Artikel online veröffentlicht: 25.05.2023

Messung der Körpertemperatur beim Schwein: Können Infrarotthermometer eine Alternative sein?

Body temperature measurement in pigs: Are infrared thermometers a non-invasive alternative?

OPEN ACCESS

Autorinnen/Autoren
Felicitas Koch[1], Robert Pieper[1], Carola Fischer-Tenhagen[2]

Institute
1 Abteilung Sicherheit in der Nahrungskette, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin
2 Abteilung Experimentelle Toxikologie und ZEBET, Bundesinstitut für Risikobewertung, Berlin

Schlüsselwörter
Refinement, Fiebermessen, nicht-invasiv, Infrarot

Key words
refinement, body temperature measurement, non-invasive, infrared

eingereicht 04.10.2022
akzeptiert 10.01.2023

Bibliografie
Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 2023; 51: 84–92
DOI 10.1055/a-2046-5061
ISSN 1434-1220
© 2023. The Author(s).
This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commecial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse
PD Dr. Carola Fischer-Tenhagen
Bundesinstitut für Risikobewertung
Alt-Marienfelde 17–21
12277 Berlin
Deutschland
Carola.Fischer-Tenhagen@bfr.bund.de

ZUSAMMENFASSUNG

Gegenstand und Ziel Die Körpertemperatur ist ein wichtiger Befund in der Beurteilung der Allgemeingesundheit von Tieren. Als „Goldstandard“ wird die Körperinnentemperatur rektal gemessen, was eine Fixierung der Tiere erfordert. Dies kann bei Tieren Stress erzeugen. Stress wird als Belastung der Tiere bewertet und kann zudem zu einer Erhöhung der Körpertemperatur führen. Ziel dieser Studie war es, die Messung der Körperoberflächentemperatur mit 2 Infrarotthermometern als alternative Messmethode zur rektalen Messung der Körperinnentemperatur zu prüfen.

Material und Methoden In der Studie wurde bei 12 männlichen Mastschweinen über 11 Wochen einmal wöchentlich die Körperinnentemperatur mit einem Rektalthermometer und die Körperoberflächentemperatur mit 2 Infrarotthermometern (IRT1 und IRT2) je an Stirn, kaudaler Ohrbasis und Anus gemessen.

Ergebnisse Im gesamten Untersuchungszeitraum blieben die Schweine klinisch gesund. Bei 10 kurz aufeinanderfolgenden Messungen hatten die mit dem Rektalthermometer und mit IRT1 am Anus gemessenen Werte die geringste Varianz. Es bestand keine Varianzhomogenität zwischen den Messwerten der 3 Thermometer. Der Vergleich der Thermometer und Messpunkte zeigte, dass die Mittelwerte der gemessenen Körpertemperatur sich signifikant unterschieden ($p < 0{,}05$). Der Typ des Thermometers und die Messpunkte hatten einen mittleren bis starken Effekt auf die Werte. Das Bland-Altman-Diagramm zeigt, dass die Unterschiede der Werte der Thermometer und Messpunkte zwar im akzeptablen Schwankungsbereich liegen (95 %-Intervall), für die klinische Beurteilung der Körpertemperatur der Schwankungsbereich aber zu groß ist.

Schlussfolgerung Die Wiederholbarkeit der Messwerte mit IRT auf der Körperoberfläche von Schweinen ist akzeptabel. Die Korrelation zur rektal gemessenen Körperinnentemperatur ist allerding gering bis moderat.

Klinische Relevanz Für die Verwendung von IRT zur Gesundheitsüberwachung ist es notwendig, klinische Referenzwerte für die einzelnen Messpunkte und Thermometertypen zu ermitteln. Ob hyper-oder hyothermische Ereignisse mit IRT erkannt werden, erfordert weitere Untersuchungen.

ABTRACT

Objective Internal body temperature is an essential parameter in evaluation an animal’s general health status. The rectal

temperature as 'gold standard' requires restraining of the animal which may cause stress especially when not accustomed to handling procedures. Stress on the other hand should whenever possible be avoided as it negatively affects animal welfare and may increase body temperature. The present study evaluated whether measuring the body surface temperature with an infrared thermometer (IRT) may represent a stressless alternative method to rectal body temperature measurements.

Material and methods Twelve male fattening pigs were included in the study. Body temperature was measured once a week for 11 weeks. Body surface temperature measurements were performed in the areas of the forehead, caudal base of the ear and anus using two infrared thermometers (IRT1 and IRT2) each.

Results Throughout the study, all pigs were clinically healthy. Best repeatability was found for the rectal thermometer and IRT1 in the anus region. Homogeneity of variance was not found for the measurements of the three thermometers. Mean values of body temperature were significantly different ($p < 0{,}05$) between thermometers and measurement points. Thereby, the type of thermometer and measurement point possessed a moderate to strong effect. The Bland-Altman plot shows that differences in the values of the thermometers and measurement points are within the acceptable range of variation (95 % interval). However, the range of variation is too substantial for clinical assessment of the body temperature.

Conclusion The repeatability of temperature data measured with IRT on the body surface of pigs is acceptable. For this procedure, restraining the animals is not necessary, therefore reducing the animal's stress level during the clinical examination. However, the correlation to the rectal body temperature is weak to moderate.

Clinical relevance In order to use IRT for health monitoring in animals, reference values for respective IRT and measurement points need to be established. In the current study no case of hyper- or hypothermia occurred. Further research is warrented to evaluate whether IRT reliably detect fever.

Einleitung

Die Körperinnentemperatur ist ein geeigneter Indikator für die Gesundheitskontrolle bei Tieren sowie die Erkennung von fieberhaften Erkrankungen, z. B. Infektionskrankheiten [1] oder Erkrankungen, die mit einer Hypothermie einhergehen. Die Messung der rektalen Körperinnentemperatur als „Goldstandard" [2, 3] ist eine Methode, die direkten Tierkontakt erfordert und sogar als invasiv bezeichnet werden kann [4, 5]. Bei Nutztieren ist dafür in der Regel aus Gründen der Arbeitssicherheit eine Fixation des Tieres notwendig. Für Tiere, die den Umgang mit dem Menschen nicht oder kaum kennen, kann jedoch schon die Fixierung zu einem stress-induzierten Anstieg der Körpertemperatur führen und so die Aussagekraft zum Gesundheitszustand des Tieres schwächen [6–8]. Hinzu kommt, dass die rektale Messung der Körperinnentemperatur arbeitsintensiv ist. Im Durchschnitt dauert die Messung der Rektaltemperatur pro Tier 15 Sekunden [9], was bei einer großen Zahl zu betreuenden Tieren einen erheblichen zeitlichen Mehraufwand bedeutet.

In der Versuchstierkunde ist das 3R-Prinzip zur Minimierung der Belastung im Versuch ein wesentlicher Bestandteil [10]. Dieses Prinzip beinhaltet in 3 Teilbereichen die Erarbeitung und Anwendung von Ersatzmethoden zum Tierversuch (‚Replace', z. B. durch in-vitro-Verdauungssysteme), von Methoden zur Verminderung der Tierzahlen im Versuch (‚Reduce', z. B. durch biometrische Tierzahlplanung) und von Methoden zur Minimierung der Belastung der Versuchstiere (‚Refine', z. B. durch Tiertraining). Letzteres kann unter anderem durch die Verwendung von alternativen Temperaturmessmethoden, die keinen direkten Kontakt zum Tier erfordern, erreicht werden. Im Rahmen der Gesundheitsbeurteilung (Scoresheet) von Tieren im Tierversuch ist eine regelmäße Kontrolle der Körpertemperatur notwendig. In einem Scoresheet eines Tierversuchs werden Untersuchungsintervalle und tierbasierte Befunde festgelegt, die Belastungen der Tiere im Versuch frühzeitig erkennen lassen und entsprechende Interventionen festlegen. Der Stress für das Tier bei den entsprechend des Scoresheets vorgegebenen regelmäßigen Untersuchungen und der damit verbundene mögliche Anstieg der Körpertemperatur können durch indirekte Temperaturmessmethoden minimiert werden.

Solche Alternativmethoden zur Messung der Körpertemperatur wurden entwickelt und evaluiert. Bei Rindern wurde die Körperinnentemperatur mittels Temperaturboli im Reticulo-Rumen [5, 11, 12] gemessen. Vaginale Temperaturlogger wurden bei Rindern und Schweinen [2, 13] eingesetzt. Die Körperoberflächentemperatur wurde berührungslos mittels Wärmebildkamera bei Schweinen, Kälbern, Ponys und Schafen [3, 8, 9, 14, 15] sowie Infrarotthermometer bei Schweinen und Rindern [9, 16] erfasst. Die Temperaturmessungen durch die Eingabe von Boli in das Reticulo-Rumen von Rindern korrelieren mit der Rektaltemperatur und konnten in diesen Studien Temperaturanstiege zur Krankheitsfrüherkennung 4 Tage vor dem Auftreten klinischer Symptome detektieren [5, 11, 12]. Vaginale Temperaturlogger zeigten bei Rindern und Schweinen gute Korrelationen zu rektalen Messungen und stellen eine Möglichkeit zur postpartalen Temperaturkontrolle dar [2, 13]. Beide Methoden ermöglichen ein kontinuierliches Temperaturmonitoring des Tieres. Jedoch ist sowohl für die Applikation eines Temperaturbolus in das Vormagensystem als auch für das Einsetzen des vaginalen Temperatursensors ein direkter Kontakt zum Tier notwendig. Zudem verbleibt der Bolus dauerhaft im Tier, auch wenn dessen Funktionsfähigkeit durch den Verbrauch der Batterie nicht mehr gegeben ist. Ebenso können Vaginallogger, wenn sie lange im Tier verbleiben durch lokale Reizung Entzündungen hervorrufen.

Die Körperoberflächentemperatur kann bei landwirtschaftlichen Nutztieren an verschiedenen Körperstellen mit einer Wärmebildkamera [8, 14] oder einem Infrarotthermometer [9, 17] gemessen werden. Die Oberflächentemperatur an Auge, Scham und Ohr zeigte die beste Korrelation zur zeitgleich gemessenen Rektaltemperatur [9, 14]. Die Messung der Körperoberflächentemperatur von

Kälbern bzw. Ponys am Auge mit Infrarotthermographie war geeignet, um frühzeitig erkrankte Tiere zu identifizieren [3, 15]. Infrarotmessungen, bei denen die Körperoberflächentemperatur punktförmig ermittelt wird (Infrarotthermometrie), wurden vergleichend zu Aufnahmen mittels Wärmebildkamera (maximale und mittlere Temperatur des untersuchten Körperareals) von Schmidt et al. [9] untersucht. Bei einem Infrarotthermometer ist die Messstelle kleiner und begrenzter als bei einer Wärmebildkamera, was die Variabilität der Messung minimiert und zu verlässlicheren Daten führt [9]. Venjakob et al. [16] fanden einen positiven Zusammenhang der mittels Infrarotthermometer gemessenen Temperatur am Ohr und der Serumcalciumkonzentration bei Kühen.

Neben den zahlreichen Vorteilen bergen Infrarot-Temperaturmessungen auch Herausforderungen. Johnson et al. [3] detektierten Temperaturunterschiede bei Messungen mit einer Infrarotkamera in Abhängigkeit der Entfernung zum Tier. Deshalb ist es bei den Messungen notwendig, einen definierten Abstand zur Messstelle an der Körperoberfläche zu garantieren, um eine Vergleichbarkeit der Messwerte zu gewährleisten. Auch können externe Klimafaktoren, wie beispielsweise die Lufttemperatur, Messwerte beeinflussen [14, 18].

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Messung der Körpertemperatur zur Gesundheitskontrolle von Schweinen in einem Transferversuch (Reg.-Nr. 0123/20) mit Infrarotthermometern zu evaluieren. Um Stress und Belastungen im Versuch durch häufige Fixation der Tiere so gering wie möglich zu halten (Refinement), sollte in der vorliegenden Studie die Eignung der berührungslosen Temperaturmessung mittels zweier Infrarotthermometer als mögliche Alternative zur rektalen Messung untersucht werden. Die Hypothesen waren: 1) die rektal gemessene Körperinnentemperatur korreliert mit der mittels Infrarotthermometer gemessenen Körperoberflächentemperatur an Stirn, Ohrbasis und Anus; 2) der Typ des Thermometers hat einen Einfluss auf die gemessene Temperatur; 3) der Messpunkt hat einen Einfluss auf die Temperatur; 4) die Messung der Körpertemperatur mit einem Infrarotthermometer ist wiederholbar.

ABKÜRZUNGEN

IRT: Infrarotthermometer
OFT: Körperoberflächentemperatur
RT: Rektaltemperatur

Material und Methoden

Tiere und Haltung

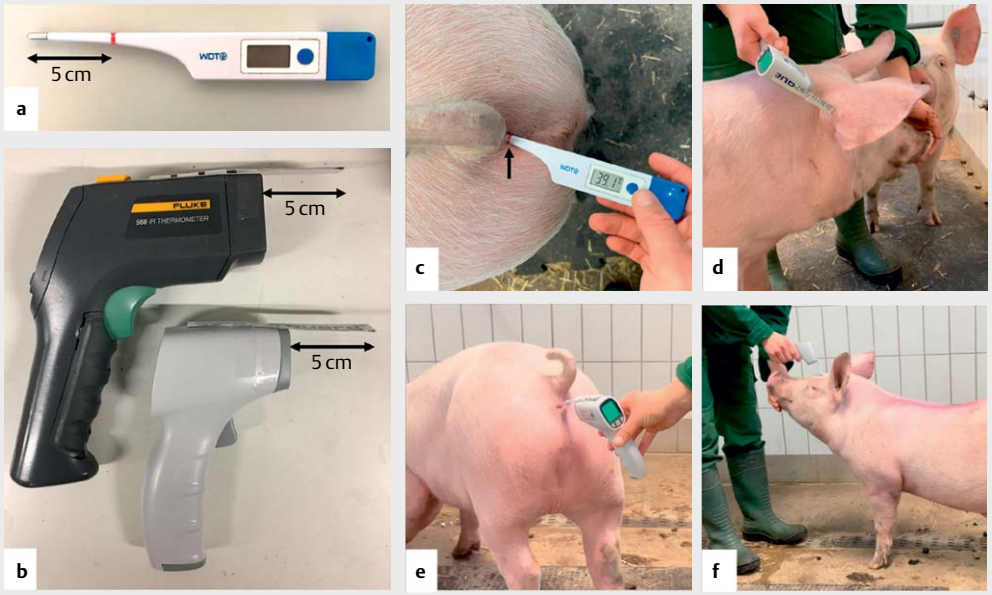
In die Studie wurden 12 männliche, kastrierte, rein weißpigmentierte Schweine (Masthybriden aus Yorkshire Schwein und Dänischer Landrasse) eingeschlossen. Die Tiere wurden im Rahmen einer Transferstudie von Januar bis April 2021 auf dem Versuchsgut des Bundesinstitutes für Risikobewertung (BfR) eingestallt. Die Tiere erhielten zweimal täglich (8 und 15 Uhr) ein Mastalleinfuttermittel (110 g/kg^{0,75} Körpergewicht und Tag [19]), das dem ernährungsphysiologischen Bedarf entspricht, sowie Stroh und Wasser ad libitum. Die Körpergewichte der Schweine betrugen im Mittel 24,7 + /- 1,6 kg bei Studienbeginn und 88,6 + /- 6,0 kg bei Studienende. Je 2 Schweine (6 Gruppen) wurden in planbefestigten Buchten (10 m^2, unterteilt in Liege- und Kotbereich) aufgestallt. Die Buchten waren mit einer Gummiliegematte und wechselndem Spielmaterial (Ball, Beißholz und -mond) ausgestattet. Die Stallräume sind mit einer Deckenlüftung und Luftwaschanlage ausgestattet. Die Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden mit einem Thermometer/Hygrometer (Weinberg 40372, Haan, Deutschland) gemessen und täglich zwischen 8:00 und 9:00 Uhr abgelesen und dokumentiert.

Messung der Körpertemperatur

Für die tierindividuelle Gesundheitskontrolle im Rahmen eines Tierversuches (Reg.-Nr. 0123/20) wurde über 11 Wochen bei den Schweinen einmal wöchentlich morgens zwischen 8:00 und 9:00 Uhr während der ersten Fütterung die Rektaltemperatur (RT) mit dem Digitalen Veterinärthermometer Vet 12 (Woiwode GmbH & Co.KG, Michelstadt) gemessen. Dafür wurde das Thermometer 5 cm in den Anus eingeführt (▶ **Abb. 1a**) [13, 20]. Durch eine Gewöhnung des Tieres an den Untersucher sowie eine Belohnung der Tiere mit Futter (naturbelassenes Popcorn) konnten die Schweine zum Stillhalten motiviert werden. Eine Fixation der Tiere war somit nicht notwendig. Das Protokoll der Gesundheitskontrolle sah vor, dass bei der wöchentlichen Messung bei Abweichungen von der physiologischen Körpertemperatur (< 38,3 bzw. > 39,3 °C [7]), diese nach 24 h erneut kontrolliert werden muss. Rektaltemperaturen ≥ 40 °C wurden als Fieber definiert. In diesem Fall wäre eine tierärztliche Untersuchung durchgeführt worden. Im Studienverlauf ist dieser Fall jedoch nicht eingetreten.

Die Körperoberflächentemperatur (OFT) wurde mit 2 Infrarotthermometern (IRT) an Stirn, caudaler Ohrbasis des rechten Ohrs (keine Ohrmarke) und Anus gemessen. Für die Messung wurden die Tiere nicht fixiert, allenfalls mit einer Futterbelohnung zum Stillhalten motiviert (▶ **Abb. 1d/f**). Für die Infrarotmessungen wurden das IRT1 – Infrarot Thermometer JPD-FR202 (Shenzen Jumper Medical Equipment Co., Ltd., Shenzhen, China) und IRT2 – Fluke 568 IR Thermometer (Fluke Deutschland GmbH, Glottertal, Deutschland) verwendet. Das IRT1 ist ein Gerät zur Messung der Körperoberflächentemperatur beim Menschen. Für Oberflächen ist der Messbereich von 0–100 °C angeben und für die Körperoberfläche von 34,9–42,2 °C. Bei einem Messabstand von 1–5 cm, Umgebungstemperatur von 10–40 °C und 15 bis 95 % Luftfeuchtigkeit beträgt die Messgenauigkeit ± 0,2 °C. Der Emissionsgrad des Gerätes beträgt 0,95. Das IRT2 ist ein Infrarotthermometer für die industrielle Anwendung. Der Messbereich liegt zwischen -40–900 °C. Bei einem Messabstand von 5 cm beträgt die Messpunktgröße 10 mm. Die Messgenauigkeit wird mit ± 0,1 °C angegeben.

Bei der Messung der rektalen Körpertemperatur wurde zu Standardisierung der Eindringtiefe von 5 cm eine Markierung am Thermometer angebracht. An den IRT wurde ein stabiler Pappstreifen mit einem freien Ende von 5 cm befestigt. Bei der Messung berührte das Ende des Pappstreifens den Messpunkt. So konnten die Messungen in einem konstanten Abstand von 5 cm durchgeführt werden. Der Abstand wurde aufgrund der Vorgaben in der Bedienungsanleitung des IRT1 gewählt (▶ **Abb. 1**). Die Messung wurde durch einmaliges Drücken der Messtaste durchgeführt. Alle Messungen wurden von der gleichen Person durchgeführt, eine zweite Person



▶ **Abb. 1** Messung der Körpertemperatur beim Schwein: Rektalthermometer mit einer 5 cm–Markierung (**a**); Infrarotthermometer mit jeweils einem 5 cm–Abstandshalter (**b**); Messung der Rektaltemperatur (**c**), Messung der Infrarottemperatur an der caudalen Ohrbasis (**d**), Anus (**e**), und Stirn (**f**); → markiert die 5 cm–Markierung. Quelle: Bundesinstitut für Risikobewertung.

▶ **Fig. 1** Measuring pigs' body temperature: rectal thermometer with a red 5 cm mark (**a**); infrared thermometers with a 5 cm spacer each (**b**); measuring the rectal temperature (**c**); measuring the infrared temperature on the caudal base of the ear (**d**), anus (**e**) and forehead (**f**); → denotes red 5 cm line. Source: German Federal Institute for Risk Assessment.

dokumentierte die Temperaturen in einer Tabelle. Die Thermometer wurden zwischen den Messungen im Stallbereich gelagert.

Zur Evaluation der Wiederholbarkeit der Messungen wurde mit jedem Thermometer an den entsprechenden Messpunkten einmalig zehnmal in Folge eine Messung durchgeführt.

Die Tiere wurden einmal wöchentlich auf einer Durchlaufwaage (Bosche Schweinewaage ETW-ZB, Damme, Deutschland) gewogen. Mit Hilfe von Futter und eines Treibebretts wurden die Tiere auf die Waage geführt und wiederum mit Futter belohnt, sobald sie vollständig auf der Waage standen.

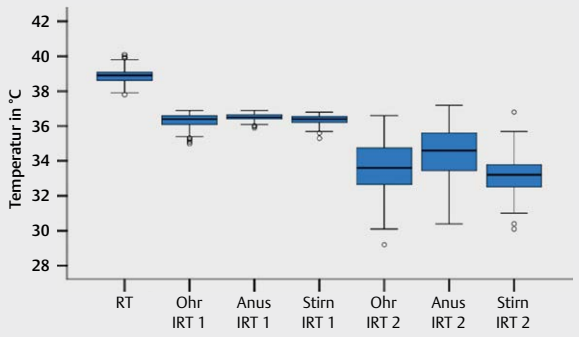
Statistische Auswertung

Die Erfassung und Auswertung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel (Version 16,56) und IBM SPSS Statistics (Version 26,0; IBM Corp., 2019). Die Stichprobengröße ergab sich aus der für die Transferstudie genehmigten und auf dem Versuchsgut des BfR eingestallten Schweine. Der Zusammenhang der Raumtemperatur, Luftfeuchte und rektalen Temperaturmessung zur Messung mittels Infrarotthermometer wurde mit dem Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Der Korrelationskoeffizient stellt selbst ein Maß für die Effektstärke dar und wurde entsprechend interpretiert: schwacher Effekt für $0{,}1 \leq r < 0{,}3$; mittlerer Effekt für $0{,}3 \leq r < 0{,}5$; starker Effekt für $r > 0{,}5$ [21]. Der Einfluss des verwendeten Thermometers und des Messpunktes auf die gemessene Temperatur wurde mit dem t-Test für verbundene Stichproben bestimmt. Aus dem t-Wert wurde die Effektstärke berechnet, wobei Effektstärken von $0{,}2 \leq d < 0{,}5$ als schwacher Effekt, $0{,}5 \leq d < 0{,}8$ als mittlerer Effekt und $d > 0{,}8$ als starker Effekt interpretiert wurde [21]. Das Signifikanzniveau betrug $p < 0{,}05$. Um die Wiederholbarkeit einer Messung zu prüfen, wurde der Varianzkoeffizient der zehnmal in Folge am entsprechenden Messpunkt gemessenen Messwerte berechnet als CV(%) = Standardabweichung/Mittelwert.

Für die Überprüfung der Übereinstimmung zweier Messmethoden (RT und IRT1 sowie RT und IRT2) empfehlen Grouven et al. [22] die Methode nach Bland-Altman. Im Bland-Altman-Plot (▶ **Abb. 3**) wird die Differenz eines Messwertpaares (RT – IRT) über dem Mittelwert des Messwertpaares dargestellt ([RT + IRT]/2) [23]. Dieser beinhaltet neben einer Linie, die den Mittelwert der Differenz angibt, 2 weitere Linien – die obere und die untere Übereinstimmungsgrenze. Berechnet werden letztere aus dem Mittelwert der Differenz (MW_D) und der Standardabweichung der Differenz (SD_D).

Ergebnisse

Luftfeuchte, Raumtemperatur und Körpergewicht sowie RT und OFT, gemessen mittels IRT an Ohr, Stirn und Anus, wurden bei 12 Schweinen zu 11 Messzeitpunkten ausgewertet (n = 132) (▶ **Tab. 1**). Die RT und mittels IRT1 und IRT2 gemessenen Temperaturen sind in ▶ **Abb. 2** dargestellt. An allen 3 Infrarot-Messpunkten war die Temperatur geringer als die RT (im Mittel 38,9 °C). Die mittels IRT2 gemessenen Temperaturen (im Mittel 33,8 °C) waren geringer als bei Messungen mit dem IRT1 (im Mittel 36,4 °C) ($p < 0{,}05$). Die Varianz der Messungen an Ohrbasis/Anus/Stirn war größer für IRT2 (2,19/2,03/1,12) als für IRT1 (0,15/0,04/0,73) und das Rektalthermometer (0,2) ($p < 0{,}05$).



▶ **Abb. 2** Boxplot für die Darstellung der Streuung der gemessenen Temperaturwerte (n = 132) mit 3 verschiedenen Thermometern (Rektalthermometer [RT], Infrarotthermometer 1 [IRT1] und Infrarotthermometer 2 [IRT2]) an unterschiedlichen Messpunkten mit Median, 1. und 3. Quartil (Box) sowie Minimal- und Maximalwerte (Antennen) und Ausreißer (Punkte). Quelle: Bundesinstitut für Risikobewertung.

▶ **Fig. 2** Boxplot for demonstration of variation of temperatures measured (n = 132) with 3 different thermometers (rectal [RT] and infrared [IRT1 and IRT2]) at different body parts with median, 1st and 3rd quartil (box), minimum and maximum (whiskers) and outliers (dots). Source: German Federal Institute for Risk Assessment.

▶ **Tab. 1** Mittelwert (MW), Minimum (Min), Maximum (Max) und Standardabweichung (SD) der Luftfeuchte, Raumtemperatur, Körpergewicht, Rektaltemperatur (RT) und Körperoberflächentemperatur an Ohrbasis, Anus und Stirn gemessen mit 2 Infrarotthermometern (IRT1 und IRT 2) beim Schwein (n = 12).

▶ **Table 1** Mean (MW), minimum (Min), maximum (Max) and standard deviation (SD) of humidity, room temperature, bodyweight, rectal temperature (RT) and body surface temperature at the base of the ear, anus and forehead of pigs (n=12) measured with 2 infrared thermometers (IRT1 and IRT2).

Parameter	MW	Min	Max	SD
Luftfeuchte, %	31,8	20,0	43,0	6,3
Raumtemperatur, °C	19,2	18,0	20,2	0,5
Körpergewicht, kg				
Woche 1	24,7	21,2	27,0	1,6
Woche 12	88,6	80,6	100,0	6,0
Körpertemperatur, °C				
RT	38,9	37,8	40,1	0,5
IRT - Ohr				
IRT1	36,3	35,0	36,9	0,4
IRT2	33,6	29,2	36,6	1,5
IRT - Anus				
IRT1	36,5	35,9	36,9	0,2
IRT2	34,5	30,4	37,2	1,4
IRT - Stirn				
IRT1	36,3	35,3	36,8	0,3
IRT2	33,2	30,1	36,8	1,1

▶ **Tab. 2** Pearson-Korrelationskoeffizient zur Beschreibung des Zusammenhangs zwischen gemessenen Körpertemperaturen beim Schwein (n = 12); RT – Rektaltemperatur, 2 IRT – Infrarotthermometer (IRT1 und IRT2).

▶ **Table 2** Pearson correlation coefficient describing the relation between body temperatures in pigs (n = 12); RT – rectal temperature, 2 IRT – infrared thermometer (IRT1 and IRT2).

	Korrelation	Signifikanz	Effektstärke
RT und IRT			
Ohr			
IRT1	0,21	0,15	schwach
IRT2	0,43	0,00	mittel
Anus			
IRT1	0,15	0,08	-
IRT2	0,26	0,03	schwach
Stirn			
IRT1	0,01	0,94	-
IRT2	0,20	0,02	schwach
IRT1 und IRT2			
Ohr	0,37	0,00	mittel
Anus	0,26	0,00	schwach
Stirn	0,49	0,00	mittel

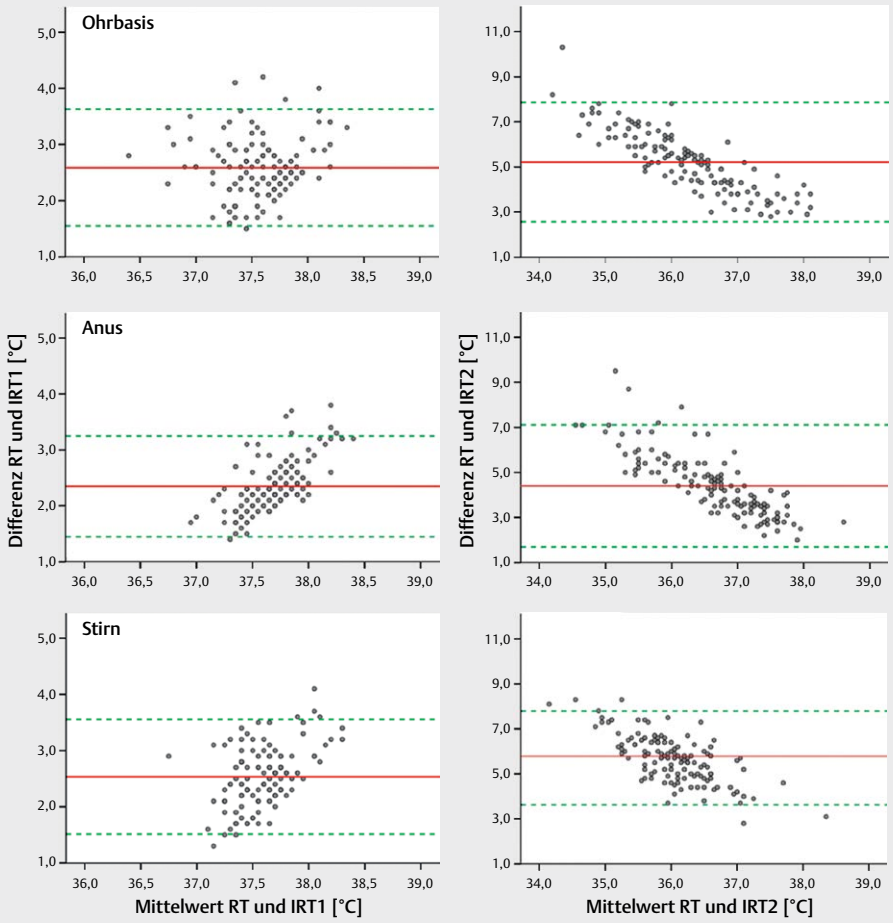
Der Korrelationskoeffizient für Raumtemperatur und Luftfeuchte war $r = 0{,}334$ ($p < 0{,}05$). Der Zusammenhang von Raumtemperatur und Luftfeuchte zur RT und OFT war nicht signifikant für IRT1 bzw. schwach für IRT2 ($r = 0{,}198$ bis $r = 0{,}297$; $p < 0{,}05$). Die RT sowie OFT und das Körpergewicht korrelierten nicht. Die Korrelation der Rektaltemperatur mit der OFT gemessen mit IRT1 und IRT2 an Ohrbasis, Anus und Stirn ist in ▶ **Tab. 2** dargestellt.

Um die **Wiederholbarkeit der Messungen** der Körpertemperatur zu prüfen, wurden der Varianzkoeffizient (%) bei 10 aufeinanderfolgenden Messungen mit dem jeweiligen Thermometer an den entsprechenden Messstellen errechnet und miteinander verglichen. Die Wiederholbarkeit einer Messung ist umso besser, je geringer die Varianz der in Folge gemessenen Messwerte ist [23]. Die Varianzen der Messung waren am geringsten für die RT und OFT an Stirn und Anus gemessen mit IRT1. Die Varianzen sind überwiegend nicht homogen zwischen den Thermometern bzw. Messpunkten ($p > 0{,}05$) (▶ **Tab. 3**).

Die **Mittelwerte der Thermometer** unterschieden sich an den entsprechenden Messpunkten signifikant voneinander ($p < 0{,}05$) mit Ausnahme des IRT1 an Stirn und Ohr ($p > 0{,}05$). Nach Cohen ist der Effekt schwach bis mittel (▶ **Tab. 4**).

Vergleichbarkeit der Messwertreihen

Der Bland-Altman-Graph für die Darstellung der Differenz zwischen RT und IRT1 sowie IRT2 und den Mittelwerten von RT und IRT1 sowie IRT2 zeigt, dass die meisten Messwerte innerhalb der oberen und unteren Übereinstimmungsgrenze, dem akzeptablen Schwankungsbereich, liegen (95 %-Limit). Dennoch ist die tatsächliche Differenz der Messwerte zwischen der RT und IRT für beide



▶ **Abb. 3** Differenz der Messwerte der Rektaltemperatur (RT) und der Körperoberflächentemperatur an Ohrbasis, Anus und Stirn mit zwei Infrarotthermometern (IRT1 und IRT2) in Abhängigkeit des Mittelwertes von RT und IRT; rote Linie – mittlere Differenz, grün gestrichelte Linie – obere und untere Übereinstimmungsgrenze (95 %-Limit). Quelle: Bundesinstitut für Risikobewertung.

▶ **Fig. 3** Difference between rectal temperature (RT) and body surface temperature at ear basis, anus and forehead measured with two infrared thermometers (IRT1 and IRT2) against mean of RT and IRT; red line – mean, green dashed line – upper and lower limit of agreement (95% limit). Source: German Federal Institute for Risk Assessment.

IRT für alle Messpunkte (Ohrbasis, Anus und Stirn) höher als der akzeptable Schwankungsbereich (▶ **Abb. 3**). Unter der Annahme, dass Unterschiede innerhalb des akzeptablen Schwankungsbereich klinisch nicht relevant wären, sind die beiden Messmethoden, rektale und Infrarotmessung, gleichwertig einsetzbar. Der mittlere Schwankungsbereich für die Differenz RT-IRT1 (1,5–3,5 °C) ist kleiner als für die Differenz RT-IRT2 (2,6–7,6 °C). Der Schwankungsbereich gibt an, dass die Infrarotmessungen in 95 % der Fälle einen Wert liefern, der sich im Mittel um 1,5–3,5 °C (IRT1) bzw. 2,6–7,6 °C (IRT2) von dem Wert der rektalen Temperaturmessung unterscheidet.

Diskussion

Ziel dieser Studie war es, zu testen, ob Infrarotthermometer für die Köpertemperaturmessung zur Gesundheitsüberwachung von Schweinen geeignet sind. Eine Messung mit einem IRT könnte den Arbeitsaufwand und den Stress für die Tiere bei der Kontrolle der Körpertemperatur verringern.

In dieser Studie hat sich gezeigt, dass der Messpunkt einen Einfluss auf die gemessene Körpertemperatur hat. Die Mittelwerte unterscheiden sich an den Messpunkten für das jeweilige IRT signifikant voneinander (außer Ohr-Stirn [IRT1]). Die Durchblutung der Haut an der Messstelle spielt dabei eine Rolle. Areale, die stets gut durchblutet sind (z. B. Ohrbasis), eignen sich am besten für Infrarotmessungen [24]. Sie spiegeln die innere Körpertemperatur besser wider als Hautareale, die von der Umgebungstemperatur stark beeinflusst werden (z. B. Ohrspitze) oder durch einen hohen Körperfettanteil gut isoliert sind (z. B. Schulter). Dementsprechend zeigte die OFT an der gut durchbluteten Ohrbasis für beide IRT die beste Korrelation zur RT. Für IRT2 war die Korrelation zwar für Stirn und Anus ebenfalls signifikant, aber weniger deutlich. Andere Studien untersuchten Messstellen an Ohr, Stirn und Anus sowie an Auge, Rücken, Vulva, Gesäuge, Flanke und Klaue [9, 17, 25]. Wendt et al. [25] stellten gleichsam zu unseren Untersuchungen die beste

▶ **Tab. 3** Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Varianzkoeffizient (CV [%]) von 10 Messwiederholungen der Rektaltemperatur (RT) und mittels 2 Infrarotthermometern (IRT1 und IRT2) gemessenen Temperatur bei einem Schwein.

▶ **Table 3** Mean (MW), standard deviation (SD) and coefficient of variance (CV [%]) of 10 repeated measurements of rectal temperature and temperature measured using 2 different infrared thermometers (IRT1 and IRT2) in one pig.

	MW	SD	CV (%)
RT	38,5	0,17	0,4
IRT1			
Stirn	36,4	0,19	0,5
Ohr	35,8	0,29	0,8
Anus	36,7	0,08	0,2
IRT2			
Stirn	32,9	0,55	1,7
Ohr	32,7	0,78	2,4
Anus	35,6	0,53	1,5

▶ **Tab. 4** Unterschied der Mittelwerte der Infrarotthermometer (IRT1 und IRT2) an den verschiedenen Messpunkten mit Mittelwertdifferenz ($Diff_{MW}$), Standardabweichung (SD), Effektgröße (d) und Signifikanz (p).

▶ **Table 4** Difference of mean of the infrared thermometers (IRT1 and IRT2) at the distinct body locations with mean difference (Diff-MW), standard deviation (SD), Cohens effect (d) and significance (p).

	$Diff_{MW}$	SD	d	p
IRT1				
Ohr Anus	0,24	0,39	0,61	<0,001
Ohr Stirn	0,06	0,46	0,12	0,156
Anus Strin	0,18	0,30	0,61	<0,001
IRT2				
Ohr Anus	0,75	1,83	0,41	<0,001
Ohr Stirn	0,48	1,66	0,29	0,001
Anus Stirn	1,2	1,76	0,69	<0,001

Korrelation zwischen der RT und OFT an der Ohrbasis fest. Schmidt et al. [9] identifizierten Messungen am Auge und an der Ohrbasis als am geeignetsten. Im Gegensatz dazu sahen Dewulf et al. [17] keinen Zusammenhang der RT zur OFT am Ohr, ohne exakte Beschreibung der Lokalisation. Grund für dieses abweichende Ergebnis ist möglicherweise die Messung der Temperatur an einer von der Ohrbasis abweichenden Stelle. Studien mit Wärmebildkameras zeigen einen Abfall der OFT am Ohr von der Ohrbasis in Richtung Ohrspitze [4, 6]. Zwei Studien, in denen Infrarotthermografie angewendet wurde, identifizierten die Vulva bei liegenden Sauen und das Gesäuge als Messstellen mit der besten Korrelation zur RT [9, 14]. Jedoch sind diese Messpunkte aufgrund von säugenden Ferkeln am Gesäuge und Verschmutzungen im Anal- und Schambereich in der praktischen Anwendung ungeeignet.

Die vorliegende Studie untersuchte 2 unterschiedliche Infrarotthermometer. Es wurde festgestellt, dass der Typ des Thermometers (RT, IRT1 bzw. IRT2) einen Einfluss auf die gemessene Temperatur hat. Die Mittelwerte an den jeweiligen Messpunkten unterschieden sich voneinander. Ein Vergleich der Rektaltemperatur mit 4 verschiedenen Rektalthermometern zeigte hingegen kaum Abweichungen der gemessenen Temperatur (0,1–0,3 °C) [20]. Schmidt et al. [9] untersuchten vergleichend die Eignung einer Infrarotkamera und eines Infrarotthermometers zur Messung der OFT. Als Fazit der Untersuchungen eignet sich das Infrarotthermometer aufgrund geringerer Varianzen der Messwerte besser zur Erkennung von Veränderungen der OFT. In der vorliegenden Studie sind die Varianzen bei Messwiederholungen (▶ **Tab. 3**) höher für IRT2 als für IRT1 und die RT. Die Wiederholbarkeit der Messung als ein Parameter der Evaluation der Qualität einer Methode ist folglich besser für RT und IRT1 [23].

Für den direkten Methodenvergleich ist die Verwendung des Korrelationskoeffizienten ungeeignet, da eine hohe Korrelation nicht notwendigerweise mit einer Übereinstimmung der Werte zweier Messmethoden gleichzusetzten ist [23]. Bland und Altman [23] schlagen ein einfaches grafisches Verfahren vor, um 2 Messmethoden zu vergleichen. Nach deren Verfahren sind die Messmethoden in der aktuell vorliegenden Studie statistisch gleichwertig. Die innere Körpertemperatur bewegt sich in einem engen physiologischen Schwankungsbereich (38,3–39,3 °C), der geringer ist als der Schwankungsbereich der Temperaturdifferenz zwischen rektaler und Infrarotmessung (▶ **Abb. 3**). Unter Berücksichtigung klinischer Schwankungsbereiche sind die Messwertdifferenzen zu groß, als dass eines der beiden Infrarotthermometer als direkte Alternative zur rektalen Temperaturmessung verwendet werden kann. ▶ **Abb. 3** lässt vermuten, dass die Unterschiede zwischen den rektal gemessenen Temperaturen und den OFT von der Körpertemperatur abhängen. Bei dem IRT1 sind die Unterschiede bei niedrigeren Körpertemperaturen kleiner als bei höheren Temperaturen, wogegen bei dem IRT2 die Unterschiede bei niedrigeren Körpertemperaturen höher sind. Eine mögliche Erklärung für diesen Effekt sind die unterschiedlichen technischen Voraussetzungen der Thermometer.

Infrarotmessungen sind bei Schweinen gut anwendbar, da durch die geringe Ausprägung des Haarkleides die direkte Hauttemperatur gemessen wird [24]. Ein direkter Tierkontakt ist bei Verwendung von Infrarotmessmethoden nicht notwendig, sodass das Risiko der Übertragung von Krankheitserregern durch Untersucher und Untersuchungsgerät stark verringert ist. Gleichzeitig ist die Methode dadurch einfach durchführbar und tierschonender, vor allem für Tiere, die Umgang mit dem Menschen nicht oder kaum gewohnt sind.

Allerdings deuten die Ergebnisse der vorliegenden Studie darauf hin, dass bei der Verwendung eines Infrarotthermometers für die Kontrolle der Körpertemperatur bei Schweinen zu beachten ist, dass die Werte von Thermometer und Messpunkt abhängen können. Bisher wurden keine Referenzwerte für Infrarotmessungen etabliert. Da in den meisten bisherigen Studien zu Infrarotmessungen unterschiedliche Tierarten, Altersklassen und Messgeräte Ge-

genstand der Untersuchungen waren, ist die Vergleichbarkeit untereinander und das Ableiten entsprechender Referenzwerte schwierig. Trotz der großen Varianz der Ergebnisse, sehen Soerensen and Pedersen [24] großes Potential in Infrarotmessungen.

Im Laufe dieser Studie kam es zu fast keiner Veränderung der physiologischen Körpertemperatur der Studientiere. Nur bei 2 Messungen zum ersten Messzeitpunkt von insgesamt 132 Messungen wurde eine Rektaltemperatur ≥ 40 °C gemessen. Da diese Tiere keine Anzeichen reduzierten Allgemeinbefindens oder andere Krankheitssymptomatik zeigten, ist die erhöhte Temperatur mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den Stress in der ungewohnten Situation zurückzuführen [7]. Somit ist eine Beurteilung der Erkennung von fieberhaften Erkrankungen mit Infrarotthermometern in dieser Studie nicht möglich. Andere Studien berichten über unterschiedliche Ergebnisse bei der Erkennung von Fieber beim Schwein mittels Infrarotmessungen. In einigen Studien konnten Infrarottemperaturmessungen an Auge, Ohr und Gesäuge kranke Schweine identifizieren [9, 14]. Andere Studien beschreiben die Verwendung der OFT zur Diagnose von Fieber als ungeeignet [17, 25]. Messungen der Temperatur mittels IRT am Auge von Rindern ergaben keinen Zusammenhang zur RT [26]. Infrarotkameras hingegen konnten mit hoher Sensitivität Fieber in Zusammenhang mit Atemwegserkrankungen beim Rind identifizieren [15]. In einer Studie mit 24 Ponys konnten mit IRT am Auge mit einer Sensitivität von 74,6 % und einer Spezifität von 92,3 % fieberhaft erkrankte Tiere identifiziert werden [3].

Die Lufttemperatur hat auf alle Hautlokalisationen einen signifikanten Einfluss bei der Temperaturmessung [14, 18]. Trotz der schwachen Korrelation von Raumtemperatur und Luftfeuchte zu Messungen mit dem IRT2, konnte deren Einfluss in der vorliegenden Studie weitestgehend ausgeschlossen werden, da die Umgebungsbedingungen zu allen Messzeitpunkten gleich waren. Weitere mögliche Einflüsse, wie Schmutz auf dem Tier an den Messlokalisationen oder das Geschick im Umgang mit der Infrarotkamera oder -thermometer können zu variierenden Messergebnissen führen. Letzteres lässt sich durch Übung am Tier sowie die Gewöhnung der Tiere an die Anwesenheit von Personen schnell verbessern und führt zu einem Messergebnis innerhalb weniger Sekunden. Weiterhin sorgt ein Futteranreiz für das Tier für die notwendige Nähe und das kurzzeitige Stillhalten des Tieres während der Messung.

Die Messung der Körperoberflächentemperatur mittels Infrarotthermometer ergibt Werte, die mit der gemessenen Rektaltemperatur korrelieren. Obwohl Infrarotmessungen nicht direkt gleichwertig zur rektalen Messung eingesetzt werden können, ist möglicherweise die Etablierung von Referenzwerten für Infrarotmessungen eine Alternative, um Infrarotmessungen in der klinischen Untersuchung und Diagnostik verlässlich einsetzen zu können. Insbesondere im Versuchstierbereich, wo eine engmaschige Kontrolle der Körpertemperatur (Scoresheet) erfolgen muss und die Tiere meist unter standardisierten klimatischen Bedingungen gehalten werden, können Infrarotmessungen zum Refinement beitragen. Die Unterschiede zwischen den in der vorliegenden Studie verwendeten Infrarotthermometern zeigen, dass jedoch zunächst Referenzwerte für die eingesetzten Infrarotthermometer und Messpunkte mit Hilfe eines Standard-Messprotokolls für Infrarotmessungen bestimmt werden müssen, die auch Veränderungen der Körpertemperaturen außerhalb des physiologischen Bereiches mit einschließen.

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Die Durchführbarkeit der berührungslosen Messung der Körpertemperatur beim Schwein mittels Infrarotthermometer ist einfach und mit geringem Zeitaufwand möglich. Das Stresslevel für das Tier ist minimal, da eine Fixation nicht notwendig ist. Als geeignetste Messstelle mit der besten Korrelation zur Rektaltemperatur ist die Ohrbasis zu empfehlen. Die Möglichkeit, Fieber mittels Infrarotthermometer zu detektierten, konnte in der vorliegenden Studie nicht evaluiert werden, da Körpertemperaturen lediglich bei 2 Messungen außerhalb des physiologischen Schwankungsbereiches detektiert wurden. In dieser Studie hatten Messpunkt und Typ des Thermometers Einfluss auf die Messwerte. Daher empfehlen wir bei der Verwendung von Infrarotthermometrie als Alternativmethode zur rektalen Temperaturmessung das jeweils zu verwendende Thermometer am entsprechenden Messpunkt mit einigen Referenzmessungen mit einem Rektalthermometer zu validieren, unter Einbeziehung physiologischer und pathologischer Werte der Körpertemperatur.

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Danksagung

Wir möchten uns herzlich bei dem Team der Tierpflegenden am BfR bedanken für die allzeit hervorragende Unterstützung.

Erklärung zur Einhaltung der Tierschutzrichtlinien

Die Studie wurde im Rahmen eines vom Landesamt für Gesundheit und Soziales (LaGeSo) genehmigten Tierversuches (Reg.-Nr. 0123/20) unter Einhaltung nationaler tierschutzrechtlicher Gesetzgebung (TierSchG, TierSchVersV) und der EU-Richtlinie 2010/63/ EU durchgeführt.

Widmung

Die Arbeit ist Prof. Dr. Rolf Mansfeld gewidmet, für seine wertvolle Arbeit im Bereich der Nutztiermedizin.

Literatur

[1] Fischer-Tenhagen C, Arlt SP. Taking body temperature in cattle – critical evaluation of an established diagnostic test. Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere 2020; 48: 262–267

[2] Vickers LA, Burfeind O, von Keyserlingk MA et al. Technical note: Comparison of rectal and vaginal temperatures in lactating dairy cows. J Dairy Sci 2010; 93: 5246–5251

[3] Johnson SR, Rao S, Hussey SB et al. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. J Equine Vet Sci 2011; 31: 63–66

[4] Tabuaciri P, Bunter KL, Graser H. Thermal Imaging as a Potential Tool for Identifying Piglets at Risk. In: Hermesch S., K. D, Hrsg. AGBU Pig Genetics Workshop Notes. Armidale, Australia: Animal Genetics and Breeding Unit, University of New England; 2012: 29–30

[5] Voss B, Laue HJ, Hoedemaker M et al. Field-trial evaluation of an automatic temperature measurement device placed in the reticulo-rumen of pre-weaned male calves. Livest Sci 2016; 189: 78–81

[6] Warriss PD, Pope SJ, Brown SN et al. Estimating the body temperature of groups of pigs by thermal imaging. Vet Rec 2006; 158: 331–334

[7] Baumgartner W. Innere Körpertemperatur. In: Baumgartner W, Hrsg. Klinische Propädeutik der Haus- und Heimtiere. 8th. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2014

[8] McManus C, Tanure CB, Peripolli V et al. Infrared thermography in animal production: An overview. Comput Electron Agric 2016; 123: 10–16

[9] Schmidt M, Lahrmann K-H, Ammon C et al. Assessment of body temperature in sows by two infrared thermography methods at various body surface locations. J Swine Health Prod 2013; 21: 203–209

[10] BfR. Forschung am Bf3R (2022). Im Internet: https://www.bf3r.de/de/forschung_am_bf3r-276706.html; Stand: 27.07.2022

[11] Rose-Dye TK, Burciaga-Robles LO, Krehbiel CR et al. Rumen temperature change monitored with remote rumen temperature boluses after challenges with bovine viral diarrhea virus and Mannheimia haemolytica. J Anim Sci 2011; 89: 1193–1200

[12] Adams AE, Olea-Popelka FJ, Roman-Muniz IN. Using temperature-sensing reticular boluses to aid in the detection of production diseases in dairy cows. J Dairy Sci 2013; 96: 1549–1555

[13] Stiehler T, Heuwieser W, Pfützner A et al. Wiederholbarkeit der Messung der Rektaltemperatur und Vergleich von vaginaler und rektaler Temperatur bei Sauen im Frühpuerperium. Tierärztl Prax Großtiere 2013; 4: 217–223

[14] Traulsen I, Naunin K, Müller K et al. Untersuchungen zum Einsatz der Infrarotthermographie zur Messung der Körpertemperatur bei Sauen. Züchtungskunde 2010; 82: 4337–4446

[15] Schaefer AL, Cook NJ, Church JS et al. The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. Res Vet Sci 2007; 83: 376–384

[16] Venjakob PL, Borchardt S, Thiele G et al. Evaluation of ear skin temperature as a cow-side test to predict postpartum calcium status in dairy cows. J Dairy Sci 2016; 99: 6542–6549

[17] Dewulf J, Koenen F, Laevens H et al. Infrared thermometry is not suitable for the detection of fever in pigs. Vlaams Diergeneeskd Tijdschr 2003; 72: 373–379

[18] Loughmiller JA, Spire MF, Dritz SS et al. 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: 676–681

[19] Kamphues J, Wolf P, Coenen M et al. Ernährung Verschiedener Spezies (Schweine). In: Kamphues J, Wolf P, Coenen M et al., Hrsg. Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis. Hannover, Germany: M. & H. Schaper; 2014: 371

[20] Burfeind O, von Keyserlingk MA, Weary DM et al. Short communication: repeatability of measures of rectal temperature in dairy cows. J Dairy Sci 2010; 93: 624–627

[21] Cohen J. A power primer. Psychol Bull 1992; 112: 155–159

[22] Grouven U, Bender R, Ziegler A et al. Comparing methods of measurement. Dtsch Med Wochenschr 2007; 132: e69–e73

[23] Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. Stat Methods Med Res 1999; 8: 135–160

[24] Soerensen DD, Pedersen LJ. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review. Acta Vet Scand 2015; 57: 5

[25] Wendt M, Eickhoff K, Koch R. Die Messung der Hauttemperatur als Methode zur Erkennung fieberhaft erkrankter Schweine. Berl und Münch Tierärztl Wochenschr 1997; 104: 29–33

[26] Eveslage-Rüter B, Gesche C. Is it Possible to Perform Non-contact Measurement of Body Temperature on the Bovine Eye? 8th European Conference on Precision Livestock Farming; 12–14 September 2017; Nantes, France; Imprimerie Parenthese 2017; 409–415