

***Untersuchungen zur Früherkennung von Klauenerkrankungen
bei Milchkühen mittels nichtinvasiver technischer Verfahren***

Dissertation zur Erlangung des
Doktorgrades der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

der

Naturwissenschaftlichen Fakultät III
Agrar- und Ernährungswissenschaften,
Geowissenschaften und Informatik

der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von:

Frau Dipl.-Ing. agr. (FH) Ulrike Heyde
geb. am 04.10.1985 in Finsterwalde

Gutachter:

Prof. Dr. rer. nat. Eberhard von Borell
Prof. Dr. agr. Steffi Geidel

Tag der Verteidigung: 22.10.2018

Inhaltsverzeichnis

I	Abkürzungsverzeichnis	4
II	Tabellenverzeichnis	6
III	Abbildungsverzeichnis	9
1	Einleitung und Zielstellung	11
2	Literaturübersicht	13
2.1	Bedeutung und Folgen von Klauenerkrankungen	13
2.1.1	Auftreten von Klauenerkrankungen	13
2.1.2	Ökonomischer Aspekt	14
2.1.3	Abgangszahlen	16
2.1.4	Tierschutz und Schmerzausdrucksverhalten	17
2.2	Klauenerkrankungen und Ableitung für die Klauengesundheitsüberwachung	19
2.3	Methoden zur Klauengesundheitsüberwachung	20
2.3.1	Visuelle Lahmheitsbewertung	20
2.3.2	Technische Methoden	22
2.3.2.1	Biomechanische Sensortechniken	23
2.3.2.1.1	Videoanalyse	23
2.3.2.1.2	Kraftmessung und Wiegesysteme	24
2.3.2.1.3	Aktivitätsmessung und Accelerometrie	26
2.3.2.2	Infrarotthermografie	28
2.3.2.2.1	Wärmestrahlung und Infrarotthermografie	28
2.3.2.2.2	IR-Messregion an den Extremitäten	29
2.3.2.2.3	IR-Messfläche und IR-Kenngrößen an Extremitäten	30
2.3.2.2.4	Einflussfaktoren auf die IR-Messung an Extremitäten	32
2.3.2.2.5	Klinische Anwendung der IRT an Rinderklauen	34
3	Material und Methode	39
3.1	Betriebe und Tierauswahl	39
3.2	IR-Messung	41
3.2.1	Messtechnik und Messkonfiguration	41
3.2.2	IR-Aufnahme	42
3.2.3	Erstellen der IR-Kenngrößen	43
3.3	Erhebung der Klauenbefunde	46
3.4	Erhebungsrhythmus und Datenumfang	48
3.5	Datenverarbeitung und statistische Analyse	50
3.5.1	Aufbereitung der Befunddaten	50
3.5.2	Verknüpfung von IR-Daten und Befunddaten	50
3.5.3	Statistische Auswertung	51
3.5.3.1	IR-Daten	51
3.5.3.2	Befunddaten	52

3.5.3.3	IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit	52
3.5.3.4	Analysemethoden zur Identifizierung von Klauenerkrankungen	52
3.5.3.4.1	Vergleich tierindividueller Hinterfüße	54
3.5.3.4.2	Zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße	56
4	Ergebnisse.	59
4.1	IR-Daten.	59
4.1.1	IR-Temperaturkenngrößen.	59
4.1.2	IR-Flächenkenngrößen.	60
4.2	Befunddaten	62
4.2.1	Erkrankungshäufigkeiten	62
4.2.2	Häufigkeiten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit	63
4.3	IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit	64
4.3.1	Vergleich von Hinterfüßen mit „negativem Befund“ und Hinterfüßen mit „positivem Befund“	64
4.3.1.1	IR-Temperaturkenngrößen.	64
4.3.1.2	IR-Flächenkenngrößen.	67
4.3.2	Vergleich tierindividueller Differenzen zwischen Hinterfüßen mit „negativem Befund“ und zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“	70
4.3.2.1	IR-Temperaturkenngrößen	70
4.3.2.2	IR-Flächenkenngrößen.	73
4.4	Identifizierung von Klauenerkrankungen	76
4.4.1	Vergleich tierindividueller Hinterfüße	76
4.4.2	Zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße.	77
5	Diskussion und Schlussfolgerung	80
5.1	IR-Messung.	80
5.1.1	Messkonfiguration und Messtechnik	80
5.1.2	Berücksichtigung umgebungs- und tierbedingter Einflüsse	81
5.1.3	Messobjekt, IR-Messregion, IR-Messfläche und IR-Kenngröße	82
5.2	IR-Daten	84
5.2.1	IR-Daten in beiden Betrieben.	84
5.2.2	IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit und Identifizierung von Klauenerkrankungen	84
6	Zusammenfassung	89
7	Summary	91
8	Literaturverzeichnis	93
Anhang	103
A	Statistische Kennwerte und Histogramme beider Hinterfüße	103
B	Ergebnisse der ROC-Analyse zum Vergleich tierindividueller Hinterfüße.	111
C	Ergebnisse des diagnostischen Tests zur zeitlichen Beobachtung tierindividueller Hinterfüße	113

I Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
€	Euro
°C	Grad Celsius
ADR	Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V.
AUC	area under the curve, Fläche unter der ROC-Kurve
AVA	arteriovenöse Anastomose
B/S	Besonderheiten/Sonstiges
BF	Ballenhornfäule
BT	Befundtag
d	Tag
DD	Mortellaro (Dermatitis digitalis)
DID	Klauenfäule (Dermatitis interdigitalis)
DS	Doppelte Sohle
fn	falsch negativ
fp	falsch positiv
HL	linker Hinterfuß
hmax	größtes lokales Maximum im geglätteten Histogramm
hmin	größtes lokales Minimum im geglätteten Histogramm
HR	rechter Hinterfuß
HS	Hornspalt
IR	Infrarot
IRT	Infrarotthermografie
K	Kelvin
kg	Kilogramm
KSG	Klauensohlengeschwür in untypischer Lokalisation
LCS	Locomotion Scoring, visuelle Lahmheitsbeurteilung
LI	Limax (Tylom)
LKV	Landeskontrollverband
LT	Laktationstag
Max	Maximum
max	Maximaltemperatur
max2	Maximaltemperatur 2%
max5	Maximaltemperatur 5%
maxAvg5	Temperaturmittelwert der 5 heißesten Pixel
maxAvg9	Temperaturmittelwert der 9 heißesten Pixel
maxmax	Hotspot
mean	Temperaturmittelwert
Min	Minimum
MW	Arithmetischer Mittelwert
N	Anzahl
nV	negativer Vorhersagewert
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
PH	Phlegmone (Schwellung des Fußes)

pV	positiver Vorhersagewert
RE	Klauenrehe (Laminitis)
rel30	relativer Flächenanteil $\geq 30^\circ\text{C}$
rel32	relativer Flächenanteil $\geq 32^\circ\text{C}$
rel34	relativer Flächenanteil $\geq 34^\circ\text{C}$
relmax85	relativer Flächenanteil $\geq 85\%$ der Maximaltemperatur
relmax95	relativer Flächenanteil $\geq 95\%$ der Maximaltemperatur
rn	richtig negativ
ROC	Receiver Operating Characteristic
rp	richtig positiv
RSG	Rusterholz'sches Sohlengeschwür
SD	Standardabweichung
Se	Sensitivität
SEM	Standardfehler des Mittelwerts
SG	Sohlengeschwür
SK	Schwellung des Kronsaumes
Sp	Spezifität
SSG	Sohlenspitzenengeschwür
STG	Steingalle (Druckstelle)
WL	Wandläsion (Sohlenwandgeschwür)
WLD	Weiß-Linie-Defekt (Zusammenhangstrennung der weißen Linie)
ZP	Zwischenzehenphlegmone (Panaritium)

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht direkter und indirekter finanzieller Verluste aufgrund von Klauenerkrankungen (VERMUNT 2004, S. 4)	15
Tabelle 2: Entwicklung der Abgangszahlen (%) aufgrund Klauen- und Gliedmaßenerkrankungen von MLP-Kühen (2008–2014) bundesweit und für östliche Bundesländer (ADR 2009; ADR 2010; ADR 2011; ADR 2012; ADR 2013; ADR 2014; ADR 2015)	17
Tabelle 3: Übersicht für Einteilung ausgewählter Klauenerkrankungen hinsichtlich Infektion, Wärme und Lahmheit (GÜNTHER 1983, S. 45ff.; FIEDLER & MAIERL 2004, S. 78ff.; STEINER 2005; DIRKSEN 2006, S. 912ff.; KOCH 2008; DLG E. V. 2010)	19
Tabelle 4: Übersicht unterschiedlicher Studien bezüglich Versuchsdesign und Messkonfiguration für IR-Messung an Extremitäten	31
Tabelle 5: Übersicht der Validitätsmaße zur Erkennung von Klauenerkrankungen mittels IRT.	38
Tabelle 6: Charakteristik der Untersuchungsbetriebe	39
Tabelle 7: Visuelle Lahmheitsbeurteilung nach SPRECHER et al. (1997)	40
Tabelle 8: Boniturschlüssel für Integumentschäden und Umfangsvermehrung (abgeändert nach WILLEN 2004, S. 39)	40
Tabelle 9: Charakteristik der Untersuchungstiere in beiden Betrieben zum Messbeginn	41
Tabelle 10: IR-Kenngrößen in Betrieb 1 (Mittelwert aus ca. 10 IR-Bilder, außer „maxmax“).	45
Tabelle 11: IR-Kenngrößen in Betrieb 2 (Mittelwert aus ca. 10 IR-Bilder, außer „maxmax“).	45
Tabelle 12: Diagnosen entsprechend der Lokalisation an Außen-, Innenklaue und Gesamtklaue am Beispiel unterschiedlicher Fälle des linken Hinterfußes	46
Tabelle 13: Diagnoseschlüssel für Klauenerkrankungen nach DLG E. V. (2010)	47
Tabelle 14: Übersicht Untersuchungszeitraum und Datenumfang für Betrieb 1 und Betrieb 2	49
Tabelle 15: Temperaturwert bei dreifacher Standardabweichung und Anzahl für Ausreißer je IR-Temperaturkenngröße beider Hinterfüße (Betrieb 1, Betrieb 2)	52
Tabelle 16: Vierfeldertafel des diagnostischen Tests (modifiziert nach SCHWARZER 2002a).	54
Tabelle 17: Befundstatus beider Hinterfüße (HL/HR) für den Vergleich tierindividueller Hinterfüße	55
Tabelle 18: Maximale Anzahl fehlender IR-Messtage für die Berechnung der Tagesmittelwerte aus x Tagen (x=3, 5, 7, 10, 14, 21)	57
Tabelle 19: Darstellung von Algorithmus4 (IR-Kenngröße $_{BT} > IR\text{-Kenngröße}_{x\text{-Tage-MW}+0,5SD}$) für 7 Tage und 21 Tage ausgehend vom Befundtag am Beispiel vom linken Hinterfuß eines Untersuchungstieres für IR-Kenngröße „max“.	58

Tabelle 20: Statistische Kennwerte am Beispiel von „max“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“, „HL+HR oben“ (Betrieb 1) und „HL+HR“ (Betrieb 2)	59
Tabelle 21: Statistische Kennwerte am Beispiel von „maxmax“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“, „HL+HR oben“ (Betrieb 1) und „HL+HR“ (Betrieb 2)	60
Tabelle 22: Statistische Kennwerte am Beispiel von „rel30“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“ und „HL+HR oben“ (Betrieb 1)	61
Tabelle 23: Anzahl Befundungen und Tiere für Betrieb 1 und Betrieb 2	62
Tabelle 24: Absolute und relative Häufigkeit diagnostizierter Erkrankungen für Betrieb 1 und Betrieb 2	63
Tabelle 25: Absolute und relative Häufigkeit in Abhängigkeit von der Klauengesundheit (Betrieb 1)	63
Tabelle 26: Absolute und relative Häufigkeit in Abhängigkeit von der Klauengesundheit (Betrieb 2)	63
Tabelle 27: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (t-Test für unabhängige Stichproben) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR unten“).	65
Tabelle 28: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (t-Test für unabhängige Stichproben) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR oben“)	66
Tabelle 29: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (t-Test für unabhängige Stichproben) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2, IR-Messflächen „HL+HR“)	67
Tabelle 30: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR unten“)	68
Tabelle 31: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR oben“)	69
Tabelle 32: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)	71
Tabelle 33: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)	72
Tabelle 34: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL“, „HR“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2).	73

Tabelle 35: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)	74
Tabelle 36: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)	75
Tabelle 37: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1, IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“).	78
Tabelle 38: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“).	79

III Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Nichtinvasive Methoden zur Überwachung der Klauengesundheit.	20
Abbildung 2:	Beispiel der „trackway“-Analyse (BAHR et al. 2008)	24
Abbildung 3:	Messdaten von Kraftsensoren im Melkroboter für linke und rechte Hintergliedmaße einer Kuh mit Erkrankungsphase (rechte Hintergliedmaße aufgrund Zwischenklauenphlegmone), Isolierung in Krankengruppe (Datenlücke) und Zeitraum der Genesung (KUJALA et al. 2008)	26
Abbildung 4:	Aktivitätsrückgang einer lahmen Kuh mit einem Klauengeschwür und Aktivitätsanstieg nach Behandlung (MAZRIER et al. 2006)	27
Abbildung 5:	Mechanismen des Wärmeübergangs zwischen Körperkern und Hautoberfläche (innerer Gradient) und zwischen Haut und Umgebung (äußerer Gradient) (HÖRNICKE 1987, S. 148)	28
Abbildung 6:	ROC-Kurve tierindividueller Temperaturdifferenzen zwischen Hinter- und Vorderfüßen zur Identifikation von Dermatitis Digitalis (AUC-Wert 0,84 ; $p < 0,001$) (ALSAOUD et al. 2014)	35
Abbildung 7:	Wärmebilder von Hinterfüßen (GSCHÖDERER et al. 2006)	36
Abbildung 8:	IR-Temperatur (auf 10 °C Umgebungstemperatur korrigiert) erkrankter Hinterfüße für 6 Wochen vor (-3, -2, -1) und nach (1, 2, 3) dem Befundtag (0) im Abstand von 14 Tagen (WOOD et al. 2015)	37
Abbildung 9:	Messkonfiguration am Außenmelkerkarussell	41
Abbildung 10:	IR-Messflächen für linken und rechten Hinterfuß (HL, HR) in Betrieb 1.	43
Abbildung 11:	IR-Messflächen für linken und rechten Hinterfuß (HL, HR) in Betrieb 2.	43
Abbildung 12:	Ableitung der IR-Temperaturkenngrößen „mean“, „max“, „max2“ und „max5“ anhand Histogramm einer IR-Messfläche (modifiziert nach LANDGRAF 2015, S. 57).	44
Abbildung 13:	Ableitung der IR-Temperaturkenngrößen „hmin“ und „hmax“ anhand geglättetem Histogramm einer IR-Messfläche (modifiziert nach LANDGRAF 2015, S. 60)	44
Abbildung 14:	Zeitliche Abfolge der Datenerhebung während Untersuchungszeitraum in Betrieb 1	48
Abbildung 15:	Zeitliche Abfolge der Datenerhebung während Untersuchungszeitraum in Betrieb 2	48
Abbildung 16:	Beispiel eines tierindividuellen IR-Temperatur-Verlaufs („max“) des linken und rechten Hinterfußes (HL, HR) einschließlich Befundtage und Diagnosen	51
Abbildung 17:	ROC-Kurve mit dazugehörigen Werten aus ROC-Analyse	56

Abbildung 18:	Histogramme am Beispiel von „rel30“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“ (links) und „HL+HR oben“ (rechts) (Betrieb 1)	61
Abbildung 19:	Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR unten“).	64
Abbildung 20:	Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR oben“)	65
Abbildung 21:	Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2, IR-Messflächen „HL+HR“)	66
Abbildung 22:	Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR unten“).	68
Abbildung 23:	Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR oben“)	69
Abbildung 24:	Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)	70
Abbildung 25:	Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)	71
Abbildung 26:	Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL“, „HR“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2)	72
Abbildung 27:	Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)	74
Abbildung 28:	Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)	75
Abbildung 29:	ROC-Kurve tierindividueller Differenzwerte zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen für „relmax95“ (Betrieb 1)	76
Abbildung 30:	ROC-Kurve tierindividueller Differenzwerte zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen für „rel30“ (Betrieb 1)	77

1 Einleitung und Zielstellung

Der Einsatz automatisierter Verfahren ist ein wichtiger Bestandteil der modernen Landwirtschaft. Die heutige Automatisierung in der Milchproduktion reicht vom unterstützenden Managementwerkzeug zur Leistungs- und Gesundheitsüberwachung bis hin zur vollständigen Tätigkeitsübernahme im Produktionsprozess. Der Technikeinsatz trägt nicht nur zur Optimierung der Betriebswirtschaft bei, sondern sichert und steigert gleichzeitig die Tiergesundheit. Gesunde und langlebige Tiere bilden die Grundlage für die rentable Erzeugung hochwertiger Produkte, welche den Anforderungen der Verbraucher nachkommen. Für das tierische Wohlbefinden nimmt der Gesundheitsstatus der Rinderklau eine wichtige Rolle ein. Zum Aufsuchen unterschiedlicher Funktionsbereiche (Futter-, Liege-, Melkbereich) ist die Milchkuh in der modernen Laufstallhaltung auf ein stabiles Fundament angewiesen. Nach WINCKLER (2009, S. 97) können die täglich zurückgelegten Strecken zwischen den einzelnen Funktionsbereichen 300 Meter bis vier Kilometer betragen. Ist der mehrmals tägliche Gang zum Futtertisch beeinträchtigt und dadurch die Futteraufnahme gestört oder kann das Brunstverhalten nicht ausgelebt werden, können ursächliche Klauenschäden zu weiteren Problemen führen. Als Konsequenz entstehen dem landwirtschaftlichen Betrieb erhebliche finanzielle Verluste in Form von geringer Milchleistung, Körperkondition, Fruchtbarkeitsleistung, Schlachtleistung, erhöhtem Behandlungs- und Arbeitsaufwand sowie gesteigerten Bestandsergänzungskosten (VERMUNT 2004, S. 4; DIRKSEN 2006, S. 912). Aus wirtschaftlicher Sicht muss das Tier zu meist verfrüht aus dem Produktionsprozess ausscheiden. Das Abgangsalter für Milchkuhe der Rasse Deutsche Holsteins Schwarzbunt beträgt 5,4 Jahre (ADR 2015). Klauen- und Gliedmaßenerkrankungen zählen neben Fruchtbarkeitsstörungen und Eutererkrankungen zu den Hauptabgangsgründen (ADR 2015). Als weitere Folge von Klauenerkrankungen leidet die Milchkuh unter Schmerzen, welche umso länger anhalten je später die Krankheit erkannt und behandelt wird. Aus Sicht des Tierschutzes gilt es Schmerzen, Leiden oder Schäden zu vermeiden und das Wohlbefinden des Tieres zu sichern (TIERSCHG 2014). Zur Überwachung der Klauengesundheit werden bislang Methoden genutzt, welche auf Anomalien des Gangbildes beruhen. Die gebräuchlichste Methode in der Praxis stellt nach wie vor die visuelle Bewegungsbeurteilung (Locomotion Scoring, LCS) dar. Jedoch ist dieses Verfahren von einer subjektiven Einschätzung belastet und bei heutigen Tierbestandsgrößen mit einem hohen Arbeits- und Zeitaufwand verbunden. Dies führte in der

Vergangenheit zur Entwicklung objektiver und technischer Verfahren (z. B. Stepmetrix™). Jedoch haben sich diese Verfahren in der Praxis bislang nicht durchsetzen können. Eine weitere Methode zur Krankheitserkennung stellt die Infrarotthermografie (IRT) dar. In bisherigen Studien konnte eine Temperaturerhöhung an erkrankten Füßen nachgewiesen werden (NIKKHAH et al. 2005; GSCHÖDERER et al. 2006; ALSAAOD & BÜSCHER 2012; MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012; ALSAAOD et al. 2013; PASSARGE 2013; ALSAAOD et al. 2014; WOOD et al. 2015). Durch das frühzeitige Erkennen von Klauenschäden können finanzielle Verluste eingeschränkt, der Behandlungserfolg erhöht, unnötige Schmerzen vermieden und das Wohlbefinden des Tieres gesteigert werden.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Nutzung der IRT zur Detektion von Klauenerkrankungen bei Milchkühen zu untersuchen. Dabei wurden zwei Herangehensweisen verfolgt:

- Vergleich tierindividueller Hinterfüße zur Überprüfung relevanter Unterschiede für erkrankte Füße,
- zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße zur Bestimmung von Veränderungen erkrankter Füße.

Beiden Analysemethoden wurde die These einer erhöhten IR-Temperatur (IR = Infrarot) mit dem Auftreten von Klauenerkrankungen zu Grunde gelegt. Weiterhin war von Interesse, welche IR-Kenngröße und welche IR-Messfläche der plantaren Fußregion sich für die Krankheitserkennung am besten eignen. Dazu wurden erstmalig unterschiedliche IR-Messflächen am Hinterfuß und eine Vielzahl von IR-Kenngrößen, insbesondere IR-Flächenkenngrößen analysiert. Für die vorliegende Untersuchung dienten Verlaufsdaten der bisher genauesten IR-Messung aus zwei Praxisversuchen. Unter Einhaltung standardisierter Messbedingungen wurden etwaige Einflussfaktoren konstant gehalten, was eine Krankheitserkennung ohne komplexe Korrekturmodelle von Einflussgrößen ermöglichen sollte. Weiterhin wurde aus praktischen Gesichtspunkten keine Reinigung der Hinterfüße vor der IR-Messung vorgenommen.

2 Literaturübersicht

2.1 Bedeutung und Folgen von Klauenerkrankungen

2.1.1 Auftreten von Klauenerkrankungen

Störungen des Bewegungsapparates sind größtenteils (ca. 90 %) auf die Klauen zurückzuführen (VERMUNT 2004, S. 4; RESSLER 2014). Dabei sind die Hintergliedmaßen häufiger (ca. 80 %) von Lahmheit betroffen als die Vordergliedmaßen (VERMUNT 2004, S. 4). In der Studie von DEMIR et al. (2013) wurden 67% der Erkrankungen an den Klauen der Hintergliedmaßen erfasst. Ebenso stellten MANSKE et al. (2002) fest, dass die meisten der untersuchten Klauenerkrankungen zwei bis viermal öfter an den Klauen der Hintergliedmaßen gegenüber denen der Vordergliedmaßen vertreten waren. Ein weiteres Ergebnis dieser und einer anderen Studie (SMITS et al. 1992) zeigten, dass Läsionen überwiegend beidseitig auftraten. Ein zusätzliches Erkrankungsrisiko aufgrund ungünstiger Gewichtsverteilung besteht zudem für die vorderen Innenklauen sowie hinteren Außenklauen (HULSEN 2005, S. 9). Bei analysierten Klauen der Hintergliedmaße waren die lateralen Klauen häufiger von Defekten betroffen als die medialen Klauen (SMITS et al. 1992; DYER et al. 2007; WILHELM 2010, S. 42).

Zur Auswirkung von Tier- und Betriebsfaktoren auf die Klauengesundheit wurden in der Vergangenheit vielfach Untersuchungen unternommen. RÖMER (2012) fand z. B. keinen Einfluss der Milchleistungshöhe auf die Erkrankungshäufigkeit analysierter Einzeldiagnosen (Sohlungeschwür, Mortellaro, Klauenrehe, Limax). Mit zunehmender Laktationsnummer traten tendenziell mehr Klauenprobleme auf, wobei sich für einzelne Erkrankungen Unterschiede ergaben (SMITS et al. 1992; PIJL & SWALVE 2006; RÖMER 2012). Ebenso stellten WARNICK et al. (2001) gehäufte Lahmheitsfälle bei älteren Kühen fest. Bezüglich der Frequenz von Klauenkrankheiten in Abhängigkeit vom Laktationsstadium zeigten sich tendenziell im zweiten Laktationsmonat für die meisten untersuchten Defekte (SMITS et al. 1992) sowie zwischen dem 50. und 100. Laktationstag für Klauenrehe (PIJL & SWALVE 2006; SCHÖPKE et al. 2013) ein vermehrtes Auftreten. Aus der Studie von MANSKE et al. (2002) ging außerdem hervor, dass das Vorhandensein bestimmter Erkrankungen die Entwicklung anderer Läsionen begünstigt. So bestand z. B. zwischen Ballhornfäule und Dermatitiserkrankungen sowie Sohlenblutungen und Sohlungeschwüre ein nachweislicher Zusammenhang (MANSKE et al. 2002). Weiterhin zeigte sich, dass eine Verlängerung des Pflegeintervalls mit einem Anstieg von Klauenläsionen einhergeht

(RÖMER 2012) sowie eine unregelmäßige Klauenpflege mit einem erhöhten Lahmheitsrisiko verbunden ist (KATSOULOS & CHRISTODOULOPOULOS 2009). Weitere Einflussgrößen auf die Klauengesundheit stellen unter anderem Hygiene, Einsatz von Klauenbädern, Fütterung, Gestaltung von Lauf- und Liegeflächen, Jahreszeit, Abwehrkraft der Kuh, Krankheit, Genetik, Laktationsstadium, Körpergewicht und -höhe sowie Körperkondition dar (WANGLER 2004; HULSEN 2005; SWALVE et al. 2008; KATSOULOS & CHRISTODOULOPOULOS 2009; SCHÖPKE et al. 2013).

2.1.2 Ökonomischer Aspekt

Im Vergleich zu anderen Gesundheitsstörungen stellen Lahmheiten bzw. Klauendefekte die zweit bis dritt teuerste Erkrankung in der Milchproduktion dar (ENTING et al. 1997; O'CALLAGHAN 2002; VERHOEF 2012; FIEDLER 2014; RESSLER 2014; OUARED et al. 2015). Laut WANGLER (2004) führen bereits leichte Lahmheiten oder kleinere Läsionen zur Beeinträchtigung der Milchleistung, Futteraufnahme und Fruchtbarkeit. FIEDLER (2014) ist der Auffassung, dass bis zur Feststellung einer deutlichen Lahmheit dem Betrieb beträchtliche finanzielle Verluste entstanden sind. DIRKSEN (2006, S. 912) spricht von einem leistungsmindernden „Verzögerungseffekt“ zwischen dem Beginn und Sichtbarwerden des Klauendefekts. Auch HULSEN (2005, S. 31) sieht bereits geringe Abweichungen vom physiologischen Gang mit versteckten Kosten bzw. entgangenem Gewinn verbunden. Den Untersuchungen von ROBINSON & JUAREZ (2011) zufolge wird die Beeinträchtigung der Futteraufnahme und Milchleistung schon ab einer Bewegungsnote von 2 (5-Punkte-Bewertungssystem nach SPRECHER et al. 1997) deutlich und erhöht sich mit zunehmender Lahmheit. DIRKSEN (2006, S. 912) vermutet, dass der Schaden durch Klauenprobleme ein größeres Ausmaß annimmt als allgemein bekannt ist, da des Öfteren Zusammenhänge zwischen Klauenerkrankungen und bestimmten Stoffwechsel- und Fruchtbarkeitsstörungen, Euterentzündungen und sonstigen Abgangsursachen noch unerkant sind. Demzufolge lassen sich monetäre Verluste nur schwer quantifizieren, da auch Folgeschäden von Klauenerkrankungen zu Kosten führen (RESSLER 2014). VERMUNT (2004, S. 4) unternahm eine Einteilung in direkte und indirekte Kosten (Tabelle 1, S. 15).

Tabelle 1: Übersicht direkter und indirekter finanzieller Verluste aufgrund von Klauenerkrankungen (VERMUNT 2004, S. 4)

Direkte Kosten	Indirekte Kosten
<ul style="list-style-type: none"> • Behandlungskosten • Milchsperrung bei Antibiotika-Therapie • Vorbeugemaßnahmen bzgl. Klauengesundheit • Frühzeitige unfreiwillige Schlachtung • Erhöhte Bestandsergänzungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Verringerte Milchproduktion • Reduzierte Körperkondition und Fruchtbarkeitsleistung • Erhöhtes Risiko für Mastitis

KOFLER (2014) ergänzte die indirekten bzw. verborgenen Kosten um erhöhte Arbeitskosten für Management und Behandlung lahmer Kühe sowie innerhalb der herabgesetzten Fruchtbarkeitsleistung um verminderte Brunstanzeichen, verlängerte Rast- und Zwischenkalbezeiten und erhöhten Besamungsindex. Aufgrund der indirekten Kosten können die Gesamtkosten je Erkrankungsfall deutlich über den direkten Kosten liegen (KOSSAIBATI & ESSLEMONT 1997). VERMUNT (2004, S. 4) betonte, dass Tierarzt- oder Behandlungskosten nur einen geringen Kostenanteil im Vergleich zu verminderter Fruchtbarkeit, Milchleistung und den Merzungskosten darstellen. So kamen KOSSAIBATI & ESSLEMONT (1997) zu dem Ergebnis, dass eine geringe Fruchtbarkeit, eine hohe Merzungsrate und eine geringe Milchproduktion die Hauptverluste darstellen. BRUIJNIS et al. (2010) konnten dieses Resultat bestätigen, indem sie Milchverluste (44 %) und die vorzeitige Schlachtung (22 %) als die größten Kostenquellen am Gesamtverlust herausstellten, gefolgt von verminderter Fruchtbarkeit (12 %) und erhöhtem Arbeitsaufwand (12 %). Tierarztbesuche (1,5 %), Behandlungskosten (1,4 %) und nicht verwertbare Milch (3,8 %) nahmen den geringsten Anteil an den Gesamtkosten ein (BRUIJNIS et al. 2010).

Der Untersuchung von GREEN et al. (2002) zufolge ergab sich für lahme Kühe ein Milchverlust von 360 kg pro 305-Tage Laktation für den Zeitraum 4 Monate vor bis 5 Monate nach der Diagnose. WARNICK et al. (2001) konnten zwar keine verminderte Milchproduktion vor der Diagnose feststellen, aber ≥ 2 Wochen nach der Behandlung hatten klauenkranke Tiere im Vergleich zu den gesunden Tieren nachweislich bis zu 1,5 kg/Tag weniger Milch produziert. Darüber hinaus bezifferten OUARED et al. (2015) den täglichen Leistungseinfall lahmer Kühe mit 8,2 Liter Milch. Ebenso wiesen OKAIYETO et al. (2012) und PENEV & STANKOV (2015) eine signifikante Abnahme der Milchleistung aufgrund von Lahmheit nach. Hinsichtlich der Fruchtbarkeit stellten bereits COLLICK et al. (1989) fest, dass Lahmheit mit verlängerten Rast- und Zwischentragezeiten sowie herabgesetzter

Trächtigkeitsrate und erhöhtem Besamungsindex einhergeht. Zum gleichen Ergebnis der Fruchtbarkeitseinschränkung lahmer bzw. klauenerkrankter Kühe kamen auch SPRECHER et al. (1997) und SOGSTAD et al. (2006).

Literaturangaben zufolge können Gesamtkosten von ca. 150€ bis 280€¹ je Lahmheitsfall angenommen werden (KOSSAIBATI & ESSLEMONT 1997; CHA et al. 2010). In der Studie von BRUIJNIS et al. (2010) verursachte Mortellaro mit der höchsten Inzidenzrate im klinischen Stadium gegenüber anderen Läsionen die meisten Kosten. Nach KOSSAIBATI & ESSLEMONT (1997) und CHA et al. (2010) waren Sohlengeschwüre die teuerste Klauenerkrankung. Anhand der Literaturergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass mit zunehmender Lahmheit bzw. schwerwiegender Klauenerkrankung gleichzeitig größere ökonomische Verluste verbunden sind (VERMUNT 2004, S. 5; ROBINSON & JUAREZ 2011).

2.1.3 Abgangszahlen

Mittlerweile zählt der Komplex der Klauen- und Gliedmaßenkrankungen zu einer der häufigsten Abgangsursachen in den Produktionsbetrieben. Deutschlandweit scheiden aktuell 11 % der Kühe aufgrund von Erkrankungen am Bewegungsapparat vorzeitig aus dem Produktionsprozess aus (ADR 2015). Nach Fruchtbarkeitsproblemen (21,2%), sonstigen Ursachen (19,9%) und Euterkrankheiten (14,2%) stehen Klauen- und Gliedmaßenkrankungen an vierter Stelle (ADR 2015). Im Vergleich zu anderen Bundesländern Ostdeutschlands haben Sachsen und Thüringen derzeit die meisten Tierverluste infolge von Fundamentschäden zu verzeichnen (Tabelle 2, S. 17).

¹ Währungsumrechnung mit Kursdatum vom 16.01.18

Tabelle 2. Entwicklung der Abgangszahlen (%) aufgrund Klauen- und Gliedmaßenkrankungen von MLP-Kühen (2008–2014) bundesweit und für östliche Bundesländer (ADR 2009; ADR 2010; ADR 2011; ADR 2012; ADR 2013; ADR 2014; ADR 2015)

Jahr	bundesweit	Brandenburg	Mecklenburg-Vorpommern	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen
2008	10,5	12,2	8,4	17,2	10,9	16,6
2009	10,4	11,3	8,6	17,3	10,5	15,5
2010	10,5	11,6	9,0	17,9	11,1	15,5
2011	11,0	12,2	9,4	17,9	11,6	16,0
2012	11,0	12,4	9,7	17,5	12,4	15,7
2013	10,9	11,7	9,0	17,2	11,8	15,4
2014	11,1	11,8	9,1	17,8	12,0	16,4

2.1.4 Tierschutz und Schmerzausdrucksverhalten

Gemäß § 1 des Tierschutzgesetzes ist der Tierhalter für den Schutz von Leben und Wohlbefinden des Tieres verantwortlich. Das Zufügen von Schmerzen, Leiden oder Schäden ist ohne Vorliegen vernünftiger Gründe untersagt (TIERSchG 2014).

Lahmheit, als Reaktion auf Störungen im Bewegungsapparat, ist per Definition nach BUCHNER (2012, S. 145) auch eine Folge von Schmerz. In der Literatur wird die Lahmheit vielfach mit dem Schmerzempfinden verbunden (DIRKSEN 1990, S. 559; VERMUNT 2004, S. 3; HULSEN 2005, S. 9; KOFLER 2014; RESSLER 2014), was letztendlich zur Beeinträchtigung des Wohlbefindens führt (HASSALL et al. 1993; GALINDO & BROOM 2002; WALKER et al. 2008). Dabei werden infektiöse Erkrankungen einem akuten Schmerz und nichtinfektiöse Defekte einem chronischen Schmerz zugeordnet (O'CALLAGHAN 2002). RUSHEN et al. (2007) konnten durch Schmerzausschaltung (Lokalanästhesie der erkrankten Gliedmaße) aufzeigen, dass sich die Lahmheit reduzierte. Mithilfe eines Nozizeptionstests unternahmen WHAY et al. (1998) den Versuch das Schmerzempfinden an lahmen und klauengesunden Tieren zu bewerten. Demnach zeigten klauenkranke Tiere (Sohlungeschwür, Wandläsion, akute infektiöse Erkrankungen) eine signifikante Hyperalgesie gegenüber den gesunden Tieren (WHAY et al. 1998). Chronische Klauenschäden wie Sohlungeschwüre und Wandläsionen führten dabei zu einem anhaltend erhöhten Schmerzempfinden (wiederholter Nozizeptionstest nach 28 Tagen) (WHAY et al. 1998). Aus der Untersuchung von WHAY et al. (1998) und einer weiteren Studie (DYER et al. 2007) zur Schmerzmessung an Klauen in Verbindung mit der Gangbewertung ging außerdem hervor, dass trotz fehlender sichtbarer Bewegungsstörungen Schmerz vorhanden ist.

Die Fähigkeit das Schmerzausdrucksverhalten in Form von Lahmheit zu unterdrücken, sieht O'CALLAGHAN (2002) im Stoizismus der Rinder begründet, einer natürlichen Überlebensstrategie innerhalb der Räuber-Beute-Beziehung. Die Schmerzäußerung könnte eine Gefahr für das Rind darstellen (HOOFF et al. 1995, S. 235). Offensichtliche Anzeichen, wie die Lahmheit würden dem Raubtier eine leichte Beute signalisieren (HOOFF et al. 1995, S. 235). Dieses natürliche instinktive Verhalten der Schmerzunterdrückung führt wiederum zum verspäteten Feststellen von Lahmheiten, sodass Krankheiten erst im fortgeschrittenen Stadium registriert werden (O'CALLAGHAN 2002; O'CALLAGHAN et al. 2003). Untersuchungsergebnisse von SMITS et al. (1992) und MANSKE et al. (2002) zeigten dahingehend auf, dass im Vergleich zu festgestellten Lahmheiten deutlich mehr Klauenerkrankungen diagnostiziert wurden.

Es ist davon auszugehen, dass Klauenschäden eine gewisse Zeit vor offensichtlichen Gangproblemen existieren, und sich erst mit dem Fortschritt des Krankheitsprozesses und dem Überschreiten der Schmerzschwelle in entsprechende Verhaltensänderungen offenbaren (WEARY et al. 2006; GHOTOORLAR et al. 2012).

2.2 Klauenerkrankungen und Ableitung für die Klauengesundheitsüberwachung

Klauenerkrankungen lassen sich aus ätiologischem Aspekt in infektiöse und nicht infektiöse Krankheiten eindeutig unterteilen (Tabelle 3). Weiterhin kann eine Einteilung der Klauenkrankheiten anhand ihrer Symptome (Lahmheit, Wärmebildung) erfolgen, welche zur Überwachung der Klauengesundheit herangezogen werden können.

Tabelle 3: Übersicht für Einteilung ausgewählter Klauenerkrankungen hinsichtlich Infektion, Wärme und Lahmheit (GÜNTHER 1983, S. 45ff.; FIEDLER & MAIERL 2004, S. 78ff.; STEINER 2005; DIRKSEN 2006, S. 912ff.; KOCH 2008; DLG e. V. 2010)

	nicht infektiös	infektiös	nicht Wärme bildend	Wärme bildend	keine Lahmheit	Lahmheit
Ballenhornfäule (BF)		X	k. A.		X*	
Klauenfäule (DID)		X	k. A.			X ¹
Mortellaro (DD)		X	k. A.			X ¹⁻²
Phlegmone (PH)		X		X		X ¹⁻³
Klauenrehe (RE)	X			X***		X
Weiß-Linie-Defekt (WLD)	X		k. A.		X	
Wandläsion (WL)	X			X		X ²⁻³
Doppelte Sohle (DS)	X		k. A.		k. A.	
Steingalle (STG)	X		k. A.			X ¹⁻³
Rusterholz'sches Sohlengeschwür (RSG)	X			X****		X ¹⁻³
Sohlenspitzen- geschwür (SSG)	X			X		X ²⁻³
Klauensohlengeschwür (KSG)	X			X		X ²⁻³
Limax (LI)	X			X**	X*	

* kann Lahmheit verursachen, wenn tiefere Strukturen betroffen sind bzw. bei hochgradiger Ausbildung

** bei phlegmonöser Entzündung

*** bei akuter Form

**** bei chronisch-komplizierter Form

¹ geringgradig

² mittelgradig

³ hochgradig

2.3 Methoden zur Klauengesundheitsüberwachung

Ein frühzeitiges Erkennen bedeutet Abweichungen physiologischer Parameter von der gesundheitlichen Norm rechtzeitig wahrzunehmen (LANGE 2004a; LANGE 2004b). Voraussetzung dafür ist die regelmäßige Kontrolle des Einzeltieres (Gesundheitsmonitoring). Mit herkömmlicher Tierbeobachtung lässt sich dieser Forderung aufgrund wachsender Herden nicht nachkommen. Dennoch ist die visuelle Lahmheitsbewertung in den landwirtschaftlichen Betrieben immer noch ein wichtiges und viel eingesetztes Instrument, obwohl dieses Verfahren neben einer mangelhaften Früherkennung zusätzlich an weitere Grenzen stößt, wie in Kap. 2.3.1 angeführt wird. Für die heutige moderne Tierhaltung werden große Anstrengungen unternommen, automatisierte Systeme zu erforschen und zu entwickeln. Abbildung 1 gibt eine Übersicht herkömmlicher und zukunftsrelevanter Methoden zur Überwachung der Klauengesundheit. Im Folgenden werden die Methoden näher beschrieben. Der Schwerpunkt wird dabei auf die Infrarotthermografie gelegt.

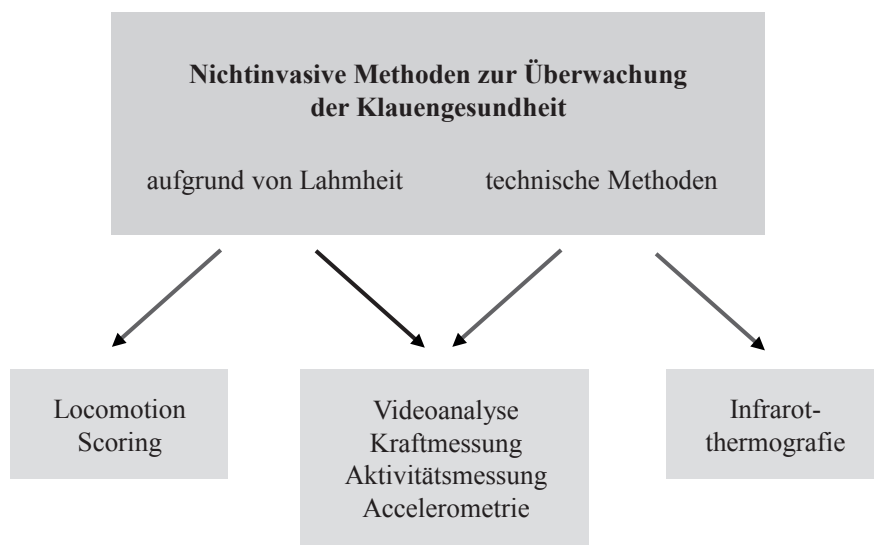


Abbildung 1: Nichtinvasive Methoden zur Überwachung der Klauengesundheit

2.3.1 Visuelle Lahmheitsbewertung

Die visuelle Lahmheitsbewertung stellt für das Herdenmanagement die bislang gebräuchlichste Methode zur Überwachung der Klauengesundheit dar. In der Vergangenheit wurden zahlreiche Bewertungssysteme entwickelt, welche in Bewegungs- bzw. Lahmheitsnoten kategorisiert sind (MANSON & LEAVER 1988; SPRECHER et al. 1997; WINCKLER & WILLEN 2001; AMORY et al. 2006; FLOWER & WEARY 2006; BERRY et al. 2008). Dabei stellt

das Verfahren von SPRECHER et al. (1997) mit einer Bewegungsnote von 1 (normaler Gang) bis 5 (schwer lahm) das praxistauglichste und das am häufigsten angewandte System für Kühe in der Laufstallhaltung dar (SOCHA et al. 2006; ROBINSON & JUAREZ 2011; KOFLER 2014). In Abhängigkeit vom jeweiligen Bewertungssystem erfolgt die Zuordnung anhand anatomischer und verhaltensrelevanter Merkmale (z. B. Rückenlinie während Stand und Fortbewegung, Kopfbewegung/-haltung beim Gehen, Schrittlänge, Belastung der Gliedmaßen, Symmetrie der Schritte, Laufgeschwindigkeit). Bei den Systemen von SPRECHER et al. (1997) und WINCKLER & WILLEN (2001) gelten Tiere ab einer Bewegungsnote von 3 als klinisch lahm. ROBINSON & JUAREZ (2011) zufolge werden die Noten 2 und 3 als subklinische Lahmheit und die Noten 4 und 5 als klinische Lahmheit betrachtet. Der Literatur zufolge sollten die Klauen ab einer Note von 2 untersucht werden, um die Ursache für das Unwohlsein zu bestimmen und somit Kühe vor der Entwicklung schwerwiegender Läsionen zu bewahren (SOCHA et al. 2006). SPRECHER et al. (1997), HULSEN (2005, S. 37), RESSLER (2014) sowie ROBINSON & JUAREZ (2011) fordern spätestens bei der Registrierung einer kyphotischen Rückenlinie im Stand (Bewegungsnote 3) zur sofortigen Überprüfung und gegebenenfalls Behandlung der Klauen auf.

Die visuelle Lahmheitsbewertung hat den Vorteil, dass dem Tierhalter ein verhältnismäßig schnelles (Bewertung pro Tier innerhalb weniger Sekunden möglich), unkompliziertes (einfache Anwendung) und preiswertes Verfahren bereitsteht, um die Fortbewegung der Kuh beurteilen zu können (WINCKLER & WILLEN 2001; ROBINSON & JUAREZ 2011; VIAZZI et al. 2013; NUFFEL et al. 2015a). Die Anwendung kann zudem in jedem Betrieb und zu jeder Zeit erfolgen (NUFFEL et al. 2015a). Allerdings ist die Beobachtung der Lokomotion als tägliches Monitoring-Instrument, insbesondere bei großen Tierbeständen im Verhältnis zum geringen Arbeitskräftebesatz, mit einem hohen Zeit- und Arbeitsaufwand verbunden, worunter eine frühzeitige Detektion und die rechtzeitige Behandlung leidet (WHAY 2002; BICALHO et al. 2007; SONG et al. 2008; LIU et al. 2009; MAERTENS et al. 2011; NUFFEL et al. 2015a). Dies kann in der Praxis dazu führen, dass sich die Lahmheitskontrolle z. B. auf den Treibevorgang im Zuge des Melkprozesses beschränkt. Unter diesen Bedingungen fallen lediglich die Tiere mit einer hochgradigen Lahmheit auf, da sie während des Treibens und innerhalb der Melkreihenfolge die letzten Kühe der Gruppe darstellen, wie aus Untersuchungen zum Verhalten lahmer Tiere hervorging (HASSALL et al. 1993; JUAREZ et al. 2003; WALKER et al. 2008; MAIN et al. 2010). Ein weiterer Nachteil ist vor allem in der subjektiven Beurteilung des Beobachters zu sehen, welche maßgeblich

von dessen Fähigkeit und Erfahrung abhängt (WHAY 2002; SOCHA et al. 2006; KUJALA et al. 2008; NUFFEL et al. 2015a). Diesbezüglich brachten verschiedene Studien geringe bis höchstens annehmbare Übereinstimmungen zwischen Beobachtern und innerhalb eines Beobachters hervor (WINCKLER & WILLEN 2001; O'CALLAGHAN et al. 2003; BICALHO et al. 2007; CHANNON et al. 2009). Mögliche Ursachen solcher Unstimmigkeiten sehen CHANNON et al. (2009) in der Qualität der Bewertungssysteme und dem damit verbundenen Urteilsvermögen des Beobachters. Nach der Ansicht von O'CALLAGHAN et al. (2003) können einfache bzw. grob kategorisierte Bewertungssysteme nicht hinreichend sein, um feine Veränderungen in der Belastung und Körperhaltung festzustellen. Hinzu kommt, dass nicht alle Klauenerkrankungen zwangsläufig eine Lahmheit hervorrufen (SMITS et al. 1992; MANSKE et al. 2002; O'CALLAGHAN et al. 2003; WILHELM 2010, S. 38 u. 73; RÖMER 2012). Ursachen dafür können sein, dass Erkrankungen nicht schmerzhaft genug sind, um eine Störung der Fortbewegung auszulösen (WHAY et al. 1998) und dass Beutetiere zum eigenen Schutz vor Raubtieren die Fähigkeit besitzen Schmerzen bis zu einem gewissen Grad zu verbergen (O'CALLAGHAN 2002; WEARY et al. 2006; s. auch Kap. 2.1.4, S. 17). Für den Beobachter besteht deshalb die Schwierigkeit die Erkrankung im frühen Stadium zu erkennen (WEARY et al. 2009). Sind außerdem Klauen mehrerer Gliedmaßen gleichzeitig betroffen, wie es häufig der Fall ist, können die Anzeichen von Lahmheit während der Bewegung ebenfalls maskiert sein (WHAY 2002) und insbesondere für den ungeübten Beobachter zur Erschwernis bei der Lahmheitsfeststellung führen (KOFLENER 2014).

2.3.2 Technische Methoden

Aufgrund der bestehenden Subjektivität der visuellen Lahmheitserkennung und der mangelhaften frühzeitigen Detektion klauenkranker Kühe, werden seit einiger Zeit große Anstrengungen zur Erprobung objektiver automatischer Messmethoden unternommen. Entsprechende Sensortechnologien umfassen z. B. die Videobildanalyse, die Anwendung von Wiegesystemen, die Aktivitätsmessung, die Accelerometrie und die Infrarotthermografie. Im Vergleich zur visuellen Methode unterstützen automatische Systeme eine kontinuierliche Datenerfassung, wobei die Kuh täglich überwacht (LIU et al. 2009; NUFFEL et al. 2015b) und demzufolge frühzeitig detektiert werden kann (MAERTENS et al. 2011; GHOTOORLAR et al. 2012). Beobachtungen von langsamen als auch plötzlichen Änderungen der Gewichtsbelastungen einzelner Gliedmaßen (PASTELL et al. 2006) oder die Präsenz beidseitiger Klauenprobleme (KUJALA et al. 2008) unterstreichen die Relevanz von

Langzeitmessungen auf täglicher Datenbasis. Für die Nutzung der Sensordaten in einem Erkennungssystem ist neben der kontinuierlichen Datengewinnung die Entwicklung und Validierung von Algorithmen notwendig, welche eine Unterscheidung zwischen klauenkranke und klauengesunde Kühe gewährleisten (NUFFEL et al. 2015b) und eine hohe Sensitivität, Spezifität sowie Reproduzierbarkeit aufweisen (LIU et al. 2009).

Die oben genannten Methoden werden im Folgenden näher beschrieben. Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der IRT liegt, wird eine Unterteilung in biomechanische Sensortechniken und der IRT vorgenommen.

2.3.2.1 Biomechanische Sensortechniken

Biomechanische Technologien verfolgen das Ziel, Elemente der visuellen Lahmheitsbeurteilung zu automatisieren. Dazu werden einzelne oder mehrere Verhaltensmerkmale lahmer Kühe (z. B. Gang- sowie Haltungsanomalien, ungleichmäßige Gewichtsverteilung, Schrittverkürzung) zum Gegenstand technischer Aufzeichnungen gemacht.

2.3.2.1.1 Videoanalyse

FLOWER et al. (2005) verwendeten erstmalig die Videotechnik zur Fortbewegungsanalyse von Milchkühen mit und ohne Klauenerkrankungen. Als Beispiel bewegten sich Kühe mit Sohlengeschwüre langsamer und machten kürzere Schritte im Vergleich zu gesunden Tieren (FLOWER et al. 2005). Mit dem Ziel, ein automatisches System zur Lahmheitserkennung zu entwickeln untersuchten BAHR et al. (2008) und SONG et al. (2008) bildtechnische Möglichkeiten zur Analyse der Positionierung von Hinter- und Vordergliedmaßen („trackway“-Analyse, Abbildung 2, S. 24). Erste Ergebnisse der „trackway“-Daten zeigten einen positiven linearen Zusammenhang zu visuellen Bewegungsnoten (Referenz) auf (SONG et al. 2008).

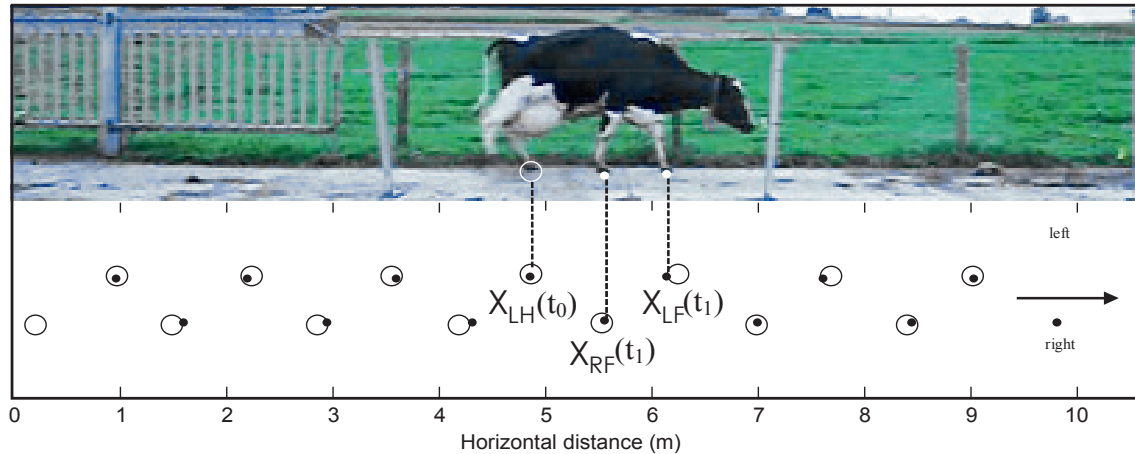


Abbildung 2: Beispiel der „trackway“-Analyse (BAHR et al. 2008)

Weiterführende Untersuchungen beinhalteten die videobasierte Bewertung der Rückenlinie (BAHR et al. 2008). Im Ergebnis war die Rückenwölbung mit zunehmender Bewegungsnote stärker ausgeprägt (BAHR et al. 2008). PILS et al. (2010) analysierten die Geometrie der Rückenlinie am stehenden Tier (Melkroboterbox). Anhand der Rückenhaltung entwickelten POURSABERI et al. (2010) am laufenden Tier Algorithmen zur automatischen Lahmheitserkennung und erreichten eine hohe Korrektklassifikationsrate für drei definierte Lahmheitskategorien. Obwohl sich die Rückenlinie als vielversprechendes Merkmal der automatischen Lahmheitserkennung darstellte, waren POURSABERI et al. (2010) der Ansicht, dass ein Lahmheitsindikator allein nicht ausreicht. Aufgrund der großen tierindividuellen Variabilität verwiesen VIAZZI et al. (2013) auf die Anwendung tierindividueller Grenzwerte bei der Entwicklung von Algorithmen.

2.3.2.1.2 Kraftmessung und Wiegesysteme

Messungen am laufenden Tier

Die Ergebnisse aus den Bewegungsstudien von FLOWER et al. (2005) und POURSABERI et al. (2010) führten die Autoren auf die Gewichtsreduzierung der erkrankten Gliedmaße zurück. Zur Erfassung der Gewichtsverteilung zwischen den Gliedmaßen am laufenden Tier setzten RAJKONDAWAR et al. (2002) Kraftmessplatten ein, mit denen die Messung von Bodenreaktionskräften einzelner Extremitäten möglich war. Es folgten Modellentwicklungen zur Identifikation lahmer Tiere (RAJKONDAWAR et al. 2006). Grundlegende Entwicklungen durch RAJKONDAWAR et al. (2002; 2006) führten zu dem bisher einzigen kommerziell verfügbaren Produkt StepMetric™ (BouMatic, Madison, Wisconsin, USA)

(LIU et al. 2009; WEBER 2013, S. 72). Hinsichtlich der Praxistauglichkeit dieser Technik liegen Untersuchungen vor, deren Ergebnisse jedoch eine geringe Zuverlässigkeit aufgrund technischer Probleme aufzeigten (WEBER 2013, S. 73) als auch Gegensätze bezüglich der Aussagesicherheit klauenkranker und klauengesunder Kühe offenlegten (BICALHO et al. 2007; LIU et al. 2009; WEBER 2013, S. 73). Weitere Untersuchungen auf dem Gebiet der Kraftmessung während der Fortbewegung erfolgten z. B. durch PASTELL et al. (2008) mit der Entwicklung eines Mattensystems auf Basis von Emfit-Kraftsensoren. Vorversuche zu diesem System zeigten Potenzial hinsichtlich der Differenzierung lahmer und gesunder Kühe (PASTELL et al. 2008).

Messungen am stehenden Tier

RUSHEN et al. (2007) und CHAPINAL et al. (2010) deckten bei Messungen am stehenden Tier auf, dass lahme Tiere das Gewicht zwischen kontralateralen Gliedmaßen häufiger wechseln. Auch HASSALL et al. (1993) wiesen nach, dass lahme Kühe während des Melkvorgangs unruhiger stehen.

Anhand von vier einzelnen Wiegeeinrichtungen, welche im Boden einer Melkroboterbox installiert wurden, arbeiteten PASTELL et al. (2006) an der Entwicklung eines automatischen Messsystems am stehenden Tier. Vorläufige Analysen von Gewichtsdaten und Trittfrequenzen einzelner Gliedmaßen zeigten vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Erkennung klauenkranker Tiere auf (PASTELL et al. 2006). Die Messdaten offenbarten, dass sich Klauenerkrankungen scheinbar über einen längeren Zeitraum entwickeln, wohingegen Verletzungen der digitalen Gliedmaße eher durch plötzliche Gewichtsänderungen ersichtlich sind (PASTELL et al. 2006). Dazu zeigten Analysen von KUJALA et al. (2008), dass das System zwar Tiere mit schwerwiegenden Defekten und einseitigen Erkrankungen leicht erkennen konnte, indem es für das erkrankte Bein innerhalb weniger Tage eine deutliche Gewichtsreduzierung und erhöhte Trittfrequenz aufzeigte (Abbildung 3, S. 26). Jedoch blieben andere Läsionen mit vermutlich geringerem Schmerzempfinden vom Wiegesystem unentdeckt, wie sich bei nachträglicher Inspektion der Klauen herausstellte (KUJALA et al. 2008). Zudem war es für das System schwieriger, Kühe mit bilateralen Fundamentschäden aufzudecken (KUJALA et al. 2008).

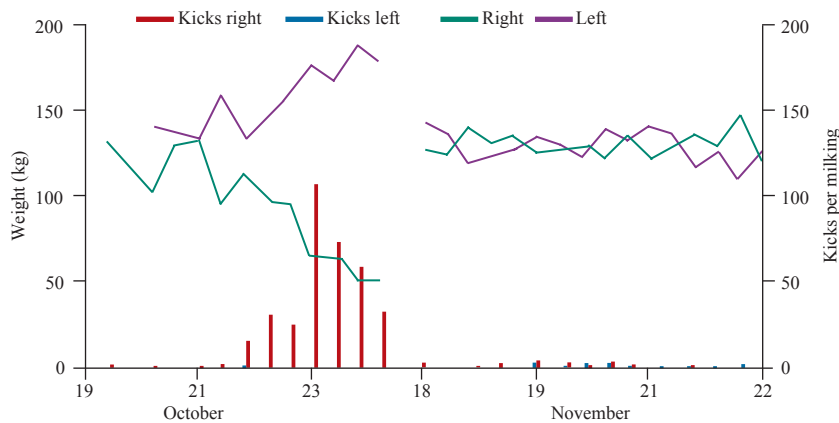


Abbildung 3: Messdaten von Kraftsensoren im Melkroboter für linke und rechte Hintergliedmaße einer Kuh mit Erkrankungsphase (rechte Hintergliedmaße aufgrund Zwischenklauenphlegmone), Isolierung in Krankengruppe (Datenlücke) und Zeitraum der Genesung (KUJALA et al. 2008)

Sind beide Beckengliedmaße betroffen, wechselt das Tier die Gewichtsbelastung zwischen den erkrankten Extremitäten (DIRKSEN 1990, S. 559; WHAY 2002), wodurch sich die Belastungsunterschiede in der Sensortechnik nicht deutlich genug zeigen würden (GHOTOORLAR et al. 2012). Im Vergleich zur herkömmlichen visuellen Lahmheitsbeurteilung erkannte das automatische Verfahren schwerwiegende Klauenerkrankungen schneller (KUJALA et al. 2008). Aufgrund regelmäßiger Überprüfungen und häufiger Reparaturen des Systems verwiesen die Autoren auf die Notwendigkeit technischer Optimierungen (KUJALA et al. 2008). Dennoch beurteilten KUJALA et al. (2008) das Wiegesystem als eine gute objektive Methode zur Erkennung von Lahmheiten und Überwachung von Heilungsprozessen. Weitere Probleme würden darin bestehen, wenn sich die Gliedmaßen außerhalb der Messplatten befinden oder sich das Tier am Geländer des Melkroboters abstützt (PASTELL et al. 2006; PASTELL et al. 2008). Das System ist zudem auf den Einsatz in automatischen Einheiten (Melkroboter, Kraftfutterstation) begrenzt (PASTELL et al. 2006; PASTELL et al. 2008).

Insgesamt sehen PASTELL et al. (2008) einen Mehrwert automatischer Alarmsysteme in der Kombination verschiedener Messsysteme. In diesem Zusammenhang erarbeiteten beispielsweise MAERTENS et al. (2011) und PLUK et al. (2012) Systeme zur automatischen Erfassung und Analyse tierindividueller Gewichts- und Bewegungsdaten.

2.3.2.1.3 Aktivitätsmessung und Accelerometrie

In der Literatur wird beschrieben, dass sich lahme Kühe nur widerwillig oder langsam fortbewegen (WHAY 2002). Entsprechend konnten FLOWER et al. (2005) und CHAPINAL et al.

(2010) eine reduzierte Laufgeschwindigkeit klauenkranker und lahmer Tiere nachweisen. Messungen mittels triaxialen Accelerometer offenbarten signifikante Unterschiede analysierter Beschleunigungswerte zwischen lahmen und lahmfreien Tieren (PASTELL et al. 2009; MANGWETH et al. 2012). Aus Verhaltensbeobachtungen ging nachweislich hervor, dass lahme Kühe als Konsequenz erhöhter Liegezeiten weniger Zeit mit dem Stehen und Gehen verbringen (WALKER et al. 2008). Ebenfalls bestimmten CHAPINAL et al. (2010) mithilfe von Accelerometer-Sensoren (IceTag, IceRobotics, Edinburgh, UK) längere Liegezeiten lahmer Kühe. Die Analyse der Schrittzahl zeigte jedoch keinen Effekt der Lahmheit (CHAPINAL et al. 2010). Im Gegensatz dazu konnten O'CALLAGHAN et al. (2003) anhand von Pedometermessungen geringere Schrittfrequenzen lahmer Kühe nachweisen. Auf der Basis tierindividueller Auswertungen von Pedometerdaten zeigte sich in der Studie von MAZRIER et al. (2006) ein Aktivitätsrückgang 7 bis 10 Tage vor der Feststellung einer klinischen Lahmheit (Abbildung 4), jedoch nur bei 55 % der lahmen Tiere. Ein weiterer Vergleich von Pedometerdaten vor und nach der Behandlung klauenkranker Tiere offenbarte wiederum keinen gravierenden Unterschied des Aktivitätsniveaus (MONTGOMERY et al. 2012).

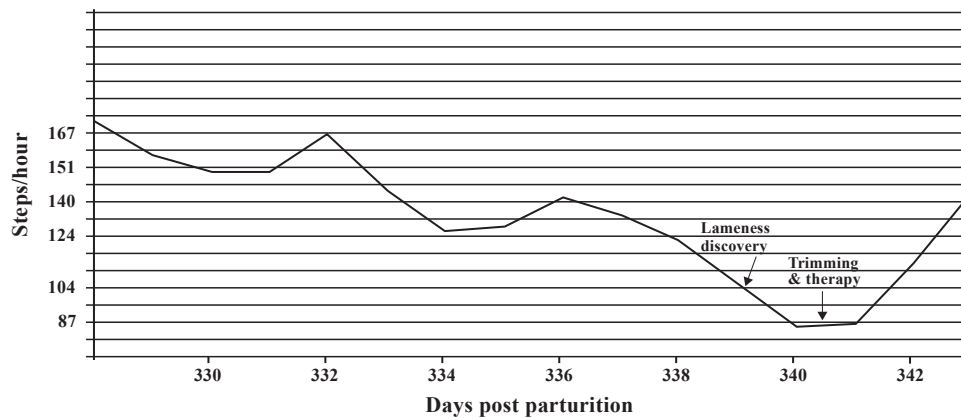


Abbildung 4: Aktivitätsrückgang einer lahmen Kuh mit einem Klauengeschwür und Aktivitätsanstieg nach Behandlung (MAZRIER et al. 2006)

Mit Einsatz von ALT-Pedometer (Messung von Aktivität, Liegezeit, Temperatur) zeigten in der Studie von ALSAAOD et al. (2012) 54% der lahmen Tiere sogar eine erhöhte Schrittzahl. Erklärungen der Autoren beziehen sich darauf, dass lahme Tiere aufgrund von Schrittverkürzungen (FLOWER et al. 2005; TELEZHENKO 2005) mehr Schritte benötigen, um die gleiche Distanz zurückzulegen (ALSAAOD et al. 2012). Weiterhin ließen die Tiere große individuelle Schwankungen erkennen (ALSAAOD et al. 2012). Unter Berücksichtigung der Abweichung vom Normalverhalten und mit der Einbindung aller sechs

abgeleiteten Merkmale vom ALT-Pedometer konnten die Tiere dennoch zu 76% korrekt klassifiziert werden (ALSAAOD et al. 2012). MOL et al. (2013) integrierten in ihrem Lahmheitserkennungsmodell neun verschiedene Merkmale, wovon sieben auf der Basis täglicher Aktivitäts- und Liegedaten (IceQube, IceRobotics, Edinburgh, UK) beruhten. Das beste Verhältnis zwischen Sensitivität und Spezifität wurde erbracht, wenn mindestens zwei Merkmale einen Alarm hervorriefen (MOL et al. 2013).

2.3.2.2 Infrarotthermografie

2.3.2.2.1 Wärmestrahlung und Infrarotthermografie

Die IRT, als nicht invasives und berührungsloses Verfahren, ermöglicht die Messung emittierter Infrarotstrahlung von Objekten (EDDY et al. 2001). Die Infrarotstrahlung stellt neben der Leitung, Konvektion und Verdunstung eine Form der Wärmeabgabe von der Haut an die Umgebung dar (HÖRNICKE 1987, S. 150; Abbildung 5). Die Infrarotstrahlung entstammt der Hautoberfläche sowie der unter der Haut liegenden Blutgefäße (HÖRNICKE 1987, S. 148 u. 150).

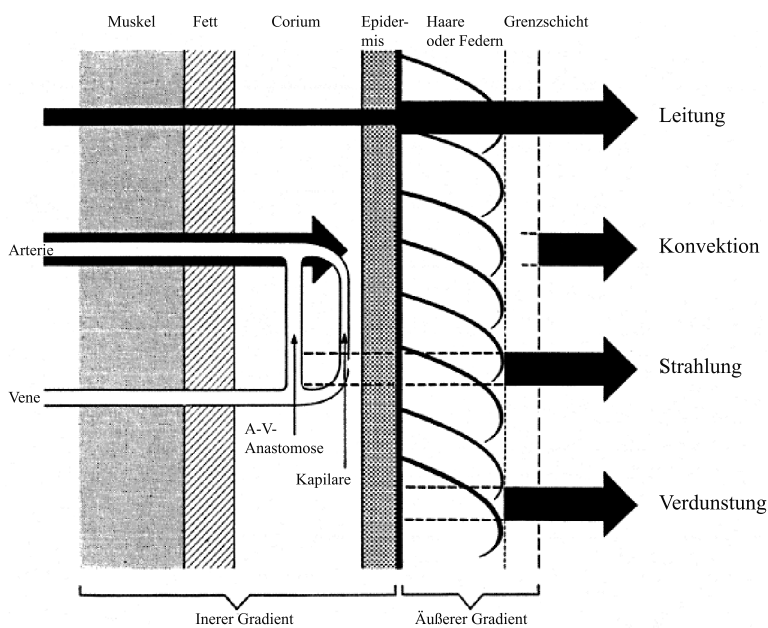


Abbildung 5: Mechanismen des Wärmeübergangs zwischen Körperkern und Hautoberfläche (innerer Gradient) und zwischen Haut und Umgebung (äußerer Gradient) (HÖRNICKE 1987, S. 148)

Mithilfe der IR-Kamera kann diese Infrarotstrahlung als gemessene Oberflächentemperatur (Hauttemperatur) in einem IR-Bild sichtbar gemacht werden (EDDY et al. 2001). Im IR-Bild stellt jeder Pixel einen Temperaturwert dar (ALSAAOD et al. 2015). Farb- bzw. Grautonabweichungen im IR-Bild kennzeichnen Temperaturunterschiede (ALSAAOD & BÜSCHER 2012; STOKES et al. 2012). Nach BAUMANN et al. (2006) geben solche Wärmemuster Hinweise auf kleinste inflammatorische oder gereizte Veränderungen

(z. B. Entzündungen in oder unter der Haut), welche sich durch eine erhöhte Infrarotstrahlung im Wärmebild zeigen, die wiederum auf eine stärkere lokale Durchblutung des betroffenen Gewebes basiert (GSCHÖDERER et al. 2006). Mithilfe der IRT kann demzufolge ein Anstieg oder Abfall der Hauttemperatur lokalisiert werden, was auf eine veränderte Durchblutung (Steigerung, Verminderung) zurückzuführen ist (EDDY et al. 2001). In der Lederhaut der Klauen (allgemein in der Haut der Akren) spielen arteriovenöse Anastomosen (AVA) als direkte Querverbindungen zwischen zwei Blutgefäßen (Arterie, Venole) eine große Rolle in der Durchblutungs- und Thermoregulation (HÖRNICKE 1987, S. 148; GREENOUGH 2007, S. 25). Die Eröffnung der AVA in den Extremitäten führt zur Durchblutungssteigerung und zu einer erhöhten Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung (HÖRNICKE 1987, S. 147ff.). Bei geschlossenen AVA ist die Durchblutung gering (HÖRNICKE 1987, S. 147ff.). In erkrankten Klauen, z. B. bei Laminitis und Sohlengeschwüre, vermehrt sich die Anzahl der AVA (NOCEK 1997; GREENOUGH 2007, S. 25). In diesem Zusammenhang konnte HIRSCHBERG (1999, S. 109) ein häufigeres Auftreten der AVA in pathologisch veränderten Klauen (Klauenrehe, rehe-assoziierte Klauenerkrankungen) im Vergleich zu unveränderten Klauen beobachten.

Aufgrund nachweislicher Temperaturerhöhungen bei erkrankten Klauen (NIKKHAH et al. 2005; MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012; ALSAAOD et al. 2013; PASSARGE 2013; ALSAAOD et al. 2014; WOOD et al. 2015), kommt der IRT zur Krankheitserkennung eine große Bedeutung zu. Insbesondere weil Temperaturveränderungen im Vergleich zu Druckempfindungen mittels manueller Palpation oft zeitlich eher erkennbar sind, scheint die Detektion von Klauenerkrankungen noch vor sichtbaren Schmerzzeichen (Lahmheit) möglich (ALSAAOD et al. 2015).

2.3.2.2.2 IR-Messregion an den Extremitäten

Bisher wurden unterschiedliche Regionen im Zehenbereich thermografiert. STOKES et al. (2012), MAIN et al. (2012), PASSARGE (2013, S. 42) und WOOD et al. (2015) verwendeten die plantare Ansicht der Fessel. In anderen Studien wurde insbesondere der Kronsaumbereich aus der dorsalen Perspektive (NIKKHAH et al. 2005) oder auch aus der plantaren Perspektive der Füße (ALSAAOD & BÜSCHER 2012) herangezogen. Nach ALSAAOD et al. (2014) scheint die Temperaturmessung im Kronsaumbereich anhand folgender Punkte günstig:

- Der Kronsaum ist stark vaskularisiert. Damit wird die Blutzirkulation der Klaue optimal reflektiert, sodass sich erkrankungsbedingte Entzündungen (wie z. B. durch Dermatitis Digitalis) in der Erhöhung der IR-Temperatur widerspiegeln.

- Die IR-Aufnahmen am Kronsaum können kontaktlos, schnell und stressfrei durchgeführt werden.
- Der Kronsaum ist spärlich behaart.

Die Blutversorgung der Klauen erfolgt hauptsächlich über die palmaren bzw. plantaren Zehenarterien, wobei die dorsalen Zehenarterien eine untergeordnete Rolle hinsichtlich der Blutversorgung einnehmen (HIRSCHBERG 1999, S. 75). Die arteriellen Gefäße sowie das arterielle Gefäßnetz liegen unter den oberflächlich gelegenen venösen Gefäßnetzen (HIRSCHBERG 1999, S. 75).

In einer weiteren Untersuchung wurde die IR-Messung an der Klauensohle durchgeführt (WILHELM 2010). Aufgrund der kalten, keratinisierten Hornschicht, welche wie ein Isolator wirkt, scheint der Sohlenbereich für thermografische Messungen eher ungeeignet, da dieser die Durchblutung der Lederhaut und demzufolge die Klauentemperatur nicht vollends widerspiegelt (NIKKHAH et al. 2005).

2.3.2.2.3 IR-Messfläche und IR-Kenngrößen an Extremitäten

Für die Auswertung der IR-Aufnahmen bestimmten NIKKHAH et al. (2005) die relative Maximaltemperatur der IR-Messfläche am dorsalen Kronsaum und einer IR-Kontrollmessfläche oberhalb des Kronsaums. Die IR-Kontrollmessfläche wurde zur Differenzbildung mit der IR-Messfläche des Kronsaums herangezogen (NIKKHAH et al. 2005). ALSAAOD & BÜSCHER (2012) bezogen sich ebenfalls auf eine IR-Messfläche am Kronsaum und einer IR-Kontrollmessfläche, jedoch plantar. Daraus bestimmten die Autoren jeweils die minimale, maximale und mittlere IR-Temperatur (ALSAAOD & BÜSCHER 2012). STOKES et al. (2012), MAIN et al. (2012) und WOOD et al. (2015) verwendeten die maximale IR-Temperatur (Hotspot) eines großflächig angelegten Rechtecks über den Fesselbereich aus plantarer Ansicht. PASSARGE (2013, S. 45f.) analysierte neben der mittleren und maximalen IR-Temperatur zwei prozentuale IR-Temperaturmaxima, welche aus der Häufigkeitsverteilung der IR-Temperaturwerte innerhalb der IR-Messfläche hergeleitet wurden. Dabei war die IR-Messfläche als ovale Fläche plantar und unterhalb der Afterklauen angelegt (PASSARGE 2013, S. 42). ALSAAOD et al. (2013) und ALSAAOD et al. (2014) nutzten die maximale IR-Temperatur (Hotspot), welche auf zwei IR-Messflächen (Kronsaum und oberhalb des Kronsaums) aus lateraler und medialer Sicht der Klaue basierten.

Tabelle 4 zeigt eine Zusammenstellung zum Versuchsdesign und zur Messkonfiguration verschiedener IRT-Studien.

Tabelle 4: Übersicht unterschiedlicher Studien bezüglich Versuchsdesign und Messkonfiguration für IR-Messung an Extremitäten

Autor	Messort	Messzeitraum/ Zeitpunkt der Messung	IR-Messgerät	Abstand zum Messobjekt	Emissionsgrad	Messobjekt	Reinigung der Messregion vor IR- Aufnahme	IR-Messregion (Perspektive)	IR-Kenngröße innerhalb IR- Messfläche
NIKKHAH et al. (2005)	Klauenstand	an 2 Terminen je 10-20 min nach Klauenschnitt	portable Handkamera	1,5 - 2 m	0,93	Vorder- und Hinterfüße	ja	Kronsaumbereich medialer und lateraler Klauen (dorsal, Ausschluss von Zwischenklauenspalt)	Maximaltemperatur
WILHELM (2010)	Klauenstand	an 2 Terminen je 2 min nach Klauenschnitt	portable Handkamera	k. A.	1,00	Vorder- und Hinterfüße	ja, bedingt durch vorherige Bearbeitung der Sohlenfläche	Sohle medialer und lateraler Klauen	Temperaturmittelwert
GLOSTER et al. (2011)	im Stall am stehenden Tier	1x monatlich über einen Zeitraum von 5 Monate	portable Handkamera	1 - 2 m	0,95	Vorder- und Hinterfüße	nein	Kronsaumbereich (dorsal, plantar/palmar, medial, lateral)	Maximaltemperatur
ALSAAOD & BÜSCHER (2012)	Melkstand	1x täglich über einen Zeitraum von 3 Tagen vor und nach Klauenschnitt	stationäre Kamera	0,5 m	0,98	Hinterfüße	ja	Kronsaumbereich medialer und lateraler Klauen (plantar, Ausschluss von Zwischenklauenspalt)	Temperaturmittelwert, Minimaltemperatur, Maximaltemperatur
HARLAND (2012)	Melkstand	k. A.	k. A.	k. A.	0,92	Hinterfüße	nein	Fesselbereich unterhalb Afterklauen (plantar), insb. Zwischenklauenspalt	Maximaltemperatur
MAIN et al. (2012)	Klauenstand	1x vor Klauenschnitt	portables Thermometer	0,15 m	k. A.	Hinterfüße	nein	Fesselbereich unterhalb Afterklauen (plantar)	Maximaltemperatur
STOKES et al. (2012)	Klauenstand	1x wöchentlich über einen Zeitraum von 4 Monaten vor Klauenschnitt	portable Handkamera	k. A.	0,98	Hinterfüße	ja/nein	Fesselbereich unterhalb Afterklauen (plantar)	Maximaltemperatur
ALSAAOD et al. (2013)	k. A.	1x vor Klauenschnitt	portable Handkamera	k. A.	k. A.	Vorder- und Hinterfüße	k. A.	Kronsaumbereich medialer und lateraler Klauen	Maximaltemperatur
PASSARGE (2013)	Melkstand	1x täglich über einen Zeitraum bis zu 100 Tagen	stationäre Kamera	k. A.	0,95	Hinterfüße in 2 Betriebe, Vorder- und Hinterfüße in 1 Betrieb	nein	Fesselbereich unterhalb Afterklauen (plantar)	Temperaturmittelwert, Maximaltemperatur sowie 2 aus der Maximaltemperatur abgeleitete IR- Kenngrößen
ALSAAOD et al. (2014)	im Stall am stehenden Tier	1x vor Klauenschnitt	portable Handkamera	0,5 m	0,95	Vorder- und Hinterfüße	nein	Kronsaumbereich medialer und lateraler Klauen (abaxial, axial)	Maximaltemperatur
WOOD et al. (2015)	Melkstand	1x zum Klauenschnitt sowie 3x vor und 3x nach Klauenschnitt im Abstand von 2 Wochen	portables Thermometer	0,15 m	k. A.	Hinterfüße	nein	Fesselbereich unterhalb Afterklauen (plantar)	Maximaltemperatur

2.3.2.2.4 Einflussfaktoren auf die IR-Messung an Extremitäten

IR-Messungen in mehreren Betrieben zeigten nachweislich unterschiedliche Mittelwerte der IR-Temperatur (WILHELM 2010, S. 52; MAIN et al. 2012). In der Literatur werden eine Vielzahl möglicher Einflussfaktoren auf die IR-Messung beschrieben (WILHELM 2010; GLOSTER et al. 2011; PASSARGE 2013; LANDGRAF 2015). Im Folgenden werden mit Hinsicht auf die vorliegende Untersuchung relevante Einflussfaktoren auf die IR-Messung aus der plantaren Perspektive an den Hinterfüßen thematisiert.

Umgebungsfaktoren

Die Hautregionen der Extremitäten sind einer Abkühlung mit am meisten ausgesetzt (HÖRNICKE 1987, S. 143). Eine kalte Umgebung verursacht eine verminderte Durchblutung, wodurch sich der Wärmetransport zur Körperoberfläche reduziert (HÖRNICKE 1987, S. 147ff.). Dagegen bewirkt eine warme Umgebung eine zunehmende Durchblutung durch Erweiterung der Blutgefäße, und vor allem durch Eröffnung der AVA (HÖRNICKE 1987, S. 147ff.). Die Hauttemperatur erhöht sich und der Temperaturunterschied zwischen Haut und Umgebung wird größer (HÖRNICKE 1987, S. 147). Als Folge verstärkt sich die Wärmeabgabe durch Strahlung und Leitung (HÖRNICKE 1987, S. 147 u. 150).

Um die klimatischen Einflussfaktoren während der IR-Messung gering zu halten, wurden in bisherigen Studien verschiedene Maßnahmen bei der Messkonfiguration berücksichtigt. NIKKHAH et al. (2005) nahm die IR-Messung im Stallgebäude vor, um Zugluft zu vermeiden. ALSAAOD & BÜSCHER (2012) führten die IR-Messung im Melkstand unter Ausschluss direkter Sonneneinstrahlung durch. Diese bewirkt die Aufnahme von Strahlungswärme, da die umgebende Temperatur höher ist als die Hauttemperatur (HÖRNICKE 1987, S. 150; JESSEN 2000, S. 472). In den Untersuchungen von LANDGRAF (2015, S. 68 u. 72) und PASSARGE (2013, S. 116 u. 120) wurde aufgrund der Versuchsanordnung der Messtechnik am Ende des Melkkarussells von einer ausreichenden Akklimatisationszeit der Tiere vor der IR-Messung ausgegangen. ALSAAOD et al. (2014) realisierte die IR-Messung im Stallgebäude unter Einhaltung der thermoneutralen Zone. In den Studien von NIKKHAH et al. (2005) und ALSAAOD & BÜSCHER (2012) erfolgte außerdem eine Kalibrierung der IR-Kamera hinsichtlich der Umgebungstemperatur. WILHELM (2010, S. 33) kompensierte umgebungsbedingte Einflüsse mit der Eingabe von Umgebungstemperatur, relative Luftfeuchte und Messentfernung in der kameraeigenen Auswertungssoftware. Aus der Untersuchung von LANDGRAF (2015, S. 65) ging hervor, dass die Messentfernung und der Messwinkel während der IR-Messung möglichst konstant gehalten werden sollten.

Bislang zeigten Studien einen unterschiedlich starken Zusammenhang zwischen der IR-Temperatur und der Umgebungstemperatur auf (WILHELM 2010, S. 49; ALSAAOD & BÜSCHER 2012; STOKES et al. 2012; PASSARGE 2013, S. 58; LANDGRAF 2015, S. 134). WOOD et al. (2015) ermittelten im Zuge einer Änderung der Umgebungstemperatur um 1 °C eine signifikante Änderung der IR-Temperatur um 0,3 °C. Anhand der Regressionsgleichung von WILHELM (2010, S. 49) zeigte sich mit jeder weiteren Steigerung der Umgebungstemperatur eine durchschnittliche Erhöhung der IR-Temperatur um 0,6 °C. Weitere untersuchte klimatische Faktoren, wie die Windgeschwindigkeit, die relative Luftfeuchte und der Luftdruck zeigten einen geringen bzw. keinen Zusammenhang (PASSARGE 2013, S. 58; LANDGRAF 2015, S. 134). PASSARGE (2013, S. 59) führte eine Korrektur der IR-Kenngrößen um die Umgebungstemperatur auf Basis eines einfachen linearen Regressionsmodells durch. Ebenfalls berücksichtigte WOOD et al. (2015) den Einfluss der Umgebungstemperatur im Rechenmodell. LANDGRAF (2015, S. 120 u. 134) konnte neben der Umgebungstemperatur auch den Temperatur-Feuchte-Index als starken Einflussfaktor auf die IR-Temperatur herausstellen. Eine Korrektur empfahl LANDGRAF (2015, S. 76, 120 u. 133) anhand eines linearen Regressionsmodells unter der Nutzung beider Einflussfaktoren. Allerdings stellte LANDGRAF (2015, S. 76) auch fest, dass die klimatischen Einflüsse für unterschiedliche IR-Kenngrößen verschieden stark ausgeprägt waren, was folglich zu einer separaten Modellierung führt.

Zur Vermeidung des Einflusses der Umgebungstemperatur auf das Tier selbst kann der Vergleich von zwei anatomisch gleichen Regionen innerhalb eines Tieres herangezogen werden, wie z. B. anhand von tierindividuellen Temperaturdifferenzen zwischen linken und rechten Hinterfüßen (ALSAAOD & BÜSCHER 2012).

Zur Vermeidung von Stressreaktionen, welche zum unerwünschten Temperaturanstieg führen können, wurde in vorherigen Studien mit den Tieren während der IR-Messung behutsam umgegangen (GLOSTER et al. 2011) bzw. befanden sich die Kühe in einer ruhigen Verfassung (STOKES et al. 2012; PASSARGE 2013, S. 116; LANDGRAF 2015, S. 68) oder die Kühe waren an die Messumgebung gewöhnt (ALSAAOD & BÜSCHER 2012).

Tierfaktoren

Aus messtechnischer Sicht ist bekannt, dass verschmutzte und nasse Oberflächen die gemessene IR-Temperatur verfälschen können (TESTO GMBH 2018). STOKES et al. (2012) konnten für verschmutzte Hinterfüße eine höhere IR-Temperatur gegenüber gereinigten Hinterfüßen nachweisen. Ähnlich ermittelte PASSARGE (2013, S. 62f.) höhere IR-Temperaturen mit zunehmender Verschmutzung der Hinterfüße sowie geringere IR-Temperaturen feuchter Hinterfüße gegenüber trockenen Hinterfüßen. Die Temperaturunterschiede, bei denen eine Signifikanz nachgewiesen werden konnte, bewegten sich zwischen 0,1 K und 0,2 K und wurden als unbedeutend eingestuft (PASSARGE 2013, S. 63f.).

In der Arbeit von PASSARGE (2013, S. 66) konnte anhand unterschiedlich gemessener IR-Temperaturen zu verschiedenen Tageszeitpunkten der Nachweis des circadianen Rhythmus der Tiere erbracht werden. Unter Berücksichtigung des circadianen Rhythmus erfolgte die IR-Messung bei STOKES et al. (2012), ALSAOD & BÜSCHER (2012) und PASSARGE (2013, S. 44) immer zur gleichen Tageszeit.

ALSAOD & BÜSCHER (2012) wiesen an gesunden Klauen höhere IR-Temperaturen für Kühe früher bzw. mittlerer Laktation (≤ 200 LT) im Vergleich zu Kühen älterer Laktation (> 200 LT) nach. Dagegen zeigte sich in der Arbeit von PASSARGE (2013, S. 73), dass die IR-Temperatur an den Klauen mit steigendem Laktationstag zunahm. Bezüglich des Alters der Tiere stellte PASSARGE (2013, S. 70) fest, dass Füße mit zunehmender Laktation geringere IR-Temperaturen aufwiesen.

Zur Vermeidung der Variabilität der IR-Temperatur zwischen den Tieren wurde das Tier als Eigenkontrolle genutzt, indem zwei anatomische Regionen miteinander verglichen wurden (ALSAOD & BÜSCHER 2012; WOOD et al. 2015) oder das Einzeltier im Zeitverlauf beobachtet wurde (PASSARGE 2013).

2.3.2.2.5 Klinische Anwendung der IRT an Rinderklauen

NIKKHAH et al. (2005) ermittelten eine höhere IR-Temperatur für Kühe im frühen bzw. mittleren Laktationsstadium (≤ 200 LT), welche gegenüber Kühen im älteren Laktationsstadium (> 200 LT) auch vermehrt Sohlenblutungen an den Klauen aufwiesen. Zur Früherkennung von Klauenrehe offenbarte die Untersuchung von WILHELM (2010, S. 56) keine eindeutige Korrelation zwischen gemessener Klauensohlentemperatur und sich entwickelnder Reheanzeichen über die ersten zwei Laktationsmonate. Die Analysen von HARLAND (2012) und STOKES et al. (2012) zur Detektion spezifischer Klauenerkrankungen, insbesondere von Dermatitis Digitalis blieben ebenfalls erfolglos.

Dagegen konnte ALSAAOD et al. (2013) an Füßen mit infektiösen Klauenerkrankungen (Ballenhornfäule ab Schweregrad 2, Dermatitis Digitalis, Panaritium) eine signifikant höhere IR-Temperatur gegenüber Füßen ohne infektiöse Läsionen feststellen. Bei der differenzierten Analyse hatten Füße mit Dermatitis Digitalis (ALSAAOD et al. 2013; ALSAAOD et al. 2014) und Füße mit Ballenhornfäule (ALSAAOD et al. 2013) auch eine signifikant höhere IR-Temperatur. Für DD-erkrankte Füße betrug die tierindividuelle Temperaturdifferenz zwischen Hinter- und Vorderfüßen 5,6 K und für gesunde Füße 0,7 K ($p < 0,001$; ALSAAOD et al. 2014). Zur Identifikation von Kühen mit Dermatitis Digitalis an Hinterfüßen und gesunden Vorderfüßen wurde mit einem Grenzwert von 0,99 K eine Sensitivität von 90% und eine Spezifität von 67% erreicht (ALSAAOD et al. 2014; Abbildung 6 und Tabelle 5, S. 38).

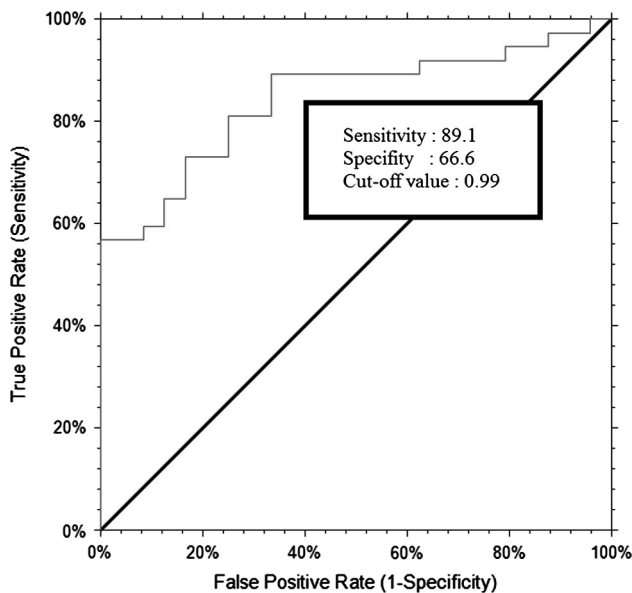


Abbildung 6: ROC-Kurve tierindividueller Temperaturdifferenzen zwischen Hinter- und Vorderfüßen zur Identifikation von Dermatitis Digitalis (AUC-Wert 0,84 ; $p < 0,001$) (ALSAAOD et al. 2014)

Aus der Studie von ALSAAOD & BÜSCHER (2012) und MAIN et al. (2012) gingen ebenfalls signifikant höhere tierindividuelle Temperaturdifferenzen für kranke Hinterfüße (ein Hinterfuß krank und ein Hinterfuß gesund) hervor. Die ermittelten Differenzen zogen ALSAAOD & BÜSCHER (2012) zur Grenzwertberechnung heran, an welchem die Eignung der IRT zur Erkennung von Klauenerkrankungen für die Zeitpunkte vor und nach dem Klauenschnitt überprüft wurden (Tabelle 5, S. 38). Bereits GSCHÖDERER et al. (2006) verdeutlichten anhand von Wärmebildern sichtbare Temperaturunterschiede zwischen erkrankten und gesunden Füßen innerhalb eines Tieres (Abbildung 7, S. 36). Dementgegen

lieferten tierindividuelle Temperaturdifferenzen für WOOD et al. (2015) keine konsistenten Ergebnisse, sodass den Autoren die absolute IR-Temperatur zur Krankheitserkennung geeigneter erschien.

Nachdem es STOKES et al. (2012) nicht gelang spezifische Klauenerkrankungen anhand der IR-Temperatur zu differenzieren, wurde die Zuverlässigkeit der IRT-Methode zur Erkennung kranker Hinterfüße (unabhängig von der Erkrankungsart) auf Grundlage absoluter Temperaturgrenzwerte untersucht. Die beste Kombination aus Sensitivität und Spezifität wurde an verschmutzten Hinterfüßen mit einem Temperaturgrenzwert von 27 °C erreicht (STOKES et al. 2012; Tabelle 5, S. 38). Die Reinigung der Hinterfüße bewirkte zwar eine Erhöhung der Sensitivität, aber gleichzeitig eine deutliche Reduzierung der Spezifität (STOKES et al. 2012; Tabelle 5, S. 38). Gleichfalls wendeten MAIN et al. (2012) einen Temperaturgrenzwert zur Erkennung klauenkranker Kühe an (Tabelle 5, S. 38). Die Autoren führten IR-Messungen in mehreren Betrieben durch und konnten in allen Betrieben eine höhere IR-Temperatur für erkrankte Hinterfüße gegenüber nicht erkrankten Hinterfüßen nachweisen (MAIN et al. 2012). Dabei besaßen Sohlengeschwüre, vertikale Hornspalte und Dermatitis Digitalis den größten Effekt auf die IR-Temperatur (MAIN et al. 2012).

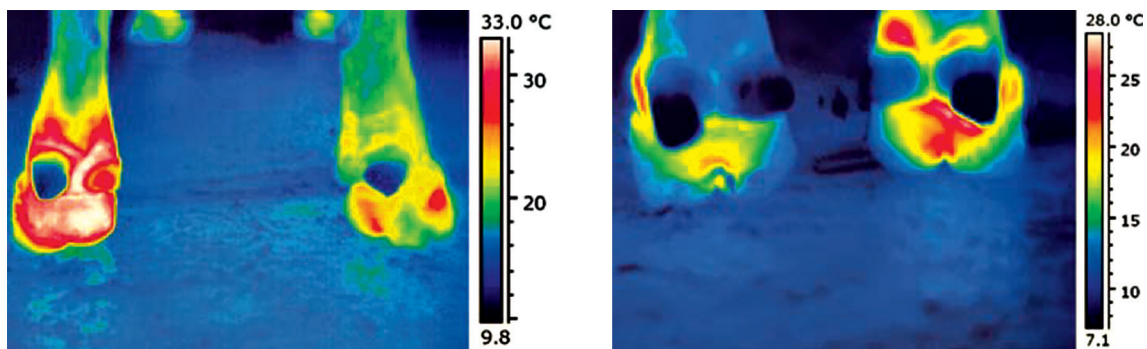


Abbildung 7: Wärmebilder von Hinterfüßen (GSCHÖDERER et al. 2006)

Des Weiteren ermittelten WOOD et al. (2015) eine signifikant höhere IR-Temperatur für erkrankte Hinterfüße im Vergleich zu gesunden Hinterfüßen. Das Vorhandensein einer Klauenerkrankung bewirkte eine Erhöhung der IR-Temperatur um 0,6 °C (WOOD et al. 2015). Wurden Erkrankungen in Gruppen kategorisiert, konnte für eine Erkrankungsgruppe eine signifikant höhere IR-Temperatur nachgewiesen werden (WOOD et al. 2015). Die zeitliche Betrachtung über die Entwicklung der IR-Temperatur für sechs Wochen vor und nach Diagnose offenbarte die höchste IR-Temperatur am Befundtag und die

niedrigste IR-Temperatur sechs Wochen danach (WOOD et al. 2015; Abbildung 8). Folglich gingen WOOD et al. (2015) von einer Krankheitsentwicklung von mindestens sechs Wochen vor der Diagnose und einen Behandlungseffekt nach dem Klauenschnitt aus.

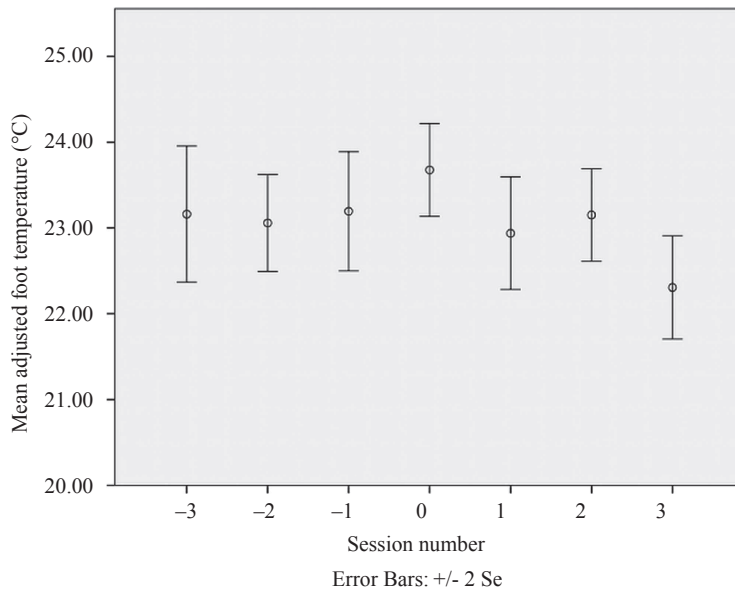


Abbildung 8: IR-Temperatur (auf 10°C Umgebungstemperatur korrigiert) erkrankter Hinterfüße für 6 Wochen vor (-3, -2, -1) und nach (1, 2, 3) dem Befundtag (0) im Abstand von 14 Tagen (WOOD et al. 2015)

In der Arbeit von PASSARGE (2013, S. 98f. u. 185f.) deuteten sich für die meisten Erkrankungen höhere IR-Temperaturen an. Jedoch konnte nur für Hinterfüße mit Rusterholz'schem Sohlengeschwür, mit Dermatitis Digitalis und mit mehreren Befunden eine signifikant höhere IR-Temperatur gegenüber Hinterfüßen ohne Befund nachgewiesen werden (PASSARGE 2013, S. 98f.). Zur Identifizierung klauenkranker Tiere untersuchte PASSARGE (2013, S. 112f.) fünf unterschiedliche Algorithmen. Dabei wurden Tiere herangezogen, welche an den Klauen keine Erkrankung und mindestens eine Neuerkrankung aufwiesen (PASSARGE 2013, S. 112). Algorithmus 1 bezog sich auf den Vergleich der aktuellen IR-Temperatur des Einzeltieres mit der IR-Temperatur aller Tiere (PASSARGE 2013, S. 112). Algorithmus 2 beinhaltete den tierindividuellen Vergleich rechter und linker Hinterfüße mit vorgegebenem Grenzwert (>2 K) (PASSARGE 2013, S. 112). Die restlichen Algorithmen (3–5) basierten auf den tierindividuellen zeitlichen IR-Temperaturverlauf, welcher der tagaktuellen IR-Temperatur gegenübergestellt wurde (PASSARGE 2013, S. 112). Im Ergebnis erzielte der Algorithmus mit einem tierindividuellen langen Betrachtungszeitraum von 21 Tagen das beste Verhältnis aus Sensitivität und Spezifität (PASSARGE 2013, S. 112f. u. 135; s. Algorithmus 5 in Tabelle 5, S. 38).

Tabelle 5: Übersicht der Validitätsmaße zur Erkennung von Klauenerkrankungen mittels IRT

Autor	Messobjekt	Referenz Klauenbefund	Grenzwert	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)	AUC
ALSAO & BÜSCHER (2012)	Hinterfüße	unspezifisch	>0,64 °C vor Klauenschnitt	85,7	55,9	44,4	90,5	0,7
			>1,09 °C nach Klauenschnitt	80,0	82,9	63,2	91,9	0,7
MAIN et al. (2012)	Hinterfüße	unspezifisch	25,5 °C	72,0	73,0	k. A.	k. A.	k. A.
			25,25 °C	78,0	78,0	k. A.	k. A.	k. A.
STOKES et al. (2012)	Hinterfüße	unspezifisch	27 °C für verschmutzte Füße	80,0	73,0	90,0	55,0	k. A.
			22 °C für gereinigte Füße	91,0	54,0	86,0	67,0	k. A.
			21 °C für gereinigte angehobene Füße	93,0	49,0	84,0	69,0	k. A.
PASSARGE (2013)	Hinterfüße	unspezifisch	Algorithmus 1	*11,4-17,3	*75,3-79,2	k. A.	k. A.	k. A.
			Algorithmus 2	*21,5-24,7	*78,9-81,6	k. A.	k. A.	k. A.
			Algorithmus 3	*7,6-10,9	*90,0-95,0	k. A.	k. A.	k. A.
			Algorithmus 4	*23,4-26,6	*72,5-77,5	k. A.	k. A.	k. A.
			Algorithmus 5	*46,6-49,3	*66,7-77,8	k. A.	k. A.	k. A.
ALSAO et al. (2014)	Vorder- und Hinterfüße	DD	0,99 °C für DD an Hinterfüßen	89,1	66,6	80,5	80,0	0,8
			0,85 °C für DD an Hinter- und Vorderfüßen	60,0	62,5	k. A.	k. A.	k. A.

Se – Sensitivität

Sp – Spezifität

pV – positiver Vorhersagewert

nV – negativer Vorhersagewert

AUC – Fläche unter der ROC-Kurve (Kap. 3.5.3.4.1, S. 54)

*Spannweite von vier untersuchten IR-Kenngrößen

3 Material und Methode

3.1 Betriebe und Tierauswahl

Die Untersuchung erfolgte in zwei Milchproduktionsbetrieben, welche mit einem Melkkarussell vom Typ Außenmelker Side-by-Side ausgestattet waren (Tabelle 6). Alle Tiere gehörten der Rasse Deutsche Holsteins Schwarzbunt an.

Tabelle 6: Charakteristik der Untersuchungsbetriebe

	Betrieb 1	Betrieb 2
Anzahl Milchkühe	601 (Mai 2013)	1230 (Juli 2014)
	Melktechnik	
Hersteller	GEA Farm Technologies GmbH	
Ausstattung	Melkkarussell Außenmelker Side by Side, rechts rotierend	Melkkarussell Außenmelker Side by Side, links rotierend
Melkplätze	50	40
Melkzeiten	1. 03.00–06.00 Uhr 2. 10.00–14.00 Uhr 3. 18.00–22.00 Uhr	1. 06.00–14.00 Uhr 2. 14.00–22.00 Uhr 3. 22.00–06.00 Uhr
	Klauenpflege	
Herdenschnitt	1. Termin: zwischen 200. und 206. LT 2. Termin: zum Trockenstellen	1. Termin: 20. LT 2. Termin: 130. LT 3. Termin: zum Trockenstellen

LT=Laktationstag; fett markierte Melkzeiten kennzeichnen Durchführung der IR-Messung

Für die Erkennung von Klauenerkrankungen war es wichtig, sowohl kranke als auch gesunde Tiere in die Untersuchung einzubeziehen. Mit dem Ziel einer ausreichenden Datengrundlage klauenkranker Tiere wurden in den zwei Betrieben bei der Tierauswahl unterschiedliche Herangehensweisen verfolgt.

In Betrieb 1 wurden die Tiere zufällig und unabhängig von der Klauengesundheit aus dem frühen sowie mittleren Laktationsstadium ausgewählt. Es wurden 67 Tiere zwischen dem 17.–76. Laktationstag und 50 Tiere zwischen dem 150.–185. Laktationstag in die Untersuchung einbezogen (Tabelle 9, S. 41). Aus Studien ging hervor, dass die meisten Klauenerkrankungen tendenziell im zweiten Laktationsmonat (SMITS et al. 1992) sowie Klauenrehe zwischen dem 50. und 100. Laktationstag (PIJL & SWALVE 2006; SCHÖPKE et al. 2013) auftreten. Ergebnisse von NIKKHAH et al. (2005) zeigten, dass Sohlenblutungen häufiger im frühen bzw. mittleren Laktationsstadium (≤ 200 LT) im Vergleich zum fortgeschrittenen Laktationsstadium (> 200 LT) vorkommen.

Die Tierauswahl in Betrieb 2 erfolgte anhand der visuellen Lahmheitsbeurteilung nach SPRECHER et al. (1997) (Tabelle 7). Diese Methode wurde als Vorauswahl der Untersuchungstiere herangezogen, weil sie die bislang einzige nicht invasive standardisierte Methode zur Unterscheidung lahmer und lahmfreier Tiere darstellt. Für die Untersuchung wurden 26 lahme (Note ≥ 3) und 34 lahmfreie (Note 1) Tiere ausgewählt (Tabelle 9, S. 41).

Tabelle 7: Visuelle Lahmheitsbeurteilung nach SPRECHER et al. (1997)

Note	Klinische Beschreibung	Bewertungskriterium
1	normal	Rücken im Stehen und beim Laufen ungekrümmt; Gang ist normal
2	leicht lahm	Im Stehen ist der Rücken ungekrümmt, beim Laufen jedoch leicht gekrümmt; Gang ist normal
3	mittelmäßig lahm	Rücken im Stehen und beim Laufen gekrümmt; Gang ist beeinträchtigt und Kuh macht mit einem oder mehreren Beinen kürzere Schritte
4	lahm	Rücken im Stehen und beim Laufen gekrümmt, Kuh tritt auf einem oder mehreren Beinen nur noch teilweise auf
5	schwer lahm	Rücken im Stehen und beim Laufen gekrümmt; Kuh belastet ein oder mehrere Beine nicht mehr

Generell von der Untersuchung ausgeschlossen waren Tiere mit:

- laufenden Klauenbehandlungen,
- Integumentschäden der Note 3 und einer Umfangsvermehrung der Note ≥ 2 an Tarsalgelenken und Fersenhöcker, deren Beurteilung mittels 4-stufigen Boniturschlüssel durchgeführt wurde (Tabelle 8).

Tabelle 8: Boniturschlüssel für Integumentschäden und Umfangsvermehrung (abgeändert nach WILLEN 2004, S. 39)

Note	Integumentschäden	Umfangsvermehrung
0	normal	keine
1	teilweise haarlos	geringgradig
2	haarlos/Hyperkeratose	mittelgradig
3	exsudative Prozesse, Wunden, Ulzera	hochgradig

Tabelle 9: Charakteristik der Untersuchungstiere in beiden Betrieben zum Messbeginn

	Betrieb 1	Betrieb 2
Untersuchungstiere (N)	117	60
mittlerer Laktationstag	99,8	144,0
mittlere Laktation	2,5	3,3
mittlere Milchleistung (kg pro Kuh und Tag)*	37,4	39,2

*MLP-Ergebnis aus Vormonat zum Messbeginn

3.2 IR-Messung

3.2.1 Messtechnik und Messkonfiguration

In Anlehnung an PASSARGE (2013, S. 120) und LANDGRAF (2015, S. 84) erfolgte die Positionierung der IR-Messtechnik im letzten Drittel des Melkkarussells vor dem Austrieb. An dieser Stelle war der Melkvorgang überwiegend beendet, sodass die Hinterfüße nur in Einzelfällen von Melkzeug oder Milchschräuchen verdeckt waren (LANDGRAF 2015, S. 83). Weiterhin war an dieser Position von abgeschlossenen Akklimatisierungsvorgängen der Tiere auszugehen (PASSARGE 2013, S. 116 u. 120; LANDGRAF 2015, S. 68 u. 72).

Die IR-Kamera (PYROVIEW 640L compact; DIAS Infrared GmbH, Dresden) wurde außerhalb des Melkkarussells stationär installiert und in Richtung Melkplatz radial positioniert, sodass die Gesamtbildaufnahme der Hinteransicht der Kuh einschließlich dem distalen Zehenbereich beider Hintergliedmaßen (linker und rechter Hinterfuß) möglich war (Abbildung 9). Die Entfernung zwischen dem Tier (Messobjekt) und der IR-Kamera betrug ca. 3 m.

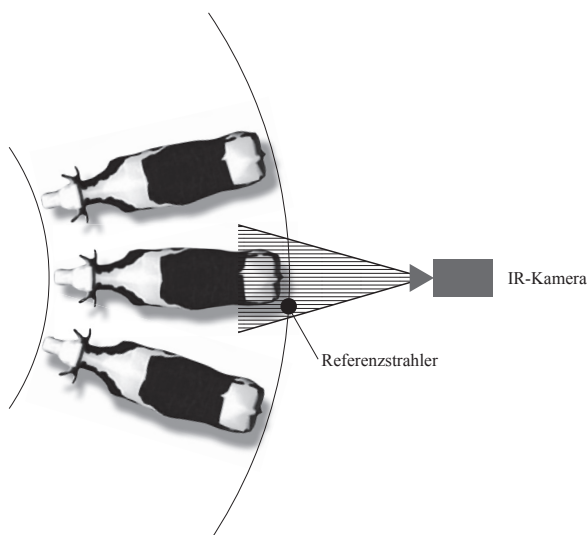


Abbildung 9: Messkonfiguration am Außenmelkerkarussell

Mit der Rotation des Karussells bewegten sich die Kühe an der Kameratechnik vorbei. Diese Variante der Messkonfiguration hatte nach LANDGRAF (2015, S. 81) für die vorliegende Untersuchung folgende Vorteile:

- annähernd gleicher Messabstand und -winkel zum Messobjekt,
- gleichförmige Karussellrotation,
- reduzierte Tierbewegung durch melkplatzbedingte Fixierung,
- nutzbare Tieridentifikation des Melkstands,
- einfache mechanische Integration der Messtechnik durch geringen Umbauaufwand.

Mit dem verwendeten IR-Kameratyp war die Messung im infraroten Spektralbereich von $8\mu\text{m}$ bis $14\mu\text{m}$ und im Temperaturbereich von -20°C bis 120°C möglich (DIAS INFRARED SYSTEMS 2016). Der Kamerasensor hatte eine Auflösung von 640×480 Pixel (DIAS INFRARED SYSTEMS 2016). Die Messunsicherheit der IR-Kamera betrug $\pm 2\text{K}$ (DIAS INFRARED SYSTEMS 2016), welche für die veterinäre Anwendung der Gesundheitsüberwachung an den Klauen zu hoch ist. Zur Vermeidung der kamerabedingten Temperaturabweichungen wurde ein Referenzstrahler eingesetzt. Dieser war im Sichtbereich der IR-Kamera positioniert (Abbildung 9, S. 41), welcher mit einem Temperaturfühler Web-Thermograph Pt100 (Wiesemann & Theis GmbH, Wuppertal) ausgestattet war. Anhand der gemessenen Temperatur des Referenzstrahlers und der Strahlungseigenschaft (Emissivität) des Referenzstrahlers erfolgte die Referenzierung der IR-Messung (LANDGRAF 2015, S. 92f.). Durch Einsatz des Referenzstrahlers ist es möglich, die Messunsicherheit der IR-Kamera auf $\pm 0,4\text{K}$ zu reduzieren und die Messung in einem Bereich diagnostisch relevanter Temperaturunterschiede zu gewährleisten (LANDGRAF 2015, S. 126). In beiden Betrieben wurde der Emissionsgrad für das Tier auf 0,95 und für den Referenzstrahler auf 0,98 festgelegt.

3.2.2 IR-Aufnahme

In Anlehnung an PASSARGE (2013, S. 44 u. 66) bezüglich des circadianen Rhythmus der IR-Temperatur der Kuh, erfolgte die tägliche IR-Messung zur gleichen Tageszeit innerhalb der betriebsspezifischen Melkzeit (siehe Markierung in Tabelle 6, S. 39). Bezug nehmend auf die Ergebnisse von STOKES et al. (2012) hinsichtlich der Krankheitserkennung an verschmutzten Füßen, wurden die Hinterfüße vor der IR-Messung nicht gereinigt. Während

der IR-Messung wurde Zugluft (NIKKHAH et al. 2005) und direkte Sonneneinstrahlung auf das Tier bzw. die Hinterfüße (ALSAAOD & BÜSCHER 2012) vermieden. Die IR-Aufnahme der Tiere wurde manuell mit der kameraeigenen Software PYROSOFT Professional (DIAS Infrared GmbH, Dresden) vorgenommen. Abhängig von der Drehgeschwindigkeit des Melkkarussells bzw. Aufnahmezeit und der Messfrequenz der IR-Kamera wurden zwischen 50 und 150 Einzelbilder je Kuh erfasst. Die Bildzuordnung wurde dem Einzeltier über die visuelle Tiererkennung sichergestellt.

3.2.3 Erstellen der IR-Kenngrößen

Grundlage für die Gewinnung von IR-Kenngrößen waren die aufgezeichneten IR-Einzelbilder je Hinterfuß. Als interessierende Region wurde der Bereich vom fußenden weichen Ballenhorn bis oberhalb der Afterklauen des linken und rechten Hinterfußes angesehen. Mithilfe bildverarbeitender Software war es möglich, innerhalb dieser Region Flächen zu definieren. Obwohl aus jüngster Literatur automatische Lösungen zur Segmentierung von IR-Bildern bekannt sind (LANDGRAF 2015, S. 41ff.), wurde die Flächendefinition in dieser Untersuchung manuell (Betrieb 2) bzw. halbautomatisch (Betrieb 1) vorgenommen. In Betrieb 1 wurde in Anlehnung an PASSARGE (2013, S. 41) die Software Label Editor (Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI), Dresden) genutzt (Abbildung 10). In Betrieb 2 wurde die Flächenauswahl mit der kameraeigenen Software PYROSOFT Professional (DIAS Infrared GmbH, Dresden) umgesetzt (Abbildung 11). Durch die Anwendung verschiedener Bildverarbeitungsprogramme kam es zu unterschiedlichen Flächendefinitionen (Abbildung 10, Abbildung 11).

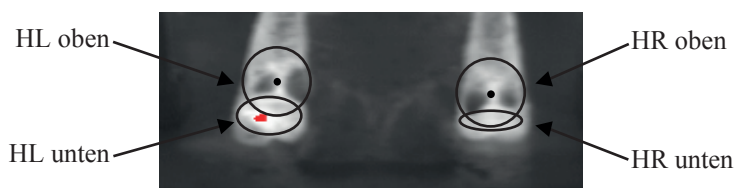


Abbildung 10: IR-Messflächen für linken und rechten Hinterfuß (HL, HR) in Betrieb 1



Abbildung 11: IR-Messflächen für linken und rechten Hinterfuß (HL, HR) in Betrieb 2

Die Temperaturhäufigkeitsverteilung innerhalb einer IR-Messfläche stellte die Basis für die Ableitung der IR-Kenngrößen dar. In Abbildung 12 und Abbildung 13 ist dies für einige IR-Temperaturkenngrößen veranschaulicht.

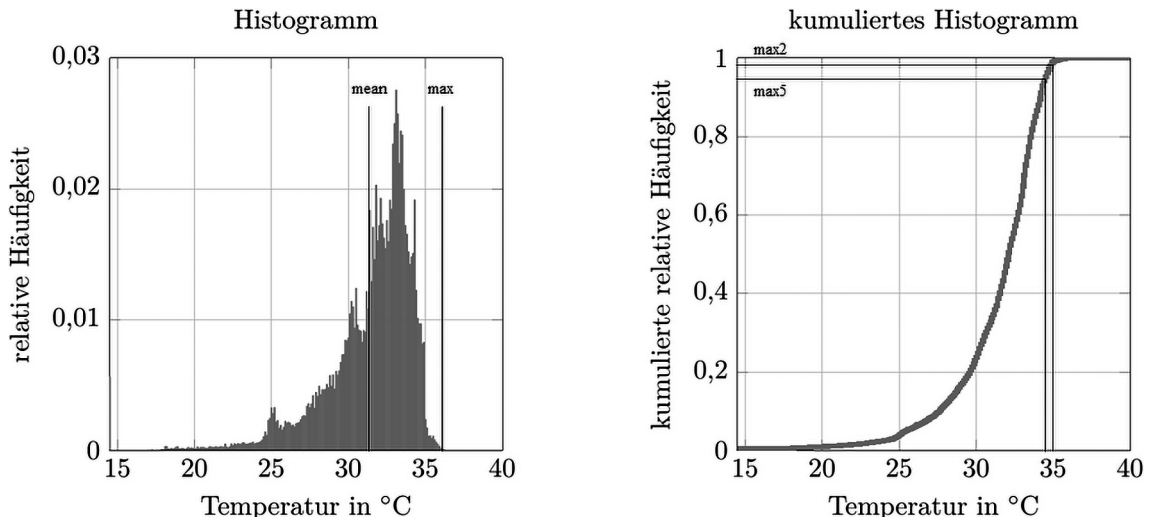


Abbildung 12: Ableitung der IR-Temperaturkenngrößen „mean“, „max“, „max2“ und „max5“ anhand Histogramm einer IR-Messfläche (modifiziert nach LANDGRAF 2015, S. 57)

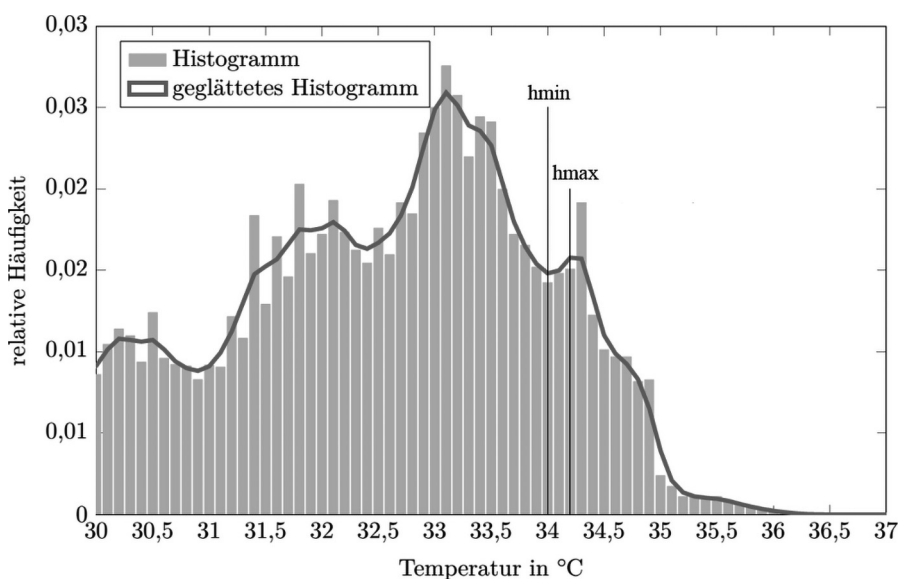


Abbildung 13: Ableitung der IR-Temperaturkenngrößen „hmin“ und „hmax“ anhand geglättetem Histogramm einer IR-Messfläche (modifiziert nach LANDGRAF 2015, S. 60)

Neben den IR-Temperaturkenngrößen wurden erstmals IR-Flächenkenngrößen für die Auswertung herangezogen (Tabelle 10 und Tabelle 11, S. 45). Die IR-Flächenkenngrößen sind als relativer Flächenanteil absoluter Temperaturwerte (30°C, 32°C, 34°C) sowie als relativer Flächenanteil prozentualer Maximalwerte (85 %, 95 %) definiert. Dabei

entspricht die IR-Messfläche ein Ganzes (1 = 100 %). Die Ergebnisse sind als Dezimalzahlen angegeben (z. B. 0,16 = 16 % Flächenanteil).

Die unterschiedliche Anzahl der IR-Kenngrößen zwischen den Untersuchungsbetrieben ist auf die Nutzung verschiedenartiger Bildverarbeitungsprogramme zurückzuführen. Einzige vergleichbare IR-Kenngrößen zwischen beiden Betrieben waren „max“ und „maxmax“ (Hotspot).

Für jede IR-Kenngröße wurden je Hinterfuß ca. 10 IR-Bilder herangezogen, aus welchen innerhalb der IR-Messfläche der höchste IR-Temperaturwert (Hotspot) genutzt wurde und für alle weiteren IR-Kenngrößen ein mittlerer IR-Kenngrößenwert berechnet wurde.

Tabelle 10: IR-Kenngrößen in Betrieb 1 (Mittelwert aus ca. 10 IR-Bilder; außer „maxmax“)

	IR-Kenngröße	Definition
IR-Temperatur-kenngrößen	mean	Temperaturmittelwert (Abbildung 12, S. 44)
	max	Maximaltemperatur (Abbildung 12, S. 44)
	maxmax	höchster Temperaturwert innerhalb IR-Messfläche eines IR-Bildes = Hotspot
	max2	Maximaltemperatur 2 %, Temperaturwert bei kumulierter relativer Häufigkeit < 98 % (Abbildung 12, S. 44)
	max5	Maximaltemperatur 5 %, Temperaturwert bei kumulierter relativer Häufigkeit < 95 % (Abbildung 12, S. 44)
	hmax	größtes lokales Maximum im geglätteten Histogramm (Abbildung 13, S. 44)
	hmin	größtes lokales Minimum im geglätteten Histogramm (Abbildung 13, S. 44)
IR-Flächen-kenngrößen	rel30	relativer Flächenanteil $\geq 30^\circ\text{C}$
	rel32	relativer Flächenanteil $\geq 32^\circ\text{C}$
	rel34	relativer Flächenanteil $\geq 34^\circ\text{C}$
	relmax85	relativer Flächenanteil $\geq 85\%$ der Maximaltemperatur
	relmax95	relativer Flächenanteil $\geq 95\%$ der Maximaltemperatur

Tabelle 11: IR-Kenngrößen in Betrieb 2 (Mittelwert aus ca. 10 IR-Bilder; außer „maxmax“)

	IR-Kenngröße	Definition
IR-Temperatur-kenngrößen	max	Maximaltemperatur (Abbildung 12, S. 44)
	maxmax	höchster Temperaturwert innerhalb IR-Messfläche eines IR-Bildes = Hotspot
	maxAvg5	Temperaturmittelwert der 5 heißesten Pixel
	maxAvg9	Temperaturmittelwert der 9 heißesten Pixel

3.3 Erhebung der Klauenbefunde

Die Befundung der Klauen diente zur Beurteilung der Klauengesundheit und wurde als Referenzmethode zu der IR-Messung herangezogen. Die Untersuchung der Klauen erfolgte in beiden Betrieben in Zusammenarbeit mit dem Klauenpflegepersonal. Dazu wurden die Tiere in einem Klauenuntersuchungsstand fixiert und die Klauen wie folgt auf vorhandene Erkrankungen untersucht:

- säubern,
- visuelle Inspektion,
- leichtes Abtragen der obersten Hornschicht der Klauensohle,
- Diagnosestellung,
- Klauenkorrektur und Behandlung bei schwerwiegenden Defekten.

Die Diagnosefeststellung erfolgte entsprechend dem Standarddiagnoseschlüssel der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG e. V. 2010), sodass eine einheitliche Definition der Diagnosen zwischen den Betrieben gewährleistet war (Tabelle 13, S. 47). Die Diagnosen wurden zunächst entsprechend der Lokalisation an Außen-, Innenklaue oder im Zwischenklauenspalt bzw. Ballenbereich erfasst (Tabelle 12). Dabei konnten je Hinterfuß mehrere Erkrankungen gleichzeitig auftreten. Die Diagnosen wurden zusammengefasst, wenn an der Außen- und Innenklaue die gleiche Erkrankung festgestellt wurde (Fall B, C und E in Tabelle 12).

Tabelle 12: Diagnosen entsprechend der Lokalisation an Außen-, Innenklaue und Gesamtklaue am Beispiel unterschiedlicher Fälle des linken Hinterfußes

Kuh/Fall	Diagnose entsprechend Lokalisation		
	HLa	HLi	HLg
A	-	-	-
B	RE	RE	-
C	BF	BF	DID
D	RSG	-	DID
E	BF+RSG	BF	LI

HLa – linker Hinterfuß Außenklaue

HLi – linker Hinterfuß Innenklaue

HLg – linker Hinterfuß Zwischenklauenspalt und Ballenbereich

In Betrieb 1 erfolgte die Befunderhebung im wöchentlichen Abstand (Abbildung 14, S. 48). In Betrieb 2 wurde die Befunderhebung am Anfang und am Ende der Untersuchung vorgenommen (Abbildung 15, S. 48). Dabei wurden zum ersten Termin nur die lahmen Tiere untersucht und am zweiten Termin alle Tiere. In beiden Betrieben wurden schwerwiegende Fälle außerhalb der geplanten Befundtermine zusätzlich behandelt.

Tabelle 13: Diagnoseschlüssel für Klauenerkrankungen nach DLG e. V. (2010)

Schlüssel	Erkrankung	
1	RE	Klauenrehe (Laminitis)
1.1	WLD	Weiß-Linie-Defekt (Zusammenhangstrennung der weißen Linie)
1.2	WL	Wandläsion (Sohlenwandgeschwür)
1.3	DS	Doppelte Sohle
2	BF	Ballhornfäule
3	DID	Klauenfäule (Dermatitis interdigitalis)
4	DD	Mortellaro (Dermatitis digitalis)
5	PH	Phlegmone (Schwellung des Fußes)
5.1	ZP	Zwischenzehenphlegmone (Panaritium)
5.2	SK	Schwellung des Kronsaumes
6	SG	Sohlengeschwür
6.1	STG	Steingalle (Druckstelle)
6.2	RSG	Rusterholz'sches Sohlengeschwür
6.3	SSG	Sohlenspitzen- und Sohlengeschwür
6.4	KSG	Klauensohlengeschwür in untypischer Lokalisation
7	LI	Limax (Tylom)
8	HS	Hornspalt
9	B/S	Besonderheiten/Sonstiges

3.4 Erhebungsrhythmus und Datenumfang

Die Abbildung 14 und Abbildung 15 veranschaulichen die zeitliche Abfolge der Datenerhebung im jeweiligen Betrieb.



Abbildung 14: Zeitliche Abfolge der Datenerhebung während Untersuchungszeitraum in Betrieb 1

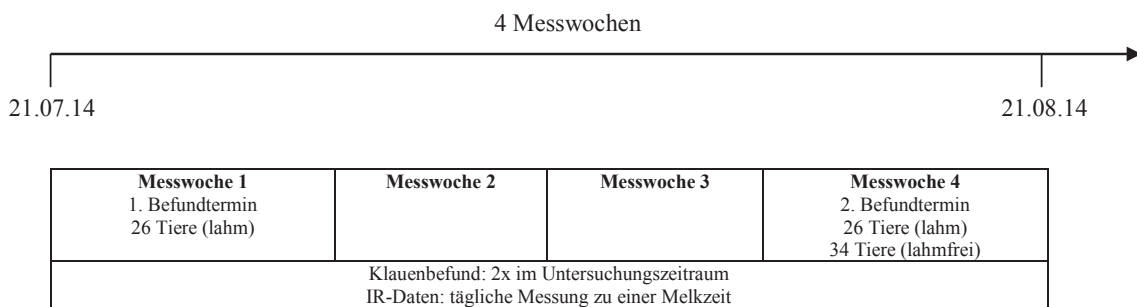


Abbildung 15: Zeitliche Abfolge der Datenerhebung während Untersuchungszeitraum in Betrieb 2

In der Tabelle 14 sind Untersuchungszeitraum und Umfang erhobener Daten für beide Betriebe dargestellt.

Tabelle 14: Übersicht Untersuchungszeitraum und Datenumfang für Betrieb 1 und Betrieb 2

	Betrieb 1	Betrieb 2
IR-Messung		
IR-Messzeitraum	18.05.13–06.06.13	21.07.14–21.08.14
IR-Messtage	20	32
Erhebungsrhythmus	1x tgl.	1x tgl.
Tiere	115	60
IR-Messflächen	4 (2x HL, 2x HR)	2 (1x HL, 1x HR)
IR-Kenngrößen	12	4
IR-Daten je IR-Kenngröße*	8842	3608
Klaubenbefunde		
Erhebungszeitraum	18.05.13–06.06.13	21.07.14–21.08.14
Erhebungsrhythmus	1x/Woche	2x im Untersuchungszeitraum
Tiere	117	60
Befundung HL und HR**	660	180

*Summe aller IR-Messflächen

**entspricht Anzahl der Befundtage für linken und rechten Hinterfuß (HL, HR)

3.5 Datenverarbeitung und statistische Analyse

3.5.1 Aufbereitung der Befunddaten

Die erfassten Diagnosen (Tabelle 24, S. 63) wurden in zwei Gruppen („positiver Befund“, „negativer Befund“) eingeteilt.

Unter der Gruppe „positiver Befund“ wurden Klauenerkrankungen zusammengefasst, welche Hinweise auf eine Wärmebildung zeigen und welche aus wirtschafts- und tier-schutzrelevanter Sicht als behandlungsbedürftig einzustufen sind:

- DD, LI, RE, RSG, KSG, SSG, WL².

Wurde mindestens eine dieser Erkrankungen diagnostiziert, erfolgte die Zuordnung als „positiver Befund“ (Fall B, D und E in Tabelle 12, S. 46). Dabei wurden Parallel-erkrankungen nicht berücksichtigt (Fall D und E in Tabelle 12, S. 46).

In die Gruppe „negativer Befund“ wurden gesunde Hinterfüße eingeordnet sowie Hinterfüße mit Klauenerkrankungen, welche nicht unter der Gruppe „positiver Befund“ zu- zuordnen waren (Fall A und C in Tabelle 12, S. 46):

- BF, DID, DS², STG, WLD², B/S.

3.5.2 Verknüpfung von IR-Daten und Befunddaten

Für die statistische Auswertung wurden die ermittelten IR-Kenngrößen den Klauenbefunden gegenübergestellt. Für jedes Untersuchungstier lagen die IR-Daten auf täglicher Basis und die Klauenbefunde zu den Befundtagen (BT) vor (Abbildung 16, S. 51). Die Anordnung der IR-Daten erlaubte einerseits die Gegenüberstellung beider Hinterfüße und andererseits den zeitlichen Verlauf einzelner Hinterfüße. Auf dieser Grundlage war die Entwicklung tierindividueller Algorithmen zur frühzeitigen Identifikation von Klauen-erkrankungen möglich.

² Diese Erkrankung wurde nur in Betrieb 2 diagnostiziert

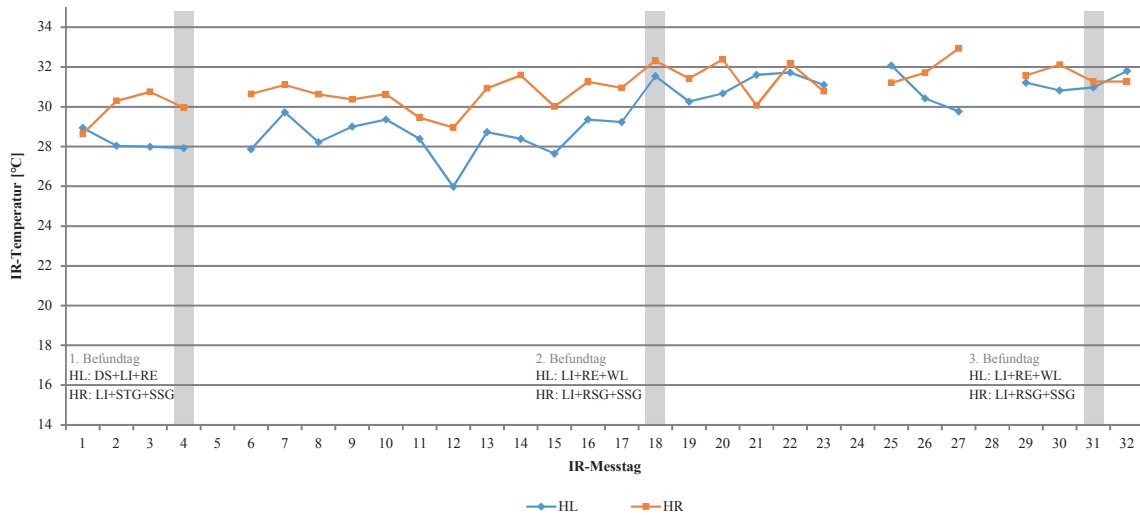


Abbildung 16: Beispiel eines tierindividuellen IR-Temperatur-Verlaufs („max“) des linken und rechten Hinterfußes (HL, HR) einschließlich Befundtage und Diagnosen

3.5.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung umfasste die deskriptive und explorative Statistik der IR-Daten, der Klauenbefunde und der IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit (MS Access 2016, Version 16.0.6828.1016; SPSS, Version 21.0.0.0).

Die Analysen zur Früherkennung von Klauenerkrankungen wurden mithilfe der ROC-Analyse (XLSTAT, Version 2016.02.27970) und unter Anwendung von Algorithmen (SAS, Version 9.4) durchgeführt.

3.5.3.1 IR-Daten

Für die IR-Daten wurden je IR-Kenngröße über alle IR-Messtage Häufigkeitsverteilungen beider Hinterfüße erstellt und anhand statistischer Parameter beschrieben. Die Histogramme dienten zur optischen Prüfung der Verteilungsform und insbesondere für die IR-Temperaturkenngrößen zur Identifizierung von Ausreißerwerten. Als Ausreißer wurden ausschließlich IR-Daten im niedrigen Temperaturbereich angesehen. Mit Orientierung an LOHNINGER (2012a) wurden Ausreißerwerte eliminiert, welche unterhalb der dreifachen Standardabweichung (MW minus $3 \cdot SD$) lagen (Tabelle 15, S. 52).

Tabelle 15: Temperaturwert bei dreifacher Standardabweichung und Anzahl für Ausreißer je IR-Temperaturkenngröße beider Hinterfüße (Betrieb 1, Betrieb 2)

	Betrieb 1				Betrieb 2	
	HL+HR unten		HL+HR oben		HL+HR	
	Temperaturwert (°C)	N	Temperaturwert (°C)	N	Temperaturwert (°C)	N
mean	19,10	20	-	-	-	-
max	22,52	32	23,79	32	23,51	29
maxmax	22,72	34	23,98	36	23,68	30
maxAvg5	-	-	-	-	23,17	31
maxAvg9	-	-	-	-	22,96	31
max2	22,20	32	22,78	29	-	-
max5	21,90	29	22,12	28	-	-
hmax	19,42	22	18,42	23	-	-
hmin	10,49	3	12,43	10	-	-

3.5.3.2 Befunddaten

Die deskriptive Statistik der Klauenbefunde beschränkte sich auf die Analyse der Häufigkeiten. Es wurden absolute und relative Häufigkeiten für diagnostizierte Erkrankungen ermittelt. Darüber hinaus wurde die Häufigkeit in Abhängigkeit von der Klauengesundheit („negativer Befund“, „positiver Befund“) bestimmt.

3.5.3.3 IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit

In Vorbereitung auf die Analyse zur Krankheitsfrüherkennung wurden die IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit („negativer Befund“, „positiver Befund“) charakterisiert (Mittelwertvergleich). Hierbei flossen nur die IR-Daten an den Befundtagen ein. Die IR-Daten der Stichproben wurden vor Testdurchführung auf das Vorliegen der Normalverteilung überprüft (Histogramm, Q-Q-Diagramm). Der Mittelwertvergleich erfolgte bei normalverteilten IR-Daten mit dem t-Test für unabhängige Stichproben und bei nicht normalverteilten IR-Daten mit dem Mann-Whitney U-Test auf dem Signifikanzniveau $p < 0,05$.

3.5.3.4 Analysemethoden zur Identifizierung von Klauenerkrankungen

Ziel war es herauszufinden, mit welchen IR-Kenngrößen (Tabelle 10 und Tabelle 11, S. 45) und anhand welcher IR-Messflächen (Abbildung 10 und Abbildung 11, S. 43) unter der Anwendung zwei verschiedener Analysemethoden Klauenerkrankungen frühzeitig erkannt werden können. Beiden Methoden wurden die These einer erhöhten IR-Kenngröße mit dem Auftreten von Klauenerkrankungen zu Grunde gelegt.

1) Vergleich tierindividueller Hinterfüße (Kap. 3.5.3.4.1, S. 54):

Diese Methode wurde in der Literatur bisher mehrmals angewendet (ALSAAOD & BÜSCHER 2012; ALSAAOD et al. 2014; WOOD et al. 2015) und beschreibt den Vergleich von zwei anatomisch gleichen Regionen zur Ermittlung relevanter Temperaturunterschiede innerhalb eines Tieres.

2) Zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße (Kap. 3.5.3.4.2, S. 56):

Diese Methode wurde zur Auswertung von tierindividuellen IR-Datenverläufen täglicher IR-Messungen herangezogen (PASSARGE 2013) und fand in der Literatur bisher wenig Anwendung.

Die Beurteilung der Güte der IRT zur Identifizierung von Klauenerkrankungen erfolgte anhand des diagnostischen Tests (Tabelle 16, S. 54) und dessen Validitätsmaße:

- **Sensitivität (Se):** Beschreibt den Anteil richtig positiver Fälle an allen Fällen mit positivem Befund.

$$Se = \frac{rp}{rp + fn}$$

- **Spezifität (Sp):** Beschreibt den Anteil richtig negativer Fälle an allen Fällen mit negativem Befund.

$$Sp = \frac{rn}{rn + fp}$$

- **positiver Vorhersagewert (pV):** Beschreibt den Anteil richtig positiver Fälle an allen Fällen mit positivem Alarm.

$$pV = \frac{rp}{rp + fp}$$

- **negativer Vorhersagewert (nV):** Beschreibt den Anteil richtig negativer Fälle an allen Fällen mit negativem Alarm.

$$nV = \frac{rn}{rn + fn}$$

Tabelle 16: Vierfeldertafel des diagnostischen Tests (modifiziert nach SCHWARZER 2002a)

		Referenzmethode: Klauenbefund	
		positiver Befund	negativer Befund
Neues Verfahren: IRT	positiver Alarm	richtig positiv (rp)	falsch positiv (fp)
	negativer Alarm	falsch negativ (fn)	richtig negativ (rn)

Im diagnostischen Test wurde die IRT als neues Verfahren mit der Referenzmethode verglichen. Als Referenz wurden die Kategorien „positiver Befund“ und „negativer Befund“ an den Befundtagen herangezogen (Kap. 3.5.1, S. 50). Für die IRT lagen die Kategorien „positiver Alarm“ und „negativer Alarm“ vor (Kap. 3.5.3.4.1, S. 54 und Kap. 3.5.3.4.2, S. 56).

In beiden Analysemethoden wurde jeder Befundtermin für das Einzeltier verrechnet. Mehrfachmessungen eines Tieres aufgrund mehrerer Befundtermine wurden nicht berücksichtigt. Die Algorithmen wurden zunächst separat für rechte Hinterfüße und für linke Hinterfüße bewertet. Anschließend wurden die Werte der Vierfeldertafel für beide Hinterfüße zusammengefasst und die Validitätsmaße berechnet.

Die Sensitivität und Spezifität hängen vom Grenzwert ab und bedingen sich gegenseitig (SAVOCA 2013). Somit bewirkt z. B. die Senkung des Grenzwerts eine Erhöhung der Sensitivität und eine Reduzierung der Spezifität (JANSSEN & LAATZ 2013, S. 718; SAVOCA 2013). Für den praktischen Einsatz sind der positive und der negative Vorhersagewert von größerer Bedeutung als die Sensitivität und Spezifität (SCHWARZER 2002b).

3.5.3.4.1 Vergleich tierindividueller Hinterfüße

Hierzu wurde der Befundstatus beider Hinterfüße gegenübergestellt und zu einem Befundstatus zusammengefasst (Tabelle 17, S. 55). Dabei interessierten alle Fälle, bei denen innerhalb eines Tieres ein „positiver Befund“ an einem Hinterfuß gestellt wurde und bei denen an beiden Hinterfüßen ein „negativer Befund“ vorlag. Fälle mit positivem Befund an beiden Hinterfüßen wurden aus der Analyse ausgeschlossen.

Anschließend wurde die Differenz zwischen beiden Hinterfüßen innerhalb eines Tieres ermittelt. Für die IR-Temperaturkenngrößen entsprach dies der Temperaturdifferenz (K) und für die IR-Flächenkenngrößen der Differenz der Flächenanteile.

Tabelle 17: Befundstatus beider Hinterfüße (HL/HR) für den Vergleich tierindividueller Hinterfüße

Befund HL	Befund HR	Befund HL/HR	Daten in Analyse genutzt
negativ	negativ	negativ	ja
negativ	positiv	positiv	
positiv	negativ	positiv	
positiv	positiv	-	nein

Jeder Differenzwert stellte ein Grenzwert dar, welcher im Rahmen der ROC-Analyse (Receiver Operating Characteristic) anhand des diagnostischen Tests überprüft wurde. Bei Überschreitung des Grenzwertes wurde ein „positiver Alarm“ erzeugt, andernfalls (kleiner oder gleich dem Grenzwert) wurde ein „negativer Alarm“ ausgewiesen.

In der dazugehörigen ROC-Kurve (Abbildung 17, S. 56) sind die Wertepaare Sensitivität und 1-Spezifität für alle möglichen Grenzwerte grafisch dargestellt. Der optimale Grenzwert ist dort zu finden, wo der Abstand zur Diagonale am größten ist bzw. die Summe aus Sensitivität und Spezifität maximal ist. Die Fläche unter der ROC-Kurve (AUC=Area Under the Curve) dient weiterhin als Maß für die Genauigkeit eines diagnostischen Tests (Fähigkeit der Unterscheidung zwischen „negativem Befund“ und „positivem Befund“). Der Kurvenverlauf für einen genauen Test erstreckt sich möglichst weit oben auf der Y-Achse und strebt nach rechts oben. Dagegen liegt die Kurve eines ungenauen Tests nahe der Diagonalen. Folglich gelten AUC-Werte von 0,5 als zufällig bzw. wertlos, zwischen 0,7 und 0,8 als akzeptabel, zwischen 0,8 und 0,9 als gut und größer als 0,9 als ausgezeichnet. (AKOBENG 2007; PFUNDSTEIN 2009; LOHNINGER 2012b; JANSSEN & LAATZ 2013, S. 718; ADDINSOFT 2016)

In der Analyse wurde jeder berechnete AUC-Wert mit einer AUC von 0,5 verglichen und auf Signifikanz getestet ($p < 0,1$). Der AUC-Wert wurde für den Vergleich mehrerer ROC-Kurven herangezogen. Dies ermöglichte die Aussage darüber, welche IR-Kenngröße für die Identifikation von Klauenerkrankungen am besten geeignet war.

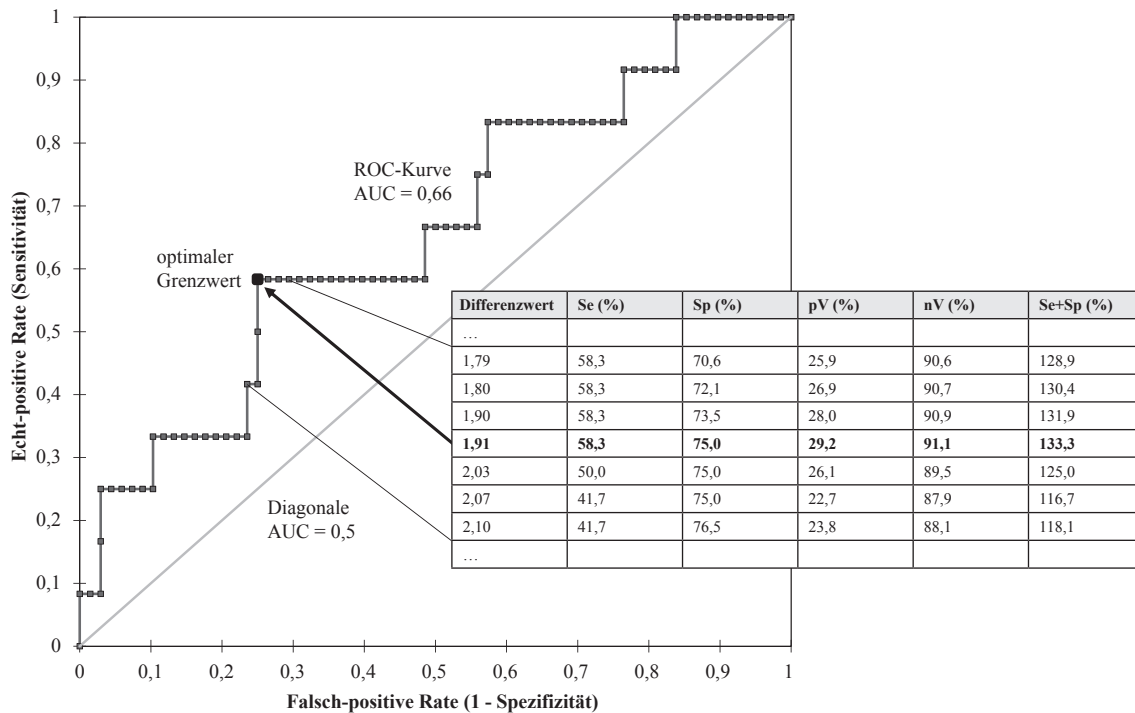


Abbildung 17: ROC-Kurve mit dazugehörigen Werten aus ROC-Analyse

3.5.3.4.2 Zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße

Für die zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße wurden in Anlehnung an PASSARGE (2013, S. 112) insgesamt vier Algorithmen aufgestellt:

Algorithmus 1: $IR\text{-Kenngröße}_{BT} > IR\text{-Kenngröße}_{x\text{-Tage-MW}}$

Algorithmus 2: $IR\text{-Kenngröße}_{BT} > IR\text{-Kenngröße}_{x\text{-Tage-MW}+1SD}$

Algorithmus 3: $IR\text{-Kenngröße}_{BT} > IR\text{-Kenngröße}_{x\text{-Tage-MW}+2SD}$

Algorithmus 4: $IR\text{-Kenngröße}_{BT} > IR\text{-Kenngröße}_{x\text{-Tage-MW}+0,5SD}$

Diese basierten auf die Berechnung von Tagesmittelwerten aus x ($x=3, 5, 7, 10, 14, 21$) zurückliegenden Tagen ($x\text{-Tage-MW}$) ausgehend vom Befundtag (BT). Für die Berechnung der Tagesmittelwerte musste die Bedingung für fehlende IR-Daten (fehlende IR-Messtage) erfüllt sein, wie in Tabelle 18 (S. 57) dargestellt (vgl. Bsp. in Tabelle 19, S. 58). Dabei wurde nicht berücksichtigt an welchen Tagen die fehlenden IR-Messtage auftraten.

Ausgehend von Algorithmus 1 wurden unter Verwendung unterschiedlicher Standardabweichungen (SD) die Algorithmen 2, 3 und 4 abgeleitet. Mit der Standardabweichung wurde die Streuung der Einzelmesswerte um dessen Tagesmittelwert berücksichtigt und als obere Intervallgrenze (Grenzwert) für den diagnostischen Test herangezogen.

Mit zunehmender Standardabweichung wurde der Grenzwert im diagnostischen Test höher gesetzt. Ein „positiver Alarm“ wurde ausgelöst, wenn der IR-Kenngrößenwert am Befundtag den Tagesmittelwert (zuzüglich entsprechende SD) überschritt, andernfalls wurde dieses Ereignis als ein „negativer Alarm“ definiert (Beispiel in Tabelle 19, S. 58).

Tabelle 18: Maximale Anzahl fehlender IR-Messtage für die Berechnung der Tagesmittelwerte aus x Tagen (x = 3, 5, 7, 10, 14, 21)

	Tagesmittelwert aus					
	3 Tage	5 Tage	7 Tage	10 Tage	14 Tage	21 Tage
maximale Anzahl fehlender IR-Messtage	keiner	1	2	3	4	6

Tabelle 19: Darstellung von Algorithmus 4 (IR-Kenngröße_{BT} > IR-Kenngröße_{x-Tage-MW+0,5SD}) für 7 Tage und 21 Tage ausgehend vom Befundtag am Beispiel vom linken Hinterfuß eines Untersuchungstieres für IR-Kenngröße „max“

IR-Messtag	Klauenbefund	max (°C)
1		28,9
2		28,0
3		28,0
4	DS+LI+RE	27,9
5		-
6		27,9
7		29,7
8		28,2
9		29,0
10		29,4
11		28,4
12		26,0
13		28,7
14		28,4
15		27,6
16		29,4
17		29,2
18	LI+RE+WL	31,5
19		30,3
20		30,7
21		31,6
22		31,7
23		31,1
24		-
25		32,1
26		30,4
27		29,8
28		-
29		31,2
30		30,8
31	LI+RE+WL	31,0
32		31,8

Keine Berechnung von 7-Tage-MW+0,5SD und 21-Tage-MW+0,5SD möglich, da nicht ausreichend IR-Messtage vorliegen

Berechnung 7-Tage-MW+0,5SD: **28,8 °C**
 7 Tage-MW: 28,2 °C
 7 Tage-0,5SD: 0,6 °C

Vergleich IR-Kenngröße am Befundtag mit 7-Tage-MW+0,5SD:
31,5 °C > 28,8 °C
 → **positiver Alarm**

Berechnung 21-Tage-MW+0,5SD: **30,7 °C**
 21 Tage-MW: 29,9 °C
 21 Tage-0,5SD: 0,8 °C

Vergleich IR-Kenngröße am Befundtag mit 21-Tage-MW+0,5SD:
31,0 °C > 30,7 °C
 → **positiver Alarm**

Berechnung 7-Tage-MW+0,5SD: **31,3 °C**
 7 Tage-MW: 30,9 °C
 7 Tage-0,5SD: 0,4 °C

Vergleich IR-Kenngröße am Befundtag mit 7-Tage-MW+0,5SD:
31,0 °C ≤ 31,3 °C
 → **negativer Alarm**

4 Ergebnisse

4.1 IR-Daten

4.1.1 IR-Temperaturkenngrößen

Die Histogramme der IR-Temperaturkenngrößen zeigten für beide Betriebe eine normalverteilte Form auf (Abbildung A.1–Abbildung A.3, S. 106ff.; Abbildung A.5, S. 110). Lediglich „hmin“ (Betrieb 1) wies an den IR-Messflächen „HL+HR unten“ eine leichte Abweichung gegenüber der Normalverteilung auf (Abbildung A.2, S. 107). Da die IR-Temperaturkenngrößen „max“ und „maxmax“ in beiden Betrieben erfasst wurden, werden diese als Beispiele herangezogen. Eine vollständige Übersicht statistischer Kennwerte und dazugehöriger Histogramme aller IR-Temperaturkenngrößen sind im Anhang (S. 103–110) ersichtlich.

Beide IR-Temperaturkenngrößen deuteten in Betrieb 1 gegenüber Betrieb 2 einen höheren Mittelwert und eine größere Standardabweichung an (Tabelle 20 und Tabelle 21, S. 59f.). Innerhalb Betrieb 1 konnten für die IR-Messflächen „HL+HR oben“ höhere Mittelwerte als an den IR-Messflächen „HL+HR unten“ bestimmt werden (Tabelle 20 und Tabelle 21, S. 59f.). Gegenüber Betrieb 2 wurden in Betrieb 1 höhere Temperaturwerte gemessen (Tabelle 20 und Tabelle 21, S. 59f.). Weiterhin ergab sich für Betrieb 1 eine größere Spannweite (Tabelle 20 und Tabelle 21, S. 59f.).

Tabelle 20: Statistische Kennwerte am Beispiel von „max“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“, „HL+HR oben“ (Betrieb 1) und „HL+HR“ (Betrieb 2)

	Betrieb 1		Betrieb 2
	HL+HR unten	HL+HR oben	HL+HR
N	4476	4302	3579
MW (°C)	31,28	32,00	29,26
SEM (°C)	0,04	0,04	0,03
SD (°C)	2,73	2,54	1,79
Min (°C)	22,54	23,81	23,53
Max (°C)	39,40	40,13	33,38
Spannweite (K)	16,86	16,33	9,85

Tabelle 21: Statistische Kennwerte am Beispiel von „maxmax“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“, „HL+HR oben“ (Betrieb 1) und „HL+HR“ (Betrieb 2)

	Betrieb 1		Betrieb 2
	HL+HR unten	HL+HR oben	HL+HR
N	4474	4298	3578
MW (°C)	31,44	32,13	29,41
SEM (°C)	0,04	0,04	0,03
SD (°C)	2,72	2,52	1,79
Min (°C)	22,82	23,99	23,70
Max (°C)	39,46	40,18	33,48
Spannweite (K)	16,64	16,19	9,79

4.1.2 IR-Flächenkenngrößen

Die IR-Flächenkenngrößen wiesen bis auf „relmax85“ (IR-Messflächen „HL+HR oben“) eine unsymmetrische Verteilung auf (Abbildung A.2, S. 107; Abbildung A.4, S. 109). Zum Beispiel zeigt das Histogramm von „rel30“ eine annähernd gleichverteilte Form mit einer deutlichen Überzahl von Null Flächenanteilen (Abbildung 18, S. 61). Aus der Tabelle 22 (S. 61) geht für „rel30“ ein im Mittel höherer Flächenanteil für die IR-Messflächen „HL+HR unten“ als für die IR-Messflächen „HL+HR oben“ hervor. Gleiches war an allen weiteren IR-Flächenkenngrößen festzustellen (Tabelle A.1 und Tabelle A.2, S. 103f.). Generell zeigte sich, dass die Mittelwerte mit zunehmendem absoluten Temperaturwert (30 °C, 32 °C, 34 °C) und prozentualen Maximalwert (85 %, 95 %) kleiner wurden (Tabelle A.1 und Tabelle A.2, S. 103f.). Eine vollständige Übersicht statistischer Kennwerte und dazugehöriger Histogramme aller IR-Flächenkenngrößen sind im Anhang (S. 103 – 109) ersichtlich.

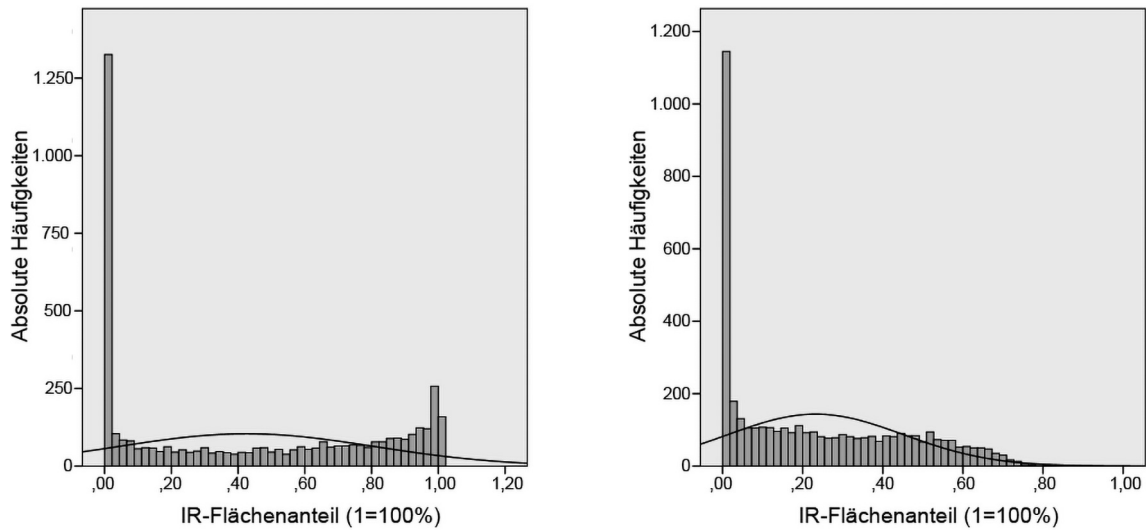


Abbildung 18: Histogramme am Beispiel von „rel30“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“ (links) und „HL+HR oben“ (rechts) (Betrieb 1)

Tabelle 22: Statistische Kennwerte am Beispiel von „rel30“ für IR-Messflächen „HL+HR unten“ und „HL+HR oben“ (Betrieb 1)

	Betrieb 1	
	HL+HR unten	HL+HR oben
N	4508	4334
MW (1 = 100 %)	0,42	0,23
SEM (1 = 100 %)	0,01	0
Median (1 = 100 %)	0,38	0,18
Modus (1 = 100 %)	0	0
Min (1 = 100 %)	0	0
Max (1 = 100 %)	1,00	0,81
Spannweite (1 = 100 %)	1,00	0,81

4.2 Befunddaten

4.2.1 Erkrankungshäufigkeiten

Insgesamt wurden in Betrieb 1 an 117 Tiere 660 Befundungen und in Betrieb 2 an 60 Tieren 180 Befundungen an beiden Hinterfüßen durchgeführt (Tabelle 23).

Tabelle 23: Anzahl Befundungen und Tiere für Betrieb 1 und Betrieb 2

	Betrieb 1		Betrieb 2	
	Befundungen	Tiere	Befundungen	Tiere
HL	330	117	90	60
HR	330	117	90	60
gesamt	660	117	180	60

Insgesamt wurden in Betrieb 1 749 Erkrankungen und in Betrieb 2 351 Erkrankungen (Erst- und Folgediagnosen) erfasst (Tabelle 24, S. 63). Des Weiteren zeigt Tabelle 24 mit welcher Häufigkeit die Erkrankungen diagnostiziert wurden, unabhängig davon, ob die Erkrankung einzeln oder parallel mit weiteren Erkrankungen auftrat. Es wird deutlich, dass in Betrieb 1 vermehrt infektiöse Erkrankungen und in Betrieb 2 überwiegend rehe-assoziierte Erkrankungen festgestellt wurden. Demnach wurden in Betrieb 1 Ballenhornfäule (49,8%) und Klauenfäule (30,2%) am häufigsten diagnostiziert. In Betrieb 2 wurden am häufigsten Klauenrehe (31,3%) und Weiße-Linie-Defekte (27,4%) festgestellt.

Tabelle 24: Absolute und relative Häufigkeit diagnostizierter Erkrankungen für Betrieb 1 und Betrieb 2

	Betrieb 1		Betrieb 2	
	N	%	N	%
Ballenhornfäule (BF)	373	49,8	12	3,4
Mortellaro (DD)	61	8,1	3	0,9
Klauenfäule (DID)	226	30,2	17	4,8
Limax (LI)	32	4,3	17	4,8
Doppelte Sohle (DS)	-	-	37	10,5
Klauenrehe (RE)	22	2,9	110	31,3
Steingalle (STG)	24	3,2	26	7,4
Klauensohlengeschwür (KSG)	1	0,1	7	2,0
Rusterholz'sches Sohlengeschwür (RSG)	4	0,5	2	0,6
Sohlenspitzeneschwür (SSG)	4	0,5	7	2,0
Weiß-Linie-Defekt (WLD)	-	-	96	27,4
Wandläsion (WL)	-	-	15	4,3
Besonderheiten/Sonstiges (B/S)	2	0,3	2	0,6
gesamt	749	100	351	100

4.2.2 Häufigkeiten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit

In Betrieb 2 wurden im Vergleich zu Betrieb 1 mehr Hinterfüße mit „positivem Befund“ erfasst (Tabelle 25 und Tabelle 26). In Betrieb 1 war die Erkrankungshäufigkeit an beiden Hinterfüßen gleich (Tabelle 25). In Betrieb 2 waren die rechten Hinterfüße häufiger von einem „positiven Befund“ betroffen (Tabelle 26).

Tabelle 25: Absolute und relative Häufigkeit in Abhängigkeit von der Klauengesundheit (Betrieb 1)

	negativer Befund	positiver Befund	Summe
HL	270 (40,9%)	60 (9,1%)	330 (50,0%)
HR	270 (40,9%)	60 (9,1%)	330 (50,0%)
Summe	540 (81,8%)	120 (18,2%)	660 (100%)

Tabelle 26: Absolute und relative Häufigkeit in Abhängigkeit von der Klauengesundheit (Betrieb 2)

	negativer Befund	positiver Befund	Summe
HL	29 (16,1%)	61 (33,9%)	90 (50,0%)
HR	19 (10,6%)	71 (39,4%)	90 (50,0%)
Summe	48 (26,7%)	132 (73,3%)	180 (100%)

4.3 IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit

4.3.1 Vergleich von Hinterfüßen mit „negativem Befund“ und Hinterfüßen mit „positivem Befund“

4.3.1.1 IR-Temperaturkenngrößen

In Betrieb 1 zeigten Hinterfüße mit „positivem Befund“ geringfügig höhere Mittelwerte gegenüber Hinterfüßen mit „negativem Befund“ (Abbildung 19 und Tabelle 27, S. 64f.; Abbildung 20 und Tabelle 28, S. 65f.). Es konnte nur bei „hmax“ (IR-Messflächen „HL+HR oben“) ein signifikanter Unterschied ($p < 0,05$) und bei „hmin“ (IR-Messflächen „HL+HR oben“) ein tendenziell höherer Mittelwert für Hinterfüße mit „positivem Befund“ nachgewiesen werden (Tabelle 28, S. 66).

Im Vergleich zu Betrieb 1 waren die Mittelwertunterschiede in Betrieb 2 stärker ausgeprägt und bei allen IR-Temperaturkenngrößen signifikant ($p < 0,05$) (Abbildung 21 und Tabelle 29, S. 66f.).

Anhand von „max“ und „maxmax“ zeigte sich in Betrieb 1 ein höheres Temperaturniveau als in Betrieb 2 (Tabelle 27 – Tabelle 29, S. 65ff.).

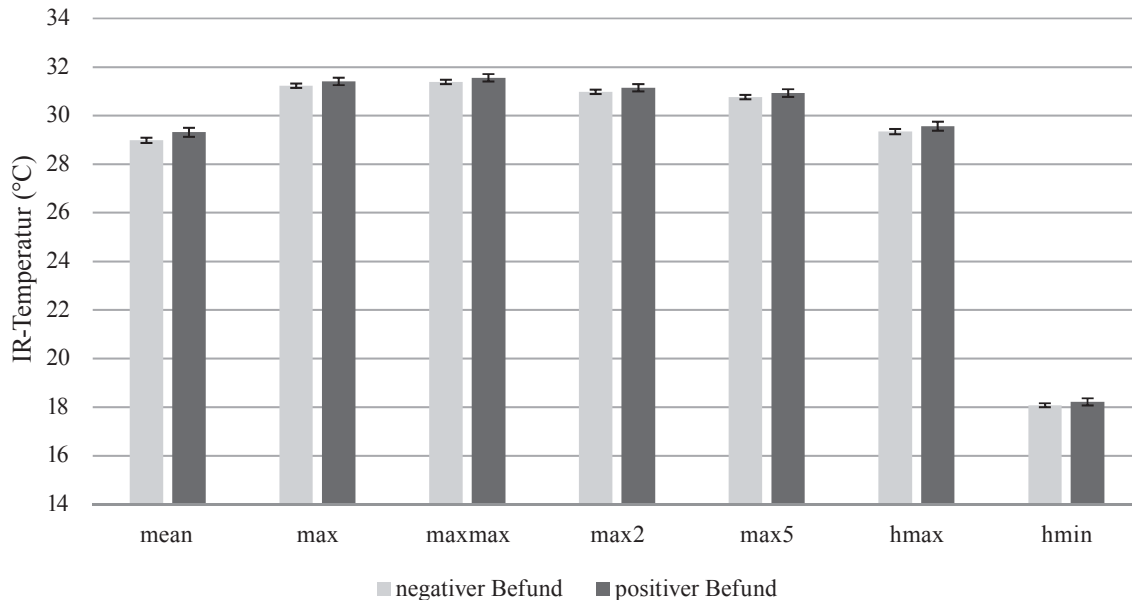


Abbildung 19: Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR unten“)

Tabelle 27: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (t-Test für unabhängige Stichproben) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HRunten“)

IR-Temperaturkenngröße	Befund	N	MW (°C)	SEM (°C)	p-Wert
mean	negativer Befund	528	28,98	0,11	0,119
	positiver Befund	111	29,31	0,18	
max	negativer Befund	528	31,23	0,09	0,321
	positiver Befund	111	31,41	0,15	
maxmax	negativer Befund	527	31,39	0,09	0,338
	positiver Befund	111	31,56	0,15	
max2	negativer Befund	528	30,98	0,09	0,354
	positiver Befund	111	31,15	0,15	
max5	negativer Befund	528	30,76	0,09	0,360
	positiver Befund	111	30,93	0,16	
hmax	negativer Befund	528	29,34	0,11	0,288
	positiver Befund	111	29,57	0,19	
hmin	negativer Befund	528	18,08	0,08	0,478
	positiver Befund	111	18,21	0,15	

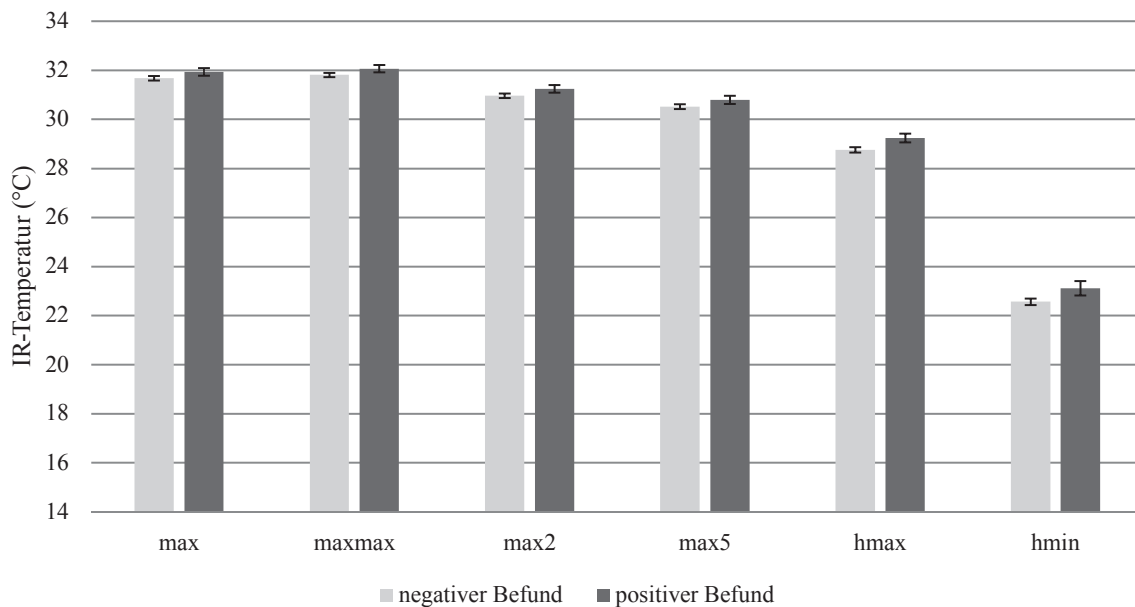


Abbildung 20: Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HRoben“)

Tabelle 28: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (t-Test für unabhängige Stichproben) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HRoben“)

IR-Temperaturkenngröße	Befund	N	MW (°C)	SEM (°C)	p-Wert
max	negativer Befund	508	31,68	0,09	0,147
	positiver Befund	105	31,93	0,15	
maxmax	negativer Befund	507	31,81	0,09	0,150
	positiver Befund	105	32,07	0,15	
max2	negativer Befund	508	30,96	0,09	0,132
	positiver Befund	105	31,24	0,16	
max5	negativer Befund	508	30,52	0,10	0,151
	positiver Befund	105	30,80	0,16	
hmax	negativer Befund	508	28,76	0,11	0,025
	positiver Befund	105	29,24	0,18	
hmin	negativer Befund	508	22,57	0,13	0,084
	positiver Befund	105	23,11	0,29	

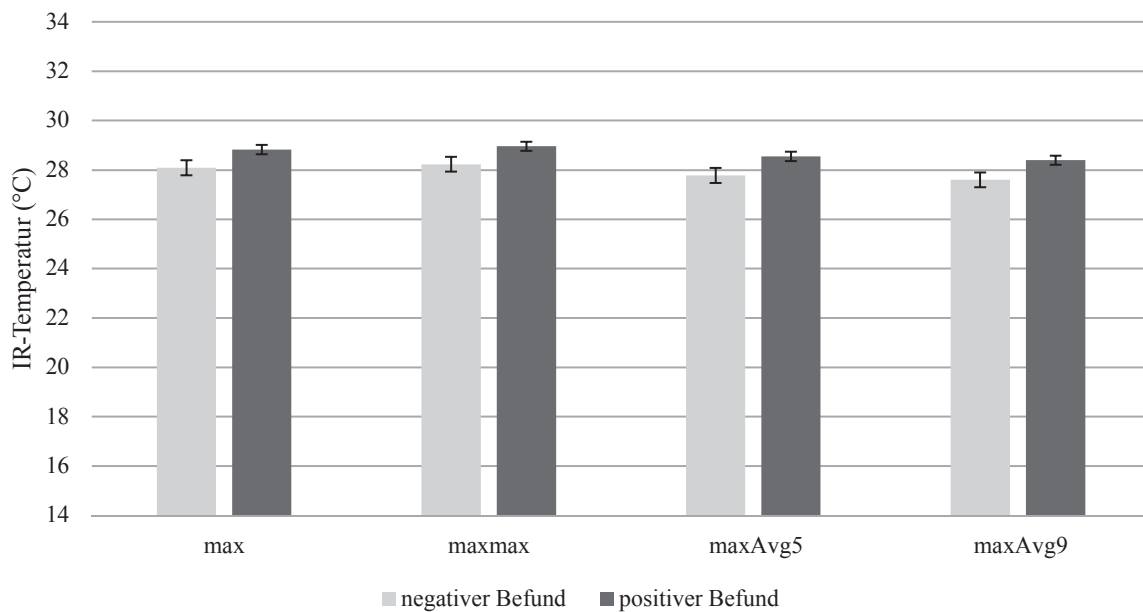


Abbildung 21: Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2, IR-Messflächen „HL+HR“)

Tabelle 29: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (t-Test für unabhängige Stichproben) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2, IR-Messflächen „HL+HR“)

IR-Temperaturkenngröße	Befund	N	MW (°C)	SEM (°C)	p-Wert
max	negativer Befund	42	28,09	0,30	0,044
	positiver Befund	123	28,82	0,19	
maxmax	negativer Befund	42	28,23	0,30	0,047
	positiver Befund	123	28,96	0,19	
maxAvg5	negativer Befund	42	27,78	0,30	0,036
	positiver Befund	123	28,55	0,19	
maxAvg9	negativer Befund	42	27,60	0,30	0,032
	positiver Befund	123	28,39	0,19	

4.3.1.2 IR-Flächenkenngrößen

Bei den IR-Flächenkenngrößen wies lediglich „relmax85“ (IR-Messflächen „HL+HR unten“) für Hinterfüße mit „positivem Befund“ einen signifikant höheren Mittelwert ($p < 0,05$) gegenüber Hinterfüßen mit „negativem Befund“ auf (Abbildung 22 und Tabelle 30, S. 68). Bei allen weiteren IR-Flächenkenngrößen lagen die mittleren Flächenanteile beider Gruppen („negativer Befund“, „positiver Befund“) auf einem Niveau (Abbildung 22 und Tabelle 30, S. 68; Abbildung 23 und Tabelle 31, S. 69). Trotz Flächenanteile von Null, wies der U-Test bei „rel34“ (IR-Messflächen „HL+HR oben“) einen signifikanten Mittelwertunterschied ($p < 0,05$) aus (Tabelle 31, S. 69).

Generell zeigten sich an den IR-Messflächen „HL+HR unten“ im Mittel größere Flächenanteile als an den IR-Messflächen „HL+HR oben“ (Tabelle 30, S. 68; Tabelle 31, S. 69). Weiterhin war zu beobachten, dass die Mittelwerte mit zunehmendem absoluten Temperaturwert (30 °C, 32 °C, 34 °C) und prozentualen Maximalwert (85 %, 95 %) kleiner wurden (Tabelle 30, S. 68; Tabelle 31, S. 69). Temperaturwerte von ≥ 34 °C („rel34“) wurden nur vereinzelt gemessen, sodass die Mittelwerte der Flächenanteile unabhängig vom Befundstatus Null ergaben (Tabelle 30, S. 68; Tabelle 31, S. 69).

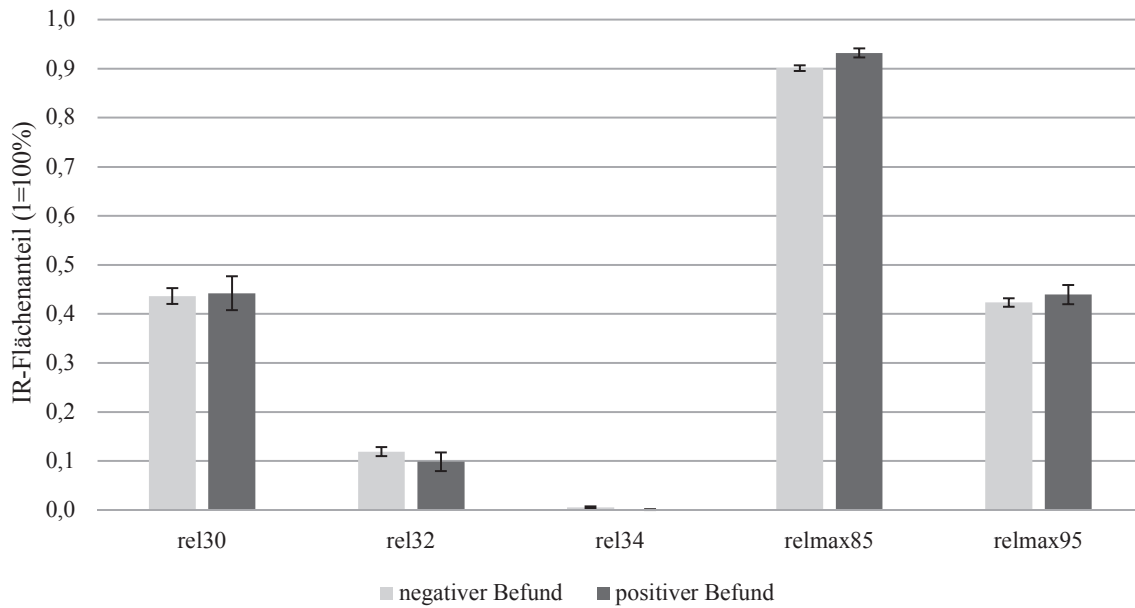


Abbildung 22: Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HRunten“)

Tabelle 30: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HRunten“)

IR-Flächenkenngröße	Befund	N	MW (1=100 %)	SEM (1=100 %)	p-Wert
rel30	negativer Befund	528	0,44	0,02	0,691
	positiver Befund	111	0,44	0,03	
rel32	negativer Befund	528	0,12	0,01	0,981
	positiver Befund	111	0,10	0,02	
rel34	negativer Befund	528	0,01	0	0,113
	positiver Befund	111	0	0	
relmax85	negativer Befund	528	0,90	0,01	0,009
	positiver Befund	111	0,93	0,01	
relmax95	negativer Befund	528	0,42	0,01	0,526
	positiver Befund	111	0,44	0,02	

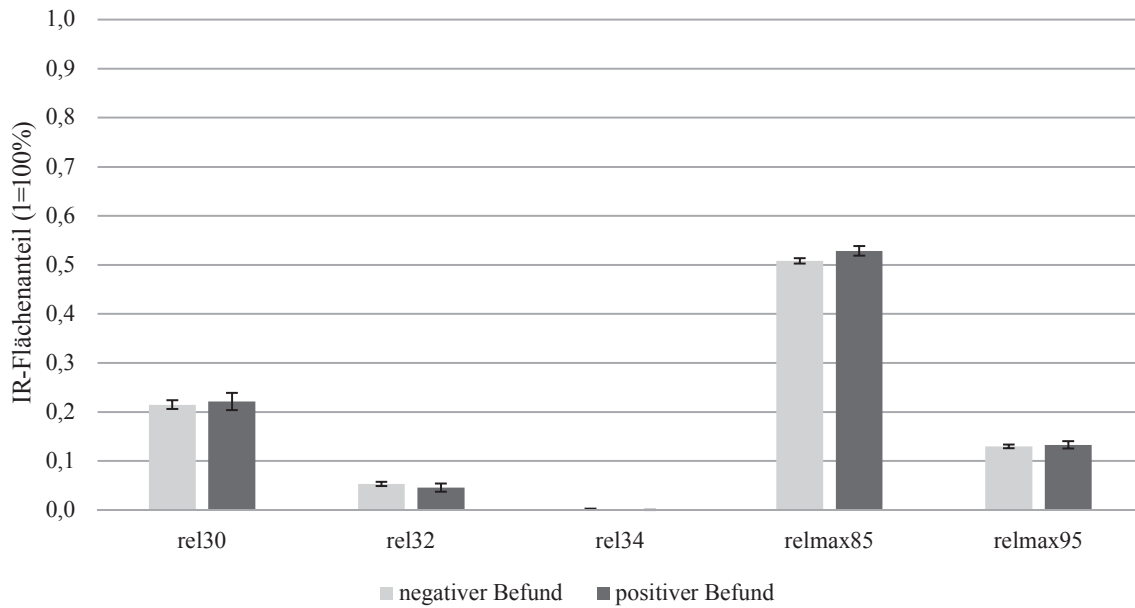


Abbildung 23: Mittelwerte mit Standardfehler für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR oben“)

Tabelle 31: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) für Hinterfüße mit „negativem Befund“ und „positivem Befund“ je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1, IR-Messflächen „HL+HR oben“)

IR-Flächenkenngröße	Befund	N	MW (1=100 %)	SEM (1=100 %)	p-Wert
rel30	negativer Befund	508	0,22	0,01	0,475
	positiver Befund	105	0,22	0,02	
rel32	negativer Befund	508	0,05	0	0,572
	positiver Befund	105	0,05	0,01	
rel34	negativer Befund	508	0	0	0,035
	positiver Befund	105	0	0	
relmax85	negativer Befund	508	0,51	0,01	0,178
	positiver Befund	105	0,53	0,01	
relmax95	negativer Befund	508	0,13	0	0,602
	positiver Befund	105	0,13	0,01	

4.3.2 Vergleich tierindividueller Differenzen zwischen Hinterfüßen mit „negativem Befund“ und zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“

4.3.2.1 IR-Temperaturkenngrößen

Die Mittelwerte der Differenz zwischen Hinterfüßen mit „negativem Befund“ sowie zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ wiesen in beiden Betrieben keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$) auf (Tabelle 32–Tabelle 34, S. 71ff.). In Betrieb 1 lagen die Mittelwerte auf einem ähnlich hohen Niveau von ca. 1 K (Abbildung 24 und Tabelle 32, S. 70f.; Abbildung 25 und Tabelle 33, S. 71f.). Ausnahme stellte „hmin“ (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) dar (Abbildung 25 und Tabelle 33, S. 71f.). Weiterhin deuteten sich in Betrieb 1 (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) und insbesondere in Betrieb 2 niedrigere Mittelwerte der Differenz zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ an (Abbildung 24 und Tabelle 32, S. 70f.; Abbildung 26 und Tabelle 34, S. 72f.).

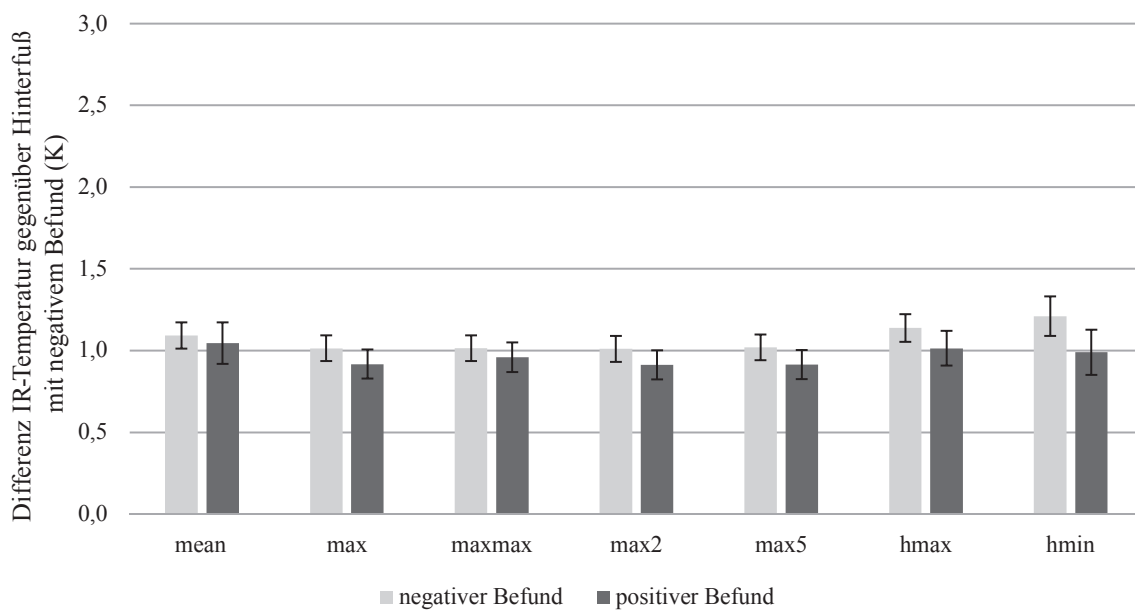


Abbildung 24: Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)

Tabelle 32: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)

IR-Temperaturkenngröße	Befund HL/HR	N	MW (K)	SEM (K)	p-Wert
mean	negativer Befund	226	1,09	0,11	0,945
	positiver Befund	69	1,05	0,18	
max	negativer Befund	226	1,01	0,09	0,724
	positiver Befund	69	0,92	0,15	
maxmax	negativer Befund	225	1,02	0,09	0,428
	positiver Befund	69	0,96	0,15	
max2	negativer Befund	226	1,01	0,09	0,761
	positiver Befund	69	0,91	0,15	
max5	negativer Befund	226	1,02	0,09	0,820
	positiver Befund	69	0,91	0,16	
hmax	negativer Befund	226	1,14	0,11	0,790
	positiver Befund	69	1,01	0,19	
hmin	negativer Befund	226	1,21	0,08	0,936
	positiver Befund	69	0,99	0,15	

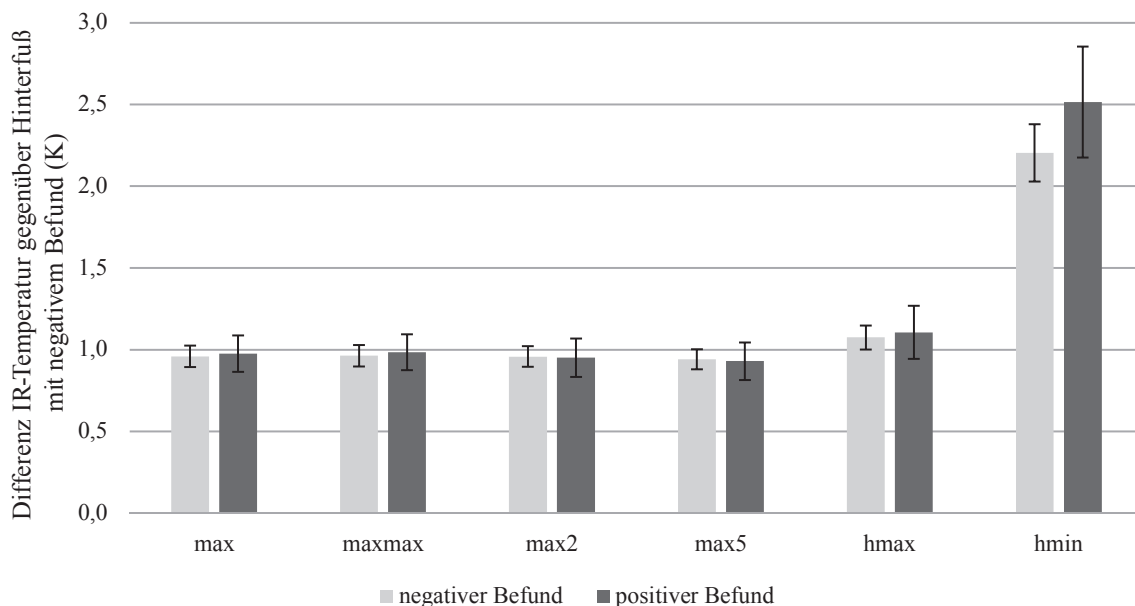


Abbildung 25: Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)

Tabelle 33: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 1)

IR-Temperaturkenngröße	Befund HL/HR	N	MW (K)	SEM (K)	p-Wert
max	negativer Befund	207	0,96	0,07	0,757
	positiver Befund	62	0,98	0,11	
maxmax	negativer Befund	206	0,96	0,07	0,642
	positiver Befund	62	0,98	0,11	
max2	negativer Befund	207	0,96	0,06	0,548
	positiver Befund	62	0,95	0,12	
max5	negativer Befund	207	0,94	0,06	0,587
	positiver Befund	62	0,93	0,12	
hmax	negativer Befund	207	1,08	0,07	0,540
	positiver Befund	62	1,11	0,16	
hmin	negativer Befund	207	2,20	0,18	0,378
	positiver Befund	62	2,51	0,34	

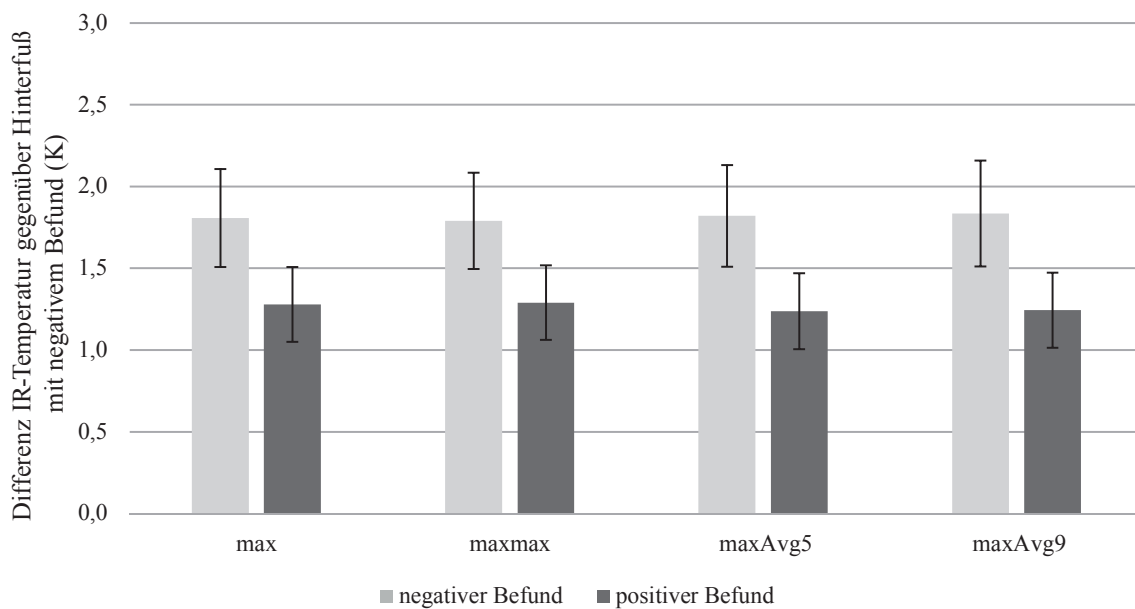


Abbildung 26: Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL“, „HR“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2)

Tabelle 34: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL“, „HR“) je IR-Temperaturkenngröße (Betrieb 2)

IR-Temperaturkenngröße	Befund HL/HR	N	MW (K)	SEM (K)	p-Wert
max	negativer Befund	10	1,81	0,30	0,176
	positiver Befund	22	1,28	0,23	
maxmax	negativer Befund	10	1,79	0,29	0,176
	positiver Befund	22	1,29	0,23	
maxAvg5	negativer Befund	10	1,82	0,31	0,163
	positiver Befund	22	1,24	0,23	
maxAvg9	negativer Befund	10	1,83	0,32	0,129
	positiver Befund	22	1,24	0,23	

4.3.2.2 IR-Flächenkenngrößen

Bei den meisten IR-Flächenkenngrößen lagen die Mittelwerte beider Gruppen („negativer Befund“, „positiver Befund“) auf einem Niveau (Abbildung 27 und Tabelle 35, S. 74; Abbildung 28 und Tabelle 36, S. 75). Trotz nicht vorhandener Differenzen, wies der U-Test bei „rel34“ einen signifikanten Mittelwertunterschied ($p < 0,05$) aus (Tabelle 35, S. 74; Tabelle 36, S. 75). Bei „rel30“ und „relmax95“ (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) konnten tendenziell höhere Mittelwerte der Differenz zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ festgestellt werden (Abbildung 27 und Tabelle 35, S. 74).

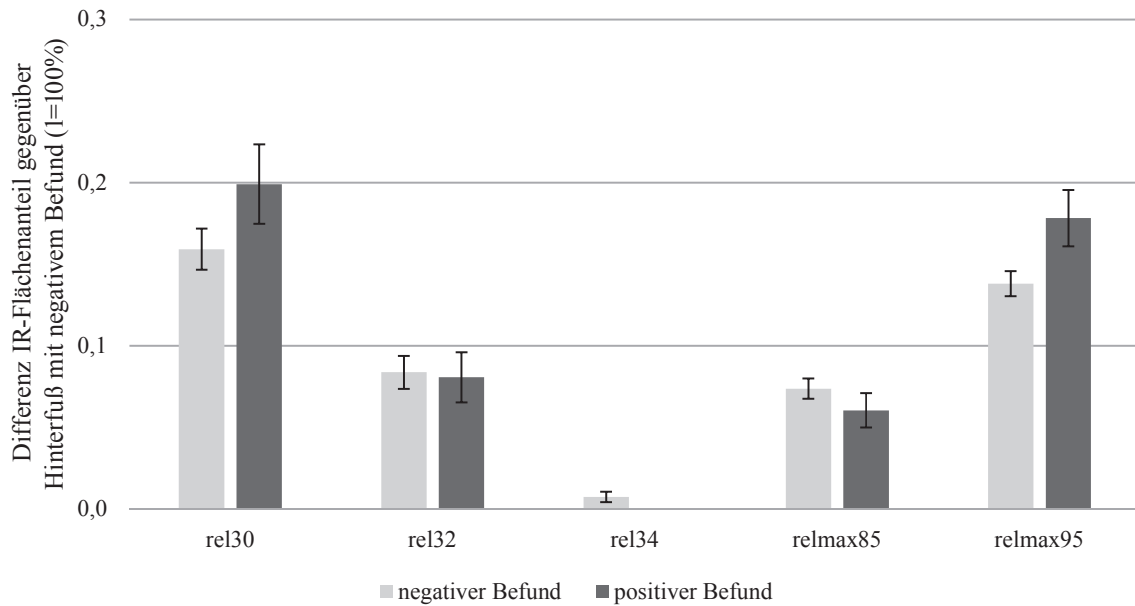


Abbildung 27: Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HLunten“, „HRunten“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)

Tabelle 35: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HLunten“, „HRunten“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)

IR-Flächenkenngröße	Befund HL/HR	N	MW (1=100 %)	SEM (1=100 %)	p-Wert
rel30	negativer Befund	226	0,16	0,01	0,073
	positiver Befund	69	0,20	0,02	
rel32	negativer Befund	226	0,08	0,01	0,442
	positiver Befund	69	0,08	0,02	
rel34	negativer Befund	226	0,01	0	0,028
	positiver Befund	69	0	0	
relmax85	negativer Befund	226	0,07	0,01	0,141
	positiver Befund	69	0,06	0,01	
relmax95	negativer Befund	226	0,14	0,01	0,059
	positiver Befund	69	0,18	0,02	

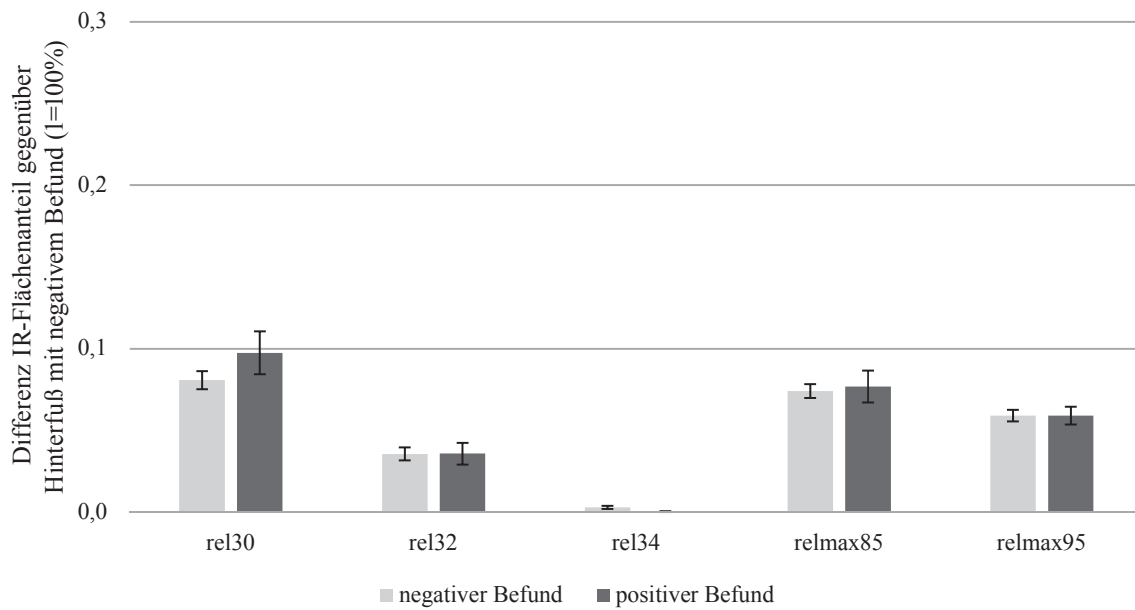


Abbildung 28: Mittelwerte mit Standardfehler tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)

Tabelle 36: Mittelwerte mit Standardfehler und p-Wert (Mann-Whitney U-Test) tierindividueller Differenzen (absoluter Betrag) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) je IR-Flächenkenngröße (Betrieb 1)

IR-Flächenkenngröße	Befund HL/HR	N	MW (1 = 100 %)	SEM (1 = 100 %)	p-Wert
rel30	negativer Befund	207	0,08	0,01	0,338
	positiver Befund	62	0,10	0,01	
rel32	negativer Befund	207	0,04	0,00	0,280
	positiver Befund	62	0,04	0,01	
rel34	negativer Befund	207	0	0	0,030
	positiver Befund	62	0	0	
relmax85	negativer Befund	207	0,07	0,00	0,654
	positiver Befund	62	0,08	0,01	
relmax95	negativer Befund	207	0,06	0,00	0,336
	positiver Befund	62	0,06	0,01	

4.4 Identifizierung von Klauenerkrankungen

4.4.1 Vergleich tierindividueller Hinterfüße

Die ermittelten Differenzen zwischen beiden Hinterfüßen wurden im Rahmen der ROC-Analyse hinsichtlich ihrer diagnostischen Eignung untersucht. Der Differenzwert, bei dem die Summe aus Sensitivität und Spezifität maximal war, erwies sich als optimaler Grenzwert zur Unterscheidung zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ und Hinterfüßen mit „negativem Befund“. In der ROC-Kurve war dieser Wert mit dem größten Abstand zur Diagonalen gekennzeichnet.

Die höchste diagnostische Genauigkeit (AUC-Wert 0,58; $p=0,076$) wurde in Betrieb 1 mit den IR-Messflächen „HL unten“ und „HR unten“ für die IR-Flächenkenngröße „relmax95“ ermittelt (Tabelle B.1, S. 111 und Abbildung 29). Mit einer Sensitivität von 50,7% und Spezifität von 69,5% lag der optimale Grenzwert bei einer Differenz von 17% Flächenanteile zwischen beiden Hinterfüßen (Tabelle B.1, S. 111). Der positive Vorhersagewert und der negative Vorhersagewert betragen 33,7% und 82,2% (Tabelle B.1, S. 111).

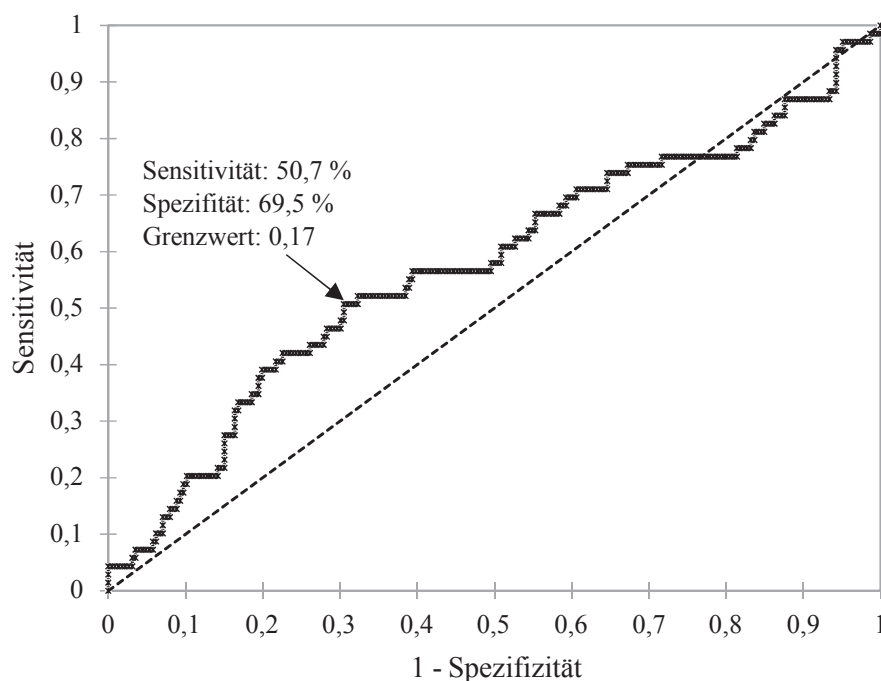


Abbildung 29: ROC-Kurve tierindividueller Differenzwerte zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen für „relmax95“ (Betrieb 1)

Ein ähnliches Ergebnis mit einer AUC von 0,57 ($p=0,062$) brachte die IR-Flächenkenngröße „rel30“ hervor (Tabelle B.1, S. 111 und Abbildung 30). Der optimale Grenzwert betrug 13 % Flächenanteile zwischen beiden Hinterfüßen (56,5 % Sensitivität, 59,3 % Spezifität, 29,8 % positiver Vorhersagewert, 81,7 % negativer Vorhersagewert; Tabelle B.1, S. 111).

Weiterhin zeigten die Ergebnisse deutlich, dass die IR-Flächenkenngröße „rel34“ nicht für die Erkennung von Klauenerkrankungen geeignet ist (Tabelle B.1 und Tabelle B.2, S. 111).

In Betrieb 2 konnten keine verwertbaren Ergebnisse (AUC-Wert 0,33–0,35) festgestellt werden (Tabelle B.3, S. 112).

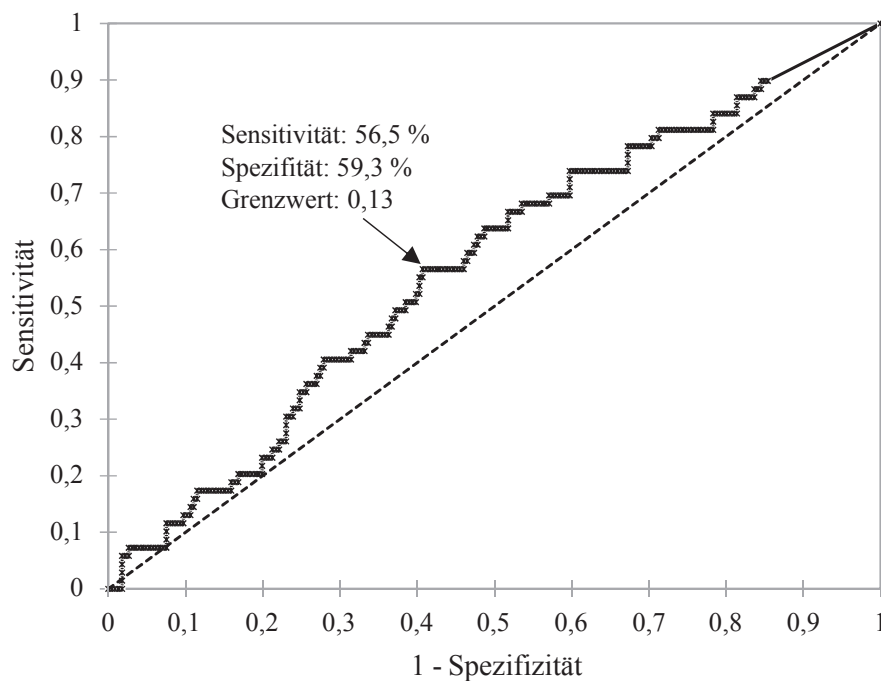


Abbildung 30: ROC-Kurve tierindividueller Differenzwerte zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HLunten“, „HRunten“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen für „rel30“ (Betrieb 1)

4.4.2 Zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße

Bei der tierindividuellen zeitlichen Beobachtung einzelner Hinterfüße war es Ziel, den Algorithmus und die IR-Kenngröße mit dem besten Verhältnis aus Sensitivität und Spezifität zu bestimmen.

Unter Berücksichtigung der beiden Vorhersagewerte erzielten in Betrieb 1 die IR-Temperaturkenngrößen „maxmax“ und „max“ mit dem Algorithmus 1 und dem

3-Tage-Mittelwert für die IR-Messflächen „HL unten“ und „HR unten“ das beste Verhältnis aus Sensitivität und Spezifität (Tabelle 37). Dabei erreichte „maxmax“ eine Sensitivität von 64,2%, eine Spezifität von 48,1 %, einen positiven Vorhersagewert von 20,8% und einen negativen Vorhersagewert von 86,3 %. Mit „max“ wurde eine Sensitivität von 63,2%, eine Spezifität von 48,6 %, ein positiver Vorhersagewert von 20,6% und ein negativer Vorhersagewert von 86,2 % erzielt (Tabelle 37).

Weiterhin zeigten die Ergebnisse deutlich, dass die IR-Kenngröße „rel34“ nicht für die Erkennung von Klauenerkrankungen geeignet ist (Tabelle 37; Tabelle C.1 – Tabelle C.20, S. 113 – 132).

Tabelle 37: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1, IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{3-Tage-MW}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	548	453	95	58	192	261	37	17,3	61,1	42,4	18,2	83,8
max	544	449	95	60	218	231	35	17,5	63,2	48,6	20,6	86,2
maxmax	542	447	95	61	215	232	34	17,5	64,2	48,1	20,8	86,3
max2	544	449	95	59	215	234	36	17,5	62,1	47,9	20,1	85,7
max5	544	449	95	56	208	241	39	17,5	58,9	46,3	18,9	84,2
hmax	547	452	95	57	207	245	38	17,4	60,0	45,8	18,9	84,5
hmin	556	458	98	49	243	215	49	17,6	50,0	53,1	18,6	83,2
rel30	558	459	99	51	238	221	48	17,7	51,5	51,9	18,8	83,2
rel32	558	459	99	30	337	122	69	17,7	30,3	73,4	19,7	83,0
rel34	558	459	99	1	437	22	98	17,7	1,0	95,2	4,3	81,7
relmax85	558	459	99	71	162	297	28	17,7	71,7	35,3	19,3	85,3
relmax95	558	459	99	50	209	250	49	17,7	50,5	45,5	16,7	81,0

In Betrieb 2 wurde ebenfalls mit dem Algorithmus 1 in Kombination mit dem 3-Tage-Mittelwert das beste Verhältnis aus Sensitivität und Spezifität erlangt (Tabelle 38, S. 79). Dabei lagen die Ergebnisse der vier IR-Temperaturkenngrößen auf einem ähnlich hohen Niveau (Tabelle 38, S. 79). Unter Berücksichtigung des positiven Vorhersagewertes (76,7%) und des negativen Vorhersagewertes (20,8%) wies die IR-Temperaturkenngröße „maxAvg9“ das beste Verhältnis aus Sensitivität (47,9%) und Spezifität (48,5%) auf (Tabelle 38, S. 79).

Weitere Ergebnisse für Betrieb 2 sind im Anhang (S. 133 – 138) ersichtlich.

Tabelle 38: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 1: $IR\text{-}Kenngröße_{BT} > IR\text{-}Kenngröße_{3\text{-}Tage\text{-}MW}$												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	150	33	117	57	15	18	60	78,0	48,7	45,5	76,0	20,0
maxmax	150	33	117	56	14	19	61	78,0	47,9	42,4	74,7	18,7
maxAvg5	150	33	117	57	15	18	60	78,0	48,7	45,5	76,0	20,0
maxAvg9	150	33	117	56	16	17	61	78,0	47,9	48,5	76,7	20,8

5 Diskussion und Schlussfolgerung

5.1 IR-Messung

5.1.1 Messkonfiguration und Messtechnik

In der vorliegenden Untersuchung war die Messtechnik am Außenmelkerkarussell zur Aufnahme der Hinterfüße fest installiert. Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen (NIKKHAH et al. 2005; WILHELM 2010; MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012; ALSAAOD et al. 2014; WOOD et al. 2015), welche unter der Anwendung portabler IR-Handkameras oder IR-Thermometer durchgeführt wurden, konnte mit der stationären IR-Kamera die Messentfernung (ca. 3 m) und der Messwinkel entsprechend den Empfehlungen von LANDGRAF (2015, S. 65 u. 81) konstant gehalten werden. Die Arbeiten von LANDGRAF (2015) und PASSARGE (2013) stellen im Rahmen der infrarotbasierten Gesundheitsüberwachung an Milchkühen die bislang umfangreichste Untersuchung dar. Als Weiterführung der IRT zur Überwachung der Klauengesundheit baut die vorliegende Untersuchung auf diese vorangegangenen Arbeiten auf. Weitere Vorteile der Messkonfiguration am Melkkarussell gegenüber dem Klauenstand (NIKKHAH et al. 2005; WILHELM 2010; MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012) oder der Messung am stehenden Tier im Stall (ALSAAOD et al. 2014) ergaben sich durch standardisierte Bedingungen für die IR-Aufnahme (gleicher Messabstand und -winkel, stetige Karussellrotation, geringe Tierbewegung) und die Nutzung der Tieridentifikation des Melkstandes (LANDGRAF 2015, S. 81). Nachteile bestanden darin, dass die IR-Messung an Gliedmaßen ausschließlich aus der plantaren Perspektive erfolgen konnte und die Messkonfiguration auf Betriebe mit Außenmelkerkarussell begrenzt war (LANDGRAF 2015, S. 81). Aus der Literatur ist jedoch keine andere Variante zur Integration der IR-Messung am Außenmelkerkarussell bekannt.

Die Messunsicherheit ortsunabhängiger und allgemein gebräuchlicher IR-Kameras liegt bei $\pm 2\text{K}$ und kann krankheitsbedingte Temperaturänderungen übersteigen. Für die thermografische Gesundheitsüberwachung ist eine präzise IR-Messung unerlässlich. Dieser Forderung kam bisher nur PASSARGE (2013, S. 39) nach, indem eine referenzierte IR-Messung nach LANDGRAF (2015, S. 92f.) angewendet wurde. Mit der Referenzierung ist es möglich, die kameraeigene Messunsicherheit auf $\pm 0,4\text{K}$ zu reduzieren und die Messung in einem Bereich diagnostisch relevanter Temperaturunterschiede zu gewährleisten (LANDGRAF 2015, S. 126). In der Untersuchung von PASSARGE (2013) und der vorliegenden Arbeit wurde folglich die bisher genaueste IR-Messung umgesetzt.

5.1.2 Berücksichtigung umgebungs- und tierbedingter Einflüsse

Wie in den Untersuchungen von PASSARGE (2013, S. 116 u. 120) und LANDGRAF (2015, S. 68 u. 72) wurde aufgrund der Versuchsanordnung im letzten Drittel des Melkkarussells (nahe des Austriebs) angenommen, dass sich die Tiere vor der IR-Messung an klimatische Bedingungen im Melkbereich anpassen konnten. Zum Zeitpunkt der IR-Messung war der Melkvorgang größtenteils abgeschlossen, sodass die Hinterfüße nur in Einzelfällen von Melkzeug oder Milchschräuchen verdeckt waren, wie auch von LANDGRAF (2015, S. 83) berichtet wurde. Gleichfalls befanden sich die Tiere in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der melkplatzbedingten Fixierung während der IR-Messung im bewegungsarmen Stand (LANDGRAF 2015, S. 81). Für die Tiere konnten Stresssituationen ausgeschlossen werden, da die IR-Messung berührungslos während des routinemäßigen Melkvorgangs stattfand und die Tiere somit an die Messumgebung gewöhnt waren. Auch ALSAAOD & BÜSCHER (2012) berichteten in Vorbereitung auf die IR-Aufnahme von einem vertrauten Messumfeld zur Vermeidung von Stressreaktionen, welche zur unerwünschten Temperaturerhöhung führen können.

Entsprechend der Studie von NIKKHAH et al. (2005) und ALSAAOD & BÜSCHER (2012) wurde während der IR-Messung Zugluft sowie direkte Sonneneinstrahlung auf das Tier vermieden. Zudem wurde die IR-Messung in Anlehnung an STOKES et al. (2012), ALSAAOD & BÜSCHER (2012) und PASSARGE (2013, S. 44) immer zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Diesbezüglich bestätigten Ergebnisse von PASSARGE (2013, S. 66) das Vorliegen des circadianen Rhythmus der IR-Temperatur der Kuh.

Unter den zahlreichen benannten Einflussgrößen auf die IR-Temperatur wurden bisher hauptsächlich die klimatischen Faktoren und insbesondere die Umgebungstemperatur angeführt (WILHELM 2010, S. 49; ALSAAOD & BÜSCHER 2012; STOKES et al. 2012; PASSARGE 2013, S. 58; LANDGRAF 2015, S. 133; WOOD et al. 2015). In wenigen Studien führte dies zu ersten Korrekturmodellen (PASSARGE 2013, S. 59; LANDGRAF 2015, S. 86-89 u. 133; WOOD et al. 2015). Weiterhin ist bekannt, dass verschmutzte und nasse Oberflächen die gemessene IR-Temperatur verfälschen können (TESTO GMBH 2018). Untersuchungen zum Einfluss verschmutzter und nasser Füße liegen nur im geringen Umfang vor und lieferten bisher keine hinreichenden Ergebnisse (STOKES et al. 2012; PASSARGE 2013, S. 62f.). Im Gegensatz zu anderen Studien (NIKKHAH et al. 2005; WILHELM 2010, S. 76; ALSAAOD & BÜSCHER 2012) wurde die Messregion in der vorliegenden Untersuchung vor der IR-Messung nicht gesäubert. Für den praktischen Einsatz erweist sich die Reinigung der Füße (waschen und

trocknen) während des Produktionsprozesses als unrealistisch. Darüber hinaus zeigten Ergebnisse von STOKES et al. (2012) unabhängig vom Hygienestatus der Füße nachweisbar höhere IR-Temperaturen kranker Hinterfüße gegenüber nicht erkrankten Hinterfüßen. Weiterhin wurden an verschmutzten Hinterfüßen die besten Erkennungsraten festgestellt (STOKES et al. 2012).

Die Berücksichtigung klimatischer und tierbedingter Faktoren erfordert mathematisch komplexe Korrekturmodelle, welche betriebsindividuell und auf sich täglich ändernde Bedingungen angepasst werden müssen. Zudem sollte die Modellierung für jede IR-Messregion und jede IR-Kenngröße gesondert erfolgen (LANDGRAF 2015, S. 76). Bei der Vielzahl möglicher Einflussfaktoren auf die IR-Messung erscheint der Gebrauch solcher komplexer Korrekturmodelle nicht praxisrelevant. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, auf Grundlage der bisher genauesten IR-Messung unter Einhaltung standardisierter Messbedingungen etwaige Einflussfaktoren konstant zu halten. Es wurde davon ausgegangen, dass sich krankheitsrelevante Temperaturänderungen trotz vorhandener Einflussfaktoren zeigen.

5.1.3 Messobjekt, IR-Messregion, IR-Messfläche und IR-Kenngröße

Für die thermografische Überwachung der Klauengesundheit wurden in der vorliegenden Arbeit die Hinterfüße untersucht. Die Klauen der Hintergliedmaße sind gegenüber den Klauen der Vordergliedmaße häufiger von Erkrankungen betroffen (MANSKE et al. 2002; VERMUNT 2004, S. 4; DEMIR et al. 2013). Aufgrund der Messkonfiguration am Außenmelkerkarussell war zudem eine bessere Zugänglichkeit der Hintergliedmaße im Vergleich zu den Vordergliedmaßen gegeben.

Da die Blutversorgung an den Hintergliedmaßen vorwiegend von den plantaren Zehenarterien der Klauen gewährleistet wird (HIRSCHBERG 1999, S. 75), wurde angenommen, dass sich Durchblutungsänderungen aus dieser Perspektive am besten thermisch abbilden lassen. Im Vergleich zum dorsalen, medialen oder lateralen Bereich, ist die plantare Region zudem weniger behaart. In Übereinstimmung mit MAIN et al. (2012), STOKES et al. (2012), PASSARGE (2013, S. 42) und WOOD et al. (2015) wurden die IR-Aufnahmen von der plantaren Ansicht des Fesselbereichs der Hinterfüße erfasst.

Der Literatur zufolge wurde überwiegend eine IR-Messfläche je Hinterfuß angelegt und zur Analyse der Krankheitserkennung herangezogen (MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012; PASSARGE 2013; WOOD et al. 2015). In vereinzelten IRT-Studien (NIKKHAH et al. 2005; ALSAOD & BÜSCHER 2012; ALSAOD et al. 2013) wurden an einem Fuß zwei

IR-Messflächen in unmittelbarer Nähe angelegt und zur Differenzbildung genutzt. Jedoch konnten mit dieser Variante gegenüber der IR-Temperaturanalyse einzelner IR-Messflächen keine verwertbaren Resultate erreicht werden (ALSAAOD & BÜSCHER 2012; ALSAAOD et al. 2013). In der vorliegenden Untersuchung wurden in Betrieb 1 je Hinterfuß zwei IR-Messflächen und in Betrieb 2 je Hinterfuß eine IR-Messfläche angelegt. Dabei wurde jede IR-Messfläche separat anhand ihrer IR-Kenngrößen ausgewertet. Bei der vergleichenden Betrachtung beider IR-Messflächen an einem Hinterfuß (Betrieb 1) zeigte sich, dass im Mittel höhere Temperaturwerte („max“, „maxmax“) für die IR-Messflächen „HL+HR oben“ gemessen wurden. Dagegen zeigten die IR-Flächenkenngrößen für die IR-Messflächen „HL+HR unten“ höhere Mittelwerte auf. Als ursächlich kann der Abschluss der Afterklauen für diese IR-Messfläche angesehen werden.

In der Literatur wurde überwiegend der Hotspot als Indikator für die Klauengesundheit herangezogen (MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012; ALSAAOD et al. 2013; ALSAAOD et al. 2014; WOOD et al. 2015). Der Hotspot ist meist durch einen Pixel innerhalb der IR-Messfläche definiert. Aus anderen Arbeiten (PASSARGE 2013; LANDGRAF 2015) sind weitere IR-Kenngrößen bekannt, welche ebenso der Krankheitserkennung dienen können. In der vorliegenden Arbeit wurden neben den zwei gebräuchlichsten IR-Kenngrößen (Temperaturmittelwert, Maximaltemperatur) 12 weitere IR-Kenngrößen ausgewertet. Dabei wurden erstmalig IR-Flächenkenngrößen (Betrieb 1) für die Eignung zur Krankheitserkennung analysiert. Neben dem Hotspot („maxmax“) wurde für alle weiteren IR-Kenngrößen ein mittlerer Merkmalswert aus ca. 10 IR-Bildern einer IR-Messung je Hinterfuß erstellt. Mit der Mittelung über mehrere IR-Bilder wurden Zufallsmessungen begegnet und stabile Kenngrößenwerte gewährleistet.

5.2 IR-Daten

5.2.1 IR-Daten in beiden Betrieben

In der Literatur brachten IR-Messungen in verschiedenen Betrieben unterschiedliche Mittelwerte der IR-Temperatur hervor (WILHELM 2010, S. 52; MAIN et al. 2012). In der vorliegenden Arbeit deuteten sich ebenfalls unterschiedliche Mittelwerte anhand der IR-Temperaturkenngrößen „max“ und „maxmax“ zwischen beiden Betrieben an, wobei sich in Betrieb 1 ein höheres Temperaturniveau zeigte. Deren Ursache ist jedoch nicht bekannt. Die Erkrankungshäufigkeit konnte dazu keinen Hinweis liefern. Unter der Annahme erhöhter IR-Temperaturen an Hinterfüßen mit „positivem Befund“ wäre eine höhere IR-Temperatur in Betrieb 2 zu vermuten, weil hier im Vergleich zu Betrieb 1 mehr Hinterfüße mit „positivem Befund“ erfasst wurden. Da der Betriebsvergleich nicht Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit war, wurde auf eine eingehende Ursachenanalyse benannter und weiterer denkbarer Faktoren (Boden-, Umgebungstemperatur, Bodenbeschaffenheit, Milchleistung, Alter, Laktationsstadium) verzichtet. Stattdessen wurde die Krankheitsanalyse in der vorliegenden Arbeit betriebspezifisch vorgenommen.

5.2.2 IR-Daten in Abhängigkeit von der Klauengesundheit und Identifizierung von Klauenerkrankungen

Beim Mittelwertvergleich von Hinterfüßen mit „positivem Befund“ und „negativem Befund“ konnten bei einzelnen IR-Kenngrößen („max“, „maxmax“, „maxAvg5“, „maxAvg9“, „hmax“, „relmax85“) höhere Mittelwerte ($p < 0,05$) für Hinterfüße mit „positivem Befund“ nachgewiesen werden. Die Mittelwertunterschiede betragen bei den IR-Temperaturkenngrößen in Betrieb 1 höchstens 0,5 K („hmax“, „hmin“, IR-Messfläche „HL+HR oben“) und in Betrieb 2 höchstens 0,8 K („maxAvg5“, „maxAvg9“). Im Vergleich dazu stellten WOOD et al. (2015) ebenfalls um 0,8 K und MAIN et al. (2012) um 1,2 K–3,6 K signifikant höhere IR-Temperaturen gegenüber Hinterfüßen ohne Befund fest. Aufgrund der gleichen Flächen- („HL unten“, „HR unten“) und IR-Kenngrößenbedeutung („mean“, „max“, „max2“, „max5“) sowie der gleichen verwendeten Messtechnik (IR-Kamera PYROVIEW 640L compact, Referenzierung) lassen sich die vorliegenden Ergebnisse aus Betrieb 1 den Ergebnissen von PASSARGE (2013) am besten gegenüberstellen. Werden die Temperaturwerte der analysierten Erkrankungen aus der Arbeit von PASSARGE (2013, S. 185f.) zu einem Temperaturwert gemittelt und dem Wert für Hinterfüße ohne Befund gegenübergestellt, entsprechen die Unterschiede stellenweise denen

der vorliegenden Arbeit. Dennoch zeigte sich die größte Differenz (Mittelwert über alle Erkrankungen gegenüber ohne Befund) von 1,1 K (PASSARGE 2013, S. 186). Als eine mögliche Ursache für die verschiedenen Ergebnisse kann die Definition der Befundgruppen herangezogen werden. In der vorliegenden Arbeit bestanden diese aus „negativen Befund“ und „positiven Befund“. Letzte Gruppe enthielt Hinterfüße mit wärmebildenden Defekten sowie ausgewählte Erkrankungen mit ökonomischer und tierschutzrechtlicher Relevanz. Diesbezüglich wurde in der Literatur aufgezeigt, dass Sohlengeschwüre (KOSSAIBATI & ESSLEMONT 1997; CHA et al. 2010) und Mortellaro (BRUIJNIS et al. 2010) die meisten Kosten verursachen. Zusätzlich sind Sohlengeschwüre, Wandläsionen und akute infektiöse Erkrankungen (Phlegmone, Mortellaro) mit einem vermehrten Schmerz verbunden (WHAY et al. 1998). Weiterhin ist die Wärmebildung einzelner Erkrankungen bekannt (Kap. 2.2, S. 19). In zahlreichen Studien (NIKKHAH et al. 2005; MAIN et al. 2012; ALSAAOD et al. 2013; PASSARGE 2013, S. 98f.; ALSAAOD et al. 2014; WOOD et al. 2015) konnte eine Temperaturerhöhung mittels IRT nachgewiesen werden. Die Gruppe „negativer Befund“ beinhaltete alle gesunden Hinterfüße und solche, die nicht unter der Gruppe „positiver Befund“ einzuordnen waren.

Bei den IR-Flächenkenngrößen betragen die Mittelwertunterschiede höchstens 3 % Flächenanteil („relmax85“, IR-Messfläche „HL+HR unten“). Ein Vergleich der IR-Flächenkenngrößen kann nicht angestellt werden, da keine äquivalenten Arbeiten aus der Literatur bekannt sind.

Auch wenn die vorliegenden Ergebnisse des Mittelwertvergleichs von Hinterfüßen mit „negativem Befund“ und Hinterfüßen mit „positivem Befund“ größtenteils keine statistische Signifikanz aufwiesen, können die Literaturergebnisse insofern bestätigt werden, dass sich bei den Hinterfüßen mit „positivem Befund“ höhere IR-Temperaturen abzeichneten.

Des Weiteren wurde die Differenz zwischen Hinterfüßen mit „negativem Befund“ (beide Hinterfüße mit „negativem Befund“) sowie zwischen Hinterfüße mit „positivem Befund“ (ein Hinterfuß mit „positivem Befund“ und ein Hinterfuß mit „negativem Befund“) innerhalb eines Tieres berechnet. Dabei wurde eine höhere Differenz für Hinterfüße mit „positivem Befund“ erwartet. Auf sichtbare Temperaturunterschiede im Wärmebild verwiesen bereits GSCHÖDERER et al. (2006). ALSAAOD & BÜSCHER (2012), MAIN et al. (2012) und ALSAAOD et al. (2014) stellten einen signifikant höheren Mittelwert der tierindividuellen IR-Temperaturdifferenz für erkrankte Füße gegenüber gesunde Füße

fest. In der vorliegenden Arbeit konnten bei den IR-Temperaturkenngrößen keine signifikanten Unterschiede der IR-Temperaturdifferenz nachgewiesen werden. Entgegen der Erwartung zeichneten sich insbesondere in Betrieb 2 niedrigere Mittelwerte der Differenz zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ ab. Dies spiegelte sich in der ROC-Analyse wider, indem keine verwertbaren Ergebnisse (AUC-Wert 0,3–0,4) festgestellt wurden. Zu einem anderen Ergebnis führten die IR-Flächenkenngrößen „relmax95“ und „rel30“ (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“). Diese zeigten eine tendenziell größere tierindividuelle Differenz der Flächenanteile zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ auf und erlangten in der ROC-Analyse die höchste diagnostische Genauigkeit. Mit einer AUC von 0,6 ($p < 0,1$) lag dieses Ergebnis jedoch unter denen anderer IRT-Studien (ALSAAOD & BÜSCHER 2012; ALSAAOD et al. 2014). Für „relmax95“ ergab sich der optimale Grenzwert bei einer Differenz von 17 % Flächenanteile zwischen beiden Hinterfüßen (51 % Sensitivität, 70 % Spezifität, 34 % positiver Vorhersagewert, 82 % negativer Vorhersagewert). Für „rel30“ betrug der optimale Grenzwert 13 % Flächenanteile zwischen beiden Hinterfüßen (57 % Sensitivität, 59 % Spezifität, 30 % positiver Vorhersagewert, 82 % negativer Vorhersagewert). Verglichen mit den Ergebnissen von PASSARGE (2013, S. 112f.) (Sensitivität: 22–25 %, Spezifität: 79–82 %) wiesen die vorliegenden Ergebnisse der IR-Flächenkenngrößen „rel30“ und „relmax95“ zwar eine höhere Sensitivität aber niedrigere Spezifität auf. Diese Aussage traf ebenfalls auf die IR-Temperaturkenngrößen „mean“, „max“, „max2“, und „max5“ (Betrieb 1) zu. Die dazugehörigen Grenzwerte lagen dabei deutlich unter dem von PASSARGE (2013, S. 113) untersuchten Grenzwert von 2 K. Da auch ALSAAOD & BÜSCHER (2012) und ALSAAOD et al. (2014) kleinere Grenzwerte ermittelten, erscheint eine fest gewählte Temperaturdifferenz von 2 K zwischen zwei Hinterfüßen für die Erkennung von Klauenerkrankungen als zu hoch.

Werden die AUC-Werte und Erkennungsraten innerhalb der vorliegenden Arbeit zwischen den beiden Betrieben verglichen, zeigten sich für die IR-Temperaturkenngrößen „max“ und „maxmax“ stark abweichende Ergebnisse. Der Unterschied bei den Erkennungsraten lässt sich auf die verschiedenen Grenzwerte (0,2–0,4 K vs. 3,2–3,3 K) zurückführen, welche anhand der ROC-Analyse als die maximale Summe aus Sensitivität und Spezifität definiert waren.

Zur Identifikation von Klauenerkrankungen wurden weiterhin die IR-Daten einzelner Hinterfüße über die Zeit beobachtet und für unterschiedlich lange Zeiträume analysiert. Dabei erzielte in beiden Betrieben der Algorithmus 1 in Kombination mit dem 3-Tage-Mittelwert das beste Verhältnis der vier Validitätsmaße (Betrieb 1: mit „max“ und „maxmax“

für IR-Messfläche „HL unten“ und „HR unten“ 63–64 % Sensitivität, 48–49 % Spezifität, 21 % positiver Vorhersagewert, 86 % negativer Vorhersagewert; Betrieb 2: mit „maxAvg9“ 48 % Sensitivität, 49 % Spezifität, 77 % positiver Vorhersagewert, 21 % negativer Vorhersagewert). Im Vergleich dazu ermittelte PASSARGE (2013, S. 113 u. 135) die höchste Sensitivität (47–49 %) und Spezifität (67–78 %) zwar mit dem gleichen Algorithmus aber über einen viel längeren Zeitraum (21 Tage). Für den gleichen Algorithmus und gleichen Beobachtungszeitraum (21 Tage) ergaben sich in der vorliegenden Arbeit eine ähnlich hohe Spezifität (71–74 %) aber eine deutlich niedrigere Sensitivität (23–26 %) (Betrieb 2). Bei den anderen beiden vergleichbaren Algorithmen mit 10 Tagen Beobachtungszeitraum liegen die Erkennungsraten aus der Arbeit von PASSARGE (2013, S. 113) und der vorliegenden Arbeit auf einem ähnlichen Niveau. Letztlich können die Ergebnisse von PASSARGE (2013, S. 113) nur teilweise bestätigt werden. Zwar wird der Annahme von PASSARGE (2013, S. 135) gefolgt, dass sich Klauenerkrankungen über eine längere Zeitspanne entwickeln und damit ein allmählicher Temperaturanstieg einhergeht. Diese Temperaturentwicklung bis zur Diagnose war anhand der Ergebnisse von WOOD et al. (2015) und tierindividueller IR-Temperaturverläufe aus der eigenen Untersuchung ersichtlich. Jedoch kann aus den vorliegenden Ergebnissen geschlussfolgert werden, dass temperaturbasierte Hinweise auf Klauenerkrankungen bereits für kurze Zeiträume gegeben sind.

Die vorliegenden Ergebnisse beider Analysemethoden zur Identifizierung von Klauenerkrankungen zeigten auf, dass mit den IR-Messflächen „HL unten“ und „HR unten“ in Betrieb 1 die besten Ergebnisse erzielt wurden. Bei dem Vergleich tierindividueller Hinterfüße reagierten die IR-Flächenkenngrößen und bei der zeitlichen Beobachtung tierindividueller Hinterfüße die IR-Temperaturkenngrößen. Weiterhin wurde dargelegt, dass die IR-Flächenkenngröße „rel34“ für die Erkennung von Klauenerkrankungen nicht geeignet ist. So waren Temperaturwerte ab 34 °C nur noch vereinzelt an den Hinterfüßen zu messen, sodass eine flächenbezogene Auswertung ab diesem Temperaturwert („rel34“) in Betrieb 1 erfolglos blieb. Möglicherweise könnten IR-Flächenkenngrößen mit kleinerem absoluten Temperaturwert zu besseren Ergebnissen führen als mit 30 °C („rel30“) in der vorliegenden Untersuchung bereits erreicht wurden. Entsprechend erzielten MAIN et al. (2012) und STOKES et al. (2012) unter der Anwendung von Temperaturgrenzwerten (25 °C und 27 °C) höhere Erkennungsraten. Dennoch beweisen die vorliegenden Ergebnisse gegenüber den Ergebnissen von PASSARGE (2013, S. 113), dass eine Korrektur der IR-Daten um die Umgebungstemperatur nicht notwendig ist. Trotz korrigierter IR-Daten wurden von PASSARGE (2013) keine bedeutend höheren Erkennungsraten erlangt.

Allerdings stellen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit noch keine Praxistauglichkeit dar, was neben den moderaten Werten für Sensitivität und Spezifität an dem geringen positivem Vorhersagewert insbesondere in Betrieb 1 zu erkennen ist. Hierzu sind aus der Literatur höhere Werte bekannt (ALSAAOD & BÜSCHER 2012; MAIN et al. 2012; STOKES et al. 2012; ALSAAOD et al. 2014). Jedoch muss auch berücksichtigt werden, dass sich die Referenz (Klassifizierung kranker und gesunder Füße) zwischen den Studien als auch gegenüber der vorliegenden Arbeit unterscheidet.

Zur Steigerung der Erkennungsraten wären zukünftig Algorithmen denkbar, welche beide Analysemethoden (Vergleich tierindividueller Hinterfüße und zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße) kombinieren. In diesem Fall wäre ein automatisches Monitoring geschaffen, welches einzelne Füße nicht nur zeitlich beobachtet, sondern auch auf tägliche Abweichungen untereinander überwacht. Zusätzlich wäre in weiterführenden Untersuchungen zu klären, inwieweit IR-Flächenkenngrößen mit kleinerem absoluten Temperaturwert ($<30^{\circ}\text{C}$) als auch die Kombination von IR-Kenngrößen zu einem besseren Ergebnis beitragen.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Nutzung der Infrarotthermografie (IRT) als nichtinvasives technisches Verfahren zur Erkennung von Klauenerkrankungen bei Milchkühen zu untersuchen. Mit Hinblick auf den praktischen Einsatz zielte die Untersuchung auf eine Krankheitserkennung ohne Reinigung der Messregion (Hinterfüße) und ohne Korrektur möglicher Einflussfaktoren auf die IR-Messung (IR=Infrarot) ab. Weiterhin war von Interesse, welche IR-Kenngröße und welche IR-Messfläche der plantaren Fußregion sich für die Krankheitserkennung am besten eignen.

Die Datenaufnahme erfolgte in zwei Milchproduktionsbetrieben an 117 (Betrieb 1) und 60 (Betrieb 2) Tieren der Rasse Deutsche Holsteins über einem Zeitraum von 20 (Betrieb 1) und 32 (Betrieb 2) Tagen. Die IR-Messung wurde täglich zur gleichen Tageszeit mit einer stationär installierten IR-Kamera (PYROVIEW 640L compact; DIAS Infrared GmbH, Dresden) am Außenmelkerkarussell durchgeführt. Durch die Anwendung eines Referenzstrahlers wurde die bisher genaueste IR-Messung in Praxisbetrieben umgesetzt. Mögliche Einflussfaktoren auf die IR-Messung wurden unter Einhaltung standardisierter Messbedingungen konstant gehalten. Für die Analyse wurden 14 verschiedene IR-Kenngrößen erstellt. Erstmals wurden neben IR-Temperaturkenngrößen (z. B. Maximaltemperatur) auch IR-Flächenkenngrößen (z. B. IR-Messflächenanteil absoluter Temperaturwerte) ausgewertet. Insgesamt wurden je IR-Kenngröße 8842 (Betrieb 1) und 3608 (Betrieb 2) IR-Daten von Hinterfüßen erfasst. Als Referenzmethode wurden 660 (Betrieb 1) und 180 (Betrieb 2) Klauenbefunde erhoben. In Betrieb 1 wurden vermehrt infektiöse Erkrankungen und in Betrieb 2 überwiegend reihe-assoziierte Erkrankungen erfasst. Die Erkrankungen wurden in zwei Gruppen („negativer Befund“, „positiver Befund“) eingeteilt, wobei die Gruppe mit dem „positiven Befund“ wärmebildende Klauenerkrankungen und Erkrankungen mit ökonomischer und tierschutzrechtlicher Relevanz umfasste. Die Analyse zur Erkennung von Klauenerkrankungen erfolgte separat für jeden Betrieb.

Beim Mittelwertvergleich beider Befundgruppen konnten für Hinterfüße mit „positivem Befund“ in Betrieb 1 für vereinzelte IR-Kenngrößen und in Betrieb 2 für alle IR-Kenngrößen höhere Mittelwerte ($p < 0,05$) gegenüber Hinterfüße mit „negativem Befund“ nachgewiesen werden. Des Weiteren wurden die Mittelwerte tierindividueller Differenzen zwischen Hinterfüßen mit „negativem Befund“ (beide Hinterfüße mit

„negativem Befund“) und zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“ (ein Hinterfuß mit „positivem Befund“ und ein Hinterfuß mit „negativem Befund“) verglichen. Entgegen den Erwartungen deuteten sich bei den IR-Temperaturkenngrößen insbesondere in Betrieb 2 niedrigere IR-Temperaturdifferenzen für Hinterfüße mit „positivem Befund“ an. Dagegen zeigten die IR-Flächenkenngrößen „rel30“ und „relmax95“ (Betrieb 1, IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) tendenziell höhere Mittelwerte der tierindividuellen Differenz zwischen Hinterfüßen mit „positivem Befund“. Gleichzeitig wiesen diese beiden IR-Flächenkenngrößen die höchste diagnostische Genauigkeit (AUC-Wert 0,6; $p < 0,1$) auf. Der optimale Grenzwert betrug für „relmax95“ 17% Flächenanteile (51% Sensitivität, 70% Spezifität, 34% positiver Vorhersagewert, 82% negativer Vorhersagewert) und für „rel30“ 13% Flächenanteile (57% Sensitivität, 59% Spezifität, 30% positiver Vorhersagewert, 82% negativer Vorhersagewert). Bei der zeitlichen Beobachtung tierindividueller Hinterfüße erzielten die IR-Temperaturkenngrößen „maxmax“ und „max“ (Betrieb 1, IR-Messfläche „HL unten“ und „HR unten“, 63–64% Sensitivität, 48–49% Spezifität, 21% positiver Vorhersagewert, 86% negativer Vorhersagewert) sowie „maxAvg9“ (Betrieb 2, 48% Sensitivität, 49% Spezifität, 77% positiver Vorhersagewert, 21% negativer Vorhersagewert) mit dem Algorithmus 1 und dem 3-Tage-Mittelwert das beste Verhältnis der vier Validitätsmaße.

Mit den Ergebnissen wurde dargelegt, dass die infrarotbasierte Erkennung von Klauenkrankungen auf Grundlage tierindividueller Analysen trotz vorhandener Einflussfaktoren auf die IR-Messung möglich ist. Jedoch stellen die Erkennungsraten gegenwärtig noch keine Praxistauglichkeit dar. Mit der Kombination beider Analysemethoden (Vergleich tierindividueller Hinterfüße, zeitliche Beobachtung tierindividueller Hinterfüße) und der Einbindung mehrerer IR-Kenngrößen werden im Rahmen weiterführender Untersuchungen eine Steigerung der Validitätsmaße vermutet, sodass der zukünftige Einsatz der IRT in Milchproduktionsbetrieben zum Monitoring der Klauengesundheit denkbar wäre.

7 Summary

The aim of the present study was to investigate the use of infrared thermography (IRT) as a non-invasive technical procedure for the detection of claw diseases in dairy cows. With regard to the practical application, the investigation aimed at disease detection without cleaning the measuring region (hind feet), and without correcting possible influencing factors on the IR measurement (IR=infrared). It was also of interest which IR parameter and which IR measurement area of the plantar foot region were best suited for disease detection.

Data were collected from two dairy farms, on 117 (farm 1) and 60 (farm 2) cows of the Holstein breed, over a period of 20 (farm 1) and 32 (farm 2) days. The IR measurement was performed daily, at the same time of day, with a stationary IR camera (PYROVIEW 640L compact, DIAS Infrared GmbH, Dresden) installed outside the rotary parlour. By applying a reference radiator, the most accurate IR measurement to date were implemented in practical operations. Possible influencing factors on the IR measurement were kept constant under standardised measuring conditions. For the analysis, 14 different IR parameters were created. For the first time, in addition to IR temperature parameters (e. g., maximum temperature), IR area parameters (e. g., IR measurement area as a proportion of absolute temperature values) were evaluated. In total, 8842 (farm 1) and 3608 (farm 2) IR data from hind feet were recorded for each IR parameter. For reference, clinical examination of claws was used, with 660 (farm 1) and 180 (farm 2) findings. In farm 1, an increasing number of infectious diseases, and in farm 2 mostly laminitis-associated diseases, were recorded. The diseases were divided into two groups (“negative findings”, “positive findings”), wherein the “positive findings” group included thermogenic claw diseases, and diseases with economic and animal welfare relevance. The analysis was performed separately for each farm.

When comparing the mean values of both groups, higher values ($p < 0.05$) for hind feet with “positive findings” in farm 1, for a few IR parameters, and in farm 2, for all IR parameters, were detected, compared to hind feet with “negative findings”. Furthermore, the mean values of the individual differences between hind feet with “negative findings” (both hind feet with “negative findings”), and between hind feet with “positive findings” (one hind foot with “positive findings” and one hind foot with “negative findings”) were compared. Contrary to expectations, the IR temperature parameters, especially in

farm 2, indicated lower IR temperature differences for hind feet with “positive findings”. In contrast, the IR area parameters “rel30” and “relmax95” (farm 1, IR measurement area “HL down”, “HR down”) tended to show higher means of the individual difference between hind feet with “positive findings”. Concurrently, these two IR area parameters had the highest diagnostic accuracy (AUC 0.6, $p < 0.1$). The optimal cut-off value for “relmax95” was 17% of the IR measurement area (51% sensitivity, 70% specificity, 34% positive predictive value, 82% negative predictive value), and for “rel30” was 13% of the IR measurement area (57% sensitivity, 59% specificity, 30% positive predictive value, 82% negative predictive value). In the temporal observation of individual hind feet, the IR temperature parameters “maxmax” and “max” (farm 1, IR measurement area “HL down” and “HR down”, 63–64% sensitivity, 48–49% specificity, 21% positive predictive value, 86% negative predictive value) and “maxAvg9” (farm 2, 48% sensitivity, 49% specificity, 77% positive predictive value, 21% negative predictive value) had the best ratio of the four validity measures using algorithm 1 and the 3-day mean.

The results show that the infrared-based detection of claw diseases is possible, on the basis of animal-specific analyses, despite the influence of IR measurement; however, the detection rates are currently not practical. In terms of future research, combining both methods of analysis (comparison of individual hind feet, temporal observation of individual hind feet), and the integration of several IR parameters, would provide an increase in the validity measures, so that the future use of IRT on dairy farms is conceivable for the monitoring of hoof health.

8 Literaturverzeichnis

- ADDINSOFT (2016): XLSTAT Premium (2016.02.27970), HTML-Hilfe: ROC-Kurven.
<https://www.xlstat.com/de/> [29.01.2018].
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2009): Rinderproduktion in Deutschland 2008.
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2010): Rinderproduktion in Deutschland 2009.
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2011): Rinderproduktion in Deutschland 2010.
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2012): Rinderproduktion in Deutschland 2011.
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2013): Rinderproduktion in Deutschland 2012.
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2014): Rinderproduktion in Deutschland 2013.
- ADR, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Rinderzüchter e.V. (2015): Rinderproduktion in Deutschland 2014.
- AKOBENG, A. K. (2007): Understanding diagnostic tests 3: Receiver operating characteristic curves.
Acta paediatrica 96(5), 644–647.
- ALSAAOD, M.; BÜSCHER, W. (2012): Detection of hoof lesions using digital infrared thermography in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95(2), 735–742.
- ALSAAOD, M.; RÖMER, C.; KLEINMANN, J.; HENDRIKSEN, K.; ROSE-MEIERHÖFER, S.; PLÜMER, L., et al. (2012): Electronic detection of lameness in dairy cows through measuring pedometric activity and lying behavior. *Applied Animal Behaviour Science* 142(3–4), 134–141.
- ALSAAOD, M.; SCHAEFER, A. L.; BÜSCHER, W.; STEINER, A. (2015): The role of infrared thermography as a non-invasive tool for the detection of lameness in cattle. *Sensors* 15(6), 14513–14525.
- ALSAAOD, M.; SYRING, C.; DIETRICH, J.; DOHERR, M. G.; GUJAN, T.; STEINER, A. (2013): Field study: Use of infrared thermography (IRT) as a non-invasive diagnostic tool for early detection of infectious hoof disorders in dairy cows. In: WHAY, B.; HOCKENHULL, J. (Hrsg.), *Proceedings of the 17th International Symposium and 9th International Conference on Lameness in Ruminants*. 11.–14.08.2013, Bristol, UK, 91–92. <https://praxis-klauengesundheit.de/pdf/proceedings/2013-17th-International-Symposium.pdf> [29.01.2018].
- ALSAAOD, M.; SYRING, C.; DIETRICH, J.; DOHERR, M. G.; GUJAN, T.; STEINER, A. (2014): A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. *The Veterinary Journal* 199(2), 281–285.

- AMORY, J. R.; KLOOSTERMAN, P.; BARKER, Z. E.; WRIGHT, J. L.; BLOWEY, R. W.; GREEN, L. E. (2006): Risk factors for reduced locomotion in dairy cattle on nineteen farms in the Netherlands. *Journal of Dairy Science* 89(5), 1509–1515.
- BAHR, C.; LEROY, T.; SONG, X.; PLUK, A.; MAERTENS, W.; VANGEYTE, J., et al. (2008): Automatic detection of lameness in dairy cattle. Image features related to dairy cow lameness. In: Spink, A. J.; BALLINTIJN, M. R.; BOGERS, N. D.; GRIECO, F.; LOIJENS, L. W. S.; NOLDUS, L. P. J. J.; SMIT, G.; ZIMMERMANN, P. H. (Hrsg.), *Proceedings of Measuring Behavior 2008. 6th International Conference on Methods and Techniques in Behavioral Research*. 26.–29.08.2008, Maastricht, The Netherlands, 181.
http://www.noldus.com/mb2008/program/Proceedings_Measuring_Behavior_2008_web.pdf [29.01.2018].
- BAUMANN, M.; BERZ, R.; VON DER WENSE, A. (2006): Diagnose mit Infrarot-Ortung. Infrarot Imaging (Infrarot-Thermographie) als innovative Diagnosemethode—ein neuer Weg der Gesundheitskontrolle für Sportpferde. *VetJournal* 59(5), 32–38.
- BERRY, E.; STODDART, M.; BROUGHAN, J. (2008): Locomotion scoring of cattle using a lameness-speed index on different types of track. *Veterinary Record* 163(20), 601–602.
- BICALHO, R. C.; CHEONG, S. H.; CRAMER, G.; GUARD, C. L. (2007): Association between a visual and an automated locomotion score in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 90(7), 3294–3300.
- BRUIJNIS, M. R. N.; HOGVEEN, H.; STASSEN, E. N. (2010): Assessing economic consequences of foot disorders in dairy cattle using a dynamic stochastic simulation model. *Journal of Dairy Science* 93(6), 2419–2432.
- BUCHNER, F. (2012): Lahmheit. In: LITZKE, L.-F.; RAU, B. (Hrsg.), *Der Huf. Lehrbuch des Hufbeschlages*. 6., vollst. überarb. u. erw. Aufl., Enke, Stuttgart, 145–150.
- CHA, E.; HERTL, J. A.; BAR, D.; GRÖHN, Y. T. (2010): The cost of different types of lameness in dairy cows calculated by dynamic programming. *Preventive Veterinary Medicine* 97(1), 1–8.
- CHANNON, A. J.; WALKER, A. M.; PFAU, T.; SHELDON, I. M.; WILSON, A. M. (2009): Variability of MANSON and LEAVER locomotion scores assigned to dairy cows by different observers. *Veterinary Record* 164(13), 388–392.
- CHAPINAL, N.; PASSILLÉ, A. M. DE; RUSHEN, J.; WAGNER, S. (2010): Automated methods for detecting lameness and measuring analgesia in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 93(5), 2007–2013.
- COLLICK, D. W.; WARD, W. R.; DOBSON, H. (1989): Associations between types of lameness and fertility. *Veterinary Record* 125(5), 103–106.
- DEMIR, P.; YAYLA, S.; AKSOY, Ö.; ÖZAYDIN, İ. (2013): Financial losses from foot diseases in cattle farms in Kars Province. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences* 37(1), 20–25.

- DIAS INFRARED SYSTEMS (2016): PYROVIEW 640L. Hochauflösende Wärmebildkamera – stark im industriellen Dauereinsatz. http://www.dias-infrared.de/pdf/pyroview640l_ger_mail.pdf [11.02.2016].
- DIRKSEN, G. (1990): Bewegungsapparat. In: DIRKSEN, G.; GRÜNDER, H.-D.; STÖBER, M. (Hrsg.), Die klinische Untersuchung des Rindes. 3. Aufl., Verlag Paul Parey, Berlin–Hamburg, 549–591.
- DIRKSEN, G. (2006): Krankheiten im Bereich der Zehen. In: DIRKSEN, G.; GRÜNDER, H.-D.; STÖBER, M. (Hrsg.), Innere Medizin und Chirurgie des Rindes. 5. Aufl., Parey, Stuttgart, 912–978.
- DLG E. V. (2010): DLG-Leitfaden Klauenkrankheiten. Heft des DLG-Ausschuss Klauenpflege und -hygiene.
- DYER, R. M.; NEERCHAL, N. K.; TASCH, U.; WU, Y.; DYER, P.; RAJKONDAWAR, P. G. (2007): Objective determination of claw pain and its relationship to limb locomotion score in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 90(10), 4592–4602.
- EDDY, A. L.; HOOGMOED, L. M. VAN; SNYDER, J. R. (2001): The role of thermography in the management of equine lameness. *The Veterinary Journal* 162(3), 172–181.
- ENTING, H.; KOOLJ, D.; DIJKHUIZEN, A. A.; HUIRNE, R. B. M.; NOORDHUIZEN-STASSEN, E. N. (1997): Economic losses due to clinical lameness in dairy cattle. *Livestock Production Science* 49(3), 259–267.
- FIEDLER, A. (2014): Gesunde Klauen dank Dokumentation. *LKV-Journal* (3), 10–12.
- FIEDLER, A.; MAIERL, J. (2004): Management der Klauengesundheit beim Rind. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- FLOWER, F. C.; SANDERSON, D. J.; WEARY, D. M. (2005): Hoof pathologies influence kinematic measures of dairy cow gait. *Journal of Dairy Science* 88(9), 3166–3173.
- FLOWER, F. C.; WEARY, D. M. (2006): Effect of hoof pathologies on subjective assessments of dairy cow gait. *Journal of Dairy Science* 89(1), 139–146.
- GALINDO, F.; BROOM, D. M. (2002): The effects of lameness on social and individual behavior of dairy cows. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 5(3), 193–201.
- GHOTOORLAR, S. M.; GHAMSARI, S. M.; NOWROUZIAN, I.; GHOTOORLAR, S. M.; GHIDARY, S. S. (2012): Lameness scoring system for dairy cows using force plates and artificial intelligence. *Veterinary Record* 170(5), 126.
- GLOSTER, J.; EBERT, K.; GUBBINS, S.; BASHIRUDDIN, J.; PATON, D. J. (2011): Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC veterinary research* 7, 73.

- GREEN, L. E.; HEDGES, V. J.; SCHUKKEN, Y. H.; BLOWEY, R. W.; PACKINGTON, A. J. (2002): The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 85(9), 2250–2256.
- GREENOUGH, P. R. (2007): *Bovine laminitis and lameness. A hands-on approach.* Saunders Elsevier, Edinburgh–New York.
- GSCHÖDERER, OSOVSKY; GRUPP; SCHMIDT, E. (2006): Präventive Klauenpflege unter Einsatz der Thermographie. *Fleckvieh Welt* (1), 4–9.
- GÜNTHER, M. (1983): *Klauenkrankheiten.* Tierärztliche Praxis. 3. Aufl., Gustav Fischer Verlag, Jena.
- HARLAND, S. (2012): Detection of digital dermatitis lesions in cattle using a thermal camera. http://moredun.org.uk/webfm_send/514 [05.07.16].
- HASSALL, S. A.; WARD, W. R.; MURRAY, R. D. (1993): Effects of lameness on the behaviour of cows during the summer. *Veterinary Record* 132(23), 578–580.
- HIRSCHBERG, R. (1999): *Die Feinstruktur der Blutgefäße an der gesunden und erkrankten Rinderklaue.* Dissertation, Fachbereich Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin.
- HOOFF, J. A. R. A. M. VAN; BAUMANS, V.; BRAIN, P. R. (1995): Erkennen von Schmerzen und Leiden. In: ZUTPHEN, L. F. M. VAN; BAUMANS, V.; BEYNEN, A. C. (Hrsg.), *Grundlagen der Versuchstierkunde.* Gustav Fischer, Stuttgart–Jena–New York, 229–237.
- HÖRNICKE, H. (1987): Thermophysiologie. In: SCHEUNERT, A.; TRAUTMANN, A. (Hrsg.), *Lehrbuch der Veterinär-Physiologie.* Verlag Paul Parey, Berlin–Hamburg, 142–159.
- HULSEN, J. (2005): *Klauen. Erkrankungen effektiv vorbeugen.* Verl. Roodbont, Zutphen.
- JANSSEN, J.; LAATZ, W. (2013): *Statistische Datenanalyse mit SPSS. Eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests.* 8. Aufl., Springer Gabler, Berlin–Heidelberg.
- JESSEN, C. (2000): Wärmeabgabe. In: ENGELHARDT, W. VON; BREVES, G. (Hrsg.), *Physiologie der Haustiere.* Enke, Stuttgart, 467–481.
- JUAREZ, S. T.; ROBINSON, P. H.; PETERS, E. J. DE; PRICE, E. O. (2003): Impact of lameness on behavior and productivity of lactating Holstein cows. *Applied Animal Behaviour Science* 83(1), 1–14.
- KATSIOULOS, P. D.; CHRISTODOULOPOULOS, G. (2009): Prevalence of lameness and of associated claw disorders in Greek dairy cattle industry. *Livestock Science* 122(2–3), 354–358.
- KOCH, A. (2008): Ursachen spezifischer Klauenerrkrankungen in Milchviehbeständen. Frühjahrsveranstaltung Tierseuchenkasse Sachsen-Anhalt, 17.03.2008. http://www.tgdsachsen-anhalt.de/rind/fachbtrg/006/Alexandra_Koch.pdf [07.07.16].

- KOFLER, J. (2014): Monitoring der Klauengesundheit in Milchviehherden und Funktionelle Klauenpflege. In: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (Hrsg.), 6. Tierärztetagung. Focus Fruchtbarkeit. 23.–24.05.2014, Raumberg-Gumpenstein, 67–76.
<https://www.raumberg-gumpenstein.at/cm4/de/forschung/publikationen/downloadsveranstaltungen/viewdownload/1910-tagung-tieraerztliche-bestandsbetreuung-2014/16864-monitoring-der-klauengesundheit-in-milchviehherden-und-funktionelle-klauenpflege.html> [22.12.2015].
- KOSSAIBATI, M. A.; ESSLEMONT, R. J. (1997): The costs of production diseases in dairy herds in England. *The Veterinary Journal* 154(1), 41–51.
- KUJALA, M.; PASTELL, M.; SOVERI, T. (2008): Use of force sensors to detect and analyse lameness in dairy cows. *Veterinary Record* 162(12), 365–368.
- LANDGRAF, T. (2015): Automatisierung der temperaturbildbasierten Tierüberwachung. Dissertation, Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Dresden.
- LANGE, W. (2004a): Tierpflege und Gesundheitsfürsorge sowie Tierbehandlung durch den Tierhalter. In: BUSCH, W.; METHLING, W.; AMSELGRUBER, W. M. (Hrsg.), *Tiergesundheits- und Tierkrankheitslehre*. Parey, Stuttgart, 103–113.
- LANGE, W. (2004b): Wesen und Begriffe von Gesundheit und Krankheit. In: BUSCH, W.; METHLING, W.; AMSELGRUBER, W. M. (Hrsg.), *Tiergesundheits- und Tierkrankheitslehre*. Parey, Stuttgart, 1–4.
- LIU, J.; NEERCHAL, N. K.; TASCH, U.; DYER, R. M.; RAJKONDAWAR, P. G. (2009): Enhancing the prediction accuracy of bovine lameness models through transformations of limb movement variables. *Journal of Dairy Science* 92(6), 2539–2550.
- LOHNINGER, H. (2012a): Grundlagen der Statistik. Ausreißertests–Grundregeln. eBook.
http://www.statistics4u.info/fundstat_germ/cc_outlier_tests_4sigma.html [04.05.16].
- LOHNINGER, H. (2012b): Grundlagen der Statistik. ROC-Kurve. eBook.
http://www.statistics4u.info/fundstat_germ/ee_classifier_roc_curve.html [14.05.16].
- MAERTENS, W.; VANGHEYTE, J.; BAERT, J.; JANTUAN, A.; MERTENS, K. C.; CAMPENEERE, S. de, et al. (2011): Development of a real time cow gait tracking and analysing tool to assess lameness using a pressure sensitive walkway: The GAITWISE system. *Biosystems Engineering* 110(1), 29–39.
- MAIN, D. C. J.; BARKER, Z. E.; LEACH, K. A.; BELL, N. J.; WHAY, H. R.; BROWNE, W. J. (2010): Sampling strategies for monitoring lameness in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 93(5), 1970–1978.
- MAIN, D. C. J.; STOKES, J. E.; READER, J. D.; WHAY, H. R. (2012): Detecting hoof lesions in dairy cattle using a hand-held thermometer. *Veterinary Record* 171(20), 504.

- MANGWETH, G.; SCHRAMEL, J. P.; PEHAM, C.; GASSER, C.; TICHY, A.; ALTENHOFER, C., et al. (2012): Lahmheitserkennung bei Kühen durch Messung der Bewegung im Schritt mittels Accelerometer. *Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift* 125(9/10), 386–396.
- MANSKE, T.; HULTGREN, J.; BERGSTEN, C. (2002): Prevalence and interrelationships of hoof lesions and lameness in Swedish dairy cows. *Preventive Veterinary Medicine* 54(3), 247–263.
- MANSON, F. J.; LEAVER, J. D. (1988): The influence of concentrate amount on locomotion and clinical lameness in dairy cattle. *Animal Production* 47(2), 185–190.
- MAZRIER, H.; TAL, S.; AIZINBUD, E.; BARGAI, U. (2006): A field investigation of the use of the pedometer for the early detection of lameness in cattle. *The Canadian Veterinary Journal* 47(9), 883–886.
- MOL, R. M. DE; ANDRÉ, G.; BLEUMER, E. J. B.; WERF, J. T. N. VAN DER; HAAS, Y. de; REENEN, C. G. VAN (2013): Applicability of day-to-day variation in behavior for the automated detection of lameness in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 96(6), 3703–3712.
- MONTGOMERY, J. A.; FORGAN, K.; HAYHURST, C.; REES, E.; DUNCAN, J. S.; GOSSELLEIN, J., et al. (2012): Short term effect of treating claw horn lesions in dairy cattle on their locomotion, activity and milk yield. *Veterinary Science Development* 2(e7), 25–30.
- NIKKHAH, A.; PLAIZIER, J. C.; EINARSON, M. S.; BERRY, R. J.; SCOTT, S. L.; KENNEDY, A. D. (2005): Short Communication: Infrared thermography and visual examination of hooves of dairy cows in two stages of lactation. *Journal of Dairy Science* 88(8), 2749–2753.
- NOCEK, J. E. (1997): Bovine Acidosis: Implications on laminitis. *Journal of Dairy Science* 80(5), 1005–1028.
- NUFFEL, A. VAN; ZWERTVAEGHER, I.; PLUYM, L.; WEYENBERG, S. VAN; THORUP, V. M.; PASTELL, M., et al. (2015a): Lameness detection in dairy cows: Part 1. How to distinguish between non-lame and lame cows based on differences in locomotion or behavior. *Animals* 5(3), 838–860.
- NUFFEL, A. VAN; ZWERTVAEGHER, I.; WEYENBERG, S. VAN; PASTELL, M.; THORUP, V. M.; BAHR, C., et al. (2015b): Lameness detection in dairy cows: Part 2. Use of sensors to automatically register changes in locomotion or behavior. *Animals* 5(3), 861–885.
- O'CALLAGHAN, K. (2002): Lameness and associated pain in cattle—challenging traditional perceptions. *In Practice* 24(4), 212–219.
- O'CALLAGHAN, K. A.; CRIPPS, P. J.; DOWNHAM, D. Y.; MURRAY, R. D. (2003): Subjective and objective assessment of pain and discomfort due to lameness in dairy cattle. *Animal Welfare* 12(4), 605–610.
- OKAIYETO, S. O.; ERNEST, A.; DANBIRINI, S.; KUDI, A. C. (2012): Effects of lameness on milk yield of Holstein Friesian cattle on a dairy farm in Niger State of Nigeria. *Journal of Animal Science Advances* 2(Suppl. 3.1), 282–286.

- OUARED, K.; ZIDANE, K.; AGGAD, H.; NIAR, A. (2015): Impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 14(1), 10–12.
- PASSARGE, U. (2013): Gesundheitsmonitoring in Milchviehherden mit Hilfe von Infrarot-Thermographie. Dissertation, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät, Humboldt-Universität zu Berlin.
- PASTELL, M.; KUJALA, M.; AISLA, A.-M.; HAUTALA, M.; POIKALAINEN, V.; PRAKS, J., et al. (2008): Detecting cow's lameness using force sensors. *Computers and Electronics in Agriculture* 64(1), 34–38.
- PASTELL, M.; TAKKO, H.; GRÖHN, H.; HAUTALA, M.; POIKALAINEN, V.; PRAKS, J., et al. (2006): Assessing cows' welfare: weighing the cow in a milking robot. *Biosystems Engineering* 93(1), 81–87.
- PASTELL, M.; TIUSANEN, J.; HAKOJÄRVI, M.; HÄNNINEN, L. (2009): A wireless accelerometer system with wavelet analysis for assessing lameness in cattle. *Biosystems Engineering* 104(4), 545–551.
- PENEV, T.; STANKOV, K. (2015): Effect of lameness on milk production traits in Holstein-Friesian dairy cows. *Veterinarija ir Zootechnika* 70(92), 53–59.
- PFUNDSTEIN, G. (2009): Messen im medizinischen Kontext I. Sensitivität, Spezifität, Fehlklassifikation und ROC-Kurven. <http://www.statistik.lmu.de/~helmut/seminar09/FolienPfundstein.pdf> [15.05.2016].
- PIJL, R.; SWALVE, H. H. (2006): An analysis of claw disorders diagnosed at claw trimming. In: 14th International Symposium and 6th Conference on Lameness in Ruminants. 08.–11.11. 2006, Uruguay, 34–36. <http://www.ivos.org/proceedings/rumlameness/2006/Block1/Pijl.pdf?LA=1> [22.12.2015].
- PILS, K.; HOFFMANN, J.; PATZELT, S.; GOCH, G. (2010): Kameragestützte Lahmheitsbewertung bei Milchkühen. In: LEÓN, F. P.; HEIZMANN, M. (Hrsg.), *Forum Bildverarbeitung*. KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, 401–412.
- PLUK, A.; BAHR, C.; POURSABERI, A.; MAERTENS, W.; NUFFEL, A. VAN; BERCKMANS, D. (2012): Automatic measurement of touch and release angles of the fetlock joint for lameness detection in dairy cattle using vision techniques. *Journal of Dairy Science* 95(4), 1738–1748.
- POURSABERI, A.; BAHR, C.; PLUK, A.; NUFFEL, A. VAN; BERCKMANS, D. (2010): Real-time automatic lameness detection based on back posture extraction in dairy cattle: Shape analysis of cow with image processing techniques. *Computers and Electronics in Agriculture* 74(1), 110–119.
- RAJKONDAWAR, P. G.; LIU, M.; DYER, R. M.; NEERCHAL, N. K.; TASCH, U.; LEFCOURT, A. M., et al. (2006): Comparison of models to identify lame cows based on gait and lesion scores, and limb movement variables. *Journal of Dairy Science* 89(11), 4267–4275.
- RAJKONDAWAR, P. G.; TASCH, U.; LEFCOURT, A. M.; EREZ, B.; DYER, R. M.; VARNER, M. A. (2002): A system for identifying lameness in dairy cattle. *Applied Engineering in Agriculture* 18(1), 87–96.

- RESSLER, H. (2014): Verluste durch Klauendefekte. Frühzeitig erkennen, rechtzeitig reagieren. LKV-Journal 14(3), 13–15.
- ROBINSON, P. H.; JUAREZ, S. T. (2011): Locomotion Scoring your cows: Use and interpretation. <http://www.txanc.org/docs/LocomotionScoringofDairyCattle.pdf> [30.11.2017].
- RÖMER, A. (2012): Einflussfaktoren auf die Klauengesundheit von Milchrindern. In: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), Beiträge zur Milchproduktion. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei. Heft 49, 54–58.
- RUSHEN, J.; POMBOURCQ, E.; PASSILLÉ, A. M. de (2007): Validation of two measures of lameness in dairy cows. *Applied Animal Behaviour Science* 106(1–3), 173–177.
- SAVOCA, R. (2013): Interpretation von Laborresultaten: Bayes oder Bauchgefühl? *Pipette—Swiss Laboratory Medicine* (03), 10–11.
- SCHÖPKE, K.; WEIDLING, S.; PIJL, R.; SWALVE, H. H. (2013): Relationships between bovine hoof disorders, body condition traits, and test-day yields. *Journal of Dairy Science* 96(1), 679–689.
- SCHWARZER, G. (2002a): Die Vierfeldertafel (in Diagnosestudien)—Sensitivität und Spezifität. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 57(6), 333–334.
- SCHWARZER, G. (2002b): Nutzen eines diagnostischen Tests in der Praxis: prädiktive Werte. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 57(10), 573–575.
- SMITS, M. C. J.; FRANKENA, K.; METZ, J. H. M.; NOORDHUIZEN, J. P. T. M. (1992): Prevalence of digital disorders in zero-grazing dairy cows. *Livestock Production Science* 32(3), 231–244.
- SOCHA, M. T.; TOMLINSON, D. J.; WARD, T. L. (2006): Using locomotion scoring to put together a program to reduce lameness on the dairy. <http://www.milkproduction.com/Library/Scientific-articles/Animal-health/Using-locomotion-scoring/> [05.12.2015].
- SOGSTAD, Å. M.; ØSTERÅS, O.; FJELDAAS, T. (2006): Bovine claw and limb disorders related to reproductive performance and production diseases. *Journal of Dairy Science* 89(7), 2519–2528.
- SONG, X.; LEROY, T.; VRANKEN, E.; MAERTENS, W.; SONCK, B.; BERCKMANS, D. (2008): Automatic detection of lameness in dairy cattle—Vision-based trackway analysis in cow's locomotion. *Computers and Electronics in Agriculture* 64(1), 39–44.
- SPRECHER, D. J.; HOSTETLER, D. E.; KANEENE, J. B. (1997): A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. *Theriogenology* 47(6), 1179–1187.

- STEINER, A. (2005): Zehenerkrankungen beim Rind. Skriptum zur VL im Themenblock Bewegungsapparat. Wiederkäuerklinik Fakultät Bern.
<https://www.yumpu.com/de/document/view/10833563/zehenerkrankungen-beim-rind-pdf-673kb> [07.07.16].
- STOKES, J. E.; LEACH, K. A.; MAIN, D. C. J.; WHAY, H. R. (2012): An investigation into the use of infrared thermography (IRT) as a rapid diagnostic tool for foot lesions in dairy cattle. *The Veterinary Journal* 193(3), 674–678.
- SWALVE, H. H.; ALKHODER, H.; PIJL, R. (2008): Estimates of breeding values for sires based on diagnoses recorded at hoof trimming: Relationships with EBV for conformation traits. *Interbull Bulletin* 2008(38), 87–90.
- TELEZHENKO, E. (2005): Measurements of trackways as a method for assessing locomotion in dairy cows. Licentiate thesis, Department of Animal Environment and Health, Swedish University of Agricultural Sciences.
- TESTO GMBH (2018): Messobjekt.
https://www.testo.com/de-AT/Messobjekt/service_ggt_ti_measuring_object [10.02.2018].
- TIERSCHG (2014): Tierschutzgesetz.
<http://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/BJNR012770972.html> [09.11.2015].
- VERHOEF, G. G. M. (2012): Economic impact of foot disorders in dairy cattle.
<http://dspace.library.uu.nl/handle/1874/289377> [15.12.15].
- VERMUNT, J. (2004): Herd lameness—A review, major causal factors, and guidelines for prevention and control. In: BORUT, Z. (Hrsg.), *Proceedings of the 13th International Symposium and 5th Conference on Lameness in Ruminants*. 11.–15.02.2004, Maribor, Slovenija, 3–18.
https://praxis-klauengesundheit.de/pdf/proceedings/2004-13th-International-Symposium-a_pi-67.pdf [27.11.17].
- VIAZZI, S.; BAHR, C.; SCHLAGETER-TELLO, A.; HERTEM, T. VAN; ROMANINI, C. E. B.; PLUK, A., et al. (2013): Analysis of individual classification of lameness using automatic measurement of back posture in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 96(1), 257–266.
- WALKER, S. L.; SMITH, R. F.; ROUTLY, J. E.; JONES, D. N.; MORRIS, M. J.; DOBSON, H. (2008): Lameness, activity time-budgets, and estrus expression in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 91(12), 4552–4559.
- WANGLER, A. (2004): Praxiserfahrungen zur Klauengesundheit. In: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), *Beiträge zur Tierproduktion. Aufzucht, Fütterung, Haltung und Gesundheit von Milchkühen*. Heft 31, 55–61.
- WARNICK, L. D.; JANSSEN, D.; GUARD, C. L.; GRÖHN, Y. T. (2001): The effect of lameness on milk production in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 84(9), 1988–1997.

- WEARY, D. M.; HUZZEY, J. M.; KEYSERLINGK, M. A. G. VON (2009): Board-invited review: Using behavior to predict and identify ill health in animals. *Journal of animal science* 87(2), 770–777.
- WEARY, D. M.; NIEL, L.; FLOWER, F. C.; FRASER, D. (2006): Identifying and preventing pain in animals. *Applied Animal Behaviour Science* 100(1–2), 64–76.
- WEBER, A. (2013): Genetic evaluation of indicator traits for claw and leg diseases and estimation of backfat thickness using new traits from an automatic 3D optical system. Dissertation, Agrar- und Ernährungswissenschaftliche Fakultät, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- WHAY, H. (2002): Locomotion scoring and lameness detection in dairy cattle. In *Practice* 24(8), 444–449.
- WHAY, H. R.; WATERMAN, A. E.; WEBSTER, A. J. F.; O'BRIEN, J. K. (1998): The influence of lesion type on the duration of hyperalgesia associated with hindlimb lameness in dairy cattle. *The Veterinary Journal* 156(1), 23–29.
- WILHELM, K. (2010): Die subklinische Klauenrehe beim Milchrind – thermographische Untersuchungen der Klaue und Beziehungen zum Energiestoffwechsel. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig.
- WILLEN, S. (2004): Tierbezogene Indikatoren zur Beurteilung der Tiergerechtigkeit in der Milchviehhaltung – methodische Untersuchungen und Beziehungen zum Haltungssystem. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- WINCKLER, C. (2009): Verhalten der Rinder. In: HOY, S. (Hrsg.), *Nutztierethologie*. Ulmer, Stuttgart, 78–104.
- WINCKLER, C.; WILLEN, S. (2001): The reliability and repeatability of a lameness scoring system for use as an indicator of welfare in dairy cattle. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A — Animal Science* 51(suppl.30), 103–107.
- WOOD, S.; LIN, Y.; KNOWLES, T. G.; MAIN, D. C. J. (2015): Infrared thermometry for lesion monitoring in cattle lameness. *Veterinary Record* 176(12), 308.

Anhang

A Statistische Kennwerte und Histogramme beider Hinterfüße

Tabella A.1: Statistische Kennwerte der IR-Kenngrößen für IR-Messflächen „HL+HRunten“ (Betrieb 1)

	IR-Temperaturkenngröße (°C)							IR-Flächenkenngröße (1 = 100%)					
	mean	max	maxmax	max2	max5	hmax	hmin	rel30	rel32	rel34	relmax85	relmax95	
N	4488	4476	4474	4476	4479	4486	4505	4508	4508	4508	4508	4508	
Mittelwert	28,81	31,28	31,44	31,01	30,77	29,30	18,28	0,42	0,16	0,04	0,87	0,40	
Standardfehler des Mittelwertes	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,01	0	0	0	0	
Median	29,33	31,70	31,85	31,43	31,19	29,84	18,06	0,38	0	0	0,94	0,37	
Modus	19,12a	31,24a	31,93	32,60	32,39	30,80	14,50	0	0	0	1,00	0,17	
Standardabweichung	3,13	2,73	2,72	2,75	2,78	3,10	2,56	0,38	0,29	0,16	0,16	0,21	
Varianz	9,81	7,45	7,38	7,55	7,74	9,63	6,55	0,15	0,08	0,03	0,02	0,04	
Schiefe	-0,40	-0,54	-0,55	-0,53	-0,52	-0,48	1,67	0,21	1,75	4,28	-1,67	0,40	
Standardfehler der Schiefe	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Kurtosis	-0,11	0,60	0,62	0,54	0,48	0,21	4,83	-1,58	1,75	17,93	2,74	-0,65	
Standardfehler der Kurtosis	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
Spannweite	18,73	16,86	16,64	16,99	17,18	18,65	21,61	1,00	1,00	1,00	0,90	0,98	
Minimum	19,12	22,54	22,82	22,26	21,91	19,69	12,69	0	0	0	0,10	0,01	
Maximum	37,85	39,40	39,46	39,26	39,09	38,34	34,30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Perzentile	25	26,79	29,91	30,06	29,62	29,32	27,57	16,70	0	0	0	0,80	0,23
	50	29,33	31,70	31,85	31,43	31,19	29,84	18,06	0,38	0	0	0,94	0,37
	75	30,94	32,94	33,07	32,70	32,49	31,32	19,25	0,81	0,20	0	0,99	0,55

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt

Tabelle A.2: Statistische Kennwerte der IR-Kenngrößen für IR-Messflächen „HL+HR oben“ (Betrieb 1)

	IR-Temperaturkenngröße (°C)						IR-Flächenkenngröße (1 = 100%)					
	max	maxmax	max2	max5	hmax	hmin	rel30	rel32	rel34	relmax85	relmax95	
N	4302	4298	4305	4306	4311	4324	4334	4334	4334	4334	4334	
Mittelwert	32,00	32,13	31,22	30,74	28,96	22,98	0,23	0,09	0,02	0,48	0,11	
Standardfehler des Mittelwertes	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0	0	0	0	0	
Median	32,33	32,45	31,55	31,09	29,42	23,27	0,18	0,01	0	0,51	0,10	
Modus	29,67a	33,07	32,45	30,42	29,30	14,50	0	0	0	,57a	,09a	
Standardabweichung	2,54	2,52	2,63	2,70	3,15	3,33	0,22	0,15	0,08	0,13	0,07	
Varianz	6,45	6,33	6,94	7,29	9,91	11,10	0,05	0,02	0,01	0,02	0,01	
Schiefe	-0,44	-0,43	-0,48	-0,48	-0,50	-0,39	0,56	2,10	4,54	-0,80	0,92	
Standardfehler der Schiefe	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
Kurtosis	0,80	0,78	0,69	0,58	0,45	0,29	-0,98	3,59	21,39	0,22	0,47	
Standardfehler der Kurtosis	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	
Spannweite	16,33	16,19	16,28	16,74	19,78	19,78	0,81	0,75	0,69	0,75	0,42	
Minimum	23,81	23,99	22,93	22,14	18,47	14,50	0	0	0	0,04	0	
Maximum	40,13	40,18	39,21	38,88	38,25	34,28	0,81	0,75	0,69	0,79	0,43	
Perzentile	25	30,69	30,84	29,85	29,34	27,33	21,04	0,01	0	0	0,41	0,05
	50	32,33	32,45	31,55	31,09	29,42	23,27	0,18	0,01	0	0,51	0,10
	75	33,46	33,58	32,79	32,40	30,94	25,17	0,42	0,10	0	0,58	0,16

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

Tabelle A.3: Statistische Kennwerte der IR-Kenngrößen für IR-Messflächen „HL+HR“ (Betrieb 2)

		IR-Temperaturkenngröße (°C)			
		max	maxmax	maxAvg5	maxAvg9
N		3579	3578	3577	3577
Mittelwert		29,26	29,41	28,99	28,84
Standardfehler des Mittelwertes		0,03	0,03	0,03	0,03
Median		29,51	29,66	29,27	29,12
Modus		25,57a	30,17a	30,07	24,97a
Standardabweichung		1,79	1,79	1,81	1,83
Varianz		3,22	3,19	3,29	3,36
Schiefe		-0,69	-0,69	-0,65	-0,63
Standardfehler der Schiefe		0,04	0,04	0,04	0,04
Kurtosis		0,24	0,23	0,15	0,11
Standardfehler der Kurtosis		0,08	0,08	0,08	0,08
Spannweite		9,85	9,79	9,96	10,03
Minimum		23,53	23,70	23,18	22,98
Maximum		33,38	33,48	33,14	33,01
Perzentile	25	28,23	28,37	27,92	27,75
	50	29,51	29,66	29,27	29,12
	75	30,54	30,67	30,31	30,17

a. Mehrere Modi vorhanden. Der kleinste Wert wird angezeigt.

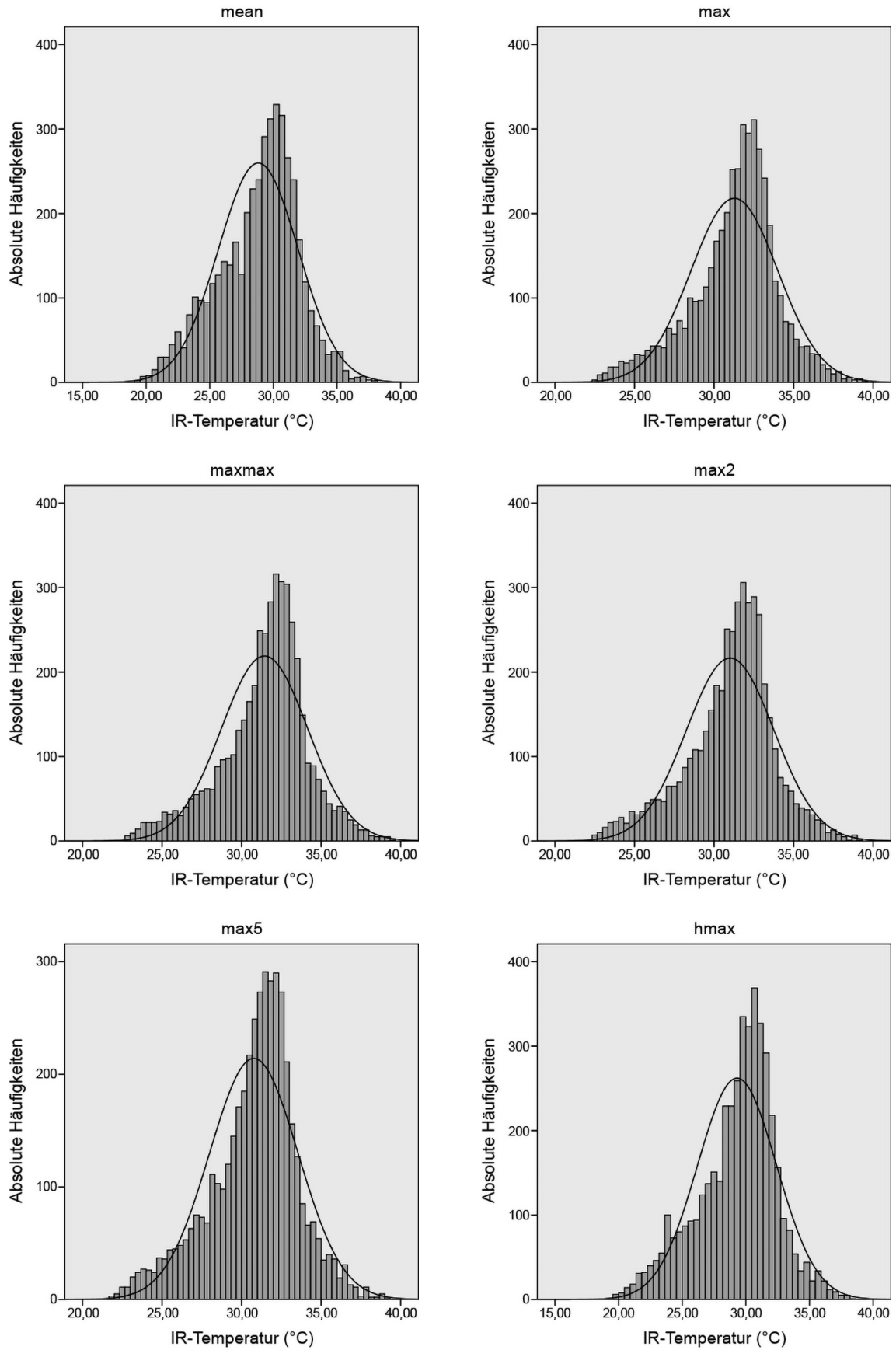


Abbildung A.1: Histogramme der IR-Kenngrößen („mean“ bis „hmax“) für IR-Messflächen „HL+HRunten“ (Betrieb 1)

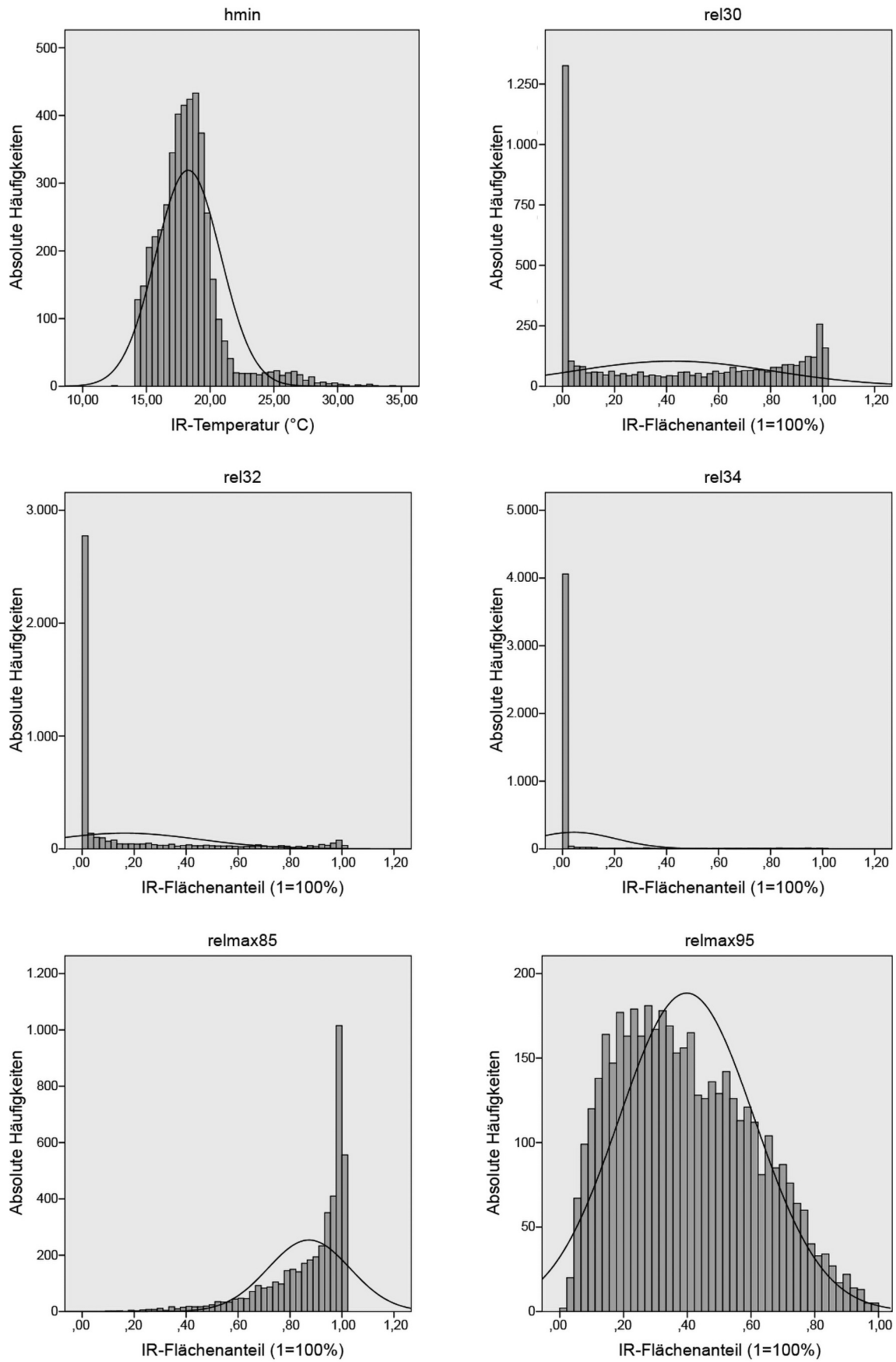


Abbildung A.2: Histogramme der IR-Kenngrößen („hmin“ bis „relmax95“) für IR-Messflächen „HL+HR unten“ (Betrieb 1)

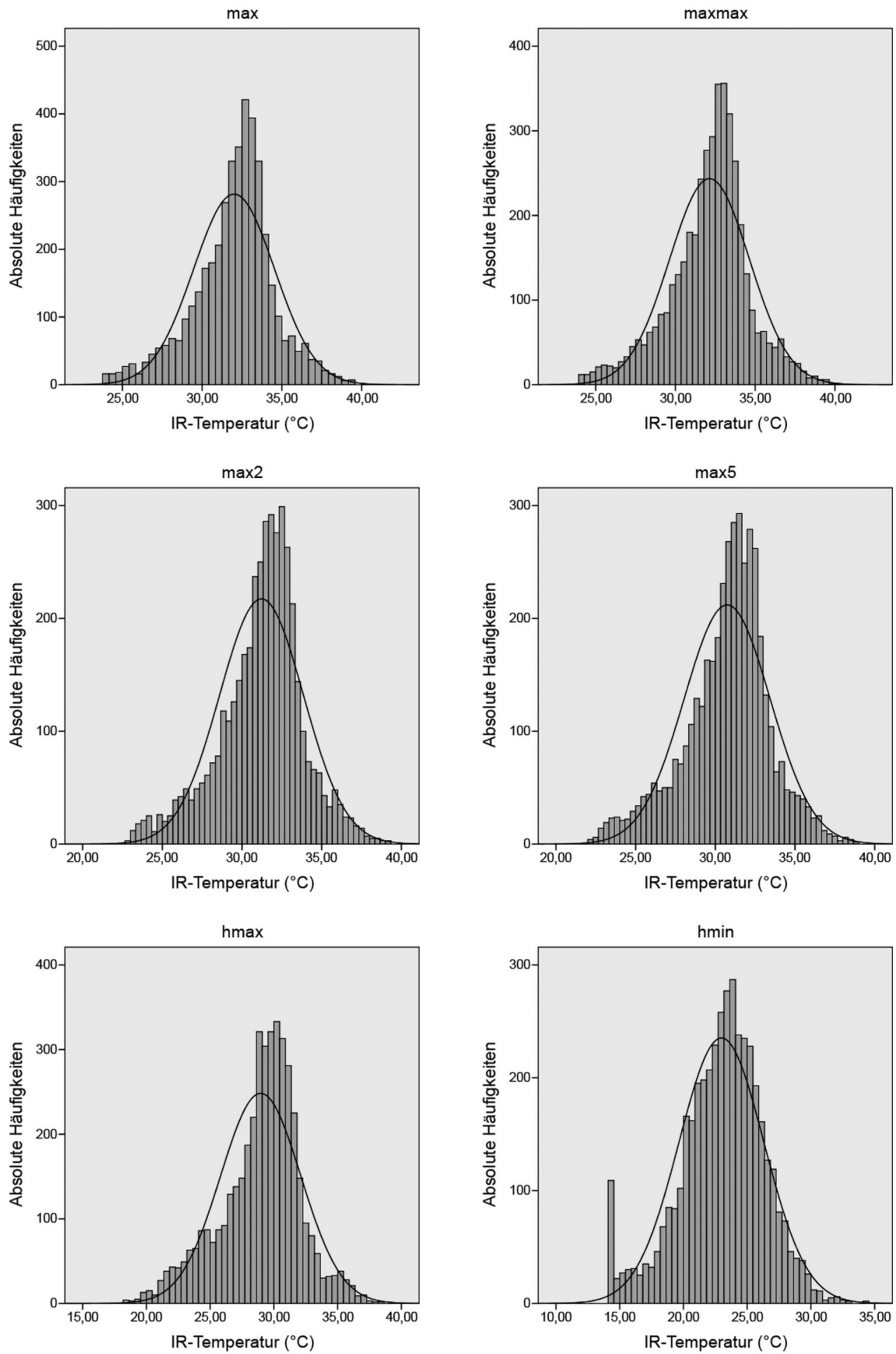


Abbildung A.3: Histogramme der IR-Kenngrößen („max“ bis „hmin“) für IR-Messflächen „HL+HR oben“ (Betrieb 1)

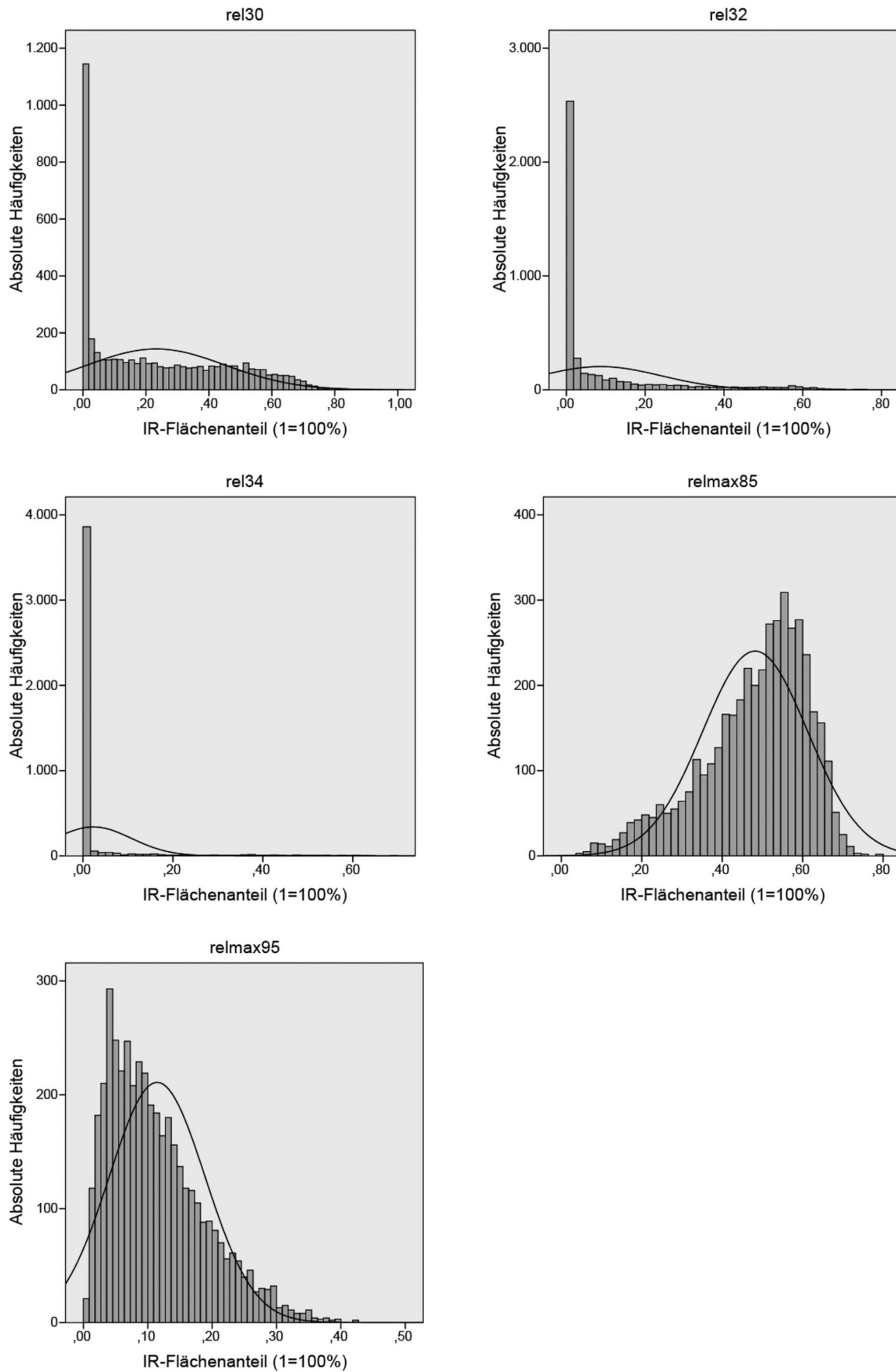


Abbildung A.4: Histogramme der IR-Kenngrößen („rel30“ bis „relmax95“) für IR-Messflächen „HL+HR oben“ (Betrieb 1)

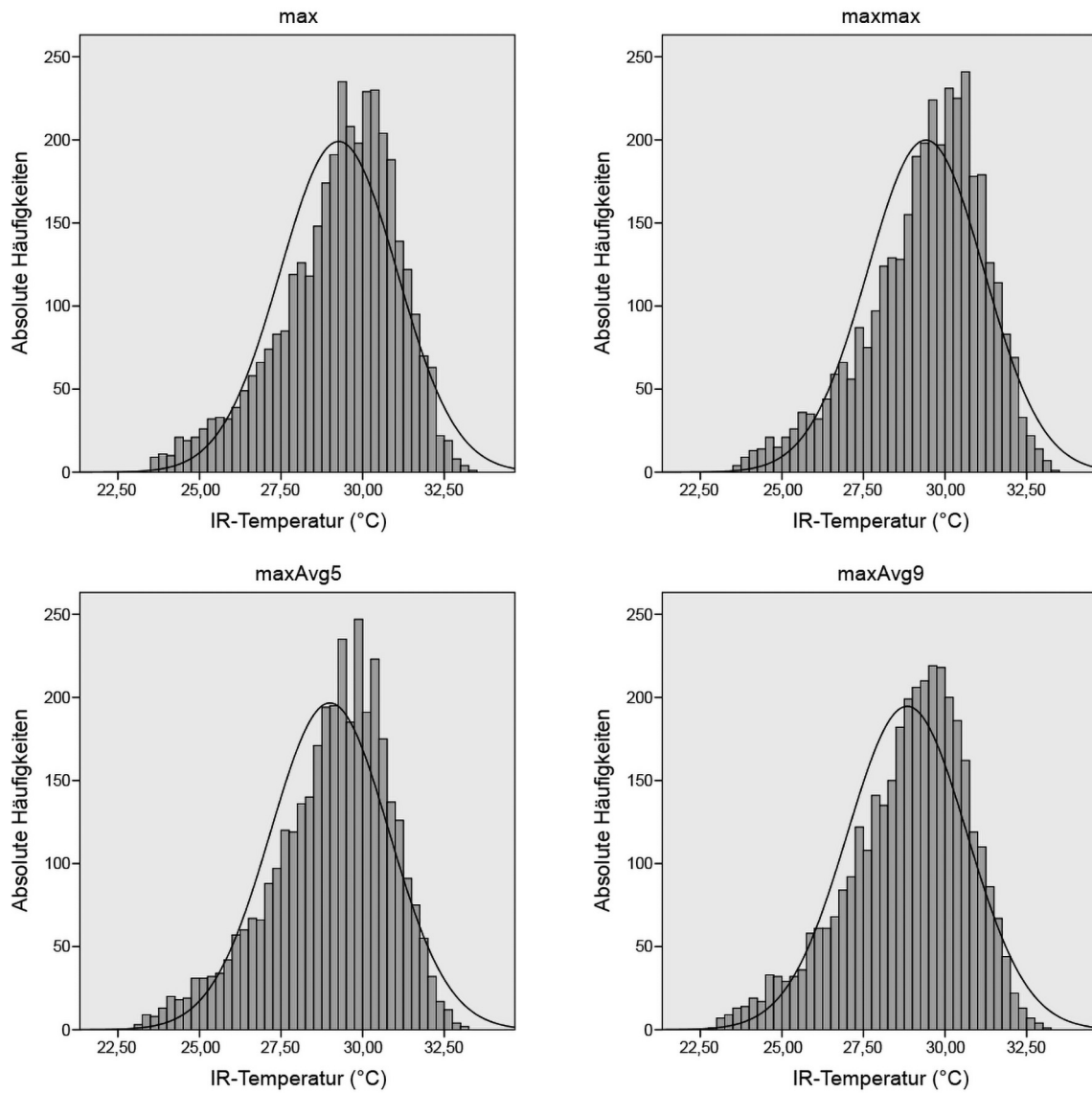


Abbildung A.5: Histogramme der IR-Kenngrößen („max“ bis „maxAvg9“) für IR-Messflächen „HL+HR“ (Betrieb 2)

B Ergebnisse der ROC-Analyse zum Vergleich tierindividueller Hinterfüße

Tabelle B.1: Ergebnisse des diagnostischen Tests für optimalen Grenzwert (Differenzwert) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen mittels ROC-Analyse (Betrieb 1)

IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund HL/HR (N)	positiver Befund HL/HR (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Differenzwert (K, Flächenanteil*)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)	Se+Sp (%)	AUC	p-Wert
mean	295	226	69	36	124	102	33	23,4	0,85	52,2	54,9	26,1	79,0	107,0	0,50	0,944
max	295	226	69	53	68	158	16	23,4	0,36	76,8	30,1	25,1	81,0	106,9	0,51	0,716
maxmax	294	225	69	59	57	168	10	23,5	0,25	85,5	25,3	26,0	85,1	110,8	0,53	0,409
max2	295	226	69	30	151	75	39	23,4	1,05	43,5	66,8	28,6	79,5	110,3	0,51	0,760
max5	295	226	69	68	17	209	1	23,4	0,07	98,6	7,5	24,5	94,4	106,1	0,51	0,816
hmax	295	226	69	65	25	201	4	23,4	0,16	94,2	11,1	24,4	86,2	105,3	0,49	0,788
hmin	295	226	69	68	31	195	1	23,4	0,14	98,6	13,7	25,9	96,9	112,3	0,50	0,932
rel30	295	226	69	39	134	92	30	23,4	0,13	56,5	59,3	29,8	81,7	115,8	0,57	0,062
rel32	295	226	69	40	115	111	29	23,4	0	58,0	50,9	26,5	79,9	108,9	0,53	-
rel34	295	226	69	0	226	0	69	23,4	0,48	0	100	0	76,6	100,0	0,46	-
relmax85	295	226	69	57	51	175	12	23,4	0,01	82,6	22,6	24,6	81,0	105,2	0,44	0,133
relmax95	295	226	69	35	157	69	34	23,4	0,17	50,7	69,5	33,7	82,2	120,2	0,58	0,076

*dargestellt als Dezimalzahl (1 = 100%)

Tabelle B.2: Ergebnisse des diagnostischen Tests für optimalen Grenzwert (Differenzwert) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen mittels ROC-Analyse (Betrieb 1)

IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund HL/HR (N)	positiver Befund HL/HR (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Differenzwert (K, Flächenanteil*)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)	Se+Sp (%)	AUC	p-Wert
max	269	207	62	49	60	147	13	23,0	0,39	79,0	29,0	25,0	82,2	108,0	0,51	0,753
maxmax	268	206	62	56	35	171	6	23,1	0,17	90,3	17,0	24,7	85,4	107,3	0,52	0,640
max2	269	207	62	20	157	50	42	23,0	1,28	32,3	75,8	28,6	78,9	108,1	0,48	0,563
max5	269	207	62	58	30	177	4	23,0	0,19	93,5	14,5	24,7	88,2	108,0	0,48	0,590
hmax	269	207	62	26	127	80	36	23,0	1,03	41,9	61,4	24,5	77,9	103,3	0,47	0,558
hmin	269	207	62	46	78	129	16	23,0	0,84	74,2	37,7	26,3	83,0	111,9	0,54	0,382
rel30	269	207	62	33	118	89	29	23,0	0,07	53,2	57,0	27,0	80,3	110,2	0,54	0,332
rel32	269	207	62	37	112	95	25	23,0	0,01	59,7	54,1	28,0	81,8	113,8	0,54	-
rel34	269	207	62	0	207	0	62	23,0	0,13	0	100	0	77,0	100,0	0,45	-
relmax85	269	207	62	56	36	171	6	23,0	0,01	90,3	17,4	24,7	85,7	107,7	0,48	0,651
relmax95	269	207	62	47	88	119	15	23,0	0,03	75,8	42,5	28,3	85,4	118,3	0,54	0,290

*dargestellt als Dezimalzahl (1 = 100%)

Tabelle B.3: Ergebnisse des diagnostischen Tests für optimalen Grenzwert (Differenzwert) zwischen beiden Hinterfüßen (IR-Messfläche „HL“, „HR“) zur Identifikation von Klauenerkrankungen mittels ROC-Analyse (Betrieb 2)

IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund HL/HR (N)	positiver Befund HL/HR (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)		Differenzwert (K)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)	Se+Sp (%)	AUC	p-Wert
max	32	10	22	2	10	0	20	68,8		3,16	9,1	100	100	33,3	109,1	0,35	0,090
maxmax	32	10	22	2	10	0	20	68,8		3,29	9,1	100	100	33,3	109,1	0,35	0,087
maxAvg5	32	10	22	2	10	0	20	68,8		3,21	9,1	100	100	33,3	109,1	0,34	0,084
maxAvg9	32	10	22	2	10	0	20	68,8		3,29	9,1	100	100	33,3	109,1	0,33	0,057

C Ergebnisse des diagnostischen Tests zur zeitlichen Beobachtung tierindividueller Hinterfüße

Tabelle C.1: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1, IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“)

Algorithmus 1: $IR\text{-}Kenngröße_{BT} > IR\text{-}Kenngröße_{3\text{-}Tage\text{-}MW}$												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	493	406	87	46	206	200	41	17,6	52,9	50,7	18,7	83,4
maxmax	489	402	87	46	202	200	41	17,8	52,9	50,2	18,7	83,1
max2	493	406	87	45	207	199	42	17,6	51,7	51,0	18,4	83,1
max5	492	405	87	41	199	206	46	17,7	47,1	49,1	16,6	81,2
hmax	495	408	87	47	205	203	40	17,6	54,0	50,2	18,8	83,7
hmin	501	412	89	44	215	197	45	17,8	49,4	52,2	18,3	82,7
rel30	506	414	92	42	230	184	50	18,2	45,7	55,6	18,6	82,1
rel32	506	414	92	32	292	122	60	18,2	34,8	70,5	20,8	83,0
rel34	506	414	92	2	382	32	90	18,2	2,2	92,3	5,9	80,9
relmax85	506	414	92	62	134	280	30	18,2	67,4	32,4	18,1	81,7
relmax95	506	414	92	49	171	243	43	18,2	53,3	41,3	16,8	79,9

Tabelle C.2: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	567	467	100	62	206	261	38	17,6	62,0	44,1	19,2	84,4
max	567	467	100	53	243	224	47	17,6	53,0	52,0	19,1	83,8
maxmax	566	466	100	54	248	218	46	17,7	54,0	53,2	19,9	84,4
max2	567	467	100	56	235	232	44	17,6	56,0	50,3	19,4	84,2
max5	567	467	100	57	231	236	43	17,6	57,0	49,5	19,5	84,3
hmax	567	467	100	57	221	246	43	17,6	57,0	47,3	18,8	83,7
hmin	572	472	100	48	258	214	52	17,5	48,0	54,7	18,3	83,2
rel30	572	472	100	52	246	226	48	17,5	52,0	52,1	18,7	83,7
rel32	572	472	100	23	355	117	77	17,5	23,0	75,2	16,4	82,2
rel34	572	472	100	0	452	20	100	17,5	0	95,8	0	81,9
relmax85	572	472	100	78	159	313	22	17,5	78,0	33,7	19,9	87,8
relmax95	572	472	100	55	208	264	45	17,5	55,0	44,1	17,2	82,2
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	522	429	93	44	239	190	49	17,8	47,3	55,7	18,8	83,0
maxmax	521	428	93	45	234	194	48	17,9	48,4	54,7	18,8	83,0
max2	521	428	93	43	231	197	50	17,9	46,2	54,0	17,9	82,2
max5	522	429	93	44	226	203	49	17,8	47,3	52,7	17,8	82,2
hmax	523	430	93	45	218	212	48	17,8	48,4	50,7	17,5	82,0
hmin	524	431	93	43	240	191	50	17,7	46,2	55,7	18,4	82,8
rel30	526	433	93	39	250	183	54	17,7	41,9	57,7	17,6	82,2
rel32	526	433	93	29	314	119	64	17,7	31,2	72,5	19,6	83,1
rel34	526	433	93	0	404	29	93	17,7	0	93,3	0	81,3
relmax85	526	433	93	65	143	290	28	17,7	69,9	33,0	18,3	83,6
relmax95	526	433	93	48	195	238	45	17,7	51,6	45,0	16,8	81,3

Tabelle C.3: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW}												
IR-Messfläche „HLunten“, „HRunten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	505	419	86	52	175	244	34	17,0	60,5	41,8	17,6	83,7
max	502	416	86	46	198	218	40	17,1	53,5	47,6	17,4	83,2
maxmax	501	415	86	44	198	217	42	17,2	51,2	47,7	16,9	82,5
max2	502	416	86	45	193	223	41	17,1	52,3	46,4	16,8	82,5
max5	502	416	86	47	191	225	39	17,1	54,7	45,9	17,3	83,0
hmax	504	418	86	45	187	231	41	17,1	52,3	44,7	16,3	82,0
hmin	507	420	87	42	231	189	45	17,2	48,3	55,0	18,2	83,7
rel30	507	420	87	44	212	208	43	17,2	50,6	50,5	17,5	83,1
rel32	507	420	87	19	308	112	68	17,2	21,8	73,3	14,5	81,9
rel34	507	420	87	0	401	19	87	17,2	0	95,5	0	82,2
relmax85	507	420	87	68	121	299	19	17,2	78,2	28,8	18,5	86,4
relmax95	507	420	87	49	180	240	38	17,2	56,3	42,9	17,0	82,6
IR-Messfläche „HLoben“, „HRoben“												
max	466	386	80	34	201	185	46	17,2	42,5	52,1	15,5	81,4
maxmax	464	384	80	34	199	185	46	17,2	42,5	51,8	15,5	81,2
max2	466	386	80	37	193	193	43	17,2	46,3	50,0	16,1	81,8
max5	466	386	80	39	186	200	41	17,2	48,8	48,2	16,3	81,9
hmax	468	388	80	41	179	209	39	17,1	51,3	46,1	16,4	82,1
hmin	470	389	81	39	200	189	42	17,2	48,1	51,4	17,1	82,6
rel30	470	389	81	40	213	176	41	17,2	49,4	54,8	18,5	83,9
rel32	470	389	81	21	277	112	60	17,2	25,9	71,2	15,8	82,2
rel34	470	389	81	0	360	29	81	17,2	0	92,5	0	81,6
relmax85	470	389	81	56	114	275	25	17,2	69,1	29,3	16,9	82,0
relmax95	470	389	81	44	162	227	37	17,2	54,3	41,6	16,2	81,4

Tabelle C.4: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	409	352	57	39	144	208	18	13,9	68,4	40,9	15,8	88,9
max	409	352	57	34	158	194	23	13,9	59,6	44,9	14,9	87,3
maxmax	408	351	57	33	163	188	24	14,0	57,9	46,4	14,9	87,2
max2	409	352	57	32	158	194	25	13,9	56,1	44,9	14,2	86,3
max5	409	352	57	33	154	198	24	13,9	57,9	43,8	14,3	86,5
hmax	409	352	57	33	154	198	24	13,9	57,9	43,8	14,3	86,5
hmin	409	352	57	26	194	158	31	13,9	45,6	55,1	14,1	86,2
rel30	409	352	57	33	175	177	24	13,9	57,9	49,7	15,7	87,9
rel32	409	352	57	13	253	99	44	13,9	22,8	71,9	11,6	85,2
rel34	409	352	57	0	334	18	57	13,9	0	94,9	0	85,4
relmax85	409	352	57	53	96	256	4	13,9	93,0	27,3	17,2	96,0
relmax95	409	352	57	38	139	213	19	13,9	66,7	39,5	15,1	88,0
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	381	330	51	25	166	164	26	13,4	49,0	50,3	13,2	86,5
maxmax	380	329	51	26	164	165	25	13,4	51,0	49,8	13,6	86,8
max2	381	330	51	23	163	167	28	13,4	45,1	49,4	12,1	85,3
max5	381	330	51	24	156	174	27	13,4	47,1	47,3	12,1	85,2
hmax	381	330	51	26	158	172	25	13,4	51,0	47,9	13,1	86,3
hmin	381	330	51	29	165	165	22	13,4	56,9	50,0	14,9	88,2
rel30	381	330	51	23	176	154	28	13,4	45,1	53,3	13,0	86,3
rel32	381	330	51	14	236	94	37	13,4	27,5	71,5	13,0	86,4
rel34	381	330	51	1	306	24	50	13,4	2,0	92,7	4,0	86,0
relmax85	381	330	51	41	90	240	10	13,4	80,4	27,3	14,6	90,0
relmax95	381	330	51	31	126	204	20	13,4	60,8	38,2	13,2	86,3

Tabelle C.5: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	348	299	49	34	125	174	15	14,1	69,4	41,8	16,3	89,3
max	345	296	49	28	141	155	21	14,2	57,1	47,6	15,3	87,0
maxmax	344	295	49	28	142	153	21	14,2	57,1	48,1	15,5	87,1
max2	345	296	49	28	136	160	21	14,2	57,1	45,9	14,9	86,6
max5	345	296	49	28	130	166	21	14,2	57,1	43,9	14,4	86,1
hmax	347	298	49	32	127	171	17	14,1	65,3	42,6	15,8	88,2
hmin	350	301	49	22	164	137	27	14,0	44,9	54,5	13,8	85,9
rel30	350	301	49	30	141	160	19	14,0	61,2	46,8	15,8	88,1
rel32	350	301	49	11	215	86	38	14,0	22,4	71,4	11,3	85,0
rel34	350	301	49	0	287	14	49	14,0	0	95,3	0	85,4
relmax85	350	301	49	44	79	222	5	14,0	89,8	26,2	16,5	94,0
relmax95	350	301	49	29	121	180	20	14,0	59,2	40,2	13,9	85,8
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	315	271	44	20	141	130	24	14,0	45,5	52,0	13,3	85,5
maxmax	313	269	44	19	137	132	25	14,1	43,2	50,9	12,6	84,6
max2	314	270	44	19	136	134	25	14,0	43,2	50,4	12,4	84,5
max5	315	271	44	20	127	144	24	14,0	45,5	46,9	12,2	84,1
hmax	316	272	44	22	126	146	22	13,9	50,0	46,3	13,1	85,1
hmin	318	274	44	22	135	139	22	13,8	50,0	49,3	13,7	86,0
rel30	319	275	44	16	139	136	28	13,8	36,4	50,5	10,5	83,2
rel32	319	275	44	14	198	77	30	13,8	31,8	72,0	15,4	86,8
rel34	319	275	44	0	260	15	44	13,8	0	94,5	0	85,5
relmax85	319	275	44	37	65	210	7	13,8	84,1	23,6	15,0	90,3
relmax95	319	275	44	29	91	184	15	13,8	65,9	33,1	13,6	85,8

Tabelle C.6: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{3-Tage-MW+1SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	548	453	95	33	318	135	62	17,3	34,7	70,2	19,6	83,7
max	544	449	95	30	325	124	65	17,5	31,6	72,4	19,5	83,3
maxmax	542	447	95	31	330	117	64	17,5	32,6	73,8	20,9	83,8
max2	544	449	95	29	324	125	66	17,5	30,5	72,2	18,8	83,1
max5	544	449	95	29	327	122	66	17,5	30,5	72,8	19,2	83,2
hmax	547	452	95	27	335	117	68	17,4	28,4	74,1	18,8	83,1
hmin	556	458	98	28	353	105	70	17,6	28,6	77,1	21,1	83,5
rel30	558	459	99	30	342	117	69	17,7	30,3	74,5	20,4	83,2
rel32	558	459	99	23	366	93	76	17,7	23,2	79,7	19,8	82,8
rel34	558	459	99	1	441	18	98	17,7	1,0	96,1	5,3	81,8
relmax85	558	459	99	31	337	122	68	17,7	31,3	73,4	20,3	83,2
relmax95	558	459	99	31	310	149	68	17,7	31,3	67,5	17,2	82,0
IR-Messfläche „HLoben“, „HR oben“												
max	493	406	87	24	304	102	63	17,6	27,6	74,9	19,0	82,8
maxmax	489	402	87	23	303	99	64	17,8	26,4	75,4	18,9	82,6
max2	493	406	87	24	303	103	63	17,6	27,6	74,6	18,9	82,8
max5	492	405	87	23	299	106	64	17,7	26,4	73,8	17,8	82,4
hmax	495	408	87	24	313	95	63	17,6	27,6	76,7	20,2	83,2
hmin	501	412	89	22	324	88	67	17,8	24,7	78,6	20,0	82,9
rel30	506	414	92	24	297	117	68	18,2	26,1	71,7	17,0	81,4
rel32	506	414	92	21	329	85	71	18,2	22,8	79,5	19,8	82,3
rel34	506	414	92	2	385	29	90	18,2	2,2	93,0	6,5	81,1
relmax85	506	414	92	33	266	148	59	18,2	35,9	64,3	18,2	81,8
relmax95	506	414	92	30	273	141	62	18,2	32,6	65,9	17,5	81,5

Tabelle C.7: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW+1SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	567	467	100	24	363	104	76	17,6	24,0	77,7	18,8	82,7
max	567	467	100	17	367	100	83	17,6	17,0	78,6	14,5	81,6
maxmax	566	466	100	21	367	99	79	17,7	21,0	78,8	17,5	82,3
max2	567	467	100	19	366	101	81	17,6	19,0	78,4	15,8	81,9
max5	567	467	100	19	368	99	81	17,6	19,0	78,8	16,1	82,0
hmax	567	467	100	21	372	95	79	17,6	21,0	79,7	18,1	82,5
hmin	572	472	100	18	378	94	82	17,5	18,0	80,1	16,1	82,2
rel30	572	472	100	24	373	99	76	17,5	24,0	79,0	19,5	83,1
rel32	572	472	100	13	387	85	87	17,5	13,0	82,0	13,3	81,6
rel34	572	472	100	0	456	16	100	17,5	0	96,6	0	82,0
relmax85	572	472	100	26	363	109	74	17,5	26,0	76,9	19,3	83,1
relmax95	572	472	100	25	341	131	75	17,5	25,0	72,2	16,0	82,0
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	522	429	93	16	342	87	77	17,8	17,2	79,7	15,5	81,6
maxmax	521	428	93	16	338	90	77	17,9	17,2	79,0	15,1	81,4
max2	521	428	93	14	337	91	79	17,9	15,1	78,7	13,3	81,0
max5	522	429	93	13	340	89	80	17,8	14,0	79,3	12,7	81,0
hmax	523	430	93	18	350	80	75	17,8	19,4	81,4	18,4	82,4
hmin	524	431	93	16	355	76	77	17,7	17,2	82,4	17,4	82,2
rel30	526	433	93	20	329	104	73	17,7	21,5	76,0	16,1	81,8
rel32	526	433	93	14	351	82	79	17,7	15,1	81,1	14,6	81,6
rel34	526	433	93	0	406	27	93	17,7	0	93,8	0	81,4
relmax85	526	433	93	30	298	135	63	17,7	32,3	68,8	18,2	82,5
relmax95	526	433	93	26	296	137	67	17,7	28,0	68,4	16,0	81,5

Tabelle C.8: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW+1SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	505	419	86	17	324	95	69	17,0	19,8	77,3	15,2	82,4
max	502	416	86	15	333	83	71	17,1	17,4	80,0	15,3	82,4
maxmax	501	415	86	14	334	81	72	17,2	16,3	80,5	14,7	82,3
max2	502	416	86	14	326	90	72	17,1	16,3	78,4	13,5	81,9
max5	502	416	86	16	329	87	70	17,1	18,6	79,1	15,5	82,5
hmax	504	418	86	13	331	87	73	17,1	15,1	79,2	13,0	81,9
hmin	507	420	87	12	351	69	75	17,2	13,8	83,6	14,8	82,4
rel30	507	420	87	18	327	93	69	17,2	20,7	77,9	16,2	82,6
rel32	507	420	87	8	351	69	79	17,2	9,2	83,6	10,4	81,6
rel34	507	420	87	0	402	18	87	17,2	0	95,7	0	82,2
relmax85	507	420	87	21	332	88	66	17,2	24,1	79,0	19,3	83,4
relmax95	507	420	87	20	309	111	67	17,2	23,0	73,6	15,3	82,2
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	466	386	80	14	315	71	66	17,2	17,5	81,6	16,5	82,7
maxmax	464	384	80	14	315	69	66	17,2	17,5	82,0	16,9	82,7
max2	466	386	80	14	309	77	66	17,2	17,5	80,1	15,4	82,4
max5	466	386	80	13	310	76	67	17,2	16,3	80,3	14,6	82,2
hmax	468	388	80	13	316	72	67	17,1	16,3	81,4	15,3	82,5
hmin	470	389	81	15	321	68	66	17,2	18,5	82,5	18,1	82,9
rel30	470	389	81	15	296	93	66	17,2	18,5	76,1	13,9	81,8
rel32	470	389	81	13	321	68	68	17,2	16,0	82,5	16,0	82,5
rel34	470	389	81	0	362	27	81	17,2	0	93,1	0	81,7
relmax85	470	389	81	25	267	122	56	17,2	30,9	68,6	17,0	82,7
relmax95	470	389	81	25	260	129	56	17,2	30,9	66,8	16,2	82,3

Tabelle C.9: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW+1SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	409	352	57	14	269	83	43	13,9	24,6	76,4	14,4	86,2
max	409	352	57	10	277	75	47	13,9	17,5	78,7	11,8	85,5
maxmax	408	351	57	11	278	73	46	14,0	19,3	79,2	13,1	85,8
max2	409	352	57	11	278	74	46	13,9	19,3	79,0	12,9	85,8
max5	409	352	57	10	278	74	47	13,9	17,5	79,0	11,9	85,5
hmax	409	352	57	9	277	75	48	13,9	15,8	78,7	10,7	85,2
hmin	409	352	57	9	300	52	48	13,9	15,8	85,2	14,8	86,2
rel30	409	352	57	13	273	79	44	13,9	22,8	77,6	14,1	86,1
rel32	409	352	57	5	289	63	52	13,9	8,8	82,1	7,4	84,8
rel34	409	352	57	0	334	18	57	13,9	0	94,9	0	85,4
relmax85	409	352	57	15	295	57	42	13,9	26,3	83,8	20,8	87,5
relmax95	409	352	57	16	265	87	41	13,9	28,1	75,3	15,5	86,6
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	381	330	51	10	269	61	41	13,4	19,6	81,5	14,1	86,8
maxmax	380	329	51	10	267	62	41	13,4	19,6	81,2	13,9	86,7
max2	381	330	51	8	268	62	43	13,4	15,7	81,2	11,4	86,2
max5	381	330	51	8	268	62	43	13,4	15,7	81,2	11,4	86,2
hmax	381	330	51	10	272	58	41	13,4	19,6	82,4	14,7	86,9
hmin	381	330	51	8	276	54	43	13,4	15,7	83,6	12,9	86,5
rel30	381	330	51	10	247	83	41	13,4	19,6	74,8	10,8	85,8
rel32	381	330	51	10	266	64	41	13,4	19,6	80,6	13,5	86,6
rel34	381	330	51	0	306	24	51	13,4	0	92,7	0	85,7
relmax85	381	330	51	23	224	106	28	13,4	45,1	67,9	17,8	88,9
relmax95	381	330	51	19	215	115	32	13,4	37,3	65,2	14,2	87,0

Tabelle C.10: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW+1SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	348	299	49	11	237	62	38	14,1	22,4	79,3	15,1	86,2
max	345	296	49	9	245	51	40	14,2	18,4	82,8	15,0	86,0
maxmax	344	295	49	8	244	51	41	14,2	16,3	82,7	13,6	85,6
max2	345	296	49	9	248	48	40	14,2	18,4	83,8	15,8	86,1
max5	345	296	49	9	246	50	40	14,2	18,4	83,1	15,3	86,0
hmax	347	298	49	8	239	59	41	14,1	16,3	80,2	11,9	85,4
hmin	350	301	49	6	263	38	43	14,0	12,2	87,4	13,6	85,9
rel30	350	301	49	10	233	68	39	14,0	20,4	77,4	12,8	85,7
rel32	350	301	49	3	257	44	46	14,0	6,1	85,4	6,4	84,8
rel34	350	301	49	0	289	12	49	14,0	0	96,0	0	85,5
relmax85	350	301	49	11	255	46	38	14,0	22,4	84,7	19,3	87,0
relmax95	350	301	49	12	225	76	37	14,0	24,5	74,8	13,6	85,9
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	315	271	44	8	235	36	36	14,0	18,2	86,7	18,2	86,7
maxmax	313	269	44	8	233	36	36	14,1	18,2	86,6	18,2	86,6
max2	314	270	44	6	230	40	38	14,0	13,6	85,2	13,0	85,8
max5	315	271	44	6	229	42	38	14,0	13,6	84,5	12,5	85,8
hmax	316	272	44	6	229	43	38	13,9	13,6	84,2	12,2	85,8
hmin	318	274	44	7	233	41	37	13,8	15,9	85,0	14,6	86,3
rel30	319	275	44	10	206	69	34	13,8	22,7	74,9	12,7	85,8
rel32	319	275	44	8	235	40	36	13,8	18,2	85,5	16,7	86,7
rel34	319	275	44	0	262	13	44	13,8	0	95,3	0	85,6
relmax85	319	275	44	18	176	99	26	13,8	40,9	64,0	15,4	87,1
relmax95	319	275	44	12	178	97	32	13,8	27,3	64,7	11,0	84,8

Tabelle C.11: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{3-Tage-MW+2SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	548	453	95	17	383	70	78	17,3	17,9	84,5	19,5	83,1
max	544	449	95	16	391	58	79	17,5	16,8	87,1	21,6	83,2
maxmax	542	447	95	17	390	57	78	17,5	17,9	87,2	23,0	83,3
max2	544	449	95	17	391	58	78	17,5	17,9	87,1	22,7	83,4
max5	544	449	95	17	388	61	78	17,5	17,9	86,4	21,8	83,3
hmax	547	452	95	19	393	59	76	17,4	20,0	86,9	24,4	83,8
hmin	556	458	98	14	392	66	84	17,6	14,3	85,6	17,5	82,4
rel30	558	459	99	20	384	75	79	17,7	20,2	83,7	21,1	82,9
rel32	558	459	99	17	386	73	82	17,7	17,2	84,1	18,9	82,5
rel34	558	459	99	1	441	18	98	17,7	1,0	96,1	5,3	81,8
relmax85	558	459	99	11	417	42	88	17,7	11,1	90,8	20,8	82,6
relmax95	558	459	99	14	388	71	85	17,7	14,1	84,5	16,5	82,0
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	493	406	87	12	363	43	75	17,6	13,8	89,4	21,8	82,9
maxmax	489	402	87	15	362	40	72	17,8	17,2	90,0	27,3	83,4
max2	493	406	87	10	356	50	77	17,6	11,5	87,7	16,7	82,2
max5	492	405	87	11	357	48	76	17,7	12,6	88,1	18,6	82,4
hmax	495	408	87	12	369	39	75	17,6	13,8	90,4	23,5	83,1
hmin	501	412	89	11	372	40	78	17,8	12,4	90,3	21,6	82,7
rel30	506	414	92	18	342	72	74	18,2	19,6	82,6	20,0	82,2
rel32	506	414	92	17	347	67	75	18,2	18,5	83,8	20,2	82,2
rel34	506	414	92	2	388	26	90	18,2	2,2	93,7	7,1	81,2
relmax85	506	414	92	12	353	61	80	18,2	13,0	85,3	16,4	81,5
relmax95	506	414	92	13	328	86	79	18,2	14,1	79,2	13,1	80,6

Tabelle C.12: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW+2SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	567	467	100	7	428	39	93	17,6	7,0	91,6	15,2	82,1
max	567	467	100	7	430	37	93	17,6	7,0	92,1	15,9	82,2
maxmax	566	466	100	7	433	33	93	17,7	7,0	92,9	17,5	82,3
max2	567	467	100	5	427	40	95	17,6	5,0	91,4	11,1	81,8
max5	567	467	100	7	430	37	93	17,6	7,0	92,1	15,9	82,2
hmax	567	467	100	8	432	35	92	17,6	8,0	92,5	18,6	82,4
hmin	572	472	100	7	429	43	93	17,5	7,0	90,9	14,0	82,2
rel30	572	472	100	10	418	54	90	17,5	10,0	88,6	15,6	82,3
rel32	572	472	100	10	413	59	90	17,5	10,0	87,5	14,5	82,1
rel34	572	472	100	0	456	16	100	17,5	0	96,6	0	82,0
relmax85	572	472	100	5	455	17	95	17,5	5,0	96,4	22,7	82,7
relmax95	572	472	100	11	411	61	89	17,5	11,0	87,1	15,3	82,2
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	522	429	93	5	401	28	88	17,8	5,4	93,5	15,2	82,0
maxmax	521	428	93	6	403	25	87	17,9	6,5	94,2	19,4	82,2
max2	521	428	93	6	396	32	87	17,9	6,5	92,5	15,8	82,0
max5	522	429	93	5	398	31	88	17,8	5,4	92,8	13,9	81,9
hmax	523	430	93	6	407	23	87	17,8	6,5	94,7	20,7	82,4
hmin	524	431	93	7	403	28	86	17,7	7,5	93,5	20,0	82,4
rel30	526	433	93	11	386	47	82	17,7	11,8	89,1	19,0	82,5
rel32	526	433	93	10	375	58	83	17,7	10,8	86,6	14,7	81,9
rel34	526	433	93	0	409	24	93	17,7	0	94,5	0	81,5
relmax85	526	433	93	11	392	41	82	17,7	11,8	90,5	21,2	82,7
relmax95	526	433	93	14	367	66	79	17,7	15,1	84,8	17,5	82,3

Tabelle C.13: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW+2SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	505	419	86	5	389	30	81	17,0	5,8	92,8	14,3	82,8
max	502	416	86	4	389	27	82	17,1	4,7	93,5	12,9	82,6
maxmax	501	415	86	5	389	26	81	17,2	5,8	93,7	16,1	82,8
max2	502	416	86	5	387	29	81	17,1	5,8	93,0	14,7	82,7
max5	502	416	86	5	387	29	81	17,1	5,8	93,0	14,7	82,7
hmax	504	418	86	6	396	22	80	17,1	7,0	94,7	21,4	83,2
hmin	507	420	87	6	393	27	81	17,2	6,9	93,6	18,2	82,9
rel30	507	420	87	8	377	43	79	17,2	9,2	89,8	15,7	82,7
rel32	507	420	87	6	370	50	81	17,2	6,9	88,1	10,7	82,0
rel34	507	420	87	0	405	15	87	17,2	0	96,4	0	82,3
relmax85	507	420	87	2	413	7	85	17,2	2,3	98,3	22,2	82,9
relmax95	507	420	87	8	382	38	79	17,2	9,2	91,0	17,4	82,9
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	466	386	80	4	367	19	76	17,2	5,0	95,1	17,4	82,8
maxmax	464	384	80	5	363	21	75	17,2	6,3	94,5	19,2	82,9
max2	466	386	80	4	364	22	76	17,2	5,0	94,3	15,4	82,7
max5	466	386	80	5	363	23	75	17,2	6,3	94,0	17,9	82,9
hmax	468	388	80	6	372	16	74	17,1	7,5	95,9	27,3	83,4
hmin	470	389	81	6	374	15	75	17,2	7,4	96,1	28,6	83,3
rel30	470	389	81	10	346	43	71	17,2	12,3	88,9	18,9	83,0
rel32	470	389	81	8	342	47	73	17,2	9,9	87,9	14,5	82,4
rel34	470	389	81	0	364	25	81	17,2	0	93,6	0	81,8
relmax85	470	389	81	7	369	20	74	17,2	8,6	94,9	25,9	83,3
relmax95	470	389	81	10	326	63	71	17,2	12,3	83,8	13,7	82,1

Tabelle C.14: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW+2SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	409	352	57	5	333	19	52	13,9	8,8	94,6	20,8	86,5
max	409	352	57	2	332	20	55	13,9	3,5	94,3	9,1	85,8
maxmax	408	351	57	3	331	20	54	14,0	5,3	94,3	13,0	86,0
max2	409	352	57	2	332	20	55	13,9	3,5	94,3	9,1	85,8
max5	409	352	57	3	333	19	54	13,9	5,3	94,6	13,6	86,0
hmax	409	352	57	4	336	16	53	13,9	7,0	95,5	20,0	86,4
hmin	409	352	57	4	337	15	53	13,9	7,0	95,7	21,1	86,4
rel30	409	352	57	5	317	35	52	13,9	8,8	90,1	12,5	85,9
rel32	409	352	57	3	304	48	54	13,9	5,3	86,4	5,9	84,9
rel34	409	352	57	0	338	14	57	13,9	0	96,0	0	85,6
relmax85	409	352	57	0	346	6	57	13,9	0	98,3	0	85,9
relmax95	409	352	57	5	322	30	52	13,9	8,8	91,5	14,3	86,1
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	381	330	51	1	316	14	50	13,4	2,0	95,8	6,7	86,3
maxmax	380	329	51	1	315	14	50	13,4	2,0	95,7	6,7	86,3
max2	381	330	51	1	314	16	50	13,4	2,0	95,2	5,9	86,3
max5	381	330	51	2	315	15	49	13,4	3,9	95,5	11,8	86,5
hmax	381	330	51	4	320	10	47	13,4	7,8	97,0	28,6	87,2
hmin	381	330	51	2	320	10	49	13,4	3,9	97,0	16,7	86,7
rel30	381	330	51	8	296	34	43	13,4	15,7	89,7	19,0	87,3
rel32	381	330	51	7	292	38	44	13,4	13,7	88,5	15,6	86,9
rel34	381	330	51	0	310	20	51	13,4	0	93,9	0	85,9
relmax85	381	330	51	3	315	15	48	13,4	5,9	95,5	16,7	86,8
relmax95	381	330	51	7	276	54	44	13,4	13,7	83,6	11,5	86,3

Tabelle C.15: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW+2SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	348	299	49	3	288	11	46	14,1	6,1	96,3	21,4	86,2
max	345	296	49	0	289	7	49	14,2	0	97,6	0	85,5
maxmax	344	295	49	0	289	6	49	14,2	0	98,0	0	85,5
max2	345	296	49	0	288	8	49	14,2	0	97,3	0	85,5
max5	345	296	49	0	287	9	49	14,2	0	97,0	0	85,4
hmax	347	298	49	1	292	6	48	14,1	2,0	98,0	14,3	85,9
hmin	350	301	49	3	296	5	46	14,0	6,1	98,3	37,5	86,5
rel30	350	301	49	4	280	21	45	14,0	8,2	93,0	16,0	86,2
rel32	350	301	49	1	278	23	48	14,0	2,0	92,4	4,2	85,3
rel34	350	301	49	0	291	10	49	14,0	0	96,7	0	85,6
relmax85	350	301	49	0	299	2	49	14,0	0	99,3	0	85,9
relmax95	350	301	49	4	279	22	45	14,0	8,2	92,7	15,4	86,1
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	315	271	44	0	263	8	44	14,0	0	97,0	0	85,7
maxmax	313	269	44	0	262	7	44	14,1	0	97,4	0	85,6
max2	314	270	44	0	260	10	44	14,0	0	96,3	0	85,5
max5	315	271	44	0	262	9	44	14,0	0	96,7	0	85,6
hmax	316	272	44	0	265	7	44	13,9	0	97,4	0	85,8
hmin	318	274	44	1	269	5	43	13,8	2,3	98,2	16,7	86,2
rel30	319	275	44	7	252	23	37	13,8	15,9	91,6	23,3	87,2
rel32	319	275	44	3	253	22	41	13,8	6,8	92,0	12,0	86,1
rel34	319	275	44	0	264	11	44	13,8	0	96,0	0	85,7
relmax85	319	275	44	3	265	10	41	13,8	6,8	96,4	23,1	86,6
relmax95	319	275	44	7	225	50	37	13,8	15,9	81,8	12,3	85,9

Tabelle C.16: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 4: $IR\text{-}Kenngröße_{BT} > IR\text{-}Kenngröße_{3\text{-Tage-MW}+0,5SD}$												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	548	453	95	45	251	202	50	17,3	47,4	55,4	18,2	83,4
max	544	449	95	42	264	185	53	17,5	44,2	58,8	18,5	83,3
maxmax	542	447	95	41	271	176	54	17,5	43,2	60,6	18,9	83,4
max2	544	449	95	40	263	186	55	17,5	42,1	58,6	17,7	82,7
max5	544	449	95	38	263	186	57	17,5	40,0	58,6	17,0	82,2
hmax	547	452	95	42	257	195	53	17,4	44,2	56,9	17,7	82,9
hmin	556	458	98	41	305	153	57	17,6	41,8	66,6	21,1	84,3
rel30	558	459	99	43	285	174	56	17,7	43,4	62,1	19,8	83,6
rel32	558	459	99	24	349	110	75	17,7	24,2	76,0	17,9	82,3
rel34	558	459	99	1	440	19	98	17,7	1,0	95,9	5,0	81,8
relmax85	558	459	99	54	233	226	45	17,7	54,5	50,8	19,3	83,8
relmax95	558	459	99	43	264	195	56	17,7	43,4	57,5	18,1	82,5
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	493	406	87	34	259	147	53	17,6	39,1	63,8	18,8	83,0
maxmax	489	402	87	35	251	151	52	17,8	40,2	62,4	18,8	82,8
max2	493	406	87	31	250	156	56	17,6	35,6	61,6	16,6	81,7
max5	492	405	87	31	248	157	56	17,7	35,6	61,2	16,5	81,6
hmax	495	408	87	30	258	150	57	17,6	34,5	63,2	16,7	81,9
hmin	501	412	89	33	272	140	56	17,8	37,1	66,0	19,1	82,9
rel30	506	414	92	33	264	150	59	18,2	35,9	63,8	18,0	81,7
rel32	506	414	92	27	309	105	65	18,2	29,3	74,6	20,5	82,6
rel34	506	414	92	2	383	31	90	18,2	2,2	92,5	6,1	81,0
relmax85	506	414	92	51	195	219	41	18,2	55,4	47,1	18,9	82,6
relmax95	506	414	92	40	228	186	52	18,2	43,5	55,1	17,7	81,4

Tabelle C.17: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	567	467	100	44	276	191	56	17,6	44,0	59,1	18,7	83,1
max	567	467	100	35	298	169	65	17,6	35,0	63,8	17,2	82,1
maxmax	566	466	100	37	299	167	63	17,7	37,0	64,2	18,1	82,6
max2	567	467	100	37	297	170	63	17,6	37,0	63,6	17,9	82,5
max5	567	467	100	36	293	174	64	17,6	36,0	62,7	17,1	82,1
hmax	567	467	100	38	297	170	62	17,6	38,0	63,6	18,3	82,7
hmin	572	472	100	34	335	137	66	17,5	34,0	71,0	19,9	83,5
rel30	572	472	100	45	318	154	55	17,5	45,0	67,4	22,6	85,3
rel32	572	472	100	18	370	102	82	17,5	18,0	78,4	15,0	81,9
rel34	572	472	100	0	452	20	100	17,5	0	95,8	0	81,9
relmax85	572	472	100	54	242	230	46	17,5	54,0	51,3	19,0	84,0
relmax95	572	472	100	40	289	183	60	17,5	40,0	61,2	17,9	82,8
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	522	429	93	28	291	138	65	17,8	30,1	67,8	16,9	81,7
maxmax	521	428	93	29	289	139	64	17,9	31,2	67,5	17,3	81,9
max2	521	428	93	32	287	141	61	17,9	34,4	67,1	18,5	82,5
max5	522	429	93	29	285	144	64	17,8	31,2	66,4	16,8	81,7
hmax	523	430	93	33	287	143	60	17,8	35,5	66,7	18,8	82,7
hmin	524	431	93	27	302	129	66	17,7	29,0	70,1	17,3	82,1
rel30	526	433	93	33	294	139	60	17,7	35,5	67,9	19,2	83,1
rel32	526	433	93	20	334	99	73	17,7	21,5	77,1	16,8	82,1
rel34	526	433	93	0	404	29	93	17,7	0	93,3	0	81,3
relmax85	526	433	93	50	219	214	43	17,7	53,8	50,6	18,9	83,6
relmax95	526	433	93	37	243	190	56	17,7	39,8	56,1	16,3	81,3

Tabelle C.18: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Messfläche „HLunten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	505	419	86	35	244	175	51	17,0	40,7	58,2	16,7	82,7
max	502	416	86	30	261	155	56	17,1	34,9	62,7	16,2	82,3
maxmax	501	415	86	31	261	154	55	17,2	36,0	62,9	16,8	82,6
max2	502	416	86	29	262	154	57	17,1	33,7	63,0	15,8	82,1
max5	502	416	86	27	258	158	59	17,1	31,4	62,0	14,6	81,4
hmax	504	418	86	31	271	147	55	17,1	36,0	64,8	17,4	83,1
hmin	507	420	87	24	306	114	63	17,2	27,6	72,9	17,4	82,9
rel30	507	420	87	39	273	147	48	17,2	44,8	65,0	21,0	85,0
rel32	507	420	87	12	327	93	75	17,2	13,8	77,9	11,4	81,3
rel34	507	420	87	0	401	19	87	17,2	0	95,5	0	82,2
relmax85	507	420	87	48	208	212	39	17,2	55,2	49,5	18,5	84,2
relmax95	507	420	87	32	250	170	55	17,2	36,8	59,5	15,8	82,0
IR-Messfläche „HLoben“, „HR oben“												
max	466	386	80	23	261	125	57	17,2	28,8	67,6	15,5	82,1
maxmax	464	384	80	21	259	125	59	17,2	26,3	67,4	14,4	81,4
max2	466	386	80	22	257	129	58	17,2	27,5	66,6	14,6	81,6
max5	466	386	80	23	254	132	57	17,2	28,8	65,8	14,8	81,7
hmax	468	388	80	30	251	137	50	17,1	37,5	64,7	18,0	83,4
hmin	470	389	81	24	271	118	57	17,2	29,6	69,7	16,9	82,6
rel30	470	389	81	22	255	134	59	17,2	27,2	65,6	14,1	81,2
rel32	470	389	81	17	303	86	64	17,2	21,0	77,9	16,5	82,6
rel34	470	389	81	0	361	28	81	17,2	0	92,8	0	81,7
relmax85	470	389	81	47	171	218	34	17,2	58,0	44,0	17,7	83,4
relmax95	470	389	81	38	209	180	43	17,2	46,9	53,7	17,4	82,9

Tabelle C.19: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 4: $IR\text{-}Kenngröße_{BT} > IR\text{-}Kenngröße_{10\text{-}Tage\text{-}MW+0,5SD}$												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	409	352	57	26	206	146	31	13,9	45,6	58,5	15,1	86,9
max	409	352	57	18	224	128	39	13,9	31,6	63,6	12,3	85,2
maxmax	408	351	57	19	221	130	38	14,0	33,3	63,0	12,8	85,3
max2	409	352	57	19	223	129	38	13,9	33,3	63,4	12,8	85,4
max5	409	352	57	20	221	131	37	13,9	35,1	62,8	13,2	85,7
hmax	409	352	57	20	219	133	37	13,9	35,1	62,2	13,1	85,5
hmin	409	352	57	13	257	95	44	13,9	22,8	73,0	12,0	85,4
rel30	409	352	57	22	221	131	35	13,9	38,6	62,8	14,4	86,3
rel32	409	352	57	7	276	76	50	13,9	12,3	78,4	8,4	84,7
rel34	409	352	57	0	334	18	57	13,9	0	94,9	0	85,4
relmax85	409	352	57	33	177	175	24	13,9	57,9	50,3	15,9	88,1
relmax95	409	352	57	26	202	150	31	13,9	45,6	57,4	14,8	86,7
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	381	330	51	15	228	102	36	13,4	29,4	69,1	12,8	86,4
maxmax	380	329	51	15	227	102	36	13,4	29,4	69,0	12,8	86,3
max2	381	330	51	14	220	110	37	13,4	27,5	66,7	11,3	85,6
max5	381	330	51	13	211	119	38	13,4	25,5	63,9	9,8	84,7
hmax	381	330	51	17	212	118	34	13,4	33,3	64,2	12,6	86,2
hmin	381	330	51	18	224	106	33	13,4	35,3	67,9	14,5	87,2
rel30	381	330	51	15	214	116	36	13,4	29,4	64,8	11,5	85,6
rel32	381	330	51	11	252	78	40	13,4	21,6	76,4	12,4	86,3
rel34	381	330	51	0	306	24	51	13,4	0	92,7	0	85,7
relmax85	381	330	51	34	131	199	17	13,4	66,7	39,7	14,6	88,5
relmax95	381	330	51	27	169	161	24	13,4	52,9	51,2	14,4	87,6

Tabelle C.20: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 1)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Messfläche „HL unten“, „HR unten“												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
mean	348	299	49	21	179	120	28	14,1	42,9	59,9	14,9	86,5
max	345	296	49	16	194	102	33	14,2	32,7	65,5	13,6	85,5
maxmax	344	295	49	16	195	100	33	14,2	32,7	66,1	13,8	85,5
max2	345	296	49	16	195	101	33	14,2	32,7	65,9	13,7	85,5
max5	345	296	49	17	189	107	32	14,2	34,7	63,9	13,7	85,5
hmax	347	298	49	18	189	109	31	14,1	36,7	63,4	14,2	85,9
hmin	350	301	49	11	232	69	38	14,0	22,4	77,1	13,8	85,9
rel30	350	301	49	19	180	121	30	14,0	38,8	59,8	13,6	85,7
rel32	350	301	49	6	238	63	43	14,0	12,2	79,1	8,7	84,7
rel34	350	301	49	0	289	12	49	14,0	0	96,0	0	85,5
relmax85	350	301	49	28	159	142	21	14,0	57,1	52,8	16,5	88,3
relmax95	350	301	49	20	175	126	29	14,0	40,8	58,1	13,7	85,8
IR-Messfläche „HL oben“, „HR oben“												
max	315	271	44	15	191	80	29	14,0	34,1	70,5	15,8	86,8
maxmax	313	269	44	15	194	75	29	14,1	34,1	72,1	16,7	87,0
max2	314	270	44	14	178	92	30	14,0	31,8	65,9	13,2	85,6
max5	315	271	44	12	173	98	32	14,0	27,3	63,8	10,9	84,4
hmax	316	272	44	15	177	95	29	13,9	34,1	65,1	13,6	85,9
hmin	318	274	44	14	193	81	30	13,8	31,8	70,4	14,7	86,5
rel30	319	275	44	12	171	104	32	13,8	27,3	62,2	10,3	84,2
rel32	319	275	44	8	219	56	36	13,8	18,2	79,6	12,5	85,9
rel34	319	275	44	0	262	13	44	13,8	0	95,3	0	85,6
relmax85	319	275	44	29	103	172	15	13,8	65,9	37,5	14,4	87,3
relmax95	319	275	44	24	130	145	20	13,8	54,5	47,3	14,2	86,7

Tabelle C.21: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	29	82	38	13	16	44	73,9	46,3	44,8	70,4	22,8
maxmax	111	29	82	36	12	17	46	73,9	43,9	41,4	67,9	20,7
maxAvg5	111	29	82	38	13	16	44	73,9	46,3	44,8	70,4	22,8
maxAvg9	111	28	83	39	13	15	44	74,8	47,0	46,4	72,2	22,8

Tabelle C.22: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	28	18	13	55	72,8	33,7	58,1	68,3	24,7
maxmax	114	31	83	27	17	14	56	72,8	32,5	54,8	65,9	23,3
maxAvg5	114	31	83	27	19	12	56	72,8	32,5	61,3	69,2	25,3
maxAvg9	114	31	83	28	19	12	55	72,8	33,7	61,3	70,0	25,7

Tabelle C.23: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	18	20	11	65	72,8	21,7	64,5	62,1	23,5
maxmax	114	31	83	17	20	11	66	72,8	20,5	64,5	60,7	23,3
maxAvg5	114	31	83	20	20	11	63	72,8	24,1	64,5	64,5	24,1
maxAvg9	114	31	83	21	20	11	62	72,8	25,3	64,5	65,6	24,4

Tabelle C.24: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	17	21	10	66	72,8	20,5	67,7	63,0	24,1
maxmax	114	31	83	17	21	10	66	72,8	20,5	67,7	63,0	24,1
maxAvg5	114	31	83	18	22	9	65	72,8	21,7	71,0	66,7	25,3
maxAvg9	114	31	83	19	22	9	64	72,8	22,9	71,0	67,9	25,6

Tabelle C.25: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 1 und 21-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 1: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{21-Tage-MW}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	31	80	20	23	8	60	72,1	25,0	74,2	71,4	27,7
maxmax	111	31	80	18	23	8	62	72,1	22,5	74,2	69,2	27,1
maxAvg5	111	31	80	21	23	8	59	72,1	26,3	74,2	72,4	28,0
maxAvg9	111	31	80	20	22	9	60	72,1	25,0	71,0	69,0	26,8

Tabelle C.26: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{3-Tage-MW+1SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	150	33	117	29	25	8	88	78,0	24,8	75,8	78,4	22,1
maxmax	150	33	117	26	28	5	91	78,0	22,2	84,8	83,9	23,5
maxAvg5	150	33	117	28	25	8	89	78,0	23,9	75,8	77,8	21,9
maxAvg9	150	33	117	28	25	8	89	78,0	23,9	75,8	77,8	21,9

Tabelle C.27: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW+1SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	29	82	14	23	6	68	73,9	17,1	79,3	70,0	25,3
maxmax	111	29	82	15	23	6	67	73,9	18,3	79,3	71,4	25,6
maxAvg5	111	29	82	16	23	6	66	73,9	19,5	79,3	72,7	25,8
maxAvg9	111	28	83	16	22	6	67	74,8	19,3	78,6	72,7	24,7

Tabelle C.28: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW+1SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	10	27	4	73	72,8	12,0	87,1	71,4	27,0
maxmax	114	31	83	11	27	4	72	72,8	13,3	87,1	73,3	27,3
maxAvg5	114	31	83	11	26	5	72	72,8	13,3	83,9	68,8	26,5
maxAvg9	114	31	83	11	24	7	72	72,8	13,3	77,4	61,1	25,0

Tabelle C.29: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW+1SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	9	26	5	74	72,8	10,8	83,9	64,3	26,0
maxmax	114	31	83	9	27	4	74	72,8	10,8	87,1	69,2	26,7
maxAvg5	114	31	83	9	26	5	74	72,8	10,8	83,9	64,3	26,0
maxAvg9	114	31	83	9	26	5	74	72,8	10,8	83,9	64,3	26,0

Tabelle C.30: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW+1SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	5	27	4	78	72,8	6,0	87,1	55,6	25,7
maxmax	114	31	83	5	27	4	78	72,8	6,0	87,1	55,6	25,7
maxAvg5	114	31	83	6	27	4	77	72,8	7,2	87,1	60,0	26,0
maxAvg9	114	31	83	7	27	4	76	72,8	8,4	87,1	63,6	26,2

Tabelle C.31: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 2 und 21-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 2: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{21-Tage-MW+1SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	31	80	6	28	3	74	72,1	7,5	90,3	66,7	27,5
maxmax	111	31	80	5	28	3	75	72,1	6,3	90,3	62,5	27,2
maxAvg5	111	31	80	6	27	4	74	72,1	7,5	87,1	60,0	26,7
maxAvg9	111	31	80	7	27	4	73	72,1	8,8	87,1	63,6	27,0

Tabelle C.32: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{3-Tage-MW+2SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	150	33	117	10	30	3	107	78,0	8,5	90,9	76,9	21,9
maxmax	150	33	117	9	30	3	108	78,0	7,7	90,9	75,0	21,7
maxAvg5	150	33	117	11	30	3	106	78,0	9,4	90,9	78,6	22,1
maxAvg9	150	33	117	11	30	3	106	78,0	9,4	90,9	78,6	22,1

Tabelle C.33: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW+2SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	29	82	5	27	2	77	73,9	6,1	93,1	71,4	26,0
maxmax	111	29	82	5	27	2	77	73,9	6,1	93,1	71,4	26,0
maxAvg5	111	29	82	6	27	2	76	73,9	7,3	93,1	75,0	26,2
maxAvg9	111	28	83	6	26	2	77	74,8	7,2	92,9	75,0	25,2

Tabelle C.34: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW+2SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	4	29	2	79	72,8	4,8	93,5	66,7	26,9
maxmax	114	31	83	4	29	2	79	72,8	4,8	93,5	66,7	26,9
maxAvg5	114	31	83	4	29	2	79	72,8	4,8	93,5	66,7	26,9
maxAvg9	114	31	83	4	29	2	79	72,8	4,8	93,5	66,7	26,9

Tabelle C.35: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW+2SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	3	30	1	80	72,8	3,6	96,8	75,0	27,3
maxmax	114	31	83	2	30	1	81	72,8	2,4	96,8	66,7	27,0
maxAvg5	114	31	83	2	30	1	81	72,8	2,4	96,8	66,7	27,0
maxAvg9	114	31	83	3	30	1	80	72,8	3,6	96,8	75,0	27,3

Tabelle C.36: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW+2SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	2	31	0	81	72,8	2,4	100	100	27,7
maxmax	114	31	83	1	31	0	82	72,8	1,2	100	100	27,4
maxAvg5	114	31	83	2	31	0	81	72,8	2,4	100	100	27,7
maxAvg9	114	31	83	2	31	0	81	72,8	2,4	100	100	27,7

Tabelle C.37: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 3 und 21-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 3: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{21-Tage-MW+2SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	31	80	0	31	0	80	72,1	0	100	-	27,9
maxmax	111	31	80	1	31	0	79	72,1	1,3	100	100	28,2
maxAvg5	111	31	80	0	31	0	80	72,1	0	100	-	27,9
maxAvg9	111	31	80	0	31	0	80	72,1	0	100	-	27,9

Tabelle C.38: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 3-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{3-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	150	33	117	42	19	14	75	78,0	35,9	57,6	75,0	20,2
maxmax	150	33	117	41	20	13	76	78,0	35,0	60,6	75,9	20,8
maxAvg5	150	33	117	40	20	13	77	78,0	34,2	60,6	75,5	20,6
maxAvg9	150	33	117	40	21	12	77	78,0	34,2	63,6	76,9	21,4

Tabelle C.39: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 5-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{5-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	29	82	24	18	11	58	73,9	29,3	62,1	68,6	23,7
maxmax	111	29	82	22	20	9	60	73,9	26,8	69,0	71,0	25,0
maxAvg5	111	29	82	22	19	10	60	73,9	26,8	65,5	68,8	24,1
maxAvg9	111	28	83	24	18	10	59	74,8	28,9	64,3	70,6	23,4

Tabelle C.40: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 7-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{7-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	17	22	9	66	72,8	20,5	71,0	65,4	25,0
maxmax	114	31	83	17	22	9	66	72,8	20,5	71,0	65,4	25,0
maxAvg5	114	31	83	18	22	9	65	72,8	21,7	71,0	66,7	25,3
maxAvg9	114	31	83	18	22	9	65	72,8	21,7	71,0	66,7	25,3

Tabelle C.41: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 10-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{10-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	13	23	8	70	72,8	15,7	74,2	61,9	24,7
maxmax	114	31	83	12	23	8	71	72,8	14,5	74,2	60,0	24,5
maxAvg5	114	31	83	13	23	8	70	72,8	15,7	74,2	61,9	24,7
maxAvg9	114	31	83	13	23	8	70	72,8	15,7	74,2	61,9	24,7

Tabelle C.42: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 14-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{14-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	114	31	83	12	24	7	71	72,8	14,5	77,4	63,2	25,3
maxmax	114	31	83	12	24	7	71	72,8	14,5	77,4	63,2	25,3
maxAvg5	114	31	83	13	24	7	70	72,8	15,7	77,4	65,0	25,5
maxAvg9	114	31	83	13	24	7	70	72,8	15,7	77,4	65,0	25,5

Tabelle C.43: Ergebnisse des diagnostischen Tests für Algorithmus 4 und 21-Tage-Mittelwert zur Identifikation von Klauenerkrankungen (Betrieb 2, IR-Messfläche „HL“, „HR“)

Algorithmus 4: IR-Kenngröße _{BT} > IR-Kenngröße _{21-Tage-MW+0,5SD}												
IR-Kenngröße	gesamt (N)	negativer Befund (N)	positiver Befund (N)	rp (N)	rn (N)	fp (N)	fn (N)	Prävalenz (%)	Se (%)	Sp (%)	pV (%)	nV (%)
max	111	31	80	13	25	6	67	72,1	16,3	80,6	68,4	27,2
maxmax	111	31	80	13	25	6	67	72,1	16,3	80,6	68,4	27,2
maxAvg5	111	31	80	12	25	6	68	72,1	15,0	80,6	66,7	26,9
maxAvg9	111	31	80	13	25	6	67	72,1	16,3	80,6	68,4	27,2

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Datum

Unterschrift

Danksagung

Mein großer Dank gilt Frau Prof. Dr. agr. Steffi Geidel für die Überlassung des Themas, das entgegengebrachte Vertrauen zur Bearbeitung und die richtungsweisende Betreuung während der Untersuchung sowie der Anfertigung der Dissertation.

Ich bedanke mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. rer. nat. Eberhard von Borell für die Möglichkeit die Dissertation im Rahmen der kooperativen Promotion anfertigen zu können, für die Betreuung und Unterstützung während der Zeit an der Martin-Luther-Universität.

Bei Frau Dr. agr. Monika Wensch-Dorendorf möchte ich mich für die statistische Beratung, für die Einarbeitung in SAS und die Wissensvermittlung herzlich bedanken.

Herzlich bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. agr. Katja Graff für die fachlichen Anregungen, die aufmerksamen Gespräche und für alles andere!

Ein großer Dank geht an die beiden Milchproduktionsbetriebe Nesselalmilch GmbH und Großdrebnitzer Agrarbetriebesgesellschaft mbH für die Möglichkeit der Versuchsdurchführung. Vor allem danke ich dem Klauenpflegepersonal für den zusätzlichen Aufwand und die gute Zusammenarbeit.

Weiterhin danke ich dem Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) und der DIAS Infrared GmbH für die messtechnische Unterstützung.

Ebenfalls bedanke ich mich bei den studentischen Hilfskräften für die Unterstützung bei der täglichen Datenaufnahme.

Ich danke Herrn Prof. Dr. agr. Michael Klunker für das spontane Korrekturlesen.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich in jeder Situation gestützt und motiviert hat.

Wissenschaftlicher Werdegang

- seit 12/17** Herdenmanagerin im Milchproduktionsbetrieb mit Nachzucht, Agrargenossenschaft eG Frankena
- 12/16–12/17** Elternzeit
- seit 05/13** Kooperatives Promotionsverfahren mit der Martin-Luther-Universität (MLU) Halle-Wittenberg

Thema der Dissertation:

„Untersuchungen zur Früherkennung von Klauenerkrankungen bei Milchkühen mittels nichtinvasiver technischer Verfahren“

- 03/13–12/14** Forschungsförderung des Sächsischen Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst (SMWK) zur kooperativen Promotion
- 07/12–11/12** Wissenschaftliche Betreuung im Forschungsprojekt „Datenerhebung und Datenaufbereitung im Vorhaben vorausschauender orthopädischer Klauenpflege“, Zaft e.V. (Zentrum für angewandte Forschung & Technologie an der HTW Dresden)
- 05/11–06/13** Mitarbeiterin für Forschung und Lehre, HTW Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege
- 12/10–05/11** Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsprojekt „VIONA“, HTW Dresden, Fakultät Landbau/Landespflege
- 10/06–11/10** Studium an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden; Fakultät Landbau/Landespflege, Studiengang Agrarwirtschaft Diplom (FH)

Thema der Diplomarbeit:

„Untersuchungen zur Brunsterkennung bei Milchkühen.“ Diplomarbeit erfolgte im Rahmen des Forschungsprojektes „VIONA“ (Entwicklung eines veterinären infrarotbasierten Online-Analysesystems; gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF)

Studienbegleitende Praktika:

- 03/08–07/08** Milchproduktionsbetrieb, Mecklenburg-Vorpommern
- 08/06–09/06** Milchproduktionsbetrieb mit Nachzucht, Brandenburg
- 02/06–09/06** diverse Praktika
- 07/05–01/06** Auslandsaufenthalt Australien
- 06/05** Abitur am Gerberstadt-Gymnasium, Doberlug-Kirchhain