

**Modellierung von mit Lahmheit assoziierten Faktoren bei
Milchkühen in drei milchkuhdichten Regionen Deutschlands
unter besonderer Berücksichtigung regionsspezifischer
Strukturen**

von Nina Carolin Rittweg

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

**Modellierung von mit Lahmheit assoziierten Faktoren bei
Milchkühen in drei milchkuhdichten Regionen Deutschlands
unter besonderer Berücksichtigung regionsspezifischer
Strukturen**

von Nina Carolin Rittweg

aus Augsburg

München 2024

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Innere Medizin und Chirurgie der Wiederkäuer

Arbeit angefertigt unter der Leitung von:

Univ.-Prof. Dr. med. vet. Gabriela Knubben-Schweizer

Mitbetreuung durch: Dr. Andreas W. Oehm

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Gabriela Knubben

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Susanne K. Lauer

Tag der Promotion: 10. Februar 2024

Meinen Eltern und Großeltern

INHALTSVERZEICHNIS

I.	EINLEITUNG	1
II.	LITERATURÜBERSICHT	3
1.	Definition von „Lahmheit“	3
2.	Lahmheitsprävalenzen weltweit.....	3
3.	Ursachen für Lahmheit beim Rind.....	4
4.	Auswirkungen von Lahmheit bei Milchkühen	5
4.1.	Lahmheit als Kostenfaktor	5
4.1.1.	Behandlungskosten.....	5
4.1.2.	Verringerte Milchleistung	5
4.1.3.	Reproduktionsprobleme	6
4.1.4.	Vorzeitiges Merzen	6
4.2.	Lahmheit als Tierschutzproblem	7
5.	Risikofaktoren für Lahmheit	8
5.1.	Risikofaktoren auf Betriebsebene	8
5.2.	Risikofaktoren auf Managementebene.....	9
5.3.	Risikofaktoren auf Tierebene	11
III.	STUDIENDESIGN.....	13
1.	Rahmen und Zielsetzung	13
2.	Zugrundeliegender Datensatz	13
3.	Statistische Modellierung.....	14
IV.	PUBLIKATION.....	15
V.	DISKUSSION	33
1.	Limitierungen	33
2.	Strukturelle Unterschiede der analysierten Regionen	35
3.	Modellergebnisse	37
3.1.	Lahmheitsprävalenzen.....	37
3.2.	BCS	38

3.3.	Ketose-Risiko	39
3.4.	Milchleistung.....	40
3.5.	Parität / Alter	41
3.6.	Laktationsstadium	43
3.7.	Weidegang.....	44
3.8.	Ökologische Betriebsführung.....	45
3.9.	Rasse.....	46
3.10.	SCC	47
3.11.	Besuchsjahr	47
3.12.	Weitere Milchleistungsparameter.....	47
VI.	ZUSAMMENFASSUNG.....	49
VII.	SUMMARY.....	51
VIII.	LITERATURVERZEICHNIS	53
IX.	DANKSAGUNG	67

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

AIC	Akaike information criterion
BCS	body condition score
BIC	Bayesian information criterion
DIM	days in milk
ECM	energy corrected milk
FEQ	Fett-Eiweiß-Quotient
HF	Holstein-Friesian
HI	Herkunftssicherungs- und Informationssystem
LH	luteinisierendes Hormon
LS	lameness score / Lahmheits-Score
MLP	Milchleistungsprüfung
N	Nord
NEB	negative Energiebilanz
O	Ost
S	Süd
SCC	somatic cell count
SIM	Simmental / Fleckvieh

I. EINLEITUNG

Lahmheit stellt eines der drei häufigsten Gesundheitsprobleme der modernen Milchindustrie weltweit dar (KOSSAIBATI und ESSLEMONT, 1997; WHITAKER et al., 2000; MANSKE, 2002) und hat erhebliche negative Auswirkungen sowohl auf das Wohlbefinden der Tiere als auch auf die Wirtschaftlichkeit der Produktion. Die tatsächliche Prävalenz wird insbesondere von den Tierhalter|inne|n deutlich unterschätzt (RICHERT et al., 2013; JENSEN et al., 2022). Lahmheit ist zudem ein klassisches Beispiel für ein komplexes biologisches System multifaktorieller Ätiologie, die eine Fülle von Faktoren wie Haltungsbedingungen, Managementpraktiken und individuelle Merkmale des einzelnen Tieres umfasst (ADAMS et al., 2017; OEHM et al., 2022).

In den vergangenen Jahrzehnten lag der Schwerpunkt der Zuchtprogramme im Milchsektor auf einer hohen Milchleistung und einer erhöhten Produktion von Milchbestandteilen wie Milchfett und Milchprotein (RAUW et al., 1998; SUNDRUM, 2015; BRITT et al., 2018). Darüber hinaus wurden auch Fütterungsstrategien, Haltungsbedingungen und Managementverfahren stetig weiterentwickelt, um die Milchleistung zu erhöhen. Diese Entwicklungen haben zu einem Typus Milchkuh geführt, der in der Lage ist, effizient große Mengen Milch zu produzieren. Die Kehrseite dieser produktiven Fortschritte ist jedoch, dass moderne Milchkühe anfälliger sind für Produktionsprobleme wie Stoffwechselstörungen, Mastitis, schlechte Fruchtbarkeit und Lahmheit (SHANKS et al., 1978; RAUW et al., 1998; LEROY et al., 2008; SUNDRUM, 2015).

Darüber hinaus klafft in der Milchproduktion eine große Lücke zwischen der potenziellen Lebensdauer von Kühen (20 - 25 Jahre) und der aktuellen Realität (NOWAK, 1999; RÖMER, 2011). Milchkühe in Deutschland erreichen eine mittlere produktive Lebensdauer von etwa 3 Jahren (ADR, 2015; HARMS, 2015; VIT, 2020). Folglich können diese Milchkühe nicht einmal ansatzweise ihr volles Potenzial ausschöpfen, da der Höhepunkt des Laktationspotenzials üblicherweise in der dritten, teilweise erst in der vierten Laktation erreicht ist (VIT, 2008; WANGLER und HARMS, 2009; VIJAYAKUMAR et al., 2017; VIT, 2020). WANGLER et al. (2009) ermittelten den mittleren Abgangszeitpunkt von Kühen in Deutschland nach 2,4 Laktationen, was einer produktiven Lebensspanne von 2,23 Jahren bzw. einem Gesamalter von 4,7 Jahren entspricht. Ein ähnlicher Wert von etwa 4,5 bis 5,5 Jahren Gesamalter (2,5 - 3,5 Laktationen) wurde für Kühe in anderen Teilen der Welt angegeben (WATHES et al., 2008; DE VRIES, 2017). Das vorzeitige Merzen von Milchkühen aus der Herde steht nicht nur in drastischem Gegensatz zum allgemeinen Interesse, die Tiere für ein

langes und gesundes produktives Leben zu erhalten (ALLAIRE und GIBSON, 1992; WANGLER et al., 2009; RÖMER, 2011; SUNDRUM, 2015), sondern auch im Hinblick auf das allgemeine Tierwohl, da die Lebenserwartung als wichtiger Indikator für das Wohlbefinden der Tiere gilt (THOMSEN und HOUE, 2006; PRITCHARD et al., 2013).

Lahmheit ist einer der häufigsten Gründe für eine vorzeitige Merzung von Tieren (WHITAKER et al., 2000) und beeinträchtigt die Gesundheit, das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der Tiere. Im Hinblick darauf ist es sowohl im Sinne der Milchproduzent|inn|en als auch im Sinne des Tierschutzes wünschenswert und notwendig, Risikofaktoren und Zusammenhänge in Bezug auf Lahmheit aufzuzeigen, um die Ursachen besser zu verstehen und Handlungsempfehlungen, Lösungsansätze und idealerweise auch automatisierte Früherkennungssysteme erarbeiten zu können.

Während Risikofaktoren für Lahmheit auf Betriebsebene bereits ausführlich untersucht wurden, sind Informationen dazu, ob und wie sich Risikofaktoren regional unterscheiden, noch rar. Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der vorliegenden Studie, den Zusammenhang von tierbezogenen Faktoren, Betriebsmerkmalen und Managementaspekten mit Lahmheit bei Kühen mit Hilfe multipler gemischter logistischer Regression zu untersuchen und die Ergebnisse aus drei strukturell unterschiedlichen Regionen in Deutschland miteinander zu vergleichen. Dadurch konnte evaluiert werden, für welche Prädiktoren der Zusammenhang mit Lahmheit zwischen den Regionen stabil war und bei welchen sich regionale Unterschiede zeigten.

II. LITERATURÜBERSICHT

1. Definition von „Lahmheit“

Lahmheit bei Milchkühen ist nach STANEK (1997) und RADOSTITS und GAY (2007) definiert als die Unfähigkeit, ein physiologisches, normales Bewegungsmuster aller Gliedmaßen zu zeigen. Dies schließt eine verminderte Gesamtaktivität, eine eingeschränkte Fähigkeit zu stehen, zu gehen und sich niederzulegen ebenso ein wie eine gekrümmte Rückenlinie und Ausgleichsbewegungen mit dem Kopf und den gesunden Gliedmaßen, die der Entlastung der betroffenen Gliedmaßen dienen (GREENOUGH, 1985; BLOWEY und WEAVER, 2011). Grund dafür sind hauptsächlich akute oder chronische Schmerzen, denen am häufigsten pathologische Veränderungen an den Klauen (BERGSTEN, 2001), aber auch andere Einschränkungen des Bewegungsapparates zugrunde liegen (RADOSTITS und GAY, 2007). Dabei hängt die Stärke der Veränderungen des Gangbildes nicht zwangsläufig mit den ursächlichen Läsionen zusammen. Auch leichte Veränderungen des Gangbildes können mit erheblichen Schmerzen und entsprechend deutlichen Einschränkungen in Verhalten, Wohlbefinden und Gesundheit einhergehen (WHAY et al., 1997; WHAY et al., 1998; HUT et al., 2021). Eine genaue Einschätzung des tatsächlichen klinischen Ausmaßes der Lahmheit zugrundeliegenden Ursache ist folglich anhand reiner Beobachtung nicht exakt möglich. Bewertet werden kann nur die Folge der Läsionen, also die Lahmheit an sich. Zur Klassifikation werden daher meist Scoring-Systeme genutzt, in denen unter anderem Gangbild und Rückenlinie bewertet werden und bei denen die Kuh als „lahm“ gilt, wenn ein bestimmter Score erreicht wird. Häufig gilt: Eine Kuh wird als „lahm“ definiert, wenn sie in einem fünfstufigen Scoring-System einen Score von 3 oder mehr erreicht und gilt als „schwer lahm“ ab einem Score von 4 (THOMSEN et al., 2023). Für einige Studien wurden jedoch auch abgewandelte Definitionen und Beurteilungsmethoden für Lahmheit genutzt (Beispiel: LEACH et al. (2010)), sodass keine allgemein gültige Definition existiert (OEHM et al., 2019).

2. Lahmheitsprävalenzen weltweit

THOMSEN et al. (2023) berichtet in einer aktuellen Meta-Analyse über 53 lahmeitsbezogene Studien eine mittlere Lahmheitsprävalenz von 22,8 % (rangierend von 5,1 % - 45 %) in Milchviehherden auf sechs Kontinenten mit einem Studienschwerpunkt in Europa und Nordamerika. Die Prävalenz schwer lahmer Tiere beläuft sich auf 7,0 % (Spannweite: 1,8 % - 21,2 %). Die berichteten Prävalenzen innerhalb der Herden schwanken stark und reichen bis

hin zu 88 % lahmen Tieren bzw. 65 % schwer lahmen Tieren auf einem Betrieb. Diese Prävalenzen sind weltweit als kritisch einzustufen (COOK, 2016; PRAERI, 2020).

Dabei sind sich die Betriebsleiter|innen oftmals nicht bewusst, wie hoch die tatsächliche Lahmheitsprävalenz auf ihrem Betrieb ist (WHAY et al., 2002; ŠÁROVÁ et al., 2011; BABATUNDE et al., 2019; JENSEN et al., 2022). Dies liegt zum einen an mangelnder Beobachtung und Detektion lahmer Kühe, zum anderen aber auch daran, dass zwar Gangbildveränderungen erkannt, diese aber nicht als „Lahmheit“ eingestuft werden (FABIAN et al., 2014; HORSEMAN et al., 2014).

Trotz der im Schnitt hohen Lahmheitsprävalenzen gab es in vielen Studien große Unterschiede zwischen den Betrieben und fast immer auch Betriebe mit einer sehr niedrigen Lahmheitsprävalenz (WHITAKER et al., 2000; PRAERI, 2020). In der oben bereits genannten umfangreichen Meta-Analyse von THOMSEN et al. (2023) gibt es durchaus auch Betriebe, deren Lahmheitsprävalenz bei 1,8 % lahmen bzw. 0 % schwer lahmen Tieren liegt. Dies ist ein Beweis dafür, dass Lahmheit in modernen Milchkuhherden ein durchaus vermeidbarer Zustand ist, wenn entsprechende Haltungsbedingungen geschaffen werden.

3. Ursachen für Lahmheit beim Rind

Die Entwicklung klinischer Lahmheit ist komplex und wird mit einer Vielzahl von Faktoren im Zusammenhang mit Haltungsbedingungen und Managementpraktiken in Verbindung gebracht (SUNDRUM, 2015; OEHM, 2019). Auch Faktoren auf Tierebene wie Milchleistung, BCS, Parität und Genetik zeigen Assoziationen mit Lahmheitsfällen und Lahmheitsprävalenzen (GREEN et al., 2010; GREEN et al., 2014; RANDALL et al., 2018).

Mehr als 90 % aller Lahmheitsfälle bei Milchkühen werden durch Klauenläsionen verursacht. Die häufigsten Ursachen dafür sind Infektionen, *Laminitis* oder Verletzungen; die vier häufigsten Erkrankungen sind Sohlengeschwüre, Weiße-Linie-Defekte, *Dermatitis digitalis* und Interdigitalphlegmonen (MURRAY et al., 1996; BERGSTEN, 2001; DEFRAIN et al., 2013). Da in der vorliegenden Arbeit nur Lahmheit als Gesamtkomplex untersucht wird, ohne jedoch die ätiologischen Ursachen weiter zu differenzieren, wird an dieser Stelle auf eine weitere Ausführung der einzelnen Erkrankungen verzichtet. Eine gute Übersicht bietet beispielsweise NUSS et al. (2019).

4. Auswirkungen von Lahmheit bei Milchkühen

4.1. Lahmheit als Kostenfaktor

Die negativen wirtschaftlichen Folgen von Lahmheiten können in direkte und indirekte Kosten unterteilt werden (DOLECHECK und BEWLEY, 2018). Zu den direkten Kosten zählen dabei die Ausgaben für Behandlungskosten und Investitionen in Kontroll- und Präventionsstrategien. Die indirekten Kosten umfassen eine verringerte Milchleistung, eine beeinträchtigte Reproduktionsleistung und vorzeitige, unfreiwillige Merzungen. Dabei sind die tatsächlichen Kosten den Landwirt|inn|en oft nicht bewusst, weshalb der Prävention von Lahmheit weniger Aufmerksamkeit gewidmet wird als beispielsweise der Mastitis-Prophylaxe (LEACH et al., 2010).

4.1.1. Behandlungskosten

Diese schließen sowohl die von außen zugekauften Leistungen von Klauenpfleger|inne|n und Tierärzt|inn|en als auch Medikamente, Verbandsmaterialien und Arbeitszeit ein, die die Landwirt|inn|e|n selbst für die Pflege der betroffenen Klauen aufwenden müssen. Eine präzise Quantifizierung der Behandlungskosten variiert von Studie zu Studie. Eine genauere Auflistung bieten DOLECHECK und BEWLEY (2018).

Diese Kosten sind für Landwirt|inn|e|n direkt sichtbar, im Gegensatz zu den indirekten Kosten. Es kann mit großer Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass gerade an dieser Stelle die Kosten viel höher lägen, würden alle Tiere, die eine Behandlung benötigen, auch tatsächlich behandelt werden.

4.1.2. Verringerte Milchleistung

Der Zusammenhang zwischen der täglichen Milchleistung und Lahmheitsfällen oder Lahmheitsbehandlungen wurde bereits ausführlich untersucht. Sowohl vor als auch nach der Behandlung lahmer Kühe konnte gezeigt werden, dass die durchschnittliche tägliche Milchleistung im Vergleich zu Kühen, bei denen keine Lahmheit diagnostiziert wurde, reduziert war (WARNICK et al., 2001; GREEN et al., 2002). Dies scheint jedoch auch von der Ursache der Lahmheit abzuhängen: In einer Studie von HERNANDEZ et al. (2002) sank die Milchleistung von Kühen mit einer Interdigitalphlegmone um 10 %. AMORY et al. (2008) schätzten den Milchverlust bei Sohlengeschwüren auf 570 kg, bei Weiße-Linie-Defekten auf 370 kg pro Fall, während bei *Dermatitis digitalis* keine Milchverluste festgestellt wurden.

ARCHER et al. (2010) schätzten die Reduktion der potentiellen Milchleistung bei einer schweren Lahmheit im ersten Laktationsmonat auf 350 kg bei einer 305-Tage Laktation.

4.1.3. Reproduktionsprobleme

Lahmheit in der Früh-laktation führt zu einer beeinträchtigten Reproduktionsleistung (LOGROÑO et al., 2021), zu längeren Rastzeiten, schlechteren Konzeptionsraten (RUDDAT et al., 2016) und im ungünstigsten Fall zur Merzung der betroffenen Tiere.

Die negativen Einflüsse von Lahmheit auf die reproduktive Leistung von Milchkühen wird über verschiedene Mechanismen vermittelt, die häufig einen neuroimmunologischen Hintergrund haben (ALMEIDA et al., 2008). Hauptverantwortlich für reproduktives Versagen ist laut aktueller Literatur der direkte und indirekte Stress durch chronische Schmerzen (HASSALL et al., 1993; DOBSON et al., 2008), Entzündungen (HERZBERG et al., 2020) und Verhaltensveränderungen wie reduziertes Fress- und Wiederkäuerverhalten (ALMEIDA et al., 2008).

Es wird angenommen, dass die hormonellen Regelungen im Zusammenhang mit Stress und Fortpflanzung interagieren, da sie über die gleichen endokrinen Drüsen in Hypothalamus und Hypophyse vermittelt werden (CROWE und WILLIAMS, 2012). Dies führt unter anderem zu höheren Cortisol-Spiegeln (GELLRICH et al., 2015; O'DRISCOLL et al., 2015), geringeren LH- und Östradiol-Spiegeln (DOBSON et al., 2008), einem verspäteten Einsetzen des Zyklus (GARBARINO et al., 2004) und deutlich geringeren Ovulationsraten in den ersten 30 DIM (MELENDEZ et al., 2018).

Hinzu kommt, dass lahme Tiere, deren physiologische Reproduktionsfähigkeit nicht oder noch nicht eingeschränkt ist, zu einer stillen Brunst neigen, sich (aufgrund der schmerzhaften Lahmheit) weniger bewegen und vor allem wenig bis gar nicht aufreiten (SOOD und NANDA, 2006; WALKER et al., 2008; WALKER et al., 2010). Dies beeinträchtigt zwar die Konzeptionsraten grundsätzlich nicht, doch ist insbesondere das Aufreiten für viele Landwirt|inn|e|n das Hauptkriterium, wenn nicht sogar das einzige Kriterium zur Brunstdetektion.

4.1.4. Vorzeitiges Merzen

Das vorzeitige Merzen von Tieren führt zu teilweise erheblichen finanziellen Verlusten. Bevor eine Kalbin in die erste Laktation starten kann, ist sie ein reiner Kostenfaktor für den Betrieb. Die Kosten umfassen dabei Aufzucht- und Behandlungskosten in den ersten Lebensmonaten

und -jahren, aber auch beispielsweise die Besamungskosten. Erst mit Eintritt in die erste Laktation beginnt die Kalbin nun, das Investment zu amortisieren. Diese Amortisation dauert im Schnitt 530 Tage (BOULTON et al., 2017) bis zum Erreichen des „Break-Even-Punktes“, der also meist erst gegen Mitte bzw. Ende der zweiten Laktation erreicht ist. Tiere, die vor Erreichen dieses Zeitpunktes gemerzt werden, bedeuten folglich immer einen finanziellen Verlust für den Betrieb, auch wenn viele Landwirt|inn|e|n sich dessen nicht unmittelbar bewusst sind (HALASA et al., 2007).

Bei der Merzung von älteren Tieren ist jedoch ebenfalls mit indirekten Verlusten zu rechnen, denn Milchkühe erreichen ihr volles Milchleistungspotential erst etwa in der dritten Laktation (VIT, 2008; WANGLER und HARMS, 2009; VIJAYAKUMAR et al., 2017; VIT, 2020). Wird nun eine ältere, vollleistende Kuh gemerzt und durch eine Erstlaktierende ersetzt, gehen zusätzlich Einnahmen aufgrund der geringeren Milchleistung verloren. Hinzu kommen hier noch der Verlust des Erlöses, den man mit einer gesunden Kalbin erzielt hätte, die nun nicht verkauft werden kann, weil sie den Platz eines gemerzten Tieres in der Herde einnehmen muss, oder, wenn keine eigene Nachzucht vorhanden ist, die Kosten für den Kauf eines Ersatztieres.

Der Summe dieser vorgenannten Kosten stehen lediglich die Einnahmen gegenüber, die durch die Schlachtung erzielt werden. Selbst dies trifft nur dann zu, wenn das Tier überhaupt schlachttauglich ist. Laut einer Studie von THOMSEN et al. (2004) war Lahmheit der Grund für 40 % aller Euthanasien auf den untersuchten dänischen Betrieben.

4.2. Lahmheit als Tierschutzproblem

Lahmheit ist nicht zuletzt ein großes Problem für den Tierschutz. Fast immer sind die betroffenen Tiere starken, chronischen Schmerzen ausgesetzt. Ohne angemessene Intervention ist dies als tierschutzrelevant zu bewerten, denn nicht nur die „Freiheit von Schmerzen, Verletzung und Krankheit“ (OIE, 2018), sondern auch die Fähigkeit der Tiere, ihr natürliches Verhalten auszuleben, wird dadurch in erheblichem Maß eingeschränkt (WHAY und SHEARER, 2017). Betroffene Kühe zeigen ausgeprägte Verhaltensanomalien wie reduzierte Fressdauer (WEIGELE et al., 2018), Fressgeschwindigkeit und Fresshäufigkeit, reduziertes Wiederkäuverhalten (ALMEIDA et al., 2008), reduzierte Liegedauer und eingeschränkte soziale Aktivität (WHAY et al., 2005; ALAWNEH et al., 2012; GRIMM et al., 2019).

Das oftmals unzureichende Bewusstsein der Landwirt|inn|e|n für das Ausmaß der Lahmheitsproblematiken in ihren Herden sowie für die dadurch entstehenden indirekten Kosten ist ein wichtiger Grund für verspätete, unzureichende oder ausbleibende Behandlungen und die

Entwicklung chronischer Lahmheiten (LEACH et al., 2010).

5. Risikofaktoren für Lahmheit

Die Risikofaktoren für Lahmheit bei Milchkühen waren Gegenstand zahlreicher Studien. Die meisten Studien beziehen sich dabei auf Kühe der Rasse Holstein-Friesian (ESPEJO und ENDRES, 2007; ONYIRO et al., 2008; CHAPINAL et al., 2014; SOLANO et al., 2015). Eine Ausnahme bilden beispielsweise die Studien von BARKER et al. (2010) und DIPPEL et al. (2009a), in denen neben Holstein-Friesian auch Fleckvieh-Kühe evaluiert wurden. Die Studienlage zu den Zusammenhängen von Milchinhaltsstoffen und Lahmheit dagegen ist limitiert.

5.1. Risikofaktoren auf Betriebsebene

Die **Laufstallhaltung** ist sowohl im Vergleich zur Anbindehaltung als auch im Vergleich zu weidebasierten oder anderen Haltungssystemen mit einer höheren Lahmheitsprävalenz assoziiert (CHAPINAL et al., 2013; FODITSCH et al., 2016). Die Gründe hierfür liegen wahrscheinlich an den für Kühe unphysiologisch harten Laufoberflächen sowie der permanenten Exposition der Klauen gegenüber den Exkrementen (NUSS et al., 2019), eine genaue Klärung steht jedoch noch aus.

Verschiedene **Laufoberflächen** wurden ebenfalls evaluiert und Betonoberflächen im Vergleich mit Gummimatten als Risikofaktor identifiziert (VANEGAS et al., 2006), insbesondere aufgerauter Beton (FRANKENA et al., 2009; PÉREZ-CABAL und ALENDA, 2014). Auch besonders rutschige Oberflächen können zu Ausgleichsbewegungen, verstärktem Druck auf die Außenklauen und Verletzungen führen (BLOWEY, 2005; ENDRES, 2017) und so das Risiko für Lahmheiten erhöhen.

Der Einfluss des **Liegekomforts** auf die Lahmheitsprävalenz wird indirekt vermittelt. Entscheidend ist dabei, dass ein guter Liegekomfort die Kühe dazu animiert, sich nach dem Fressen oder Melken zügig niederzulegen und lange bequem zu liegen (WIERENGA und HOPSTER, 1990; ROUHA-MÜLLEDER et al., 2009; ENDRES, 2017). Dies vermeidet das Stehenbleiben mit den Hinterbeinen außerhalb der Boxen sowie langes Stehen in den Gängen, was sonst die Entstehung von Lahmheit begünstigt (LEONARD et al., 1994; BERGSTEN, 2001; BLOWEY, 2005; ESPEJO und ENDRES, 2007; RANDALL et al., 2015). Insbesondere langes Stehen behindert durch den anhaltenden Druck die Blutzirkulation in der Klaue, was sowohl die Ballenkissen schädigt, da diese nur durch den Pumpmechanismus beim Gehen mit

Nährstoffen versorgt werden, als auch mit der Zeit zu schlechterem oder ausbleibendem Hornwachstum führen kann. Zusätzlich sind die Klauen außerdem für unnötig lange Zeit den Exkrementen auf den Gängen ausgesetzt. Als wichtigste Faktoren für einen guten Liegekomfort wurden die Dimensionen der Liegeboxen (ausreichend lang und breit) sowie eine weiche Unterlage herausgearbeitet (LEONARD et al., 1994; BLOWEY, 2005; VON KEYSERLINGK und WEARY, 2008; DIPPEL et al., 2009a; ENDRES, 2017). Dabei werden Tiefstreuboxen von den Tieren klar gegenüber Gummimatten favorisiert (COOK, 2002; TUCKER et al., 2003; VON KEYSERLINGK und WEARY, 2008; ITO et al., 2014) und sind mit niedrigerer Lahmheitsprävalenz assoziiert (DIPPEL et al., 2009b; BARRIENTOS et al., 2013; CHAPINAL et al., 2013; COOK et al., 2016). Weitere Faktoren, die den Liegekomfort einschränken, sind falsch positionierte oder falsch dimensionierte Nackenbügel (BERGSTEN, 2001; VON KEYSERLINGK und WEARY, 2008; BERNARDI et al., 2009; CHAPINAL et al., 2013) sowie zu hohe hintere Boxenkanten (FAULL et al., 1996).

5.2. Risikofaktoren auf Managementebene

Eine korrekte und regelmäßige **Klauenpflege** stellte sich in der Literatur zu Lahmheitsprävalenzen bereits mehrfach als einer der Hauptfaktoren für die Klauengesundheit einer Herde heraus und ist mit geringeren Lahmheitsprävalenzen assoziiert (FJELDAAS et al., 2006; LAVEN et al., 2008; BRUIJNIS et al., 2010; SCHULZ et al., 2016; GRIFFITHS et al., 2018) als bei Herden/Tieren mit unzureichender Klauenpflege. Dies ist nicht weiter verwunderlich, denn Klauenpflege wirkt in mehrfacher Hinsicht präventiv: Da das Horn an der Klauenspitze schneller wächst und weniger stark abgenutzt wird, entstehen durch die fehlende Abnutzung in der Laufstallhaltung zwangsläufig mit der Zeit zu flache Klauenwinkel und überlange Klauen. Diese führen unkorrigiert zu einer Überlastung der hinteren Klauenregion, fördern Prellungen und Einblutungen in die Lederhaut sowie Sohlengeschwüre und sind erwartungsgemäß mit Lahmheit assoziiert (DEMBELE et al., 2006; SOLANO et al., 2015). Die Klauenpflege wirkt dem entgegen, indem die Biomechanik der Fußung und die Gewichtsverteilung durch die Korrektur zu langer Klauen verbessert wird. Außerdem wird durch regelmäßiges Nachschneiden ein gesundes Hornwachstum gefördert (MANSON und LEAVER, 1988, 1989). Es kann zudem davon ausgegangen werden, dass bei einer routinemäßigen Klauenpflege beginnende Klauenprobleme frühzeitig als Zufallsbefunde festgestellt werden, die so rechtzeitig entlastet und behandelt und in der Folge klinische Lahmheiten vermieden werden können.

Auch die **Fütterung** nimmt Einfluss auf die Klauengesundheit und ist daher als Risikofaktor

mehrfach evaluiert worden. Dabei stellte sich vor allem eine zu große Menge leicht fermentierbarer Kohlenhydrate bzw. Kraftfutter als Risikofaktor heraus (GUARD, 2001; ONYIRO et al., 2008; RANJBAR et al., 2016). Zurückgeführt wird diese Assoziation darauf, dass diese, vor allem in Verbindung mit einem zu geringen Raufutteranteil, den Pansen-pH bis hin zur (sub-)klinischen Pansenazidose absenken, was den Übertritt von Histaminen, Laktat und Endotoxinen in die Blutbahn ermöglicht (PLAIZIER et al., 2008). In der Klaue können diese Substanzen über eine gestörte Mikrozirkulation zu akuten Klauenrehe-Schüben (GREENOUGH und VERMUNT, 1991; NOCEK, 1997; BARGAI, 1998; OSSENT und LISCHER, 1998; THOEFNER et al., 2005) und chronisch zu einer verminderten Hornqualität führen. Klauen mit verminderter Hornqualität wiederum sind anfälliger für beispielsweise Sohlengeschwüre und Weiße-Linie-Defekte (SHEARER und VAN AMSTEL, 2017).

Eine Assoziation zwischen Lahmheiten und der **Überbelegung** von Ställen konnte von KING et al. (2016) gezeigt werden. Als Hauptgrund dafür werden die verlängerten Steh- und Gehzeiten in den Gängen angeführt, deren Einfluss bereits elaboriert wurde. Dies betrifft vor allem niederrangige Tiere (WIERENGA und HOPSTER, 1990; GALINDO und BROOM, 2000; HOHENBRINK und MEINECKE-TILLMANN, 2012; JENSEN et al., 2015).

Der Einfluss der reinen **Herdengröße** auf Lahmheitsprävalenzen wird dagegen kontrovers diskutiert. Einige Autor|inn|en konnten bei zunehmender Herdengröße geringere Lahmheitsprävalenzen feststellen und führten dies unter anderem auf mehr und professioneller geschultes Personal sowie einen höheren Automatisierungsgrad der Produktion zurück (CHAPINAL et al., 2013; CHAPINAL et al., 2014; SOLANO et al., 2015). Dem entgegen steht die Hypothese, dass in größeren Herden in automatisierten Haltungssystemen das Einzeltier weniger gut beobachtet wird, mehr Rankämpfe stattfinden (BARKER, 2007) und das Personal-Tier-Verhältnis höher ist (VON KEYSERLINGK et al., 2009; SUNDRUM, 2015).

Der positive Einfluss von **Weidegang** auf die Klauengesundheit und damit auch auf Lahmheitsprävalenzen, sowie auf die Verbesserung bestehender Lahmheiten, ist gut belegt, selbst wenn er nur für kurze Zeit gewährt wird (SOMERS et al., 2003; HERNANDEZ-MENDO et al., 2007; ONYIRO et al., 2008; RUTHERFORD et al., 2009; CHAPINAL et al., 2013; FABIAN et al., 2014; ADAMS et al., 2017). WAGNER et al. (2017) berichteten beispielsweise von einem vermehrten Auftreten von sowohl mäßigen als auch schweren Lahmheiten in einer Gruppe von Kühen mit keiner bis minimaler Weidezeit (0-6 h) im Vergleich zu einer Gruppe von Kühen mit täglich mehrstündiger Weidezeit (>12 h). HASKELL et al. (2006) berichteten, dass sich die Lahmheitsprävalenz in Herden ohne Weidezugang im Vergleich zu Herden mit

Sommerweide mehr als verdoppelte. Eine geeignete Weide gilt im Vergleich zu künstlichen Bodensystemen im Stall als komfortabler und sicherer Untergrund zum Gehen und Stehen, der Verletzungen vermeidet und ein artgerechtes Bewegungsverhalten ermöglicht (VAN DER TOL et al., 2005; ALSAAOD et al., 2017).

RUTHERFORD et al. (2009) vermuten, dass ein extensiveres Produktionsniveau und eine proaktivere Einstellung der Biolandwirt|inn|e|n zu der beobachteten geringeren Lahmheitsprävalenz auf **Biobetrieben** führen. Naheliegend ist jedoch außerdem, dass der obligatorische Weidegang zumindest in Deutschland ein wichtiger Faktor hierfür ist.

5.3. Risikofaktoren auf Tierebene

Der Großteil der Studien zu Risikofaktoren für Lahmheit bezieht sich auf Milchkühe der **Rasse** Holstein-Friesian. Dennoch ist in den wenigen Studien, die mehrere Rassen in die Analysen miteinbeziehen, häufig die Rasse Holstein-Friesian stärker mit Lahmheit assoziiert als die jeweils gegenübergestellte(n) Rasse(n) (BARKER et al., 2010; HOFFMAN et al., 2013; BECKER et al., 2014b; OEHM et al., 2022). Dies könnte unter anderem an der geringeren Körperkondition im Vergleich zu beispielsweise Zweinutzungsrasen wie dem deutschen Fleckvieh liegen, aber auch genetische Prädispositionen wurden als Risikofaktoren evaluiert und eine Heritabilität insbesondere für *Dermatitis digitalis* und Sohlengeschwüre aufgezeigt (OBERBAUER et al., 2013; WEBER et al., 2013).

Einig hingegen sind sich die Autor|inn|en vieler Studien bezüglich der Assoziation von Lahmheit und niedrigem **BCS** (BICALHO et al., 2009; LIM et al., 2015; SOLANO et al., 2015; NEWSOME et al., 2017; RANDALL et al., 2018). Dies wird in erster Linie darauf zurückgeführt, dass das Fettpolster des Ballens mit sinkendem BCS ebenfalls dünner wird, was dessen protektive Funktion einschränkt (BICALHO et al., 2009; NEWSOME et al., 2017; WILSON et al., 2021). Die tieferen Strukturen des Klauenapparates sind dadurch weniger gut geschützt, was sie anfälliger macht für mechanisch bedingte Läsionen wie Sohlengeschwüre oder Weiße-Linie-Defekte (GRIFFITHS et al., 2020). Zudem analysierten BEER et al. (2016), dass lahme Kühe kürzere Fresszeiten und ein insgesamt reduziertes Wiederkäuverhalten zeigen. Dies könnte die Problematik noch weiter verstärken und zu einer Art Teufelskreis aus niedrigem BCS, Lahmheit und unzureichender Nährstoffversorgung führen.

Die Assoziation zwischen **Milchleistung** und Lahmheit wurde bereits im Zuge der Kostenanalyse aufgezeigt. RANJBAR et al. (2016) kalkulierten beispielsweise, dass die Odds für Lahmheit mit zunehmender Milchleistung um vier Prozent pro Liter steigen. GREEN et al.

(2002) stellten ebenfalls fest, dass Kühe mit höherer Leistung häufiger lahmten als ihre Herdengenossinnen mit niedrigerer Leistung.

Ebenfalls gut untersucht ist die erhöhte Lahmheitsprävalenz **älterer, multiparer Kühe** im Vergleich zu Kalbinnen (WARNICK et al., 2001; SOGSTAD et al., 2005; ESPEJO et al., 2006; FODITSCH et al., 2016). Zurückgeführt wird dies unter anderem auf die längere Zeitspanne, in der diese Tiere mit ihren Haltungsbedingungen konfrontiert waren sowie der kumulativen Wirkung von kalbungsbedingtem Stress, der sich nachteilig auf die Klauengesundheit auswirken kann (SOLANO et al., 2015). Gleichzeitig nimmt die Fähigkeit zur Kompensation suboptimaler Haltungsbedingungen mit zunehmendem Alter ab (KERR, 1998).

Die **Frühlaktation** wurde in mehreren Studien als Risikofaktor für Lahmheit oder Lahmheitsentwicklung identifiziert (ROWLANDS et al., 1985; WARNICK et al., 2001; BLOWEY, 2005; SOLANO et al., 2016). Insbesondere *Laminitis*-Fälle sind in dieser Zeit häufig (SHEARER und VAN AMSTEL, 2017). Dies wird auf die Futterumstellung zu einer extrem energiereichen Ration in den ersten Laktationswochen zurückgeführt. Der kalbungsbedingte, hormonelle und metabolische Stress zu Laktationsbeginn (SUNDRUM, 2015) macht die Kühe zusätzlich anfälliger für Lahmheit, denn er führt zu einer Lockerung der Bänder des Trageapparates und des puffernden Gewebes (TARLTON et al., 2002; KNOTT et al., 2007) sowie zu Veränderungen in der Aufhängung des Klauenbeins in der Hornkapsel (KNOTT et al., 2007). Dadurch kann das nun weniger gut aufgehängte Klauenbein die Lederhaut schädigen, was der Entstehung mechanisch verursachter Klauenläsionen Vorschub leistet.

III. STUDIENDESIGN

Im Folgenden werden die Grundzüge der durchgeführten Studie ergänzend zur Publikation (Kapitel IV) dargestellt.

1. Rahmen und Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit basiert auf den Daten der Studie „Tiergesundheit, Hygiene und Biosicherheit in deutschen Milchkuhbetrieben – eine Prävalenzstudie“ (PRAERI). Träger dieses gemeinsamen Projekts der Tierärztlichen Hochschule Hannover, der Freien Universität Berlin und der Ludwig-Maximilians-Universität München waren das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft sowie die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung.

Im Rahmen dieses Projekts wurde zwischen 2016 und 2019 eine Datenerhebung in Deutschland durchgeführt, um einen aktuellen Status Quo der Tiergesundheit in der deutschen Milchkuhhaltung festzustellen. Dies geschah mithilfe von Fragebögen, Betriebsbesuchen, der Sammlung von automatisiert erhobenen Daten der Betriebe selbst (beispielsweise Rationsdaten oder Daten aus Herdenmanagement-Programmen) sowie der zentral gespeicherten Daten der HI-Tier und den Milchleistungsdaten aus den Landeskontrollverbänden. Die gesammelten Daten wurden für diese Studie zur Verfügung gestellt.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Daten im Hinblick auf Risikofaktoren für Lahmheit überregional vergleichend auszuwerten.

2. Zugrundeliegender Datensatz

Aus dem umfangreichen Datensatz der PRAERI-Studie wurde zunächst eine Auswahl der Daten getroffen, die von vornehmlichem Interesse für diese Studie waren. Die für diese Studie ausgewählten Daten enthielten Informationen zu Betriebsregion, Betriebsgröße, Weidegang, Teilzeit- oder Vollzeiterwerb, Haltungsform, auf Tierebene die Ergebnisse des individuellen tierärztlichen Scorings (BCS und Lahmheitsscore), Rasse, Laktationsnummer, DIM sowie sämtliche verfügbaren Milchleistungsdaten. Laufstallhaltung war ein obligatorisches Inklusionskriterium. Die weitere Aufbereitung diente der Anpassung der Daten an die Fragestellung der vorliegenden Studie.

Bereits während der Erhebung der Daten wurden drei Regionen Deutschlands definiert: Region Nord beinhaltete die Bundesländer Schleswig-Holstein und Niedersachsen. Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Thüringen und Sachsen-Anhalt wurden zu Region Ost

zusammengefasst. Bayern repräsentierte die Region Süd.

Der finale Datensatz dieser Arbeit enthielt insgesamt 58.144 Milchkühe von 651 Betrieben. Davon stammten 17.248 Kühe auf 231 Betrieben aus der Region Nord, 34.413 Kühe auf 245 Betrieben aus Region Ost und 6.483 Kühe auf 175 Betrieben aus Region Süd.

3. Statistische Modellierung

Strukturelle Unterschiede in der Tierhaltung der einzelnen Studienregionen wurden bereits 2012 durch MERLE et al. (2012) beschrieben. Diesen Erkenntnissen folgend wurden die Analysen der vorliegenden Studie nach Regionen getrennt durchgeführt. Für alle drei Regionen wurden mittels der OpenSource Statistiksoftware „R“ zunächst explorative univariable Analysen und deskriptive Statistiken und anschließend multiple gemischte logistische Regressionsmodelle mit der binären Zielvariablen „lahm/nicht lahm“ erstellt. Die statistische Einheit war die einzelne Kuh. Mittels einer Vorwärtsselektion aller möglichen Variablen wurden diejenigen ausgewählt, die entweder Assoziationen mit der abhängigen Variable zeigten (p -Wert $< 0,05$) oder das Modell anhand üblicher Gütekriterien (AIC, BIC) verbesserten (AKAIKE, 1969; SCHWARZ, 1978).

IV. PUBLIKATION

Im *Journal of Dairy Science* wurde im Dezember 2023 die folgende Publikation veröffentlicht:



J. Dairy Sci. 106:9287–9303
<https://doi.org/10.3168/jds.2022-23195>

© 2023, The Authors. Published by Elsevier Inc. and FASS Inc. on behalf of the American Dairy Science Association®.
 This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Associations of cow and farm characteristics with cow-level lameness using data from an extensive cross-sectional study across 3 structurally different dairy regions in Germany

Nina Rittweg,¹  Annegret Stock,²  K. Charlotte Jensen,^{3,4}  Roswitha Merle,⁴  Alexander Stoll,¹ 
 Melanie Feist,¹  Kerstin-Elisabeth Müller,²  Martina Hoedemaker,³  and Andreas W. Oehm^{1*} 

¹Clinic for Ruminants with Ambulatory and Herd Health Services, Ludwig-Maximilians University Munich, 85764 Oberschleißheim, Germany

²Clinic for Ruminants and Swine, Faculty of Veterinary Medicine, Free University Berlin, 14163 Berlin, Germany

³Clinic for Cattle, University of Veterinary Medicine, Foundation, 30173 Hannover, Germany

⁴Institute for Veterinary Epidemiology and Biostatistics, Free University Berlin, 14163 Berlin, Germany

ABSTRACT

The aim of the present study was to evaluate the associations between milk recording data, body condition score (BCS), housing factors, management factors, and lameness in freestall-housed dairy cows in 3 structurally different regions in Germany. These regions substantially vary regarding herd size, breeds, access to pasture, farm management (family run or company owned), and percentage of organic farms. The data used was collected in a large cross-sectional study from 2016 to 2019. A total of 58,144 cows from 651 farms in 3 regions of Germany (North, East, and South) was scored for locomotion and body condition. Additionally, data on milk yield, milk composition, breed, age, as well as information on housing and management were retrieved. One mixed-logistic regression model was fitted per region to evaluate the association of the data with the target variable “lame” and to allow for a comprehensive reflection across different kinds of farming types. In all regions, undercondition (BCS lower than recommended for the lactation stage; North: odds ratio [OR] 2.15, CI 1.96–2.34; East: OR 2.66, CI 2.45–2.88; South: OR 2.45, CI 2.01–2.98) and mid-lactation stage (102–204 d in milk; North: OR 1.15, CI 1.05–1.27; East: OR 1.24, CI 1.17–1.32; South: OR 1.38, CI 1.18–1.62) were associated with higher odds for lameness, whereas overcondition (BCS higher than recommended for the lactation stage; North: OR 0.51, CI 0.44–0.60; East: OR 0.51, CI 0.48–0.54; South: OR 0.65, CI 0.54–0.77) and parity of 1 or 2 was associated with lower odds (parity 1 = North: OR 0.32, CI 0.29–0.35; East: OR 0.19, CI 0.18–0.20; South: OR 0.28, CI 0.24–0.33; parity 2 = North: OR 0.51, CI 0.47–0.46; East: OR 0.41, CI

0.39–0.44; South: OR 0.49, CI 0.42–0.57), irrespective of the regional production characteristics. Low energy-corrected milk yield was associated with higher odds for lameness in South and North (North: OR 1.16, CI 1.05–1.27; South: OR 1.43, CI 1.22–1.69). Further factors such as pasture access for cows (North: OR 0.64, CI 0.50–0.82; and South: OR 0.65, CI 0.47–0.88), milk protein content (high milk protein content = North: OR 1.34, CI 1.18–1.52; East: OR 1.17, CI 1.08–1.28; low milk protein content = North: OR 0.79, CI 0.71–0.88; East: OR 0.84, CI 0.79–0.90), and breed (lower odds for “other” [other breeds than German Simmental and German Holstein] in East [OR 0.47, CI 0.42–0.53] and lower odds both for German Holstein and “other” in South [German Holstein: OR 0.62, CI 0.43–0.90; other: OR 0.46, CI 0.34–0.62]) were associated with lameness in 2 regions, respectively. The risk of ketosis (higher odds in North: OR 1.11, CI 1.01–1.22) and somatic cell count (higher odds in East: increased (>39.9 cells × 1,000/mL): OR 1.10; CI 1.03–1.17; high (>198.5 cells × 1,000/mL): OR 1.08; CI 1.01–1.06) altered the odds for lameness in 1 region, respectively. Cows from organic farms had lower odds for lameness in all 3 regions (North: OR 0.18, CI 0.11–0.32; East: OR 0.39, CI 0.28–0.56; South: OR 0.45, CI 0.29–0.68). As the dairy production systems differed substantially between the different regions, the results of this study can be viewed as representative for a wide variety of loose-housed dairy systems in Europe and North America. The consistent association between low BCS and lameness in all regions aligns with the previous literature. Our study also suggests that risk factors for lameness can differ between geographically regions, potentially due to differences in which dairy production system is predominantly used and that region-specific characteristics should be taken into account in comparable future projects.

Key words: locomotion, dairy cattle, modeling, logistic regression, risk factor analysis

Received December 23, 2022.

Accepted June 16, 2023.

*Corresponding author: andreas.oehm@outlook.com

INTRODUCTION

The optimization of breeding programs, feeding strategies, housing conditions, and management procedures in the dairy sector over the past decades has yielded a type of dairy cow that is capable of producing large amounts of milk with an increased output of milk components such as milk fat and milk protein (Rauw et al., 1998; Wangler et al., 2009; Sundrum, 2015; Britt et al., 2018). On the downside of these productive advancements, modern dairy cows are confronted with a greater susceptibility to production diseases such as metabolic disorders, mastitis, poor fertility, and lameness (Shanks et al., 1978; Rauw et al., 1998; Leroy et al., 2008; Sundrum, 2015). Afflicted animals often undergo premature culling, which has resulted in a large gap between the potential lifespan of cows (20–25 yr) and the current reality in dairy production. In Germany, cows reach a mean lifespan of around 55 (VIT, 2020) to 68 mo (Logue and Mayne, 2014). In an international evaluation, the lifespan of dairy cows averaged 52 mo in Brazil, 75 mo in the Netherlands, 47 mo in Canada, and 59 mo in the United States (Logue and Mayne, 2014; De Vries, 2017).

Lameness is one of the main reasons for involuntary culling in dairy cows (Whitaker et al., 2000; Manske, 2002; Booth et al., 2004; Heise et al., 2016). It has been associated with tremendous financial losses due to decreased milk production, poor reproductive performance, and costs for treatment and prevention strategies (Huxley, 2013; Charfeddine and Pérez-Cabal, 2017; Dolecheck and Bewley, 2018). It is also an animal welfare concern compromising the animals' ability to express its natural behavior (Whay and Shearer, 2017). Afflicted cows display marked behavioral aberrations, such as reduced feeding duration, feeding pace, feeding frequency, rumination behavior, lying duration, and social activity, and are subjected to severe, often chronic pain (Whay et al., 2005; Alawneh et al., 2012; Grimm et al., 2019).

Most cases of lameness originate either from noninfectious claw horn disruption lesions (i.e., sole ulcers, white line disease and sole hemorrhages) or from infectious claw disorders such as digital dermatitis and foot rot. The development of clinical lameness is complex, and has been linked to a vast abundance of factors related to housing conditions and management practices (Sundrum, 2015; Oehm et al., 2019). Additionally, animal-level factors such as milk yield and body condition play an important role (Green et al., 2010; Green et al., 2014; Sundrum, 2015; Randall et al., 2018) and, moreover, interact. The association between daily milk yield and lameness cases or lameness treatments has been subject of several studies and an association of lame-

ness and milk yield has been demonstrated (Green et al., 2002, 2010, 2014). Both before and after treatment of lame cows, the average daily milk yield was found to be reduced both in comparison with cows not being diagnosed lame and with their estimated milk yield based on their previous test-day milk yields, respectively (Warnick et al., 2001; Green et al., 2002). Green et al. (2002) found higher yielding cows to be more likely to become lame than their lower-yielding herd mates. Those lame cows produced a mean increased milk yield of 1.12 kg/d during lactation on the days where lameness did not cause reduced milk production. This has implications for the health of high-yielding dairy cows. They are at greater risk of ketosis (Gröhn et al., 1999) and other health disorders (Hansen et al., 1979), and we can now confirm that they are at greater risk of lameness.

In the light of this background, the aim of the present study was to explore the association of animal-level factors, farm characteristics, and management aspects with cow-level lameness across 3 structurally different regions in Germany using multiple mixed-logistic regression. By fitting one model each for the 3 different regions, we could evaluate for which predictors the association with lameness was stable between regions, and for which predictors an association was not consistently found.

MATERIALS AND METHODS

Farm Selection

Data used in the current study were retrieved in the context of a large cross-sectional study on animal health and housing conditions on German dairy operations from 2016 to 2020 (PraeRi, 2020). Whereas previous work from our group was interested in applying a novel modeling approach to a subset of the current data (Oehm et al., 2022), the present work was able to include the entirety of the available data set and shift the focus toward region-specific differences among risk factors.

In the study providing the data, 3 study regions were defined (Figure 1) as North, covering the federal states of Schleswig-Holstein and Lower Saxony; East, covering the federal states of Mecklenburg Western Pomerania, Brandenburg, Thuringia and Saxony-Anhalt; and South, representing the federal state of Bavaria.

Sampling is presented in detail in PraeRi (2020), also described by Oehm et al. (2022). Sample size (number of farms) was to be calculated to reflect different potential scenarios (i.e., different prevalences of e.g., lameness) given a power of 80% and a significance level of 5%. For the estimation of an expected value (e.g., a



Figure 1. Study regions included North (Schleswig-Holstein [DE-SH] and Lower Saxony in yellow), East (Mecklenburg Western-Pomerania [DE-MV], Brandenburg, Thuringia, and Saxony-Anhalt [DE-ST] in blue) and South (Bavaria in green) as defined by PraeRi (2020).

prevalence of 30%), hence a standard deviation of 7 and a precision of 1, 2, 3, and 4 was assumed (Glaser and Kreienbrock, 2011). Based on these scenarios and taking into consideration feasibility (e.g., how many cows can be scored per day, how many farms can be visited during the 3-yr period of the study given a single 1-d visit), the sample size for each study region was determined to be 250 farms. Selection of farms based on administrative district and on herd size (number of cows) within the respective federal state and study region. Using an automated randomization algorithm, farms were randomly sampled based on the national animal information database (Herkunftssicherungs- und Informationssystem für Tiere, **HIT**; <https://www.hi-tier.de/>) and on the farm data from the Milchpruefring Bayern e.V. in South, as well as from the state control associations (Landeskuratorium der Erzeugerringe für tierische Veredelung) in North and East. A list of farms within the target population was available and an automated

approach incorporating the information required for sampling (e.g., herd size by regionally differing cutoffs) selected farms to be contacted. A response rate of 30% to 40% was expected. Within each study region, 1,250 farms (i.e., 5 times more farms than required) were drawn from the population (all operations that housed dairy cows based on the information provided within HIT) to cover a response rate of at least 20%. Considering farms registered in HIT, region-specific cutoff values for herd size (number of cows) were calculated, to be able to include farms based on herd size and to make sure the broad variety of different herd sizes was represented in the study. A sampling plan was conceived to achieve an evenly distributed selection of included farms regarding herd size. Therefore, farms were classified into small (North: 1–64 cows; East: 1–160 cows; South: 1–29 cows), medium (North: 65–113 cows; East: 161–373 cows; South: 30–52 cows), and large (North: ≥ 114 cows; East: ≥ 374 cows; South: ≥ 53 cows) farms. Cutoffs were chosen, and these cutoffs were the values that divided the targeted population into 3 groups of the same size given the information within HIT. Because response rate was lower than initially expected ($< 10\%$), a second sample of farms was drawn and contacted using the sample measure of randomization as outlined above. A complete overview of the total number of contacted and visited farms is provided in Table 1. Letters were sent to the randomly selected farms with information about the study and an invitation to participate. Participation was on a voluntary basis and motivated farmers had to autonomously contact the study team and arrange the date and time of the farm visit. Farms were visited once between December 2016 and August 2019.

The anonymity of the participating farms was guaranteed in alignment with the German and European data protection legislation. For an observational study such as the present, ethics approval was not necessary in Germany at the time the study was initiated.

Data Collection

All farm visits followed a standard operating procedure (PraeRi, 2020). Paper-based questionnaires and data entry forms were used for on-farm data collection. Farm-level information (farming type, i.e., organic vs. conventional farming, full-time vs. part-time farming, presence of pasture access for dairy cows) was retrieved during a standardized interview with the farm manager at the farm visit. Scoring of cows was conducted by trained observers. On large farms, not all cows were scored. Instead, a sample size of cows was chosen for each region that would detect an expected prevalence of 40% with a confidence interval (CI) of 95% and a

Table 1. Response rate of dairy farms in the collection of the study data (invited and visited farms) in each region of Germany

Study region	Small farms, ¹ n		Medium farms, ² n		Large farms, ³ n		Total number of farms	
	Invited	Visited (response rate %)	Invited	Visited (response rate %)	Invited	Visited (response rate %)	Invited	Visited (response rate %)
North	1,664	83 (5)	674	90 (13)	449	80 (18)	2,787	253 (9)
Schleswig-Holstein	330	70	210	59	110	55	650	184
Lower Saxony	1,334	13	464	31	339	25	2,137	69
East	701	83 (12)	433	87 (20)	605	83 (5)	1,739	252 (9)
Mecklenburg Western Pomerania	189	18	123	26	264	22	576	66
Brandenburg	109	24	103	22	173	19	385	65
Thuringia	247	20	76	13	86	16	409	49
Saxony-Anhalt	156	20	131	26	82	26	369	72
South	1,345	92 (7)	2,015	84 (4)	1,058	84 (8)	4,418	260 (6)
Bavaria	1,345	92	2,015	84	1,058	84	4,418	260

¹Cutoffs for small farms per region: North: 1–64 cows; East: 1–160 cows; South: 1–29 cows.

²Cutoffs for medium farms per region: North: 65–113 cows; East: 161–373 cows; South: 30–52 cows.

³Cutoffs for large farms per region: North: ≥ 114 cows; East: ≥ 374 cows; South: ≥ 53 cows.

standard error of $\pm 5\%$ (power: 80%) as described by Jensen et al. (2022). Therefore, on farms in regions South and North if more than 130 or 213 cows were present, respectively, a sample of 130 and 213 animals was scored. In region East, where the largest farms were located, 2 groups were formed and on farms with 166 to 292 cows, a sample of 166 cows was scored and on farms with more than 293 cows, a sample of 292 cows was scored. Cows were systematically selected across all groups and if cows were held in more than one pen, a similar percentage of cows was selected in each pen. Observers aimed to evenly distribute the selected cows in the herd by scoring and marking (e.g., 4 cows and marking the fifth without scoring it to reach 80% scored animals). Animals were chosen irrespective of whether they were resting, feeding, standing in the alleys or up to any other activity.

Locomotion score (**LS**) and BCS were individually assessed for each sampled cow. The 5-point locomotion scoring procedure suggested by Sprecher et al. (1997) was implemented which is based on characteristics of gait and posture both during locomotion as well as when the animal is standing. A cow was regarded as lame with an LS of ≥ 3 .

The assessment of BCS was conducted using the scoring system by Edmonson et al. (1989) modified by Metzner et al. (1993), which is represented by a 5-point scale with 0.25-increment intervals. Other animal-level information (parity, breed) as well as all milk test-day sampling records from the 12 mo before the farm visit (DIM, milk yield [in kg], milk fat [in %], milk protein [in %], SCC [in number of cells $\times 1,000$ per mL] and milk urea [in mg/L]) were retrieved from HIT and from the German DHIA after written consent from farm managers. The data from the questionnaires and data

entry forms were manually transferred to a central SQL database (<https://ibi.tiho-hannover.de/prae/i/pages/69>) immediately after each farm visit and supplemented with the data from HIT and DHIA.

Observers (total: $n = 22$, North: $n = 6$, East: $n = 11$, South: $n = 7$) were trained using photos and videos and were subjected to the assessment of interobserver reliability during the time of the study. Before the onset of data collection, all researchers participated in a 3-d workshop including video sessions and group discussions for training and preparation purposes. This preparation of the raters was complemented by continuous telephone conferences between observers and a pilot phase of 3 mo before the actual start of the study which aimed at getting acquainted with the procedures of data collection and farm visits. Throughout the study period, all researchers involved in data collection participated in 3 seminars throughout the study period. The first seminar took place 1 yr after the onset of data collection, the second seminar was held in the middle of the second study year, and the third seminar in the middle of the third study year. All observers participated in the same 3 seminars, which were designed as both group discussions, video sessions, and practical courses on the first day and assessment of interobserver reliability by independently scoring the same cows for BCS and LS without sharing information during the assessments on the second day. This resulted in the assessment of 43, 59, and 60 animals being subjected to body condition scoring and 36, 53, and 54 cows being scored for locomotion at the 3 assessment dates, respectively. The intraclass correlation coefficient, which gives an indication about the variance between measurements of the animals compared with the total variance between all measurements and all animals was calculated for

BCS. Agreement was defined as perfect agreement at the 0.25 increment (i.e., perfect agreement was present when 2 observers assigned the same score. For the comparison of every single observer with the scorings of the other observers, we fitted a variance model including 2 factors. A random effect was modeled for the individual animal so that dependencies between the measurements of different observers could be acknowledged. A fixed effect was modeled for observer. Because all observers scored the same animals, the selection of the observers is fixed and the model claims are to be applicable for this selection. In case an observer significantly deviated in their scoring from the other observers, they received detailed information about the kind of deviation. Values are taken between 0 (poor agreement) and 1 (excellent agreement) with higher values suggesting a better agreement among observers. Agreement between raters for the variable BCS was fair (0.59 during the first seminar) to excellent (during the second and third seminar [i.e., 0.79 and 0.76, respectively]; Barnhart et al., 2007; Hallgren, 2012).

For lameness assessments, global kappa values were estimated and exclusion tests were performed as described by Ruddat et al. (2014). Global agreement among all m observers was calculated for locomotion assessments to indicate inter-rater reliability (Krummenauer, 2005). Due to the ordinal nature of the locomotion scale, kappa values were yielded in a weighted manner using the quadratic weight function by (Fleiss and Cohen, 1973). One observer was continuously compared with a random collective of the other observers and each observer was hence tested repeatedly in a varying collective. To determine disagreeing observers, an exclusion test was performed for each single observer 1, \dots , m (Ruddat et al., 2014). Therefore, the expected and observed agreement between a specific observer 1 and the remaining raters ($m - 1$) was assessed. Using this to calculate a weighted kappa coefficient specific for the observer, observer-specific kappa values significantly smaller than global kappa estimates indicated disagreement of the respective observer (Ruddat et al., 2014). In this very context, the minimum and maximum values of the kappa values were yielded including their 95% CI. Cutoffs for kappa values are rather arbitrary (Landis and Koch, 1977). Values of 1.0 indicate perfect agreement, whereas 0 indicates completely random or poor agreement (Landis and Koch, 1977; Viera and Garrett, 2005; Hallgren, 2012). Agreement in this study was moderate across the 3 assessment dates. The agreement was moderate (0.48 [CI 0.33–0.63] to 0.57 [CI 0.43–0.71]) on the first evaluation occasion, moderate on the second occasion (0.56 [CI 0.46–0.66] to 0.63 [CI 0.53–0.74]), and moderate on the third occasion (0.39 [CI 0.25–0.53] to 0.44 [CI 0.30–0.60]).

Data Handling and Preparation

Microsoft Excel data sheets (Microsoft Corporation, 2018) were extracted from the SQL database. Plausibility of the data was checked in 2 steps: First, the database included a function to check variable values based on predetermined cutoffs. These cutoffs had been determined based on available literature on the topic and knowledge gained during the farm visits. All researchers involved in the study were part of determination of cutoffs by means of intense discussions. Subsequently, a database internal validation was defined for the variables and values that were not in accordance with the determined cutoffs were presented by the database. Implausible values indicated by the database were checked and corrected, if necessary and possible considering the available data sources such as paper-based data entry forms and questionnaires. If it was not possible to correct implausible values, they were changed to missing. After data export, 5 of the coauthors checked the data for plausibility by assessing the distribution of the variables. If implausibilities occurred, the respective observations were checked within the database to detect potential irregularities during data export as well as in the original paper-based forms to detect introduction of implausibilities during transfer of recorded data into the database.

In a next step, the final data set was created. Out of the 86,355 animals on 765 farms in the original data set, 28,211 animals were excluded either due to missing records (any missing record lead to exclusion from the study), not being of interest in this context (e. g. males, animals in tiestall housing) or not meeting the requirements (e. g. not having enough test-day-milking data sets). Regarding this requirement, all animals had to have at least 3 test-day milkings in the 4 mo before scoring, with an exception of cows in the first 3 mo of lactation. For those cows, the following rule applied (to exclude the milk assessments from the prior lactation, but still include early lactation cows): cows within the first month of lactation were included if they had 1 or 2 assessments in the last 31 d; cows in the second and third month of lactation were included if they had 1 to 3 (2–3 for cows in third month of lactation) assessments within the last 62 or 93 d, respectively. All steps are displayed in Figure 2. As a result, the final data set for analysis contained a total number of 58,144 cows from 651 farms with 17,248 cows in North, 34,413 in East, and 6,483 in South.

Similar to Oehm et al. (2020, 2022), the raw BCS values were categorized into 3 groups (undercondition, recommended, and overcondition) stratified by breed and DIM, because body condition naturally changes during lactation (Souissi and Bouraoui, 2020). The ap-

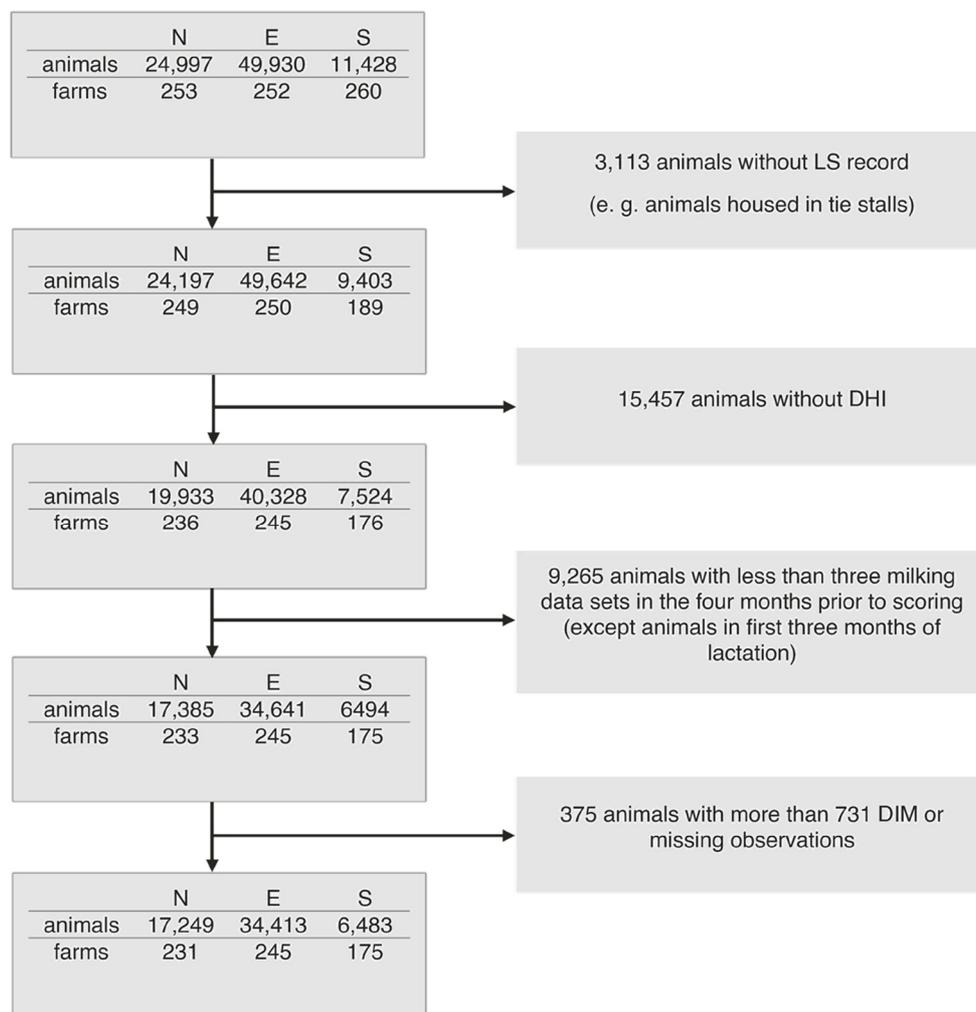


Figure 2. Flowchart displaying the steps of creating the final data sets from the original raw data on German dairy cows. Out of 86,355 animals on 765 farms in the original data set, 3,113 had not been scored for locomotion (e.g., tiestall-housed cattle). Another 15,457 animals had no milk recordings (e.g., males), 9,265 cows had fewer than 3 milking data sets in the last 4 mo before scoring (except for animals in the first 3 mo of lactation), and 376 cows were more than 2 yr in milk (>731 DIM) or were excluded due to missing records. The final data set contained 58,144 cows on 651 farms. (N = North; E = East; S = South; LS = locomotion score; DHI = German Dairy Herd Improvement Association).

plied limits were set as suggested by Kritzinger and Schoder (2009a,b) and Kritzinger et al. (2009) and are displayed in Table 2.

The composition of breeds was categorized for each region into German Holstein (**GH**), Simmental (**SIM**), and others. Herd size was categorized cross-regionally by quantiles (<25%, 25–75%, >75%) based on the number of lactating and dry cows present on farm at the day of the farm visit into small (<105), medium (105–431) and large (>431). A variable “stage of lactation” was created by transforming DIM values into early lactation (DIM <102), mid lactation (DIM 102–204), and

late lactation (DIM >204) resembling the thirds of a 305-d lactation span.

The processing of the milking data was conducted in several steps. To best assess the milk components of individual cows when evaluating risk of ketosis, we implemented recent recommendations by Glatz-Hoppe et al. (2019a) in our analyses. Accordingly, the metabolic status of dairy cows can be estimated way more accurately when the milking data are evaluated with individual upper and lower limits for milk fat and milk protein per cow, depending on the milk yield (in kg), which is inversely correlated with milk protein and

Table 2. Upper and lower limits of optimal BCS according to different breeds of German dairy cows and the present stage of lactation¹

Stage of lactation	Phase	DIM	BCS			
			GH and BS		SIM and other breeds	
			LL	UL	LL	UL
Late lactation or dry	I	-60 to -1	3.25	3.75	3.75	4.25
First third of lactation	II1	0 to 29	2.75	3.75	3.30	4.25
	II2	30 to 99	2.50	3.40	3.25	4.00
Middle third of lactation	III	100 to 199	2.50	3.25	3.25	3.75
Last third of lactation	IV	200 to 299	2.75	3.75	3.25	4.25

¹GH = German Holstein, BS = Brown Swiss, SIM = German Simmental, LL = lower limit, UL = upper limit. Modified after Kritzinger and Schoder (2009a,b), Kritzinger et al. (2009), and PraeRi (2020).

milk fat content (Glatz-Hoppe et al., 2019b). In a first step, we calculated these dynamic limits for both milk protein and milk fat depending on the total milk yield (supplemental materials, Rittweg et al., 2023; <https://b2drop.eudat.eu/s/frjGckCjERjLfff>) for each cow and each test milking individually, instead of using the commonly used imposing standard, nondynamic limits by Spohr and Wiesner (1991). As a result, we obtained an individual “optimal” fat and protein content range per cow. In a second step, the fat-protein ratio (**FPR**) was calculated and categorized into “normal” (FPR ≤ 1.4) and “in risk of ketotic metabolic status” (**ROK**; FPR >1.4). According to Glatz-Hoppe et al. (2019b), a ketotic metabolic status can quite accurately be identified by an FPR >1.4 together with a milk protein content lower than the calculated individual lower milk protein limit or a milk fat content higher than the calculated individual higher milk fat limit. As a third step, for each cow, the 3 most recent milking data sets before the farm visit were scanned for ROK (yes or no) and the total number of ROK events (possible range 0–3) on the basis of these conditions. In a fourth step, the ECM performance was calculated with the following formula (Sjaunja et al., 1990):

$$\text{ECM} = \frac{\text{milk yield} \times \left[\frac{0.38 \times (\text{milk fat in } \%) + 0.21 \times (\text{milk protein in } \%) + 1.05}{3.28} \right]}{3.28}$$

Information of the relevant raw milking data (milk fat content, milk protein content, milk urea, and SCC) as well as ECM from the 3 most recent test-day samplings before the day of scoring was condensed to a single value using a Bayesian nonparametric bootstrap procedure with 1,000 samples with replacement. This yielded Bayesian medians for each of the variables to reflect the individual animal in a single value. The ECM bootstrap medians were categorized by breed and quantiles

(<25%, 25–75%, <75%) into low (GH: <25.9 kg; SIM: <22.2 kg; other: <23.0 kg), average (between low and high) and high (GH: >36.2 kg; SIM: >31.6 kg; other: >34.6 kg) performing cows, likewise the SCC was categorized into low (<39.9 cells × 1,000/mL), increased (between low and high), and high (>198.5 cells × 1,000/mL). The raw values for milk fat and milk protein were categorized into low, optimum, and high using the individually calculated upper and lower limits, while for milk urea, limits were set to the established limits of 150 mg/L (lower limit) and 250 mg/L (upper limit) for categorization into low, optimum, and high.

Statistical Analyses

All statistical analyses were performed with the R software for statistical computing version 1.2.5042 (R Core Team, 2020) using the R studio interface (RStudio Team, 2020). A complete list of implemented packages can be found in the supplemental materials (Rittweg et al., 2023).

Univariable binary logistic regression was performed on animal level for each variable with regard to the binary target variable lame (1/0). No variable selection based on *P*-values was conducted during the univariable analyses and all predictors analyzed at the univariate level were entered into the multivariate process. This procedure was chosen to detect potential confounding effects of variables as the effect of single predictors may be covered up by other factors (Dohoo et al., 1997). Moreover, univariable analyses were performed to identify relevant associations between covariates and lameness that could translate into relevant associations or confounding effects during multivariate modeling. Subsequently, one multivariate logistic regression model was built on animal level for each region individually, including a farm-specific random effect to account for potential clustering at the herd level as well as for between-farm heterogeneity. A manual stepwise back-

ward selection process was chosen and hence one variable at a time was removed from the model. After each excluded variable, candidate models were compared and ranked based on the Akaike's information criterion (**AIC**; Akaike, 1969) and the Bayesian information criterion (**BIC**; Schwarz, 1978). A decrease of the AIC or the BIC when comparing 2 candidate models indicated a better fit in the model with the lower AIC or BIC values (Ding et al., 2018). If the removal of one covariate induced a change in the estimate of another predictor by 20% or higher, the variable was regarded as a confounder and remained within the model.

Correlation among predictors was checked by assessing the correlation matrix of the models. If a correlation $\geq |0.7|$ was encountered, the biologically more relevant factor was selected based on biological reasoning and the extant literature. A network structure was drawn via the free software DAGITTY (Textor et al., 2016) to visualize presumed relationships among variables and identify potential confounders (see supplemental materials, Rittweg et al., 2023). This network was used to guide the modeling procedure (i.e., after the backward selection process had identified an optimal candidate model) potential confounders were re-entered into the model one by one based on the network structure (observer, pasture access, visit year, herd size, farming type [conventional vs. organic], DIM, breed, and parity) and model fit was again evaluated based on the aforementioned criteria. As a last step during the model building process, biologically plausible 2-way interactions between the remaining covariates were tested. The constructed network structure guided this process by providing an overview of all variables and aiding at identifying potential interactions between predictors. To acknowledge potential observer effects during locomotion scoring, the variable observer was forced into the model. Throughout the analyses, statistical significance was set at a P -value ≤ 0.05 and the CI was set to 95%.

The R function `vif()` from the `car` package (Fox and Weisberg, 2019) was used to assess variable inflation (i.e., potential [multi-]collinearity among variables). As none of the variable inflation scores were >1.4 (N and S: max. 1.4, E: max. 1.3), we inferred that (multi-)collinearity was not a considerable issue (Hair et al., 2018; Kim, 2019).

One receiver operating curve (**ROC**) was generated per model and the area under the curve (**AUC**) was calculated, to assess the model performance after having selected a good fit model for each region. The model selection process allowed the models to differ between regions. The ROC curves were generated using the R package `ROCR` (Sing et al., 2005), and the AUC was calculated with the `pROC` package (Robin et al., 2011).

The AUC value for region North was 0.75 (95% CI 0.74–0.76), while the corresponding values for East and South were 0.76 (95% CI 0.76–0.77) and 0.76 (95% CI 0.75–0.77), respectively.

RESULTS

Descriptive Results and Characterization of the 3 Regions

All descriptive results for each region can be found in the supplemental materials (Rittweg et al., 2023). The total number of farms and animals in each region included in this study is displayed in Figure 2, the number of invited farms including the response rates is displayed in Table 1.

Animal-level prevalence of lameness in the present study was 27.5% (North), 42.6% (East), and 27.5% (South).

In North and East the main breed was GH, with 94.1% (North) and 92.7% (East) of the cows; in region South, SIM was the main breed (78.9% of the cows). The percentage of first lactation cows was 31.1% (North), 33.8% (East), and 28.9% (South). The percentage of cows in second lactation was 25.1% (North), 26.0% (East), and 25.6% (South), and in third or higher lactation, 43.8% (North), 40.1% (East), and 45.5% (South).

Median ECM was 29.9 kg (North), 31.0 kg (East), and 27.0 kg (South). One ROK event during the last 3 test milkings was detected in 15.6% (North), 16.2% (East), 18.8% (South) of cows. Two ROK events were present in 3.9% (North), 3.4% (East), and 4.4% (South) of animals, with 1.8% (North), 1.0% (East), and 1.8% (South) of cows showing evidence of a ROK event in all assessments. The percentage of cows having had at least 1 ROK event within the last 3 mo was 21.3% (North), 20.6% (East), and 25.0% (South).

The mean herd size was 146.0 (North; interquartile range: 95), 458.9 (East; interquartile range: 327) and 67.4 (South; interquartile range: 35). Although part-time farming concerned only 0.4% of cows in North and 0.1% of cows in East, it was more present in South with 3.6% of animals being managed part time. Pasture management also clearly differed between regions: 71.1% (North), 45.6% (East), and 25.3% (South) of the cows had access to pasture. The percentage of cows housed under organic farming conditions was 3.9% (North), 4.0% (East), and 11.2% (South). More than half of these animals were housed on farms with less than 100 animals (50.1%), and organic farming was not present on farms with herd sizes of more than 300 animals at all. The percentage of cows housed on organic farms were 3.4%, 9.0%, and 15.9% for GH, SIM, and other breeds, respectively.

In addition, univariable analysis were performed. Results can be found in the supplemental materials (Rittweg et al., 2023).

Multiple Mixed-Logistic Regression Model

Results of the final multiple mixed-logistic regression are displayed in Table 3. Parity, BCS, and farming type were associated with lameness in all 3 regions. The BCS appeared to be an important covariate in all study regions: undercondition was associated with higher odds for lameness, whereas overcondition was associated with lower odds for lameness in comparison with a recommended BCS. A parity of either 1 or 2 was associated with lower odds of lameness compared with older cows (parity ≥ 3), whereas organic farming was associated with lower odds of lameness compared with conventional farming.

The models differed in the following covariates: ECM was associated with lameness only in North and South (i.e., low ECM was associated with higher odds for lameness and high ECM with lower odds for lameness compared with average ECM). Low milk protein contents were associated with higher odds, and high milk protein content with lower odds, of lameness in North and East, but this predictor was not retained in the model for South. Early lactation stage showed an association with lower odds for lameness in East but with higher odds in South, whereas the mid-lactation stage was associated with higher odds in all regions compared with late-lactation stage. Access to pasture was associated with lower odds for lameness cases in North and South, but not in East. "Other" breeds appeared to be associated with lower odds for lameness in East and South compared with the main breed of the respective region (GH in East and SIM in South), while this predictor was not retained in the North model. Presence of at least one ROK event was associated with higher odds of lameness in North but not in the 2 other regions. Similarly, high SCC was associated with higher risk of lameness only in region East.

Parity, DIM, farming type (organic vs. conventional), and observer appeared as confounders in all 3 regions. In East and South also breed, in region North and South pasture access, and in region North und East visit year appeared as additional confounders.

DISCUSSION

The aim of the present study was to explore animal-level factors associated with lameness in dairy cows housed in freestall barns, and to comparatively assess these factors in 3 structurally different regions of Ger-

many. Even though previous studies focusing on factors associated with lameness have been published in abundance (Green et al., 2002; Solano et al., 2015; Foditsch et al., 2016; Bran et al., 2019), information on factors related to milk production variables and ketosis on animal level is limited (Oehm et al., 2019). We aimed at contributing to this field of knowledge using the dynamic milking variables assessment limits suggested by Glatz-Hoppe et al. (2019a), giving an individual range of optimal milk protein and milk fat content for each cow taking into account its breed and total milk yield, to ensure a modern, advanced approach of assessing the metabolic status of dairy cows.

The unique aspect of comparing dairies of 3 structurally diverse regions in one study allowed a deeper understanding of associations that are consistent between different types of farming and those associations that might be related to certain farming practices. In addition, as the majority of studies has presented knowledge with regard to GH cows, the composition of breeds in one of the regions (majority of German SIM cows with only few GH and other breeds, such as Brown Swiss in South) is a clear novelty of the present study.

Limitations

To correctly interpret the results of the present analyses, it is paramount to be aware of the cross-sectional design of the study, which entails certain limitations that need to be acknowledged (Setia, 2016). The target variable lameness and most predictors were recorded simultaneously during the same occasion. Therefore, no conclusions can be drawn to infer causalities, which is a general drawback of cross-sectional studies (Carlson and Morrison, 2009).

Observer effects are a common issue in locomotion assessments of dairy cows (Oehm et al., 2022). We are convinced to have minimized the observer bias by an extremely close-meshed evaluation of observers as well as by following a distinct, standardized protocol for data collection, as well as incorporating repeated training of observers. The interobserver reliability of observers was assessed several times during the study period and kappa values varied substantially, which was expected. To address this issue to a certain extent, we have included observer in the model and hence separately tested the relevance of this covariate for each region: The model performance improved clearly while interestingly estimates of the other covariates were only slightly affected. Hence, in the presence of observer, the results of the remaining covariates were adjusted for the observer effect. This appears as a clear asset of this study and corroborates our results while simultane-

Table 3. Final multiple mixed regression models of each of the 3 regions of Germany (North, East, South)¹

Predictor	Category	North (n cows = 17,248)			East (n cows = 34,413)			South (n cows = 6,483)								
		OR	CI (95%)	P-value	Estimate	SE	OR	CI (95%)	P-value	Estimate	SE					
BCS	Undercondition	2.15	1.96–2.34	<0.001	0.76	0.05	2.66	2.45–2.88	<0.001	0.98	0.04	2.45	2.01–2.98	<0.001	0.90	0.10
	Recommended	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Parity	Overcondition	0.51	0.44–0.60	<0.001	-0.67	0.08	0.51	0.48–0.54	<0.001	-0.68	0.03	0.65	0.54–0.77	<0.001	-0.44	0.09
	1	0.32	0.29–0.35	<0.001	-1.15	0.05	0.19	0.18–0.20	<0.001	-1.68	0.03	0.28	0.24–0.33	<0.001	-1.28	0.08
	2	0.51	0.47–0.56	<0.001	-0.67	0.05	0.41	0.39–0.44	<0.001	-0.89	0.03	0.49	0.42–0.57	<0.001	-0.71	0.08
	≥3	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Stage of lactation	<102 DIM	0.99	0.89–1.10	0.831	-1.15	0.05	0.92	0.86–0.98	0.007	-0.09	0.03	1.28	1.08–1.50	0.004	0.24	0.08
	102–204 DIM	1.15	1.05–1.27	0.005	-0.67	0.05	1.24	1.17–1.32	<0.001	0.22	0.03	1.38	1.18–1.62	<0.001	0.32	0.08
ROK	<204 DIM	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	No	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Farming type	Yes	1.11	1.01–1.22	0.025	0.11	0.05	1.06	1.00–1.13	0.068	0.06	0.03	1.13	0.98–1.31	0.088	0.13	0.07
	Conventional	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Pasture access	Organic	0.18	0.11–0.32	<0.001	-1.69	0.28	0.39	0.28–0.56	<0.001	-1.00	0.17	0.45	0.29–0.68	<0.001	-0.81	0.21
	No	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ECM ²	Yes	0.64	0.50–0.82	<0.001	-0.44	0.12	—	—	—	—	0.65	0.47–0.88	0.006	-0.43	0.16	
	Low	1.16	1.05–1.27	0.002	0.15	0.05	—	—	—	—	1.43	1.22–1.69	<0.001	0.36	0.08	
Milk protein content ³	Average	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	High	0.88	0.79–0.97	0.014	-0.13	0.05	—	—	—	—	0.80	0.68–0.94	0.008	-0.22	0.08	
SCC ⁴	Low	1.34	1.18–1.52	<0.001	0.29	0.06	1.17	1.08–1.28	<0.001	0.16	0.04	—	—	—	—	—
	High	0.79	0.71–0.88	<0.001	-0.23	0.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Breed	Increased	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	High	1.10	1.03–1.17	0.003	0.09	0.03	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Visit year	GH	1.08	1.01–1.16	0.031	0.08	0.04	1.10	1.03–1.17	0.003	0.09	0.03	0.62	0.43–0.90	0.012	-0.47	0.19
	SIM	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	Ref.	—	—	—	—
Observer	Other	0.83	0.43–1.63	0.596	-0.18	0.34	0.47	0.42–0.53	<0.001	-0.75	0.06	0.46	0.34–0.62	<0.001	-0.77	0.15
	2017	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Observer	2018	1.25	0.98–1.59	0.077	0.22	0.12	0.88	0.73–1.06	0.176	-0.12	0.09	—	—	—	—	—
	2019	1.94	1.49–2.54	<0.001	0.67	0.14	0.61	0.47–0.79	<0.001	-0.51	0.13	—	—	—	—	—
Observer	1	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2	0.86	0.62–1.18	0.347	-0.15	0.16	1.00	0.83–1.20	0.988	-0.001	0.09	0.68	0.45–1.03	0.068	-0.39	0.21
Observer	3	0.82	0.59–1.13	0.218	-0.20	0.17	1.05	0.81–1.36	0.732	0.04	0.13	0.48	0.31–0.74	0.001	-0.73	0.22
	4	0.94	0.67–1.33	0.742	-0.06	0.17	0.82	0.70–0.96	0.016	-0.19	0.08	1.24	0.79–1.94	0.354	0.21	0.23
Observer	5	0.88	0.63–1.22	0.447	-0.13	0.17	1.98	1.60–2.45	<0.001	0.68	0.11	0.59	0.39–0.90	0.014	-0.52	0.21
	6	1.01	0.72–1.41	0.957	0.01	0.17	0.98	0.82–1.17	0.811	-0.02	0.09	1.08	0.71–1.66	0.714	0.08	0.22
Observer	7	Ref.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	8	1.00	0.83–1.22	0.962	0.005	0.10	1.00	0.83–1.22	0.962	0.005	0.10	1.10	0.69–1.73	0.691	0.09	0.23
Observer	9	1.04	0.89–1.21	0.663	0.03	0.08	1.04	0.89–1.21	0.663	0.03	0.08	—	—	—	—	—
	10	0.78	0.57–1.06	0.114	-0.25	0.16	0.78	0.57–1.06	0.114	-0.25	0.16	—	—	—	—	—
Observer	11	1.48	0.86–2.55	0.157	0.39	0.28	1.48	0.86–2.55	0.157	0.39	0.28	—	—	—	—	—
	11	0.80	0.55–1.18	0.266	-0.22	0.20	0.80	0.55–1.18	0.266	-0.22	0.20	—	—	—	—	—

¹OR = odds ratio; ROK = risk of ketotic metabolic status; GH = German Holstein; SIM = German Simmental; Ref. = referent.
²Categorical limits for ECM: GH low = <25.9 kg, average = 25.9–36.3 kg, high = >36.2 kg; SIM low = <22.2 kg, average = 22.2–31.6 kg, high = >31.6 kg; Other low = <23.0 kg, average = 23.0–34.6 kg, high = >34.6 kg.
³Categorical limits for milk protein content: individual upper and lower limits as displayed in supplemental materials (Rittweg et al., 2023; <https://b2drop.eudat.eu/s/IRjGekCjERjLlFF>).
⁴Categorical limits for SCC: low = <39.9 cells × 1,000/mL; increased = 39.9–198.5 cells × 1,000/mL; high = >198.5 cells × 1,000/mL.

ously acknowledging the relevance of observer effects in locomotion scoring and varying interobserver agreement measures.

The animal-level prevalence of lameness in the present study is similar to reports by other authors: Solano et al. (2015) reported a prevalence of 20.8% for Canada, Barker et al. (2010) of 36.8%, and Griffiths et al. (2018) of 28.2% for the United Kingdom. One aspect to consider in regard to the reported prevalence of the current study is the voluntary participation of farm managers which may have been a source of potential participation bias. The response rate of the first invitation round was lower than expected and varied considerably across regions. Hence, a second round of invitations had to be sent to farmers to compensate for this. It may be plausible to assume that proactive farmers are overrepresented in our study by being generally more interested in scientific progress and improvement of animal husbandry. More refined housing conditions and closer monitoring, a focus on higher longevity of cattle, and lower lameness prevalence may be present on their farms. Hence, the true lameness prevalence in the underlying dairy cow population might be higher than the value reported in the current work. On the other hand, it could also be possible that especially those farmers with lameness problems or an overall inferior health situation on their farms were interested in participating in our study. In the latter case, the presented lameness prevalence would be an overestimation. Even though we cannot entirely rule out a certain degree of bias, we are confident that based on the alignment with other published work, the results do reflect the situation within the target population.

According to extant literature (Clarkson et al., 1996; Murray et al., 1996; Becker et al., 2014a), the most common lameness-associated claw lesions are white line disease, sole ulcer, heel erosion, and digital dermatitis, which all develop rather slowly and often represent chronic processes rather than acute events. It seems plausible that a cow recorded with an LS of ≥ 3 most likely had developed the underlying pathology some time beforehand (with the exceptions of foot rot and trauma, which occur as an acute condition), and it is therefore likely that the evaluated DHI milking characteristics could be reflecting an emerging lameness already some weeks before the detection of the clinical lameness by the farmer. This reasoning aligns with the findings of previous studies (Green et al., 2002; Reader et al., 2011), which reported a decrease in milk yield several months to weeks before the cows became visibly lame. To address this issue, a requirement for the inclusion of cows in the study was the availability of at least 3 test-day sampling milk values within the last 4 mo before the day of the individual locomotion and

body condition scoring (exception: cows in the first 3 mo of lactation). We regard this threshold as reasonable from a biological point of view, but we need to underline that animals that did not have 3 complete DHI records before the farm visit were not part of the current analysis (with the exception of cows in the first 3 mo of lactation). This might consequently have resulted in the exclusion of animals without DHI data due to disease associated with lameness or metabolic imbalances during the selected period. The population analyzed in our work might hence be subjected to a certain level of bias and represent a group of animals with a better health status. Although we have been able to find relevant associations despite this issue, it is important to acknowledge it as a possible limitation.

The fact that some predictors were not consistent across regions lends support to the idea that these factors are biologically relevant in a region-specific manner only. Nevertheless, this finding could also indicate noise in the data. Although we are aware that we cannot definitively rule this out, we regard this possibility as rather unlikely, because biologically plausible explanations can be found for all affected predictors.

Structural Differences in the 3 Regions

The apparent differences between regions result from the regionally differing farming structures (Merle et al., 2012). In North and East the main breed is H, a breed with a clear focus on high milk yield (Yan et al., 2006), while the main breed of South is SIM, a dual-purpose breed (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2016, Grimm et al., 2019). The ECM per cow was the highest in East and so dairy production in general, feeding strategies, and ketosis prevention are assumed to be more intensive in this region.

While farmers often are unaware of the actual extent of the lameness prevalence in their herds (Whay et al., 2002, Šárová et al., 2011, Jensen et al., 2022) or do not regard the detected gait disturbances as actual lameness cases (Horseman et al., 2014), monitoring of individual animals due to a larger staff per animal ratio may be enhanced in the smaller farms in North and South which could be a potential explanation for the lower lameness prevalence there.

The structure and management of farms and especially conventional versus organic farming has to be considered. Over the last decades, farming in North and East in general has developed more and more toward large farm cooperatives and company managed farms, while in South farm management is still mostly family run. In addition, half of the entire German organic milk production volume is produced in region South (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, 2022).

Although organic farming in North and East is rare, organic farming in South has a long tradition (BMEL, 2021), and has been developed and promoted by dairies and the federal government for many years (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, 2022) and is an established part of the Bavarian dairy industry.

Differences in pasture management in the different regions have to be considered. If pasture is available on the farm, cows in regions North and South typically all have access to pasture during all days with suitable weather conditions. However, the pasture management in East focuses on cows in the dry period, while lactating cows in East rarely have any access to pasture.

Discussion of Model Results: Animal-Level Factors

Body Condition Score. A low BCS appeared to be a key predictor in all models, associated with higher odds of lameness in all regions. The thickness of the bovine digital cushion is an important factor in the development of claw horn disruption lesions and closely connected to the BCS (Bicalho and Oikonomou, 2013; Newsome et al., 2017a; Randall et al., 2018). During periods of negative energy balance, fat is mobilized from subcutaneous and intra-abdominal body reserves as well as from the digital fat pads (McNamara et al., 1995; Iqbal et al., 2016). Cows become lame as the decreasing dimensions of the digital cushion lead to an impaired ability to dissipate pressures of weight bearing and shielding the corium and the germinal epithelium from forces of the distal phalanx exerted on the corium (Newsome et al., 2017a,b). Subsequently, claw horn lesions develop as a result from contusions within the horn capsule.

Being lame and ranking low in the social hierarchy of the herd has been proven to correlate noticeably (Galindo and Broom, 2000). Animals with a lower social rank spend less time lying and more time standing, especially on the passageways, which was found to be associated with an increased number of clinical cases of sole, interdigital, and heel lesions (Galindo and Broom, 2000). Because of their lower rank, those animals might find themselves in a situation of ongoing competition for resources such as cubicles and access to the feed bunk. This situation may then lead to a negative energy balance and body condition loss, a hypothesis supported by the reported negative correlation of association between social dominance and body condition (Hohenbrink and Meinecke-Tillmann, 2012). As previously reported, a low or decreasing body condition is considered an important driver for lameness development (Lim et al., 2015; Newsome et al., 2017a,b). In addition, Schöpke et al. (2013) found cows with a low BCS to be more susceptible to interdigital hyperplasia.

Parity. The odds for lameness were lowest in first lactation, increasing with higher lactation numbers in all regions concurring with the findings of others (Espejo et al., 2006; Bicalho et al., 2009). Potential explanations include the accumulation of calving associated metabolic stress, and prolonged standing times on hard flooring. This contributes to the development of claw horn disruption lesions. Hormonal changes associated with calving that lead to loosening of the suspensory apparatus of the claw (Tarlton et al., 2002) may accumulate in multiparous cows. Incorrect and delayed treatment of lameness may lead to permanent damage (Newsome et al., 2016; Wilson et al., 2021), resulting in chronic lameness that is often difficult or impossible to treat (Thomas et al., 2016). Prolonged exposure to harmful aspects of housing (Kerr, 1998), previous lameness events (Hirst et al., 2002), and chronicity of claw pathologies (Alban et al., 1996) as well as development of arthritis with increasing age exert an additive detrimental effect. Early detection and treatment of lameness, especially in first- and second-lactation animals, are, therefore, crucial to continuously maintain the foot health of the herd (Hirst et al., 2002; Leach et al., 2012; Thomas et al., 2016).

Stage of Lactation. Cows in mid lactation appeared to have higher odds for lameness in this study compared with those in early and late stage of lactation (with the exception of early lactation cows in S). The influence of the lactation stage on lameness is complex. The potential convalescence during the dry period, which early lactating cows still may benefit from, could be one aspect to consider; however, dry period appeared to be a period of increased risk for lameness development in a study by Daros et al. (2019). Kempson and Logue (1993) found that horn quality in heifers worsens in late gestation, and horn growth increases from dry period to about 12 wk after calving and then decreases (Livesey and Laven, 2007). Considering these findings, increased odds for lameness in mid lactation might indicate that an additional trimming in mid lactation could confer positive effects specifically for cows in mid lactation. In this very context, it is important to be aware of the fact that claw horn lesions developing earlier in lactation may not become evident as clinical lameness until mid lactation (Collick et al., 1989; Leach et al., 1997; Green et al., 2002).

Energy-Corrected Milk. The fact that high ECM was associated with lower odds for lameness similar to recent results by O'Connor et al. (2019), can be explained by the circumstance that cows with sufficient energy supply are more likely to tap their full potential in milk yield performance than those having troubles to meet their metabolic requirements. The basis for a high milk yield is a good health condition, which is as-

sociated with good housing, feeding, and management conditions and, in consequence, good animal welfare (Quality, 2009). Cows hence may be at a lower risk to develop lameness as well. Additionally, as clinically lame cows were found to show decreased milk production already long before and while lameness cases were detected (Green et al., 2002; Reader et al., 2011), the reverse direction of the causality (i.e., lameness impairing productivity) could explain the association between low ECM and higher odds for lameness events. This concurs with findings by Solano et al. (2015), who reported a decrease in the odds for severe lameness cases with increasing milk yield. Of course, feeding strategies, feed composition, quality and supply are important factors in this context and should, therefore, not go unmentioned, but are beyond the scope of this study.

Risk for Ketosis. The occurrence of ketosis events represents a metabolic status of insufficient energy supply (Glatz-Hoppe et al., 2019b). The higher odds for lameness for cows with one or more ROK events complement the hypothesis of a negative energy balance to be an important factor associated with lameness, both as a risk factor and possible consequence. The reason that this parameter was not consistently associated with lameness in this study might be related to the findings of Schöpke et al. (2013), who reported a decreased milk fat content and FPR in cows diagnosed with laminitis in the following month.

Breed. Lower odds for lameness events within the population of other breeds than GH and SIM might include genetic factors (e.g., the recently discovered polygenic background to the digital cushion thickness; Barden et al., 2022) and the heritability for digital dermatitis and sole ulcer reported by Oberbauer et al. (2013). In alignment with our findings, Barker et al. (2010) reported lower lameness prevalences in herds with few or no GH cows compared with pure GH herds. Becker et al. (2014b), who also found GH cows to be more frequently affected by certain lesions, suggested that this might be result of breed-specific differing angles of the dorsal wall of the claw. In addition, high-yielding breeds are suspected to be at greater risk for metabolic imbalances which again, are associated with lameness, but it is likely that the lower odds for lameness in breeds other than GH and SIM may also be an indirect effect originally caused by other circumstances. Those could include the fact that cows summarized in the breed category “other” were more likely to be housed on organic farms than of the breed SIM and GH in this study.

Somatic Cell Count. The association between low SCC and decreased odds for lameness could be ascribed to generally healthier cows, good housing and management conditions. In addition, ascending DIM (being as-

sociated with increased odds for lameness in this study) have been associated with an increase in SCC before (King et al., 2016).

Discussion of Model Results: Management Factors

Organic Farming. Organic farming has been associated with lower lameness prevalence in previous work (Rutherford et al., 2009). In Germany, organic farming underlies strict regulations regarding animal welfare such as obligatory access to pasture and increased space in exercise pens. Management regimens are less intensive and farmers are to improve the overall housing conditions. Moreover, organic farmers have a better awareness concerning lameness (Jensen et al., 2022). Smaller herd sizes and, therefore, closer monitoring might also lower the prevalence of undetected lameness cases and speed up the detection of evolving health problems. Furthermore, organic farms often have a lower average milk production compared with conventional farms (Slagboom et al., 2016), and since high milk production is reported to be associated with increased lameness risk (Green et al., 2002; Onyiro et al., 2008; Archer et al., 2010), this might be another aspect to consider.

Access to Pasture. The negative association between access to pasture and lameness was not surprising, because the positive influence of pasturing on lameness events, lameness recovery, and general welfare is well known, even when pasture is provided for only short periods (Hernandez-Mendo et al., 2007; Rutherford et al., 2009; McLellan et al., 2022). An appropriate pasture is considered a more comfortable and secure surface to walk and stand on compared with artificial indoor flooring systems, avoiding injuries and allowing a species-appropriate locomotory behavior (van der Tol et al., 2005; Alsaad et al., 2017). In addition, cows on pasture spend more time lying in comfortable positions, and the absence of stall compartments when transitioning between lying and standing reduces the risk of injuries and lameness (Haskell et al., 2006).

Visit Year. The influence of the visit year may be a rather indirect factor being associated with lameness. It could be attributed to differing climatic conditions, allowing more or less access to pasture, altering the quality of the forage or exposing the cows to heat stress, which is associated with lameness (e.g., the years 2018 and 2019 featured hot and dry summers, especially in North; King et al., 2016). Because lameness prevalence is associated with season and appears to be generally more pronounced in winter and spring (Clarkson et al., 1996; Cook, 2003; Rutherford et al., 2009), other factors include the uneven distribution of farm visits in the different years and seasons (e.g., the largest farms were

visited in 2017, and data collection was terminated in summer 2019, leaving 2019 with no visits in autumn and less winter).

CONCLUSIONS

This cross-regional study evaluates a large data set collected across several years and 3 structurally differing regions and has therefore the potential to be extrapolated to a wide variety of loose-housed dairy production systems. The outcomes suggest a consistent and robust association of BCS, parity, and organic farming with lameness in dairy cows. However, as other factors differed from region to region, the results also suggest that region-specific characteristics should be taken into account in comparable future projects.

ACKNOWLEDGMENTS

Farm visits and data collection of this study were initiated and financially supported by the German Federal Ministry of Food and Agriculture (BMEL; Bonn, Germany) through the Federal Office for Agriculture and Food (BLE), grant numbers 2814HS006 (University of Veterinary Medicine Hannover), 2814HS007 (Freie Universität Berlin), and 2814HS008 (Ludwig-Maximilians-Universität Munich). We extend our cordial gratitude to all participating farmers as well as to the members of the PraeRi project. Our special gratitude is given to G. Knubben-Schweizer for supporting this work. All data collected were completely anonymized and processed in strict compliance with German and European data protection legislation. Participation in the study was voluntary and only farm- and management-specific data (no personal data) were collected in interviews and questionnaires. Written consent was obtained from the farmers to retrieve the required farm-specific data from the DHI and HIT databases. The authors have not stated any conflicts of interest.

REFERENCES

- Akaike, H. 1969. Fitting autoregressive models for prediction. *Ann. Inst. Stat. Math.* 21:243–247. <https://doi.org/10.1007/BF02532251>.
- Alawneh, J. I., R. A. Laven, and M. A. Stevenson. 2012. Interval between detection of lameness by locomotion scoring and treatment for lameness: A survival analysis. *Vet. J.* 193:622–625. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.06.042>.
- Alban, L., J. F. Agger, and L. G. Lawson. 1996. Lameness in tied Danish dairy cattle: the possible influence of housing systems, management, milk yield, and prior incidents of lameness. *Prev. Vet. Med.* 29:135–149. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(96\)01066-5](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01066-5).
- Alsaood, M., S. Huber, G. Beer, P. Kohler, G. Schüpbach-Regula, and A. Steiner. 2017. Locomotion characteristics of dairy cows walking on pasture and the effect of artificial flooring systems on locomotion comfort. *J. Dairy Sci.* 100:8330–8337. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12760>.
- Archer, S. C., M. J. Green, and J. N. Huxley. 2010. Association between milk yield and serial locomotion score assessments in UK dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93:4045–4053. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3062>.
- Barden, M., B. Li, B. E. Griffiths, A. Anagnostopoulos, C. Bedford, A. Psifidi, G. Banos, and G. Oikonomou. 2022. Genetic parameters and genome-wide association study of digital cushion thickness in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 105:8237–8256. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22035>.
- Barker, Z. E., K. A. Leach, H. R. Whay, N. J. Bell, and D. C. Main. 2010. Assessment of lameness prevalence and associated risk factors in dairy herds in England and Wales. *J. Dairy Sci.* 93:932–941. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2309>.
- Barnhart, H. X., M. J. Haber, and L. I. Lin. 2007. An overview on assessing agreement with continuous measurements. *J. Biopharm. Stat.* 17:529–569. <https://doi.org/10.1080/10543400701376480>.
- Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, und Forsten. 2022. Ökologischer Landbau. Accessed Oct. 20, 2022. <https://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/oeokolandbau/index.php>.
- Becker, J., A. Steiner, S. Kohler, A. Koller-Bähler, M. Wüthrich, and M. Reist. 2014a. Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: I. Prevalence. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 156:71–78. <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000553>.
- Becker, J., A. Steiner, S. Kohler, A. Koller-Bähler, M. Wüthrich, and M. Reist. 2014b. Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: II. Risk factors. *Schweiz. Arch. Tierheilkd.* 156:79–89. <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000554>.
- Bicalho, R. C., V. S. Machado, and L. S. Caixeta. 2009. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. *J. Dairy Sci.* 92:3175–3184. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1827>.
- Bicalho, R. C., and G. Oikonomou. 2013. Control and prevention of lameness associated with claw lesions in dairy cows. *Livest. Sci.* 156:96–105. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.007>.
- BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft). 2021. Statistiken und Berichte des BMEL–Landwirtschaft. Accessed Nov. 1, 2022. www.bmel-statistik.de.
- Booth, C. J., L. D. Warnick, Y. T. Gröhn, D. O. Maizon, C. L. Guard, and D. Janssen. 2004. Effect of lameness on culling in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:4115–4122. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73554-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73554-7).
- Bran, J. A., J. H. C. Costa, M. A. G. von Keyserlingk, and M. J. Hötzel. 2019. Factors associated with lameness prevalence in lactating cows housed in freestall and compost-bedded pack dairy farms in southern Brazil. *Prev. Vet. Med.* 172:104773. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2019.104773>.
- Britt, J. H., R. A. Cushman, C. D. Dechow, H. Dobson, P. Humblot, M. F. Hutjens, G. A. Jones, P. S. Ruegg, I. M. Sheldon, and J. S. Stevenson. 2018. Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. *J. Dairy Sci.* 101:3722–3741. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14025>.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. 2016. Rinderrassen vorgestellt. Accessed Dec. 14, 2022. www.praxis-agrar.de/tier/rinder/rinderrassen-vorgestellt.
- Carlson, M. D., and R. S. Morrison. 2009. Study design, precision, and validity in observational studies. *J. Palliat. Med.* 12:77–82. <https://doi.org/10.1089/jpm.2008.9690>.
- Charfeddine, N., and M. A. Pérez-Cabal. 2017. Effect of claw disorders on milk production, fertility, and longevity, and their economic impact in Spanish Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 100:653–665. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11434>.
- Clarkson, M. J., D. Y. Downham, W. B. Faull, J. W. Hughes, F. J. Manson, J. B. Merritt, R. Murray, W. Russell, J. Sutherst, and W. R. Ward. 1996. Incidence and prevalence of lameness in dairy cattle. *Vet. Rec.* 138:563–567. <https://doi.org/10.1136/vr.138.23.563>.
- Collick, D. W., W. R. Ward, and H. Dobson. 1989. Associations between types of lameness and fertility. *Vet. Rec.* 125:103–106. <https://doi.org/10.1136/vr.125.5.103>.

- 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. <https://doi.org/10.2460/javma.2003.223.1324>.
- Daros, R. R., H. K. Eriksson, D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2019. Lameness during the dry period: Epidemiology and associated factors. *J. Dairy Sci.* 102:11414–11427. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16741>.
- De Vries, A. 2017. Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 100:4184–4192. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11847>.
- Ding, J., V. Tarokh, and Y. Yang. 2018. Model selection techniques—An overview. *IEEE Signal Process. Mag.* 35:16–34. <https://doi.org/10.1109/MSP.2018.2867638>.
- Dohoo, I. R., C. Ducrot, C. Fourichon, A. Donald, and D. Hurnik. 1997. An overview of techniques for dealing with large numbers of independent variables in epidemiologic studies. *Prev. Vet. Med.* 29:221–239. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(96\)01074-4](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(96)01074-4).
- Dolecheck, K., and J. Bewley. 2018. Animal board invited review: Dairy cow lameness expenditures, losses and total cost. *Animal* 12:1462–1474. <https://doi.org/10.1017/S1751731118000575>.
- Edmonson, A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver, and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:68–78. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(89\)79081-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(89)79081-0).
- Espejo, L. A., M. I. Endres, and J. A. Salfer. 2006. Prevalence of lameness in high-producing Holstein cows housed in freestall barns in Minnesota. *J. Dairy Sci.* 89:3052–3058. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72579-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72579-6).
- Fleiss, J. L., and J. Cohen. 1973. The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educ. Psychol. Meas.* 33:613–619. <https://doi.org/10.1177/001316447303300309>.
- Foditsch, C., G. Oikonomou, V. S. Machado, M. L. Bicalho, E. K. Ganda, S. F. Lima, R. Rossi, B. L. Ribeiro, A. Kussler, and R. C. Bicalho. 2016. Lameness prevalence and risk factors in large dairy farms in upstate New York. Model development for the prediction of claw horn disruption lesions. *PLoS One* 11:e0146718. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146718>.
- Fox, J., and S. Weisberg. 2019. *An R Companion to Applied Regression*. 3rd ed. Sage, Thousand Oaks, CA.
- Galindo, F., and D. M. Broom. 2000. The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. *Res. Vet. Sci.* 69:75–79. <https://doi.org/10.1053/rvsc.2000.0391>.
- Glaser, S., and L. Kreienbrock. 2011. Stichprobenplanung bei veterinärmedizinischen Studien: Ein Leitfaden zur Bestimmung des Untersuchungsumfanges. Schlütersche, Hannover.
- Glatz-Hoppe, J., E. Mohr, and B. Losand. 2019b. Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation. Second part: Evaluation scheme for the assessment of milk ingredients at farm level. *Züchtungskunde* 91:449–437.
- Glatz-Hoppe, J., F. Onken, A. Eggert, E. Mohr, and B. Losand. 2019a. Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation. First part: Milk performance and composition of German dairy breeds by comparison. *Züchtungskunde* 91:423–448.
- Green, L. E., J. Borkert, G. Monti, and N. Tadich. 2010. Associations between lesion-specific lameness and the milk yield of 1,635 dairy cows from seven herds in the Xth region of Chile and implications for management of lame dairy cows worldwide. *Anim. Welf.* 19:419–427. <https://doi.org/10.1017/S0962728600001901>.
- Green, L. E., V. J. Hedges, Y. H. Schukken, R. W. Blowey, and A. J. Packington. 2002. The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85:2250–2256. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74304-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74304-X).
- Green, L. E., J. N. Huxley, C. Banks, and M. J. Green. 2014. Temporal associations between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd. *Prev. Vet. Med.* 113:63–71. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.10.009>.
- Griffiths, B. E., D. Grove White, and G. Oikonomou. 2018. A cross-sectional study into the prevalence of dairy cattle lameness and associated herd-level risk factors in England and Wales. *Front. Vet. Sci.* 5:65. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00065>.
- Grimm, K., B. Haidn, M. Erhard, M. Tremblay, and D. Döpfer. 2019. New insights into the association between lameness, behaviour and performance in Simmental cows. *J. Dairy Sci.* 102:2453–2468. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15035>.
- Gröhn, Y. T., J. J. McDermott, Y. H. Schukken, J. A. Hertl, and S. W. Eicker. 1999. Analysis of correlated continuous repeated observations: modelling the effect of ketosis on milk yield in dairy cows. *Prev. Vet. Med.* 39:137–153. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(98\)00145-7](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(98)00145-7).
- Hair, J. F., B. J. Babin, R. E. Anderson, and W. C. Black. 2018. *Multivariate Data Analysis*. 8th ed. Cengage India.
- Hallgren, K. A. 2012. Computing inter-rater reliability for observational data: An overview and tutorial. *Tutor. Quant. Methods Psychol.* 8:23–34. <https://doi.org/10.20982/tqmp.08.1.p023>.
- Hansen, L. B., C. W. Young, K. P. Miller, and R. W. Touchberry. 1979. Health care requirements of dairy cattle. I. Response to milk yield selection. *J. Dairy Sci.* 62:1922–1931. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(79\)83524-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(79)83524-9).
- Haskell, M. J., L. J. Rennie, V. A. Bowell, M. J. Bell, and A. B. Lawrence. 2006. Housing system, milk production, and zero-grazing effects on lameness and leg injury in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 89:4259–4266. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72472-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72472-9).
- Heise, J., Z. Liu, K. F. Stock, S. Rensing, F. Reinhardt, and H. Simianer. 2016. The genetic structure of longevity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 99:1253–1265. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10163>.
- Hernandez-Mendo, O., M. A. G. von Keyserlingk, D. M. Veira, and D. M. Weary. 2007. Effects of pasture on lameness in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90:1209–1214. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)71608-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)71608-9).
- Hirst, W. M., R. D. Murray, W. R. Ward, and N. P. French. 2002. A mixed-effects time-to-event analysis of the relationship between first-lactation lameness and subsequent lameness in dairy cows in the UK. *Prev. Vet. Med.* 54:191–201. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(02\)00021-1](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(02)00021-1).
- Hohenbrink, S., and S. Meinecke-Tillmann. 2012. Influence of social dominance on the secondary sex ratio and factors affecting hierarchy in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95:5694–5701. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-5281>.
- Horseman, S., E. Roe, J. Huxley, N. J. Bell, C. Mason, and H. Whay. 2014. The use of in-depth interviews to understand the process of treating lame dairy cows from the farmers? Perspective. *Anim. Welf.* 23:157–165. <https://doi.org/10.7120/09627286.23.2.157>.
- Huxley, J. N. 2013. Impact of lameness and claw lesions in cows on health and production. *Livest. Sci.* 156:64–70. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.06.012>.
- Iqbal, Z. M., H. Akbar, A. Hosseini, E. B. R. Forteguerrri, J. S. Osorio, and J. J. Looor. 2016. Digital cushion fatty acid composition and lipid metabolism gene network expression in Holstein dairy cows fed a high-energy diet. *PLoS One* 11:e0159536. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159536>.
- Jensen, K. C., A. W. Oehm, A. Campe, A. Stock, S. Woudstra, M. Feist, K. E. Müller, M. Hoedemaker, and R. Merle. 2022. German farmers' awareness of lameness in their dairy herds. *Front. Vet. Sci.* 9:866791. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.866791>.
- Kempson, S. A., and D. N. Logue. 1993. Ultrastructural observations of hoof horn from dairy cows: Changes in the white line during the first lactation. *Vet. Rec.* 132:524–527. <https://doi.org/10.1136/vr.132.21.524>.
- Kerr, K. L. 1998. Affecting the incidence of lameness by altering the housing. Pages 38–39 in *Proc. 10th Int. Symp. Lameness Rumin.*, Lucerne, Switzerland. University of Zurich, Zurich, Switzerland.
- Kim, J. H. 2019. Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean J. Anesthesiol.* 72:558–569. <https://doi.org/10.4097/kja.19087>.
- King, M. T. M., E. A. Pajor, S. J. Leblanc, and T. J. Devries. 2016. Associations of herd-level housing, management, and lameness prevalence with productivity and cow behavior in herds with automated milking systems. *J. Dairy Sci.* 99:9069–9079. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11329>.

- Kritzinger, F., and G. Schoder. 2009a. Gesund und fit bringt optimale Leistung, BCS. Body condition scoring für Fleckvieh. Accessed Oct. 27, 2020. https://www.t-gd.at/images/Broschueren/Tir_TGD_Fleckvieh_AK3-1.pdf.
- Kritzinger, F., and G. Schoder. 2009b. Gesund und fit bringt optimale Leistung, BCS. Body condition scoring für Holstein. Accessed Jan. 26, 2021. https://www.t-gd.at/images/Broschueren/Tir_TGD_Holstein_AK3.pdf.
- Kritzinger, F., G. Schoder, C. Mader, and R. Winckler. 2009. Gesund und fit bringt optimale Leistung, BCS. Body condition scoring für Braunvieh. Accessed Oct. 26, 2020. https://www.t-gd.at/images/Broschueren/Tir_TGD_Braunvieh_AK4.pdf.
- Krummenauer, F. 2005. Methoden zur Evaluation bildgebender Verfahren von begrenzter Reproduzierbarkeit. Berichte aus der Medizin. Shaker Verlag, Aachen.
- Landis, J. R., and G. G. Koch. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 33:159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>.
- Leach, K. A., D. N. Logue, S. A. Kempson, J. E. Offer, H. E. Ternent, and J. M. Randall. 1997. Claw lesions in dairy cattle: development of sole and white line haemorrhages during the first lactation. *Vet. J.* 154:215–225. [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(97\)80024-X](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(97)80024-X).
- Leach, K. A., D. A. Tisdall, N. J. Bell, D. C. Main, and L. E. Green. 2012. The effects of early treatment for hindlimb lameness in dairy cows on four commercial UK farms. *Vet. J.* 193:626–632. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2012.06.043>.
- Leroy, J. L., T. Vanholder, A. T. Van Kneysel, I. Garcia-Isperto, and P. E. Bols. 2008. Nutrient prioritization in dairy cows early postpartum: Mismatch between metabolism and fertility? *Reprod. Domest. Anim.* 43(Suppl. 2):96–103. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01148.x>.
- Lim, P. Y., J. N. Huxley, J. A. Willshire, M. J. Green, A. R. Othman, and J. Kaler. 2015. Unravelling the temporal association between lameness and body condition score in dairy cattle using a multistate modelling approach. *Prev. Vet. Med.* 118:370–377. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2014.12.015>.
- Livesey, C. T., and R. A. Laven. 2007. Effects of housing and intake of methionine on the growth and wear of hoof horn and the conformation of the hooves of first-lactation Holstein heifers. *Vet. Rec.* 160:470–476. <https://doi.org/10.1136/vr.160.14.470>.
- Logue, D. N., and C. S. Mayne. 2014. Welfare-positive management and nutrition for the dairy herd: A European perspective. *Vet. J.* 199:31–38. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.10.027>.
- Manske, T. 2002. Hoof lesions and lameness in Swedish dairy cattle. PhD thesis. Department of Animal Environment and Health, Swedish University of Agricultural Sciences, Skara, Sweden.
- McLellan, K. J., D. M. Weary, and M. A. G. von Keyserlingk. 2022. Effects of free-choice pasture access on lameness recovery and behavior of lame dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 105:6845–6857. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21042>.
- McNamara, J. P., J. H. Harrison, R. L. Kincaid, and S. S. Waltner. 1995. Lipid metabolism in adipose tissue of cows fed high fat diets during lactation. *J. Dairy Sci.* 78:2782–2796. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(95\)76909-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(95)76909-0).
- Merle, R., M. Busse, G. Rechter, and U. Meer. 2012. Regionalisation of Germany by data of agricultural structures. *Berl. Munch. Tierarztl. Wochenschr.* 125:52–59. <https://doi.org/10.2376/0005-9366-125-52>.
- Metzner, M., W. Heuwieser, and W. Klee. 1993. Die Beurteilung der Körperkondition (Body condition scoring) im Herdenmanagement. *Prakt. Tierarzt* 74:991–998. <https://epub.ub.uni-muenchen.de/3533/1/3533.pdf>.
- Microsoft Corporation. 2018. Microsoft Excel. <https://office.microsoft.com/excel>.
- Murray, R. D., D. Y. Downham, M. J. Clarkson, W. B. Faull, J. W. Hughes, F. J. Manson, J. B. Merritt, W. B. Russell, J. E. Sutherst, and W. R. Ward. 1996. Epidemiology of lameness in dairy cattle: description and analysis of foot lesions. *Vet. Rec.* 138:586–591. <https://doi.org/10.1136/vr.138.24.586>.
- Newsome, R., M. J. Green, N. J. Bell, M. G. G. Chagunda, C. S. Mason, C. S. Rutland, C. J. Sturrock, H. R. Whay, and J. N. Huxley. 2016. Linking bone development on the caudal aspect of the distal phalanx with lameness during life. *J. Dairy Sci.* 99:4512–4525. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10202>.
- Newsome, R. F., M. J. Green, N. J. Bell, N. J. Bollard, C. S. Mason, H. R. Whay, and J. N. Huxley. 2017a. A prospective cohort study of digital cushion and corium thickness. Part 1: Associations with body condition, lesion incidence, and proximity to calving. *J. Dairy Sci.* 100:4745–4758. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12012>.
- Newsome, R. F., M. J. Green, N. J. Bell, N. J. Bollard, C. S. Mason, H. R. Whay, and J. N. Huxley. 2017b. A prospective cohort study of digital cushion and corium thickness. Part 2: Does thinning of the digital cushion and corium lead to lameness and claw horn disruption lesions? *J. Dairy Sci.* 100:4759–4771. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12013>.
- O'Connor, A. H., E. A. M. Bokkers, I. J. M. de Boer, H. Hogeveen, R. Sayers, N. Byrne, E. Ruelle, and L. Shalloo. 2019. Associating cow characteristics with mobility scores in pasture-based dairy cows. *J. Dairy Sci.* 102:8332–8342. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15719>.
- Oberbauer, A. M., S. L. Berry, J. M. Belanger, R. M. McGoldrick, J. M. Pinos-Rodriguez, and T. R. Famula. 2013. Determining the heritable component of dairy cattle foot lesions. *J. Dairy Sci.* 96:605–613. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5485>.
- Oehm, A. W., K. C. Jensen, A. Tautenhahn, K. E. Mueller, M. Feist, and R. Merle. 2020. Factors associated with lameness in tie stall housed dairy cows in south Germany. *Front. Vet. Sci.* 7:601640. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.601640>.
- Oehm, A. W., G. Knubben-Schweizer, A. Rieger, A. Stoll, and S. Hartnack. 2019. A systematic review and meta-analysis of risk factors associated with lameness in dairy cows. *BMC Vet. Res.* 15:346. <https://doi.org/10.1186/s12917-019-2095-2>.
- Oehm, A. W., R. Merle, A. Tautenhahn, K. C. Jensen, K. E. Mueller, M. Feist, and Y. Zablotski. 2022. Identifying cow-level factors and farm characteristics associated with locomotion scores in dairy cows using cumulative link mixed models. *PLoS One* 17:e0263294. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263294>.
- Onyiro, O. M., J. Offer, and S. Brotherstone. 2008. Risk factors and milk yield losses associated with lameness in Holstein-Friesian dairy cattle. *Animal* 2:1230–1237. <https://doi.org/10.1017/S1751731108002279>.
- PraeRi. 2020. Animal health, hygiene and biosecurity in German dairy cow operations—A prevalence study (PraeRi). Final Report, June 30, 2020. Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, Hannover. Accessed Jul. 10, 2022. https://ibe.tiho-hannover.de/praeeri/pages/69#_AB.
- Quality, W. 2009. Welfare Quality: Assessment Protocol for Cattle. 1st ed. Welfare Quality Consortium, Lelystad, Netherlands.
- Randall, L. V., M. J. Green, L. E. Green, M. G. G. Chagunda, C. Mason, S. C. Archer, and J. N. Huxley. 2018. The contribution of previous lameness events and body condition score to the occurrence of lameness in dairy herds: A study of 2 herds. *J. Dairy Sci.* 101:1311–1324. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13439>.
- Rauw, W. M., E. Kanis, E. N. Noordhuizen-Stassen, and F. J. Grommers. 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: A review. *Livest. Prod. Sci.* 56:15–33. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(98\)00147-X](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(98)00147-X).
- R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Reader, J. D., M. J. Green, J. Kaler, S. A. Mason, and L. E. Green. 2011. Effect of mobility score on milk yield and activity in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 94:5045–5052. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4415>.
- Rittweg, N., A. Stock, K. C. Jensen, R. Merle, A. Stoll, M. Feist, K.-E. Müller, M. Hoedemaker, and A. W. Oehm. 2023. Supplemental materials. Accessed Oct. 4, 2023. <https://b2drop.eudat.eu/s/frJGckCjERjLFFF>.
- Robin, X., N. Turck, A. Hainard, N. Tiberti, F. Lisacek, J. Sanchez, and M. Müller. 2011. pROC: An open-source package for R and S+ to analyze and compare ROC curves. *BMC Bioinformatics* 12:77. <https://doi.org/10.1186/1471-2105-12-77>.

- RStudio Team. 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>.
- Ruddat, I., B. Scholz, S. Bergmann, A. L. Buehring, S. Fischer, A. Manton, D. Prengel, E. Rauch, S. Steiner, S. Wiedmann, L. Kreienbrock, and A. Campe. 2014. Statistical tools to improve assessing agreement between several observers. *Animal* 8:643–649. <https://doi.org/10.1017/S1751731113002450>.
- Rutherford, K. M., F. M. Langford, M. C. Jack, L. Sherwood, A. B. Lawrence, and M. J. Haskell. 2009. Lameness prevalence and risk factors in organic and non-organic dairy herds in the United Kingdom. *Vet. J.* 180:95–105. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.03.015>.
- Šárová, R., I. Stěhulová, P. Kratinová, P. Firla, and M. Spinka. 2011. Farm managers underestimate lameness prevalence in Czech dairy herds. *Anim. Welf.* 20:201–204. <https://doi.org/10.1017/S0962728600002682>.
- Schöpke, K., S. Weidling, R. Pijl, and H. H. Swalve. 2013. Relationships between bovine hoof disorders, body condition traits, and test-day yields. *J. Dairy Sci.* 96:679–689. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5728>.
- Schwarz, G. 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.* 6:461–464.
- Setia, M. S. 2016. Methodology Series Module 3: Cross-sectional studies. *Indian J. Dermatol.* 61:261–264. <https://doi.org/10.4103/0019-5154.182410>.
- Shanks, R. D., A. E. Freeman, P. J. Berger, and D. H. Kelley. 1978. Effect of selection for milk production and general health of the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 61:1765–1772. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(78\)83800-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(78)83800-4).
- Sing, T., O. Sander, N. Beerenwinkel, and T. Lengauer. 2005. ROCR: Visualizing classifier performance in R. *Bioinformatics* 21:3940–3941. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bti623>.
- Sjaunja, L. O., L. Baevre, L. Junkkarinen, and J. Pedersen. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. Pages 156–157 in *Proc. 27th Session of ICRPMA, Paris, France*.
- Slagboom, M., M. Kargo, D. Edwards, A. C. Sørensen, J. R. Thomassen, and L. Hjortø. 2016. Organic dairy farmers put more emphasis on production traits than conventional farmers. *J. Dairy Sci.* 99:9845–9856. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11346>.
- Solano, L., H. W. Barkema, E. A. Pajor, S. Mason, S. J. LeBlanc, J. C. Zaffino Heyerhoff, C. G. R. Nash, D. B. Haley, E. Vasseur, D. Pellerin, J. Rushen, A. M. de Passillé, and K. Orsel. 2015. Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *J. Dairy Sci.* 98:6978–6991. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9652>.
- Souissi, W., and R. Bouraoui. 2020. Relationship between body condition score, milk yield, reproduction, and biochemical parameters in dairy cows. Pages 159–171 in *Lactation in Farm Animals*. N. M’Hamdi, ed. IntechOpen, London.
- Spohr, M., and H. U. Wiesner. 1991. Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. *Milchpraxis* 29:231–236.
- Sprecher, D. J., D. E. Hostetler, and J. B. Kaneene. 1997. A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology* 47:1179–1187. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(97\)00098-8](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(97)00098-8).
- Sundrum, A. 2015. Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows’ ability to adapt is overstressed. *Animals (Basel)* 5:978–1020. <https://doi.org/10.3390/ani5040395>.
- Tarleton, J. F., D. E. Holah, K. M. Evans, S. Jones, G. R. Pearson, and A. J. Webster. 2002. Biomechanical and histopathological changes in the support structures of bovine hooves around the time of first calving. *Vet. J.* 163:196–204. <https://doi.org/10.1053/tvjl.2001.0651>.
- Textor, J., B. van der Zander, M. S. Gilthorpe, M. Liškiewicz, and G. T. H. Ellison. 2016. Robust causal inference using directed acyclic graphs: The R package ‘dagitty’. *Int. J. Epidemiol.* 45:1887–1894. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw341>.
- Thomas, H. J., J. G. Remnant, N. J. Bollard, A. Burrows, H. R. Why, N. J. Bell, C. Mason, and J. N. Huxley. 2016. Recovery of chronically lame dairy cows following treatment for claw horn lesions: A randomised controlled trial. *Vet. Rec.* 178:116. <https://doi.org/10.1136/vr.103394>.
- van der Tol, P. P. J., J. H. M. Metz, E. N. Noordhuizen-Stassen, W. Back, C. R. Braam, and W. A. Weijs. 2005. Frictional forces required for unrestrained locomotion in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88:615–624. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72725-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72725-9).
- Viera, A. J., and J. M. Garrett. 2005. Understanding interobserver agreement: The kappa statistic. *Fam. Med.* 37:360–363.
- VIT. 2020. Trends Fakten Zahlen 2020, in *Jahresbericht. Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V.*, Verden. Accessed Oct. 13, 2020. <https://www.vit.de/fileadmin/Wir-sind-vit/Jahresberichte/vit-JB2020-gesamt.pdf>.
- Wangler, A., E. Blum, I. Böttcher, and P. Sanftleben. 2009. Lebensleistung und Nutzungsdauer von Milchkühen aus der Sicht einer effizienten Milchproduktion. *Züchtungskunde*. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 81:341–360.
- Warnick, L. D., D. Janssen, C. L. Guard, and Y. Grohn. 2001. The effect of lameness on milk production in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84:1988–1997. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74642-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74642-5).
- Why, H. R., D. C. Main, L. E. Green, and A. J. F. Webster. 2002. Farmer perception of lameness prevalence. Pages 355–358 in *Proc. 12th Int. Symp. Lameness Rumin.* Orlando, FL.
- Why, H. R., and J. K. Shearer. 2017. The impact of lameness on welfare of the dairy cow. *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.* 33:153–164. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.02.008>.
- Why, H. R., A. J. F. Webster, and A. E. Waterman-Pearson. 2005. Role of ketoprofen in the modulation of hyperalgesia associated with lameness in dairy cattle. *Vet. Rec.* 157:729–733. <https://doi.org/10.1136/vr.157.23.729>.
- Whitaker, D. A., J. M. Kelly, and S. Smith. 2000. Disposal and disease rates in 340 British dairy herds. *Vet. Rec.* 146:363–367. <https://doi.org/10.1136/vr.146.13.363>.
- Wilson, J. P., L. V. Randall, M. J. Green, C. S. Rutland, C. R. Bradley, H. J. Ferguson, A. Bagnall, and J. N. Huxley. 2021. A history of lameness and low body condition score is associated with reduced digital cushion volume, measured by magnetic resonance imaging, in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 104:7026–7038. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19843>.
- Yan, T., C. S. Mayne, T. W. Keady, and R. E. Agnew. 2006. Effects of dairy cow genotype with two planes of nutrition on energy partitioning between milk and body tissue. *J. Dairy Sci.* 89:1031–1042. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72170-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72170-1).

ORCID

- Nina Rittweg  <https://orcid.org/0000-0002-4728-9273>
- Annegret Stock  <https://orcid.org/0000-0001-6998-5555>
- K. Charlotte Jensen  <https://orcid.org/0000-0002-4656-4464>
- Roswitha Merle  <https://orcid.org/0000-0002-8688-2926>
- Alexander Stoll  <https://orcid.org/0000-0001-9416-1101>
- Melanie Feist  <https://orcid.org/0000-0001-9374-9122>
- Kerstin-Elisabeth Müller  <https://orcid.org/0000-0002-2468-3059>
- Martina Hoedemaker  <https://orcid.org/0000-0001-8154-2642>
- Andreas W. Oehm  <https://orcid.org/0000-0002-2709-8541>

V. DISKUSSION

Obwohl bereits zahlreiche Studien zu Faktoren, die mit Lahmheit assoziiert sind, veröffentlicht wurden, sind die Informationen zu Faktoren, die mit Milchproduktionsvariablen und Ketose auf Tierebene zusammenhängen, begrenzt. Ziel der vorliegenden Studie war es daher, Faktoren auf Tierebene mit einem Fokus auf Milchinhaltsstoffe zu untersuchen, die mit Lahmheit bei Milchkühen in Laufställen assoziiert sind, und diese Faktoren in drei strukturell unterschiedlichen Regionen Deutschlands vergleichend zu bewerten.

Eine klare Stärke dieser Studie ist der umfangreiche Datensatz von über 58.000 ausgewerteten Tieren. Um einen modernen, fortschrittlichen Ansatz für die Bewertung des Stoffwechselstatus von Milchkühen zu gewährleisten, wurden zudem die von GLATZ-HOPPE et al. (2019a) vorgeschlagenen dynamischen Grenzwerte für die Bewertung der Milchinhaltsstoffe implementiert, die für jede Kuh unter Berücksichtigung ihrer Rasse und Gesamtmilchleistung einen individuellen Bereich des optimalen Milchprotein- und Milchfettgehalts angeben sowie ein erweitertes Bewertungsschema für Ketosegefahr beinhalten. Ein weiteres Alleinstellungsmerkmal dieser Studie ist der vergleichende Ansatz über drei Regionen mit deutlich unterschiedlichen Haltungsstrukturen hinweg sowie die Zusammensetzung der Rassen in einer der Regionen (mehrheitlich deutsche Fleckviehkühe und nur wenige Holsteinkühe und andere Rassen wie z. B. Braunvieh in der Region S).

1. Limitierungen

Um die Ergebnisse der vorliegenden Analyse richtig zu interpretieren, ist es wichtig, sich des Querschnittsdesigns der Studie bewusst zu sein, das bestimmte Einschränkungen mit sich bringt (SETIA, 2016). Die Zielvariable „Lahmheit“ und einige Prädiktoren wurden nur einmalig und jeweils gleichzeitig während desselben Betriebsbesuchs erfasst. Daher können keine Schlussfolgerungen auf Kausalitäten oder Entwicklungstendenzen abgeleitet werden. Dies ist ein genereller Nachteil von Querschnittsstudien (CARLSON und MORRISON, 2009).

Auch der Einfluss einer beobachterabhängigen Urteilsverzerrung ist als Limitierung der Studienergebnisse zu berücksichtigen, insbesondere im Hinblick auf LS und BCS. Diesem Problem wurde in zwei Stufen entgegengewirkt: Bereits während der Datenerhebung wurde die Interobserver-Reliabilität mehrmals überprüft und obwohl bereits während der Pilotphase des Projekts eine gute bis sehr gute Übereinstimmung erzielt werden konnte, wurden die Beobachter|innen über den Zeitraum der Studie hinweg dreimal gemeinsam geschult (PRAERI,

2020). Zusätzlich wurde die Variable „Beobachter|in“ in die finalen Modelle mitaufgenommen, um die Ergebnisse der übrigen Kovariaten um den Beobachtereffekt anzugleichen. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Güte des Modells deutlich verbesserte, während die Schätzwerte der anderen Kovariaten nur geringfügig beeinflusst wurden. Dass die Ergebnisse der Modellierungen trotz der Beobachtereffekte stabil blieben, kann als klares Qualitätsmerkmal dieser Studie interpretiert werden.

Die freiwillige Teilnahme von Betriebsleiter|inne|n könnte ebenfalls Quelle potenzieller Verzerrungen gewesen sein. Es kann angenommen werden, dass proaktive Landwirt|inn|e|n in dieser Studie überrepräsentiert sind, da sie generell ein größeres Interesse am wissenschaftlichen Fortschritt und an der Verbesserung der Tierhaltung haben. In ihren Betrieben herrschen möglicherweise bessere Haltungsbedingungen und eine strengere Überwachung, ein Schwerpunkt auf einer höheren Langlebigkeit der Rinder und eine geringere Lahmheitsprävalenz. Daher könnte die tatsächliche Lahmheitsprävalenz in der zugrunde liegenden Milchkuhpopulation höher sein als der in dieser Arbeit angegebene Wert. Andererseits wäre es auch möglich, dass insbesondere jene Landwirt|inn|e|n mit Lahmheitsproblemen oder einer insgesamt schlechteren Gesundheitssituation in ihren Betrieben an der Teilnahme an unserer Studie interessiert waren. Im letzteren Fall wäre die angegebene Lahmheits-Prävalenz eine Überschätzung. Auch wenn ein gewisses Maß an Verzerrung nicht völlig ausgeschlossen ist, kann im Wesentlichen davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse aufgrund der Übereinstimmung mit anderen veröffentlichten Arbeiten die Situation in der Zielpopulation widerspiegeln, denn die Lahmheitsprävalenzen in der vorliegenden Studie sind mit den Berichten anderer Autor|inn|en vergleichbar: SOLANO et al. (2015) berichteten eine Prävalenz von 20,8 % für Kanada, BARKER et al. (2010) von 36,8 % und GRIFFITHS et al. (2018) von 28,2 % für Großbritannien.

Die Vorgehensweise, nur Kühe einzuschließen, für die mindestens drei Milchleistungsdatensets innerhalb der zurückliegenden vier Monate vor dem Betriebsbesuch vorhanden waren (mit Ausnahme der Frühlaktierenden in den ersten drei Laktationsmonaten), könnte als weitere Limitierung angesehen werden. Der Literatur zufolge sind die häufigsten Klauenläsionen Sohlengeschwüre, Weiße-Linie-Defekte, *Dermatitis digitalis* und Interdigitalphlegmonen (MURRAY et al., 1996; BERGSTEN, 2001; DEFRAIN et al., 2013; SCHÖPKE et al., 2013), die sich alle langsam entwickeln und vielmehr chronische Prozesse als akute Ereignisse darstellen. Es scheint daher plausibel, dass eine Kuh mit einem LS von ≥ 3 die zugrundeliegende Pathologie bereits einige Zeit vorher entwickelt hat (mit Ausnahme von akuter Rehe und Verletzungen). Davon ausgehend ist es ebenfalls wahrscheinlich, dass

Milchleistungsdaten eine entstehende Lahmheit bereits einige Wochen vor der Entdeckung der klinischen Lahmheit durch die zuständige betriebszugehörige Person widerspiegeln könnten. Diese Argumentation deckt sich mit den Ergebnissen früherer Studien (GREEN et al., 2002; READER et al., 2011), die über einen Rückgang der Milchleistung mehrere Monate bis Wochen vor dem sichtbaren Lahmen der Kühe berichteten.

Es muss jedoch anerkannt werden, dass Tiere, die keine drei vollständigen Testgemelke vor dem Betriebsbesuch aufweisen konnten, nicht in die aktuelle Analyse einbezogen wurden (Ausnahme: Kühe in den ersten drei Monaten der Laktation). Dies könnte folglich zum Ausschluss von Tieren geführt haben, für die aufgrund von Krankheiten und/oder Behandlungen im Zusammenhang mit Lahmheit oder Stoffwechselstörungen während des ausgewählten Zeitraums keine Testgemelke zur Verfügung standen. Die in dieser Arbeit analysierte Population könnte folglich einem gewissen Grad an Verzerrung unterliegen und eine Gruppe von Tieren mit einem tendenziell besseren Gesundheitszustand repräsentieren. Obwohl trotz dieser Thematik relevante Assoziationen zu finden waren, ist es wichtig, dies als mögliche Einschränkung anzuerkennen.

Die Tatsache, dass einige Prädiktoren nicht über alle Regionen hinweg konsistent waren, spricht dafür, dass diese Faktoren nur im Zusammenhang mit regionalen Produktionsumständen biologisch relevant sind. Dass dieses Ergebnis auch auf nicht erhobene Effekte und unbeobachtete Kovariaten in den Daten hinweisen könnte, kann nicht endgültig ausgeschlossen werden, ist aber eher unwahrscheinlich, da sich für alle betroffenen Prädiktoren biologisch plausible, auf vorhandener Literatur basierende Erklärungen finden lassen.

2. Strukturelle Unterschiede der analysierten Regionen

Die offensichtlichen Unterschiede zwischen den Regionen ergeben sich in erster Linie aus den regional unterschiedlichen landwirtschaftlichen Strukturen, die bereits von MERLE et al. (2012) genauer untersucht wurden.

Sie unterscheiden sich unter anderem bezüglich der Tier- und Betriebsdichte. Die durchschnittliche Bestandsgröße in den Bundesländern der Region Nord liegt laut STATISTISCHES BUNDESAMT (2022) bei etwa 103 Tieren pro Betrieb, in der Region Ost bei 212 und in der Region Süd bei 44. Im Ursprungsdatensatz der Praeri-Studie war der Unterschied noch deutlicher mit 396,2 Tieren in Ost, 119,9 Tieren in Nord und 50,5 Tieren in Süd.

Deutliche regionale Unterschiede bestehen auch in der Milchproduktion in kg je ha landwirtschaftlicher Nutzfläche (LF): Insbesondere im Süden Bayerns (Region Süd) und im Nordwesten der Region Nord liegt diese teilweise bei > 4.500 kg pro ha LF, der Durchschnitt in den Bundesländern der Region Ost bei 500-1.500 kg/ha LF. Dies überschneidet sich weitgehend mit den Grünlandanteilen in % sowie der Tieranzahl der LF: Sie sind in den genannten „milchintensiven“ Regionen ebenfalls am höchsten mit teilweise über 60 % Grünland pro ha LF bzw. > 40 Kühe pro 100 ha LF (TERGAST, 2022). Die ECM pro Kuh war dagegen in dieser Studie in der Region Ost am höchsten, weshalb davon ausgegangen wird, dass die Milchproduktion im Allgemeinen und damit die Fütterungs- und Managementstrategien in dieser Region am intensivsten sind. In der Region Süd war die ECM pro Kuh am niedrigsten.

Dies wird auch bei der Fütterung deutlich: Während in über 90 % der Betriebe in Nord und Ost Rationsberechnungen durchgeführt wurden, war dies nur bei etwa 60 % der Betriebe in Region Süd der Fall. Dort wurde dagegen sehr viel mehr Heu als in den beiden anderen Regionen gefüttert. In Region Nord war zudem der Anteil der Betriebe, in denen mindestens eine Gras- oder Maissilage als verdorben bewertet wurde, doppelt so hoch wie in Ost und Süd (PRAERI, 2020).

Die Weidehaltungsstruktur in den verschiedenen Regionen unterscheidet sich ebenfalls: In Region Nord haben 50-65 % der laktierenden Milchkühe Zugang zur Weide, in Region Süd etwa 30 %. In diesen Regionen haben die Tiere in der Regel an allen Tagen mit geeigneten Witterungsbedingungen Zugang zur Weide. Das Weidemanagement in Ost konzentriert sich dagegen auf Kühe in der Trockenstehzeit, während laktierende Kühe in Ost am seltensten Zugang zu Weide haben (PRAERI, 2020).

Zudem müssen Struktur und Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Betriebe und insbesondere der konventionelle gegenüber dem ökologischen Landbau berücksichtigt werden. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Landwirtschaft insbesondere in der Region Ost mehr und mehr in Richtung großer landwirtschaftlicher Genossenschaften und unternehmensgeführter Betriebe entwickelt, während in Süd die landwirtschaftlichen Betriebe immer noch größtenteils familiengeführt sind oder bisweilen im Nebenerwerb betrieben werden (20,4 %). Deutlich wurde dies unter anderem bei der Durchführung der Interviews auf den Betrieben: In Region Ost waren knapp die Hälfte der Interviewpartner|innen „leitende Angestellte“, in Nord und Süd wurden diese Interviews zu über 90 % mit den Eigentümer|inne|n oder Betriebsleiter|inne|n geführt (PRAERI, 2020). Hinzu kommt, dass die Hälfte der gesamten

deutschen Biomilch in der Region Süd erzeugt wird (STMELF BAYERN, 2020). Während der ökologische Landbau in Nord und Ost selten ist, hat der ökologische Landbau in Süd eine lange Tradition (BMEL, 2021), wird von den Molkereien und der Bundesregierung seit vielen Jahren entwickelt und gefördert (STMELF BAYERN, 2022) und ist ein fester Bestandteil der bayerischen Milchwirtschaft. Dies deckt sich mit den Erkenntnissen aus der vorliegenden Arbeit.

Unter Miteinbeziehung der Betriebsdichte kann also geschlussfolgert werden, dass die Region Ost vor allem durch wenige große bis sehr große Betriebe mit intensivem Management und wenig Weidegang für laktierende Kühe gekennzeichnet ist. Die Region Süd zeichnet sich durch sehr viele, aber dafür kleine und weniger intensiv bewirtschaftete Familienbetriebe mit vergleichsweise hohem Anteil an Biobetrieben und Grünlandwirtschaft aus. Die Region Nord kann als eine Art Zwischenform mit vielen Betrieben gesehen werden, deren Betriebsgrößen zwischen denen der Regionen Ost und Süd liegen. Auch hier ist der Grünlandanteil regional hoch und diese Region kann als Deutschlands „Weidehaltungsstandort“ bezeichnet werden.

3. Modellergebnisse

3.1. Lahmheitsprävalenzen

Die Lahmheitsprävalenzen in den Regionen Nord und Süd lagen bei 27,5 % und bei 42,6 % in Region Ost. Diese Prävalenzen sind vergleichbar mit denen anderer Studien, die Lahmheitsprävalenzen zwischen 5,1 % - 45 % mit einer mittleren Lahmheitsprävalenz von 22,8 % in Europa und Nordamerika berichteten (THOMSEN et al., 2023).

Die Überwachung und Beobachtung der einzelnen Tiere könnte aufgrund eines größeren Verhältnisses von Personal pro Tier und den geringeren Herdengrößen in Betrieben in Nord und Süd verbessert sein. In der zugrundeliegenden Praeri-Studie zeigte sich unter anderem, dass Betriebe mit unter 50 Tieren, wie sie insbesondere in Region Süd üblich sind, geringere Lahmheitsprävalenzen aufweisen. Auch in einer Studie von WHITAKER et al. (2000) war Lahmheit positiv mit der Herdengröße assoziiert.

Im Zuge der Befragungen der Landwirt|inn|e|n stellte sich dagegen heraus, dass in Region Ost die Klauenpflege tendenziell häufiger, öfter von professionellen Klauenpfleger|inne|n und deutlich häufiger bereits vor der ersten Kalbung durchgeführt wurde. Auch setzten fast 80 % der dortigen Betriebe Klauenbäder ein, in Region Süd nur 2,3 %. Dies würde eine im Vergleich zu den anderen Regionen eher niedrigere Lahmheitsprävalenz vermuten lassen, das Gegenteil

jedoch war der Fall.

Da den Landwirt|inn|en das tatsächliche Ausmaß der Lahmheitsprävalenz in ihren Herden jedoch oft nicht bewusst ist (WHAY et al., 2002; ŠÁROVÁ et al., 2011; FABIAN et al., 2014; JENSEN et al., 2022) bzw. sie die festgestellten Gangstörungen nicht als tatsächliche Lahmheitsfälle betrachten (WHAY et al., 2003; BELL et al., 2006; HORSEMAN et al., 2014), kann dieses verbesserte Klauenpflegemanagement nur bedingt als Reaktion auf die hohen Lahmheitsprävalenzen gewertet werden. Möglich ist, dass die höheren Lahmheitsprävalenzen in Region Ost trotz dieses verbesserten Regimes auftreten und daher auf andere Faktoren zurückgeführt werden müssen.

3.2. BCS

Ein niedriger BCS war in allen Regionen mit Lahmheit assoziiert. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien, die diese Fragestellung behandelt haben (BICALHO et al., 2009; LIM et al., 2015; SOLANO et al., 2015; NEWSOME et al., 2017; RANDALL et al., 2018).

Die wahrscheinlichste Erklärung dafür ist der Zusammenhang der Dicke des digitalen Fettpolsters der Rinderklaue mit dem BCS: Sinkt der BCS, nimmt auch das Volumen der Polsterung ab (WILSON et al., 2021). In Zeiten einer negativen Energiebilanz wird Fett aus den subkutanen und intraabdominalen Körperreserven sowie aus den digitalen Fettpolstern mobilisiert (MCNAMARA et al., 1995; IQBAL et al., 2016). Ein im Volumen verringertes Sohlenpolster wiederum ist ein zentrales Element bei der Entstehung von Klauenläsionen (BICALHO et al., 2009; NEWSOME et al., 2017; GRIFFITHS et al., 2020). Die Kühe werden lahm, da das abnehmende Volumen des digitalen Polsters dessen Funktion einschränkt, die Gewichtsbelastung zu verteilen und die Lederhaut und das Keimepithel vor dem Druck des Klauenbeins zu schützen (NEWSOME et al., 2016; NEWSOME et al., 2017). Die resultierenden Quetschungen begünstigen so die Entwicklung von Klauenhornläsionen (GRIFFITHS et al., 2020).

Ein weiterer Faktor, der diesen Zusammenhang miterklärt, ist der Zusammenhang von Lahmheit und einem niedrigen Rang in der sozialen Hierarchie der Herde (GALINDO und BROOM, 2000; GALINDO et al., 2000; HOHENBRINK und MEINECKE-TILLMANN, 2012). Lahme Kühe befinden sich demzufolge beim ständigen Wettbewerb um Ressourcen im Nachteil und haben nur eingeschränkten Zugang zu diesen Ressourcen, insbesondere Liegeboxen und Zugang zum Futtertisch. Dass dies Lahmheit begünstigt, wird durch zwei Effekte vermittelt: Zum einen stellten BEER et al. (2016) und ALMEIDA et al. (2008) fest,

dass lahme Kühe kürzere Fresszeiten und ein insgesamt reduziertes Wiederkäuverhalten zeigen. GRIMM et al. (2019) führt dies darauf zurück, dass die Nahrungsaufnahme von Kühen im Stehen stattfindet, lahme Kühe jedoch lange Standzeiten zu vermeiden suchen. Diese Situation kann zu einer negativen Energiebilanz führen oder diese noch weiter verstärken - eine Hypothese, die durch die berichtete negative Korrelation zwischen sozialer Dominanz und Körperkondition gestützt wird (HOHENBRINK und MEINECKE-TILLMANN, 2012). Zum anderen verbringen Tiere mit einem niedrigeren sozialen Rang weniger Zeit im Liegen und mehr Zeit im Stehen, insbesondere auf den Gängen, was mit einer erhöhten Anzahl klinischer Fälle von Klauenläsionen in Verbindung gebracht wurde (GALINDO und BROOM, 2000). Dies beruht vermutlich in erster Linie darauf, dass diese Tiere den ranghöheren Tieren bei der Belegung der Liegeboxen den Vortritt lassen müssen. Dieser Problematik könnte mit der bereits seit Jahren bestehenden Empfehlung einiger Autor|inn|en entgegengewirkt werden, zusätzliche Liegeboxen bzw. mehr Liegeboxen als Tiere zur Verfügung zu stellen. So hätten auch rangniedere Tiere jederzeit die Möglichkeit, sich ungehindert niederzulegen (GALINDO und BROOM, 2000; GALINDO et al., 2000; ROUHA-MÜLLEDER et al., 2009).

Kühe mit einem niedrigen BCS hatten in einer Studie von SCHÖPKE et al. (2013) zwar höhere Prävalenzen für interdigitale Hyperplasien, waren aber weniger häufig von Laminitis und Weiße-Linie-Defekten betroffen. Die Autor|inn|en folgerten daraus, dass auch Überkondition die Entstehung von Lahmheiten, vorrangig durch die gewichtsbedingt erhöhte mechanische Belastung, begünstigt. Obwohl dies auch im Hinblick auf die erhöhte Ketosegefährdung überkonditionierter Tiere plausibel scheint, spiegelte sich diese Assoziation in der vorliegenden Studie nicht wider: Überkondition war in allen Regionen mit niedrigeren Odds für Lahmheit assoziiert.

3.3. Ketose-Risiko

Die Ketose ist eine Stoffwechsellage der frisch- und hochlaktierenden, hochleistenden (GRÖHN et al., 1999) und zumeist älteren Milchkuh und wird durch einen relativen Energiemangel hervorgerufen. Obwohl die genauen Umstände vielfältig sein können (DIRKSEN et al., 2006), kann das Auftreten von Ketoseereignissen als Ausdruck einer unzureichenden Energieversorgung interpretiert werden (GLATZ-HOPPE et al., 2019b). Die Hypothese, dass eine negative Energiebilanz ein wichtiger mit Lahmheit assoziierter Faktor ist, wird durch die höheren Odds für Lahmheit bei Kühen mit einem oder mehreren Ketoseereignissen in dieser Studie gestützt.

Chronisch lahme Kühe zeigten in einer Studie von DAROS et al. (2019) während der Trockenstehzeit im Vergleich zu gesunden Kühen kürzere Fresszeiten. Lahme Kühe könnten also prädestiniert für eine länger andauernde und gravierendere negative Energiebilanz (NEB) (TSOUSIS et al., 2022) sein, was wiederum mit einer höheren Anfälligkeit anderer Erkrankungen in der Transitphase verbunden ist (ESPOSITO et al., 2014). Andere Studien legen den Schluss nahe, dass eine NEB der Risikofaktor für eine höhere Lahmheitsprävalenz ist und nicht umgekehrt. Aus einer Studie von LIM et al. (2015) geht hervor, dass die Wahrscheinlichkeit einer Lahmheitsentwicklung nicht nur bei Kühen mit niedrigem BCS erhöht ist, sondern vor allem bei denjenigen Kühen, die nach dem Abkalben verstärkt an Körperkondition abbauen, also klassisch Ketose-gefährdet sind. Unter Feldbedingungen sind wahrscheinlich beide Situationen anzutreffen: einerseits Kühe, die aus anderen Gründen als einem insuffizienten Ballenpolster lahmen, also beispielsweise aufgrund von Traumata oder infektiösen Läsionen und in der Folge aufgrund der verkürzten Fresszeiten dem Risiko einer verstärkten NEB ausgesetzt sind und andererseits solche Kühe, die sich in einer lahmheitsunabhängigen NEB befinden und in der Folge Lahmheit entwickeln.

Der Grund dafür, dass die Variable „Ketose“ in dieser Studie nicht durchgängig mit Lahmheit assoziiert war, könnte unter anderem mit den Ergebnissen von SCHÖPKE et al. (2013) zu erklären sein, die über einen verringerten Milchfettgehalt und FEQ bei Kühen berichteten, bei denen im Folgemonat eine Klauenrehe diagnostiziert wurde. Es muss also davon ausgegangen werden, dass Kühe, die in der vorliegenden Studie aufgrund einer Klauenrehe als „lahm“ bewertet wurden, in den vorangegangenen Monaten ebenfalls einen verringerten Milchfettgehalt und einen geringeren FEQ aufwiesen. Diese Tiere könnten die gegenläufige Assoziation von Lahmheit mit dem errechneten Ketose-Risiko (also mit einem erhöhten FEQ und erhöhtem Milchfettgehalt) gedämpft haben.

3.4. Milchleistung

Die Autor|inn|en vieler Studien sind sich darüber einig, dass Lahmheit zu einem Milchrückgang führt (WARNICK et al., 2001; GREEN et al., 2002; HERNANDEZ et al., 2002; AMORY et al., 2008; ARCHER et al., 2010). Damit übereinstimmend zeigte sich auch in der vorliegenden Studie eine Assoziation zwischen niedriger ECM und Lahmheiten. Dieser Zusammenhang ist bereits ausführlich untersucht worden und wird vornehmlich auf eine verringerte Futteraufnahme und Schmerzen zurückgeführt.

Gleichzeitig waren in der vorliegenden Arbeit hohe ECM-Werte mit einer geringeren Odds für

Lahmheit assoziiert. Dies erscheint zunächst wenig intuitiv, bedenkt man, dass eine hohe Milchleistung zumeist mit einem erhöhten Risiko für allerlei gesundheitliche Probleme in Verbindung gebracht wird, allen voran Stoffwechselstörungen und Reproduktionsversagen (SHANKS et al., 1978; RAUW et al., 1998; LEROY et al., 2008; SUNDRUM, 2015). Die vorliegenden Ergebnisse decken sich jedoch mit den Erkenntnissen von SOLANO et al. (2015), die sinkende Odds für schwere Lahmheitsfälle bei steigender Milchleistung berichteten. Da in dem vorliegenden Studiendesign keine Kausalitäten festgestellt werden können, müssen die Erklärungsansätze für die gezeigten Assoziationen zwischen Milchleistung und Lahmheit mehrere Möglichkeiten berücksichtigen.

Da ECM als Gesamtfaktor mit mehreren Ausprägungen evaluiert wurde, könnte dies als logische Gegenschlussfolgerung auf ein und dieselbe Erklärung zurückgeführt werden: Lahme Kühe geben weniger Milch, also geben nicht-lahme Kühe mehr Milch. Doch es bietet sich auch eine andere Erklärung an: Die meisten Studien, die sich mit dem Zusammenhang von Milchleistung und Lahmheit beschäftigten, verglichen die Tiere eines einzelnen Betriebes miteinander oder einzelne Tiere zu verschiedenen Zeitpunkt mit sich selbst. Innerhalb desselben Betriebes ist dabei eine hohe Milchleistung häufig offenbar mit einer höheren Inzidenz für Erkrankungen, darunter Klauenläsionen, assoziiert (FLEISCHER et al., 2001). In der vorliegenden Studie hingegen wurden die Milchleistungen von Kühen aus verschiedenen, strukturell zum Teil sehr unterschiedlichen Betrieben miteinander verglichen und auf Assoziationen mit Lahmheit überprüft. Dass in diesem Ansatz die „hochleistenden“ Tiere geringere Odds für Lahmheit zeigten, lenkt das Augenmerk hin zu eben jenen Haltungs- und Management-Bedingungen, die Grundlage für eine hohe Milchleistung sind: Ein guter Allgemeinzustand des Tieres, gute Haltungs-, Fütterungs- und Managementbedingungen und ein hohes Maß an Tierwohl (WANGLER und HARMS, 2009; WELFARE QUALITY, 2009). Kühe, die unter solchen Umständen gehalten werden, schöpfen nicht nur ihr Milchleistungspotential besser aus, sondern haben wahrscheinlich auch ein geringeres Risiko, Lahmheit zu entwickeln.

3.5. Parität / Alter

Die Odds für Lahmheit waren in der ersten Laktation am geringsten und stiegen mit zunehmender Laktationszahl in allen Regionen an. Dies stimmt mit den Ergebnissen anderer Studien überein (WARNICK et al., 2001; SOGSTAD et al., 2005; ESPEJO et al., 2006; BICALHO et al., 2009; SOLANO et al., 2015; FODITSCH et al., 2016).

Eine mögliche Erklärung ist die Akkumulation von kalbungsbedingtem Stress. Die hormonellen Veränderungen rund um die Kalbung führen zu einer Lockerung des anatomischen Aufhängeapparates der Klaue (TARLTON et al., 2002). Dieser Effekt könnte sich bei mehrjährigen Kühen häufen und zur Entwicklung von Läsionen des Klauenhorns ebenso wie zur Schädigung der tieferliegenden Strukturen der Klaue durch das Klauenbein beitragen.

Je älter die Tiere sind, desto länger sind sie außerdem bereits den Bedingungen der jeweiligen Haltung ausgesetzt. Auch hier müssen kumulative Effekte in Betracht gezogen werden (KERR, 1998). Jungtiere und Kalbinnen werden dagegen oftmals unter anderen, klauenfreundlicheren Bedingungen gehalten als Milchkühe (mehr Weidegang, Almen). Davon könnten Erstlaktierende zumindest gegen Anfang der Laktation noch profitieren, was die Assoziation mit geringeren Odds für Lahmheit in der ersten Laktation erklären würde.

Ein weiterer Faktor, der zu erhöhten Lahmheitsprävalenzen mit steigendem Alter beiträgt, ist die Entwicklung chronischer Lahmheit oder von Rezidiven. Eine falsche und verspätete Lahmheitsbehandlung in früheren Laktationen kann dauerhafte Schäden verursachen (NEWSOME et al., 2016; WILSON et al., 2021). Dies begünstigt die Entstehung chronischer Lahmheit, die oft schwer oder gar nicht mehr zu behandeln ist (ALBAN et al., 1996; THOMAS et al., 2016) und über folgende Laktationen hinweg immer wieder zu Problemen oder Rezidiven führen kann. NEWSOME et al. (2016) konnten nachweisen, dass Kühe, die in den vorangehenden 12 Monaten lahm gewesen waren, verstärkt Exostosen des Klauenbeins aufwiesen. Die frühzeitige Erkennung und Behandlung von Lahmheit, insbesondere bei Tieren der ersten und zweiten Laktation, ist daher von entscheidender Bedeutung, um die Klauengesundheit der Herde nachhaltig sicherzustellen (HIRST et al., 2002; LEACH et al., 2012; THOMAS et al., 2016).

Die Literatur zur Entwicklung von Gelenkbeschwerden durch Abnutzung oder Arthritis mit zunehmendem Alter ist sehr begrenzt. Aufgrund des hohen Körpergewichts der Tiere, das sich über die Jahre hinweg weiter gesteigert hat (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2005), könnte dieser Faktor jedoch ebenfalls eine Rolle spielen.

Dermatitis digitalis scheint eine Ausnahme dieser Assoziation zu bilden: HOLZHAUER et al. (2006) berichteten in Übereinstimmung mit SOMERS et al. (2003) und einigen weiteren Studien von einem geringeren Risiko für *Dermatitis digitalis* bei älteren Kühen. Dies wird auf die besondere Ätiologie und Pathogenese der *Dermatitis digitalis* zurückgeführt: Ältere Kühe bauen offenbar ein gewisses Maß an Immunität gegenüber den stallspezifischen *Dermatitis digitalis*-Erregern auf, während Erstlaktierende diesen bei Eintritt in die Milchherde häufig zum

ersten Mal ausgesetzt sind. Auch ist bekannt, dass es genetisch gegen *Dermatitis digitalis* immune Tiere gibt (DÖPFER et al., 2012a; DÖPFER et al., 2012b; NIELSEN et al., 2012; GOMEZ et al., 2015). Der Anteil dieser Tiere könnte durch das beständige Aussortieren der schwer betroffenen Tiere über die Laktationen hinweg ansteigen.

3.6. Laktationsstadium

Kühe im mittleren Laktationsdrittel zeigten in allen Regionen erhöhte Odds für Lahmheit gegenüber Kühen im letzten Laktationsdrittel, ebenso Kühe im ersten Laktationsdrittel in der Region Süd. Kühe im ersten Laktationsdrittel in der Region Ost wiesen dagegen eine geringere Assoziation mit Lahmheit auf.

Frühlaktierende Kühe könnten noch von einer potenziellen Rekonvaleszenz während der Trockenstehzeit (mehr Ruhe, Weidegang, eingestreute Abkalbeboxen) profitieren. Dem entgegenstehend war die Trockenstehphase in einer Studie von DAROS et al. (2019) mit höheren Odds für Lahmheit assoziiert. Für Letzteres könnte beispielsweise die erhöhte Gewichtsbelastung der Gelenke durch das schon beinahe ausgewachsene Kalb eine Erklärung sein. Die meisten Literaturquellen stellten eine Häufung von Lahmheit im ersten Laktationsdrittel fest (ROWLANDS et al., 1985; WARNICK et al., 2001; BLOWEY, 2005; SOLANO et al., 2016). Diese wird zumeist auf die hormonellen und metabolischen Umstände rund um die Kalbung zurückgeführt. Insbesondere für Sohlengeschwüre, Weiße-Linie-Defekte (TARLTON et al., 2002) und Laminitis (GREENOUGH und VERMUNT, 1991) wurde dieser Zusammenhang bereits belegt.

Die häufige zeitliche Diskrepanz zwischen auslösendem Ereignis und der klinischen Manifestation einer Lahmheit erschwert hier jedoch die klare Beurteilung der Ergebnisse. Bekannt ist, dass bestimmte Klauenhornläsionen sich erst einige Wochen und Monate nach dem auslösenden Ereignis als klinische Lahmheit manifestieren (COLLICK et al., 1989; LEACH et al., 1997; GREEN et al., 2002). Zudem verändern sich Hornqualität und Hornwachstum im Laufe der Laktation. LIVESEY und LAVEN (2007) zeigten, dass das Hornwachstum von der Trockenstehzeit bis etwa zwölf Wochen nach dem Abkalben erst zunimmt und abschließend wieder abnimmt. Dies könnte möglicherweise mit der Gewichtsentwicklung der Kuh zusammenhängen: je höher das zu tragende Gewicht, desto höher die Hornproduktion. KEMPSON und LOGUE (1993) stellten außerdem fest, dass sich die Hornqualität bei Kalbinnen in der späten Trächtigkeit verschlechtert. Ursache dafür könnte die katabole Stoffwechsellage sein, in die die Kühe mit Eintritt in die Laktation wechseln. Diese geht mit

einer verminderten Insulinempfindlichkeit in den peripheren Geweben einher (LEROY et al., 2008), was wiederum zu einer verringerten Verfügbarkeit von Nährstoffen in den hornbildenden Schichten der Klaue führt (TOMLINSON et al., 2004). Letzteres wirkt sich möglicherweise negativ auf die Integrität und Qualität des Horns aus. Wird während der frühen Laktation minderwertiges Horn produziert, kann dies sowohl akut als auch noch später die Anfälligkeit für Klauenerkrankungen erhöhen und zu Lahmheit führen (GREEN et al., 2002; TOMLINSON et al., 2004).

Das Laktationsstadium als mit Lahmheit in Zusammenhang stehender Faktor ist in der Literatur nicht einheitlich bewertet worden und die Erklärungsversuche sind vielfältig. Dies mag neben den bereits diskutierten Aspekten auch darin begründet liegen, dass sich das Management der Tiere über die Laktation hinweg in den verschiedenen Haltungssystemen und Betriebsabläufen deutlich unterscheidet. In manchen Betrieben stehen beispielsweise die Trockensteher auf der Weide oder es wird jeder Kuh vor dem Trockenstellen noch einmal eine Klauenpflege zuteil. In anderen Betrieben unterscheidet sich dagegen die Haltung der Trockensteher kaum von der der Milchkühe. Aufgrund dieser Unterschiede sollte diese Variable in einem überregionalen Ansatz nicht überbewertet, in einem betriebsspezifischen dagegen aber auch nicht unterschätzt werden.

3.7. Weidegang

Der Zusammenhang zwischen Weidegang und deutlich geringeren Odds für Lahmheit stellte sich in den Regionen Nord und Süd dar. Dass dies in Region Ost nicht zutrifft, wird auf die Art und den zeitlichen Umfang des Weidegangs dort zurückgeführt, der, wie bereits erwähnt, meist nur den Trockenstehern zuteilwird.

Der positive Einfluss des Weidegangs auf Lahmheit und allgemeines Wohlbefinden ist bekannt, selbst wenn Weidegang nur für kurze Zeit zur Verfügung gestellt wird (HERNANDEZ-MENDO et al., 2007; RUTHERFORD et al., 2009; MCLELLAN et al., 2022). Dies kann auf mehrere Umstände zurückgeführt werden.

Zunächst ist der bovine Bewegungsapparat evolutionär für die Bewegung auf natürlichen Weidelandschaften, insbesondere Grasland, geschaffen. Die Klauen von Rindern, die ganzjährig auf der Weide gehalten werden, entsprechen meist auch ohne Klauenpflege dem Idealzustand und Lahmheit ist hier generell selten (NUSS et al., 2014). Dies beruht zum einen auf der für die Rinder angenehm weichen Oberfläche (CAPION et al., 2008; CHAPINAL et al., 2013; ALSAOD et al., 2017), die zum Gehen und Liegen ermuntert, Verletzungen

vermeidet und ein natürlicheres Bewegungsverhalten ermöglicht als ein rutschiger, mit Exkrementen bedeckter Betonboden (VAN DER TOL et al., 2005). Zum anderen ist die Besatzdichte auf der Weide in der Regel geringer als in Innenhaltungseinrichtungen (BARKER, 2007). Die Kühe verbringen automatisch mehr Zeit unter komfortableren Liegebedingungen und kollidieren während des Liegens und Hinlegens nicht mit Elementen der Stalleinrichtung, wodurch Verletzungen vermieden werden und sich das allgemeine Wohlbefinden verbessert (HASKELL et al., 2006; WELFARE QUALITY, 2009; WAGNER et al., 2017). Zum anderen trägt die erhöhte Aktivität im Allgemeinen zu einer geringeren Lahmheitsprävalenz auf der Weide bei, die sich allein dadurch ergibt, dass die Rinder sich beim Grasens über Stunden hinweg über die Weide bewegen. Es wird vermutet, dass die erhöhte Bewegung, die bei Kühen auf der Weide zu beobachten ist, zu weniger Gelenksteifheit und einer besseren Klauengesundheit führt (GUSTAFSON, 1993; LOBERG et al., 2004; HERNANDEZ-MENDO et al., 2007). Jede Abweichung von den auf einer guten Weide herrschenden Bedingungen muss daher als Einschränkung der natürlichen Bewegungsweise gesehen werden (GUARD, 2001; ALSAAOD et al., 2017).

3.8. Ökologische Betriebsführung

Kühe, die auf Biobetrieben untergebracht waren, hatten über alle drei Regionen hinweg deutlich geringere Odds für Lahmheit als Kühe auf konventionell bewirtschafteten Betrieben.

Die ökologische Landwirtschaft wurde bereits in früheren Arbeiten mit einer geringeren Lahmheitsprävalenz in Verbindung gebracht (RUTHERFORD et al., 2009). In der EU unterliegt der ökologische Landbau strengen Vorschriften in Bezug auf das Wohlergehen der Tiere, wie z. B. obligatorischer Zugang zu Auslaufflächen und ein insgesamt größeres Platzangebot. Die Landwirt|inn|e|n sind dazu angehalten, die allgemeinen Haltungsbedingungen im Hinblick auf das Tierwohl zu optimieren. Die Bewirtschaftung ist weniger intensiv (SLAGBOOM et al., 2016), was generell mit einer geringeren Anfälligkeit für Produktionskrankheiten in Verbindung gebracht wird. Hinzu kommt, dass Biolandwirt|inn|e|n sich der Lahmheiten auf ihren Betrieben eher bewusst sind als konventionell wirtschaftende Landwirt|inn|e|n (JENSEN et al., 2022). Kleinere Herdengrößen und damit eine engere Überwachung könnten auch das Vorkommen unentdeckter Lahmheitsfälle senken und die Erkennung sich entwickelnder Gesundheitsprobleme beschleunigen.

3.9. Rasse

Die Odds für Lahmheit waren geringer für Tiere, die in der jeweiligen Region nicht zur Hauptrasse gehören. In Region Ost und Süd betraf dies Tiere der Rassegruppe „andere“, in Region Süd zusätzlich auch die der Rasse Holstein-Friesian.

In Teilübereinstimmung mit den vorliegenden Ergebnissen berichteten BARKER et al. (2010) von niedrigeren Lahmheitsprävalenzen in Herden mit wenigen oder keinen Holstein-Kühen im Vergleich zu reinen Holstein-Herden. HOLZHAUER et al. (2006) berichteten von einem höheren Risiko für *Dermatitis digitalis* bei Holstein-Kühen im Vergleich zu Meuse-Rhine-Issel-Kühen. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass hochleistende Rassen tendenziell ein größeres Risiko für Stoffwechselstörungen haben, die wiederum mit Lahmheit in Verbindung gebracht werden. Auch die Körperkondition unterscheidet sich maßgeblich zwischen beispielsweise Holstein-Kühen, einer reinen Milchrasse, und Fleckvieh-Kühen, einer Zweinutzungsrasse (KRITZINGER und SCHODER, 2009b, 2009a). Der höhere Körperfettanteil könnte sich auch in einem dickeren Ballenpolster niederschlagen. BECKER et al. (2014a, 2014b) stellten ebenfalls fest, dass Holstein-Kühe häufiger von bestimmten Läsionen betroffen sind und vermuten, dass dies auf rassespezifische unterschiedliche Winkel der dorsalen Klauenwand zurückzuführen sein könnte. Obwohl dies durchaus nachvollziehbar scheint, konnten diese Tendenzen in der vorliegenden Studie nicht gezeigt werden.

Der Einfluss der Rasse auf Lahmheit könnte durchaus weitere genetische Faktoren umfassen, z. B. den kürzlich entdeckten polygenen Hintergrund der Ballenpolster-Dicke (BARDEN et al., 2022) und die von OBERBAUER et al. (2013) berichtete Erblichkeit von *Dermatitis digitalis*-Anfälligkeit und Sohlengeschwüren. Vor diesem Hintergrund ist es durchaus denkbar, eine genetische Selektion auf bessere Klauengesundheit anzustreben.

Die geringeren Odds für Lahmheit bei anderen Rassen als der jeweiligen Hauptrasse der Region kann auch ein indirekter Effekt sein. Kühe, die in der Rassenkategorie "andere" zusammengefasst wurden, waren in dieser Studie beispielsweise häufiger auf Biobetrieben untergebracht als Kühe der Rassen Fleckvieh und Holstein-Friesian. Sie hatten tendenziell also auch häufiger Zugang zu Auslauf und/oder Weide. Somit wäre weniger der Faktor „Rasse“ als vielmehr der Faktor „Biobetrieb“ oder „Weide“ ausschlaggebend für die geringeren Odds für Lahmheit. Dies muss als mögliche Einschränkung dieses Ergebnisses anerkannt werden.

3.10. SCC

Höhere Odds für Lahmheit bei Kühen mit einem erhöhten und hohen SCC zeigten sich in dieser Studie nur in einer Region (Ost).

Ein Zusammenhang zwischen Euter- und Klauengesundheit könnte auf allgemein gesündere Kühe durch gute Stall- und Managementbedingungen zurückgeführt werden (WELFARE QUALITY, 2009). ZHANG et al. (2016) berichteten darüber hinaus auch von höheren SCC bei Tieren mit Ketose. Auch wurden steigende DIM, die in dieser Studie ebenfalls mit erhöhten Odds für Lahmheit assoziiert waren, von anderen Autor|inn|en mit einem Anstieg des SCC in Verbindung gebracht (KING et al., 2016).

3.11. Besuchsjahr

Das Besuchsjahr als Prädiktor ist eher als stellvertretende Einflussgröße zu bewerten. Die Ergebnisse könnten auf die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen zurückzuführen sein, die in den betreffenden Jahren mehr oder weniger Zugang zu Weideland ermöglichen, die Qualität des Futters verändern oder die Kühe Hitzestress aussetzen, der mit Lahmheit in Verbindung gebracht wird (KING et al., 2016). Die Sommer der Jahre 2018 und 2019 waren beispielsweise wärmer und trockener als 2017 und 2016 (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Die Lahmheitsprävalenz kann außerdem auch mit der Jahreszeit schwanken und scheint beispielsweise im Winter und Frühjahr stärker ausgeprägt zu sein als im Sommer und Herbst (CLARKSON et al., 1996; COOK, 2003; RUTHERFORD et al., 2009). Der Einfluss dieser Variable könnte auch durch die ungleiche Verteilung der Betriebsbesuche in den verschiedenen Jahren und Jahreszeiten vermittelt worden sein. Die größten Betriebe wurden beispielsweise im Jahr 2017 besucht und die Datenerhebung wurde im Sommer 2019 beendet, sodass 2019 keine Besuche im Herbst und weniger im Winter stattfanden.

3.12. Weitere Milchleistungsparameter

Weder Gesamtmilchmenge oder Milchfett, Milchprotein, noch FEQ, Harnstoff oder SCC waren in der Auswertung über die Regionen konstant. Obwohl ein Ziel dieser Studie eine Auswertung der Milchleistungsmerkmale im Hinblick auf Lahmheit war, konnte keine für Lahmheit charakteristische Zusammenstellung an milchbezogenen Kovariaten festgestellt werden.

Grund hierfür ist sehr wahrscheinlich, dass Lahmheit als Symptom unterschiedlichste Ursachen hat und sich einige davon, wie etwa eine Verletzung oder ein Hornbruch, nicht bereits Wochen

vorher in der Milch ankündigen, andere hingegen durchaus. Möglicherweise wären die Ergebnisse eindeutiger gewesen, wenn jede Lahmheitsursache einzeln betrachtet worden wäre. Dies war jedoch mit den vorliegenden Datensätzen nicht möglich.

VI. ZUSAMMENFASSUNG

Lahmheit ist in der modernen Milchviehhaltung sowohl aus Sicht des Tierschutzes als auch aus wirtschaftlicher Sicht ein hochaktuelles Thema. In der Literatur liegen zwar bereits umfangreiche Analysen zu den Risikofaktoren für Lahmheit bei Milchkühen vor, doch wurden diese Studien häufig in einzelnen oder sehr ähnlichen Betrieben durchgeführt. In Deutschland unterscheiden sich die Haltungsweisen von Milchvieh regional zum Teil allerdings sehr stark. Es liegt daher nahe, dass sich auch die Risikofaktoren für Lahmheit regional unterscheiden. Das Ziel dieser Arbeit war es, mithilfe eines umfangreichen Datensatzes von über 58.000 Milchkühen auf 651 Betrieben regionale Unterschiede der Risikofaktoren für Lahmheit zu identifizieren. Die Prävalenz für Lahmheit (Locomotion Score ≥ 3) lag in dieser Studie bei 27,5 % (N), 42,6 % (O) und 27,5 % (S). Mittels einfaktorieller Analysen und einer statistischen Regressionsanalyse wurden 18 Variablen auf eine Assoziation mit der Zielvariablen „lahm“ untersucht. Obwohl aufgrund des Studiendesigns einige Limitierungen anerkannt werden müssen, konnten im finalen multiplen gemischten logistischen Regressionsmodell 12 Variablen als mit Lahmheit assoziierte Faktoren identifiziert werden, von denen fünf über alle Regionen hinweg stabil waren. Besonders hervorzuheben sind dabei ein niedriger BCS (N: OR 2,15 [CI 1,96 - 2,34], E: OR 2,66 [CI 2,45 - 2,88], S: OR 2,45 [CI 2,01 - 2,98]) und das mittlere Laktationsdrittel (102 - 204 Tage: N: OR 1,15 [CI 1,05 - 1,27], E: OR 1,24 [CI 1,17 - 1,32], S: OR 1,38 [CI 1,18 - 1,62]), welche in allen Regionen eine positive Assoziation mit Lahmheit zeigten. Ein hoher BCS (N: OR 0,51 [CI 0,44 - 0,60], E: OR 0,51 [CI 0,48 - 0,54], S: OR 0,65 [CI 0,54 - 0,77]), ein geringes Alter der Tiere (erste Laktation: N: OR 0,32 [CI 0,29 - 0,35], E: OR 0,19 [CI 0,18 - 0,20], S: OR 0,28 [CI 0,24 - 0,33]; zweite Laktation: N: OR 0,51 [CI 0,47 - 0,46], E: OR 0,41 [CI 0,39 - 0,44], S: OR 0,49 [CI 0,42 - 0,57]) sowie ökologische Betriebsführung (N: OR 0,18 [CI 0,11 - 0,32], E: OR 0,39 [CI 0,28 - 0,56], S: OR 0,45 [CI 0,29 - 0,68]) waren dagegen in allen Regionen negativ mit Lahmheit assoziiert. Andere Faktoren wie Milchleistung, Weidehaltung, Milchproteingehalt, Rasse, Ketoserisiko und Zellgehalt zeigten in mindestens einer der Regionen eine Assoziation mit Lahmheit, unterschieden sich über die Regionen hinweg aber zum Teil deutlich.

Da „Lahmheit“ keine Krankheit an sich ist, sondern vielmehr verschiedene Krankheitsbilder mit zum Teil völlig unterschiedlicher Ätiologie und Pathogenese umfasst, muss sie als multifaktorielles Problem betrachtet werden. Die mit Lahmheit assoziierten Risikofaktoren sind dementsprechend so umfangreich wie vielfältig und unterscheiden sich zudem regional.

Die Ergebnisse der Analysen wurden am 23.08.2023 im *Journal of Dairy Science* unter dem Titel „*Associations of cow and farm characteristics with cow-level lameness using data from an extensive cross-sectional study across three structurally different dairy regions in Germany*“ publiziert.

VII. SUMMARY

Lameness is a highly relevant issue in modern dairy farming, both from an animal welfare and an economic perspective. Although extensive analyses of risk factors for lameness in dairy cattle are already available in the literature, these studies were often conducted on single or very similar farms. In Germany, however, the husbandry practices of dairy cattle differ regionally, in some cases to a great extent. It therefore stands to reason that the risk factors for lameness also differ regionally. The objective of this work was to identify regional differences in risk factors for lameness using an extensive data set of over 58,000 dairy cows on 651 farms. Prevalence for lameness (locomotion score ≥ 3) in this study was 27.5 % (N), 42.6 % (O), and 27.5 % (S). Using single-factor analyses and statistical regression analysis, 18 variables were examined for association with the outcome variable "lame." Although some limitations must be acknowledged because of the study design, the final multiple mixed logistic regression model identified 12 variables as associated with lameness, five of which were stable across all regions. Of particular note were a low BCS (N: OR 2.15 [CI 1.96 - 2.34], E: OR 2.66 [CI 2.45 - 2.88], S: OR 2.45 [CI 2.01 - 2.98]) and the middle third of lactation (102 - 204 days: N: OR 1.15 [CI 1.05 - 1.27], E: OR 1.24 [CI 1.17 - 1.32], S: OR 1.38 [CI 1.18 - 1.62]), which showed a positive association with lameness in all regions. A high BCS (N: OR 0.51 [CI 0.44 - 0.60], E: OR 0.51 [CI 0.48 - 0.54], S: OR 0.65 [CI 0.54 - 0.77]), a young age of the animals (first lactation: N: OR 0.32 [CI 0.29 - 0.35], E: OR 0.19 [CI 0.18 - 0.20], S: OR 0.28 [CI 0.24 - 0.33]; second lactation: N: OR 0.51 [CI 0.47 - 0.46], E: OR 0.41 [CI 0.39 - 0.44], S: OR 0.49 [CI 0.42 - 0.57]) and ecological management (N: OR 0.18 [CI 0.11 - 0.32], E: OR 0.39 [CI 0.28 - 0.56], S: OR 0.45 [CI 0.29 - 0.68]), on the other hand, were negatively associated with lameness in all regions. Other factors such as milk yield, pasture management, milk protein content, breed, risk of ketosis and somatic cell count showed an association with lameness in at least one of the regions, but differed across regions, sometimes significantly.

Because "lameness" is not a disease per se, but rather encompasses different clinical pictures, some with completely different etiologies and pathogeneses, it must be considered a multifactorial problem. The risk factors associated with lameness are therefore as extensive as they are diverse, and they also differ from region to region.

The results of the analyses were published Aug. 23, 2023, in the *Journal of Dairy Science* under the title "*Associations of cow and farm characteristics with cow-level lameness using data from an extensive cross-sectional study across three structurally different dairy regions in Germany.*"

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

Adams AE, Lombard JE, Fossler CP, Román-Muñiz IN, Koprál CA. Associations between housing and management practices and the prevalence of lameness, hock lesions, and thin cows on US dairy operations. *J Dairy Sci* 2017; 100: 2119-36.

ADR (2015) Rinderproduktion in der Bundesrepublik Deutschland. Jahresbericht 2015

Akaike H. Fitting autoregressive models for prediction. *Ann Inst Stat Math* 1969; 21: 243-7.

Alawneh JI, Laven RA, Stevenson MA. Interval between detection of lameness by locomotion scoring and treatment for lameness: A survival analysis. *Vet J* 2012; 193: 622-5.

Alban L, Agger JF, Lawson LG. Lameness in tied Danish dairy cattle: the possible influence of housing systems, management, milk yield, and prior incidents of lameness. *Prev Vet Med* 1996; 29: 135-49.

Allaire FR, Gibson JP. Genetic Value of Herd Life Adjusted for Milk Production. *J Dairy Sci* 1992; 75: 1349-56.

Almeida PE, Weber PSD, Burton JL, Zanella AJ. Depressed DHEA and increased sickness response behaviors in lame dairy cows with inflammatory foot lesions. *Domest Anim Endocrinol* 2008; 34: 89-99.

Alsaad M, Huber S, Beer G, Kohler P, Schüpbach-Regula G, Steiner A. Locomotion characteristics of dairy cows walking on pasture and the effect of artificial flooring systems on locomotion comfort. *J Dairy Sci* 2017; 100: 8330-7.

Amory JR, Barker ZE, Wright JL, Mason SA, Blowey RW, Green LE. Associations between sole ulcer, white line disease and digital dermatitis and the milk yield of 1824 dairy cows on 30 dairy cow farms in England and Wales from February 2003-November 2004. *Prev Vet Med* 2008; 83: 381-91.

Archer SC, Green MJ, Huxley JN. Association between milk yield and serial locomotion score assessments in UK dairy cows. *J Dairy Sci* 2010; 93: 4045-53.

Babatunde SM, Ramanoon SZ, Shaik Mossadeq WM, Mansor R, Syed Hussain SS. Dairy Farmers' Perceptions of and Actions in Relation to Lameness Management. *Animals (Basel)* 2019; 9

Barden M, Li B, Griffiths BE, Anagnostopoulos A, Bedford C, Psifidi A, Banos G, Oikonomou G. Genetic parameters and genome-wide association study of digital cushion thickness in Holstein cows. *J Dairy Sci* 2022; 105: 8237-56.

Bargai U (1998) Risk factors for subclinical laminitis (SL) in 32 Kibbutz herds in Israel. *Proc 10th Int Symp Lameness in Ruminants. Luzern, Schweiz.* 169-70

Barker ZE. Epidemiology of lameness in dairy cows. *Diss. med. vet.* 2007. University of Warwick.

Barker ZE, Leach KA, Whay HR, Bell NJ, Main DC. Assessment of lameness prevalence and

- associated risk factors in dairy herds in England and Wales. *J Dairy Sci* 2010; 93: 932-41.
- Barrientos AK, Chapinal N, Weary DM, Galo E, von Keyserlingk MAG. Herd-level risk factors for hock injuries in freestall-housed dairy cows in the northeastern United States and California. *J Dairy Sci* 2013; 96: 3758-65.
- Becker J, Steiner A, Kohler S, Koller-Bähler A, Wüthrich M, Reist M. Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: I. Prevalence. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2014a; 156: 71-8.
- Becker J, Steiner A, Kohler S, Koller-Bähler A, Wüthrich M, Reist M. Lameness and foot lesions in Swiss dairy cows: II. Risk factors. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2014b; 156: 79-89.
- Beer G, Alsaad M, Starke A, Schuepbach-Regula G, Müller H, Kohler P, Steiner A. Use of Extended Characteristics of Locomotion and Feeding Behavior for Automated Identification of Lamé Dairy Cows. *PLOS ONE* 2016; 11: e0155796.
- Bell NJ, Main DC, Whay HR, Knowles TG, Bell MJ, Webster AJ. Herd health planning: farmers' perceptions in relation to lameness and mastitis. *Vet Rec* 2006; 159: 699-705.
- Bergsten C. Effects of conformation and management system on hoof and leg diseases and lameness in dairy cows. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2001; 17: 1-23, v.
- Bernardi F, Fregonesi J, Winckler C, Veira DM, von Keyserlingk MA, Weary DM. The stall-design paradox: neck rails increase lameness but improve udder and stall hygiene. *J Dairy Sci* 2009; 92: 3074-80.
- Bicalho RC, Machado VS, Caixeta LS. Lameness in dairy cattle: A debilitating disease or a disease of debilitated cattle? A cross-sectional study of lameness prevalence and thickness of the digital cushion. *J Dairy Sci* 2009; 92: 3175-84.
- Blowey RW. Factors associated with lameness in dairy cattle. *In Practice* 2005; 27: 154 - 62.
- Blowey RW, Weaver AD (2011) *Color atlas of diseases and disorders of cattle*, Third edn. Elsevier Ltd.
- BMEL. Statistiken und Berichte des BMEL - Landwirtschaft. Ökologischer Landbau Bonn, Germany: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2021: www.bmel-statistik.de. Nov.
- Boulton AC, Rushton J, Wathes DC. An empirical analysis of the cost of rearing dairy heifers from birth to first calving and the time taken to repay these costs. *animal* 2017; 11: 1372-80.
- Britt JH, Cushman RA, Dechow CD, Dobson H, Humblot P, Hutjens MF, Jones GA, Ruegg PS, Sheldon IM, Stevenson JS. Invited review: Learning from the future—A vision for dairy farms and cows in 2067. *J Dairy Sci* 2018; 101: 3722-41.
- Bruijnjs MR, Hogeveen H, Stassen EN. Assessing economic consequences of foot disorders in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. *J Dairy Sci* 2010; 93: 2419-32.
- Caption N, Thamsborg SM, Enevoldsen C. Prevalence of foot lesions in Danish Holstein cows. *Vet Rec* 2008; 163: 80-5.
- Carlson MD, Morrison RS. Study design, precision, and validity in observational studies. *J*

Palliat Med 2009; 12: 77-82.

Chapinal N, Barrientos AK, von Keyserlingk MA, Galo E, Weary DM. Herd-level risk factors for lameness in freestall farms in the northeastern United States and California. J Dairy Sci 2013; 96: 318-28.

Chapinal N, Liang Y, Weary DM, Wang Y, von Keyserlingk MA. Risk factors for lameness and hock injuries in Holstein herds in China. J Dairy Sci 2014; 97: 4309-16.

Collick DW, Ward WR, Dobson H. Associations between types of lameness and fertility. Vet Rec 1989; 125: 103-6.

Cook NB. Influence of Barn Design on Dairy Cow Hygiene, Lameness and Udder Health. American Association of Bovine Practitioners Conference Proceedings 2002;

Cook NB, Hess JP, Foy MR, Bennett TB, Brotzman RL. Management characteristics, lameness, and body injuries of dairy cattle housed in high-performance dairy herds in Wisconsin. J Dairy Sci 2016; 99: 5879-91.

Cook NB (2016) A lesion oriented, life cycle approach to preventing lameness in dairy herds. Proc. 29th World Buiatrics Congr. Dublin, Ireland

Crowe MA, Williams EJ. TRIENNIAL LACTATION SYMPOSIUM: Effects of stress on postpartum reproduction in dairy cows^{1,2}. J Anim Sci 2012; 90: 1722-7.

Daros RR, Eriksson HK, Weary DM, von Keyserlingk MAG. Lameness during the dry period: Epidemiology and associated factors. J Dairy Sci 2019; 102: 11414-27.

De Vries A. Economic trade-offs between genetic improvement and longevity in dairy cattle. J Dairy Sci 2017; 100: 4184-92.

Defrain JM, Socha MT, Tomlinson DJ. Analysis of foot health records from 17 confinement dairies. J Dairy Sci 2013; 96: 7329-39.

Dembele I, Spinka M, Stehulova I, Panama J, Firla P. Factors contributing to the incidence and prevalence of lameness on Czech dairy farms. Czech J Anim Sci 2006; 51: 102-9.

Deutscher Wetterdienst Klimakarten Deutschland. Deutscher Wetterdienst, Offenbach

Dippel S, Dolezal M, Brenninkmeyer C, Brinkmann J, March S, Knierim U, Winckler C. Risk factors for lameness in freestall-housed dairy cows across two breeds, farming systems, and countries. J Dairy Sci 2009a; 92: 5476-86.

Dippel S, Dolezal M, Brenninkmeyer C, Brinkmann J, March S, Knierim U, Winckler C. Risk factors for lameness in cubicle housed Austrian Simmental dairy cows. Prev Vet Med 2009b; 90: 102-12.

Dirksen G, Stöber M, Gründer HD (2006) Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. Parey-Verlag, Singhofen. 1376

Dobson H, Walker SL, Morris MJ, Routly JE, Smith RF. Why is it getting more difficult to successfully artificially inseminate dairy cows?*. animal 2008; 2: 1104-11.

- Dolecheck K, Bewley J. Animal board invited review: Dairy cow lameness expenditures, losses and total cost. *animal* 2018; 12: 1462-74.
- Döpfer D, Anklam K, Mikheil D, Ladell P. Growth curves and morphology of three *Treponema* subtypes isolated from digital dermatitis in cattle. *Vet J* 2012a; 193: 685-93.
- Döpfer D, Holzhauer M, Boven M. The dynamics of digital dermatitis in populations of dairy cattle: model-based estimates of transition rates and implications for control. *Vet J* 2012b; 193: 648-53.
- Endres MI. The Relationship of Cow Comfort and Flooring to Lameness Disorders in Dairy Cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2017; 33: 227-33.
- Espejo LA, Endres MI, Salfer JA. Prevalence of Lameness in High-Producing Holstein Cows Housed in Freestall Barns in Minnesota. *J Dairy Sci* 2006; 89: 3052-8.
- Espejo LA, Endres MI. Herd-level risk factors for lameness in high-producing holstein cows housed in freestall barns. *J Dairy Sci* 2007; 90: 306-14.
- Esposito G, Irons PC, Webb EC, Chapwanya A. Interactions between negative energy balance, metabolic diseases, uterine health and immune response in transition dairy cows. *Anim Reprod Sci* 2014; 144: 60-71.
- Fabian J, Laven RA, Whay HR. The prevalence of lameness on New Zealand dairy farms: a comparison of farmer estimate and locomotion scoring. *Vet J* 2014; 201: 31-8.
- Faull WB, Hughes JW, Clarkson MJ, Downham DY, Manson FJ, Merritt JB, Murray RD, Russell WB, Sutherst JE, Ward WR. Epidemiology of lameness in dairy cattle: the influence of cubicles and indoor and outdoor walking surfaces. *Vet Rec* 1996; 139: 130-6.
- Fjeldaas T, Sogstad AM, Østerås O. Claw trimming routines in relation to claw lesions, claw shape and lameness in Norwegian dairy herds housed in tie stalls and free stalls. *Prev Vet Med* 2006; 73: 255-71.
- Fleischer P, Metzner M, Beyerbach M, Hoedemaker M, Klee W. The relationship between milk yield and the incidence of some diseases in dairy cows. *J Dairy Sci* 2001; 84: 2025-35.
- Foditsch C, Oikonomou G, Machado VS, Bicalho ML, Ganda EK, Lima SF, Rossi R, Ribeiro BL, Kussler A, Bicalho RC. Lameness Prevalence and Risk Factors in Large Dairy Farms in Upstate New York. Model Development for the Prediction of Claw Horn Disruption Lesions. *PLOS ONE* 2016; 11: e0146718.
- Frankena K, Somers JG, Schouten WG, van Stek JV, Metz JH, Stassen EN, Graat EA. The effect of digital lesions and floor type on locomotion score in Dutch dairy cows. *Prev Vet Med* 2009; 88: 150-7.
- Galindo F, Broom DM. The relationships between social behaviour of dairy cows and the occurrence of lameness in three herds. *Res Vet Sci* 2000; 69: 75-9.
- Galindo F, Broom DM, Jackson PG. A note on possible link between behaviour and the occurrence of lameness in dairy cows. *Appl Anim Behav Sci* 2000; 67: 335-41.

- Garbarino EJ, Hernandez JA, Shearer JK, Risco CA, Thatcher WW. Effect of Lameness on Ovarian Activity in Postpartum Holstein Cows. *J Dairy Sci* 2004; 87: 4123-31.
- Gellrich K, Sigl T, Meyer HHD, Wiedemann S. Cortisol levels in skimmed milk during the first 22 weeks of lactation and response to short-term metabolic stress and lameness in dairy cows. *J Anim Sci Biotechnol* 2015; 6: 31.
- Glatz-Hoppe J, Onken F, Eggert A, Mohr E, Losand B. Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation. First part: Milk performance and composition of German dairy breeds by comparison *Züchtungskunde*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2019a; 91: 423-48.
- Glatz-Hoppe J, Mohr E, Losand B. Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation. Second part: Evaluation scheme for the assessment of milk ingredients at farm level *Züchtungskunde*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2019b; 91: 449-37.
- Gomez A, Cook NB, Rieman J, Dunbar KA, Cooley KE, Socha MT, Döpfer D. The effect of digital dermatitis on hoof conformation. *J Dairy Sci* 2015; 98: 927-36.
- Green LE, Hedges VJ, Schukken YH, Blowey RW, Packington AJ. The Impact of Clinical Lameness on the Milk Yield of Dairy Cows. *J Dairy Sci* 2002; 85: 2250-6.
- Green LE, Borkert J, Monti G, Tadich N. Associations between lesion-specific lameness and the milk yield of 1,635 dairy cows from seven herds in the Xth region of Chile and implications for management of lame dairy cows worldwide. *Anim Welf* 2010; 19: 419-27.
- Green LE, Huxley JN, Banks C, Green MJ. Temporal associations between low body condition, lameness and milk yield in a UK dairy herd. *Prev Vet Med* 2014; 113: 63-71.
- Greenough PR. Development of an approach to lameness examination in cattle. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 1985; 1: 3-11.
- Greenough PR, Vermunt JJ. Evaluation of subclinical laminitis in a dairy herd and observations on associated nutritional and management factors. *Vet Rec* 1991; 128: 11-7.
- Griffiths BE, Grove White D, Oikonomou G. A Cross-Sectional Study Into the Prevalence of Dairy Cattle Lameness and Associated Herd-Level Risk Factors in England and Wales. *Front Vet Sci* 2018; 5: 65.
- Griffiths BE, Mahen PJ, Hall R, Kakatsidis N, Britten N, Long K, Robinson L, Tatham H, Jenkin R, Oikonomou G. A Prospective Cohort Study on the Development of Claw Horn Disruption Lesions in Dairy Cattle; Furthering our Understanding of the Role of the Digital Cushion. *Front Vet Sci* 2020; 7: 440.
- Grimm K, Haidn B, Erhard M, Tremblay M, Döpfer D. New insights into the association between lameness, behaviour and performance in Simmental cows. *J Dairy Sci* 2019; 102: 2453-68.
- Gröhn YT, McDermott JJ, Schukken YH, Hertl JA, Eicker SW. Analysis of correlated continuous repeated observations: modelling the effect of ketosis on milk yield in dairy cows. *Prev Vet Med* 1999; 39: 137-53.

- Guard C. Investigating herds with lameness problems. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2001; 17: 175-87, vii.
- Gustafson GM. Effects of daily exercise on the health of tied dairy cows. *Prev Vet Med* 1993; 17: 209-23.
- Halasa T, Huijps K, Østerås O, Hogeveen H. Economic effects of bovine mastitis and mastitis management: A review. *Vet Q* 2007; 29: 18-31.
- Harms J (2015) Ökonomische und produktionstechnische Analyse der Milchproduktion und Färsenaufzucht. In: *Verfahrensoptimierung zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit*. Institut für Pflanzenproduktion und Betriebswirtschaft, Gülzow-Prüzen
- Haskell MJ, Rennie LJ, Bowell VA, Bell MJ, Lawrence AB. Housing system, milk production, and zero-grazing effects on lameness and leg injury in dairy cows. *J Dairy Sci* 2006; 89: 4259-66.
- Hassall SA, Ward WR, Murray RD. Effects of lameness on the behaviour of cows during the summer. *Vet Rec* 1993; 132: 578-80.
- Hernandez-Mendo O, von Keyserlingk MAG, Veira DM, Weary DM. Effects of Pasture on Lameness in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 2007; 90: 1209-14.
- Hernandez J, Shearer JK, Webb DW. Effect of lameness on milk yield in dairy cows. *J Am Vet Med Assoc* 2002; 220: 640-4.
- Herzberg D, Strobel P, Ramirez-Reveco A, Werner M, Bustamante H. Chronic Inflammatory Lameness Increases Cytokine Concentration in the Spinal Cord of Dairy Cows. *Front Vet Sci* 2020; 7
- Hirst WM, Murray RD, Ward WR, French NP. A mixed-effects time-to-event analysis of the relationship between first-lactation lameness and subsequent lameness in dairy cows in the UK. *Prev Vet Med* 2002; 54: 191-201.
- Hoffman AC, Moore DA, Wenz JR, Vanegas J. Comparison of modeled sampling strategies for estimation of dairy herd lameness prevalence and cow-level variables associated with lameness. *J Dairy Sci* 2013; 96: 5746-55.
- Hohenbrink S, Meinecke-Tillmann S. Influence of social dominance on the secondary sex ratio and factors affecting hierarchy in Holstein dairy cows. *J Dairy Sci* 2012; 95: 5694-701.
- Holzhauser M, Hardenberg C, Bartels CJ, Frankena K. Herd- and cow-level prevalence of digital dermatitis in the Netherlands and associated risk factors. *J Dairy Sci* 2006; 89: 580-8.
- Horseman S, Roe E, Huxley J, Bell NJ, Mason C, Whay H. The use of in-depth interviews to understand the process of treating lame dairy cows from the farmers' perspective. *Animal Welf* 2014; 23: 157-65.
- Hut PR, Hostens MM, Beijaard MJ, van Eerdenburg FJCM, Hulsen JHJL, Hooijer GA, Stassen EN, Nielen M. Associations between body condition score, locomotion score, and sensor-based time budgets of dairy cattle during the dry period and early lactation. *J Dairy Sci* 2021; 104: 4746-63.

- Iqbal Z, Akbar H, Hosseini A, Forteguerra E, Osorio J, Loores J. Digital Cushion Fatty Acid Composition and Lipid Metabolism Gene Network Expression in Holstein Dairy Cows Fed a High-Energy Diet. *PLOS ONE* 2016; 11: e0159536.
- Ito K, Chapinal N, Weary DM, von Keyserlingk MA. Associations between herd-level factors and lying behavior of freestall-housed dairy cows. *J Dairy Sci* 2014; 97: 2081-9.
- Jensen KC, Oehm AW, Campe A, Stock A, Woudstra S, Feist M, Müller KE, Hoedemaker M, Merle R. German Farmers' Awareness of Lameness in Their Dairy Herds. *Front Vet Sci* 2022; 9: 866791.
- Jensen MB, Herskin MS, Thomsen PT, Forkman B, Houe H. Preferences of lame cows for type of surface and level of social contact in hospital pens. *J Dairy Sci* 2015; 98: 4552-9.
- Kempson SA, Logue DN. Ultrastructural observations of hoof horn from dairy cows: changes in the white line during the first lactation. *Vet Rec* 1993; 132: 524-7.
- Kerr KL (1998) Affecting the incidence of lameness by altering the housing. Proc. 10th Int. Symp. Lameness Rumin. Lucerne, Switzerland. 38-9
- King MTM, Pajor EA, Leblanc SJ, Devries TJ. Associations of herd-level housing, management, and lameness prevalence with productivity and cow behavior in herds with automated milking systems. *J Dairy Sci* 2016; 99: 9069-79.
- Knott L, Tarlton JF, Craft H, Webster AJ. Effects of housing, parturition and diet change on the biochemistry and biomechanics of the support structures of the hoof of dairy heifers. *Vet J* 2007; 174: 277-87.
- Kossaibati MA, Esslemont RJ. The costs of production diseases in dairy herds in England. *Vet J* 1997; 154: 41-51.
- Kritzinger F, Schoder G (2009a) Gesund und fit bringt optimale Leistung, BCS. Body Condition Scoring für Holstein. Oberösterreichischer Tiergesundheitsdienst, Linz, Austria
- Kritzinger F, Schoder G (2009b) Gesund und fit bringt optimale Leistung, BCS. Body Condition Scoring für Fleckvieh. Oberösterreichischer Tiergesundheitsdienst, Linz, Austria
- Laven RA, Lawrence KE, Weston JF, Dowson KR, Stafford KJ. Assessment of the duration of the pain response associated with lameness in dairy cows, and the influence of treatment. *N Z Vet J* 2008; 56: 210-7.
- Leach KA, Logue DN, Kempson SA, Offer JE, Ternent HE, Randall JM. Claw lesions in dairy cattle: development of sole and white line haemorrhages during the first lactation. *Vet J* 1997; 154: 215-25.
- Leach KA, Whay HR, Maggs CM, Barker ZE, Paul ES, Bell AK, Main DC. Working towards a reduction in cattle lameness: 1. Understanding barriers to lameness control on dairy farms. *Res Vet Sci* 2010; 89: 311-7.
- Leach KA, Tisdall DA, Bell NJ, Main DC, Green LE. The effects of early treatment for hindlimb lameness in dairy cows on four commercial UK farms. *Vet J* 2012; 193: 626-32.

- Leonard FC, O'Connell J, O'Farrell K. Effect of different housing conditions on behaviour and foot lesions in Friesian heifers. *Vet Rec* 1994; 134: 490-4.
- Leroy JL, Vanholder T, Van Kneysel AT, Garcia-Ispierto I, Bols PE. Nutrient prioritization in dairy cows early postpartum: mismatch between metabolism and fertility? *Reprod Domest Anim* 2008; 43 Suppl 2: 96-103.
- Lim PY, Huxley JN, Willshire JA, Green MJ, Othman AR, Kaler J. Unravelling the temporal association between lameness and body condition score in dairy cattle using a multistate modelling approach. *Prev Vet Med* 2015; 118: 370-7.
- Livesey CT, Laven RA. Effects of housing and intake of methionine on the growth and wear of hoof horn and the conformation of the hooves of first-lactation Holstein heifers. *Vet Rec* 2007; 160: 470-6.
- Loberg J, Telezhenko E, Bergsten C, Lidfors L. Behaviour and claw health in tied dairy cows with varying access to exercise in an outdoor paddock. *Appl Anim Behav Sci* 2004; 89: 1-16.
- Logroño JC, Rearte R, Corva SG, Domínguez GA, de la Sota RL, Madoz LV, Giuliadori MJ. Lameness in Early Lactation Is Associated with Lower Productive and Reproductive Performance in a Herd of Supplemented Grazing Dairy Cows. *Animals (Basel)* 2021; 11
- Manske T. Hoof lesions and lameness in Swedish dairy cattle. Diss. med. vet. 2002. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Manson FJ, Leaver JD. The influence of concentrate amount on locomotion and clinical lameness in dairy cattle. *Anim Prod* 1988; 47: 185-90.
- Manson FJ, Leaver JD. The effect of concentrate silage ratio and of hoof trimming on lameness in dairy cattle. *Anim Prod* 1989; 49: 15-22.
- McLellan KJ, Weary DM, von Keyserlingk MAG. Effects of free-choice pasture access on lameness recovery and behavior of lame dairy cattle. *J Dairy Sci* 2022; 105: 6845-57.
- McNamara JP, Harrison JH, Kincaid RL, Waltner SS. Lipid metabolism in adipose tissue of cows fed high fat diets during lactation. *J Dairy Sci* 1995; 78: 2782-96.
- Melendez P, Gomez V, Bothe H, Rodriguez F, Velez J, Lopez H, Bartolome J, Archbald L. Ultrasonographic ovarian dynamic, plasma progesterone, and non-esterified fatty acids in lame postpartum dairy cows. *J Vet Sci* 2018; 19: 462-7.
- Merle R, Busse M, Rechter G, Meer U. Regionalisation of Germany by data of agricultural structures. *Berl Munch Tierarztl Wochenschr* 2012; 125: 52-9.
- Murray RD, Downham DY, Clarkson MJ, Faull WB, Hughes JW, Manson FJ, Merritt JB, Russell WB, Sutherst JE, Ward WR. Epidemiology of lameness in dairy cattle: description and analysis of foot lesions. *Vet Rec* 1996; 138: 586-91.
- Newsome R, Green MJ, Bell NJ, Chagunda MGG, Mason CS, Rutland CS, Sturrock CJ, Whay HR, Huxley JN. Linking bone development on the caudal aspect of the distal phalanx with lameness during life. *J Dairy Sci* 2016; 99: 4512-25.

- Newsome RF, Green MJ, Bell NJ, Bollard NJ, Mason CS, Whay HR, Huxley JN. A prospective cohort study of digital cushion and corium thickness. Part 1: Associations with body condition, lesion incidence, and proximity to calving. *J Dairy Sci* 2017; 100: 4745-58.
- Nielsen BH, Thomsen PT, Green LE, Kaler J. A study of the dynamics of digital dermatitis in 742 lactating dairy cows. *Prev Vet Med* 2012; 104: 44-52.
- Nocek JE. Bovine acidosis: implications on laminitis. *J Dairy Sci* 1997; 80: 1005-28.
- Nowak RM (1999) Walker's Mammals of the World, Sixth edn. Johns Hopkins University Press, Baltimore
- Nuss K, Kolp E, Braun U, Weidmann E, Hässig M. Klauengrösse von Schottischen Hochland-Kühen nach Weide- und Laufstallhaltung. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2014; 156: 433-40.
- Nuss K, Kofler J, Fiedler A, Steiner A. Spezielle Diagnostik und Therapie. In: *Erkrankungen der Klauen und Zehen des Rindes*, 2. edn. Fiedler A, Maierl J, Nuss K, eds. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2019: 102-74.
- O'Driscoll K, McCabe M, Earley B. Differences in leukocyte profile, gene expression, and metabolite status of dairy cows with or without sole ulcers. *J Dairy Sci* 2015; 98: 1685-95.
- Oberbauer AM, Berry SL, Belanger JM, McGoldrick RM, Pinos-Rodriguez JM, Famula TR. Determining the heritable component of dairy cattle foot lesions. *J Dairy Sci* 2013; 96: 605-13.
- Oehm AW, Knubben-Schweizer G, Rieger A, Stoll A, Hartnack S. A systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows. *BMC Vet Res* 2019; 15: 346.
- Oehm AW. A systematic review and meta-analyses of risk factors associated with lameness in dairy cows. *Diss. med. vet.* 2019. Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Oehm AW, Merle R, Tautenhahn A, Jensen KC, Mueller KE, Feist M, Zablotzki Y. Identifying cow - level factors and farm characteristics associated with locomotion scores in dairy cows using cumulative link mixed models. *PLOS ONE* 2022; 17: e0263294.
- OIE WOofAH (2018) Terrestrial Animal Health Code. World Organisation for Animal Health OIE, Paris, France
- Onyiro OM, Offer J, Brotherstone S. Risk factors and milk yield losses associated with lameness in Holstein-Friesian dairy cattle. *animal* 2008; 2: 1230-7.
- Ossent P, Lischer CJ. Bovine laminitis: the lesions and their pathogenesis. In *Practice* 1998; 20: 415 - 27.
- Pérez-Cabal MA, Alenda R. Clinical lameness and risk factors in a Spanish Holstein population. *Livest Sci* 2014; 164: 168-74.
- Plaizier JC, Krause DO, Gozho GN, McBride BW. Subacute ruminal acidosis in dairy cows: The physiological causes, incidence and consequences. *Vet J* 2008; 176: 21-31.
- PraeRi (2020) Animal health, hygiene and biosecurity in German dairy cow operations – a prevalence study (PraeRi). Final Report, June 30, 2020. Stiftung Tierärztliche Hochschule

Hannover, Hannover

Pritchard T, Coffey M, Mrode R, Wall E. Understanding the genetics of survival in dairy cows. 2013; 96: 3296-309.

Radostits OM, Gay CC. Diseases of the muskuloskelettal system. In: A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs, and goats, 10th edn. Hinchcliff KW, Constable PD, eds. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Saunders Elsevier 2007: 621-49.

Randall LV, Green MJ, Chagunda MGG, Mason C, Archer SC, Green LE, Huxley JN. Low body condition predisposes cattle to lameness: An 8-year study of one dairy herd. *J Dairy Sci* 2015; 98: 3766-77.

Randall LV, Green MJ, Green LE, Chagunda MGG, Mason C, Archer SC, Huxley JN. The contribution of previous lameness events and body condition score to the occurrence of lameness in dairy herds: A study of 2 herds. *J Dairy Sci* 2018; 101: 1311-24.

Ranjbar S, Rabiee AR, Gunn A, House JK. Identifying risk factors associated with lameness in pasture-based dairy herds. *J Dairy Sci* 2016; 99: 7495-505.

Rauw WM, Kanis E, Noordhuizen-Stassen EN, Grommers FJ. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. *Livest Prod Sci* 1998; 56: 15-33.

Reader JD, Green MJ, Kaler J, Mason SA, Green LE. Effect of mobility score on milk yield and activity in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2011; 94: 5045-52.

Richert RM, Cicconi KM, Gamroth MJ, Schukken YH, Stiglbauer KE, Ruegg PL. Perceptions and risk factors for lameness on organic and small conventional dairy farms. 2013; 96: 5018-26.

Römer A. Investigations on longevity of German Holstein cows. *Züchtungskunde*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2011; 83: 8-20.

Rouha-Mülleder C, Iben C, Wagner E, Laaha G, Troxler J, Waiblinger S. Relative importance of factors influencing the prevalence of lameness in Austrian cubicle loose-housed dairy cows. *Prev Vet Med* 2009; 92: 123-33.

Rowlands GJ, Russell AM, Williams LA. Effects of stage of lactation, month, age, origin and heart girth on lameness in dairy cattle. *Vet Rec* 1985; 117: 576-80.

Ruddat I, Hoedemaker M, Orgel C. Prävalenz von Lahmheiten unterschiedlichen Grades in der Früh-laktation von Milchkühen und deren Einfluss auf Fruchtbarkeitsparameter. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 2016; 44: 207-17.

Rutherford KM, Langford FM, Jack MC, Sherwood L, Lawrence AB, Haskell MJ. Lameness prevalence and risk factors in organic and non-organic dairy herds in the United Kingdom. *Vet J* 2009; 180: 95-105.

Šárová R, Stěhulová I, Kratinová P, Firla P, Spinka M. Farm managers underestimate lameness prevalence in Czech dairy herds. *Anim Welf* 2011; 20: 201-4.

- Schöpke K, Weidling S, Pijl R, Swalve HH. Relationships between bovine hoof disorders, body condition traits, and test-day yields. *J Dairy Sci* 2013; 96: 679-89.
- Schulz T, Gundelach Y, Feldmann M, Hoedemaker M. Early detection and treatment of lame cows. Effect on duration and prevalence of lesion-specific lameness *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere* 2016; 44: 5-11.
- Schwarz G. Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics* 1978; 6: 461-4, 4.
- Setia MS. Methodology Series Module 3: Cross-sectional studies. *Indian J Dermatol* 2016; 61: 261-4.
- Shanks RD, Freeman AE, Berger PJ, Kelley DH. Effect of Selection for Milk Production and General Health of the Dairy Cow. *J Dairy Sci* 1978; 61: 1765-72.
- Shearer JK, van Amstel SR. Pathogenesis and Treatment of Sole Ulcers and White Line Disease. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2017; 33: 283-300.
- Slagboom M, Kargo M, Edwards D, Sørensen AC, Thomasen JR, Hjortø L. Organic dairy farmers put more emphasis on production traits than conventional farmers. *J Dairy Sci* 2016; 99: 9845-56.
- Sogstad AM, Fjeldaas T, Osteras O, Forshell KP. Prevalence of claw lesions in Norwegian dairy cattle housed in tie stalls and free stalls. *Prev Vet Med* 2005; 70: 191-209.
- Solano L, Barkema HW, Pajor EA, Mason S, LeBlanc SJ, Zaffino Heyerhoff JC, Nash CGR, Haley DB, Vasseur E, Pellerin D, Rushen J, de Passillé AM, Orsel K. Prevalence of lameness and associated risk factors in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *J Dairy Sci* 2015; 98: 6978-91.
- Solano L, Barkema HW, Pajor EA, Mason S, LeBlanc SJ, Nash CGR, Haley DB, Pellerin D, Rushen J, de Passillé AM, Vasseur E, Orsel K. Associations between lying behavior and lameness in Canadian Holstein-Friesian cows housed in freestall barns. *J Dairy Sci* 2016; 99: 2086-101.
- Somers JG, Frankena K, Noordhuizen-Stassen EN, Metz JH. Prevalence of claw disorders in Dutch dairy cows exposed to several floor systems. *J Dairy Sci* 2003; 86: 2082-93.
- Sood P, Nanda AS. Effect of lameness on estrous behavior in crossbred cows. *Theriogenology* 2006; 66: 1375-80.
- Stanek C. Examination of the Locomotor System. In: *Lameness in Cattle*, Third edn. Greenough P, Weaver AD, eds. Philadelphia, Pennsylvania, USA: Saunders Company 1997: 14-23.
- Statistisches Bundesamt (2005) Durchschnittliches Schlachtgewicht von Rindern und Kälbern in Deutschland in den Jahren 1900 bis 2022 Statista, Statista GmbH
- Statistisches Bundesamt (2022) Fachserie 3, Reihe 4.1 Viehbestand. Ed Land und Forstwirtschaft F. Destatis, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
- StMELF Bayern (2020) Rinderzucht und -haltung in Bayern. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, München, Germany. 6

StMELF Bayern. Ökologischer Landbau. LandwirtschaftMunic, Germany: Bayrisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2022: <https://www.stmelf.bayern.de/landwirtschaft/oekolandbau/index.php>. Oct.

Sundrum A. Metabolic Disorders in the Transition Period Indicate that the Dairy Cows' Ability to Adapt is Overstressed. *Animals (Basel)* 2015; 5: 978-1020.

Tarlton JF, Holah DE, Evans KM, Jones S, Pearson GR, Webster AJ. Biomechanical and histopathological changes in the support structures of bovine hooves around the time of first calving. *Vet J* 2002; 163: 196-204.

Tergast H. Entwicklung der Milchproduktion in Deutschland. *Milchproduktion*. *Milchtrends*, ed. Braunschweig: Bundesinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei 2022: <https://www.milchtrends.de/daten-und-fakten/milchproduktion>.

Thoefner MB, Wattle O, Pollitt CC, French KR, Nielsen SS. Histopathology of oligofructose-induced acute laminitis in heifers. *J Dairy Sci* 2005; 88: 2774-82.

Thomas HJ, Remnant JG, Bollard NJ, Burrows A, Whay HR, Bell NJ, Mason C, Huxley JN. Recovery of chronically lame dairy cows following treatment for claw horn lesions: a randomised controlled trial. *Vet Rec* 2016; 178: 116.

Thomsen PT, Kjeldsen AM, Sørensen JT, Houe H. Mortality (including euthanasia) among Danish dairy cows (1990-2001). *Prev Vet Med* 2004; 62: 19-33.

Thomsen PT, Houe H. Dairy cow mortality. A review. *Vet Q* 2006; 28: 122-9.

Thomsen PT, Shearer JK, Houe H. Prevalence of lameness in dairy cows: A literature review. *Vet J* 2023; 295: 105975.

Tomlinson DJ, Mülling CH, Fakler TM. Invited Review: Formation of Keratins in the Bovine Claw: Roles of Hormones, Minerals, and Vitamins in Functional Claw Integrity. *J Dairy Sci* 2004; 87: 797-809.

Tsousis G, Boscov C, Praxitelous A. The negative impact of lameness on dairy cow reproduction. *Reprod Domest Anim* 2022; 57 Suppl 4: 33-9.

Tucker CB, Weary DM, Fraser D. Effects of three types of free-stall surfaces on preferences and stall usage by dairy cows. *J Dairy Sci* 2003; 86: 521-9.

van der Tol PPJ, Metz JHM, Noordhuizen-Stassen EN, Back W, Braam CR, Weijs WA. Frictional Forces Required for Unrestrained Locomotion in Dairy Cattle. *J Dairy Sci* 2005; 88: 615-24.

Vanegas J, Overton M, Berry SL, Sisco WM. Effect of Rubber Flooring on Claw Health in Lactating Dairy Cows Housed in Free-Stall Barns. *J Dairy Sci* 2006; 89: 4251-8.

Vijayakumar M, Park JH, Ki KS, Lim DH, Kim SB, Park SM, Jeong HY, Park BY, Kim TI. The effect of lactation number, stage, length, and milking frequency on milk yield in Korean Holstein dairy cows using automatic milking system. *Asian-Australas J Anim Sci* 2017; 30: 1093-8.

- VIT (2008) Jahresbericht 2007. Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V.
- VIT (2020) Trends Fakten Zahlen 2020. In: Jahresbericht. Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung w.V., Verden
- Von Keyserlingk MA, Weary DM (2008) Behavior of freestall housed cows. High Plains Dairy Conference. Albuquerque, New Mexico. 7-16
- von Keyserlingk MAG, Rushen J, de Passillé AM, Weary DM. Invited review: The welfare of dairy cattle—Key concepts and the role of science. *J Dairy Sci* 2009; 92: 4101-11.
- Wagner K, Brinkmann J, March S, Hinterstoißer P, Warnecke S, Schüler M, Paulsen HM. Impact of Daily Grazing Time on Dairy Cow Welfare-Results of the Welfare Quality(®) Protocol. *Animals (Basel)* 2017; 8: 1.
- Walker S, Smith R, Jones D, Routly J, Morris M, Dobson H. The Effect of a Chronic Stressor, Lameness, on Detailed Sexual Behaviour and Hormonal Profiles in Milk and Plasma of Dairy Cattle. *Reprod Domest Anim* 2010; 45: 109-17.
- Walker SL, Smith RF, Jones DN, Routly JE, Dobson H. Chronic stress, hormone profiles and estrus intensity in dairy cattle. *Horm Behav* 2008; 53: 493-501.
- Wangler A, Blum E, Böttcher I, Sanftleben P. Lebensleistung und Nutzungsdauer von Milchkühen aus der Sicht einer effizienten Milchproduktion. *Züchtungskunde*, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2009; 81: 341-60.
- Wangler A, Harms J. Verlängerung der Nutzungsdauer der Milchkühe durch eine gute Tiergesundheit bei gleichzeitig hoher Lebensleistung zur Erhöhung der Effizienz des Tiereinsatzes. *Forschungsbericht der LFA MV* 2009;
- Warnick LD, Janssen D, Guard CL, Grohn Y. The Effect of Lameness on Milk Production in Dairy Cows. *J Dairy Sci* 2001; 84: 1988-97.
- Wathes DC, Brickell JS, Bourne NE, Swali A, Cheng Z. Factors influencing heifer survival and fertility on commercial dairy farms. *animal* 2008; 2: 1135-43.
- Weber A, Stamer E, Junge W, Thaller G. Genetic parameters for lameness and claw and leg diseases in dairy cows. *J Dairy Sci* 2013; 96: 3310-8.
- Weigele HC, Gygax L, Steiner A, Wechsler B, Burla JB. Moderate lameness leads to marked behavioral changes in dairy cows. *J Dairy Sci* 2018; 101: 2370-82.
- Welfare Quality (2009) *Welfare Quality: Assessment protocol for cattle*, 1st edn. Welfare Quality Consortium, Lelystad, Netherlands. 142
- Whay HR, Waterman AE, Webster AJF. Associations between locomotion, claw lesions and nociceptive threshold in dairy heifers during the peri-partum period. *Vet J* 1997; 154: 155-61.
- Whay HR, Waterman AE, Webster AJ, O'Brien JK. The influence of lesion type on the duration of hyperalgesia associated with hindlimb lameness in dairy cattle. *Vet J* 1998; 156: 23-9.
- Whay HR, Main DC, Green LE, Webster AJF (2002) Farmer perception of lameness

prevalence. Proc. 12th Int. Symp. Lameness Rumin. Orlando, Florida. 355-8

Whay HR, Main DC, Green LE, Webster AJ. Assessment of the welfare of dairy cattle using animal-based measurements: direct observations and investigation of farm records. *Vet Rec* 2003; 153: 197-202.

Whay HR, Webster AJF, Waterman-Pearson AE. Role of ketoprofen in the modulation of hyperalgesia associated with lameness in dairy cattle. *Vet Rec* 2005; 157: 729-33.

Whay HR, Shearer JK. The Impact of Lameness on Welfare of the Dairy Cow. *Vet Clin North Am Food Anim Pract* 2017; 33: 153-64.

Whitaker DA, Kelly JM, Smith S. Disposal and disease rates in 340 British dairy herds. *Vet Rec* 2000; 146: 363-7.

Wierenga HK, Hopster H. The significance of cubicles for the behaviour of dairy cows. *Appl Anim Behav Sci* 1990; 26: 309-37.

Wilson JP, Randall LV, Green MJ, Rutland CS, Bradley CR, Ferguson HJ, Bagnall A, Huxley JN. A history of lameness and low body condition score is associated with reduced digital cushion volume, measured by magnetic resonance imaging, in dairy cattle. *J Dairy Sci* 2021; 104: 7026-38.

Zhang G, Hailemariam D, Dervishi E, Goldansaz SA, Deng Q, Dunn SM, Ametaj BN. Dairy cows affected by ketosis show alterations in innate immunity and lipid and carbohydrate metabolism during the dry off period and postpartum. *Res Vet Sci* 2016; 107: 246-56.

IX. DANKSAGUNG

Mein vorrangiger Dank gilt Dr. Andreas Öhm für die Betreuung der Arbeit, die Mithilfe bei der Konzeption, der statistischen Analysen, der Veröffentlichung der Publikation und der Anfertigung dieser Arbeit sowie meiner Doktormutter Prof. Dr. Gabriela Knubben-Schweizer für die Überlassung des Themas.

Ebenfalls herzlich danken möchte ich dem Team des Praeri-Projektes für die Überlassung des umfangreichen Datensatzes, ohne den diese Studie nicht möglich gewesen wäre. Besonders zu nennen sind hier die Koautor|inn|en der Publikation: Dr. Annegret Stock, Dr. Charlotte Jensen, Dr. Roswitha Merle, Dr. Alexander Stoll, Dr. Melanie Feist, Prof. Dr. Kerstin-Elisabeth Müller und Prof. Dr. Martina Hoedemaker.

Mein ganz besonderer Dank gilt außerdem meiner Familie, allen voran meiner Mutter, und meinen Freunden, die mich auf dem Weg hierher unermüdlich unterstützt, motiviert und mir in den schwierigen Phasen konsequent den Rücken freigehalten haben.