

Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen

L. Scherf¹, J. Kretschmann¹, M.-L. Fischer², N. Mielenz³, G. Möbius², S. Getto⁴, M. Kaiser¹, H. Müller¹, L. Bittner¹, A. Starke¹

¹Klinik für Klauentiere der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig; ²Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig; ³Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften, Arbeitsgruppe Biometrie und Agrarinformatik, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, 06120 Halle (Saale), Deutschland; ⁴Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, 70569 Stuttgart, Deutschland

Zusammenfassung

Mittels Infrarot-Thermographie wurden 157 gesunde, weibliche Deutsch-Holstein Kälber thermographisch untersucht. Es war das Ziel der Studie, Oberflächentemperaturen an definierten Lokalisationen im Kopfbereich von Deutsch-Holstein Kälbern unter Stallbedingungen standardisiert zu erfassen und die Einflussfaktoren auf die Ergebnisse zu charakterisieren. Im Rahmen der Studie wurden mittels einer High-End Wärmebildkamera (ThermoPro TP8, Firma DIAS Infrared GmbH) Ruhewerte von sechs Lokalisationen im Kopfbereich (linkes Auge (liAu), rechtes Auge (reAu), linke Hornanlage (liHa), rechte Hornanlage (reHa), Flotzmaul (FM), Schleimhaut des Flotzmauls (SHFM)) erfasst. Die Umgebungstemperatur hatte einen Einfluss auf die Oberflächentemperaturen ($r = 0,10$ bis $0,32$; $p \leq 0,01$). Die Luftfeuchtigkeit wirkte sich nicht auf die Messergebnisse aus (im t-Test $p \geq 0,33$ über alle Lokalisationen). Es war kein Zusammenhang zwischen der rektal erfassten Körpertemperatur und den thermographisch ermittelten Oberflächentemperaturen feststellbar ($r_p \leq 0,05$). Mit zunehmendem Alter der Tiere konnte ein Abfall der Oberflächentemperaturen beobachtet werden ($r = -0,42$ bis $-0,14$; $p \leq 0,01$). Die Wiederholbarkeit der thermographischen Doppelmessungen war sehr gut ($r \geq 0,95$). An den verschiedenen Lokalisationen wurde Wärme in unterschiedlichem Maße emittiert, wobei die Augen die höchsten und das Flotzmaul die niedrigsten Oberflächentemperaturen aufwies. Die paarigen Lokalisationen (liAu:reAu, liHa:reHa) wiesen ein symmetrisches Wärmestrahlungsmuster auf. Die Thermographie kann im Kopfbereich von weiblichen Deutsch-Holstein Kälbern im Milchviehbetrieb zur Erfassung von unterschiedlichen Oberflächentemperaturen eingesetzt werden.

Schlüsselwörter: Infrarot-Thermographie, Wärmebilder, Deutsch-Holstein Kälber, Oberflächentemperaturen, Gesundheitsüberwachung

Thermographic examination of head surface temperatures of calves under field conditions

Thermographic examination of 157 German Holstein heifer calves was performed to investigate the feasibility of this technique for on-farm recording of surface temperature of the head and to examine potential factors that affect the recordings. Baseline values were obtained from six defined locations on the head including both eyes, both horn buds, the muzzle and the mucous membrane of the muzzle using a high-end thermographic camera (ThermoPro TP8, Firma DIAS Infrared GmbH). Evaluation of the influence of various factors on thermographic measurements showed that ambient temperature had the largest effect on surface temperature of the head (regression coefficient, $0,10$ to $0,32$, $p \leq 0,01$) whereas humidity had no effect (in t-test $p \geq 0,33$ over all locations). There was a no correlation between rectal temperature and surface temperature ($r_p \leq 0,05$). The surface temperature decreased with increasing age of the calves (regression coefficient, $-0,42$ to $-0,14$, $p \leq 0,01$). The agreement between double readings made shortly after one another was excellent at all locations ($r \geq 0,95$). The emission of infrared energy varied among different locations; the most infrared energy was emitted by the eyes and the least by the muzzle. Paired locations (eyes and horn buds) had symmetric emission patterns of infrared energy. Measuring the surface temperature of the head of calves in their normal barn environment using a standardised protocol was feasible and thus could potentially be used for monitoring calves under field conditions.

Keywords: Infrared thermography, thermal images, German Holstein calves, surface temperatures, health monitoring

<https://doi.org/10.17236/sat00227>

Eingereicht: 11.05.2019
Angenommen: 12.09.2019

Diese Arbeit ist Herrn Prof. A. Steiner zum 60. Geburtstag gewidmet.

Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen

L. Scherf et al.

Einleitung

Für Thermographie in der Veterinärmedizin gibt es bereits verschiedene Anwendungsbeispiele.^{18,30,35} So wurde die Thermographie bspw. zur Diagnostik von Euterentzündungen,^{11,15,25} zur Detektion von Klauenkrankungen und Lahmheitsursachen,^{2,3,41} zur Früherkennung von Infektionskrankheiten^{16,32} sowie zur Überwachung von Operationswunden²⁸ eingesetzt.

Die Ergebnisse der Temperaturerfassung mittels Thermographie unterliegen bei Anwendungen im Nutztierbereich unter Stallbedingungen internen und externen Einflussfaktoren.^{16,18,24} Als Interne werden die vom Tier ausgehenden und als Externe die aus der Umwelt auf die Messtechnik einwirkenden Faktoren bezeichnet.²³ Zu den internen Einflussfaktoren zählen unter anderem Erkrankungen, die mit lokaler oder systemischer Erhöhung bzw. Erniedrigung der Körperoberflächentemperatur einhergehen²⁹, sowie Stress durch Handling der Tiere.³⁶ Thermographische Untersuchungen am Euter von Kühen belegen eine circadiane Rhythmik der Oberflächentemperaturen, welche als interner Einflussfaktor gewertet werden kann.^{4,30,37} Ein weiterer interner Einflussfaktor, der bisher noch nicht hinsichtlich eines möglichen Einflusses auf die thermographischen Daten untersucht wurde, ist das Alter der Tiere (Literaturrecherche: pubmed, Stand: 8.7.2019 Stichworte: age, calves, thermography, superficial temperatures). Während die internen Einflussfaktoren schwer zu limitieren sind, können die externen durch die Schaffung optimaler Versuchs- und Messbedingungen reduziert und sogar beseitigt werden. Die am Tier thermographisch erfasste Wärmestrahlung kann von extern durch Sonneneinstrahlung oder wärmeerzeugende Lichtquellen verändert werden.^{7,14,16} Mit der Wahl eines schattigen Arbeitsplatzes werden diese Einflüsse reduziert.^{7,16,28} Des Weiteren können Luftbewegungen die Thermographie beeinflussen. So kommt es zur Abkühlung der Messlokalisation, wenn die warmen Luftschichten direkt oberhalb dieser durch kühlere ersetzt werden.³⁸ Den größten Einfluss auf die thermographischen Messungen haben die Umgebungstemperaturen. Sie stellen unter Stallbedingungen den am schwersten steuerbaren externen Einflussfaktor dar.^{14,23,27} Einen weiteren Einfluss auf die thermographisch ermittelte Oberflächentemperatur hat die Aufnahmetechnik. Dabei sollten der Winkel und der Abstand zwischen Kamera und Messobjekt immer annähernd gleich sein.^{15,16,20} Außerdem beeinflussen Fell und Schmutz im Bereich der Messstellen die Emissivität.^{22,24,27} Da Operationsfelder geschoren und gereinigt werden, sind sie gut für diese Form der Diagnostik geeignet. Für qualitativ hochwertige Thermogramme werden die Hornanlagen in der vorliegenden Studie ebenfalls geschoren. Weitere Lokalisationen, die sich aufgrund ihrer Haarlosigkeit von vorn herein für die

Anfertigung von Wärmebildern (Thermogrammen) eignen, sind das Flotzmaul und die Maulschleimhaut. Diese Lokalisationen fanden bisher hauptsächlich bei anderen Tierarten, wie bspw. Maultierhirschen, Rhesusaffen und Zootieren,^{9,17,26} aber auch vereinzelt beim Kalb für die thermographische Untersuchung Anwendung.³² Die Augen eignen sich ebenfalls sehr gut.^{12,16,32,36} Vor allem der nasale Augenwinkel mit der sich dort befindlichen Gl. lacrimalis ist stark durchblutet.^{16,36,39} Aufgrund dieser oberflächennahen Gefäße wird ein Zusammenhang des Verlaufs der Augenoberflächentemperaturen mit dem der Körperkerntemperatur diskutiert.^{14,16}

Es war das Ziel der Studie, Oberflächentemperaturen an definierten Lokalisationen im Kopfbereich von Deutsch-Holstein Kälbern unter Stallbedingungen standardisiert zu erfassen und die Einflussfaktoren auf die Ergebnisse zu charakterisieren. Die Studie soll somit die Grundlage für einen potentiellen Einsatz der Thermografie zur Überwachung der Kälbergesundheit liefern.

Material und Methoden

Die vorliegende Studie ist Teil eines multizentrischen Gesamtprojektes zur Durchführung von Untersuchungen zu verschiedenen Verfahren der Schmerzausschaltung während bzw. nach dem thermischen Enthornen von weiblichen Deutsch-Holstein Kälbern. Sie wurde nach der Tierschutz-Versuchstierverordnung durch die Landesdirektion Sachsen geprüft und genehmigt (Bescheid vom 22.12.2014, Geschäftszeichen LDD24-5131/276/52, TVV 48/14).

Patientengut

Die Studie wurde in einem Milchviehbetrieb mit 1500 Deutsch-Holstein Kühen an 157 gesunden, horntragenden, weiblichen Kälbern (Alter: 4,9 d (Mittelwert; Mw), Min. = 1,0, Max. = 25,0; Körpergewicht: 41,7 kg (Mw), Min. = 31,0, Max. = 50,0) mit altersgerechtem Ernährungs-, Entwicklungs- und Pflegezustand durchgeführt. Die Kälber waren in Einzelboxen auf Stroh innerhalb eines Gebäudes aufgestellt und hatten Sichtkontakt zueinander.

Studienplan

Die thermographischen Rohdaten wurden im Zeitraum vom 1. Februar bis 18. September 2016 erhoben. Zur Erfassung der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit im Stallabteil wurde über den Kälbern in einer Höhe von 2 m ein kalibrierter Datenlogger (Ebro EBI 20-TH1) installiert, welcher alle 15 min Messungen durchführte. Das heißt jeder thermographischen Untersuchung eines Kalbes konnte eindeutig eine Umgebungstemperatur und eine Luftfeuchtigkeit zugeordnet werden. Zur Auf-

nahme in die Studie wurden die Kälber einer vollständigen klinischen Untersuchung unterzogen.³⁷ Die innere Körpertemperatur wurde rektal mittels digitalem Thermometer (Microlife VT 1831 Vet-Temp) erfasst. Morgens, im Anschluss an die klinische Untersuchung, erfolgte die Thermographie. Aufgrund des übergeordneten Studienprotokolls wurden immer neun Tiere zeitgleich in einer Studiengruppe zusammengefasst und ausgewertet. Die Studiengruppen repräsentieren somit einen Zeiteffekt über den gesamten Studienzeitraum.

Thermographie

Kamera

Die thermographischen Messungen erfolgten mit der High-End Wärmebildkamera „ThermoPro TP 8“ (Firma DIAS Infrared GmbH). Sie weist eine Messfrequenz von 50 Hz auf, verfügt über ein Mikrobolometer-Array (Auflösung 384 × 288 Pixeln) und hat eine Messunsicherheit von ±2 K.

Lokalisationen und Durchführungskriterien

Im Kopfbereich der Kälber wurden Thermogramme der rechten und linken Hornanlage (reHa und liHa), beider Augen (liAu, reAu) sowie des Flotzmauls (FM) und dessen Schleimhaut (SHFM) angefertigt (Abb. 1 a, b). In Vorbereitung auf die Thermographie wurden die Haare um die Hornanlagen geschoren. Von jeder Lokalisation wurden unmittelbar nacheinander zwei Thermogramme angefertigt. Bei allen Aufnahmen wurde darauf geachtet, dass die Lokalisationen trocken und sauber waren. Der Abstand zwischen Kamera und Messobjekt betrug 50 cm und der Winkel 90°.³⁶ Außerdem wurde ein Emissionsgrad $\varepsilon = 0,98$ gewählt.

Überprüfung der Praktikabilität des Einsatzes einer Wärmebildkamera unter Stallbedingungen

Zu jedem Untersuchungszeitpunkt wurden sowohl für die freilaufenden Kälber (N = 6), als auch für die Tiere, welche durch eine Hilfsperson festgehalten wurden (N = 24), 11 ± 2 (Mw ± Stabw) Aufnahmen pro Tier angefertigt. Bei den freilaufenden Kälbern dauerte die Erstellung der Bilder insgesamt 7,2 ± 0,3 min pro Tier. Nicht bei allen Kälbern waren Thermogramme an jeder Lokalisation darstellbar, zudem war die Qualität häufig minderwertig. Aufgrund der ständigen Bewegung der Tiere war die Einhaltung eines standardisierten Ablaufs in der Anfertigung der Thermogramme nicht möglich. Bei den Tieren, welche behutsam von einer trainierten Hilfsperson fixiert waren, wurden 1,5 ± 0,2 min für die Aufnahme aller Bilder pro Tier benötigt. Es konnten an allen Messlokalisationen Bilder in guter Qualität erstellt werden und in jedem Fall konnte der im Studienprotokoll festgelegte Untersuchungsablauf eingehalten werden.

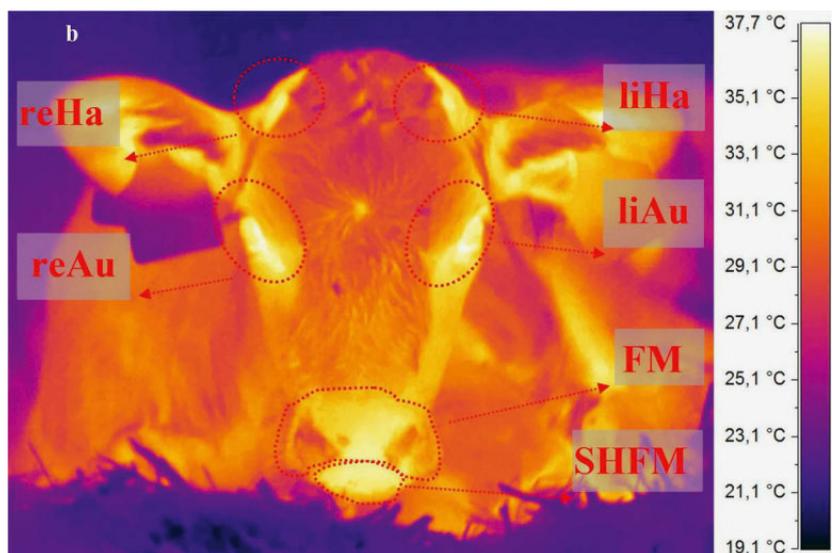
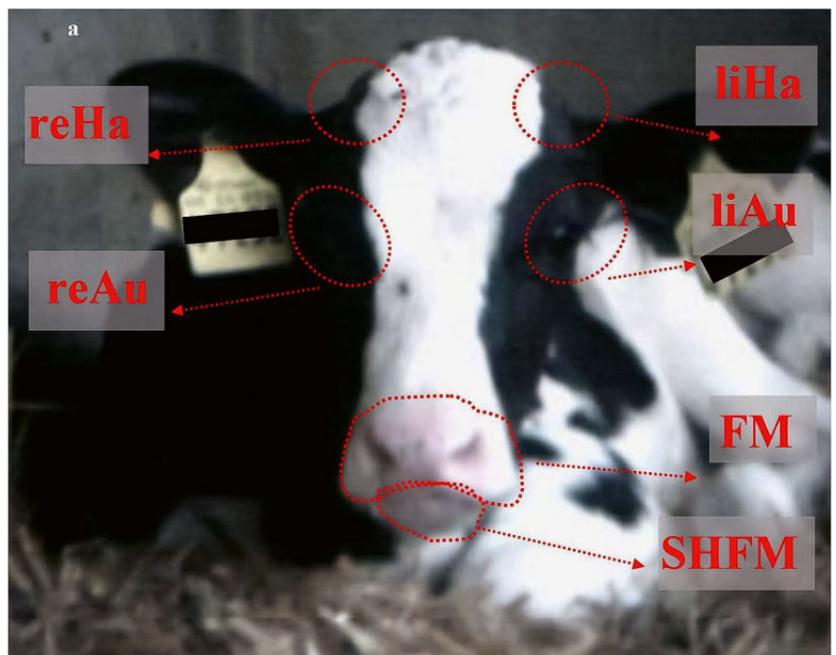


Abb. 1: Fotografie (a) und das korrespondierende Thermogramm mit dazugehöriger Farb-Temperaturskala (b) eines weiblichen Deutsch-Holstein Kalbes zur Darstellung der sechs, mittels Wärmebildkamera (ThermoPro TP8, Messfrequenz 50 Hz, Auflösung 384 × 288 Pixel) erfassten Lokalisationen im Kopfbereich.

liAu: linkes Auge; reAu: rechtes Auge; FM: Flotzmaul; SHFM: Schleimhaut Flotzmaul; liHa: linke Hornanlage; reHa: rechte Hornanlage.

Reihenfolge der thermographischen Aufnahmen

Nach Auswertung der Voruntersuchungen wurden die Kälber für die thermographischen Untersuchungen von einer trainierten Hilfsperson behutsam festgehalten. Die Wärmebilder der sechs Lokalisationen wurden immer in der gleichen Reihenfolge von links nach rechts (liHa, liAu, FM, SHFM, reAu, reHa) erfasst.

Auswertung

Die Auswertung der im Betrieb erhobenen thermographischen Rohdaten erfolgte mit einer Spezial-Software

Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen

L. Scherf et al.

„PYROSOFT Windows®-Software“ (Firma DIAS Infrared GmbH). Die Thermogramme wurden anhand definierter Qualitätsmerkmale ausgewählt. Wichtig war dabei eine gute Auflösung, d.h. jedes Bildpixel hatte einen klaren Rand. Die Farbgebung der Wärmebilder wurde so gewählt, dass warme Areale (bspw. Augen, Flotzmaul) weiß bis gelb-orange dargestellt wurden und kühlere Areale (bspw. Ohrmarken, umgebende Einstreu) lila bis blau (Abb. 1 b). Die von der Messlokalisierung emittierte und von der Wärmebildkamera gemessene Wärmestrahlung wurde von der Software in maximale Oberflächentemperaturen umgerechnet. Zu

diesem Zweck wurden über die zu messenden Areale definierte Figuren gelegt. Die angezeigten Maximaltemperaturen waren Grundlage für eine statistische Auswertung der Daten. Mittels der unmittelbar aufeinanderfolgenden thermographischen Doppelmessungen pro Lokalisation konnte ein Mittelwert für die Oberflächentemperaturen gebildet werden.

Statistik

Die statistische Auswertung pro Merkmal (Oberflächentemperatur an den Lokalisationen, Körperinnentemperatur) erfolgte mit SAS, Vers.9.4 unter Nutzung der Prozedur MIXED. In allen Auswertungsmodellen wurden die Studiengruppen über fixe Effekte und die quantitativen Einflussfaktoren Alter, Umgebungstemperatur und Luftfeuchte über lineare Kovariablen berücksichtigt. Die Modellgleichungen und deren Umsetzung innerhalb der SAS-Prozeduren MIXED und GLIMMIX können auf Anfrage von den Autoren angefordert werden. Zur Prüfung der Daten auf Normalverteilung kam der Shapiro-Wilk-Test, angewendet auf die Residuen der Lokalisationen, zum Einsatz. Sämtliche Einflussfaktoren wurden mit dem F-Test auf Signifikanz überprüft. Um einen möglichen Zusammenhang zwischen der Körperinnen- und Augenoberflächentemperatur herstellen zu können, wurden phänotypische Korrelationen unter Verwendung von Zweimerkmalsmodellen geschätzt. Unter Nutzung der SAS-Prozedur GLIMMIX wurde die phänotypische Korrelation zwischen zwei Merkmalen als Korrelation zwischen den Resteffekten im linearen Modell für die beiden Merkmale (beobachtet am selben Tier) geschätzt. Unter Nutzung des multiplen t-Tests wurden die Differenzen der Least Square Means zwischen der rektal gemessenen Körperinnentemperatur und den thermographischen Werten beider Augen auf Signifikanz untersucht. Dabei galt bei allen Tests $p < 0,05$ als signifikant. Weiterhin wurde ein Mittelwertvergleich der thermographischen Referenzwerte aller Lokalisationen durchgeführt und die zwei aufeinanderfolgenden Temperaturmessungen, die pro Tier und Zeitpunkt erhoben wurden, auf Wiederholbarkeit untersucht. Zur Berechnung der Wiederholbarkeit, das heißt zur Berechnung der Korrelation zwischen den beiden Messungen eines Tieres, wurde ein lineares gemischtes Modell mit zufälligen Tiereffekten verwendet.

Lokalisation	Oberflächentemperatur in °C	Einfluss der Umgebungstemperatur		Einfluss des Alters der Tiere	
	LSM ± SE	(b ± SE)	p-Wert	(b ± SE)	p-Wert
linkes Auge	38,7 ± 0,1	0,09 ± 0,03	< 0,01	-0,14 ± 0,06	0,01
rechtes Auge	38,9 ± 0,1	0,12 ± 0,03	< 0,01	-0,20 ± 0,06	< 0,01
Flotzmaul (FM)	33,2 ± 0,4	0,32 ± 0,10	< 0,01	-0,42 ± 0,16	0,01
Schleimhaut des FM	35,0 ± 0,3	0,27 ± 0,07	< 0,01	-0,36 ± 0,11	< 0,01
linke Hornanlage	36,6 ± 0,2	0,24 ± 0,04	< 0,01	-0,32 ± 0,08	< 0,01
rechte Hornanlage	36,8 ± 0,2	0,25 ± 0,04	< 0,01	-0,33 ± 0,07	< 0,01

Tab. 1: Einfluss der Umgebungstemperatur und des Alters (Mw = 4,9 d; Min = 1; Max = 25) auf die Oberflächentemperatur (OT; Regressionskoeffizienten (b) ± Standardfehler (SE)) sowie Ruhewerte der thermographisch erfassten OT (Least Square Means (LSM) ± SE in °C) an den sechs Lokalisationen im Kopfbereich weiblicher Deutsch-Holstein Kälber (N = 157). Anhand der Regressionskoeffizienten ist erkennbar, dass sich mit der Erwärmung der Umgebungstemperatur um 1 °C auch die Oberflächentemperatur an den Lokalisationen um den in der Tabelle angegebenen Wert erhöht. Außerdem sinken bei Erhöhung des Alters um einen Tag (in den ersten 7 Lebenstagen) die gemessenen Oberflächentemperaturen um den in der Tabelle angegebenen Wert.

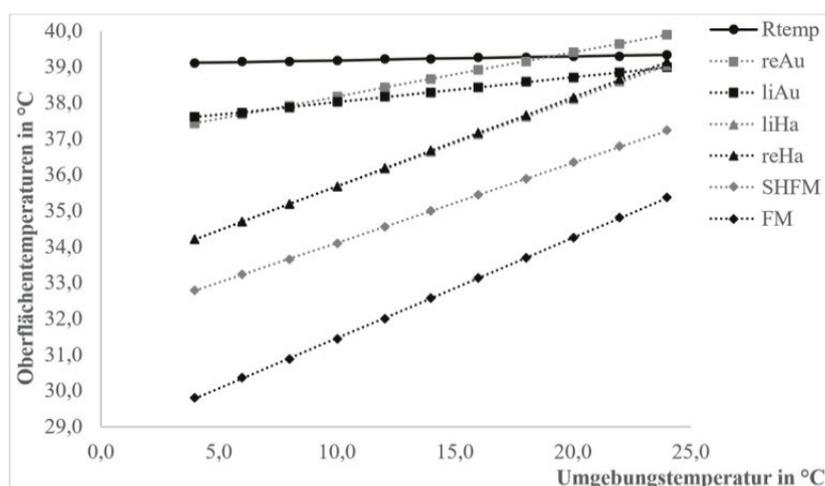


Abb. 2: Darstellung des Einflusses der Umgebungstemperatur (°C) $13,2 \pm 5,7$ °C (Mw ± Stabw, Min = 2,8 °C, Max = 25,3 °C) auf die thermographisch erhobenen Oberflächentemperaturen (Least Square Means in °C) an den sechs Lokalisationen im Kopfbereich sowie der rektal erfassten Körperinnentemperaturen (°C) bei weiblichen Deutsch-Holstein Kälbern (N = 157)

liAu: linkes Auge; reAu: rechtes Auge; FM: Flotzmaul; SHFM: Schleimhaut Flotzmaul; liHa: linke Hornanlage; reHa: rechte Hornanlage; Rtemp: rektal gemessene Körperinnentemperatur.

Resultate

Die statistische Analyse aller Prüfmerkmale gemäß F-Test lieferte signifikante Unterschiede zwischen den Studiengruppen, bedingt durch jahreszeitliche Umwelteinflüsse aufgrund des sich über mehrere Monate erstreckenden Versuchszeitraums.

Einflussfaktoren auf die thermographisch erfassten Oberflächentemperaturen

Luftfeuchtigkeit und Umgebungstemperatur

Die mittlere Luftfeuchtigkeit betrug $78,0 \pm 7,8$ %rF ($M_w \pm \text{Stabw}$, Min = 59,4 %rF, Max = 89,4 %rF; N = 157). Sie hatte keinen Einfluss auf die Oberflächentemperaturen (t-Test $p \geq 0,33$ über alle Lokalisationen). Die Umgebungstemperatur lag bei $13,2 \pm 5,7$ °C ($M_w \pm \text{Stabw}$, Min = 2,8 °C, Max = 25,3 °C, N = 157). An allen sechs Lokalisationen stieg mit zunehmender Umgebungstemperatur die thermographisch erfasste Oberflächentemperatur ($p < 0,01$; Tab. 1, Abb. 2).

Alter der Studientiere

Mit zunehmendem Alter (N = 157; $M_w = 4,9$ d; Min = 1; Max = 7) nimmt die Oberflächentemperatur aller Lokalisationen signifikant ab (Tab. 1). Ab einem Alter > 7 d ist keine signifikante Temperaturveränderung mehr feststellbar.

Körperinnentemperatur

Die Körperinnentemperatur der Studientiere (N = 157) betrug $39,2 \pm 0,3$ °C ($M_w \pm \text{Stabw}$, Min = 38,2 °C; Max = 39,8 °C). Zwischen dieser und den Oberflächentemperaturen war kein Zusammenhang feststellbar ($r_p \leq 0,05$; Abb. 2). Die Differenz zu den Oberflächentemperaturen an den Augen betrug $\leq 0,99$ °C bzw. den anderen Lokalisationen $\geq 3,15$ °C (Abb. 2). Es konnte kein Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Körperinnentemperatur nachgewiesen werden ($b \pm \text{SE} = 0,02 \pm 0,01$; $p > 0,05$).

Thermographisch erhobene Oberflächentemperaturen im Kopfbereich

Thermographisch erhobene Ruhewerte der sechs Lokalisationen im Kopfbereich

An allen sechs Lokalisationen im Kopfbereich konnten für weibliche Deutsch-Holstein Kälber (N = 157) unter den vorliegenden Studienbedingungen thermographische Ruhewerte erhoben werden (Tab. 1, Abb. 3-5). Die Wiederholbarkeit der unmittelbar aufeinander folgenden, thermographischen Doppelmessungen pro Lokalisation lag bei $r \geq 0,95$.

Vergleich der Oberflächentemperaturen zwischen den sechs Lokalisationen im Kopfbereich

Die thermographisch erfassten Temperaturen korrelierten sowohl bei Lokalisationen, welche anatomisch nah beieinander lagen (FM:SHFM; $r = 0,86$) als auch bei denjenigen, welche bilateral erfasst wurden (reAu:liAu; reHa:liHa) miteinander ($r > 0,70$).

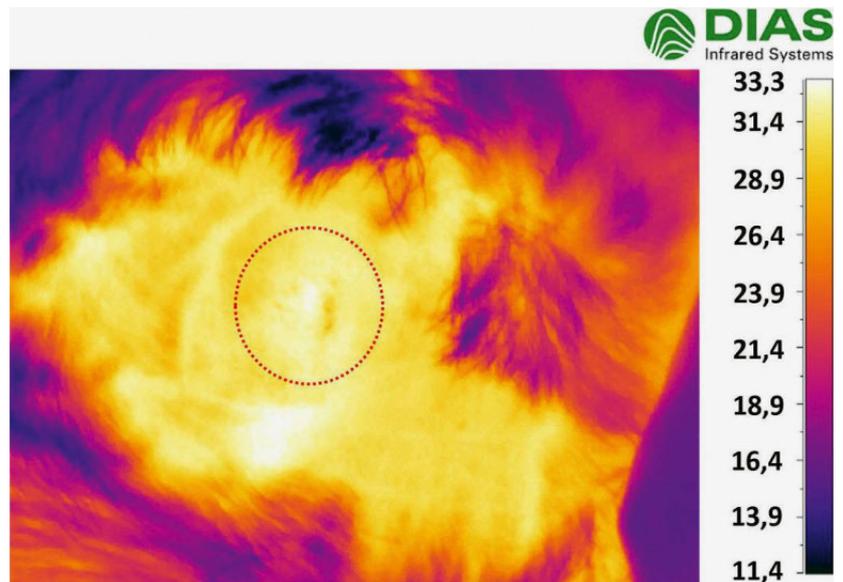


Abb. 3: Thermogramm der linken Hornanlage (rot markiert) mit dazugehöriger Farb-Temperaturskala eines weiblichen Deutsch-Holstein Kalbes mit einer Oberflächentemperatur von 33,7 °C innerhalb der roten Markierung gemessen; Temperaturskala rechts.

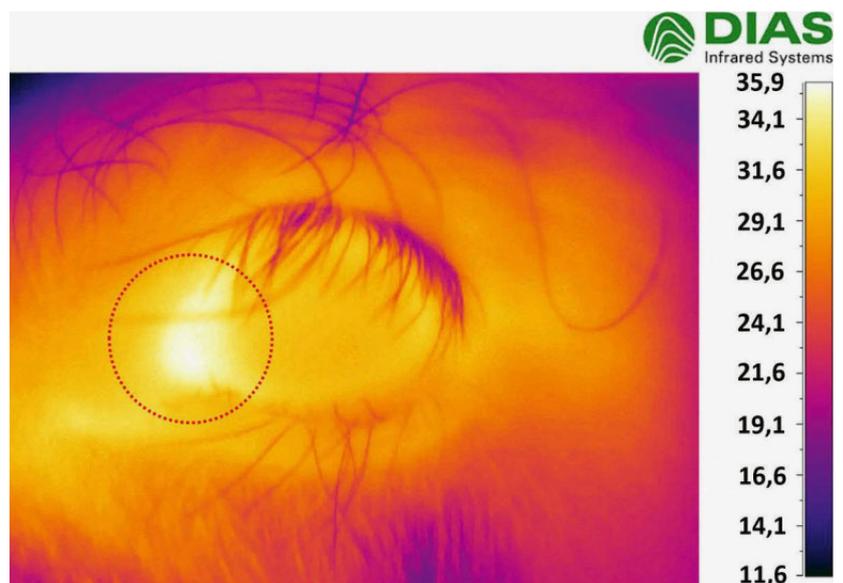


Abb. 4: Thermogramm des linken Auges mit der Glandula lacrimalis (rot markiert) mit dazugehöriger Farb-Temperaturskala eines weiblichen Deutsch-Holstein Kalbes mit einer Oberflächentemperatur von 35,2 °C innerhalb der roten Markierung gemessen; Temperaturskala rechts.

Diskussion

Im Rahmen der Studie sollte geprüft werden, ob die Infrarot-Thermographie eine geeignete Methode zur Erfassung von Oberflächentemperaturen im Kopfbereich bei Kälbern unter Stallbedingungen ist. Im Rahmen eines Vorversuches wurde zunächst untersucht, welche Voraussetzungen nötig waren, um bestmögliche Aufnahmen anzufertigen. Dafür wurde ein standardisiertes Protokoll zur Anfertigung von Thermogrammen erstellt (modifiziert nach Stewart, 2008).³⁶ Im Gegensatz



Abb. 5: Thermogramm des Flotzmauls (FM) eines weiblichen Deutsch-Holstein Kalbes mit einer Oberflächentemperatur von 25,0 °C sowie dessen Schleimhaut (SHFM) mit einer Oberflächentemperatur von 28,1 °C mit dazugehöriger Farb-Temperaturskala.

zu Stewart (2008)³⁶ wurden Thermogramme von mehreren Lokalisationen im Kopfbereich angefertigt. Die standardisierte Erfassung der Oberflächentemperaturen an den sechs ausgewählten Lokalisationen war nur möglich, wenn die Kälber in beschriebener Art und Weise von einer trainierten Person behutsam festgehalten wurden. Auch in vergleichbaren Studien wurden die Kälber fixiert, allerdings in Fangständen.^{36,40} Hinsichtlich der Evaluierung von Stresszuständen bspw. im Rahmen von zootecnischen Eingriffen könnte die Fixierung der Tiere zu zusätzlichem Stress und somit zu einer Verfälschung der Ergebnisse führen.

Für die Erfassung der Oberflächentemperaturen im Kopfbereich von weiblichen Deutsch-Holstein Kälbern wurden sechs Lokalisationen gewählt. Da das Fell, wie schon beim Rind²⁷ und Hund²² gezeigt, einen wärmeisolierenden Einfluss auf die Ergebnisse der Thermographie hat, sollten die Stellen haarlos oder gut zu scheren sein. Während die Augen,²¹ das Flotzmaul und die Maulschleimhaut haarlos waren, mussten die Hornanlagen für die Enthornung geschoren werden.

Eine Herausforderung beim Einsatz von Infrarot-Kameras an Lebewesen ist die Wahl des korrekten Emissionsgrades ϵ zur Erfassung von absoluten Temperaturwerten.³⁴ Bisher wurde mit Werten zwischen 0,94 (Augen von Kälbern)³⁶ und 1 (menschliche Haut)²⁰ gearbeitet. In der vorliegenden Studie bestand die Besonderheit, dass neben den trockenen, geschorenen Hornanlagen mit einem vermutlichen ϵ von 1 auch die mit einem Feuchtigkeitsfilm überzogenen Augen und das Flotzmaul thermographisch untersucht werden sollten. Da Feuchtigkeit die Emissivität von Oberflächen beein-

flusst,²⁴ wurde für diese Studie $\epsilon = 0,98$ gewählt. Dieser Emissionsgrad wurde bereits für thermographische Untersuchungen diverser Lokalisationen bei Kälbern¹⁴ sowie von Operationswunden erwachsener Rinder²⁸ verwendet. Da es sich bei thermographisch erhobenen Oberflächentemperaturen um Relativmessungen handelt, sind das Protokoll und der einheitliche Auswertungsmodus essentiell für repräsentative Ergebnisse. Die kalkulierten Temperaturen können vor allem hinsichtlich der Änderungen tierindividuell miteinander verglichen werden.²⁰

Die mit einem kalibrierten Datenlogger aufgezeichnete Umgebungstemperatur hatte einen signifikanten Einfluss auf die Oberflächentemperaturen ($p < 0,01$). Damit werden bisherige Untersuchungen bestätigt, wonach dies der stärkste externe Einflussfaktor auf die thermographischen Messungen im Milchviehbetrieb ist.^{14,27,28} Der Einfluss der Umgebungstemperaturen auf die an den verschiedenen Lokalisationen erhobenen thermographischen Messwerte war unterschiedlich. Während ein Anstieg der Umgebungstemperatur um 1 °C zu einem Anstieg der Flotzmaul-Oberflächentemperatur von 0,32 °C ($p < 0,01$) führte, kam es an den Augen zu einer Temperaturveränderung von lediglich 0,1 °C ($p < 0,01$). Ursächlich hierfür könnte sein, dass die Augen dem warmen, homiothermen Körperkern angehören, während die anderen Lokalisationen eher im Bereich der kühleren, der Umgebungstemperatur folgenden Körperperipherie liegen.¹³

Im Gegensatz zur Umgebungstemperatur war der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Ergebnisse dieser Studie vernachlässigbar. Dies ist wahrscheinlich durch den geringen Abstand zwischen Kamera und Messobjekt von ca. 50 cm bedingt. Dadurch reduziert sich der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die thermographischen Messungen, da sich weniger wärmestrahlungsabsorbierender Wasserdampf in der Übertragungsstrecke befindet.³⁸

Durch die Haltung der Kälber im Stallgebäude in Verbindung mit Jalousien an den Seitenwänden und Eingängen konnte sichergestellt werden, dass es auch durch die externen Einflussfaktoren „direkte Sonneneinstrahlung“ und „schnelle Luftbewegungen“ nicht zu einer Beeinflussung der Oberflächentemperaturen kam. Damit werden die Ergebnisse früherer Arbeiten bestätigt.^{2,6,7,28} Mögliche Einflüsse von lokalen und systemischen Erkrankungen auf die gemessenen Oberflächentemperaturen, wie sie in der Literatur bereits beschrieben wurden,^{32,33} konnten durch die Auswahl der Studientiere anhand der Ein- und Ausschlusskriterien eliminiert werden.

Eine mögliche Beziehung zwischen den thermographisch erfassten Oberflächentemperaturen und der rek-

tal gemessenen Körperinnentemperatur wurde bereits vielfach diskutiert.^{14,16} Wie auch in vorangegangenen Untersuchungen^{14,27,29} konnte in der vorliegenden Studie kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Aber auch ohne diesen Zusammenhang kann die Veränderung der Körperoberflächentemperatur Hinweise auf eine Störung des Allgemeinbefindens geben.³⁷ So konnte bei Kälbern im Infektionsmodell bis zu einer Woche vor Ausbruch klinischer Symptome eine Erhöhung der Augenoberflächentemperatur festgestellt werden.³²

Weiterhin konnte festgestellt werden, dass mit zunehmendem Alter der Tiere bis 7 Tage die Oberflächentemperaturen der Lokalisationen um den in Tabelle 1 dargestellten Temperaturwert abnimmt. Ursächlich könnte der Abfall des systolischen Blutdruckes sein,¹ welcher in den ersten zehn Lebenstagen besonders deutlich ist. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung des oben beschriebenen Verhältnisses von Körperkern und -peripherie zu Gunsten der Peripherie, sodass der Abfall der Augenoberflächentemperatur weniger deutlich ausfällt. Diese Temperaturveränderung war bei älteren Kälbern nicht zu beobachten. Aber die Anzahl der Kälber über 7 Tage war recht klein (N = 6), was eine Interpretation erschwert.

Unter Beachtung und teilweise Eliminierung der genannten Einflussfaktoren, sowie der standardisierten Anfertigung der Thermogramme war es möglich, thermographische Ruhewerte der sechs Lokalisationen im Kopfbereich beim weiblichen Deutsch-Holstein Kalb unter Stallbedingungen zu erfassen. Dabei wird deutlich, dass die bilateralen Lokalisationen (liAu:reAu, liHa:reHa) die in der Literatur beschriebene symmetrische Wärmestrahlung aufweisen (Tab. 1) und miteinander korrelieren. Somit liegen keine pathologischen Veränderungen, die asymmetrische Wärmestrahlungsmuster hervorrufen, wie Durchblutungsstörungen oder Entzündungen vor.^{2,3,8,10,13} Des Weiteren war die Wiederholbarkeit der unmittelbar aufeinanderfolgenden, thermographischen Doppelmessungen pro Lokalisation und Zeitpunkt mit $> 0,95$ sehr gut, was für eine gute Methodik und Messgenauigkeit der Thermographie auch unter Stallbedingungen spricht.

Beim Vergleich der Oberflächentemperaturen der sechs Lokalisationen im Kopfbereich wird anhand der Differenzen der LSM deutlich, dass die verschiedenen Lokalisationen in unterschiedlichem Maße Wärme emittieren. Die Schleimhaut des Flotzmauls bspw. ist $1,8^{\circ}\text{C}$ wärmer als das Flotzmaul. Deutlicher wird der Temperaturunterschied dieser beiden Lokalisationen im Vergleich zu den Augen (FM: Au $> 5,87$; SHFM: Au $> 4,00$). Diese Temperaturunterschiede begründen sich möglicherweise darin, dass das Flotzmaul mit serösen Flotzmauldrüsen (Gll. nasolabiales) besetzt ist^{5,31} und sich somit, in Kombination mit seiner exponierten Lage, stärker mit den Umgebungstemperaturen auseinandersetzt. Das Auge hingegen liegt geschützt in der knöchernen Orbita und ist, vor allem im Bereich des nasalen Augenwinkels, wo sich die Gl. lacrimalis befindet, gut durchblutet.^{19,31}

Schlussfolgerung

Mittels Thermographie konnte nicht invasiv die Wärmestrahlung der sechs Lokalisationen im Kopfbereich von weiblichen Deutsch-Holstein Kälbern in Form eines Thermogramms dargestellt und in Oberflächentemperaturen umgerechnet werden. Die Einflussfaktoren, die unter Stallbedingungen auf die Messergebnisse einwirken, konnten mit Hilfe des standardisierten Studienprotokolls reduziert und z.T. eliminiert werden. Diese Studie bildet demnach die Grundlage für einen Einsatz der Thermographie im Produktionsbetrieb. Um das Potential dieser Untersuchungstechnik zur Überwachung der Kälbergesundheit zu nutzen, sind neben dem kontinuierlichen, tierindividuellen Erfassen auch automatische Abgleiche der Umwelteinflüsse notwendig. Dies erfordert weitere technische Adaptation.

Danksagung

Diese Studie wurde freundlicherweise durch die Firma DIAS Infrarot GmbH sowie dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie unterstützt.

Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen

L. Scherf et al.

Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen

L. Scherf et al.

Mesure de la température superficielle au niveau de la tête par thermographie chez des veaux en condition de stabulation

Un total de 157 veaux femelles provenant d'un troupeau de 1 500 vaches holstein ont été examinées au moyen d'une caméra thermographique haut de gamme (ThermoPro TP8, Firma DIAS Infrared GmbH). Le but de la présente étude était d'étudier la faisabilité de cette technique pour l'enregistrement à la ferme de la température de surface de la tête de veaux laitiers et d'examiner les facteurs potentiels qui affectent les enregistrements. Tous les veaux ont été doucement tenus par une personne formée afin de normaliser la procédure. Les valeurs de base ont été obtenues à partir de six endroits définis sur la tête, y compris les deux yeux, les deux boutons de corne, le mufler et la muqueuse du museau. L'évaluation de l'influence de divers facteurs sur les mesures thermographiques a montré que la température ambiante avait le plus grand effet sur la température de surface de la tête (coefficient de régression, 0,10 à 0,32, $p \leq 0,01$) alors que l'humidité n'avait aucun effet (dans le test t, $p \geq 0,33$ sur tous les lieux). Il n'y avait pas de corrélation entre la température rectale et la température de surface ($r_p \leq 0,05$). La température de surface diminuait avec l'âge des veaux (coefficient de régression, -0,42 à -0,14, $p \leq 0,01$). La concordance entre les lectures doubles faites peu de temps après les autres était excellente dans tous les sites ($r \geq 0,95$). L'émission d'énergie infrarouge variait selon les endroits. L'énergie infrarouge la plus importante a été émise par les yeux et la plus faible par le mufler. Les sites appariés (yeux et cornes) présentaient des profils d'émission symétriques d'énergie infrarouge. La thermographie peut être utilisée chez veaux Holstein pour la détection de différentes température de surface de la tête.

Mots-clés: Thermographie infrarouge, veaux Holstein allemands, température superficielle, surveillance de l'état de santé

Registrazione termografica della temperatura superficiale nell'area della testa dei vitelli in condizioni stabili

La termografia a infrarossi è un metodo di imaging non invasivo, rapido e senza contatto, per la misurazione delle temperature superficiali utilizzata per diverse indicazioni mediche in medicina veterinaria. L'obiettivo del presente studio era quello di studiare la fattibilità di questa tecnica per la registrazione in stalla della temperatura superficiale della testa dei vitelli Holstein tedeschi e di esaminare i potenziali fattori che influenzano i risultati. A tale scopo, 157 giovenche sane di razza tedesca Holstein di un'azienda da latte con 1500 vacche sono state esaminate termograficamente con una telecamera termografica di fascia alta (ThermoPro TP8, DIAS Infrared GmbH). Tutti i vitelli sono stati trattiene delicatamente da una persona addestrata per standardizzare la procedura. Nell'ambito dello studio si sono registrati i valori di riferimento ottenuti da sei posizioni localizzate sulla testa, (occhio sinistro (liAu), occhio destro (reAu), corno sinistro (liHa), corno destro (reHa), muso (FM), mucosa dello specchio nasolabiale (SHFM)). È stato esaminato in che modo determinati fattori hanno influenzato le misurazioni termografiche.

La temperatura ambientale ha avuto la maggiore influenza sulle temperature superficiali (coefficienti di regressione da 0,10 a 0,32; $p \leq 0,01$). L'umidità non ha influenzato i risultati della misurazione (nel test t $p \geq 0,33$ su tutte le posizioni). Non vi è stata nessuna relazione tra la temperatura rettale registrata e la temperatura superficiale rilevabile termograficamente ($r_p \leq 0,05$). D'altra parte, con l'aumentare dell'età degli animali si può osservare una diminuzione delle temperature superficiali (coefficienti di regressione da -0,42 a -0,14; $p \leq 0,01$). La ripetibilità delle doppie misurazioni termografiche consecutive per ogni localizzazione è stata molto buona ($r \geq 0,95$). Il calore veniva emesso a vari livelli nelle varie posizioni, dove gli occhi avevano le temperature superficiali più alte e lo specchio nasolabiale le temperature superficiali più basse. Le posizioni accoppiate (liAu:reAu, liHA:reHa) presentavano modelli di radiazione simmetrica del calore.

Pertanto, nelle aziende, un uso della termografia per il rilevamento delle temperature superficiali nell'area della testa delle giovenche di razza tedesca Holstein è possibile. Queste misurazioni forniscono la base per un potenziale uso della termografia per monitorare la salute dei vitelli.

Parole chiave: Termografia a infrarossi, immagini termiche, vitelli Holstein tedeschi, temperature superficiali, monitoraggio della salute

Literatur

- 1 Abraham M, Rudolph MD: The changes in the circulation after birth. Their importance in congenital heart disease. *Circulation*. 1970: 41(2):343-359.
- 2 Alsaad M, Schaefer AL, Büscher W, Steiner A: The role of infrared thermography as a non-invasive tool for the detection of lameness in cattle. *Sensors*. 2015: 15(6):14513-14525.
- 3 Alsaad M, Syring C, Dietrich J, Doherr M, Gujan T, Steiner A: A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. *Vet J*. 2015: 199(2):281-285.
- 4 Berry RJ, Kennedy AD, Scott SL, Kyle BL, Schaefer AL: Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Can. J. Anim. Sci.* 2003: 83(4):687-693.
- 5 Budras KD, Wünsche A: Atlas der Anatomie des Rindes – Lehrbuch für Tierärzte und Studierende. Schlütersche Verlagsanstalt, Hannover, D, 2006.
- 6 Church JS, Cook NJ, Schaefer AL: Recent applications of infrared thermography for animal welfare and veterinary research. *Proceedings, InfraMation, Las Vegas, Nevada, 2009*.
- 7 Church JS, Hegadoren PR, Paetkau MJ, Miller CC, Regev-Shoshani G, Schaefer AL, Schwartzkopf-Genswein KS: Influence of environmental factors on infrared eye temperature measurements in cattle. *Res Vet Sci*. 2014: 96(1):220-226.
- 8 Cockcroft PD, Henson FMD, Parker C: Thermography of a septic metatarsophalangeal joint in a heifer. *Vet. Rec*. 2000: 146(9):258-260.
- 9 Dunbar MR, Johnson SR, Rhyhan JC, McCollum M: Use of infrared thermography to detect thermographic changes in mule deer (*Odocoileus hemionus*) experimentally infected with foot-and-mouth disease. *J Zoo Wildl Med*. 2009: 40(2):296–301.
- 10 Eddy AL, van Hoogmoed LM, Snyder JR: The role of thermography in the management of equine lameness. *Vet J*. 2001: 162(3):172-181.
- 11 Glas A: Vergleichende Untersuchung klinisch gesunder und mit *Escherichia coli* infizierter Euterviertel von Kühen mittels Infrarotthermographie. Inaugural-Dissertation: Universität München, 2008.
- 12 Gloster J, Ebert K, Gubbins S, Bashiruddin J, Paton DJ: Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Vet Res*. 2011: 7:73.
- 13 Hilsberg S: Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin. Inaugural-Dissertation: Universität Leipzig, 2000.
- 14 Hoffmann G, Schmidt M, Ammon C, Rose-Meierhöfer S, Burfeind O, Heuwieser W, Berg W: Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Vet Res Commun*. 2013: 37(2):91-99.
- 15 Hovinen M, Siivonen J, Taponen S, Hänninen L, Pastell M, Aisla AM, Pyörälä S: Detection of clinical mastitis with the help of a thermal camera. *J Dairy Sci*. 2008: 91(12):4592-4598.
- 16 Johnson SR, Rao S, Morley PS, Hussey SB, Traub-Dargatz JL: Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. *J Equine Vet Sci*. 2011: 31(2):63-66.
- 17 Kastberger G, Stachl R: Infrared imaging technology and biological applications. *Behav. Res. Methods Instrum. Comput*. 2003: 35(3):429-439.
- 18 Knizkova I, Kung P: Applications of infrared thermography in animal production. *J. of Fac. of Agric., OMU, 2007*: 22(3):329-336.
- 19 König HE, Liebich HG: Anatomie der Haussäugetiere. Schattauer, Stuttgart, D, 2008.
- 20 Krüger F: Thermografische Trächtigkeitsdiagnostik bei Hirschebern (*Babyrousa spec.*). Bachelorarbeit: Westfälische Hochschule, Stuttgart, 2017.
- 21 Landgraf T, Zipser S, Stewart M, Dowling S, Schaefer AL: Modelling and correction of influences on surface temperature measurements using infrared thermography for animal health and welfare assessments, *Proceedings, 12th International conference on quantitative infrared thermography, Bordeaux, France, 2014*.
- 22 Loughin CA, Marino DJ: Evaluation of thermographic imaging of the limbs of healthy dogs. *Am J Vet Res*. 2007: 68(10):1064-1069.
- 23 Loughmiller JA, Spire MF, Drits SS, Fenwick BW, Hosni MH, Hogge SB: Relationship between mean body surface temperature measured by use of infrared thermography and ambient temperature in clinically normal pigs and pigs inoculated with *Actinobacillus pleuropneumoniae*. *Am J Vet Res*. 2001: 62(5):676–681.
- 24 McCafferty DJ: The value of infrared thermography for research on mammals: Previous applications and future directions. *Mamm Rev*. 2007: 37(3):207-223.
- 25 Metzner M, Sauter-Louis C, Seemueller A, Petzl W, Klee W: Infrared thermography of the udder surface of dairy cattle: Characteristics, methods, and correlation with rectal temperature. *Vet J*. 2014: 199(1):57-62.
- 26 Nakayama K, Goto S, Kuraoka K, Nakamura K: Decrease in nasal temperature of rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) in negative emotional state. *Physiol Behav*. 2005: 84(5):783-790.
- 27 Okada K, Takemura K, Sato S: Investigation of various essential factors for optimum infrared thermography. *J Vet Med Sci*. 2013: 75(10):1349-1353.
- 28 Proios I: Charakterisierung des Verlaufs der Wundheilung mittels klinischer, labordiagnostischer, sonographischer, thermographischer und thermometrischer Befunde bei Milchkühen nach Laparotomie (Omentopexie nach Dirksen). Inaugural-Dissertation: Tierärztliche Hochschule Hannover, 2016.
- 29 Rainwater-Lovett K, Pacheco JM, Packer C, Rodriguez LL: Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *Vet J*. 2009: 180(3):317-324.
- 30 Rekant SI, Lyons MA, Pacheco JM, Arzt J, Rodriguez LL: Veterinary applications of infrared thermography. *Am J Vet Res*. 2016: 77(1):98-107.
- 31 Salomon FV, Geyer H, Gille U: Anatomie für die Tiermedizin. Enke Verlag, Stuttgart, D, 2008.
- 32 Schaefer AL, Cook N, Tessaro SV, Deregt D, Desroches G, Dubeski PL, Tong AKW, Godson DL: Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Can. J. Anim. Sci.*, 2004: 84(1):73-80.
- 33 Schaefer A, Cook N, Church J, Basarab J, Perry B, Miller C, Tong A: The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Res Vet Sci*. 2007: 83(3):376-384.
- Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen
- L. Scherf et al.

Thermographische Erfassung der Oberflächentemperatur im Kopfbereich von Kälbern unter Stallbedingungen

L. Scherf et al.

- ³⁴ Speakman JR, Ward S: Infrared thermography: principles and applications. *Zoology*. 1998: 101(3):224-232.
- ³⁵ Stelletta C, Giancesella M, Vencato J, Fiore E, Morgante M: Thermographic applications in veterinary medicine. Prakash DRV, ed. *Infrared thermography*. Rijeka, Croatia: InTech. 2012: 117-140.
- ³⁶ Stewart M: Non-Invasive Measurement of stress and pain in cattle using infrared thermography. Doctoral thesis: Massey University, Palmerston North, New Zealand, 2008.
- ³⁷ Stöber M: Kennzeichen, Anamnese, Grundregeln der Untersuchungstechnik, Allgemeine Untersuchung. In: Rosenberger G, *Die klinische Untersuchung des Rindes*. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, D, 1990:120-135.
- ³⁸ Testo AG: *Pocket Guide Thermografie Theorie – Praxis – Tipps&Tricks*. Testo AG, Lenzkirch, Deutschland, 2012:1-56.
- ³⁹ Valera M, Bartolomé E, Sánchez MJ, Molina A, Cook N, Schaefer A: Changes in eye temperature and stress assessment in horses during show jumping competitions. *J. Equine Vet. Sci.* 2012: 32(12):827-830.
- ⁴⁰ Van der Saag D, Lomax S, Windsor PA, Taylor C, White PJ: Evaluating treatments with topical anaesthetic and buccal meloxicam for pain and inflammation caused by amputation dehorning of calves. *PLoS one*. 2018: 13(6):e0198808.
- ⁴¹ Wilhelm K, Wilhelm J, Füll M: Use of thermography to monitor sole haemorrhages and temperature distribution over the claws of dairy cattle. *Vet Rec*. 2015: 176(6):146.

Korrespondenz

Lisa Scherf
An den Tierkliniken 11
04103 Leipzig
Tel.: +49341 9738320
E-Mail: lisa.scherf@uni-leipzig.de