zum Untersuchungszeitpunkt 2. Übersicht über Cohen's Kappa-Koeffizienten für alle Beobachter-Paare im Vergleich, basierend auf dem Datensatz des Scorings von 822 Unterfüßen mit zwei Kategorien (M0, Ma+Mc). Die erste Zahl gibt jeweils den Untersuchungszeitpunkt an, die zweite Zahl die Nummer des/der BeobachterIn

	Beobachtung 2.1	Beobachtung 2.2	Beobachtung 2.3	Beobachtung 2.4	Beobachtung 2.5
Beobachtung 2.1	x	0,212	0,531	0,571	0,471
Beobachtung 2.2	0,212	x	0,349	0,147	0,166
Beobachtung 2.3	0,531	0,349	x	0,461	0,380
Beobachtung 2.4	0,571	0,147	0,461	x	0,543
Beobachtung 2.5	0,471	0,166	0,380	0,543	x

4.1.4 Einfluss des Erfahrungsgrades des Beobachters/der Beobachterin auf die Intra- und Interobserver-Übereinstimmung

Bei Betrachtung der mittleren prozentualen Übereinstimmung zur Auswertung der Intraobserver-Übereinstimmung ließ sich eine Tendenz erkennen, wonach erfahrenere BeobachterInnen bessere Übereinstimmungen mit sich selbst erzielten als unerfahrenere (Tab. 9). Dies wurde v.a. bei der Beurteilung der Hintergliedmaßen nach zwei Kategorien (M0, Ma+Mc) deutlich, bei der die geübteren BeobachterInnen 1, 2 und 3 um bis zu 20% besser abschnitten als die ungeübteren BeobachterInnen 4 und 5. Bei der Beurteilung nach drei Bonitierungskategorien war dieser Unterschied nicht ganz so deutlich. Hier hob sich allein BeobachterIn 1 deutlich von den restlichen BeobachterInnen ab.

Beurteilt man die Intraobserver-Übereinstimmung mit Hilfe von Cohen´s Kappa bestätigte sich der oben genannte Eindruck. Auch hier erzielten die erfahreneren BeobachterInnen 1 und 3 in beiden Bewertungskategorien etwas höhere Werte als die BeobachterInnen 4 und 5. Einzig BeobachterIn 2 folgte dieser Tendenz nicht.

Bezugnehmend auf die Interobserver-Übereinstimmung konnte kein deutlicher Einfluss des Erfahrungsgrades auf das Maß an Übereinstimmung ausgemacht werden, zumal die Übereinstimmungen generell als nur mäßig beurteilt werden konnten. Folglich konnten Übereinstimmungen niedrigen Grades zwischen BeobachterInnen aller Erfahrungsgrade festgestellt werden. Die Theorie, dass BeobachterInnen besser mit jenen BeobachterInnen übereinstimmten, die in etwa den gleichen Erfahrungsgrad aufwiesen, ließ sich somit nicht bestätigen. Dies änderte sich auch nicht bei Anwendung des binären Bonitierungsschemas.

4.2 Studienteil 2: Überprüfung der Treffsicherheit der Scoring-Methode

4.2.1 Vergleich der Scoring-Ergebnisse aus dem Außenmelkerkarussell mit dem Goldstandard

Um zu überprüfen, ob das Scoring im Melkstand an ungewaschenen Klauen eine adäquate Methode darstellt, um Hautveränderungen zu erkennen, welche auf DD zurückzuführen sind, wurden die Ergebnisse aller fünf BeobachterInnen von 186 zufällig ausgewählten und vorher im Melkstand bonitierten Hintergliedmaßen mit dem Goldstandard verglichen. Als Goldstandard in der DD-Diagnostik gilt nach wie vor die Beurteilung der gereinigten Unterfüße im Klauenstand.

Der Abgleich erfolgte für alle BeobachterInnen zunächst nach dem modifizierten M-Schema in drei Kategorien (M0, Ma, Mc) sowie nach dem binären System (M0, Ma+Mc), durch das lediglich evaluiert werden soll, ob ein Unterfuß Anzeichen von DD aufzeigt oder nicht.

Die Ergebnisse aller Beobachtungen von beiden Untersuchungsterminen sind in Tab. 15 aufgeführt und vergleichend gegenübergestellt.

Tab. 15: Treffsicherheit des Scorings von modifizierten M-Stadien der DD; Ergebnisse von fünf verschiedenen BeobachterInnen an beiden Untersuchungsterminen im Vergleich. Cohen's κ -Koeffizienten zur Beurteilung der Übereinstimmung der fünf BeobachterInnen mit dem Goldstandard (=Bonitur der gereinigten Klauen im Klauenstand) jeweils bei Beurteilung nach drei Kategorien (M0, Ma, Mc) bzw. nach zwei Kategorien (M0, Ma+Mc)

	Goldstandard (3 Kategorien: M0, Ma, Mc)	Goldstandard (2 Kategorien: M0, Ma+Mc)
Beobachtung 1.1	0,284	0,451
Beobachtung 1.2	0,209	0,273
Beobachtung 1.3	0,295	0,460
Beobachtung 1.4	0,020	0,133
Beobachtung 1.5	-0,066	0,077
Beobachtung 2.1	0,338	0,466
Beobachtung 2.2	0,135	0,319
Beobachtung 2.3	0,308	0,523
Beobachtung 2.4	0,265	0,417
Beobachtung 2.5	0,197	0,354

Beim Vergleich der Scoring-Ergebnisse aus dem Melkstand an beiden Untersuchungsterminen mit den Ergebnissen der Untersuchung von 186 Unterfüßen im Klauenstand konnte zu meist nur eine „schlechte“ bis „geringe“ Übereinstimmung festgestellt werden, wenn die Unterfüße nach drei Kategorien beurteilt werden sollten. Nur die beiden BeobachterInnen 1 und 3 konnten „ausreichende“ Übereinstimmungen mit dem Goldstandard erzielen ($\kappa= 0,281$ und $\kappa= 0,295$). Am zweiten Untersuchungstag stiegen die κ -Koeffizienten ebendieser BeobachterInnen noch weiter an und auch BeobachterIn 4 konnte schließlich eine „ausreichende“ Übereinstimmung mit dem Goldstandard erreichen ($\kappa= 0,338$, $0,308$ und $0,265$).

Betrachtet man die Ergebnisse nur noch unter dem Aspekt ob DD vorhanden ist oder nicht (M0, Ma+Mc), kann eine generelle Verbesserung der Übereinstimmung mit dem Goldstandard

für alle BeobachterInnen verzeichnet werden. So erzielten BeobachterIn 1 und 3 zum ersten Untersuchungstermin „mittelmäßige“ Übereinstimmungen ($\kappa = 0,451$ und $\kappa = 0,460$). Zum zweiten Untersuchungstermin wiesen alle BeobachterInnen mindestens eine „ausreichende“ Übereinstimmung mit dem Goldstandard auf, die BeobachterInnen 1, 3 und 4 zeigten κ -Koeffizienten, welche einer „mittelmäßigen“ Übereinstimmung entsprechen ($\kappa = 0,466$, $0,523$ und $0,417$).

Dieser Anstieg von κ im binären System (M_0, M_a+M_c) im Vergleich zur Untersuchung nach drei Kategorien (M_0, M_a, M_c) wurde mit einem t-Test für abhängige Stichproben untersucht und konnte als statistisch signifikant eingeordnet werden ($p = 0,002$ für Untersuchungstag 1 und $p \leq 0,01$ für Untersuchungstag 2). Innerhalb der beiden Untersuchungskategorien war die Verbesserung von Untersuchungstermin 1 zu Untersuchungstermin 2 nicht signifikant ($p = 0,204$ bzw. $p = 0,081$ für die 3 bzw. die 2 Untersuchungskategorien).

4.2.2 Einfluss des Erfahrungsgrades des Beobachters/der Beobachterin auf die Übereinstimmung mit dem Goldstandard

Der Erfahrungsgrad des Beobachtenden (s. Tab. 3) scheint, wie auch bei der Intraobserver-Übereinstimmung, einen Einfluss auf die Übereinstimmung mit dem Goldstandard (=Inspektion der Unterfüße im Klauenstand) zu haben.

Trotz generell niedriger κ -Koeffizienten erzielten die erfahrenen BeobachterInnen 1 und 3 an beiden Untersuchungstagen und in beiden Bewertungskategorien höhere Werte als die beiden unerfahrenen Beobachterinnen 4 und 5. BeobachterIn 2 liegt entsprechend des Erfahrungsgrades zwischen den beiden erstgenannten Erfahrungsgruppen bzw. erzielte am zweiten Untersuchungstag niedrigere κ -Werte als die beiden unerfahrenen BeobachterInnen (Tab. 15).

Bezüglich der Interobserver-Übereinstimmung im Klauenstand konnte kein Einfluss des Erfahrungsgrades der BeobachterInnen festgestellt werden. Insgesamt stimmten alle fünf BeobachterInnen bei etwa zwei Dritteln der untersuchten Hintergliedmaßen überein. Abweichungen konnten bei allen BeobachterInnen gleichermaßen vorgefunden werden.

4.2.3 Verteilung der Missklassifikationen von DD-Läsionen im Außenmelkerkarussell

Tab. 16 zeigt die Anzahl an korrekten bzw. fehlerhaften Klassifizierungen aller BeobachterInnen bei der Bonitierung von modifizierten M-Stadien an beiden Untersuchungstagen auf. Hierzu wurden die Ergebnisse aus dem Melkstand jenen aus dem Klauenstand gegenübergestellt.

Die meisten Fehler traten bei der Klassifizierung von aktiven Stadien (Ma) auf. So wurden 54% der Ma-Läsionen an Tag 1 und 62% an Tag 2 fälschlicherweise als Mc deklariert.

34% bzw. 19% aller Mc-Stadien wurden an Tag 1 bzw. Tag 2 als M0 eingeordnet und im Gegenzug wurden 26% aller M0-Stadien an beiden Untersuchungstagen fälschlicherweise als chronisches Stadium (Mc) bewertet.

Tab. 16: Darstellung der Übereinstimmungen bzw. Missklassifikationen der durch alle fünf BeobachterInnen erhobenen M-Stadien (n=186 Unterfüße von 100 Kühen x5) zu beiden Untersuchungsterminen am Außenmelkerkarussell und im Klauenstand in absoluten Zahlen sowie prozentual (%)

M-Stadium im Klauenstand								
	Tag 1, alle BeobachterInnen				Tag 2, alle BeobachterInnen			
M-Stadium im Melkstand	M0	Ma	Mc	Summe	M0	Ma	Mc	Summe
M0	86 (69)	6 (5)	33 (26)	125	88 (70)	4 (3)	33 (26)	125
Ma	28 (12)	77 (33)	125 (54)	230	15 (7)	72 (31)	143 (62)	230
Mc	198 (34)	102 (18)	275 (48)	575	112 (19)	80 (14)	383 (67)	575
Summe	312	185	433	930	215	156	559	930

4.2.4 Prävalenz von DD

Nach Erhebung aller Daten im Melkkarussell (n=822 Unterfüße) und im Klauenstand (n=186 Unterfüße) konnte die jeweilige Prävalenz für DD auf Unterfußebene berechnet werden.

Hierbei wurden jeweils Werte für die einzelnen M-Stadien (M0, Ma, Mc) und für DD_{gesamt} (Ma+Mc) erhoben. Die Ergebnisse sind in Tab. 17 aufgeführt.

Tab. 17: Vergleich der ermittelten Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) und aufgeschlüsselt nach den modifizierten M-Stadien (M0, Ma, Mc) im Klauen- und im Melkstand

	DD _{gesamt} (%)	M0 (%)	Ma (%)	Mc (%)
Klauenstand	86,6	13,4	24,7	61,8
Melkstand	70,6	29,4	15,6	55,0

4.2.5 Validierung des diagnostischen Tests – Sensitivität, Spezifität, PPV, NPV

Um die Eignung der Scoring-Methode für die Erkennung von modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell zu bestimmen, wurden die Sensitivität und Spezifität sowie der positive (PPV) und der negative prädiktive Wert (NPV) berechnet. Die Ergebnisse sind in Tab. 18 dargestellt.

Tab. 18: Statistische Parameter zur Evaluierung der Zuverlässigkeit der Scoring-Methode für die modifizierten M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell im Vergleich zum Goldstandard (DD-Bonitur im Klauenstand); alle Ergebnisse werden durch Zusammenfassung aller Ergebnisse von beiden Untersuchungstagen als Mittelwerte dargestellt; in Klammern sind die jeweiligen Mittelwerte von Termin 1 und Termin 2 als Range aufgeführt

M-Stadium	Prävalenz (%)	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
DD_{gesamt} (Ma+Mc)	70,59	0,78 (0,72-0,84)	0,69 (0,68-0,70)	0,94 (0,94-0,95)	0,33 (0,28-0,41)
Ma	15,58	0,32 (0,31-0,33)	0,86 (0,85-0,88)	0,44 (0,42-0,46)	0,79 (0,79-0,80)
Mc	55,00	0,57 (0,48-0,67)	0,53 (0,50-0,55)	0,66 (0,64-0,69)	0,43 (0,40-0,48)

Die Sensitivität beschreibt wie viele der untersuchten Unterfüße korrekterweise die Diagnose DD-positiv (Ma+Mc) oder spezieller Ma oder Mc erhalten haben.

Die Spezifität gibt hingegen an, wie viele Unterfüße richtig als M0, also frei von DD diagnostiziert wurden.

Bei der untersuchten Scoring-Methode lag die Sensitivität im Mittel bei 0,78 und die Spezifität bei 0,69, wenn es lediglich um das Erkennen von DD-bedingten Hautveränderungen geht, ohne Berücksichtigung der verschiedenen modifizierten M-Stadien. Das bedeutet, dass etwas mehr als Dreiviertel aller DD-Läsionen durch diese Methode auffindig gemacht werden können und etwa zwei Drittel aller gesunden Unterfüße ebenfalls korrekt als solche erkannt werden.

PPV und NPV geben darüber Auskunft wie viele Unterfüße unter Berücksichtigung von Sensitivität und Spezifität im Melkstand korrekterweise mit DD-positiv (Ma+Mc) oder mit dem jeweiligen modifizierten Stadium Ma oder Mc bzw. als gesund (M0) bonitiert wurden. Bezüglich des Vorhandenseins von DD_{gesamt} lag der PPV bei 0,94 und für gesunde Füße lag der NPV bei 0,33. Somit wird der Großteil der an DD erkrankten Tiere durch die Scoring-Methode, auch angesichts der relativ hohen DD-Prävalenz, korrekt als erkrankt erkannt. Deutlich weniger Tiere werden durch die Methode zuverlässig als gesund eingestuft.

Betrachtet man die Sensitivität und Spezifität etwas differenzierter, bzw. separat für die modifizierten M-Stadien Ma und Mc, ist die Sensitivität mit nur 0,32 für Ma und 0,57 für Mc deutlich geringer. Die Spezifität ist mit 0,86 für Ma auf einem hohen Niveau, für Mc mit 0,53 ungefähr im gleichen Bereich wie die Sensitivität. PPV und NPV sind für Ma und Mc ebenfalls nur durchschnittlich. Die Klassifizierung der M-Stadien ist mit dieser Scoring-Methode unter gegebenen Bedingungen folglich nicht sicher durchführbar.

4.3 Studienteil 3: Ermittlung der DD-Prävalenz und Verlaufsentwicklung über einen Zeitraum von 24 Monaten

4.3.1 Anzahl bonitierter Kühe

Im Zeitraum von März 2015 bis November 2016 fand einmal im Monat eine visuelle Beurteilung der Unterfüße aller laktierenden Kühe des Studienbetriebs nach der in Abschnitt 3.4.3 beschriebenen Methode statt.

Die exakte monatliche Anzahl an untersuchten Kühen ist in Tab. 19 aufgeführt. Schwankungen der Tierzahl beruhten auf Unterschieden in der Anzahl der zum jeweiligen Beobachtungszeitpunkt für den maschinellen Milchentzug vorgesehenen Kühe. Diese hing wiederum ab von Zu- und Verkäufen sowie vom Übergang von Kühen in die Trockenstehperiode und dem Fehlen von in das Krankenabteil verbrachten Tiere, die dort gemolkenen wurden. Demzufolge variierte die Zahl bonitierter Kühe von einem Minimum von 558 Tieren im März 2015 bis zu einem Maximum von 799 Kühen im November 2016. Die durchschnittliche zu jedem Termin untersuchte Anzahl an Kühen betrug 704. Im Juli 2015 war ein deutlicher Anstieg der Anzahl bonitierter Kühe von etwa 600 auf über 700 zu verzeichnen, der auf getätigte Zukäufe zurückzuführen war. Ab diesem Zeitpunkt variierte die Zahl der zu jedem Termin untersuchten Kühe aufgrund der zuvor genannten Umstände zwischen 700 und 800.

Tab. 19: Anzahl (n) der monatlich über einen Zeitraum von 24 Monaten im Außenmelkerkarussell auf Grundlage der modifizierten M-Stadien mit den drei Merkmalskategorien M0, Ma, Mc beurteilten Kühe

Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jahr	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
n (Kühe)	607	560	558	587	610	596	723	715	708	693	701	721
Monat	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jahr	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016	2016
n (Kühe)	686	740	768	745	783	775	751	736	792	771	798	776

4.3.2 Monatliche Prävalenz von DD über 2 Jahre

Tab. 20 zeigt die prozentuale Verteilung der drei Merkmalskategorien des modifizierten M-Schemas (M0, Ma, Mc) bei allen innerhalb von 24 Monaten im Melkstand bonitierten Kühen. Aufgrund der stetig variierenden Tierzahlen wurde die Prävalenz für jeden Monat individuell berechnet. Die Ergebnisse sind des Weiteren in Abb. 4 grafisch dargestellt.

Tab. 20: Prävalenz der modifizierten M-Stadien der DD auf Einzeltierebene. Übersicht über den Anteil Kühe (in%), die auf Tierebene der schwerwiegendsten, an den Hintergliedmaßen beobachteten Merkmalskategorie (Ma>Mc>M0) zugeordnet wurde und der Prävalenz von DD_{gesamt} auf Grundlage der Addition des Anteils an Kühen mit den jeweiligen Merkmalskategorien Ma und Mc. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf Beobachtungen in monatlichen Intervallen über einen Zeitraum von 24 Monaten.

Monat	Jan 15	Feb 15	Mär 15	Apr 15	Mai 15	Jun 15	Jul 15	Aug 15	Sep 15	Okt 15	Nov 15	Dez 15
M0 (%)	35,9	32,1	33,2	39,2	45,4	38,1	25,4	28,1	29,8	30,9	25,2	27,6
Ma (%)	46,5	42,7	40,1	37,1	25,6	21,8	32,9	28,4	29,1	31,9	36,5	30,1
Mc (%)	17,6	25,2	26,7	23,7	29,0	40,1	41,6	43,5	41,1	37,2	38,2	42,3
Prä- valenz DD_{gesamt} (%)	64,1	67,9	66,8	60,8	54,6	61,9	74,5	71,9	70,2	69,1	74,7	72,4
Monat	Jan 16	Feb 16	Mär 16	Apr 16	Mai 16	Jun 16	Jul 16	Aug 16	Sep 16	Okt 16	Nov 16	Dez 16
M0 (%)	23,9	23,2	29,0	27,4	29,0	16,5	12,3	13,3	9,6	13,0	15,7	15,9
Ma (%)	23,6	26,2	20,1	22,7	16,0	20,3	20,0	20,8	21,0	15,8	22,1	13,3
Mc (%)	52,5	50,5	50,9	49,9	55,0	63,2	67,8	65,9	69,4	71,2	62,3	70,9
Prä- valenz DD_{gesamt} (%)	76,1	76,8	71,0	72,6	71,0	83,5	87,8	86,7	90,4	87,0	84,3	84,2

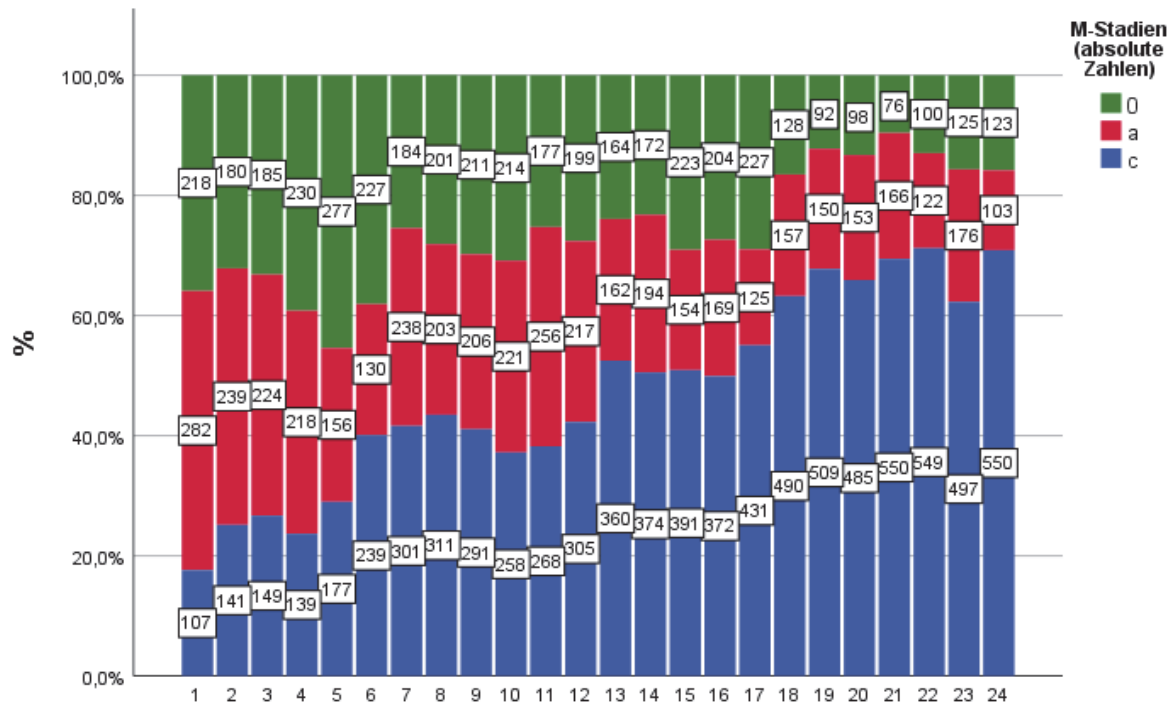


Abb. 4: Prävalenzentwicklung der DD auf Einzeltierebene über einen Zeitraum von 24 Monaten (Beobachtungen am Außenmelkerkarussell an ungereinigten Hintergliedmaßen). Das Balkendiagramm verdeutlicht die Verteilung der schwersten am Einzeltier beobachteten Merkmalskategorie des modifizierten M-Schemas der DD ($M_a > M_c > M_0$) auf Basis von Beobachtungen in monatlichen Abständen (fortlaufend nummeriert); absolute Tierzahlen in den Kästchen

Die mittlere Prävalenz auf Tierebene für DD_{gesamt} ($M_a + M_c$) im Verlauf von zwei Jahren, bestimmt mittels Beobachtungen am Außenmelkerkarussell mit Zuordnung der jeweils schwerwiegendsten, an den Hintergliedmaßen festgestellten Merkmalskategorie des modifizierten M-Schemas ($M_a > M_c > M_0$) zum Einzeltier, betrug auf Grundlage von Beobachtungen an ungereinigten Hintergliedmaßen 74,2% mit einer Spannweite von 54,6% bis 90,4% zu den einzelnen Beobachtungszeitpunkten. Der Median lag mit 72,5% etwas darunter (Tab. 21).

Tab. 22 zeigt ebenfalls Mittelwerte, Mediane sowie Minima und Maxima für den Anteil Kühe (in %), die auf Grundlage der Beobachtungen am Außenmelkerkarussell den verschiedenen Merkmalskategorien (M_a , M_c , M_0) zugeordnet wurden. Dabei bestimmte der gravierendste Befund an beiden Hintergliedmaßen die Zuordnung auf Einzeltierebene.

Für Tiere ohne DD-typische Veränderungen (M_0) schwankte die Prävalenz über den gesamten Beobachtungszeitraum zwischen 9,6 und 45,4% und lag im Mittel bei 25,8%. Für aktive Läsionen (M_a) sieht die Verteilung mit einem Minimum von 13,3%, einem Maximum von 46,5% und einem Mittelwert von 26,9% ähnlich aus. Der prozentuale Anteil an Kühen mit chronischen Läsionen (M_c) ist höher und hat darüber hinaus eine größere Spannweite (17,6% bis 71,2%).

Der Mittelwert lag bei 47,3% (Abb. 5). Es wird ebenfalls ersichtlich, dass die prozentuale Schwankung für Mc-Läsionen in etwa doppelt so groß ist wie für Ma- oder M0-Stadien.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Verlauf der Studie der Anteil an chronischen Stadien (Mc) stetig zunahm, was auch in Abb. 4 zum Ausdruck kommt, in der die Balken, die die Mc-Läsionen darstellen, stetig an Höhe gewinnen.

Im Juli 2015 kaufte der Betrieb ca. 150 Milchkühe mit unbekannter DD-Vorgeschichte zu. In diesem Monat zeigten sich eine leichte Abnahme der Anzahl gesunder Kühe (M0) um etwa 12,7% sowie ein Anstieg der Anzahl an Kühen mit akuten Läsionen (Ma) um 11,1% im Vergleich zum Vormonat (Tab. 20). Diese Verschiebungen lassen sich auch in Abb. 4 in Spalte 7 anhand der auf Kosten der M0-Säule höher werdenden Ma-Säule erkennen.

Tab. 21: Entwicklung der Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) auf Einzeltierebene im Verlauf von 24 Monaten. Aufgeführt sind der Mittelwert, der Median, das Maximum und Minimum der DD-Prävalenz auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen unter Berücksichtigung nur der jeweils schwerwiegendsten Läsion auf Hinterfußebene (Ma>Mc>M0).

Monatliche DD-Prävalenz (%)			
Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
54.6	90.4	74.2	72.5

Tab. 22: Prävalenz (%) der verschiedenen Merkmalskategorien der DD (modifizierte M-Stadien Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene, unter Berücksichtigung nur der jeweils schwerwiegendsten Läsion auf Unterfußebene (Ma>Mc>M0). Aufgeführt sind der Mittelwert, der Median, das Maximum und das Minimum des jeweiligen Scores auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen.

		M0	Ma	Mc
N	Gültig	24	24	24
Mittelwert		25,82	26,86	47,32
Standardfehler des Mittelwertes		1,93	1,81	3,30
Median		27,50	24,60	46,70
Standardabweichung		9,43	8,84	16,17
Varianz		89,01	78,20	261,33
Spannweite		35,8	33,2	53,6
Minimum		9,6	13,3	17,6
Maximum		45,4	46,5	71,2

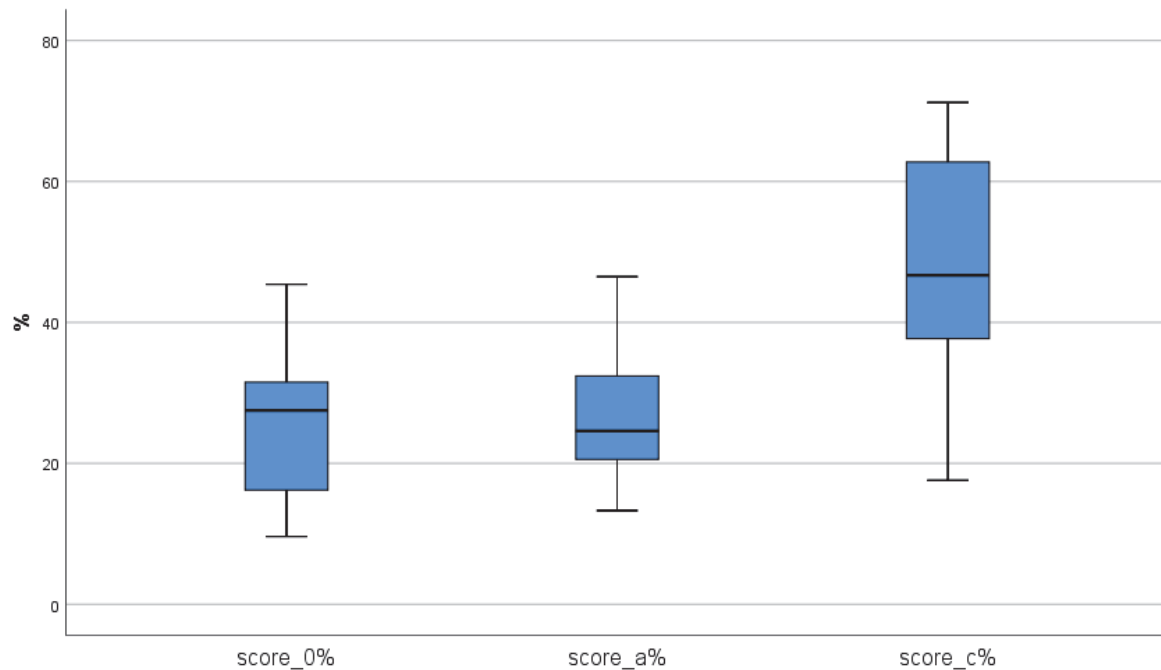


Abb. 5: Prävalenz (in %) der modifizierten M-Stadien (Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene unter Berücksichtigung nur der jeweils schwerwiegendsten Merkmalsausprägung auf Unterfußebene (Ma>Mc>M0) auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen; Darstellung als Box-Plots

4.3.3 Jahreszeitliche Prävalenz von DD

Um zu evaluieren, ob die Prävalenz von DD bzw. die Verteilung der modifizierten M-Stadien mit den drei Merkmalskategorien Ma, Mc, M0 jahreszeitlichen* Schwankungen unterliegen, wurden die monatlichen Ergebnisse, wie in 3.7.3 definiert, zu insgesamt neun jahreszeitlichen Quartalen zusammengefasst und erneut nach dem gleichen Prinzip unter alleiniger Berücksichtigung der jeweils schwerwiegendsten Merkmalsausprägung (Ma>Mc>M0) ausgewertet. Die Ergebnisse werden in den nachfolgenden Abb. 6 und 7 sowie in den Tab. 23 und 24 veranschaulicht.

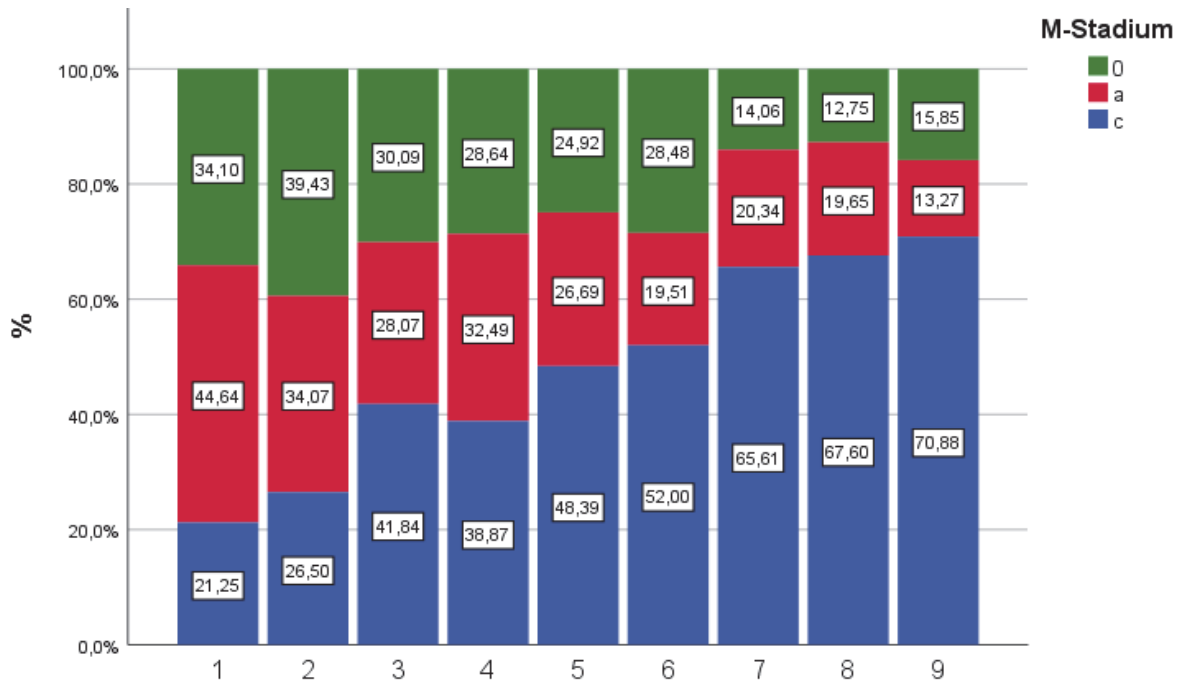


Abb. 6: Jahreszeitliche* Prävalenz der modifizierten M-Stadien der DD (Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene. Die Zahlen auf der x-Achse beziehen sich auf die Jahreszeiten wie folgt: Winter 2015 (1), Frühling 2015 (2), Sommer 2015 (3), Herbst 2015 (4), Winter 2015/16 (5), Frühling 2016 (6), Sommer 2016 (7), Herbst 2016 (8) und Winter 2016 (9) (Prozentzahlen in Kästchen)

*Definition der jahreszeitlichen Kategorien s. S. 52, Kapitel 3.7.3

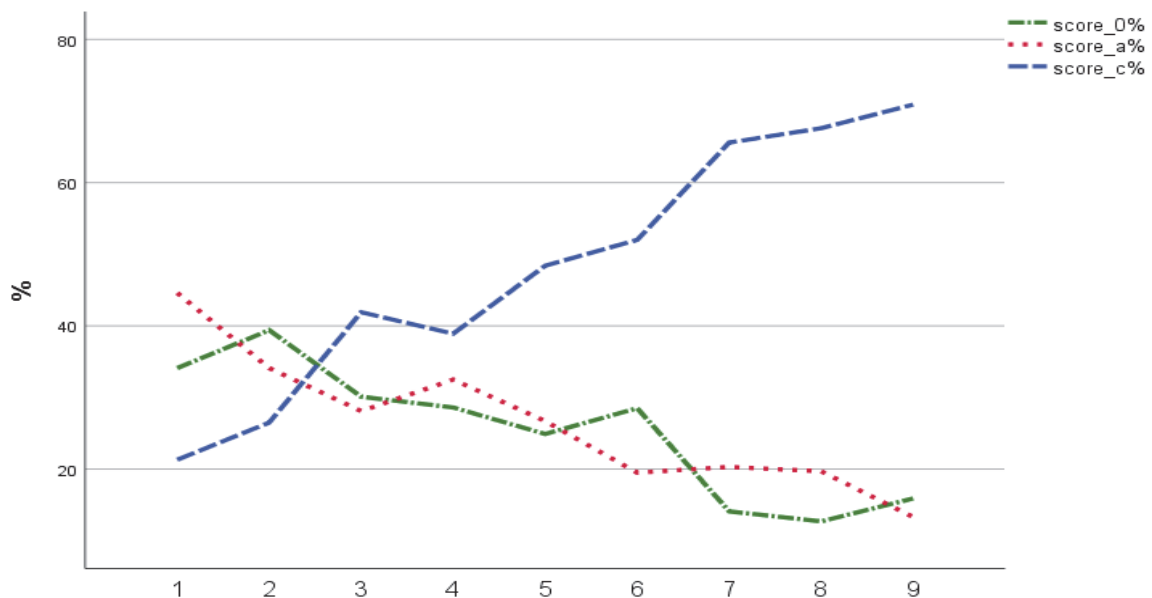


Abb. 7: Jahreszeitliche* Entwicklung der Prävalenz (in %) der modifizierten M-Stadien (Ma, Mc, M0) auf Einzeltierebene unter Berücksichtigung der schwerwiegendsten Merkmalskategorie. Die Zahlen auf der x-Achse beziehen sich auf die Jahreszeiten wie folgt: Winter 2015 (1), Frühling 2015 (2), Sommer 2015 (3), Herbst 2015 (4), Winter 2015/16 (5), Frühling 2016 (6), Sommer 2016 (7), Herbst 2016 (8) und Winter 2016 (9). Die y-Achse skaliert die Prozentwerte der drei Merkmalskategorien

Tab. 23: Jahreszeitlicher* Verlauf der Prävalenz der verschiedenen Merkmalkategorien des modifizierten M-Schemas der DD (Ma, Mc, M0) und von DD_{gesamt} auf Einzeltierebene. Die Häufigkeiten unter Berücksichtigung nur des jeweils schwerwiegendsten Scores beider Hintergliedmaßen sind wie folgt dargestellt: Winter 2015 (1), Frühling 2015 (2), Sommer 2015 (3), Herbst 2015 (4), Winter 2015/16 (5), Frühling 2016 (6), Sommer 2016 (7), Herbst 2016 (8) und Winter 2016 (9)

	M0 (%)	Ma (%)	Mc (%)	Prävalenz DD _{gesamt} (%)
1 Winter 2015	34,1	44,6	21,3	65,9
2 Frühling 2015	39,4	34,1	26,5	60,6
3 Sommer 2015	30,1	28,1	41,8	69,9
4 Herbst 2015	28,6	32,5	38,9	71,4
5 Winter 2015/16	24,9	26,7	48,4	75,1
6 Frühling 2016	28,5	19,5	52,0	71,5
7 Sommer 2016	14,1	20,3	65,6	85,9
8 Herbst 2016	12,7	19,7	67,6	87,3
9 Winter 2016	15,9	13,3	70,9	84,1

Tab. 24: Entwicklung der Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) auf Einzeltierebene im jahreszeitlichen Verlauf. Aufgeführt sind der Mittelwert, der Median, das Maximum und Minimum der jahreszeitlichen DD-Prävalenz auf Grundlage von einmal pro Monat am Außenmelkerkarussell durchgeführten Beobachtungen sowie die daraus ermittelten jahreszeitlichen Schwankungen, gesondert für Winter* und Sommer*.

Jahreszeitliche** DD-Prävalenz (%)			
Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
60,6	87,3	74,6	71,5
DD-Prävalenz Winter* (%)			
Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
64,1	84,2	73,6	74,3
DD-Prävalenz Sommer* (%)			
Minimum	Maximum	Mittelwert	Median
61,9	87,8	77,7	79,0

* Definition der jahreszeitlichen Kategorisierung bzw. der in den jeweiligen Kategorien enthaltenen Monate (s. S. 52, Kapitel 3.7.3)

** Durchschnittswerte aus allen neun Jahreszeitlichen Kategorien (s.a. Kapitel 3.7.3)

Im Sommer 2015 (3) konnte ein geringgradiger Abfall der Häufigkeit von Ma-Läsionen verzeichnet werden, der von einem erneuten leichten Anstieg im Herbst 2015 (4) gefolgt wurde.

Danach blieb die Anzahl an aktiven Läsionen weitestgehend konstant, mit Anteilen stets um die 20%. Im Winter 2016 (9) konnte schließlich ein weiterer Abfall auf etwa 13% festgestellt werden.

Auch bei der quartalsweisen Auswertung der modifizierten M-Stadien machte sich der stetige Anstieg chronischer Läsionen (Mc) im Verlauf bemerkbar. Der erste Anstieg fand im Sommer 2015 (3) statt, gefolgt von einer mildereren Zunahme im Frühling 2016 (6) und einer sprunghaften Erhöhung im Sommer 2016 (7). Auch in den drei folgenden Quartalen setzte sich der Aufwärtstrend sukzessive fort bis zu einer maximalen Prävalenz von 70,9% im Winter 2016. Der Anteil der aktiven Stadien (Ma) und der gesunden Unterfüße (M0) reduzierte sich im Gegenzug kontinuierlich mit zwischenzeitlichen, kleinen Anstiegen im Herbst 2015 (4) bzw. im Frühling 2016 (6) (Tab. 23; Abb. 7).

Vergleicht man die Prävalenz der Sommer- und Winterquartale miteinander, so zeigt sich kein deutlicher jahreszeitlicher Unterschied (Tab. 25). Auch bei statistischer Auswertung mittels T-Test bei gepaarten Stichproben ist der Unterschied zwischen der Prävalenz in den Wintermonaten und jener in den Sommermonaten nicht statistisch signifikant ($p = 0,102$).

4.3.4 Positive und negative prädiktive Werte (PPV, NPV)

Der positive prädiktive Wert (PPV) beschreibt den Anteil an korrekt mit DD (Ma+Mc) bzw. dem entsprechenden modifizierten M-Stadium diagnostizierten Klauen, in Abhängigkeit von der Prävalenz sowie der Sensitivität und Spezifität der angewandten Testmethode. Letztere Werte konnten im zweiten Teil der Studie zur Evaluierung der Treffsicherheit der Methode (4.2.5) ermittelt werden (s.a. Tab. 18). Der negative prädiktive Wert (NPV) gibt Auskunft über die korrekt als gesund (M0) diagnostizierten Klauen. Somit gilt es zu berücksichtigen, dass die tatsächliche Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) bzw. für die modifizierten Stadien Ma und Mc in Realität viel niedriger einzuschätzen ist als im Melkstand erhoben, da die Ergebnisse zum einen von der Zuverlässigkeit der Methode selbst abhängig sind und zum anderen von der Gesamtprävalenz bzw. der Prävalenz der einzelnen modifizierten M-Stadien beeinflusst werden.

PPVs und NPVs wurden für drei Kategorien auf Einzeltierebene berechnet: aktive DD-Läsionen (Ma), chronische DD-Läsionen (Mc) und DD_{gesamt} (Ma+Mc). Die errechneten positiven und negativen prädiktiven Werte sind in Tab. 25 aufgeführt und in den Abb. 8 und 9 als zeitlicher Verlauf illustriert.

Tab. 25: Prävalenz (in %), PPV, NPV für DD auf Einzeltierebene und auf Basis von Beobachtungen im Außenmelkerkarussell in monatlichen Intervallen. Die Ergebnisse werden gesondert für jede Merkmalskategorie der modifizierten M-Stadien der DD (Ma, Mc, M0) sowie für DD_{gesamt} (Ma+Mc) dargestellt.

Monat	Jan 15			Feb 15			Mär 15		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	35,9			32,1			33,2		
Ma	46,5	0,67	0,59	42,7	0,63	0,63	40,1	0,60	0,66
Mc	17,6	0,21	0,85	25,2	0,29	0,79	26,7	0,31	0,77
Prävalenz DD	64,1	0,81	0,64	67,9	0,84	0,60	66,8	0,84	0,61
Monat	Apr 15			Mai 15			Jun 15		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	39,2			45,4			38,1		
Ma	37,1	0,57	0,68	25,6	0,45	0,78	21,8	0,39	0,82
Mc	23,7	0,28	0,80	29,0	0,33	0,75	40,1	0,45	0,65
Prävalenz DD	60,8	0,80	0,67	54,6	0,75	0,72	61,9	0,80	0,66
Monat	Jul 15			Aug 15			Sep 15		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	25,4			28,1			29,8		
Ma	32,9	0,53	0,72	28,4	0,47	0,77	29,1	0,48	0,76
Mc	41,6	0,47	0,63	43,5	0,49	0,61	41,1	0,46	0,64
Prävalenz DD	74,5	0,88	0,51	71,9	0,87	0,55	70,2	0,85	0,57
Monat	Okt 15			Nov 15			Dez 15		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	30,9			25,2			27,6		
M2	31,9	0,52	0,73	36,5	0,57	0,68	30,1	0,50	0,75
Mc	37,2	0,42	0,68	38,2	0,43	0,67	42,3	0,47	0,63
Prävalenz DD	69,1	0,85	0,59	74,7	0,88	0,51	72,4	0,93	0,55
Monat	Jan 16			Feb 16			Mär 16		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	23,9			23,2			29,0		
Ma	23,6	0,42	0,80	26,2	0,45	0,78	20,1	0,36	0,84
Mc	52,5	0,58	0,52	50,6	0,56	0,54	50,9	0,56	0,54
Prävalenz DD	76,1	0,89	0,50	76,8	0,89	0,48	71,0	0,86	0,56
Monat	Apr 16			Mai 16			Jun 16		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	27,4			29,0			16,5		
M2	22,7	0,41	0,81	16,0	0,30	0,87	20,3	0,36	0,84
Mc	49,9	0,55	0,55	55,0	0,60	0,50	63,2	0,67	0,42
Prävalenz DD	72,6	0,87	0,54	71,0	0,86	0,56	83,5	0,93	0,39
Monat	Jul 16			Aug 16			Sep 16		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	12,3			13,3			9,60		
Ma	20,0	0,36	0,84	20,8	0,38	0,83	21,0	0,38	0,83
Mc	67,8	0,72	0,37	65,9	0,70	0,39	69,4	0,73	0,36
Prävalenz DD	87,8	0,95	0,32	86,7	0,94	0,32	90,4	0,96	0,26
Monat	Okt 16			Nov 16			Dez 16		
M-Stadium	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV	Präv.	PPV	NPV
M0	13,0			15,7			15,9		
Ma	15,8	0,30	0,87	22,1	0,39	0,82	13,3	0,26	0,89
Mc	71,2	0,75	0,34	62,3	0,66	0,43	70,9	0,75	0,34
Prävalenz DD	87,0	0,94	0,32	84,2	0,93	0,37	84,2	0,93	0,37

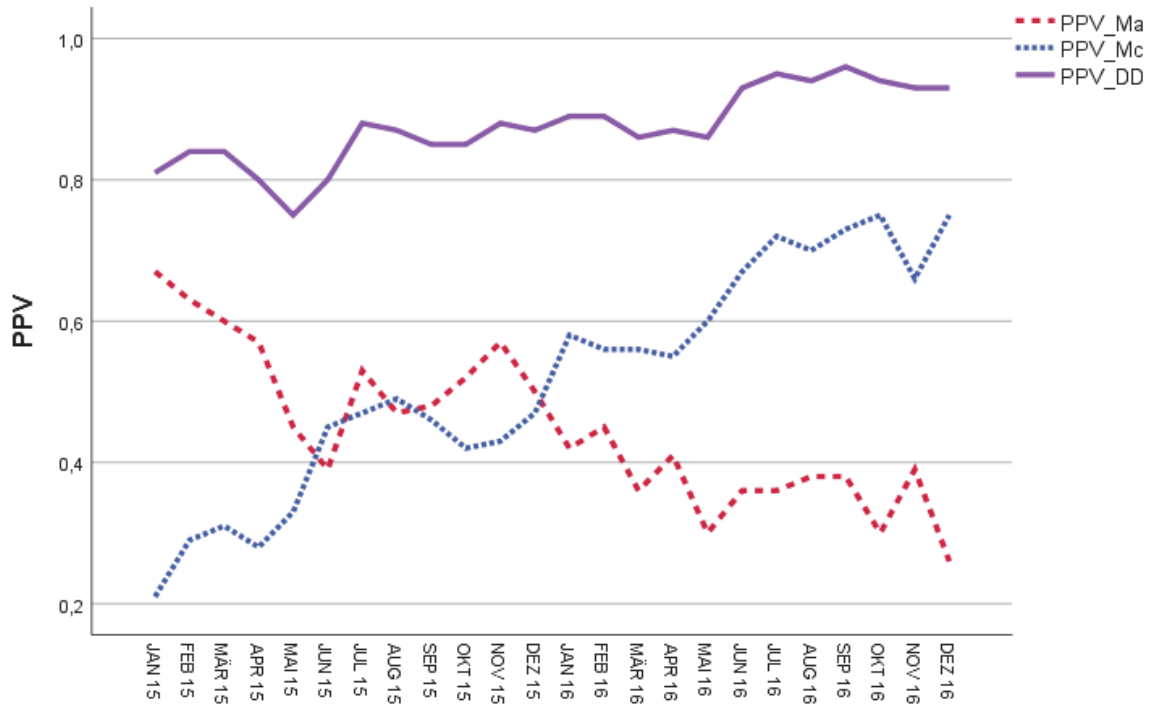


Abb. 8: Entwicklung der PPVs im Zeitverlauf über 24 Monate auf Einzeltierebene. Dargestellt sind Ergebnisse gesondert nach DD_{gesamt} (Ma+Mc; PPV_DD) sowie für die modifizierten Stadien Ma (PPV_Ma) und Mc (PPV_Mc).



Abb. 9: NPVs für die modifizierten M-Stadien im Verlauf von 24 Monaten, erhoben auf Einzeltierebene. In der Grafik ist der NPV für die Merkmalskategorien DD_{gesamt} (Ma+Mc; NPV_DD), Ma (NPV_Ma) und Mc (NPV_Mc) für jeden Beobachtungszeitpunkt im Außenmelkerkarussell über 24 Monate dargestellt.

Die PPVs für DD_{gesamt} blieben im Verlauf der 24 Monate stabil mit einem Mittelwert und Median von je 0,87 und einer vergleichsweise geringen Spannweite von 0,21 zwischen Maximum und Minimum (Tab. 26). Die PPVs für Mc-Läsionen stiegen hingegen über die Monate an, während sie für Ma-Läsionen sanken, was unter Berücksichtigung der jeweils hohen Prävalenz von Mc und der niedrigen Prävalenz von Ma zu bewerten ist.

Die NPVs für DD_{gesamt} sanken nach Topwerten im zweiten Quartal 2015 stetig ab. Der Median und der Mittelwert lagen jeweils bei 0,52. Das Maximum wurde im Mai 2015 erreicht. Die NPVs für Ma-Läsionen blieben im Gegenzug stabil auf einem hohen Level (Mittelwert: 0,77; Median: 0,79), während sie für Mc-Stadien bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes auf ein Minimum von 0,34 herabfielen.

Der mittlere NPV für aktive DD-Läsionen (Ma) ist hoch (Mittelwert: 0,77, Median: 0,79) und besagt, dass ungefähr Dreiviertel aller Kühe korrekterweise mit einer anderen Merkmalskategorie als Ma diagnostiziert wurden. Dieser Wert wird jedoch wie bereits erläutert stark durch die im Allgemeinen geringe Prävalenz von aktiven DD-Geschwüren (Ma) beeinflusst.

Der NPV für DD_{gesamt} weist einen Mittelwert von 0,51 bzw. einem Median von 0,55 auf, was bedeutet, dass etwa die Hälfte aller im Melkstand als gesund (M0) klassifizierten Kühe auch tatsächlich klinisch frei von DD waren. Gleiches gilt für das Vorliegen von Mc-Läsionen, für welche die NPVs nur geringfügig höher ausfielen.

Tab. 26: PPVs und NPVs für die DD-assoziierten Merkmalskategorien DD_{gesamt} (Ma+Mc), aktiv (Ma) und chronisch (Mc) auf Einzeltierebene. Tabellarische Übersicht über Minima, Maxima, Mittelwerte und Mediane.

	PPV			NPV		
	Ma	Mc	DD _{gesamt}	Ma	Mc	DD _{gesamt}
Minimum	0,26	0,21	0,75	0,59	0,34	0,26
Maximum	0,67	0,75	0,96	0,89	0,85	0,72
Mittelwert	0,45	0,52	0,87	0,77	0,57	0,51
Median	0,44	0,52	0,87	0,79	0,58	0,55

4.3.5 Persistenz von Merkmalskategorien bei Einzeltieren

Während der einmal pro Monat über einen Zeitraum von 2 Jahren erfolgten Datenerhebung im Außenmelkerkarussell wurde bei einer kleinen Anzahl an Kühen (n=28) festgestellt, dass diese über eine Periode von mindestens sechs Monaten beständig ein- und derselben Merkmalskategorie des modifizierten M-Schemas der DD (Ma, Mc, M0) zugeordnet wurden.

Diese Tiere wurden über noch längere Zeiträume beobachtet, jedoch entstanden währenddessen Lücken in der Beobachtung, da sie während der Trockenstehperiode oder aufgrund von Krankheit zeitweise nicht im Außenmelkerkarussell gemolken wurden.

In Tab. 27 sind diese Kühe inklusive der Anzahl verfügbarer, konstanter Beobachtungsergebnisse aufgelistet.

Zwei Kühe stachen mit durchgängig über sechs bzw. neun Monate bestehende Ma-Stadien heraus.

14 Kühe wiesen chronische Hautveränderungen an den Unterfüßen (Mc) für mindestens sechs, ein Tier sogar für zwölf Monate auf.

Zwölf Kühen präsentierten sich konstant mit gesunden Unterfüßen (M0). Die Hälfte der Tiere in der letztgenannten Gruppe war über einen enormen Zeitraum von elf bis 18 Monaten komplett läsionsfrei.

Tab. 27: Persistenz in Merkmalskategorien der DD. In der Tabelle sind Daten von 28 Einzeltieren aufgeführt (modifiziertes M-Stadium, Laktationsnummer), welchen unter Berücksichtigung nur der gravierendsten Merkmalsausprägung an den Hintergliedmaßen ($M_a > M_c > M_0$) an mindestens sechs aufeinanderfolgenden Beobachtungsterminen (n Scorings) am Außenmelkerkarussell ein- und dieselbe Merkmalskategorie zugeordnet wurde.

Kühe	M-Stadium (modifiziert)	Wechsel M-Stadium	n Scorings	Laktationsnummer
1	0	Nein	6	1
2	0	Nein	7	2
3	0	Nein	7	2
4	0	Nein	7	3
5	0	Nein	7	1
6	0	Nein	8	2
7	0	Nein	11	1
8	0	Nein	11	3
9	0	Nein	11	4
10	0	Nein	13	2
11	0	Nein	14	2
12	0	Nein	18	2
13	a	Nein	6	1
14	a	Nein	9	2
15	c	Nein	6	1
16	c	Nein	6	1
17	c	Nein	6	1
18	c	Nein	6	1
19	c	Nein	7	1
20	c	Nein	7	1
21	c	Nein	7	1
22	c	Nein	7	2
23	c	Nein	7	4
24	c	Nein	8	2
25	c	Nein	9	2
26	c	Nein	9	1
27	c	Nein	10	1
28	c	Nein	12	2

5 Diskussion

Die DD stellt weltweit ein großes Problem in der Milchkuhhaltung dar. Einmal in einen Betrieb eingeschleppt, wird die Krankheit endemisch und der Zustand der DD-Freiheit ist nach heutigem Kenntnisstand nicht mehr zu erzielen. Präventionsmaßnahmen richten sich daher auf die Beherrschung des endemischen Zustands durch Verhinderung von Ausbrüchen (ORSEL et al. 2018). Bekämpfungsmaßnahmen müssen auf mehreren Ebenen mittels kurz- und längerfristiger Strategien erfolgen, die vor allem die Biosicherheit betreffen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit einer Bekämpfungsmaßnahme, die sich kurzfristig in einem Betrieb implementieren lässt, nämlich dem Erkennen, Bonitieren und Dokumentieren an DD erkrankter Kühe. Dieses Vorgehen ermöglicht einerseits die Vermeidung von Schmerzen, Leiden und Schäden am Einzeltier, das beim Vorliegen einer akuten, schmerzhaften Läsion der DD (M2-Stadium) schnellstmöglich einer Behandlung zugeführt werden kann. Andererseits dient dessen regelmäßige Durchführung dazu, die DD-Prävalenz der verschiedenen M-Stadien zu ermitteln, um im Vorfeld eines drohenden Ausbruchs zusätzliche Maßnahmen zu ergreifen. Darüber hinaus erlaubt eine regelmäßige Beobachtung der Kühe deren Zuordnung zu „Kuh-Typen“, mit nachfolgender Abschaffung von „Typ III-Kühen“. Auf diese Weise kann es gelingen die Erkrankung in einem „kontrollierbaren Status“ (DÖPFER 2009) zu halten. Empfohlene Untersuchungsintervalle variieren zwischen wöchentlichen (HOLZHAUER et al. 2008) und dreiwöchigen Intervallen (DÖPFER et al. 2012). Bei größeren Abständen können Stadienwechsel der DD übersehen werden (HOLZHAUER et al. 2008).

Um solch eine Überwachung auf regelmäßiger Basis gewährleisten zu können, ist besonders in Großbetrieben die Einbindung des Betriebspersonals vonnöten sowie eine einfache, am Melkstand durchführbare, ausreichend zuverlässige Methode der Bonitierung von DD-Läsionen, die nach Möglichkeit nicht die Betriebsabläufe stört. Die Erfassung und Auswertung der Daten kann zudem heute bereits durch technische Hilfsmittel, wie z.B. eine App vereinfacht werden (TREMBLAY et al. 2016).

Angesichts steigender Betriebsgrößen und stärkerer Verbreitung von Melkkarussells, die die direkte Beobachtung der Unterfüße ermöglichen (YANG et al. 2017, CRAMER et al. 2018), sollte durch die vorliegenden Untersuchungen eine auf visueller Beobachtung im Außenmelkkerkarussell beruhende Scoring-Methode für DD-Stadien geprüft werden. Im Zuge der Untersuchungen wurde die Prävalenzentwicklung der verschiedenen Merkmalskategorien (modifizierte M-Stadien) der DD in ein- und demselben Betrieb über einen Zeitraum von zwei Jahren durch ebendiese Methode verfolgt, ohne dass außer in Form von Notfallbehandlungen bei Einzeltieren und dem zweimal pro Jahr erfolgenden Klauenschnitt der gesamten Herde durch

das Betriebsmanagement stringente Bekämpfungsmaßnahmen gegen DD (regelmäßiges Klauenbad oder Herdenbehandlungen) ergriffen wurden.

5.1 Einordnung des Betriebs

Der in Nähe der Klinik für Klautiere gelegene Studienbetrieb war in einem neu erbauten Stallgebäude untergebracht, in dem ein neues Außenmelkerkarussell installiert worden war. Obwohl zum Neubau ein automatisches Klauenbad gehörte, konnte dieses infolge zunächst nicht beherrschbarer technischer Störungen erst gegen Ende der Studie in Gebrauch genommen werden. Dadurch ergab sich die Möglichkeit, die natürliche Prävalenzentwicklung der DD durch monatlich über einen Zeitraum von zwei Jahren stattfindende visuelle Beurteilung der Unterfüße der Hintergliedmaßen in einem Großbetrieb mit 800 Kühen beobachten zu können. Dies war möglich, da im Betrieb über diesen Zeitraum neben Einzeltierbehandlungen und zweimaligem Herdenschnitt pro Jahr keine weiteren Maßnahmen zu Bekämpfung von DD durchgeführt wurden.

5.1.1 DD-Prävalenz auf dem Studienbetrieb

Die in der vorliegenden Studie auf Ebene der Hintergliedmaßen ermittelte DD-Prävalenz von 70,6% liegt über jener von SOLANO et al. (2017) auf neun Betrieben erhobenen von 57,3% (Konfidenzintervall: 56,1-58,4). Ältere Studien beschrieben hingegen deutlich niedrigere Werte von durchschnittlich 27% (THOMSEN et al. 2008) oder 45% (RELUN et al. 2011). Die letztgenannten Werte wurden in drei respektive vier Herden erhoben. In der Literatur finden oft nur die Hintergliedmaßen bei der Bonitierung der DD Berücksichtigung, da sie im Vergleich zu den Vordergliedmaßen dort gehäuft auftritt (RELUN et al. 2011, SOLANO et al. 2017). RODRIGUEZ-LAINZ et al. (1998) untersuchten alle vier Gliedmaßen und fanden 97% der Läsionen an den Hintergliedmaßen. Oft wird die Prävalenz auf Tierebene angegeben und liegt daher unter den vorher genannten Prozentwerten. So beschrieben CAPION et al. (2008) beispielsweise eine DD-Häufigkeit von 22% auf Kuhebene, bei insgesamt 6420 untersuchten Tieren. Für Europa und die USA wurden innerhalb verschiedener Herden Prävalenzen zwischen 20 und 30% angegeben (NIELSEN et al. 2012). Neben der Bezugsgröße, also Gliedmaße, Kuh oder Herde, muss beim Vergleich von Prävalenzen darauf geachtet werden, welche Art von Läsionen bzw. welche DD-Stadien in die Berechnung mit eingeflossen sind. Oft wurden

nur akute Läsionen berücksichtigt, während chronische Veränderungen unberücksichtigt blieben, wodurch die DD-Prävalenz generell niedriger eingeschätzt wurde, als es in Realität der Fall war (KRULL et al. 2016).

Es werden zahlreiche Risikofaktoren beschrieben, die sich auf die Prävalenz von DD auswirken können (s. 2.1.2.3) und, die auch auf dem Studienbetrieb eine wichtige Rolle spielen. Deren Bedeutung soll an späterer Stelle im Zusammenhang mit der Prävalenzentwicklung der DD auf dem Betrieb noch detaillierter besprochen werden (s. 5.3.5).

5.1.2 Tierzahl

Bei Anwendung eines diagnostischen Testverfahrens ist es von Belang, ob die Art der Ausführung und die erzielten Ergebnisse von dem Individuum, das den Test durchführt, abhängen (Interobserver-Übereinstimmung) und, ob ein- und derselbe/dieselbe BeobachterIn bei wiederholter Ausführung zum identischen Ergebnis kommt (Intraobserver-Übereinstimmung). Um die Inter- und Intraobserver-Übereinstimmung der BeobachterInnen für die Anwendung der zu evaluierenden DD-Scoring-Methode zu ermitteln, wurden insgesamt 416 Kühe im Außenmelkerkarussell untersucht. Aufgrund der Tatsache, dass beide Hintergliedmaßen einer Kuh beurteilt werden mussten, konnten für jeden Beobachter/ jede Beobachterin insgesamt Beurteilungen von 822 Unterfüßen (Gliedmaßen unter Verband konnten nicht beurteilt werden) in die Auswertungen mit einbezogen werden. Die Anzahl Kühe ist vergleichbar mit früheren Studien zur DD-Bonitierung in Melkständen unterschiedlicher Konstruktion, in welchen Tierzahlen zwischen 80 und 393 Kühen untersucht wurden (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, THOMSEN et al. 2008, RELUN et al. 2011, STOKES et al. 2012). In aktuelleren Studien wurden Daten von Beobachtungen an einer größeren Anzahl Tiere (bis zu 4500 Kühe) und Betriebe einbezogen (OLIVEIRA et al. 2017, SOLANO et al. 2017). OLIVEIRA et al. (2017) führten im Gegensatz zu allen vorher genannten Studien allerdings keinen Vergleich mit der zeitintensiven Goldstandardmethode im Klauenstand durch, sondern verglichen nur gereinigte mit ungereinigten Klauen im Melkstand.

Da in der vorliegenden Studie eine hohe Anzahl Tiere regelmäßig und über einen langen Zeitraum ohne Änderungen in den Haltungsbedingungen und ohne Anwendung eines Klauenbades boniert werden sollten, wurde sich aufgrund des mit den Beobachtungen verbundenen Zeitaufwandes für die Einbindung nur dieses einen Betriebes entschieden (s.a. 5.1).

5.1.2.1 Ausschlusskriterien

Bei einer Anzahl von maximal sechs Kühen (1,44%) bzw. einer ihrer Hintergliedmaßen war die visuelle Beurteilung der Unterfüße, insbesondere des Zwischenzehenspalt nicht möglich. Dabei handelte es sich zu 50 bis 75% in jedem Durchgang um dieselben Kühe, die beispielsweise zu lange Klauen hatten, wodurch der Ballenbereich sehr tief lag. Aufgrund dieser Durchtrittigkeit stellte sich die Bonitierung solcher Unterfüße als problematisch dar (SOLANO et al. 2017). Diese Fehlstellung machte es nahezu unmöglich, den Interdigitalspalt gründlich zu inspizieren, weshalb solche Unterfüße auch in der vorliegenden Arbeit als „nicht beurteilbar“ bewertet wurden und bei der Auswertung der Daten keine Berücksichtigung fanden.

Unter diesen Prozentsatz fielen auch Gliedmaßen, an welchen im Vorfeld aufgrund einer Klauenerkrankung ein Klauenverband angelegt wurde (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998), oder extrem verschmutzte Unterfüße (maximal 0,72%), an denen die Haut nicht beurteilbar und somit keine Bonitierung möglich war (RELUN et al. 2011).

In diesem Größenrahmen bewegte sich der Prozentsatz ausgeschlossener Tiere auch bei der Langzeituntersuchung zur Prävalenzentwicklung der DD. In diesem Studienteil wurde die DD auf Tierebene erhoben und eine Kuh somit nur ausgeschlossen, wenn an keiner der beiden Hintergliedmaßen eine Merkmalskategorie erhoben werden konnte. Da der Anteil Kühe, die nicht beurteilt werden konnten sehr gering ist, hat dies keinen Einfluss auf die Durchführbarkeit der Methode und die damit ermittelten Resultate. Die Ausschlusskriterien werden jedoch von äußeren Faktoren, wie der Unterfußhygiene und dem Herdenschnitt beeinflusst, sodass durchaus Schwankungen auftreten können. Vor dem Klauenschnitt können beispielsweise vermehrt durchtrittige Kühe vorgefunden werden und nach dem Herdenschnitt evtl. gehäuft Tiere mit Verbänden an mindestens einer Gliedmaße. Dies machte sich in den vorliegenden Untersuchungen zur Langzeitprävalenz-Entwicklung nicht bemerkbar.

5.1.3 Visuelle Beurteilung am Außenmelkerkarussell

Als Goldstandard für die visuelle Beurteilung der verschiedenen M-Stadien der DD gilt die Beobachtung des gereinigten Unterfußes an der aufgehobenen Gliedmaße im Klauenstand. Zwecks Erfassung des mitunter sehr kleinen DD M1-Stadiums ist die Verwendung einer Spezialzange notwendig, mit deren Hilfe die Haut im Zwischenzehenspalt einsehbar gemacht wird (ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS 2020a). Aufgrund des hohen Arbeitsaufwandes und des mit der Manipulation im Klauenstand für das Tier verbundenen Stresses (PESENHOFER et al. 2006) kann diese Art der Beurteilung nicht in kurzen Zeitabständen wiederholt werden. Deshalb wurden andere Methoden zur Beurteilung der M-Stadien

der DD geprüft. Diese umfassen die visuelle Beobachtung, die Infrarotthermographie (ALSAAOD et al. 2014) und die Fotodokumentation im Melkstand. Die Grube des Melkstands, in der die Melker tätig sind, erlaubt die Beobachtung der Unterfüße während der Melkarbeit. WissenschaftlerInnen, die Beobachtungen in einem Fischgrätenmelkstand durchführten, beschrieben Schwierigkeiten bei den Beobachtungen, die auf die schräge Positionierung der Kühe im Verhältnis zum Beobachter zurückgeführt wurden. Teile des Unterfußes und des Interdigitalspaltes entzogen sich entweder gänzlich der Sicht der beobachtenden Person, oder die Distanz zwischen BeobachterIn und weiter entfernter Gliedmaße wurde zu groß, um eine sichere Beurteilung abgeben zu können (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, THOMSEN et al. 2008, CRAMER et al. 2018). Nach Auffassung dieser Autoren können durch die schräge Anordnung der Kühe Läsionen übersehen oder Dimensionen unterschätzt werden. Dennoch war die Sensitivität für das Erkennen von DD im Fischgrätenmelkstand bei THOMSEN et al. (2008) mit 0,84 höher als in den Vergleichsherden mit Side-by-Side-Melkstand (0,68) oder Melkkarussell (0,58). CRAMER et al. (2018) fanden keine nennenswerten Unterschiede bezüglich der Sensitivität für die Bonitierung in drei verschiedenen Melkstandstypen (Fischgräten-, Side-by-Side-Melkstand, Melkkarussell).

Ungünstige Lichtverhältnisse im Melkstand, die die Beobachtungen erschweren, ließen sich in diesen Studien durch Zuhilfenahme einer einfachen Taschenlampe oder Kopflampe ausgleichen (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998).

Das auf dem Studienbetrieb betriebene Melkkarussell Xcalibur 360EX (BouMatic, Madison, WI, USA) bietet mit seinen 50 Melkplätzen und einem Durchsatz von etwa 100 Kühen pro Stunde im Vergleich zu anderen, weniger effizienten Melksystemen (KÜHBERGER 2010), gute Voraussetzungen, um in kurzer Zeit eine Vielzahl Unterfüße visuell zu beurteilen. Dabei wurde die Arbeit der MelkerInnen nicht gestört. Nimmt die Beobachtung mehr Zeit in Anspruch, kann der Untersucher noch einige Schritte mit dem Tier im Melkstand mitgehen. Ein Nachteil von Beobachtungen am Außenmelkkerussell ist die Tatsache, dass die Unterfüße der Vordergliedmaßen aufgrund des großen Abstands zum Beobachtenden nicht beurteilt werden können.

Am Außenmelkkerussell befinden sich die Unterfüße der Hintergliedmaßen, an welchen DD-Läsionen häufiger vorzufinden sind als an den Vordergliedmaßen (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, RELUN et al. 2011, SOLANO et al. 2016), nahezu auf Augenhöhe der Beobachtenden. Mit gewissen Einschränkungen kann auch die Haut des Zwischenklauenbereichs ohne spezielle Hilfsmittel zumindest teilweise inspiziert werden, da der/die BeobachterIn den Zwischenklauenspalt einsehen und gegebenenfalls mit einer Taschenlampe ausleuchten kann. Auch in

der Literatur wird ein Melkkarussell bzw. ein Melkstand in dem die Tiere parallel nebeneinander stehen mit dem Beobachtenden direkt dahinter positioniert (z.B. Side-by-Side-Melkstand), als ideal für die Durchführung von Melkstand-Bonitierungen ohne den Einsatz eines Handspiegels bewertet (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, THOMSEN et al. 2008, YANG et al. 2017).

5.2 DD-Scoring im Außenmelkerkarussell ohne Vorreinigung der Klauen

Im Folgenden werden die Treffsicherheit und die Objektivierbarkeit der vorgeschlagenen Scoring-Methode am Außenmelkerkarussell und deren Eignung für die Anwendung durch MitarbeiterInnen in Milchkuhhaltungen diskutiert.

5.2.1 Modifikation des M-Schemas nach Döpfer

Das Studiendesign sah vor, DD-Läsionen an den Unterfüßen von Rindern möglichst präzise zu klassifizieren. In der Referenzliteratur findet hierfür zumeist das M-Schema nach DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) Anwendung. Demnach werden die DD-assozierten Hautveränderungen fünf bzw. sechs verschiedenen sogenannten M-Stadien zugeordnet (s.a. 2.1.1.1) (RELUN et al. 2011, OLIVEIRA et al. 2017, SOLANO et al. 2017). Frühere Arbeiten unterscheiden frühe, klassische und papillomatöse Läsionen (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998) oder fokussierten sich verstärkt auf die Erscheinungsformen akuter Läsionen durch die Anwendung des Systems von MANSKE et al. (2002) (THOMSEN et al. 2008).

RELUN et al. (2011) führten für ihre Untersuchungen im Melkstand leichte Modifizierungen am klassischen M-Schema durch, indem sie das M3- und das M4-Stadium zusammenfassten, da sie zwischen diesen beiden Ausprägungen die meisten Missklassifikationen ermittelten. Der Verschmutzungsgrad der Unterfüße spielte dabei eine maßgebliche Rolle. Da das M3-Stadium lediglich als kurzes Übergangsstadium zum M4-Stadium angesehen wurde, stellte diese Zusammenführung von M-Stadien bezüglich der Infektiosität und der klinischen Erscheinungen keinen Informationsverlust dar. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde diese Modifikation des klassischen M-Schemas auch in der vorliegenden Arbeit vorgenommen. SOLANO et al. (2017) und THOMSEN et al. (2008) verzeichneten trotz gründlicher Vorreinigung der Klauen vor Betreten des Melkstandes Probleme bei der genauen Klassifizierung von DD-Läsionen. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich bei der Diagnostik von Defekten minimaler Ausdehnung (M1, M4.1) und des Heilungsstadiums (M3). MANSKE et al. (2002) unterschieden die

DD nach sechs Kategorien, wobei „0“ der gesunden Haut entsprach, „5“ das Stadium der Abheilung charakterisierte und die übrigen vier Stadien („1“ bis „4“) letztendlich verschiedene Ausprägungen bzw. Verlaufsstadien der akuten Läsionen beschrieben.

Die in dieser Arbeit angewendeten drei Merkmalskategorien (M0, Ma, Mc) in Form eines modifizierten M-Schemas beruhen dementsprechend auf den Erkenntnissen von Vorläuferarbeiten (s. Tab. 4), wonach nur noch zwischen aktiven und chronischen Läsionen sowie gesunder Haut unterschieden wird. Durch diese Vereinfachung des M-Schemas sollten Missklassifikationen kleiner Läsionen wie bei SOLANO et al. (2017) reduziert werden, da sich das Erkennen solcher Stadien in den zuvor genannten Untersuchungen trotz angewandter Hilfsmittel (Vorreinigung, Teleskopspiegel) bereits als problematisch entpuppte.

Wie in anderen Studien sollte die Scoring-Methode auch hinsichtlich ihrer Eignung DD generell (DD_{gesamt} bzw. $Ma+Mc$), unabhängig von M-Stadium bzw. der Merkmalskategorie zu erkennen, evaluiert werden (RELUN et al. 2011, SOLANO et al. 2017, CRAMER et al. 2018). Dazu wurden alle Merkmalskategorien mit klinischen, DD-assoziierten Hautveränderungen ($Ma+Mc$) zu DD_{gesamt} zusammengefasst.

5.2.2 Einordnung des Zeitaufwandes der Scoring-Methode

Im Durchschnitt benötigte jede/r BeobachterIn in der vorliegenden Arbeit in etwa vier Sekunden für die gründliche Inspektion eines Unterfußes am Außenmelkerkarussell Melkstand. Daraus ergab sich eine gesamte Untersuchungszeit von weniger als zehn Sekunden pro Kuh, was schneller ist, als die von THOMSEN et al. (2008) sowie OLIVEIRA et al. (2017) angegebenen 15 Sekunden. RODRIGUEZ-LAINZ et al. (1998) benötigten für die Bonitierung gereinigter Unterfüße in diversen Melkstandtypen durchschnittlich zwei Minuten pro Kuh, inspizierten jedoch auch die Vordergliedmaßen. RELUN et al. (2011) gaben unter Verwendung eines Teleskopspiegels einen Zeitraum von 30 bis 60 Sekunden an. Bei CRAMER et al. (2018) wurden die Beobachtungszeiten nicht explizit erhoben, variierten aber nach Einschätzung der Autoren zwischen zehn und 90 Sekunden, wobei die Bonitur im Melkstand im Vergleich zu anderen Orten (Laufgang, Treibegang, Fressfanggitter) am schnellsten durchführbar war. STOKES et al. (2012) hatten für die Beurteilung der Unterfüße im Melkstand mittels Endoskop einen Zeitrahmen von sieben Minuten pro Tier veranschlagt, was der durchschnittlichen Aufenthaltszeit einer Kuh im Fischgrätenmelkstand entsprach. In allen anderen Studien, finden sich keine Angaben bezüglich der Untersuchungszeit (DUTTON-REGESTER et al. 2018).

Aus diesen Vergleichen wird ersichtlich, dass die verwendete Scoring-Methode in einem akzeptablen Zeitrahmen durchführbar ist. Es lässt sich innerhalb kurzer Zeit eine große Anzahl

Tiere auf das Vorhandensein von DD-assoziierten Hautveränderungen untersuchen. Folglich ist die Methode diesbezüglich für serielle Beobachtungen in Großbetrieben mit Außenmelkerkarussellen gut geeignet.

5.2.3 Verblindung der Beobachtungen

Eine Verblindung der vorliegenden Untersuchungen bestand weder bei der Inspektion der Unterfüße im Melkstand noch bei der anschließenden Bonitur im Klauenstand, da die BeobachterInnen zu jedem Zeitpunkt auf die Ohrmarkennummern der Tiere Zugriff haben konnten. Somit bestand generell die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die Scoring-Ergebnisse der vorherigen Beobachtungen zu ziehen. Aufgrund der hohen Tierzahl von knapp über 400 bzw. von über 800 Hintergliedmaßen, schien es jedoch nahezu unmöglich, dass sich die BeobachterInnen an die Befunde der jeweiligen Tiere erinnern konnten. Außerdem variierte die Reihenfolge der Tiere im Melkstand zwischen den Durchgängen. Die Selektion der Tiere, die im Anschluss noch im Klauenstand inspiziert werden sollten, erfolgte ohne Kenntnis der BeobachterInnen durch den an den Untersuchungen komplett unbeteiligten Herdenmanager. Demzufolge ist eine Beeinflussung der Ergebnisse in Ermangelung einer Verblindung der BeobachterInnen nahezu ausgeschlossen. Das Prozedere entspricht dem bei THOMSEN et al. (2008) beschriebenen Vorgehen und fand auch in Nachfolgestudien Anwendung (OLIVEIRA et al. 2017).

5.2.4 Treffsicherheit der Methode im Spiegel der Literatur

Die Genauigkeit der Beobachtungen am Außenmelkerkarussell in Bezug auf das Erkennen von DD_{gesamt} (Ma+Mc) ohne Vorreinigung der Klauen ist mit einer Sensitivität von 0,78 relativ hoch und übertrifft sogar Ergebnisse von Studien zur Melkstand-Bonitur von DD-Läsionen aus der Vergangenheit, bei denen ebenfalls keine Hilfsmittel wie Spiegel oder Endoskope zum Einsatz kamen, jedoch eine Vorreinigung der Unterfüße mit Wasser erfolgte. Hier wurden Sensitivitäten von 0,65 bzw. 0,72 ermittelt (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, THOMSEN et al. 2008). Bei CRAMER et al. (2018) wurde für das Erkennen von DD-Läsionen größer als das M1-Stadium im Melkkarussell ebenfalls eine Sensitivität von 0,78 bestimmt, was somit den Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit entspricht. SOLANO et al. (2017) und RELUN et al. (2011) erreichten mit Teleskopspiegeln und Vorreinigung der Klauen eine Sensitivität von 0,92 bzw. 0,90. Durch die Anwendung eines Endoskops zur Inspektion der Unterfüße im Melkstand konnte in einer Vergleichsstudie sogar eine Sensitivität von 1 erreicht werden (STOKES et al. 2012).

OLIVEIRA et al. (2017) verfolgten einen ähnlichen Ansatz wie die vorliegende Studie. Sie wollten überprüfen, ob DD zuverlässig in einem Melkstand ohne vorherige Reinigung der Unterfüße erkannt werden kann. Im Gegensatz zur vorliegenden Untersuchung zogen sie nicht die Untersuchung der Unterfüße im Klauenstand als Goldstandard heran, sondern verglichen die Ergebnisse der Bewertung an verschmutzten Unterfüßen im Melkstand mit jenen eines erneuten Melkstand-Scorings an gereinigten Klauen. Insgesamt wurden auf diese Weise 4510 Kühe auf 22 Betrieben in nicht näher definierten Melkständen auf das Vorhandensein von DD-assoziierten Hautveränderungen untersucht, wobei alle klinischen Ausprägungen des M-Schemas von DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) von M1 bis M4.1 als „DD-positiv“ gewertet und dem M0- Stadium („DD-negativ“) gegenübergestellt wurden. Die Datenlage zeigte, dass mit Vorreinigung etwa 32% mehr DD-Läsionen entdeckt werden konnten als ohne. Da kein Vergleich mit dem Goldstandard durchgeführt wurde, wurden keine Sensitivitäts-Parameter ermittelt, die mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit verglichen werden könnten. Allerdings legten die Untersuchungen von OLIVEIRA et al. (2017) die Problematik der Bonitur an verschmutzten Unterfüßen offen, welche auch die Resultate der vorliegenden Studie beeinflusste (Erklärung siehe 5.2.1).

Beim Anlegen strengerer Kriterien, nämlich die Differenzierung in aktive (Ma) und chronische (Mc) Läsionen der DD, betrug die jeweilige Sensitivität bei der Beobachtung an nicht vorgereinigten Klauen im Außenmelkerkarussell lediglich 0,32 für Ma- und 0,57 für Mc-Stadien und war somit deutlich niedriger angesiedelt als für DD_{gesamt} . Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch SOLANO et al. (2017), die für die Beurteilung von gereinigten Unterfüßen im Melkstand mittels Handspiegel eine Sensitivität von 0,62 für das Erkennen von M2-Läsionen und von 0,82 für M4-Stadien ermittelten. In jener Arbeit wurde allerdings nach dem vollständigen M-Schema von DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) bonitiert und somit auch kleinere Läsionen (M1, M4.1) und das Heilungsstadium M3 berücksichtigt. Hierfür lag die Sensitivität jeweils bei lediglich 0,20, 0,07 bzw. 0. Diese Ergebnisse machen die Problematik hinsichtlich der Diagnostik kleiner DD-assoziiertes Hautveränderungen im Melkstand ersichtlich, die trotz vermeintlich idealer Bedingungen durch Vorreinigung der Unterfüße und des Einsatzes eines Teleskopspiegels nicht zuverlässig möglich war. Auch CRAMER et al. (2018) stellten fest, dass die Treffsicherheit einer Methode zunahm, je einfacher die Beurteilungskriterien formuliert wurden. So stieg die Übereinstimmung mit dem Goldstandard von „ausreichend“ ($\kappa = 0,19 - 0,31$) auf „mittelmäßig“ bis „beachtlich“ ($\kappa = 0,48 - 0,70$) an, wenn lediglich zwischen der An- und Abwesenheit von DD-Läsionen unterschieden werden sollte. Ähnlich verhielt es sich auch in der vorliegenden Arbeit, in der die κ -Koeffizienten von 0,14 bis 0,34 für die drei Merkmalskategorien (M0, Ma, Mc) auf 0,32 bis 0,52 für lediglich zwei Kategorien (M0, Ma+Mc) anstiegen. THOMSEN et al. (2008) wandten zwar ein anderes Scoring-Schema (nach

MANSKE et al. (2002)) im Melkstand an, kamen aber ebenfalls zu dem Schluss, dass die Sensitivität bei der Differenzierung nach kleinen bzw. großen DD-Läsionen mit 0,57 zu 0,69 für kleine Läsionen geringer war. THOMSEN et al. (2008) unterschieden nur zwischen kleinen und großen Läsionen, differenzierten jedoch nicht nach dem Charakter der Hautveränderung. Somit waren hier zwar die Untersuchungsbedingungen, mit Ausnahme der Vorreinigung, weitestgehend identisch, aber nicht die Beurteilungskriterien. Dass die Sensitivität bei SOLANO et al. (2017) für das Erkennen akuter (M2 bzw. Ma) und chronischer Läsionen (M4 bzw. Mc) höher als in der vorliegenden Arbeit und bei CRAMER et al. (2018) ausfiel, ist darauf zurückzuführen, dass durch die Vorreinigung der Unterfüße und den Einsatz eines Spiegels idealere und somit nicht hundertprozentig vergleichbare Untersuchungsbedingungen vorherrschten. Jedoch kostet die Anwendung des Spiegels mehr Zeit und könnte aus diesem Grund für Mitarbeiter eines landwirtschaftlichen Betriebs wenig attraktiv sein.

Wie bereits erläutert, wurde durch die vorliegenden Untersuchungen deutlich, dass die Beobachtungen im Melkstand durch die Verschmutzung der Unterfüße bei fehlender Vorreinigung erheblich beeinflusst wurden. Diese Problematik zeigte sich bereits beim generellen Erkennen von DD-assoziierten Hautveränderungen (OLIVEIRA et al. 2017) und erschwerte noch viel mehr eine detaillierte Zuordnung der Läsionen zu den M-Stadien nach DÖPFER et al. (1997) bzw. zu den Merkmalskategorien des modifizierten M-Schemas in dieser Arbeit oder bei CRAMER et al. (2018). Der dem Unterfuß anhaftende Schmutz kann mit den Krusten des M3-Stadiums verwechselt werden oder die Sicht auf darunter vorhandene andere M-Stadien behindern. Wenn eine Läsion entdeckt wurde, konnte es darüber hinaus noch immer schwierig sein, diese der aktiven (Ma) oder der chronischen Merkmalskategorie (Mc) des modifizierten M-Schemas zuzuordnen, da die Geschwüre der akuten Läsionen – wie die nachträgliche Beurteilung im Klauenstand zeigte – häufiger von einem gelblich-schmierigen Belag (Exsudat) bedeckt waren (NORDHOFF und WIELER 2005). Dadurch kann es zu Verwechslungen mit dem chronisch-hyperkeratotischen Stadium kommen, was wiederum zur fälschlichen Zuordnung der Läsionen zum chronischen Stadium der DD (Mc) führen kann. Ohne vorherige Reinigung des Unterfußes und Berührung (akute Läsionen sind schmerzhaft) ist demzufolge eine exakte Zuordnung der Läsionen zur jeweiligen Merkmalskategorie an stark verschmutzten Gliedmaßen nicht sicher möglich. Zu ähnlichen Schlussfolgerungen kamen auch SOLANO et al. (2017).

Dass kleinere DD-Läsionen wie M1 und M4.1 unter Zuhilfenahme von Hilfsmitteln im Melkstand erkannt werden können, reflektieren die höheren Sensitivitäten solcher Studien, in denen Spiegel oder Endoskope zum Einsatz kamen (RELUN et al. 2011, STOKES et al. 2012, SOLANO et al. 2017). Allerdings gilt zu berücksichtigen, dass STOKES et al. (2012) zum einen

ein anderes Bewertungsschema für DD anwandten, wonach Läsionen bezüglich ihres Erscheinungsbildes (Entzündungscharakter, Farbe, Tiefe, Größe) beurteilt wurden, und zum anderen war die Untersuchungszeit mit ca. sieben Minuten pro Tier sehr lange, was eine präzise Diagnosestellung mittels Endoskop ermöglichte. Demnach ist diese Methode zwar sehr zuverlässig, was jedoch nicht die langen Untersuchungszeiten pro Tier und das teure Equipment aufwog. Eine störungsfreie Durchführung durch Betriebsmitarbeitende im Melkstand ist mit dieser Methode kaum vorstellbar, da der Umgang mit einem Endoskop und die Beurteilung der Bilder ein gewisses Maß an Spezialwissen und Erfahrung voraussetzen. Die Untersuchungen von CRAMER et al. (2018) verfolgen einen sehr ähnlichen Ansatz wie unsere Studie, da sie ihre Beobachtungen an nicht gereinigten Klauen durchführten. Sie verglichen die Bonitierung von DD-Stadien in drei verschiedenen Melkstandtypen (Side-by-Side, Fischgrätenmelkstand, Melkkarussell), im Fressfanggitter, im Lauf- und im Treibegang mit dem Goldstandrad. Es wurden Daten auf 17 Betrieben und an 552 Tieren erhoben, deren Hintergliedmaßen jeweils nach dem klassischen M-Schema nach DÖPFER et al. (1997) und einer vereinfachten Variante (Anwesenheit versus Abwesenheit von DD) beurteilt wurden. Auch hier zeigte sich anhand der ermittelten Sensitivitäten $<0,70$ und Spezifitäten $>0,90$, dass sich die Differenzierung von M-Stadien ohne Vorreinigung und Hilfsmittel außerhalb des Klauenstands schwierig gestaltete. Am besten schnitten die Bewertungen am Melkstand und an im Fressfanggitter fixierten Kühen ab.

Die zu untersuchende Scoring-Methode der vorliegenden Arbeit ist zusammengefasst weniger treffsicher als Methoden, bei denen eine Vorreinigung der Klauen stattfindet und Hilfsmittel zum Einsatz kommen, dafür ist sie aber einfach und schnell durchführbar und interferiert nicht mit den Betriebsabläufen im Melkstand. Auch für die Kühe entsteht keine zusätzliche Stresssituation, wie es bei der Goldstandard-Methode im Klauenstand der Fall ist (PESENHOFER et al. 2006). Die Treffsicherheit genügt, um einen Überblick über die generelle Prävalenz von DD in einer Herde zu erhalten und deren Verlauf z.B. unter Therapie- bzw. Prophylaxemaßnahmen zu kontrollieren. Der Erfolg einer gezielten Selektion von Kühen mit akuten Läsionen zur Behandlung im Klauenstand hängt von dem Verschmutzungsgrad der Unterfüße ab. Angesichts starker Verschmutzung würden zu viele Tiere fälschlicherweise in den Klauenstand verbracht werden, was wiederum unnötige Arbeit und vermeidbaren Stress für die Tiere verursacht. Diese These unterstützen auch CRAMER et al. (2018). Die beschriebenen Verfahren mit Vorreinigung der Klauen und der Anwendung von Teleskopspiegeln stellen eine optimierte Version der vorliegenden Methode dar, die, wie aus den höheren Sensitivitäten ersichtlich wird, noch zuverlässigere Ergebnisse liefert und zudem eine weitestgehend sichere Differenzierung von Läsionen zulässt. Die Untersuchungszeiten sind nur geringfügig länger als bei Methoden ohne Hilfsmittel. Zur Prävalenzbestimmung und -überwachung auf Betriebsebene

ist ein Vorgehen wie in der vorliegenden Arbeit folglich durchaus adäquat, für präzisere Untersuchungen sollten Vorreinigung und Teleskopspiegel ergänzend zum Einsatz kommen (CRAMER et al. 2018).

5.2.5 Objektivierbarkeit der Methode

Zur Beurteilung, ob die Scoring-Methode für DD im Außenmelkerkarussell an ungereinigten Unterfüßen geeignet ist reproduzierbare und objektivierbare Ergebnisse zu liefern, wurden Resultate der Beobachtungen von insgesamt fünf BeobachterInnen miteinander verglichen (Interobserver-Übereinstimmung). Zudem wurden die Bonitierung im Melkstand am Folgetag wiederholt und die Ergebnisse von beiden Beobachtungen für jeden Beobachter/ jede Beobachterin zueinander in Relation gesetzt (Interobserver-Übereinstimmung). Insgesamt wurden die Merkmalskategorien für DD von 822 Unterfüßen an beiden Beobachtungszeitpunkten für die Berechnungen herangezogen. Alle Bewertungen erfolgten sowohl unter Berücksichtigung von drei (M0, Ma, Mc) als auch von zwei Merkmalskategorien (M0, Ma+Mc).

Die fünf BeobachterInnen wiesen verschiedene Erfahrungsgrade bezüglich des Erkennens von DD-Läsionen im Melkkarussell auf (s. Tab. 3), wurden jedoch vorher gemeinsam hinsichtlich der Methodik geschult (s. 3.4.1). Durch diese Zusammensetzung des Beobachtungsteams sollte herausgearbeitet werden, ob die Vorkenntnisse einen Einfluss auf die Ergebnisse der Bonitierung haben und, ob sich ein Lerneffekt durch Wiederholung einstellt. Zudem sollte auf diese Weise evaluiert werden, ob die Methode leicht zu erlernen und auch durch Mitarbeitende einer Milchkuhhaltung durchführbar ist.

Als Maß für die Übereinstimmung wird in den meisten wissenschaftlichen Arbeiten, wie auch in der vorliegenden, der κ -Koeffizient herangezogen. Dieser Wert schwankt zwischen 0 und 1 und kann nach verschiedenen Maßstäben beurteilt werden, wie z.B. nach den Schemata von LANDIS und KOCH (1977) (s. 2.2.3.3) oder FLEISS (1981). Während die erstgenannte Variante das Maß an Übereinstimmung nach sechs Kategorien beurteilt, gibt es bei der letztgenannten Arbeit nur drei mögliche Kategorien, was diese Einteilung für viele Arbeiten zu grob erscheinen lässt, da allein die mittlere Kategorie Werte von 0,40 bis 0,75 umfasst und somit mittlere bis gute Übereinstimmungen beinhaltet. Bei der Interpretation von κ muss stets beachtet werden, dass der Koeffizient sehr von den Untersuchungsumständen (Anzahl Beobachter, Anzahl Untersuchungsobjekte, Anzahl Bewertungskategorien) beeinflusst wird. Je geringer die Anzahl der zuvor genannten Faktoren ist, umso höher sollte κ sein. Umgekehrt heißt das, dass bei wenigen BeobachterInnen und wenigen Bewertungskategorien niedrige κ -Koeffizienten weniger akzeptabel sind, als bei vielen (GWET 2012). Der κ -Koeffizient kann auch

als Prozentwert interpretiert werden (XIER 2010), wobei der Zielwert für eine ausreichende bzw. aussagekräftige Übereinstimmung mit mindestens 0,60 angegeben wird (GIBBONS et al. 2012). Bei LANDIS und KOCH (1977) gilt bereits 0,40 als akzeptabel. Dies ist aber für die meisten praktischen Fragestellungen nicht ausreichend (GWET 2012). Diese Aspekte müssen auch bei der nachfolgenden Beurteilung der Übereinstimmungen beachtet werden.

5.2.5.1 Intraobserver- und Interobserver-Übereinstimmung

5.2.5.1.1 Intraobserver-Übereinstimmung

Die Intraobserver-Übereinstimmung ergab für alle fünf BeobachterInnen ein mittleres κ von lediglich 0,29 (Spannweite: 0,15 – 0,54) für die Beurteilung unter Berücksichtigung der drei Merkmalskategorien (M0, Ma, Mc) bzw. von 0,41 (Spannweite: 0,19 - 0,63) für die Differenzierung nach zwei Kategorien (M0, Ma+Mc). Nach LANDIS und KOCH (1977) entspricht dies im Mittel einer „ausreichenden“ bis „mittelmäßigen“ Übereinstimmung. Einige BeobachterInnen überschreiten den angestrebten Wert von 0,60 und erzielen somit ausreichend verlässliche Daten (GIBBONS et al. 2012). Im Vergleich zu den Erhebungen von RELUN et al. (2011) ist die Übereinstimmung in der vorliegenden Arbeit deutlich geringer. In der genannten Studie konnte bei der visuellen Beurteilung an Hintergliedmaßen von 242 Kühen der Rasse Holstein-Friesian im Melkstand durch fünf Untersucher auf vier Betrieben und unter Anwendung des modifizierten M-Schemas nach BERRY et al. (2012) mit einem κ -Koeffizienten von 0,62 eine „beachtliche“ Übereinstimmung (LANDIS und KOCH 1977) erzielt werden. Bei Vereinfachung des M-Schemas durch Zusammenführung des M3- und des M4-Stadiums in eine Klasse erhöhte sich der κ -Koeffizient auf 0,66. Für die Erkennung von DD-assoziierten Hautläsionen, unabhängig vom M-Stadium wurde kein κ -Koeffizient berechnet. Die bessere Intraobserver-Übereinstimmung in der genannten Studie beruht höchstwahrscheinlich auf der höheren Sensitivität der verwendeten Methodik (0,90), da die Läsionen durch Vorreinigung der Klauen und Anwendung eines Teleskopspiegels besser sichtbar waren. Diese höhere Treffsicherheit der Methode bedingt weniger Missklassifikationen, da die BeobachterInnen bei Zuordnung der Merkmale (hier des DD-Stadiums) weniger unsicher sind als bei einem verschmutzten Unterfuß. Der Einfluss des Erfahrungsgrades der Beobachtenden und des sich einstellenden Lerneffektes durch Wiederholung und vorheriges Training können ebenfalls ursächlich für das höhere Maß an Übereinstimmung sein und werden an späterer Stelle aufgearbeitet (s. 5.2.5.1.3). In anderen Referenzstudien wurde keine Intraobserver-Übereinstimmung ermittelt (SOLANO et al. 2017) oder die Objektivierbarkeitsbestimmung entfiel gänzlich (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1998, STOKES et al. 2012).

5.2.5.1.2 Interobserver-Übereinstimmung

Die Bestimmung der Interobserver-Übereinstimmung erfolgte auf Ebene der Hintergliedmaßen und für jeden Beobachtungstag separat sowie unter Berücksichtigung von drei (M0, Ma, Mc) bzw. zwei Merkmalskategorien (M0, Ma+Mc).

Wurden bei Beurteilung der DD-Läsionen drei Merkmalskategorien zugrunde gelegt, betrug der mittlere κ -Koeffizient der Interobserver-Übereinstimmung für den ersten Beobachtungszeitpunkt 0,14 (Spannweite zwischen BeobachterInnen: -0,04 – 0,32) und für den zweiten Beobachtungszeitpunkt im Mittel 0,25 (Spannweite zwischen den BeobachterInnen: 0,07 – 0,45). Das entspricht einer „geringen“ bis „ausreichenden“ Übereinstimmung (LANDIS und KOCH 1977). Unter Berücksichtigung von zwei Merkmalskategorien (M0, Ma+Mc) lag der durchschnittliche κ -Koeffizient bei 0,26 (Spannweite zwischen den BeobachterInnen: 0,05 – 0,57) zum Beobachtungszeitpunkt 1 und bei 0,38 (Spannweite zwischen BeobachterInnen 0,15 – 0,54) zum Beobachtungszeitpunkt 2. Nach LANDIS und KOCH (1977) entspricht dies einer „ausreichenden“ Übereinstimmung. Damit liegt κ in der vorliegenden Studie deutlich unter den ermittelten κ -Koeffizienten von RELUN et al. (2011), die 0,51 für die Bewertung nach fünf Kategorien (M-Stadien) und 0,61 für die Bewertung mittels modifizierten M-Schemas durch Zusammenführung des M3- und M4-Stadiums in einer Kategorie betrug. Der empfohlene Mindestwert für κ von 0,60 wurde ebenfalls, wenn auch nur knapp unterschritten, sodass die Übereinstimmung bzw. die Reproduzierbarkeit für den Einsatz der vorliegenden Scoring-Methode unter Praxisbedingungen kritisch gesehen werden muss (GIBBONS et al. 2012). SOLANO et al. (2017) erzielten für die Interobserver-Übereinstimmung ein κ von 0,74 bei Anwendung des vollständigen M-Schemas nach DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012) und von 0,78 für die Bewertung nach einem vereinfachten M-Schema, das den drei Merkmalskategorien aus der vorliegenden Arbeit entspricht. Insgesamt beschreibt die Literatur folglich „mittelmäßige“ bis „beachtliche“ Übereinstimmungen bei der Diagnostik von DD-Läsionen im Melkstand.

Dass die Ergebnisse in der vorliegenden Arbeit so viel schlechter ausfielen, kann zum einen auf die fehlende Vorreinigung der Klauen zurückgeführt werden, deren Wichtigkeit auch RELUN et al. (2011) explizit hervorhoben, besonders, wenn es um die Bestimmung von nicht-akuten Läsionen geht. In der vorliegenden Arbeit wurde dennoch auf die Vorreinigung der Unterfüße verzichtet, da sie einen zusätzlichen Arbeitsschritt darstellt, der Zeit kostet und zudem Eutererkrankungen durch Kontamination mit Spritzwasser hervorrufen kann (OLIVEIRA et al. 2017). Zum anderen kamen in beiden Vergleichsstudien Teleskopspiegel für die bessere Darstellung der Zwischenzehenhaut zum Einsatz, wodurch dort lokalisierte, kleinere Läsionen besser erkannt werden können (RELUN et al. 2011, SOLANO et al. 2017). Auch hierauf wurde

in unserer Studie verzichtet, da die Scoring-Methode sehr simpel gehalten werden sollte und sich die Untersuchungszeit mit Spiegel, wenn auch nur geringfügig, verlängert (s. 5.2.2). Neben der Sauberkeit der Gliedmaßen und der Anwendung von Hilfsmitteln beeinflusst die Anzahl BeobachterInnen das Maß an Übereinstimmung, da die Streuung umso größer ausfällt, je mehr BeobachterInnen beteiligt sind (GWET 2012). Während an der Studie von SOLANO et al. (2017) drei Beobachter beteiligt waren, betrug die Anzahl BeobachterInnen in der vorliegenden Studie fünf Personen. Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war zudem, die Interobserver- und Intraobserver-Übereinstimmung bei BeobachterInnen mit einem unterschiedlichen Maß an Erfahrung zu ermitteln, um einschätzen zu können, ob es ein „Lerneffekt“ erkennbar wird. Hierauf soll im nachfolgenden Kapitel näher eingegangen werden (s. 5.2.5.1.3).

Mit einer Verminderung der Anzahl Kategorien, denen die Ergebnisse der Beobachtungen der vorliegenden Studie zugeordnet werden mussten, von drei (M0, Ma, Mc) auf zwei (M0 und Ma+Mc), war ein Anstieg des κ -Koeffizienten zu verzeichnen. Dies liegt darin begründet, dass durch die geringere Anzahl Auswahlmöglichkeiten auch die Wahrscheinlichkeit einer Fehleinschätzung sinkt (GWET 2012). Auch SOLANO et al. (2017) und RELUN et al. (2011) beschrieben ein höheres Maß an Übereinstimmung bei Vereinfachung des Scores bzw. Reduktion der anzuwendenden Bewertungsnoten. Durch die Fusion von Kategorien vermindert sich die Unsicherheit bei den Beobachtenden bezüglich der Zuordnung einzelner, mitunter schwer zu differenzierender Stadien (M3, M4). Der Informationsverlust in Bezug auf Präventionsmaßnahmen durch die genannte Vereinfachung des Bewertungsschemas ist vernachlässigbar, wenn es bei der Bonitur im Melkstand darum geht, Heilungsraten zu bestimmen oder drohende Ausbrüche von DD vorherzusagen (RELUN et al. 2011).

5.2.5.1.3 Einfluss der Erfahrung

Für die Bonitierung von DD-assoziierten Hautläsionen im Außenmelkerkarussell wurde bewusst ein Beobachtungsteam bestehend aus fünf BeobachterInnen mit unterschiedlicher Erfahrung (Tab. 3) in der Erkennung von DD-assoziierten Läsionen zusammengestellt. Im Vorfeld wurden alle BeobachterInnen über den Ablauf der Studie unterrichtet. Die Zuordnung von Läsionen zu den verschiedenen Kategorien (M-Stadien der DD) wurde zunächst anhand von Fotografien von Unterfüßen trainiert. Dabei wurden sowohl Aufnahmen verwendet, die an der angehobenen und gereinigten Gliedmaße am Klauenstand angefertigt worden waren, als auch von nicht-vorgereinigten Unterfüßen im Außenmelkerkarussell (s.a. Kapitel 3.4.1).

Hintergrund der heterogenen Zusammensetzung des Beobachtungsteams war es zu ergründen ob sich die Resultate, die durch erfahrene und unerfahrene BeobachterInnen erzielt werden unterscheiden, und ob sich durch Beobachtungen an einer Vielzahl Kühe ein Lerneffekt einstellt. Im Rahmen des Klauengesundheitsmanagements in Milchkuhhaltungen ist es aus Kostengründen erforderlich, auch MitarbeiterInnen des Betriebs in die Tierbeobachtung einzubinden, die über keine Vorkenntnisse verfügen.

5.2.5.1.3.1 Bedeutung von Erfahrung und Lerneffekten

In unseren Untersuchungen zeigte sich, dass Erfahrung in der Erkennung und Zuordnung von M-Stadien der DD das Ergebnis der Intraobserver-Übereinstimmung beeinflusste. Erfahrene BeobachterInnen, die in ihrer täglichen Berufspraxis mit der Behandlung von Kühen mit Erkrankungen an den Klauen befasst sind und diesbezüglich an Fortbildungsveranstaltungen teilgenommen hatten, wiesen eine höhere Intraobserver-Übereinstimmung auf als BeobachterInnen, die bisher nicht näher mit der Klauengesundheit befasst waren.

Für die Gruppe der BeobachterInnen wurde eine breite Streuung der κ - Koeffizienten für die Intraobserver-Übereinstimmung festgestellt. Wird das Maß an Erfahrung der BeobachterInnen zugrunde gelegt, zeigt sich, dass v.a. die erfahrenen BeobachterInnen 1 und 3 (Tab. 3) im Bereich einer „ausreichenden“ ($\kappa = 0,30$) bis „mittelmäßigen“ Übereinstimmung ($\kappa = 0,54$) liegen (LANDIS und KOCH (1977)), während die Ergebnisse der wenig erfahrenen BeobachterInnen 4 und 5 (Studierende) nur im unteren Bereich einer „ausreichenden“ Übereinstimmung rangieren.

Bei der Auswertung der Treffsicherheit durch den Vergleich der Scoring-Ergebnisse aus dem Melkstand mit dem Goldstandard im Klauenstand konnte ebenfalls festgestellt werden, dass die sehr erfahrenen BeobachterInnen 1 und 3 zu beiden Beobachtungszeiträumen und bei Beurteilung der DD nach drei (M0, Ma, Mc) bzw. nach zwei Merkmalskategorien höhere κ -Koeffizienten erreichten, als die wenig erfahrenen BeobachterInnen 4 und 5. Für die drei Merkmalskategorien war die Übereinstimmung der erfahrenen BeobachterInnen „ausreichend“ und für die zwei Kategorien „mittelmäßig“. Bei den wenig erfahrenen BeobachterInnen war die Übereinstimmung nach denselben Kategorien „gering“ bzw. „ausreichend“. Folglich hat der Erfahrungsgrad der BeobachterInnen auch einen Einfluss auf die Treffsicherheit der Scoring-Methode und das Maß an Übereinstimmung steigt durch Reduktion der Bewertungskategorien.

Letzteren Effekt beschreiben auch RELUN et al. (2011), die für die klassischen M-Stadien nach DÖPFER eine „mittelmäßige“ Übereinstimmung mit einem κ von 0,44 erreichten und

durch Modifizierung des M-Schemas zu vier Kategorien ein κ von 0,51 ermittelten. Diese Autoren gaben außerdem an, dass sie auf den beiden zuletzt besuchten Betrieben, die besten Übereinstimmungen mit dem Goldstandard erzielten, was sie auf den Lerneffekt zurückführten. Bei SOLANO et al. (2017) war die Übereinstimmung für die fünf M-Stadien „mittelmäßig“ ($\kappa = 0,59$), „beachtlich“ ($\kappa = 0,62$) für das vereinfachte M-Schema, das den Merkmalskategorien der vorliegenden Arbeit entspricht und „beachtlich“ ($\kappa = 0,80$), wenn nur nach DD-positiv und DD-negativ unterschieden werden sollte. Die besseren Ergebnisse sind auf die optimierte Scoring-Methode und die damit einhergehende höhere Sensitivität zurückzuführen (s.a. 5.2.4). Einen Lerneffekt beschreiben diese Autoren nicht.

Bei der Befundung am Klauenstand zeigte sich in der vorliegenden Arbeit kein Einfluss des Erfahrungsgrades für die Beurteilung der Unterfüße. Alle BeobachterInnen stimmten bei zwei Drittel der Gliedmaßen vollständig überein. Für die übrigen Unterfüße konnten Abweichungen gleichermaßen bei allen BeobachterInnen festgestellt werden.

Die Resultate von BeobachterIn 2, der/die im Vorfeld als erfahren eingestuft wurde, weil er/sie bereits an wissenschaftlichen Untersuchungen mit ähnlichem Hintergrund wie in der vorliegenden Untersuchung teilgenommen hatte, ließen im Nachhinein nur dessen/deren Einstufung in die Gruppe der wenig erfahrenen BeobachterInnen zu. GIBBONS et al. (2012) schlossen BeobachterInnen die im Training $\kappa < 0,60$ erzielten aus den finalen Beobachtungen aus. Bei der vorherigen Einführung aller BeobachterInnen in die Methodik anhand von 20 digitalen Fotografien zeichnete sich dieser Trend bei BeobachterIn 2 jedoch noch nicht ab, weshalb kein Ausschluss erfolgte. In der bereits diskutierten Referenzliteratur wurden ein solches Phänomen nicht beschrieben.

Bei Ausreißern muss stets nach einer Ursache für die Abweichung gesucht werden, um zu entscheiden, ob die Daten dennoch in die Bewertung einfließen können, oder ob sie ausgeschlossen werden müssen (PETRI und WATSON 2013). Der vorliegende Fall muss als Schwäche unserer Studie angesehen werden, da nur ein ausreichendes Training einschließlich Erfolgskontrolle zur Vorbereitung der Beobachtungen die Voraussetzung für eine zuverlässige Datenerhebung darstellt. In der wissenschaftlichen Literatur der Psychologie wird auf die Qualität der Beobachter eingegangen. In Rahmen einer Übersichtsarbeit zum Thema „BeobachterInnen“ wird festgestellt, dass es wissenschaftlichen Arbeiten, die auf Beobachtungen beruhen, regelmäßig an exakten Angaben zur Vorbereitung und zum Training der Beobachter mangelt (BERENDSEN et al. 2020). Andere Wissenschaftler geben konkrete Hinweise zum Vorgehen beim Training und zur Kontrolle der Güte der Ergebnisse von BeobachterInnen (GIBBONS et al. 2012, SOLANO et al. 2017). Über die Hintergründe für die mangelnde Relia-

bilität von BeobachterIn 2 kann nur spekuliert werden. In anderen Studien wird darauf hingewiesen, dass die BeobachterInnen ausführlich von erfahrenen TierärztInnen geschult wurden (THOMSEN et al. 2008, RELUN et al. 2011) mit dem Ziel, dass sich Bewertungen verschiedener BeobachterInnen einander angleichen. Dies ist ein Faktor, der bei der vorliegenden Arbeit womöglich hätte intensiver stattfinden müssen.

5.2.5.1.3.2 Beeinflussung der Interobserver-Übereinstimmung

Die Erfahrung der BeobachterInnen hatte keinen Einfluss auf die Interobserver-Übereinstimmung. Es ließ sich kein Trend erkennen, nach welchem beispielsweise sehr erfahrene BeobachterInnen eher mit jenen anderen übereinstimmten, die sich auf der gleichen Erfahrungsstufe befanden.

Das Maß an Übereinstimmung für die Interobserver-Vergleiche stieg bei allen BeobachterInnen am zweiten Tag und in beiden Bewertungskategorien (M0, Ma, Mc bzw. M0, Ma+Mc) an. Dies ist ein Hinweis auf einen Lerneffekt zu werten. Offensichtlich hatte sich der innere Standard für die verschiedenen Merkmalskategorien des modifizierten M-Schemas durch die auf die Beobachtungen am Außenmelkerkarussell folgende Begutachtung am Klauenstand an Untersuchungstag 1 bei allen BeobachterInnen gefestigt. So lag der mittlere κ -Koeffizient für das Zwei-Kategorien-System an Untersuchungstag 1 bei 0,26 (Spannweite: 0,05 – 0,5) und am zweiten Tag bei 0,38 (Spannweite: 0,15 – 0,54). Beim Scoring nach drei Kategorien zeichnete sich dieser Trend mit 0,14 (Spannweite: -0,04 – 0,32) an Tag 1 bzw. 0,25 (Spannweite 0,07 – 0,45) an Tag 2 ebenfalls ab. Auch andere Autoren bemerkten einen schnellen Lerneffekt mit Fortschreiten ihrer Untersuchungen. So besuchten THOMSEN et al. (2008) drei Betriebe und erzielten bereits ab dem zweiten Besuch genauere Ergebnisse bezüglich DD-Prävalenz und Spezifität im Melkstand, ermittelt durch den Vergleich mit dem Goldstandard. Dies wurde unter anderem der zusätzlich erworbenen Erfahrung der BeobachterInnen im Verlauf der Untersuchungen zugeschrieben. RELUN et al. (2011) berichteten ebenfalls von den besten Intra- und Interobserver-Übereinstimmungen auf ihren beiden zuletzt untersuchten Betrieben. Die κ -Koeffizienten stiegen von 0,47 auf 0,73 für die Intraobserver-Übereinstimmung sowie von 0,31 auf 0,65 für die Interobserver-Übereinstimmung. Zudem wurde eine Reduktion der Beobachtungszeit im Verlauf der Studie festgestellt, was ebenfalls auf ein gesteigertes Maß an Erfahrung zurückgeführt wurde und somit auch den Lerneffekt durch Wiederholung bestätigte.

Keine der Referenzstudien gibt präzise Auskunft über die Zusammensetzung der Beobachterteams und deren Erfahrungen in der Bonitierung von DD-Läsionen in einem Melkstand und den Einfluss dieser Vorbedingungen auf die Datenerhebung. Stattdessen lag der Fokus stets

darauf die BeobachterInnen so gut wie möglich in ihren Bewertungen zu synchronisieren, so dass sie Läsionen nach demselben Standard bewerten, um möglichst konstante, standardisierte Werte zu erhalten. Bei RODRIGUEZ-LAINZ et al. (1998) untersuchten der Erst- und der Zweitautor auf zwei Betrieben gemeinschaftlich Kühe im Melkstand, um sich bezüglich der Methodik und der Bonitierung abzustimmen. Im Anschluss wurden 43 Milchviehbetriebe von jeweils einem der beiden Beobachter besucht. Eine weitere Schulung erfolgte nicht, Intra- und Interobserver-Übereinstimmung wurden nicht ermittelt und Unterschiede bezüglich der Erfahrung der beiden Autoren wurden nicht genannt. THOMSEN et al. (2008) und OLIVEIRA et al. (2017) führten die Untersuchungen im Alleingang durch, wobei ersterer sich durch mehrere Betriebsbesuche mit einem Veterinär mit mehrjähriger Erfahrung im Bonitieren von DD-Läsionen auf das DD-Scoring vorbereitete. Dennoch sind diese drei Arbeiten aufgrund der kleinen Beobachtungsteams bzw. der Beobachtung durch Einzelpersonen nicht mit der vorliegenden Arbeit in Hinblick auf die verschiedenen Erfahrungsgrade vergleichbar. SOLANO et al. (2017) führten eine sehr detaillierte Schulung ihrer drei Beobachter (Autor und zwei weitere, nicht näher beschriebene Beobachter) auf mehreren Ebenen durch. Diese beinhaltete neben der Bonitierung und Besprechung von digitalen Fotografien verschiedener DD-Läsionen, Untersuchungen im Melk- und Klauenstand an 110 bzw. 40 Kühen sowie die Bewertung weiterer 40 Fotografien zur Ermittlung der Interobserver-Übereinstimmung. Während aller Erhebungen durfte stets eine Referenzkarte mit Bildern und wichtigen Informationen zu den einzelnen M-Stadien der DD verwendet werden. Nach zwölf Wochen wurde eine Zwischenprüfung nach demselben Prinzip durchgeführt. Die Autoren führten die sehr guten Interobserver-Übereinstimmungen auf die Effektivität ihrer Observerschulung zurück und empfehlen diese als unverzichtbare Vorbereitung für die Erhebung valider Daten. GIBBONS et al. (2012) wandten bei der Schulung ihrer BeobachterInnen für die Beurteilung von Technopathien an Milchkühen dasselbe Prinzip an und gingen noch einen Schritt weiter, indem sie nur BeobachterInnen für die finale Datenerhebung zuließen, die Übereinstimmungen in Form von $\kappa > 0,60$ erzielten. Die Untersuchungen von RELUN et al. (2011) eignen sich aufgrund ähnlicher Voraussetzungen besser für den Vergleich mit unserer Studie. In dieser Studie untersuchten fünf BeobachterInnen (Autor und vier TierärztInnen einer Rinderklinik in Nantes, Frankreich) mit unterschiedlicher, jedoch nicht näher definierter Erfahrung in der Zuordnung von M-Stadien der DD 242 Kühe auf vier Betrieben. Vorher fand eine Schulung anhand von 40 Fotografien von DD-Läsionen statt, die noch zweimal wiederholt wurde. Am Ende erwies sich die Intraobserver-Übereinstimmung als „beachtlich“ ($\kappa = 0,62$ bzw. $0,66$ bei Verwendung des kompletten bzw. des modifizierten M-Schemas) und die Interobserver-Übereinstimmung als „mittelmäßig“ bis „beachtlich“ ($\kappa = 0,51$ bzw. $0,61$). Bei der Diskussion der Ergebnisse wurde nicht weiter auf die unterschiedlichen Erfahrungsgrade der BeobachterInnen eingegangen. Die nur „mittelmäßigen“ Übereinstimmungen wurden stattdessen darauf zurückgeführt, dass v.a. M0-, M3- und

M4-Stadien aufgrund von unterschiedlichen Verschmutzungsgraden der Unterfüße gehäuft falsch bonitiert wurden. Dennoch stellte sich auch in dieser Studie mit zunehmender Anzahl Betriebsbesuche ein Lerneffekt ein, durch welchen der Zeitaufwand für die Erhebungen verringert werden konnte. Schon aus diesem Grund empfehlen die Autoren eine vorherige sorgfältige Schulung der BeobachterInnen. Der Ablauf der Einweisung der BeobachterInnen verlief in der vorliegenden Studie ähnlich wie bei RELUN et al. (2011), jedoch war der Umfang insofern geringer als dass nur 20 digitale Fotografien zum Einsatz kamen, die nur einmalig bonitiert und besprochen wurden.

Bei Betrachtung unserer Untersuchungsergebnisse im Spiegel der wissenschaftlichen Literatur zeigt sich anhand der Resultate zur Treffsicherheit und Objektivierbarkeit der Scoring-Methode im Außenmelkerkarussell, dass ein gewisses Maß an Erfahrung und Vorkenntnissen für Untersuchungen dieser Art vorausgesetzt werden sollte und, dass sich bei wiederholter Durchführung ein Lerneffekt einstellte. Dies kann auch durch vorherige Beobachterschulungen erreicht werden und wird auch von den zitierten Autoren empfohlen (THOMSEN et al. 2008, RELUN et al. 2011, SOLANO et al. 2017). Eine Unterweisung in die Methodik sollte somit auch bei der Vorbereitung von Betriebsmitarbeitenden auf die Durchführung von Melkstand-Bonitierungen Anwendung finden, um verlässliche Ergebnisse zu erhalten. Für das Training eignen sich sowohl Fotografien als auch Beobachtungen unter Praxisbedingungen (GIBBONS et al. 2012, SOLANO et al. 2017, CRAMER et al. 2018). Wiederholungen und eine Abprüfung des Gelernten sollten ebenfalls erfolgen (GIBBONS et al. 2012). Der Einsatz von Referenzkarten während der Bonitur im Melkstand hat sich bewährt (SOLANO et al. 2017).

Eine Reduktion der zu beurteilenden Kategorien von drei auf zwei, erhöhte das Maß an Übereinstimmung und erlaubte die Unterscheidung zwischen DD-positiven und negativen Kühen, aber nicht die Selektion von Tieren für eine Behandlung im Klauenstand (s.a. 5.2.4), da die Sensitivität für das Erkennen von aktiven Läsionen (Ma) mit 0,32 zu niedrig ist und zu viele Tiere fälschlicherweise nicht erkannt werden können. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Wiederholbarkeit von Beobachtungen, wie auch die Übereinstimmung verschiedener BeobachterInnen bei der Zuordnung von M-Stadien der DD am Außenmelkerkarussell in hohem Maße durch den Verschmutzungsgrad der Gliedmaßen beeinträchtigt wird. Aus diesen Ergebnissen muss geschlussfolgert werden, dass Beobachtungen am Außenmelkerkarussell im Rahmen von Maßnahmen zwecks Kontrolle der DD an saubereren Gliedmaßen erfolgen müssen, um eine ausreichende Aussagekraft zu gewährleisten (RELUN et al. 2011). Ausbrüche, die durch einen generellen Anstieg von DD-assoziierten Hautveränderungen gekennzeichnet sind oder Behandlungserfolge mit Rückgang der DD-Prävalenz können hingegen detektiert werden.

5.3 Prävalenzentwicklung der DD im Zeitverlauf über 24 Monate

In monatlichen Intervallen wurden die Unterfüße der Kühe am Außenmelkerkarussell durch die Beobachterin mit dem höchsten Erfahrungsgrad (= Autorin, Erfahrungsgrad s. Tab. 3) auf dem Studienbetrieb beurteilt. Alle laktierenden Kühe (durchschnittlich 700 pro Durchgang) wurden nach der im ersten Studienabschnitt verwendeten Scoring-Methode für M-Stadien der DD bonitiert und auf Ebene des Einzeltieres einer der drei Merkmalskategorien (M0, Ma, Mc) (s.a. 3.4.2 mit Tab. 4 und 5.2.1) zugeordnet. Hierfür wurden die Merkmalskategorien nach ihrem Schweregrad wie folgt gewichtet: $M0 < Mc < Ma$ (RELUN et al. 2011, GOMEZ et al. 2014). Im Anschluss wurden die im ersten Studienabschnitt berechneten Werte für die Sensitivität und die Spezifität der Testmethode (s. 4.2.5) herangezogen, um die PPVs und NPVs aller 24 Studienmonate (Tab. 25) zu bestimmen. Unter Berücksichtigung der Sensitivität der Methode lässt sich die tatsächliche Prävalenz von an DD erkrankten Tieren bzw. gesunden Kühen wahrheitsgemäßer beschreiben als mit den reinen Prozentzahlen für die einzelnen Merkmalskategorien (PETRI und WATSON 2013).

5.3.1 Prävalenz der DD des Studienbetriebes im Spiegel der Literatur

Die mittlere über 24 Monate mittels einmal pro Monat durchgeführte visueller Beobachtung am Außenmelkerkarussell erhobene Prävalenz von DD_{gesamt} auf Tierebene betrug 74,2%. Die Prävalenzen schwankten im Laufe des Beobachtungszeitraums zwischen 54,6% und 90,4%. Der Anteil gesunder Kühe ohne jegliche Hautveränderungen (M0) lag bei durchschnittlich 25,8% (Spannweite: 9,6 – 45,5%); 26,9% (13,3 – 46,5%) der Tiere zeigten aktive (Ma) und 47,3% (17,6 – 71,2%) chronische (Mc) Läsionen als schwerwiegendsten Befund (s.o.) an den Hintergliedmaßen. Die Entwicklung der Prävalenz über die Untersuchungsmonate bzw. über die verschiedenen Jahreszeiten hinweg wird in den Kapiteln 5.3.3 und 5.3.4 noch näher beleuchtet.

Der mittlere PPV für DD_{gesamt} (Ma+Mc) war mit 0,87 hoch, aber für die gesonderte Beurteilung der Merkmalskategorien Ma und Mc mit lediglich 0,45 bzw. 0,52 deutlich zu niedrig. Die Aussage, die auf Grundlage dieser Zahlen getroffen werden kann ist, dass nur etwa die Hälfte dieser modifizierten M-Stadien der DD korrekt erkannt wurden. Ähnlich sieht es bei den NPVs aus, die für DD_{gesamt} im Mittel bei 0,51 und für Mc bei 0,57 lagen. Nur der NPV von 0,79 für Ma stellte ein vergleichsweise gutes Ergebnis dar, da demzufolge mehr als drei Viertel aller Unterfüße korrekterweise nicht als Ma bonitiert wurden.

Beim Vergleich der im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Prävalenz mit der wissenschaftlichen Literatur, ist das Wissen um die Art der Datenerhebung von Interesse. Nach dem

heutigen Kenntnisstand schließt die Erhebung der DD-Prävalenz in einem Betrieb die Berücksichtigung aller M-Stadien ein. Vor allem in den Jahren nach der Erstbeschreibung der DD, als das System der M-Stadien noch nicht allgemein akzeptiert war, wurde ausschließlich das akute DD-Stadium (M2) berücksichtigt, wodurch die tatsächliche DD-Prävalenz stark unterschätzt wurde (KRULL et al. 2016). Da die Art der Beobachtung (am Klauenstand, am Melkstand, im Laufgang) und der Dokumentation (differenzierte Dokumentation der verschiedenen M-Stadien versus Unterscheidung des akuten vom chronischen Stadium oder andere Scoring-Schemata (IOWA)) (s.a. 2.1.1.1 und 2.1.1.2) einen erheblichen Einfluss auf die Studienergebnisse ausüben, müssen beide Aspekte beim Vergleich mit den Ergebnissen anderer Autoren berücksichtigt werden. REFAAI et al. (2013) fassten die Ergebnisse aus unterschiedlichen Studien zur Prävalenzerhebung von DD in verschiedenen Ländern zusammen. Diese sind allerdings nur bedingt miteinander vergleichbar, weil sich die Bezugsgrößen unterscheiden. So kann die DD-Prävalenz auf Herden-, Tier- oder gar Klauenebene erhoben werden.

Bei den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit wurden auch die chronischen Veränderungen der DD (Mc) und die chronisch-rezidivierenden Formen (M4.1) unter der Kategorie chronisch (Mc) erfasst, weil der im chronisch-hyperkeratotischen oder papillomatösen Stadium akut aufflammende Aspekt der M4.1-Läsion am Außenmelkerkarussell in der Regel ohne Hilfsmittel nicht erkannt werden kann. Durch diesen Einschluss chronischer Läsionen in die Gesamtprävalenz von DD erklärt sich der vergleichsweise hohe Wert von 74,2%. VÖGELY (2020), die Untersuchungen an gereinigten aufgehobenen Gliedmaßen am Klauenstand durchführte und dabei alle M-Stadien der DD berücksichtigte, beschreibt für fünf brandenburgische Milchkuhhaltungen eine DD-Prävalenz (Summe aller M-Stadien) zwischen 39,5% und 89,9%.

Aufgrund der oben beschriebenen Unterschiede in der Bestimmung der DD-Prävalenz in verschiedenen wissenschaftlichen Studien und der Tatsache, dass das M2-Stadium durchgehend berücksichtigt wurde, eignet sich vor allem die Prävalenz der Kategorie „akute Läsionen (M2/Ma)“ für einen Vergleich mit Studien anderer WissenschaftlerInnen. Diese betrug in der vorliegenden Arbeit im Mittel 26,9% und fällt damit in Bereiche, die auch durch andere Verfasser beschrieben wurden. Im Rahmen der von CRAMER et al. (2008) in Kooperation mit fünf Klauenpflegern durchgeführten Studie wurden ausschließlich akute Stadien der DD (M2) in 204 Milchviehherden in Ontario (Kanada) berücksichtigt. Deren Prävalenz betrug gemittelt 22,7% für die Laufstallhaltung. HOLZHAUER et al. (2006) ermittelten auf Grundlage von Klauenpflegedaten aus 383 niederländischen Milchkuhherden eine durchschnittliche Prävalenz von Kühen mit M2 Stadien von 21,2% (Spannweite: 0 - 83,0%). SOLANO et al. (2016) fanden bei gleicher Vorgehensweise in Kanada bei 15% der 28607 untersuchten Rinder DD vor. SOMERS et al. (2003) untersuchten 6906 Kühe aus 112 Betrieben mit verschiedenen

Haltungssystemen während der funktionellen Klauenpflege durch professionelle Klauenpfleger in einem Klauenstand und ermittelten eine durchschnittliche Prävalenz für akute Läsionen (M1- und M2-Stadien) von 30,0%. Für Ostdeutschland berichtet KOENIG et al. (2005) auf Grundlage von durch Klauenpfleger erfassten Daten über eine DD-Prävalenz von 13,2% bei 5634 untersuchten Kühen. Somit liegt die in der vorliegenden Arbeit erhobene Prävalenz akuter Läsionen im Bereich der Literaturangaben. Es muss aber auch hier betont werden, dass die Beobachtungen aller genannten Autoren auf Anwendung der Goldstandard-Methode im Klauenstand beruhen. Bei der hier am Außenmelkerkarussell verwendeten Methode betrug die Sensitivität für die Merkmalskategorie Ma nur 0,32 und der PPV im Durchschnitt 0,45. Das heißt, dass nur etwas weniger als die Hälfte der Tiere korrekterweise dieser Merkmalskategorie zugeordnet werden konnten (s.a. 5.2.4).

Unter Berücksichtigung aller M-Stadien erhoben RELUN et al. (2011) in Frankreich durch Melkstand-Scorings nach Vorreinigung und unter Zuhilfenahme eines Handspiegels bei 484 Unterfüßen eine DD-Prävalenz von 45%. SOLANO et al. (2017) ermittelten in Kanada nach demselben Prinzip unter 3585 Kühen eine Gesamtprävalenz von 66,4% auf TierEbene. Der PPV für das Erkennen von DD-Läsionen lag bei 90,9, für M2-Stadien bei 67,8 und somit höher als in der vorliegenden Arbeit, was sich mit den optimierten Bedingungen durch die Vorreinigung der Klauen und den Einsatz eines Teleskopspiegels erklären lässt.

Zusammenfassend liegt der Betrieb im Vergleich mit den Ergebnissen anderer Studien bezüglich der Prävalenz von DD auf einem hohen Niveau. Dies gilt sowohl für DD_{gesamt} als auch für die Betrachtung von lediglich akuten Hautveränderungen. Der PPV von 0,87 für DD_{gesamt} spricht dafür, dass die Methode gut dafür geeignet ist die Prävalenz von DD in der Herde zu überwachen, um Ausbrüche zu erkennen (Anstieg DD-assoziiertes Hautveränderungen unabhängig vom Stadium), oder Therapieerfolge (Übergang zu M0, sinkender Prozentsatz DD-assoziiertes Hautläsionen) zu kontrollieren.

5.3.2 Erkennung der verschiedenen Kuhtypen

Von den insgesamt 1818 über 24 Monate mindestens einmal im Melkstand bonitierten Kühen fielen 28 Kühe besonders auf, da deren DD-assoziierten Hautveränderungen über einen Zeitraum von mindestens sechs Monaten keinen M-Stadienwechsel durchliefen und folglich stets der aktiven (Ma), chronischen (Mc) oder gesunden (M0) Merkmalskategorie zugeordnet wurden. Diese Beobachtung geht mit der Theorie konform, dass sich Kühe anhand ihrer Neigung an DD zu erkranken unterscheiden und erlaubt diese Tiere einem von drei „Kuhtypen“ zuzuordnen, die wie folgt definiert werden: durchgängig gesund (Typ I), einmalig infiziert (Typ II)

und durchgängig infiziert (Typ III) (DÖPFER 2009, CAPION et al. 2012). Demzufolge können die zwölf Tiere mit beständiger Merkmalskategorie M0 dem „Typ I“ zugeordnet werden. Die Tiere mit konstanten Ma- und Mc-Stadien können nicht eindeutig dem „Typ II“ oder „III“ zugeordnet werden, da aufgrund der relativ langen Untersuchungsintervalle von etwa 28 Tagen nicht ausgeschlossen werden kann, dass zwischenzeitlich ein Kategorienwechsel stattgefunden hat. So könnten die beiden Tiere mit konstanten Ma-Läsionen zwischenzeitlich Mc-Stadien ausgebildet haben. Gleiches gilt für die Tiere mit beständig chronischen Läsionen (Mc). Diese könnten dem „Typ II“ angehören und sich in der langen Ruhephase bis zum Auftreten neuer akuter Läsionen befinden (DÖPFER 2009). Aus Sicht des Betriebsmanagements sollte überlegt werden Tiere vom „Typ III“ auf lange Sicht aus der Herde zu entfernen, da sie ein großes Infektionsrisiko für naive Kühe darstellen (ORSEL et al. 2018). Die auf Grundlage engmaschiger Beobachtungen und Dokumentation von Läsionen mögliche Typisierung der Einzeltiere einer Herde ist eine wichtige Maßnahme, um die DD auf ein stabiles und kontrollierbares Niveau zu bringen, in dem Ausbrüche erkannt und akut erkrankte Tiere sofort behandelt werden sollen (DÖPFER 2009).

Die Zugehörigkeit zum jeweiligen Kuhtyp scheint durch tierindividuelle Einflussgrößen beeinflusst zu werden. PALMER und O'CONNELL (2015) fassten diverse Risikofaktoren für DD zusammen. Darunter fällt auch die individuelle Veranlagung, welche sich auch daran zeigt, dass einige Tiere beispielsweise nur Läsionen an einer Klaue entwickeln, obwohl beide Klauen den gleichen Umwelteinflüssen und Risikofaktoren ausgesetzt sind. Die Ätiologie bzw. der Grund für diese individuelle Schwankung in der Empfänglichkeit für DD ist noch nicht geklärt. Diverse Faktoren können hierfür ursächlich sein, wie z.B. Unterschiede in der Immunität oder genetische Variabilität. Diese können wiederum morphologische, physiologische oder Verhaltensunterschiede hervorrufen, die dann in verschiedene Klauenkonformationen sowie Haut- und Haareigenschaften resultieren. Einige Tiere schaffen es zudem mit einer einzelnen Gliedmaße das Klauenbad zu umgehen und haben somit zumindest einseitig mangels Prophylaxe eine erhöhte Empfänglichkeit für DD (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1999).

Bei den 28 auffälligen Tieren konnten keine konkreten Gemeinsamkeiten ausfindig gemacht werden. Sie waren alle unterschiedlich alt und zeigten auch sonst keine auffälligen Gemeinsamkeiten. Dennoch sind besonders die „Typ I-Kühe“, also jene, die trotz der gleichen Exposition wie die anderen Kühe durchgängig läsionsfrei sind, sehr interessant für weitere Untersuchungen und ggf. auch für die Zucht (CHAPINAL et al. 2013).

5.3.3 Monatlicher Verlauf der DD-Prävalenz

Im Verlauf der zwei Jahre konnte ein beständiger Anstieg der Gesamtprävalenz von DD (DD_{gesamt}) beobachtet werden, wobei v.a. die chronischen Läsionen (Mc) von anfänglich 17,6% (Januar 2015) auf ein Maximum von 70,9% im Dezember 2016 anstiegen, während der Anteil aktiver Stadien (Ma) von initialen 46,5% im Januar 2015 sank und sich im Jahr 2016 auf Werte um 20% einpendelte (Spannweite 13,3 – 26,2%). Auch der Anteil gesunder Tiere reduzierte sich beständig.

KRULL et al. (2016) führten ebenfalls eine Verlaufsstudie zur DD durch. Sie untersuchten eine Studienpopulation von 61 Holstein-Rindern in den USA über insgesamt drei Jahre ohne, dass während dieser Zeit Therapie- oder Prophylaxemaßnahmen an den Klauen dieser Tiere durchgeführt wurden. Die Tiere wurden in dieser Studie alle drei bis vier Wochen auf einem Kippwagen abgelegt, wo deren Unterfüße gereinigt und fotografiert wurden. Anschließend wurden die DD-Läsionen mittels IOWA-Scoring-Schema klassifiziert (2.1.1.2). Ziel jener Arbeit war es, den Verlauf der DD am Einzeltier zu verfolgen und Zeiträume zu ermitteln, in welchen DD-Läsionen entstehen, abheilen und rezidivieren. Daher sind die Daten nicht direkt mit den vorliegenden Ergebnissen zur Prävalenz auf Herdenebene vergleichbar. Die Autoren errechneten eine durchschnittliche DD-Prävalenz der gesamten Studienpopulation von 22,9%, welche sich im Bereich anderer Studien zur DD-Prävalenz in Laufställen befindet (CRAMER et al. 2008). KRULL et al. (2016) fanden zudem heraus, dass der Großteil der Kühe (75%) in Betrieben, in denen DD endemisch auftritt, ohne jegliches Klauengesundheitsmanagement dazu neigt, DD-Läsionen zu entwickeln, wovon jedoch nur 26% als klinisch auffällig (schmerzhaft) bzw. akut eingestuft werden konnten. Dieser Wert kommt wiederum den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit sehr nahe, in der der Anteil aktiver Läsionen bei etwa 20% lag. Im Durchschnitt zeigten auch hier 74,2% der Kühe DD-Läsionen (aktive oder chronische). HOLZHAUER et al. (2008) untersuchten in ihrer Studie ebenfalls den natürlichen Verlauf der DD in einer endemisch betroffenen Herde ohne jegliche therapeutische oder präventive Maßnahmen. Der Untersuchungszeitraum war mit vier Wochen und wöchentlichen Inspektionsintervallen jedoch deutlich komprimierter, als in der vorliegenden Arbeit und bei KRULL et al. (2016). Zudem fand vor jeder Beurteilung eine gründliche Reinigung der Unterfüße statt. Die kumulative Inzidenz von M2-Stadien auf Einzeltierebene für den Untersuchungszeitraum lag bei 25%, was trotz unterschiedlicher Methodik den vorliegenden Ergebnissen für Ma-Stadien sehr nahekommt. Vergleichende Aussagen zu den Schwankungen der Prävalenz über den Zeitverlauf wurden in den Referenzstudien nicht getroffen. BERRY et al. (2012) verfolgten die Entwicklung von 39 aktiven DD-Läsionen bei 29 Kühen in einem Betrieb in Kalifornien über einen Gesamtzeitraum von 341 Tagen. Der Betrieb führte keinen regelmäßigen Klauenschnitt durch und hatte auch

kein Behandlungskonzept für DD. Akute DD-Läsionen wurden mit Lincomycin behandelt und unter Verband genommen. Innerhalb des Untersuchungszeitraums rezidierten 54% der Läsionen mindestens einmal. Somit zeigt diese Studie, dass es sinnvoll ist DD über einen langen Zeitraum hinweg zu beobachten und zu dokumentieren. Ein Vergleich zu unserer Arbeit bezüglich der Schwankung der DD-Prävalenz kann hier nicht gezogen werden.

Der Anstieg von DD_{gesamt} im Studienbetrieb über die zwei Beobachtungsjahre ist am ehesten auf das nicht ausreichende Klauengesundheitsmanagement bezüglich der DD-Prophylaxe (keine Klauenbäder während des Untersuchungszeitraums) und die mangelnde Unterfußhygiene zurückzuführen, die wiederum auf die Umgebungsbedingungen im Tierbereich (Belegdichte, überlasteter Mistschieber) zurückzuführen ist. Näheres zu diesen Risikofaktoren wird in Kapitel 5.3.5 erläutert.

5.3.4 Jahreszeitlicher Verlauf der DD-Prävalenz

Über den Verlauf des zweijährigen Studienzeitraums hinweg, zeigten sich keine signifikanten jahreszeitlichen Schwankungen hinsichtlich der Häufigkeit des Vorkommens verschiedener Merkmalskategorien der DD (s. 4.3.3).

Im Vorfeld wurde ein Anstieg des Vorkommens aktiver Läsionen (Ma) während der kälteren und feuchteren Perioden erwartet sowie ein Abfall selbiger während der warmen, trockenen Sommermonate. Als Ursache hierfür wird ein Zusammenhang zwischen einer mehr als 24 Stunden andauernden Feuchtigkeitsexposition der Unterfüße und einer Störung der Hautbarriere angenommen (GOMEZ et al. 2012, PALMER et al. 2013). READ und WALKER (1998) zogen dieselben Rückschlüsse, da sie besonderes im Frühjahr und im Sommer eine gesteigerte Prävalenz von DD in Kalifornien feststellen konnten. Dies entspricht dem Zeitraum ein bis drei Monate nach der Regenzeit, zu welcher die Unterfüße der Rinder lange Kontaktzeiten zu Schlamm und Gülle hatten.

In Neuseeland wurden in einer Querschnittsstudie 224 Rinderherden bezüglich der Risikofaktoren für DD untersucht. Hierbei konnte keine jahreszeitliche Veränderung der DD-Prävalenz auf Betriebsebene festgestellt werden, allerdings zeigte sich in betroffenen Herden ein Anstieg von DD-Läsionen im Frühjahr. Dies konnte zum einen mit den erhöhten Niederschlagswerten und den daraus resultierenden feuchten Bedingungen an den Unterfüßen in Verbindung gebracht werden, allerdings kamen neben dem Klima auch noch andere jahreszeitlich gebundene Einflussgrößen in Betracht, wie z.B. die Kalbesaison und der damit verbundene Laktationsbeginn, die eine Belastung für den gesamten Organismus darstellen und die Tiere somit

anfälliger für Erkrankungen machen (YANG et al. 2018). LAVEN und LAWRENCE (2006) beschrieben eine Reduktion der DD-Prävalenz im Winter auf 60%, verglichen mit 72% aus früheren Untersuchungen. YANG et al. (2019) untersuchten in einer weiteren Studie unter anderem den Einfluss des Klimas auf DD in 57 weidebasierten Milchviehhaltungen in Neuseeland. Hier zeigte sich ein negativer Einfluss von vermehrtem Niederschlag auf die DD-Prävalenz. Dafür nahm die Prävalenz bei steigender Bodentemperatur auf maximal 18 Grad Celsius zu, bei höheren Temperaturen sank sie erneut. SILVA et al. (2018) untersuchten das epidemiologische Verhalten von DD in Zentralbrasilien und legten dabei den Fokus auf den Einfluss des Niederschlags. So konnten sie eine höhere DD-Prävalenz in der Trockenperiode von Mai bis Oktober vorfinden. Jedoch gaben sie zu beachten, dass sich auch noch andere Faktoren auf das Auftreten von DD auswirken können, wie zum Beispiel Zukäufe oder Futterumstellungen auf kohlenhydratreiche Rationen, die zu einer veränderten Stoffwechsellage führen.

Eine isolierte Betrachtung des Risikofaktors „Klima“ ist somit fragwürdig und führt zu Uneinigkeit unter den Autoren bezüglich der Frage, ob oder in welche Richtung dieser Aspekt die Entstehung von DD-Läsionen beeinflusst. Auch bei den vorliegenden Untersuchungen kann der Witterungseinfluss auf die DD-Prävalenz nicht unabhängig von anderen Einflussgrößen wie der Biosicherheit oder dem Klauengesundheitsmanagement betrachtet werden.

Das Fehlen von jahreszeitlichen Schwankungen der DD-Prävalenz in der vorliegenden Arbeit kann auch durch den Mangel an tatsächlichen saisonalen Einflüssen bei ganzjähriger Stallhaltung bedingt sein. Vielmehr ist die beständig hohe Prävalenz von DD auf Defizite in der Biosicherheit zurückzuführen (OLIVEIRA et al. 2017) (s. 5.3.5). Bei Weidehaltung scheint die Einflussgröße „Klima“ jedoch nicht irrelevant zu sein (YANG et al. 2018).

5.3.5 Ursachen/Risikofaktoren für die Änderung der Prävalenz

Wie bereits erwähnt ist die DD-Prävalenz auf dem Studienbetrieb als sehr hoch einzustufen (s.a. 5.3.1). Es gibt viele Risikofaktoren, die mit dem gehäuften Auftreten von DD in Verbindung gebracht werden und die sich demzufolge auch auf die Prävalenz von DD in einer Milchkuhherde auswirken können (s. 2.1.2.3). Im Folgenden sollen die für den Studienbetrieb relevanten Einflussgrößen diskutiert werden.

An erster Stelle sollen getätigte Zukäufe von Tieren im Juli 2015 genannt werden, die zu einem Anstieg der akuten DD-Läsionen um 11,1% v.a. zu Lasten der gesunden Tiere (- 12,7%) führten (s.a. 4.3.2). Durch den Zukauf von insbesondere Färsen für die Remontierung steigt das DD-Risiko in der Herde an. Für den Zukauf von adulten Kühen ist dieser Effekt laut Literatur, in Abhängigkeit von der Tierzahl, jedoch nicht so stark bzw. nicht vorhanden (RODRIGUEZ-

LAINZ et al. 1999, SOMERS et al. 2005, YANG et al. 2018). Die knapp 125 neuen Kühe mit unklarem DD-Status beeinflussten die DD-Prävalenz des Betriebes jedoch deutlich. Der Anstieg muss nicht zwangsläufig darauf zurückgeführt werden, dass die Zukauftiere mit DD-Läsionen in den Betrieb kamen, er kann auch durch sozialen Stress wie beispielsweise Rankämpfe oder durch zu große Gruppengrößen hervorgerufen worden sein, wodurch Nutztiere infolge einer Immunsuppression generell anfälliger für Erkrankungen werden können (PROUDFOOT et al. 2012).

Eine zu große Betriebsgröße wird ebenfalls als Risikofaktor angesehen. WELLS et al. (1999) fanden bei 63,2% der Herden mit einer Tierzahl von mindestens 200 mehr DD vor als in kleineren Betrieben. Der Studienbetrieb fällt genau in diese Kategorie, da sich allein in jeder Leistungsgruppe rund 200 Kühe befinden. Auch HOLZHAUER et al. (2006) unterstützen diese These, da sie in kleineren Herden (weniger als 45 Tiere) ein deutlich geringeres DD-Risiko vorfanden als bei mittleren und großen Herdengrößen, wobei „groß“ bis maximal 85 Tiere bedeutete, was das erhöhte Risiko des Studienbetriebs noch unterstreicht. Das geringere Risiko in kleineren Herden wird in erster Linie auf den geringeren Infektionsdruck infolge der niedrigeren Erregerdichte zurückgeführt (HOLZHAUER et al. 2006).

Auch das Beauftragen von überregional tätigen Klauenpflegern und das Melken in einem Melkkarussell steigern das Risiko für DD. Das Melkkarussell bietet exzellente Voraussetzungen DD-Läsionen zu detektieren und kommt dem Goldstandard im Vergleich zu anderen Methoden am nächsten (CRAMER et al. 2018). Allerdings sind die Daten so zu werten, dass durch den Melkstandtyp nicht das Risiko an DD zu erkranken steigt, sondern die DD-assoziierten Hautveränderungen aufgrund der guten Positionierung der Tiere zum Beobachter in einem Melkkarussell besser erkannt werden können. Eine gute Sensitivität der Methode wirkt sich positiv bzw. steigend auf die Prävalenz aus (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1999, YANG et al. 2018). Das erhöhte Risiko durch die externe Klauenpflege ist am ehesten auf Hygiene- und Biosicherheitsmängel (Verwendung kontaminierter Klauenmesser bei mehreren Tieren) zurückzuführen. So können DD-assoziierte Keime oft auch nach Desinfektion noch auf dem Klauenpflegeequipment nachgewiesen werden (SULLIVAN et al. 2014). WELLS et al. (1999) fanden ebenfalls fast dreimal so häufig DD-Herdenprävalenzen über 5%, wenn die Klauenpflege durch überregional tätige Klauenpfleger durchgeführt wurde.

Mangelnde Hygiene, besonders im Bereich der Unterfüße ist ebenfalls eine wichtige Einflussgröße auf die Prävalenz von DD (RELUN et al. 2013). Die Unterfußhygiene korreliert in der Regel mit dem Hygienemanagement des Betriebs, zu welchem auch das Abschieben der Laufflächen gezählt wird. Eine höhere Frequenz des automatischen Mistschiebers, idealerweise mindestens achtmal täglich, geht mit einer niedrigeren Wahrscheinlichkeit für DD einher

(OLIVEIRA et al. 2017). Der Mistschieber des Studienbetriebs läuft bereits auf höchster Stufe und schafft es dennoch nicht die Flächen weitestgehend frei von Gülle zu halten. Dies steht auch in Zusammenhang mit den großen Gruppengrößen, wodurch die Abteile ebenfalls sehr groß und damit die Laufgänge sehr lang sind, sodass der automatische Mistschieber mit den großen Mengen an Exkrementen mehr als ausgelastet ist. SOMERS et al. (2005) heben diesbezüglich den Vorteil von Spaltenböden hervor, durch welche Kot direkt nach unten hin aus dem Tierbereich entfernt wird. In solchen Haltungssystemen ist die DD-Prävalenz meist geringer als in jenen mit planbefestigten Böden.

Zuletzt sei noch das Fehlen von routinemäßigen Klauenbädern zur Pflege und Desinfektion der Unterfüße genannt, welche aufgrund eines technischen Defekts am automatisierten Klauenbad während des gesamten Studienzeitraumes auf dem Studienbetrieb nicht zum Einsatz kamen. Auch solche Umstände können die Wahrscheinlichkeit und somit auch die Prävalenz von DD erhöhen (OLIVEIRA et al. 2017). Diverse Autoren beschrieben positive Effekte von routinemäßigen Klauenbädern, die den Infektionsdruck in der Herde senken können (RODRIGUEZ-LAINZ et al. 1999).

6 Schlussfolgerung

1. Ein Scoring von M-Stadien in einem Außenmelkerkarussell ist eine einfache, schnelle und nichtinvasive Methode DD bei Milchkühen zu diagnostizieren, die nicht mit den Betriebsabläufen eines Milchviehbetriebes interferiert. Das Verfahren kann nach hinreichender Schulung bezüglich der Bonitierung auch durch das tierbetreuende Personal durchgeführt werden, da sich ein schneller Lerneffekt einstellt.
2. Die beschriebene Scoring-Methode für DD im Außenmelkerkarussell ohne Vorreinigung der Klauen mit Wasser ist gut geeignet, um einen generellen Überblick über die DD-Prävalenz einer Herde zu erhalten, jedoch ist sie hinsichtlich der exakten Bestimmung des vorliegenden DD-Stadiums sehr limitiert. So ist es nicht zuverlässig möglich akute von chronischen Läsionen zu unterscheiden. Eine Selektion behandlungswürdiger Tiere kann auf diese Weise nicht sicher gewährleistet werden.
3. Auch für die allgemeine Prävalenzerhebung von DD gilt es zu beachten, dass aufgrund der Sensitivität der Methode von 0,78 etwa ein Viertel aller Kühe, die mit der untersuchten Methode bonitiert werden, fälschlicherweise als frei von DD eingestuft werden können.
4. Aus der Literatur geht hervor, dass ähnliche Methoden, bei welchen jedoch eine gründliche Vorreinigung der Klauen vollzogen wurde, zuverlässigere Ergebnisse lieferten. Demzufolge sollte hierauf nicht verzichtet werden. Eine weitere Verbesserung der Treffsicherheit und der Validität der Daten kann durch einen höheren Erfahrungsgrad des Untersuchenden und die Verwendung von Hilfsmitteln erzielt werden. Für Letzteres eignen sich zum Beispiel Teleskopspiegel. Als Goldstandard für die DD-Diagnostik gilt allerdings nach wie vor die Inspektion gereinigter der Unterfüße in einem Klauenstand.
5. Aus dem DD-Monitoring auf einem brandenburgischen Milchviehbetrieb über einen Zeitraum von 24 Monaten geht hervor, dass die dortige Prävalenz von DD mit durchschnittlichen 74,2% sehr hoch einzustufen ist. In die Berechnung flossen neben akuten Veränderungen auch alle chronischen Formen mit ein. Für die hohe DD-Prävalenz des Studienbetriebes könne Zukäufe von Tieren, mangelhafte Unterfußhygiene, zu große Gruppengrößen, fehlendes Klauengesundheitsmanagement in Form von Klauenbädern und der Einsatz externer Klauenpfleger als Risikofaktoren in Betracht gezogen werden.

6. Ein möglicher Einfluss der Jahreszeit auf den zyklischen Fortschritt der DD und die Prävalenz konnte nicht festgestellt werden.

7. Einige wenige Kühe fielen bei den Langzeitbeobachtungen dadurch auf, dass sich über einen Zeitraum von mindestens sechs Monaten ihr DD-Stadium nicht veränderte. Somit können sie einem von drei verschiedenen „Kuhtypen“ zugeordnet werden, was dazu beitragen kann Entscheidungen bezüglich des weiteren Verbleibens eines Tieres in der Herde zu treffen und die Erkrankung auf einem kontrollierbaren Niveau zu halten.

7 Zusammenfassung

Die Dermatitis digitalis (DD) ist eine multifaktorielle Infektionskrankheit der Zwischenzehenhaut von Rindern, die mit Schmerzen und Leistungseinbußen bei den betroffenen Tieren einhergeht. Eine wichtige Grundlage für die Bekämpfung, die sich generell schwierig gestaltet, ist die Diagnostik der DD und ihrer klinischen Erscheinungsformen am Einzeltier und eine zeitnahe Behandlung. Um dies regelmäßig zu gewährleisten werden Methoden benötigt, die einfacher und stressfreier sind als die Inspektion der Gliedmaßen im Klauenstand (= Goldstandard). Eine gute Möglichkeit bietet beispielsweise die Bonitur von DD-Läsionen im Melkstand, da sie nicht mit den Betriebsabläufen interferiert.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine einfache Scoring-Methode für DD im Außenmelkerkarussell auf ihre Verlässlichkeit und Reproduzierbarkeit bezüglich des Erkennens verschiedener Erkrankungsstadien der DD zu untersuchen und zu evaluieren, ob diese Methode auch durch Betriebspersonal erlernt und durchgeführt werden kann. Des Weiteren sollten unter Anwendung dieser Methode die DD-Prävalenz und ihre zyklischen Schwankungen in einer brandenburgischen Milchviehherde über einen Zeitraum von 24 Monaten überwacht werden. Mögliche Einflüsse durch jahreszeitlich bedingte klimatische Schwankungen sollten hierbei ebenfalls berücksichtigt werden.

Alle Untersuchungen fanden zwischen Januar 2015 und Dezember 2016 in einem brandenburgischen Milchviehbetrieb statt. In diesem Zeitraum wurden täglich durchschnittlich 704 Kühe in einem Außenmelkerkarussell gemolken. Alle zu melkenden Kühe wurden dort einmal im Monat durch eine erfahrene BeobachterIn auf das Vorhandensein von DD-assoziierten Hautveränderungen an den distalen Hintergliedmaßen untersucht. Hierbei kamen, mit Ausnahme einer Taschenlampe zur besseren Inspektion des Zwischenklauenspaltes, keine weiteren Hilfsmittel zum Einsatz. Auf eine Vorreinigung der Klauen mit Wasser wurde ebenfalls verzichtet.

Die Evaluierung der Objektivierbarkeit und Treffsicherheit der Scoring-Methode fand an drei zusätzlichen und aufeinanderfolgenden Beobachtungstagen statt. Hierfür bonitierten fünf BeobachterInnen mit unterschiedlichem Erfahrungsstand bezüglich der DD-Diagnostik die Unterfüße von 416 Kühen zu zwei aufeinanderfolgenden Melkzeiten im Außermelkerkarussell. Nach dem zweiten Scoring wurde eine zufällige Stichprobe von 100 Tieren durch den Herdenmanager selektiert und einer detaillierteren Untersuchung durch dieselben BeobachterInnen in einem Klauenstand zugeführt. Die Einteilung der DD-Läsionen erfolgte hierbei nach dem sogenannten M-Schema von DÖPFER et al. (1997), modifiziert nach BERRY et al. (2012). Für die vorliegende Arbeit wurde dieses Schema auf Grundlage der Erkenntnisse von RELUN et

al. (2011) und THOMSEN et al. (2008) noch deutlich vereinfacht, indem drei Merkmalskategorien gebildet wurden, die wie folgt definiert waren: M0 = gesunde Haut; Ma = aktive Läsion; Mc = chronische Läsion. Die Scoring-Ergebnisse aus dem Melkstand wurden jenen als Goldstandard geltenden Werten aus der Klauenstanduntersuchung gegenübergestellt. Auf diese Weise konnten Sensitivität, Spezifität, PPV, NPV, Intraobserver-Übereinstimmung, Interobserver-Übereinstimmung sowie die Übereinstimmung mit dem Goldstandard berechnet werden. Für die letzten drei Parameter erfolgte dies unter Ausschluss der zufälligen Übereinstimmung durch Ermittlung von κ -Koeffizienten, welche schließlich nach den Kategorien von LANDIS und KOCH (1977) interpretiert wurden.

Die beschriebene Methode stellt mit einer Untersuchungszeit von ca. zehn Sekunden pro Tier ein sehr einfaches und schnelles Verfahren zum Erkennen von DD-assoziierten Hautveränderungen dar. Die auf diese Weise ermittelte Prävalenz von DD_{gesamt} (Ma+Mc) mit 70,6% fällt deutlich niedriger aus als jene im Klauenstand erhobene mit 86,6%. Die mittlere Sensitivität für das Erkennen von DD_{gesamt} (Ma+Mc) lag bei 0,78, die Spezifität bei 0,69. Für Ma betrug die Sensitivität lediglich 0,32, für Mc 0,57, was folglich eine genaue Differenzierung der Merkmalskategorien mit dieser Methode nicht sicher zulässt.

Die κ -Koeffizienten für die Intraobserver-Übereinstimmung schwankten für die Beurteilung nach den drei modifizierten M-Stadien (M0, Ma, Mc) zwischen Werten von 0,149 und 0,535, was bestenfalls einer ausreichenden Übereinstimmung entspricht. Für das grundsätzliche Erkennen von DD-Läsionen (M0, Ma+Mc), lag der höchste κ -Wert bei 0,626, was einer mittelmäßigen Übereinstimmung gleichkommt. Erfahrene BeobachterInnen erzielten konstantere Werte und stimmten besser mit sich selbst überein als wenig erfahrene BeobachterInnen. Auch für die Interobserver-Übereinstimmung wurden Kappa-Werte in diesen beiden Kategorien berechnet. Die Bestwerte lagen hier bei 0,447 für die Bewertung der drei Merkmalskategorien (M0, Ma, Mc) und bei 0,571, wenn DD nur generell erkannt werden sollte (M0, Ma+Mc). Diese Werte entsprechen beide einer mittelmäßigen Übereinstimmung nach LANDIS und KOCH (1977). Zudem kann bei allen BeobachterInnen eine Steigerung der Übereinstimmungen am zweiten Untersuchungstag festgestellt werden, sodass von einem Lerneffekt ausgegangen werden kann.

Beim Vergleich der Scoring-Ergebnisse aus dem Melkstand mit jenen des Goldstandards konnten für die Kategorisierung nach drei Merkmalskategorien bestenfalls ausreichende und für die zwei Merkmalskategorien (M0, Ma+Mc) mittelmäßige Übereinstimmungen erzielt werden. Die meisten Missklassifikationen traten bei der Einstufung von Ma-Läsionen auf, die häufig fälschlicherweise den chronischen Veränderungen (Mc) zugeordnet wurden.

Im Verlauf von 24 Monaten schwankte die DD-Prävalenz unter Berücksichtigung aller Krankheitsausprägungen in der untersuchten Milchviehherde zwischen 54,6% und 90,4% und lag im Mittel bei 74,2%. Bei Betrachtung der einzelnen DD-Stadien ließ sich ein deutlicher Anstieg der chronischen Veränderungen (Mc) und ein Abfall der gesunden Unterfüße (M0) verzeichnen, wohingegen die Anzahl der aktiven Läsionen (Ma) zunächst auch etwas sank, dann aber weitestgehend stabil bei circa 20% blieb. Bei jahreszeitlicher Untergliederung des Untersuchungszeitraumes waren keine signifikanten Veränderungen der Prävalenz feststellbar ($p = 0,102$), die auf einen Einfluss der jahreszeitlichen Witterungsbedingungen zurückgeführt werden konnten.

Aus diesen Ergebnissen lässt sich schließen, dass die Methode ausreichend geeignet ist, um DD-assoziierte Hautveränderungen im Außenmelkerkarussell schnell zu erkennen, ohne dabei die Betriebsabläufe zu stören. Für eine genaue Differenzierung von M-Stadien sollte hingegen anderen, vergleichbaren Methoden unter Einsatz von Hilfsmitteln und mit Vorreinigung der Klauen der Vorzug gegeben werden. Auch eine vorherige Schulung der BeobachterInnen in der Diagnostik von DD ist unerlässlich, um valide Daten zu erzielen. Nach gründlicher Einführung kann die Methode auch durch Betriebspersonal angewandt werden, um die DD-Prävalenz zu überwachen, Ausbrüche zu erkennen und Therapieerfolge zu kontrollieren. Der Goldstandard ist nach wie vor die Untersuchung der Klauen in einem Klauenstand.

8 Summary

Determination of prevalence and natural progression of bovine digital dermatitis on a Brandenburg (Germany) dairy farm over a timeframe of 24 months

Digital dermatitis (DD) is a multifactorial infectious skin disease in cattle that causes painful ulcerations and is associated with substantial economic losses. Early lesion detection and individual animal treatment are essential to keep DD manageable since it is difficult to eliminate. The inspection of the hind limbs in a trimming chute, which is defined as the gold standard for scoring DD, usually causes stress for the animal and means additional work for the farm staff. To perform regular inspections apart from routine claw trimmings a simple scoring method for DD is needed that can be easily performed any time. The visual examination of bovine feet in the milking parlor presents an adequate alternative because it is not interfering with the daily working routine on a dairy farm.

The objective of this study was to evaluate a simple scoring method for DD in a rotary milking parlor for its reliability and reproducibility to detect different stages of the disease. It was also examined whether farm staff could learn and perform the aforementioned method. Furthermore, the prevalence and natural lesion progression of DD was monitored over a period of 24 months taking into account the possible impact of seasonal changes.

All examinations took place on a dairy farm in Brandenburg (Germany) between January 2015 and December 2016. Every month an average of 704 cows had their hind feet inspected during the daily milking in a rotary milking parlor for the presence of DD-associated skin alterations. The only equipment used was a simple flashlight to get better insight into the interdigital cleft. It took about 10 seconds to score each cow. There was no prewashing of the claws.

The evaluation of the scoring method took place on three consecutive days. Five observers with different levels of experience in detecting digital dermatitis inspected the hind feet of 416 cows from two different milking groups in the rotary milking parlor during two successive milkings. Afterwards 50 cows of every group were selected at random by the herd manager for a more accurate examination in the trimming chute by all five observers (=gold standard). The M-system by DÖPFER et al. (1997) modified by BERRY et al. (2012) was implemented to grade the lesions. For the milking parlor examination the M-system was simplified to only three categories based on the findings of RELUN et al. (2011) and THOMSEN et al. (2008) and were defined as followed: M0 for healthy skin, Ma for acute and Mc for chronic lesions. All results from the milking parlor inspections were compared to the gold standard results from the trimming chute to calculate sensitivity, specificity, PPV, NPV, intra- and interobserver reliability and

the agreement to the gold standard. Cohen's κ was determined for the latter three to exclude accidental agreements. κ -values were interpreted using the categories of LANDIS und KOCH (1977).

The scoring method evaluated in this study is an adequate, simple, and quick instrument to detect DD-associated skin alterations. However, the total prevalence of DD (Ma+Mc) in the milking parlor (70.6%) was a bit lower than it was for the trimming chute inspections (86.6%). Sensitivity and specificity for finding DD (Ma+Mc) were 0.78 and 0.69. This method is not reliable to differentiate between the different lesion categories since sensitivity was on a quite low level with 0.32 for Ma and 0.57 for Mc.

Cohen's κ for intraobserver reliability for detection of the three lesion categories (M0, Ma, Mc) varies between 0.149 and 0.535, which indicates only a moderate agreement. In comparison the best observer reached a κ -value of 0.626, when two categories were examined (M0, Ma+Mc), which means a substantial agreement. Experienced observers achieved better results than unexperienced observers, because their lesion scoring was more accurate. In addition, κ was also calculated for interobserver reliability. The best results were 0.447 for the three lesion categories (M0, Ma, Mc) and 0.571 for the detection of only two categories (M0, Ma+Mc). This indicates a moderate agreement (LANDIS und KOCH 1977). There was an obvious improvement of κ on the second day of examination in the milking parlor, which indicates a learning effect.

There was moderate agreement to the gold standard (=examination of claws in a trimming chute) when three lesion categories were factored (M0, Ma, Mc) and substantial agreement when two categories (M0, Ma+Mc) were considered. Most misclassifications were noted for Ma-lesions, which were frequently scored as chronic Mc-lesions.

For the period of 24 months, the prevalence of digital dermatitis in the examined dairy herd varied between 54.6% and 90.4% with an average of 74.2%. Looking at the progression of the different stages there was a clear increment of chronic lesions (Mc) and a decrement of healthy feet (M0). While the number of active lesions (Ma) also decreased at first, it stayed quite stable overall at about 20%. When examining the data with seasonal borders, the prevalence stayed steady with an average of 74.6%, a minimum of 60.6% and a maximum of 87.3%. This indicates no significant seasonal variations in prevalence of DD ($p = 0,102$).

These results show that the method's reliability is high enough to generally detect DD in a rotary milking parlor without interrupting the daily routine of the milking process. If the aim of an examination is the differentiation of M-stages, other scoring methods will be more reliable like including a decent prewash and/or the utilization of additional devices. Proper training of observers in advance is also highly recommended in order to collect valid data. This scoring

method can also be used by farm staff to monitor the prevalence of DD, to detect breakouts and to control the success of therapy. The gold standard for detecting and staging DD is still the examination of cleaned feet in a trimming chute.

9 Literaturverzeichnis

ALSAAOD, M., SYRING, C., DIETRICH, J., DOHERR, M. G., GUJAN, T., STEINER A. (2014):

A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows.

Vet J 199: 281-285

ARGAEZ-RODRIGUEZ F. J., HIRD, D. W., HERNANDEZ DE ANDA, J., READ, D. H., RODRIGUEZ-LAINZ, A. (1997):

Papillomatous digital dermatitis on a commercial dairy farm in Mexicali, Mexico: incidence and effect on reproduction and milk production.

Prev Vet Med 32: 275-286

ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER RINDERZÜCHTER E.V. (2016):

Rinderproduktion in Deutschlands 2015

Ausgabe 2016, Bonn, ADR

ISSN: 1439-8745

ARBEITSGEMEINSCHAFT DEUTSCHER RINDERZÜCHTER E.V. (2017):

Rinderproduktion in Deutschlands 2016

Ausgabe 2017, Bonn, BRS

ISSN: 1439-8745

BARKER, Z. E., LEACH, K. A., WHAY, H.R., BELL, N. J, MAIN, D.C. (2010):

Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales.

J Dairy Sci 93: 932-941

BERENDSEN, S., VERDEGAAL, L. M. A., VAN TRICHT, M. J., BLANKERS, M., VAN, H. L., DE HAAN. L. (2020):

An old but still burning problem: Inter-rater reliability in clinical trials with antidepressant medication.

J Affect Disord 276: 748-751

BERGSTEN, C., BLOWEY, R., FIEDLER, A., HOLZHAUER, M., KLOOSTERMANN, P., RELUN, A. (2017):

DeLaval - Der 5-Punkte-Plan zur Kontrolle der Dermatitis digitalis (Mortellarosche Krankheit).

Abgerufen am 19.08.2020 um 10.15 Uhr, von

<https://www.delaval.com/contentassets/2a6da954d1bf46879c197a8a79902dc3/delaval-5-punkte-plan.pdf>

BERRY, S. L., READ, H. D., FAMULA, T. R., MONGINI, A., DÖPFER, D. (2012):

Long-term observations on the dynamics of bovine digital dermatitis lesions on a California dairy after topical treatment with lincomycin HCl.

Vet J 193: 654-658

BERRY, S. L., READ, D. H., WALKER, R. L., FAMULA, T. R. (2010):

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 237: 555-560

- BLOWEY, R. (2005):
Factors associated with lameness in dairy cattle.
In Practice 27: 154-162
- BUNDESVERBAND RIND UND SCHWEIN E.V. (BRS) (2020):
Faltblatt RZGesund.
Abgerufen am 19.08.2020 um 10:34 Uhr von https://richtigzuechten.de/services/files/richtig-zuechten/20_0640_BRS_Faltblatt_6-Seiter_210x210_DE_rz_Montage_web.pdf
- BRUIJNIS, M. R., HOGEVEEN, H., STASSEN, E. N. (2010):
Assessing economic consequences of foot disorders in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model.
J Dairy Sci 93: 2419-2432
- CAPION, N., BOYE, M., EKSTROM, C. T., JENSEN, T. K. (2012):
Infection dynamics of digital dermatitis in first-lactation Holstein cows in an infected herd.
J Dairy Sci 95: 6457-6464
- CAPION, N., THAMSBORG, S.M., ENEVOLDSEN, C. (2008):
Prevalence of foot lesions in Danish Holstein cows.
Vet Rec 163: 80-85
- CHA, E., HERTL, J. A., BAR, D., GROHN, Y. T. (2010):
The cost of different types of lameness in dairy cows calculated by dynamic programming.
Prev Vet Med 97: 1-8
- CHAPINAL, N., KOECK, A., SEWALEM, A., KELTON, D. F., MASON, S., CRAMER G., MIGLIOR, F. (2013):
Genetic parameters for hoof lesions and their relationship with feet and leg traits in Canadian Holstein cows.
J Dairy Sci 96: 2596-2604
- CHELI, R., MORTELLARO, C. (1974):
Digital dermatitis in cattle (La dermatite digitale del bovino).
In PROCEEDINGS of the 8th International Conference on Disease of cattle/ Hrsg.: Tipografia Editoriale Piacentina Gallaratti, Mailand, S. 208-213
- CLEGG, S. R., CARTER S. D., STEWART, J. P., AMIN, D. M., BLOWEY, R. W., EVANS, N. J. (2016):
Bovine ischaemic teat necrosis: a further potential role for digital dermatitis treponemes.
Vet Rec 178: 71
- COOK, N. B. (2003):
Prevalence of lameness among dairy cattle in Wisconsin as a function of housing type and stall surface.
J Am Vet Med Assoc 223: 1324-1328
- COOK, N. B. (2004):
The impact of freestall barn design on lameness and mastitis in Wisconsin.
In PROCEEDINGS of Minnesota Veterinary Medical Association, Minneapolis
- COOK, N. B., RIEMAN, J., GOMEZ, A., BURGI, K. (2012):
Observations on the design and use of footbaths for the control of infectious hoof disease in dairy cattle.
Vet J 193: 669-673

CORNELISSE, J. J., PETERSE, D. J., TOUSSAINT RAVEN, E. (1982):
Formalin foot baths in the prevention of interdigital dermatitis in cattle].
Tijdschr Diergeneeskd 107: 835-840

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: 3888-3895

CRAMER, G., WINDERS, T., SOLANO, L., KLEINSCHMIT, D. H. (2018):
Evaluation of agreement among digital dermatitis scoring methods in the milking parlor, pen,
and hoof trimming chute.
J Dairy Sci 101: 2406-2414

DE CICCIO, A., MCLAUGHLIN, R., CHAN, E. C. (1999):
Factors affecting the formation of spherical bodies in the spirochete *Treponema denticola*.
Oral Microbiol Immunol 14: 384-386.

DELAVAL GMBH (2010):
Automatisches Klauenbad DeLaval AFB1000.
Abgerufen am 21.08.2020 um 09:05 Uhr von
<https://www.delaval.com/globalassets/inriver-resources/document/brochure/automatisches-klauenbad-afb1000.pdf>

DETER, A. (2017):
Automatisches Klauenbad.
Abgerufen am: 21.08.2020 um 08:59 Uhr, von
<https://www.topagrar.com/technik/news/automatisches-klauenbad-9359857.html>

DOANE, M. SARENBO, S. (2014):
Exposure of farm laborers and dairy cattle to formaldehyde from footbath use at a dairy farm
in New York State.
Sci Total Environ 487: 65-71

DÖPFER, D. (2009):
The dynamics of digital dermatitis in dairy cattle and the manageable state of disease.
In PROCEEDINGS of the CanWest Veterinary Conference 2009.
CanWest Veterinary Conference 2009, 17. – 20. Oktober 2009, Banff, Kanada: S. 1-5

DÖPFER, D., ANKLAM, K., MIKHEIL, D., LADELL, P. (2012):
Growth curves and morphology of three *Treponema* subtypes isolated from digital dermatitis
in cattle.
Vet J 193: 685-693

DÖPFER, D., HOLZHAUER, M., BOVEN, M. (2012):
The dynamics of digital dermatitis in populations of dairy cattle: model-based estimates of
transition rates and implications for control.
Vet J 193: 648-653

DÖPFER, D., KOOPMANS, A., MEIJER, F. A., SZAKALL, I., SCHUKKEN, Y. H., KLEE, W.,
BOSMA, R. B., CORNELISSE, J. L., VANASTEN, A., TERHUURNE, A. (1997):
Histological and bacteriological evaluation of digital dermatitis in cattle, with special reference
to spirochaetes and *Campylobacter faecalis*.
Vet Rec 140: 620-623

- DUTTON-REGESTER, K. J., BARNES, T. S., WRIGHT, J. D., ALAWNEH, J. I., RABIEE, A. R. (2018):
A systematic review of tests for the detection and diagnosis of foot lesions causing lameness in dairy cows.
Prev Vet Med 149: 53-66
- EDWARDS, A. M., DYMOCK, D., JENKINSON, H. F. (2003):
From tooth to hoof: treponemes in tissue-destructive diseases.
J Appl Microbiol 94: 767-780
- EVANS, N. J., BLOWEY, R. W., TIMOFTE, D., ISHERWOOD, D. R., BROWN, J. M., MURRAY, R., PATON, R. J., CARTER, S. D. (2011):
Association between bovine digital dermatitis treponemes and a range of 'non-healing' bovine hoof disorders.
Vet Rec 168: 214.
- EVANS, N. J., BROWN, J. M., DEMIRKAN, I., BIRTLES, R., HART, C. A., CARTER, S. D. (2009):
In vitro susceptibility of bovine digital dermatitis associated spirochaetes to antimicrobial agents.
Vet Microbiol 136: 115-120
- EVANS, N. J., BROWN, J. M., DEMIRKAN, I., SINGH, P., GETTY, B., TIMOFTE, D., VINK, W. D., MURRAY, R. D., BLOWEY, R. W., BIRTLES, R. J., HART, C. A., CARTER, S. D. (2009):
Association of unique, isolated treponemes with bovine digital dermatitis lesions.
J Clin Microbiol 47: 689-696
- EVANS, N. J., BROWN, J. M., HARTLEY, C., SMITH, R. F., CARTER, S. D. (2012):
Antimicrobial susceptibility testing of bovine digital dermatitis treponemes identifies macrolides for in vivo efficacy testing.
Vet Microbiol 160: 496-500
- EVANS, N. J., BROWN, J. M., SCHOLEY, R., MURRAY, R. D., BIRTLES, R. J., HART, C. A., CARTER, S. D. (2014):
Differential inflammatory responses of bovine foot skin fibroblasts and keratinocytes to digital dermatitis treponemes.
Vet Immunol Immunopathol 161: 12-20
- EVANS, N. J., TIMOFTE, D., CARTER, S. D., BROWN, J. M., SCHOLEY, R., READ, D. H., BLOWEY, R. W. (2010):
Association of treponemes with bovine ulcerative mammary dermatitis.
Vet Rec 166: 532-533
- EVANS, N. J., TIMOFTE, D., ISHERWOOD, D. R., BROWN, J. M., WILLIAMS, J. M., SHERLOCK, K., LEHANE, M. J., MURRAY, R. D., BIRTLES, R. J., ANTHONY HART, C., CARTER, S. D. (2012):
Host and environmental reservoirs of infection for bovine digital dermatitis treponemes.
Vet Microbiol 156: 102-109
- FIDLER, A. P., ALLEY, M. L., SMITH, G. W. (2012):
Evaluation of a *Serpens* species bacterin for treatment of digital dermatitis in dairy cattle.
Res Vet Sci 93: 1258-1260

FIEDLER, A., SAUTER-LOUIS, C., MAIERL, J. (2015):
Polyurethane dressing, tetracycline and salicylic acid use for treatment of digital dermatitis in cattle. A comparative study.
Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 43: 350-358.

FIEGUTH, L. H. (2014):
Untersuchungen zur Stressantwort bei Milchkühen anhand eines ACTH Stimulationstests und der Evaluierung der Herzratenvariabilität.
VetMed Diss Hannover

FLEISS, J. L., LEVIN, B., PAIK, MYUNGHEE CHO (2003):
Statistical Methods for Rates and Proportions
3. Auflage, New Jearsey; Hoboken: John Wiley & Sons Inc.
E-ISBN: 9780471445425
DOI: 10.1002/0471445428

GIBBONS, J., VASSEUR, E., RUSHEN, J., DE PASSILLE, A. M. (2012):
A training programme to ensure high repeatability of injury scoring of dairy cows.
Anim Welf 21: 379-388

GOMEZ, A., ANKLAM, K. S., COOK, N. B., RIEMAN, J., DUNBAR, K. A., COOLEY, K. E., SOCHA, M. T., DOPFER, D. (2014):
Immune response against *Treponema* spp. and ELISA detection of digital dermatitis.
J Dairy Sci 97: 4864-4875

GOMEZ, A., BERNARDONI, N., RIEMAN, J., DUSICK, A., HARTSHORN, R., READ, D. H., SOCHA, M. J., COOK, N. B., DÖPFER, D. (2014):
A randomized trial to evaluate the effect of a trace mineral premix on the incidence of active digital dermatitis lesions in cattle.
J Dairy Sci 97: 6211-6222

GOMEZ, A., COOK, N.B., BERNARDONI, N. D., RIEMAN, J., DUSICK, A. F., HARTSHORN, R., SOCHA, M. T., READ, D. H., DÖPFER, D. (2012):
An experimental infection model to induce digital dermatitis infection in cattle.
J Dairy Sci 95: 1821-1830

GOMEZ, A., COOK, N. B., RIEMAN, J., DUNBAR, K. A., COOLEY, K. E., SOCHA, M. T., DÖPFER, D. (2015):
The effect of digital dermatitis on hoof conformation.
J Dairy Sci 98: 927-936

GWET, K. L. (2012):
Handbook of inter-rater reliability: The definitive guide to measuring the extent of agreement among raters.
4. Auflage, Gaithersburg; Gaithersburg: Advanced Analytics, LLC
ISBN: 978-0-9708062-8-4

HARTOG, B. J., TAP, S. H., POUW, H. J., POOLE, D. A., LAVEN, R. A. (2001):
Systemic bioavailability of erythromycin in cattle when applied by footbath.
Vet Rec 148: 782-783

HERNANDEZ, J., SHEARER, J. K. (2000):
Efficacy of oxytetracycline for treatment of papillomatous digital dermatitis lesions on various anatomic locations in dairy cows.
J Am Vet Med Assoc 216: 1288-1290

- HERNANDEZ, J., SHEARER, J. K., ELLIOTT, J. B. (1999):
Comparison of topical application of oxytetracycline and four nonantibiotic solutions for treatment of papillomatous digital dermatitis in dairy cows.
J Am Vet Med Assoc 214: 688-690
- HOLMES, M., COCKCROFT, P. (2008):
Handbook Of Veterinary Clinical Research.
1. Auflage; Oxford, UK: Wiley-Blackwell Publishing
ISBN: 978-1-4051-4551-0
- HOLZHAUER, M., BARTELS, C. J. M., DÖPFER, D., VAN SCHAİK, G. (2008):
Clinical course of digital dermatitis lesions in an endemically infected herd without preventive herd strategies.
Vet J 177: 222-230
- HOLZHAUER, M., DÖPFER, D., DE BOER, J., VAN SCHAİK, G. (2008):
Effects of different intervention strategies on the incidence of papillomatous digital dermatitis in dairy cows.
Vet Rec 162: 41-46
- HOLZHAUER, M., HARDENBERG, C., BARTELS, C. J. M., FRANKENA, K. (2006):
Herd- and Cow-Level Prevalence of Digital Dermatitis in The Netherlands and Associated Risk Factors.
J Dairy Sci 89: 580-588
- ICAR WGTF UND INTERNATIONALE KLAUENGESUNDHEITSEXPERTEN (2015):
ICAR Atlas der Klauengesundheit.
1. Ausgabe, Rom; Rom: ICAR – ISBN 92-95014-18
- ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS (2020a):
ICAR Claw Health Atlas - Appendix 1: Digital Dermatitis Stages (M-Stages).
1. Ausgabe, Rom; Rom: ICAR – ISBN 92-95014-21-9
- ICAR WGFT AND INTERNATIONAL CLAW HEALTH EXPERTS (2020b):
ICAR Claw Health Atlas - Appendix 2: Digital Dermatitis-associated Claw Horn Lesions.
1. Ausgabe, Rom; Rom: ICAR – ISBN 92-95014-22-7
- INNEREBNER, C. (2013):
Untersuchungen über die Wirksamkeit der lokalen Behandlung der Dermatitis Digitalis (Mortellaro-Krankheit) mit Salicylsäure-Paste bei Milchkühen.
Vetmed Diss München
- JACOBS, C., ORSEL, K., BARKEMA, H. W. (2017):
Prevalence of digital dermatitis in young stock in Alberta, Canada, using pen walks.
J Dairy Sci 100: 9234-9244
- KARSLIÖĞLU KARA, N., GALIC, A., KOYUNCU, M. (2011):
Effects of Stall Type and Bedding Materials on Lameness and Hygiene Score and Effect of Lameness on Some Reproductive Problems in Dairy Cattle.
J Appl Anim Res 39: 334-338

- KLAWITTER, M., DÖPFER, D., BRADEN, T., AMENE, E., MÜLLER, K. E. (2017):
To Bandage Or Not To Bandage: The Curative Effect Of Bandaging Digital Dermatitis Lesions.
In: PROCEEDINGS of the 19th International Symposium and 11th Conference on Lameness in Ruminants./ Hrsg.: International Conference on Lameness in Ruminants, 19th International Symposium and Conference on Lameness in Ruminants 2017, 07.-09.09.2017, München, S. 48
- KLAWITTER, M., DÖPFER, D., BRADEN, T. B., AMENE, MÜLLER, K. E. (2019):
Randomised clinical trial showing the curative effect of bandaging on M2-stage lesions of digital dermatitis in dairy cows.
Vet Rec Open 6: e000264. doi:10.1136/vetreco-2017-000264
- KLEIMINGER, E. (2012):
Legal aspects of the use of footbaths for cattle and sheep.
Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 40: 119-125
- KOENIG, S., SHARIFI, A. R., WENTROT, H., LANDMANN, D., EISE, M., SIMIANER, H. (2005):
Genetic parameters of claw and foot disorders estimated with logistic models.
J Dairy Sci 88: 3316-3325
- 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.
Vet J 204: 229-231
- KOFLER, J., INNEREBNER, C., PESENHOFER, R., HANGL, A., TICHY, A. (2015):
Effectiveness of salicylic acid paste for treatment of digital dermatitis in dairy cows compared with tetracycline spray and hydrotherapy.
Berl Munch Tierarztl Wochenschr 128: 326-334.
- KRULL, A. C., SHEARER, J. K., GORDEN, P. J., COOPER, V. L., PHILLIPS, G. J., PLUMMER, P. J. (2014):
Deep Sequencing Analysis Reveals Temporal Microbiota Changes Associated with Development of Bovine Digital Dermatitis.
Infect Immun 82: 3359-3373
- KRULL, A. C., SHEARER, J. K., GORDEN, P. J., SCOTT, H. M., PLUMMER, P. J. (2016):
Digital dermatitis: Natural lesion progression and regression in Holstein dairy cattle over 3 years.
J Dairy Sci 99: 1-14
- KÜHBERGER, M. (2010):
Melksystememe im Vergleich.
In Tagungsband Konventionelle Melksysteme der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft/ Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan
Konventionelle Melksysteme 29. September 2010, Grub
- LANDIS, J. R., KOCH, G. G. (1977):
The measurement of observer agreement for categorical data.
Biometrics 33: 159-174

LAVEN, L. J., LAVEN, R. A., PARKINSON, T. J., LOPEZ-VILLALOBOS, N., MARGERISON, J. K. (2012):

An evaluation of the changes in distance from the external sole surface to the distal phalanx in heifers in their first lactation.

Vet J 193: 639-643

LAVEN, R. (2001):

Control of digital dermatitis in cattle.

In Practice 23: 336-341

LAVEN, R. (2007):

The relationship between hoof conformation and digital dermatitis in dairy cattle.

Cattle Pract 15: 93-95

LAVEN, R. A., HUNT, H. (2001):

Comparison of valnemulin and lincomycin in the treatment of digital dermatitis by individually applied topical spray.

Vet Rec 149: 302-3

LAVEN, R. A., HUNT, H. (2002):

Evaluation of copper sulphate, formalin and peracetic acid in footbaths for the treatment of digital dermatitis in cattle.

Vet Rec 151: 144-146

LAVEN, R. A., LAWRENCE, K. R. (2006):

An evaluation of the seasonality of veterinary treatments for lameness in UK dairy cattle.

J Dairy Sci 89: 3858-3865

LAVEN, R. A., LOGUE, D. N. (2006):

Treatment strategies for digital dermatitis for the UK.

Vet J 171: 79-88

LAVEN, R. A., PROVEN, M. J. (2000):

Use of an antibiotic footbath in the treatment of bovine digital dermatitis.

Vet Rec 147: 503-506

MANNING, A. D., MAHENDRAN, S. A., HURST, B. S., BLACKMORE, T. L., BELL, N. J. (2016):

Effect of a prewash on footbath contamination: a randomised control trial.

Vet Rec 2016. doi: 10.1136/vr.103922

MANSKE, T., HULTGREN, J., BERGSTEN, C. (2002):

Topical treatment of digital dermatitis associated with severe heel-horn erosion in a Swedish dairy herd.

Prev Vet Med 53: 215-231

NIELSEN, B. H., THOMSEN, P. T., GREEN, L. E., KALER, J. (2012):

A study of the dynamics of digital dermatitis in 742 lactating dairy cows.

Prev Vet Med 104: 44-52

NORDHOFF, M., MOTER, A., SCHRANK, K., WIELER, L. H. (2008):

High prevalence of treponemes in bovine digital dermatitis - A molecular epidemiology.

Vet Microbiol 131: 293-300

- NORDHOFF, M., WIELER, L. H. (2005):
Significance and distribution of Treponemes in animals.
Berl Munch Tierarztl Wochenschr 118: 24-36
- OLIVEIRA, V. H. S., SORENSEN, J. T., THOMSEN, P. T. (2017):
Associations between biosecurity practices and bovine digital dermatitis in Danish dairy herds.
J Dairy Sci 100: 8398-8408
- OLIVEIRA, V. H. S., SØRENSEN, J. T., THOMSEN, P. T. (2017):
Can digital dermatitis be detected in the milking parlor without washing cows' feet?
Res Vet Sci 115: 325-326
- ONYIRO, O. M., ANDREWS, L. J., BROTHERSTONE, S. (2008):
Genetic parameters for digital dermatitis and correlations with locomotion, production, fertility traits, and longevity in Holstein-Friesian dairy cows.
J Dairy Sci 91: 4037-4046
- ORSEL, K., PLUMMER, P., SHEARER, J., DE BUCK, J., CARTER, S. D., GUATTEO, R., BARKEMA, H. W. (2018):
Missing pieces of the puzzle to effectively control digital dermatitis.
Transbound Emerg Dis 65 Suppl 1: 186-198
- PALMER, C. N., IRVINE, A. D., TERRON-KWIATKOWSKI, A., ZHAO, Y., LIAO, H., LEE, S. P., GOUDIE, D. R., SANDILANDS, A., CAMPBELL, L. E., SMITH, F. J., O'REGAN, G. M., WATSON, R. M., CECIL, J. E., BALE, S. J., COMPTON, J. G., DIGIOVANNA, J. J., FLECKMAN, P., LEWIS-JONES, S., ARSECULERATNE, G., SERGEANT, MUNRO, A., C. S., EL HOUATE, B., MCELREAVEY, K., HALKJAER, L. B., BISGAARD, H., MUKHOPADHYAY, S., MCLEAN, W. H. (2006):
Common loss-of-function variants of the epidermal barrier protein filaggrin are a major predisposing factor for atopic dermatitis.
Nat Genet 38: 441-446
- PALMER, M. A., DONNELLY, R. F., GARLAND, M. J., MAJITHIYA, R., O'CONNELL, N. E. (2013):
The effect of slurry on skin permeability to methylene blue dye in dairy cows with and without a history of digital dermatitis.
Animal 7: 1731-1737
- PALMER, M. A., O'CONNELL, N. E. (2015):
Digital Dermatitis in dairy cows: A review of risk factors and potential sources of between-animal variation in susceptibility.
Animals (Basel) 5: 512-535. doi:10.3390/ani5030369
- PESENHOFER, G., PALME, R., PESENHOFER, R. M., KOFLE, J. (2006):
Comparison of two methods of fixation during functional claw trimming - Walk-in crush versus tilt table - In dairy cows using faecal cortisol metabolite concentrations and daily milk yield as parameters.
Wien Tierarztl Monatsschr 93: 288-294
- PETRIE, A., WATSON, P. (2013):
Statistics for Veterinary and Animal Science
3. Auflage; Chichester: Wiley-Blackwell
ISBN: 978-0-470-67075-0

- PLUMMER, P. J. and KRULL A. (2017):
Clinical Perspectives of Digital Dermatitis in Dairy and Beef Cattle.
Vet Clin North Am Food Anim Pract 33: 165-181
- PROUDFOOT, K. L., WEARY, D. M., VON KEYSERLINGK, M. A. G. (2012):
Linking the social environment to illness in farm animals.
Appl Anim Behav Sci 138: 203-215
- RADOLF, J. D. (1996):
Treponema.
Medical Microbiology/ Hrsg.:S. Baron, 4. Auflage, Kapitel 36
Galveston (TX): University of Texas Medical Branch at Galveston – ISBN 0-9631172-1-1
- RASMUSSEN, M., CAPION, N., KLITGAARD, K., ROGDO, T., FJELDAAS, T., BOYE, M., JENSEN, T. K. (2012):
Bovine digital dermatitis: possible pathogenic consortium consisting of *Dichelobacter nodosus* and multiple *Treponema* species.
Vet Microbiol 160: 151-161
- READ, D. H., WALKER, R. L. (1998):
Papillomatous digital dermatitis (footwarts) in California dairy cattle: clinical and gross pathologic findings.
J Vet Diagn Invest 10: 67-76
- REFAAI, W., DUCATELLE, R., GELDHOF, P., MIHI, B., EL-SHAIR. M., G. OPSOMER, G. (2013):
Digital dermatitis in cattle is associated with an excessive innate immune response triggered by the keratinocytes.
BMC Vet Res 9: 193. doi:10.1186/1746-6148-9-193
- REFAAI, W., VAN AERT, M., ABD EL-AAL, A. M., BEHERY, A. E., OPSOMER, G. (2013):
Infectious diseases causing lameness in cattle with a main emphasis on digital dermatitis (Mortellaro disease).
Livest. Sci. 156: 53-63
- RELUN, A., GUATTEO, R., ROUSSEL, P., BAREILLE, N. (2011):
A simple method to score digital dermatitis in dairy cows in the milking parlor.
J Dairy Sci 94: 5424-5434
- RELUN, A., LEHEBEL, A., BRUGGINK, M., BAREILLE, N. GUATTEO, R. (2013):
Estimation of the relative impact of treatment and herd management practices on prevention of digital dermatitis in French dairy herds.
Prev Vet Med 110: 558-562
- RODRIGUEZ-LAINZ, A., MELENDEZ-RETAMAL, P., HIRD, D. W., READ, D.H. (1998):
Papillomatous digital dermatitis in Chilean dairies and evaluation of a screening method.
Prev Vet Med 37: 197-207
- RODRIGUEZ-LAINZ, A., MELENDEZ-RETAMAL, P., HIRD, D.W., READ, D. H., WALKER, R. L. (1999):
Farm- and host-level risk factors for papillomatous digital dermatitis in Chilean dairy cattle.
Prev Vet Med 42: 87-97

SAYERS, G., MARQUES, P. X., EVANS, N. J., O'GRADY, L., DOHERTY, M. L., CARTER, S. D., NALLY, J. E. (2009):
Identification of spirochetes associated with contagious ovine digital dermatitis.
J Clin Microbiol 47: 1199-1201

SCHOLEY, R. A., BLOWEY, R. W., MURRAY, R. D., SMITH, R. F., CAMERON, J. ,
MASSEY, J. P., OLLIER, W. E., CARTER, S. D. (2012):
Investigating host genetic factors in bovine digital dermatitis.
Vet Rec 171: 624. doi: 10.1136/vr.101251

SCHOLEY, R. A., EVANS, N. J., BLOWEY, R. W., MASSEY, J. P., MURRAY, R. D., SMITH,
R. F., OLLIER, W. E., CARTER, S. D. (2013):
Identifying host pathogenic pathways in bovine digital dermatitis by RNA-Seq analysis.
Vet J 197: 699-706

SCHULTZ, N., CAPION, N. (2013):
Efficacy of salicylic acid in the treatment of digital dermatitis in dairy cattle.
Vet J 198: 518-523

SCHÜTZ, W. (2001):
Überprüfung der Wirksamkeit stallspezifischer Vakzinen zur Bekämpfung der Dermatitis
digitalis bei Milchkühen.
Vetmed Diss Münchn

SILVA, D. C., QUEIROZ, P. J. B., CAETANO, D. B. S., ASSIS, B. M., RABELO, R. E.,
SILVA, L. A. F. (2018):
Association between bovine digital dermatitis and annual periods of lower pluviometric
precipitation in Central Brazil.
Trop Anim Health Prod 50: 1631-1636

SMITH, A. C., WOOD, C. L., MCQUERRY, K. J., BEWLEY, J. M. (2014):
Effect of a tea tree oil and organic acid footbath solution on digital dermatitis in dairy cows.
J Dairy Sci 97: 2498-2501

SOLANO, L., BARKEMA, H. W., JACOBS, C., ORSEL, K. (2017):
Validation of the M-stage scoring system for digital dermatitis on dairy cows in the milking
parlor.
J Dairy Sci 100: 1592-1603

SOLANO, L., BARKEMA, H. W., MASON, S., PAJOR, E. A., LEBLANC, S. J., ORSEL, K.
(2016):
Prevalence and distribution of foot lesions in dairy cattle in Alberta, Canada.
J Dairy Sci 99: 6828-6841

SOLANO, L., BARKEMA, H. W., PICKEL, C., ORSEL, K. (2017):
Effectiveness of a standardized footbath protocol for prevention of digital dermatitis.
J Dairy Sci 100: 1295-1307

SOMERS, J. G., FRANKENA, K., NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N. , METZ, J. H. (2003):
Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems.
J Dairy Sci 86: 2082-2093

SOMERS, J. G., FRANKENA, K., NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N., METZ, J. H. (2005):
Risk factors for digital dermatitis in dairy cows kept in cubicle houses in The Netherlands.
Prev Vet Med 71: 11-21

SOMERS, J. G., SCHOUTEN, W. G., FRANKENA, K., NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N., METZ, J. H. (2005):

Development of claw traits and claw lesions in dairy cows kept on different floor systems.
J Dairy Sci 88: 110-120

STOKES, J. E., LEACH, K. A., MAIN, D. C., WHAY, H. R. (2012):

The reliability of detecting digital dermatitis in the milking parlour.
Vet J 193: 679-684

SULLIVAN, L. E., BLOWEY, R. W., CARTER, S. D., DUNCAN, J. S., GROVE-WHITE, D. H., PAGE, P., IVESON, T., ANGELL, J. W., EVANS, N. J. (2014):

Presence of digital dermatitis treponemes on cattle and sheep hoof trimming equipment.
Vet Rec 2014. doi: 10.1136/vr.102269

SULLIVAN, L. E., CARTER, S. D., BLOWEY, R., DUNCAN, J. S., GROVE-WHITE, D., EVANS, N. J. (2013):

Digital dermatitis in beef cattle.
Vet Rec 173: 582. doi: 10.1136/vr.101802

SULLIVAN, L. E., EVANS, N. J., BLOWEY, R. W., GROVE-WHITE, D. H., CLEGG, S. R., DUNCAN, J. S., CARTER, S. D. (2015):

A molecular epidemiology of treponemes in beef cattle digital dermatitis lesions and comparative analyses with sheep contagious ovine digital dermatitis and dairy cattle digital dermatitis lesions.
Vet Microbiol. 178: 77-87

SULLIVAN, L. E., EVANS, N. J., CLEGG, S. R., CARTER, S. D., HORSFIELD, J. E., GROVE-WHITE, D., DUNCAN, J. S. (2015):

Digital dermatitis treponemes associated with a severe foot disease in dairy goats.
Vet Rec 176: 283. doi: 10.1136/vr.102858

THOMSEN, P. T. (2015):

Short communication: Efficacy of copper sulfate hoof baths against digital dermatitis-Where is the evidence?
J Dairy Sci 98: 1-6

THOMSEN, P. T., KLAAS, I. C., BACH, K. (2008):

Short communication: scoring of digital dermatitis during milking as an alternative to scoring in a hoof trimming chute.
J Dairy Sci 91: 4679-4682

THOMSEN, P. T., SORENSEN, J. T., ERSBOLL, A. K. (2008):

Evaluation of three commercial hoof-care products used in footbaths in Danish dairy herds.
J Dairy Sci 91: 1361-1365

TOUSSAINT RAVEN, E., HAALSTRA, R. T., PETERSE, D. J., LURVINK, A. (1985):

Cattle footcare and claw trimming.
Ipswich: Farming Press. – ISBN 0852361491

TREMBLAY, M., BENNETT, T., DÖPFER, D. (2016):

The DD Check App for prevention and control of digital dermatitis in dairy herds.
Prev Vet Med 132: 1-13

- VÖGELY, J. (2020):
Betrachtung ausgewählter Variablen des Energiestoffwechsels bei Rindern mit Dermatitis Digitalis.
VetMed Diss Berlin
- WAGNER, C. (2014):
Metaanalyse zur Therapie der bovinen Dermatitis digitalis.
VetMed Diss Gießen
- WALKER, R. L., READ, D. H., LORETZ, K. J., NORDHAUSEN, R. W. (1995):
Spirochetes isolated from dairy cattle with papillomatous digital dermatitis and interdigital dermatitis.
Vet Microbiol 47: 343-355
- WELLS, S. J., GARBER, L. P., WAGNER, B. A. (1999):
Papillomatous digital dermatitis and associated risk factors in US dairy herds.
Prev Vet Med 38: 11-24
- WILSON-WELDER, J. H., ALT, D. P., NALLY, J. E. (2015):
Digital Dermatitis in Cattle: Current Bacterial and Immunological Findings.
Animals (Basel) 5: 1114-1135
- WILSON-WELDER, J. H., ALT, D. P., NALLY, J. E. (2015):
The etiology of digital dermatitis in ruminants: recent perspectives.
Vet Med (Auckl) 6: 155-164
- WILSON-WELDER, J. H., ELLIOTT, M. K., ZUERNER, R. L., BAYLES, D. O., ALT, D. P., STANTON, T. B. (2013):
Biochemical and molecular characterization of Treponema phagedenis-like spirochetes isolated from a bovine digital dermatitis lesion.
BMC Microbiol 13: 280. doi:10.1186/1471-2180-13-280
- XIER, L. (2010):
Kappa - A Critical Review.
Abschlussarbeit Uppsala
- YANG, D. A., HEUER, C., LAVEN, R., VINK, W. D., CHESTERTON, R. N. (2017):
Farm and cow-level prevalence of bovine digital dermatitis on dairy farms in Taranaki, New Zealand.
N Z Vet J 65: 252-256
- YANG, D. A., LAVEN, R. A., CHESTERTON, R. N. (2019):
Effects of climate and farm management practices on bovine digital dermatitis in spring-calving pasture-based dairy farms in Taranaki, New Zealand.
Vet J 247: 75-80
- YANG, D. A., LAVEN, R. A., HEUER, C., VINK, W. D., CHESTERTON, R. N. (2018):
Farm level risk factors for bovine digital dermatitis in Taranaki, New Zealand: An analysis using a Bayesian hurdle model.
Vet J 234: 91-95
- ZINICOLA, M., LIMA, F., LIMA, S., MACHADO, V., GOMEZ, M., DÖPFER, D., GUARD, C., BICALHO, R. (2015):
Altered microbiomes in bovine digital dermatitis lesions, and the gut as a pathogen reservoir.
PLoS One. doi:10.1371/journal.pone.0120504

ZUERNER, R. L., HEIDARI, M., ELLIOTT, M. K., ALT, D. P., NEILL, J. D. (2007):
Papillomatous digital dermatitis spirochetes suppress the bovine macrophage innate immune response.
Vet Microbiol 125: 256-264

10 Anhang

10.1 Erhebungsbögen für Melk- und Klauenstand

Tab. 28: Erhebungsbogen zur monatlichen DD-Bonitierung im Melkstand

Melkplatz	ID	M-Stadium		Bemerkung
		HL	HR	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				

Tab. 29: Erhebungsbogen zur Bonitierung der 100 Stichprobentiere im Klauenstand

DD - Kontrolle im Klauenstand					
Anzahl	ID	Gruppe	M-Stadium		Bemerkung
			HL	HR	
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					
41					
42					
43					
44					
45					
46					
47					

48					
49					
50					
51					
52					
53					
54					
55					
56					
57					
58					
59					
60					
61					
62					
63					
64					
65					
66					
67					
68					
69					
70					
71					
72					
73					
74					
75					
76					
77					
78					
79					
80					
81					
82					
83					
84					
85					
86					
87					
88					
89					
90					
91					
92					
93					
94					
95					
96					
97					

98					
99					
100					

Publikationsverzeichnis

Vorträge

VOLLAND, M., ZUZ, P., CHOUCAIR, A. M., JÄGER, A. K., MERLE, R., MÜLLER, K.E.
(2018)

Diagnostik verschiedener Erkrankungsstadien der Dermatitis digitalis im Melkstand – Evaluierung einer einfachen Scoring-Methode

12. Berlin-Brandenburgischer Rindertag, Berlin 04.-06.10.2018

In: 12. Berlin-Brandenburgischer Rindertag Vortragsband, Klinik für Klauentiere, Freie Universität Berlin, S. 30-33

Poster

VOLLAND, M., ZUZ, P., CHOUCAIR, A. M., JÄGER, A. K., VOLKMANN, M., MERLE, R.
MÜLLER, K.E. (2018)

Diagnostik verschiedener Erkrankungsstadien der Dermatitis digitalis im Melkstand – Evaluierung einer einfachen Scoring-Methode

25. DACH-Epidemiologietagung, DGV-Fachgruppe „Epidemiologie und Dokumentation“, Sektion Epidemiologie der Österreichischen Gesellschaft der Tierärzte, Forum für Epidemiologie und Tiergesundheit Schweiz, Greifswald 05.-07.09.2018

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich beim Erstellen dieser Arbeit unterstützt haben.

An erster Stelle bedanke ich mich bei Frau Prof. Dr. K. E. Müller für die Überlassung des Themas und das Festhalten des roten Fadens bei aller Gestaltungsfreiheit.

Frau Dr. R. Merle und Frau Dr. M. Volkmann vom Instituts für Veterinär-Epidemiologie und Biometrie für die vielen Denkanstöße und die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten in Zusammenarbeit mit eifrigen und programmierfreudigen ERASMUS-Studierenden.

Bei den vier BeobachterInnen für die Teilnahme, das Durchhaltevermögen und die gute Stimmung an den drei sehr langen und sehr heißen Untersuchungstagen.

Danke an Philipp Zuz für die zusätzliche Unterstützung bei der monatlichen Dokumentation der Ohrmarken im zugigen Melkstand unter Einsatz seiner Akren und für nichts.

Alexander Choucair für den fachlichen Austausch, den vielen Diskussionsstoff und das stete Einhalten der Verkehrssicherheit.

Alexandra Jäger für den Zuspruch, die Nervennahrung und ihre Formulierungshilfen.

Ruth Schmitt für die Fotodokumentation und die Hilfestellung bei den Betriebsdaten.

Allen Mitdoktoranden für die fachlichen Diskussionen und Anregungen.

Meinen Kollegen und Kolleginnen für die Schaffung von zeitlichem Freiraum und die Übernahme von Diensten während des heißen Endspurtes.

Beim Betriebsleiter, den Herdenmanagern und Klauenpflegern des Studienbetriebs dafür, dass sie die Datenerhebung über einen so langen Zeitraum ermöglicht, erduldet und besonders bei der Evaluierungsstudie tatkräftig unterstützt haben.

Bei den Melkern des Studienbetriebs für jedes freundliche „Dzień dobry“.

Dem Internet für die vielen hilfreichen MS Office-Tutorials.

Ganz besonderer Dank an meine Familie, meine Freunde und meinen Liebsten für die offenen Ohren, die vielen aufmunternden Worte und dafür, dass ihr immer für mich da seid.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, Marina Volland, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe.

Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, den 29.06.2021

Marina Volland



mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-122-3