



Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources
and Life Sciences, Vienna

Masterarbeit

Effektive Kühlung durch Schweineduschen im Auslauf: Was sagt die Infrarotthermografie?

verfasst von

Esther Elisabeth KUNERT, BSc

im Rahmen des Masterstudiums
Nutztierwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieurin

Wien, Oktober 2021

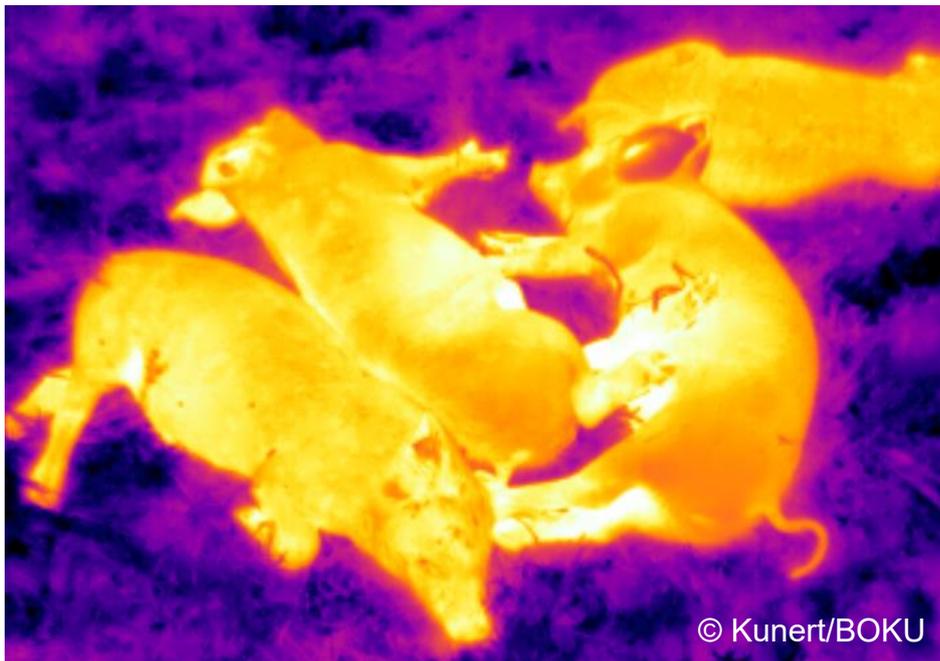
Betreut von:

Assoc. Profⁱⁿ. Priv.-Dozⁱⁿ. Drⁱⁿ.med.vet. Christine Leeb
Institut für Nutztierwissenschaften
Department für Nachhaltige Agrarsysteme

Mitbetreut von:

Dipl.-Ing.ⁱⁿ Cäcilia Wimmeler
Univ.Prof. Dr.med.vet. Christoph Winckler

Institut für Nutztierwissenschaften
Department für Nachhaltige Agrarsysteme



Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere an Eides statt, dass ich diese Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Alle Gedanken, die im Wortlaut oder in grundlegenden Inhalten aus unveröffentlichten Texten oder aus veröffentlichter Literatur übernommen wurden, sind ordnungsgemäß gekennzeichnet, zitiert und mit genauer Quellenangabe versehen.

Die vorliegende Arbeit wurde bisher weder ganz noch teilweise in gleicher oder ähnlicher Form an einer Bildungseinrichtung als Voraussetzung für den Erwerb eines akademischen Grades eingereicht. Sie entspricht vollumfänglich den Leitlinien der Wissenschaftlichen Integrität und den Richtlinien der Guten Wissenschaftlichen Praxis.

Wien, Oktober 2021

Esther Elisabeth KUNERT (eigenhändig)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei allen bedanken, die mich im Laufe der Entstehung dieser Masterarbeit unterstützt und motiviert haben.

Ein herzliches Dankeschön geht an meine BetreuerInnen, Frau **Dipl.-Ing. Cäcilia Wimpler**, Frau **Assoc. Prof. Priv.-Doz. Dr.med.vet. Christine Leeb** und Herrn **Univ.Prof. Dr.med.vet. Christoph Winckler**, die mir von Beginn an mit Fachwissen, Ratschlägen und Hilfestellungen zur Seite standen und ohne deren Unterstützung die Durchführung dieser Masterarbeit nicht möglich gewesen wäre.

Ebenso möchte ich mich bei Frau **Dr. sc. ETH Mirjam Holinger**, Mitarbeiterin am Department für Nutztierwissenschaften im Forschungsinstitut für biologischen Landbau, für die Zurverfügungstellung der Daten und die Beantwortung der vielen Fragen bezüglich des Versuchsablaufs auf den Schweizer Betrieben herzlich bedanken.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn **Andreas Mittermayer und seiner Familie**, auf dessen tollem, biologisch bewirtschaftetem Betrieb ich meinen Versuch durchführen durfte, ganz herzlich für den freundlichen Empfang, die große Hilfsbereitschaft und die liebevolle Verpflegung bedanken.

Ferner danke ich den Familien **Holdener** und **Grossenbacher** aus der Schweiz, die mit ihren beeindruckenden biologisch bewirtschafteten Betrieben an diesem großartigen Versuch teilnahmen.

Auch möchte ich Frau **Dipl.-Ing. Daniela Kottik**, der Versuchstechnikerin des Instituts für Nutztierwissenschaften, für die hervorragende technische Unterstützung und die schnelle Hilfe danken.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei meinem Freund **Oliver Gsöls** bedanken. Speziell bin ich für seine Geduld, Rücksichtnahme und für die moralische Unterstützung dankbar.

Abschließend gilt mein größtes und herzlichstes Dankeschön meinen Eltern, **Gabriela** und **Hermann Kunert**, die mir mein Studium ermöglicht haben und mir immer beiseite gestanden sind.

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|-----|
| Eidesstattliche Erklärung | i |
| Danksagung | ii |
| INHALTSVERZEICHNIS | iii |
| Abstract | v |
| Kurzfassung..... | vi |
| 1 Einleitung und Problemstellung | 1 |
| 2 Ziele und Forschungsfragen | 3 |
| 2.1 Forschungsfragen..... | 3 |
| 3 Literaturübersicht..... | 4 |
| 3.1 Thermoregulation und Hitzestress bei Schweinen | 4 |
| 3.1.1 Körperkern und Körperschale | 4 |
| 3.1.2 Wärmehaushalt und Thermoregulation | 6 |
| 3.1.3 Thermoneutrale Zone | 6 |
| 3.1.4 Anpassung an hohe Umgebungstemperaturen | 8 |
| 3.2 Abkühlungsmöglichkeiten für Schweine | 10 |
| 3.2.1 Suhle..... | 10 |
| 3.2.2 Schweineduschen..... | 11 |
| 3.3 Infrarotthermografie (IRT) zur Erfassung der Oberflächentemperatur | 13 |
| 3.3.1 Grundsätze der IRT | 14 |
| 3.3.2 Atmosphärische Fenster | 16 |
| 3.3.3 Analyse der Wärmebilder..... | 17 |
| 3.3.4 Anwendungsbereiche | 17 |
| 3.3.5 Potentielle Einflussfaktoren auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung..... | 21 |
| 4 Tiere, Material und Methoden..... | 28 |
| 4.1 Betriebe und Tiere | 28 |
| 4.2 Duschen im Auslauf..... | 32 |
| 4.3 Datenerhebung..... | 33 |
| 4.3.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit | 33 |
| 4.3.2 Infrarotthermographie und Versuchsablauf | 33 |
| 4.4 Auswertung der Infrarot-Wärmebilder..... | 35 |
| 4.4.1 Software für Auswertung der Wärmebilder | 35 |
| 4.4.2 Auswahl der Untersuchungsregionen | 36 |
| 4.4.3 Auswertungsplan | 37 |
| 4.4.4 Inter- und Intra-Observer Reliabilität (IOR) | 38 |
| 4.4.5 Auswertung | 39 |
| 4.5 Datenaufbereitung und statistische Auswertung | 39 |
| 4.5.1 Schrittweise Aufbereitung der Temperaturdaten..... | 39 |
| 4.5.2 Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung | 42 |
| 4.5.3 Einfluss der Region..... | 42 |
| 4.5.4 Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit | 42 |
| 4.5.5 Übertragungseffekt („Carry-Over Effekt“)..... | 42 |
| 4.5.6 Statistisches Modell | 43 |
| 5 Ergebnisse | 45 |
| 5.1 IOR..... | 45 |
| 5.1.1 Beobachterinnen-Übereinstimmung bei der Auswahl der Regionen..... | 45 |
| 5.1.2 Übereinstimmung der Messung der Hautoberflächentemperatur..... | 46 |

| | | |
|--------------------------------------|--|----|
| 5.1.3 | Konsequenz der IOR-Ergebnisse für die weitere Analyse | 48 |
| 5.2 | Potentielle Einflussfaktoren auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung | 50 |
| 5.2.1 | Direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung | 50 |
| 5.2.2 | Einfluss der Region | 54 |
| 5.2.3 | Zusammenhang zwischen Hautoberflächentemperatur und THI | 54 |
| 5.2.4 | Übertragungseffekt bzw. „Carry-Over-Effekt“ bei den Durchgängen..... | 56 |
| 5.3 | Einfluss der Duschen auf die Hautoberflächentemperatur | 57 |
| 5.3.1 | Betrieb AT01 | 57 |
| 5.3.2 | Schweizer Betriebe (CH12) | 59 |
| 6 | Diskussion | 61 |
| 6.1 | On-farm-Anwendung von IRT | 61 |
| 6.2 | Auswertungsplan und IOR | 62 |
| 6.3 | Potentielle Einflussfaktoren auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung | 63 |
| 6.3.1 | Direktes Sonnenlicht | 63 |
| 6.3.2 | Kotverschmutzung | 64 |
| 6.3.3 | Pigmentierung | 65 |
| 6.3.4 | Region | 66 |
| 6.3.5 | Zusammenhang zwischen Hautoberflächentemperatur und THI | 66 |
| 6.3.6 | Übertragungseffekt bzw. „Carry-Over-Effekt“ bei den Durchgängen..... | 67 |
| 6.3.7 | Auswertung auf Gruppenebene | 67 |
| 6.4 | Effektivität der Dusche | 68 |
| 7 | Schlussfolgerung | 72 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 74 |
| 9 | Abbildungs- und Tabellenverzeichnis | 84 |
| 10 | Anhang | 89 |
| 10.1 | Auswertungsplan | 90 |
| Nicht-thermische Fenster (NTF) | | 90 |
| Thermisches Fenster (TF) | | 94 |

Abstract

For pigs kept in organic housing systems with access to concrete outdoor runs showers are increasingly important to alleviate heat stress. The aim of this master thesis was to investigate the effectiveness of showers in the outdoor run by measuring skin surface temperature (SST) with infrared thermography. Therefore, experiments were conducted on three commercial organic farms in Austria (AT) and Switzerland (CH), including 4-6 pens of growing-finishing pigs per farm (total of 428 pigs). In half of the outdoor runs mist-like sprinklers were installed, which ran 5-6 times per day for 30 minutes, followed by a 30- (CH) or 60-minutes (AT) break. On 2-3 days with outside temperature exceeding 22 °C, thermal images were taken on group-level. The SST were recorded before and during shower, as well as 20 min after the end of the shower (only AT). The same schedule was applied to control pens. The non-thermal windows (NTW) shoulder, thigh, flank and back of the ear as well as the thermal window (TW) ear base were selected as regions of interest. Before starting the analysis, Inter-Observer Reliability (IOR) was tested. Based on the IOR results, measurements from the back of the ear were excluded. Regarding the effect of showers, the collected data were analyzed using linear mixed effect models with treatment as fixed effect. The SST of pigs in experimental pens in AT was reduced during shower activation by 1.3 and 2.7 °C for NTW and TW, respectively, while SST of pigs in control pens remained approximately the same ($p=0.084$ for NTW; $p=0.057$ for TW). However, there was no evidence of long-term cooling 20 min after the shower stopped. In CH, the SST of NTW in experimental pens was 2.2 °C cooler during the shower, while SST did not differ in control pens ($p=0.017$). In conclusion, showers in the outdoor run can provide an effective cooling possibility and improve thermal comfort of pigs under practical conditions.

Kurzfassung

Für Schweine, die in ökologischen Produktionssystemen mit Zugang zu befestigten Ausläufen gehalten werden, werden Duschen immer wichtiger, um Hitzestress zu lindern. Ziel dieser Arbeit war es, die Effektivität von Duschen im Auslauf durch Messung der Hautoberflächentemperatur (HOT) mit Infrarotthermografie zu untersuchen. Daher wurden auf drei biologisch bewirtschafteten Betrieben in Österreich (AT) und der Schweiz (CH) Versuche mit 4-6 Buchten je Betrieb durchgeführt (insgesamt 428 Mastschweine). In der Hälfte der Ausläufe wurden Sprinkler installiert, die tagsüber 5- bis 6-mal für je 30 min liefen, gefolgt von einer 30- (CH) oder 60-minütigen (AT) Pause. An 2-3 Tagen, an denen die Außentemperatur 22 °C überstieg, wurden Wärmebilder auf Gruppenebene aufgenommen. Die HOT wurden vor Beginn und während der Dusche, sowie 20 min nach Ende der Dusche (nur AT) erfasst. Der gleiche Ablauf galt für die Kontrollbuchten. Als Untersuchungsregionen wurden die Nicht-thermischen Fenster (NTF) Schulter, Oberschenkel, Flanke und Ohrrückseite sowie das Thermische Fenster (TF) Ohrbasis ausgewählt. Vor Beginn der Messungen wurde die Beobachterinnenübereinstimmung überprüft. Basierend auf den Ergebnissen des Abgleichs wurde die Ohrrückseite als Untersuchungsregion ausgeschlossen. Die Daten wurden mit einem gemischten linearen Modell analysiert. In AT wurde die HOT von Schweinen in Versuchsbuchten während der Duschaktivierung um 1,3 für NTF und 2,7 °C für TF gesenkt, während die HOT in Kontrollbuchten sich kaum veränderte ($p=0,084$ für NTF; $p=0,057$ für TF). Es gab jedoch keine Hinweise auf eine Abkühlung 20 min nach Ende der Dusche. In CH war die HOT von NTF in Versuchsbuchten während der Dusche um 2,2 °C kühler, während sich die HOT in Kontrollbuchten nicht unterschied ($p=0,017$). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Duschen im Auslauf eine wirksame Abkühlungsmöglichkeit bieten und den thermischen Komfort unter Praxisbedingungen verbessern können.

1 Einleitung und Problemstellung

Hohe Umgebungstemperaturen haben insbesondere für Schweine negative Auswirkungen, da ihre physiologische Thermoregulation von Natur aus eingeschränkt ist (Bogner und Grauvogel 1984; Hörning 1999). Aufgrund einer geringen Anzahl funktioneller Schweißdrüsen (Bogner und Grauvogel 1984; Ingram 1965) und der dicken subkutanen Fettgewebsschicht (Hörning 1999) haben Schweine Schwierigkeiten bei der Anpassung an hohe Umgebungstemperaturen (Hörning 1999; Justino et al. 2014). Produziert das Schwein mehr Körperwärme, als es an die Umgebung abgeben kann, kommt es zu einem thermischen Ungleichgewicht und es entsteht Hitzestress (Brown-Brandl et al. 2013). Verschiedene Verhaltensweisen und physiologische Reaktionen geben darüber Aufschluss, wann die Umgebungstemperatur für Schweine zu hoch ist (BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen 2010; Huynh 2005). Zu den Verhaltensanpassungen zählen das Suhlen in feuchten und kühlen Stellen, das Ruhen ohne Körperkontakt zu Buchtengenossen sowie ein vermehrtes Liegen auf wärmeleitenden Bodenflächen (Huynh und Aarnink 2005). Dies kann unter Umständen auch der Ausscheidungsbereich der Bucht sein, was dann zur Verschmutzung der Tiere führt (BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen 2010; Huynh et al. 2005). Das Liegen in den eigenen Ausscheidungen hat auch eine Verschlechterung des Wohlbefindens der Tiere zur Folge, da Schweine von Natur aus dazu motiviert sind, den Kontakt mit Exkrementen zu vermeiden (Huyn et al. 2005). Außerdem führt das Suhlen im eigenen Kot und Urin zu einem Anstieg der Ammoniak- und Geruchsemissionen (Huyn et al. 2005; Jeppsson et al. 2021; Olsson et al. 2016). Wenn die zuvor genannten Verhaltensanpassungen nicht ausreichen, um überschüssige Körperwärme abzugeben, erfolgen das Hecheln und eine Erhöhung der Körperkerntemperatur als physiologische Reaktionen auf einen Temperaturanstieg (Huynh 2005). Neben den negativen Auswirkungen auf das Tierwohl und die Umwelt kann Hitzestress auch erhebliche wirtschaftliche Verluste zur Folge haben. Diese äußern sich durch reduziertes und uneinheitliches Wachstum, verringerte Futtereffizienz, verminderte Schlachtkörperqualität, erhöhte Sterblichkeit, Krankheitsanfälligkeit (Baumgard und Rhoads 2013; Ross et al. 2015) sowie schlechtere Fruchtbarkeitsleistungen (Ross et al. 2015; Ross et al. 2017). So sollten Abkühlungsmöglichkeiten angeboten werden, die die Bewältigung höherer Temperaturen verbessern (Bogner und Grauvogel 1984). Die EU-Gesetzgebung gibt bezüglich Abkühlungsmöglichkeiten bei Schweinen sowohl in der ökologischen als auch in der konventionellen Haltung jedoch nichts vor¹²³. Bei hohen Temperaturen wird für Schweine in Freilandhaltung empfohlen, den Tieren eine Möglichkeit zur Verdunstungskühlung, beispielsweise durch eine Suhle, zu bieten (Report of the Scientific Veterinary Committee 1997). Eine Schlammuhle stellt die natürlichste (Bracke 2011) und effektivste (Ingram 1965) Abkühlungsmöglichkeit für Schweine dar, da durch die Erzeugung von Verdunstungskälte derselbe Effekt wie beim Schwitzen erzielt werden kann (Evaporationskühlung) (BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen 2010). Die meisten Stallhaltungssysteme für Mastschweine bieten allerdings in der Regel keine praktikable Möglichkeit, um Suhlen anzubieten. Auch in der biologischen Produktion, in der Mastschweine vorwiegend in Ställen mit befestigtem Auslauf ins Freie gehalten werden (Früh et al. 2014), ist das Anlegen einer natürlichen Suhle schwierig (Götz 2008). Tierwohl hat in der biologischen Landwirtschaft einen hohen Stellenwert, so müssen die Tiere ihre

natürlichen Verhaltensweisen und artspezifischen Bedürfnisse ausleben können¹²³⁴. Nach den BIO AUSTRIA-Produktionsrichtlinien (2021) müssen Haltungssysteme für Schweine unter anderem ausreichend Möglichkeiten zum Abkühlen bieten⁴, wobei auf die Art der Abkühlung jedoch nicht näher eingegangen wird.

Aufgrund des fortschreitenden Klimawandels (EEA 2017; IPCC 2013) besteht eine dringende Notwendigkeit, Ställe zu klimatisieren (zum Beispiel durch das Anbringen von Ventilatoren) oder den Tieren direkte Abkühlungsmöglichkeiten wie Schweineduschen anzubieten (Dela Ricci et al. 2018, zit. nach Dela Ricci et al. 2019). Die Wirksamkeit einer Schweinedusche ergibt sich, ähnlich wie bei einer Schlammsuhle, durch Evaporationskühlung. Durch die Produktion von Verdunstungskälte wird überschüssige Wärme abgegeben, womit auch das Hecheln deutlich abnimmt. Somit könnten Schweineduschen das Wohlergehen der Tiere potentiell verbessern (Götz 2008) und als eine geeignete Alternative zur natürlichen Suhle dienen. Sie sind auch in Buchten mit Auslauf gut umsetzbar (Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV 2007) und könnten deshalb auch eine gute Abkühlungsmöglichkeit für die Bio-Mastschweineproduktion darstellen. Zudem werden durch das Verdünnen von Kot und Harn die Ammoniakemissionen gesenkt (Götz 2008; Jeppsson et al. 2021). Bisher wurden einige Studien zur Effektivität von Kühlungssystemen bei Schweinen durchgeführt, in welchen die Hautoberflächentemperatur als Indikator für den Kühleffekt herangezogen wurde (z.B. Zentner et al. (2005), Zentner et al. (2006), Huynh et al. (2006)). Allerdings kühlt Wasser weniger effektiv als eine Schlammschicht (Ingram 1965), daher ist es wichtig, zu untersuchen, ob Duschen ausreichend sind, um Schweine effektiv und langfristig zu kühlen. Außerdem wurden die Duschen in den bisherigen Studien im Innenbereich der Bucht getestet, weshalb nun interessant ist, wie sich das Anbringen einer Schweinedusche im Auslauf auf die Hautoberflächentemperatur auswirkt. Die Messung der Hautoberflächentemperatur kann mittels Infrarotthermographie (IRT) erfolgen, die eine nicht-invasive Methode zur physiologischen Datenerfassung darstellt (Tattersall 2016). Durch diese Messtechnik können Änderungen im Oberflächentemperaturverhalten beobachtet (Soerensen und Pedersen 2015) und folglich Rückschlüsse auf den Kühleffekt von Schweineduschen gezogen werden. Bei bisherigen IRT-Studien wurden die genaue Messlokalisierung, die BeobachterInnen-Übereinstimmung und die Umgebungseinflüsse (direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung, Pigmentierung) in wenigen Fällen ausreichend berücksichtigt. Daher besteht die dringende Notwendigkeit, eine Methode zur standardisierten Auswertung von Infrarotthermografie (IRT)-Aufnahmen unter Praxisbedingungen zu entwickeln.

¹ [Verordnung \(EG\) Nr. 834/2007](#)

² [Verordnung \(EU\) 2018/848](#)

³ [Richtlinie 2008/120/EG](#)

⁴ [BIO AUSTRIA Richtlinien Juni 2021](#)

2 Ziele und Forschungsfragen

Das erste Ziel dieser Arbeit ist es, eine Methode zur standardisierten Auswertung von Infrarotthermografie (IRT)-Aufnahmen unter Praxisbedingungen zu entwickeln, wobei variable Umweltbedingungen, wie beispielsweise direktes Sonnenlicht und Kotverschmutzung berücksichtigt werden sollen.

Das zweite Ziel dieser Arbeit besteht darin, mit Hilfe der IRT die Effektivität von Schweineduschen im Auslauf zu untersuchen, um beurteilen zu können, ob sie zu einer Kühlung der Hautoberflächentemperatur und damit zu verbessertem Tierwohl in der Schweinehaltung beitragen.

2.1 Forschungsfragen

- 1) Welche Körperstellen eignen sich als Untersuchungsregionen für eine standardisierte Messung der Hautoberflächentemperatur durch IRT?
- 2) Haben die Faktoren direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung einen Einfluss auf die Messung der Hautoberflächentemperatur mit IRT?
 - Hypothese: Die Faktoren direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung beeinflussen die durch IRT gemessene Hautoberflächentemperatur. Dabei führen direktes Sonnenlicht und Pigmentierung zu höheren Hautoberflächentemperaturen, wohingegen Kotverschmutzung diese senkt.
- 3) Kann der Einsatz von Schweineduschen im Auslauf die Hautoberflächentemperatur von Tieren senken und damit zu einer Abkühlung führen?
 - Hypothese: Im Vergleich zu Schweinen in den Kontrollbuchten sind die Hautoberflächentemperaturen von Schweinen in den Versuchsbuchten während der Dusche niedriger als vor Einsetzen der Dusche.
 - Hypothese: Im Vergleich zu Schweinen in den Kontrollbuchten, ist der Kühleffekt von Duschen für Schweine in den Versuchsbuchten auch 20 Minuten nach Ende der Dusche immer noch durch niedrigere Hautoberflächentemperaturen nachweisbar.

3 Literaturübersicht

3.1 Thermoregulation und Hitzestress bei Schweinen

Im Folgenden werden die Besonderheiten von Thermoregulation und Hitzestress beim Schwein erläutert und wichtige Begriffe definiert.

3.1.1 Körperkern und Körperschale

Wie alle Säugetiere sind Schweine homoiotherm (gleichwarm), was bedeutet, dass sie in der Lage sind, ihre Körperkerntemperatur bei sich ändernder Umgebungstemperatur annähernd im Gleichgewicht zu halten (Godyń und Herbut 2018). Allerdings können selbst homoiotherme Lebewesen in einen homoiothermen Körperkern und in eine poikilotherme (wechselwarme) Körperschale eingeteilt werden, da die Temperaturverteilung innerhalb des Körpers in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur schwankt (**Abbildung 1**).

Zum Körperkern zählen das Innere der Schädel-, Brust- und Bauchhöhle und ein Teil der Skelettmuskulatur. Die Körperschale hingegen besteht aus Haut, Unterhaut und zum Teil aus Extremitätenmuskulatur (Behrends et al. 2021; Godyń and Herbut 2018; Tansey and Johnson 2015). Die Körperkerntemperatur spiegelt die Temperatur in den inneren Körpergeweben wider, also in den Organen, die einen hohen Grundumsatz haben, wie beispielsweise Gehirn, Herz und Leber, und ist unter physiologischen Bedingungen annähernd konstant. Von der durch den Hypothalamus kontrollierten Thermoregulation ist vorrangig das innere Körpergewebe betroffen, da die Organe und ihre lebenswichtigen Prozesse auf einen engen Temperaturbereich (33,2 bis 38,2 °C bei Menschen) angewiesen sind (Tansey und Johnson 2015). Die Körperkerntemperatur gesunder Schweine schwankt je nach Alterskategorie in engen Grenzen zwischen 38,3 und 39,5 °C (**Tabelle 1**) (Soerensen und Pedersen 2015).

Tabelle 1: Normale Rektaltemperaturen bei ruhenden Schweinen in der thermoneutralen Zone (Soerensen und Pedersen 2015).

| Alterskategorie | Normale Rektaltemperatur in °C (Abweichung $\pm 0,3$ °C) |
|-----------------|--|
| Ferkel | 39,5 |
| Mastschweine | 39,3 |
| Jungsauen | 38,8 |
| Zuchtsauen | 38,3 |

Im Gegensatz zur relativ konstanten Körperkerntemperatur kann die mittlere Gewebetemperatur in der Körperschale in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur, der Muskelaktivität und der Durchblutung stark schwanken, ohne bleibende Schäden zu hinterlassen. Die an der Haut gemessene mittlere Schalentemperatur des Menschen (ca. 33 °C) ist in der thermoneutralen Zone (Kapitel **3.1.3**) um etwa 4 °C niedriger als die Temperatur im Kern (Tansey und Johnson 2015). Bei Schweinen schwankt die normale Hautoberflächentemperatur in einem Bereich zwischen ungefähr 32 und 36 °C (Mayorga et al. 2019), so dass die mittlere Hautoberflächentemperatur in der thermoneutralen Zone bei ungefähr 33,5 °C (Sapkota et al. 2016) liegt. Dazu gibt es in der Fachliteratur unterschiedliche Angaben, da die mittlere Hauttemperatur nur einen Mittelwert aus den Temperaturen an

unterschiedlichen Messorten an der Haut widerspiegelt und zusätzlich noch von Umweltfaktoren beeinflusst ist (Lura 2012).

Als Teil der Körperschale spielt die Haut eine wesentliche Rolle in der Regulation der Körperkerntemperatur; sie ist ein wichtiger Indikator für den Wärmeaustauschbedarf des Organismus (Tansey und Johnson 2015). Zur Sicherung der Körperkerntemperatur dient sie bei niedriger Umgebungstemperatur als Wärmeisolator des inneren Gewebes. Ist die Umgebungstemperatur hingegen zu hoch, findet an ihrer Oberfläche eine verstärkte Wärmeabgabe an die Umwelt statt (Lura 2012; Passarge 2013). Um bei niedrigen Umgebungstemperaturen einer Auskühlung entgegenzuwirken, kommt es zu einer peripheren Vasokonstriktion (=Gefäßverengung) und das Blut fließt aus der Haut zurück in den Körperkern. In Folge sinkt die Temperatur der Haut und die der darunter liegenden Gewebsschichten ab, während die Temperatur im Kern steigt (Flores-Peinado et al. 2020; Tansey und Johnson 2015; Taylor 2014). Demzufolge nimmt der Temperaturunterschied zwischen Kern und Schale zu (Tansey und Johnson 2015; Taylor 2014), der Bereich der Körperschale vergrößert sich und der homiotherme Körperkern wird kleiner (Mende 2012) (**Abbildung 1 a**). Soll hingegen überschüssige Körperwärme zur Verhinderung einer Überhitzung abgeführt werden, kommt es zu einer peripheren Vasodilatation (=Gefäßerweiterung) und das wärmere Blut aus dem Körperkern fließt verstärkt in die noch kühlere Haut. Durch den Kontakt mit der Umgebung wird das in der Haut fließende Blut gekühlt, so dass es mit einer niedrigeren Temperatur in den Körperkern zurückfließt und die Innentemperatur sinkt (Hertzman 1959), während die Temperatur der Haut und die der angrenzenden Gewebeschichten steigt (Flores-Peinado et al. 2020; Tansey und Johnson 2015; Taylor 2014). Daraufhin verkleinert sich die Körperschale (Mende 2012) und die Temperatur zwischen Körperkern und Körperschale unterscheidet sich nur minimal (Tansey und Johnson 2015; Taylor 2014) (**Abbildung 1 b**).

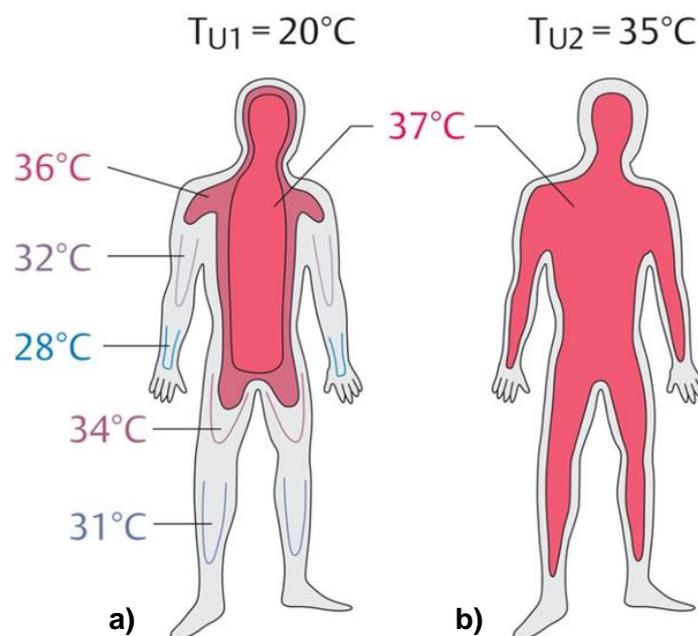


Abbildung 1: Ausdehnung von Körperkern und Körperschale beim Menschen bei **a)** 20°C (T_{U1}) und **b)** 35°C (T_{U2}) Umgebungstemperatur (Behrends et al. 2021, Seite 522).

3.1.2 Wärmehaushalt und Thermoregulation

Unter Thermoregulation versteht man die Fähigkeit von Tieren, ihre Körperkerntemperatur innerhalb des artspezifischen Normbereichs zu halten (Godyń und Herbut 2018). Die Thermoregulation homoiothermer Lebewesen erfolgt durch ein Gleichgewicht aus Wärmegewinn und Wärmeabgabe. Dabei erfolgt die Wärmegewinnung durch den eigenen Stoffwechsel und aus der Umwelt durch Radiation, Konduktion und Konvektion (Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Wärmeströmung) (Fuquay 1981). Die im Körperkern produzierte Wärme gelangt durch Wärmeleitung im Gewebe und Wärmeströmung entlang der Blutgefäße an die Körperoberfläche (innerer Wärmestrom) (Ammer 2009). Von der Körperoberfläche wird die Wärme wiederum durch Radiation, Konduktion, Konvektion sowie Evaporation (Verdunstung) an die Umgebung abgegeben (äußerer Wärmestrom) (Fuquay 1981), wobei ein Großteil der an der Hautoberfläche angelangten Wärme über Infrarotstrahlung abgeführt wird (Ammer 2009; Behrends et al. 2021). Zudem geht ein Teil der Wärme durch die Beseitigung von Stoffwechselprodukten (Kot, Urin, Milch) verloren (Fuquay 1981).

Durch Muskel- und Stoffwechselaktivität bei der Nahrungsaufnahme oder bei bewegungsintensiven Verhaltensweisen wie Kämpfen und Spielen produziert das Schwein beträchtliche Mengen an Körperwärme. Gesteigerte Produktionsleistung durch hohe Tageszunahmen in der Mastschweinehaltung sowie hohe Reproduktionsleistungen in der Muttersauenhaltung fördern die Körperwärmeproduktion zusätzlich (Bracke 2011). Bei hoher Umgebungstemperatur können Schweine überschüssige Körperwärme jedoch nur schwer abgeben. Das Abgeben von Körperwärme wird durch die geringe Anzahl funktioneller Schweißdrüsen (Ingram 1965) sowie eine dicke subkutane Fettgewebsschicht erschwert (Hörning 1999). Zudem haben Schweine ein schwaches kardiovaskuläres System, weshalb sie besonders anfällig gegenüber Hitzestress sind. Hohe Umgebungstemperaturen belasten das Herz-Kreislauf-System und führen zu einer Steigerung der Pulsfrequenz und einem Abfall des Blutdrucks (Hörning 1999).

3.1.3 Thermoneutrale Zone

Die thermoneutrale Zone ist als jener Umgebungstemperaturbereich definiert, in dem homoiotherme Lebewesen Störungen im Wärmehaushalt alleine über eine Veränderung der Hautdurchblutung ausgleichen können (Behrends et al. 2021; Savage und Brengelmann 1996). Die thermoneutrale Zone liegt innerhalb der homoiothermen Zone (jenem homöostatischen Bereich, in dem die Körperkerntemperatur mehr oder weniger konstant gehalten werden kann) und wird von einer unteren (A) und oberen (B) kritischen Temperatur begrenzt (**Abbildung 2**).

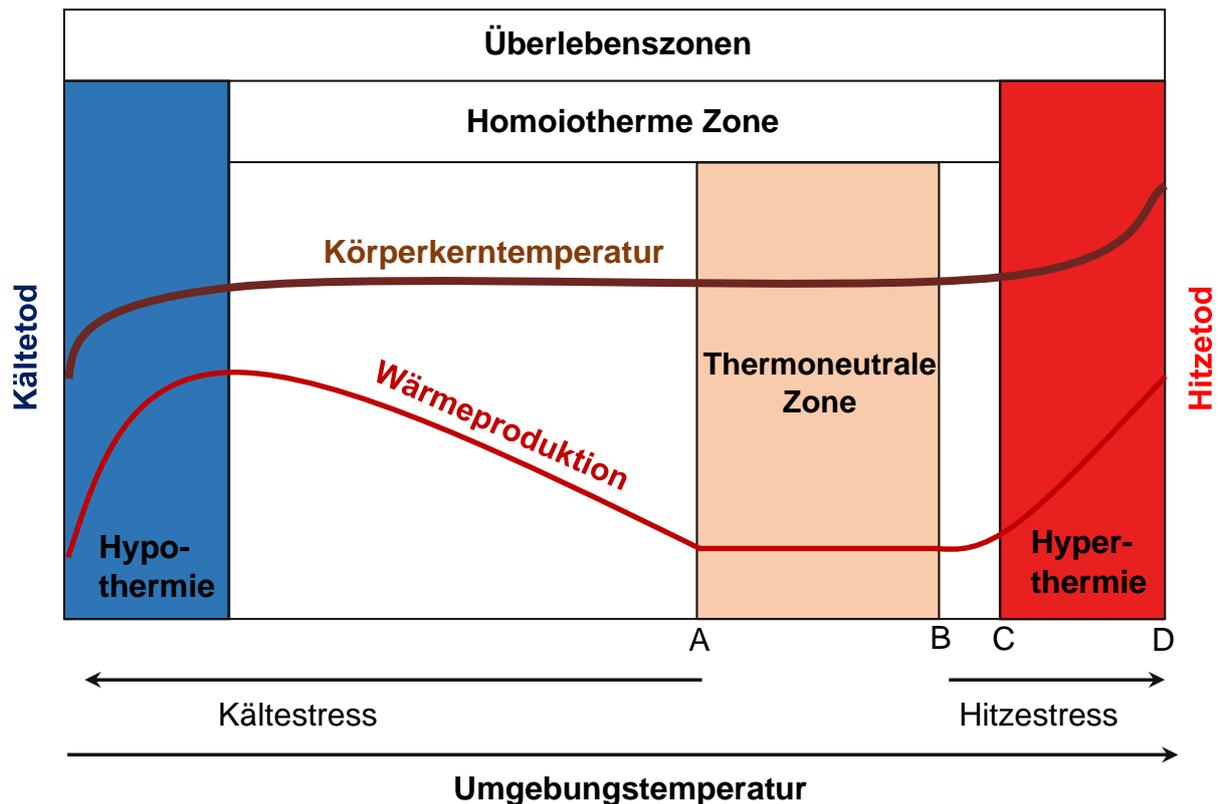


Abbildung 2: Thermoregulation bei homoiothermen Tieren in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur (adaptiert nach Bianca 1976).

Der Energieverbrauch zur Aufrechterhaltung der inneren Körperkerntemperatur ist in der thermoneutralen Zone gering und wird nicht von der Umgebungstemperatur beeinflusst (Nardone et al. 2006). Bei einem Anstieg der Umgebungstemperatur über die obere kritische Temperatur (B) muss die innere Körperkerntemperatur durch Wärmeabgabe reguliert werden, wodurch das Tier zunehmend in Hitzestress gerät. Die Regulierung der Körperkerntemperatur kostet Energie, welche dann nicht mehr für Stoffwechselprozesse wie beispielsweise solche zur Fleisch- und Milchproduktion zur Verfügung steht. Bei Überschreitung der Umgebungstemperatur über die homoiotherme Zone (C) steigt die Körperkerntemperatur an und das Tier befindet sich in der Zone der Hyperthermie (Überhitzung des Körpers). Innerhalb dieser Zone können homoiotherme Tiere ihre innere Körpertemperatur nicht mehr im Gleichgewicht halten. Werden die Umgebungsbedingungen nicht geändert, kann dies schlussendlich zum Hitzetod (D) führen. Bei Unterschreitung der homoiothermen Zone hingegen muss die innere Körpertemperatur durch Wärmeproduktion aufrechterhalten werden, wodurch das Tier zunehmend Kältestress erfährt. Kann die innere Körpertemperatur durch Wärmebildung nicht im Gleichgewicht gehalten werden, sinkt die Körperkerntemperatur ab und das Tier befindet sich in der Zone der Hypothermie (Unterkühlung des Körpers). Ohne Änderung der Umgebungsbedingungen kann dies letztendlich zum Kältetod führen (Bianca 1976; Wegner 2014). Die thermoneutrale Zone ist für jede Tierart, Rasse und Alterskategorie unterschiedlich (Nardone et al. 2006). Für Ferkel ist in den ersten Lebensstagen eine Umgebungstemperatur von 30 °C optimal. Bei älteren Schweinen hingegen nimmt der Wärmebedarf ab (Bogner und Grauvogel 1984) und ihr Wärmeregulationsvermögen ist bereits ab 30 °C überlastet (Hörning 1999). Nach Brown-Brandl et al. (2013) liegt die obere Grenze der thermoneutralen Zone für Mastschweine zwischen 17 und 20,8 °C. Befinden sich

homoiotherme Tiere außerhalb der thermoneutralen Zone, ist die Adaptivität des Körpers an Kälte größer als an Hitze (Bianca 1976). Während die Spannweite zwischen normaler und letaler Körperkerntemperatur bei Kälte zwischen 15 und 25 °C beträgt, liegt die Differenz bei Hitze nur zwischen 3 und 6 °C. Außerdem sind Produktionsleistungen wie Gewichtszunahme und Milchproduktion mit hohen Stoffwechselraten verbunden, die dem Kältestress entgegenwirken, bei hohen Temperaturen aber zusätzlich belastend sind. Bei Kältestress erhöhen Schweine die Futtermittelaufnahme, was durch den Verdauungsvorgang und die Nährstoffadsorption die Wärmeproduktion steigert, während bei Hitzestress die Futtermittelaufnahme sinkt. Hitze wie Kältestress sind jedoch belastend für die Schweine, unter anderem wird das Immunsystem beeinträchtigt (Hörning 1999).

3.1.4 Anpassung an hohe Umgebungstemperaturen

Tiere verlieren Wärme in Form von sensibler (fühlbarer) und latenter Wärme, die bei der Verdunstung von Wasser abgegeben wird (Evaporation) (Collier und Gebremedhin 2015; Fuquay 1981). Bei hohen Umgebungstemperaturen wird die Durchblutung der Haut durch Vasodilatation erhöht. Folglich vergrößert sich die Wärmeaustauschfläche, und der Wärmeverlust an der Körperoberfläche nimmt zu (Ammer 2009; Tansey und Johnson 2015). Konduktion, Konvektion und Radiation, als Mechanismen der sensiblen Wärmeabgabe, setzen einen Temperaturgradienten zwischen dem Tier und seiner Umgebung voraus (Collier und Gebremedhin 2015; Fuquay 1981). Mit einem Anstieg der Umgebungstemperatur wird das Temperaturgefälle zwischen Umgebung und Tier allerdings immer kleiner oder sogar negativ (die Umgebungstemperatur übersteigt die Körpertemperatur). Die Wärmeübertragung durch Konduktion, Konvektion und Radiation nimmt ab (Mayorga et al. 2019). Die thermoregulatorische Fähigkeit von Schweinen ist zudem durch eine dicke subkutane Fettgewebsschicht, die einen effektiven sensiblen Wärmeverlust durch Wärmeabgabe über die Hautoberfläche einschränkt, erschwert (Collier und Gebremedhin 2015). Wenn die Umgebungstemperatur die Körpertemperatur übersteigt, ist keine sensible Wärmeabgabe mehr möglich, sodass die Verdunstung als einziger Weg zur Wärmeabgabe übrigbleibt (Mayorga et al. 2019). Die Wärmeregulation durch Verdunstung über die Haut ist beim Schwein aufgrund der geringen Anzahl an Schweißdrüsen jedoch nur eingeschränkt möglich und kann nicht zu einer ausreichenden Abkühlung beitragen (Bogner und Grauvogel 1984). Daher sind Schweine bei der Wärmeableitung durch Evaporation stärker auf eine Erhöhung der Atemfrequenz (Hecheln) angewiesen (Collier und Gebremedhin 2015). Im Vergleich zu Wildschweinen haben Hausschweine jedoch kürzere Rüssel, wodurch ihre Fähigkeit zum Hecheln aufgrund des reduzierten Rachenraums limitiert ist (Van Putten 2000). Bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit ist eine Wärmeabgabe durch Erhöhung der Atemfrequenz noch weniger effektiv (Huynh 2005), da das Dampfdruckgefälle zwischen Wasserdampf der Lunge und der Umgebungsluft abnimmt (Wegner 2014). Aus **Abbildung 3** können die Verhaltensanpassungen und physiologischen Reaktionen von 60 kg schweren Mastschweinen bei steigenden Umgebungstemperaturen abgelesen werden (Huynh 2005).

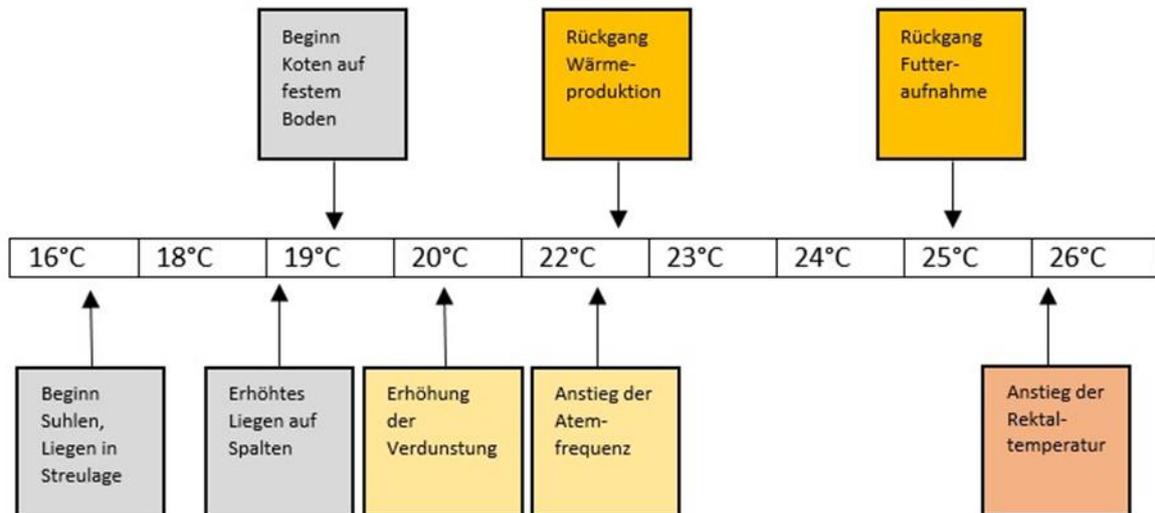


Abbildung 3: Anpassungen von 60 kg schweren Mastschweinen an steigende Umgebungstemperaturen (Huynh 2005).

Die erste Verhaltensanpassung, die Schweine bei einem Temperaturanstieg zeigen, ist das Suhlen. Ab Umgebungstemperaturen von 16 bis 17 °C beginnen Schweine in Stallhaltungssystemen dem Suhlen ähnliche Verhaltensweisen zu zeigen, wobei Huynh (2005) in ihrer Studie feststellte, dass Schweine bei hoher Luftfeuchtigkeit bereits bei noch niedrigeren Temperaturen zu suhlen beginnen. Des Weiteren reduzieren die Schweine den Körperkontakt zu Buchtengenossen, indem sie vermehrt in Streulage liegen. Ab einer Umgebungstemperatur von 19 °C liegen Schweine vermehrt auf dem kühleren Spaltenboden oder in dem für Ausscheidungen vorgesehenen Ruhebereich, da das Liegen auf kühlen Oberflächen die Wärmeabgabe durch Konduktion erhöht. Durch das Liegen im Kotbereich hingegen wird die Haut mit feuchten Ausscheidungen benetzt, wodurch eine Wärmeabgabe durch Evaporation ermöglicht wird. Außerdem führt ein vermehrtes Liegen auf dem Spaltenboden zur Änderung des Ausscheidungsverhaltens, wobei die Schweine damit beginnen, auf den befestigten Boden zu koten. Im Auslauf wird das Aufsuchen von schattigen Plätzen als weitere Verhaltensanpassung von Schweinen an hohe Umgebungstemperaturen beobachtet (Olczak et al. 2015; Olsen et al. 2001). Die Futteraufnahme wird ab Umgebungstemperaturen von 25 °C reduziert, wodurch es, bedingt durch die geringeren Tageszunahmen, schnell zu einem Leistungsrückgang kommt (BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen 2010). Bei einer Umgebungstemperatur von 22,4 °C erfolgt eine Erhöhung der Atemfrequenz als erste physiologische Reaktion auf höhere Umgebungstemperaturen. Die Erhöhung der Körperkerntemperatur, als letzte physiologische Reaktion auf Temperaturanstieg, erfolgt ab einer Umgebungstemperatur von 26,1 °C (**Abbildung 3**). Die genannten Anpassungsstrategien führen jedoch zu einem verminderten Tierwohl in intensiver Tierhaltung, da sich die Tiere beispielsweise in ihren eigenen Ausscheidungen abkühlen müssen, obwohl Schweine unter (semi-)natürlichen Bedingungen den Kontakt mit Kot meiden. Des Weiteren führen diese Anpassungen zu niedrigeren Tageszunahmen aufgrund der reduzierten Futteraufnahme. Huynh (2005) nennt den Anstieg der Rektaltemperatur und die Reduktion der Futteraufnahme als Indikatoren dafür, dass die Umgebungstemperatur deutlich über der oberen kritischen Temperatur der thermoneutralen Zone für Schweine liegt. Allerdings muss zusätzlich zur Umgebungstemperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit berücksichtigt werden. Eine

hohe relative Luftfeuchtigkeit führt zu einer zusätzlichen Belastung bei Hitze, da die Kapazität des Wärmeverlustes durch Verdunstung eingeschränkt ist (Hörning 1999). Das bedeutet, je geringer die relative Luftfeuchtigkeit ist, desto effektiver ist die Verdunstungskühlung (Bogner und Grauvogel 1984). Bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit (RH) reagieren Tiere bereits bei niedrigeren Umgebungstemperaturen mit einer Erhöhung der Atemfrequenz (21,30 °C bei 80 % RH, 22,60 °C bei 65 % RH, und 23,40 °C bei 50 % RH). Auch die Gewichtszunahme ist, bei konstanter Umgebungstemperatur, bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit geringer als bei niedriger (Huynh 2005).

3.2 Abkühlungsmöglichkeiten für Schweine

Damit Schweine nicht in die Zone der Hyperthermie gelangen, sollten den Tieren Abkühlungsmöglichkeiten angeboten werden. Als Abkühlungsmöglichkeiten werden im Rahmen dieses Kapitels natürliche Schlammuhlen und Duschen beschrieben.

3.2.1 Suhle

Suhlen bedeutet, den Körper mit feuchtem Schlamm zu bedecken (Bracke 2011). Es dient vorrangig der Abkühlung, aber auch der Hautpflege. Das Suhlen im Schlamm zählt zum Komfortverhalten bei Schweinen (Hörning 1999). Schweine sind innerlich motiviert sich zu suhlen, weshalb das Suhlen als ein Verhaltensbedürfnis von Schweinen berücksichtigt werden sollte (Bracke 2011). Schweine suhlen gerne im Schlamm oder an anderen feuchten Stellen (Bracke 2011), und meist bei Temperaturen über 12 °C (Olczak et al. 2015). Hochträchtige Sauen (ab dem 112. Trächtigkeitstag) zeigen dieses Verhalten jedoch auch im Frühjahr sowie im Winter, um die erhöhte Wärmeproduktion in der letzten Trächtigungswoche über eine gesteigerte Wärmeabgabe zu kompensieren (Buckner et al. 1998). Je höher die Umgebungstemperatur, desto ausgeprägter ist das Suhlverhalten. An sehr heißen Tagen tauchen Schweine fast vollständig in die Suhle ein, wenn diese tief genug ist. Ansonsten legen sie sich zuerst auf den Bauch und wälzen sich anschließend von einer Seite zur anderen. Nach dem Verlassen der Suhle ist der Schweinekörper fast vollständig mit einer Schlammsschicht bedeckt (Olczak et al. 2015). Diese Schlammsschicht kühlt besonders effektiv, da die Verdunstung bei einem mit einer Schlammsschicht bedeckten Tier wesentlich länger anhält als bei einem mit reinem Wasser benetzten Tier. Ingram (1965) untersuchte die Evaporationsrate von Schlamm und reinem Wasser an der Flanke eines Schweins, um den jeweiligen Kühleffekt zu vergleichen (**Abbildung 4**).

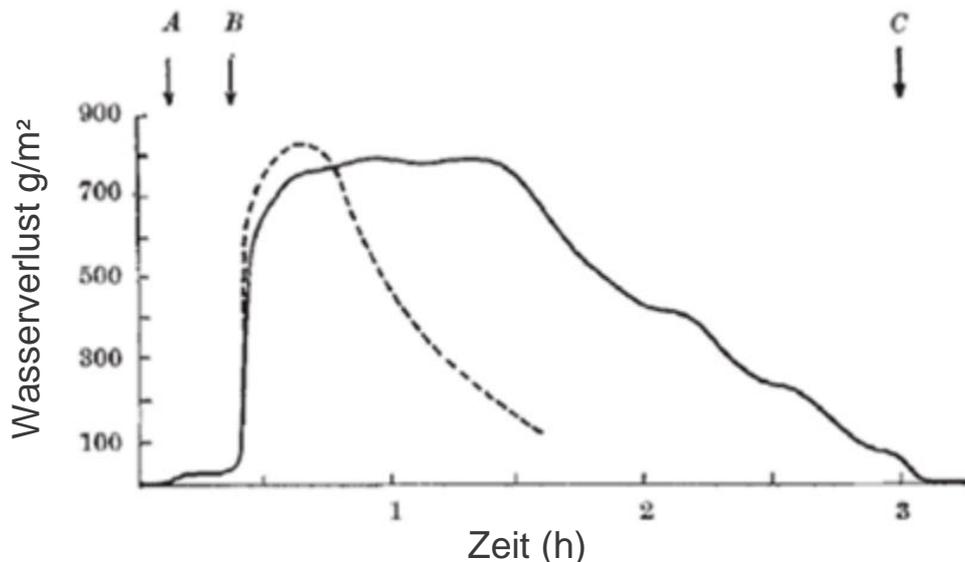


Abbildung 4: Wasserverlust durch Evaporation auf der Haut eines Schweins gemessen mit der Ventilated Capsule Methode. Bei **A** wurde die Kapsel auf der Haut platziert. Bei **B** wurde Schlamm (durchgehende Linie) oder reines Wasser (unterbrochene Linie) aufgetragen. Bei **C** wurde die Kapsel wieder abgenommen (Ingram 1965).

Die Messung der Evaporationsrate wurde mit der Ventilated Capsule Methode durchgeführt. Zu Beginn wurde die Kapsel an der Raumluft erprobt, in der kein Verdunstungsverlust gemessen werden konnte. Dann wurde die Kapsel auf die Hautoberfläche der Flanke platziert (A), und es wurde eine Verdunstungsrate von 30-40 g/m²/h gemessen. Nachdem die Flanke des Schweins mit Schlamm oder reinem Wasser bedeckt wurde (B), stieg die Verdunstungsrate schnell auf 800 g/m²/h an. Bei dem Versuch mit Schlamm blieb die Verdunstungsrate über eine Stunde auf diesem hohen Niveau (durchgehende Linie). Bei Besprühen der Flanke mit reinem Wasser hingegen (unterbrochene Linie) blieb die Evaporationsrate nur ungefähr 15-20 Minuten auf diesem hohen Niveau und erreichte den Ausgangswert nach ungefähr 1,5 Stunden. Im Gegensatz dazu wurde der Ausgangswert beim Versuch mit Schlamm erst nach ungefähr 3 Stunden erreicht. Hörning (1999) beschreibt ebenfalls, dass die Abkühlung durch Schlamm im Vergleich zu reinem Wasser effektiver ist, da das Wasser durch die Schlammschicht langsamer verdunstet. Deswegen gilt eine natürliche Suhle als effektivste Abkühlungsmöglichkeit für Schweine (BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen 2010). Zusätzlich dient der Schlamm als physikalische Barriere gegen Ektoparasiten, wie z.B. Fliegen und als Schutz gegen Sonnenbrand (Olczak et al. 2015).

3.2.2 Schweineduschen

In biologischer Haltung bieten sich Mastschweineduschen als potentielle Abkühlungsalternative zur natürlichen Suhle an, da sie gut in Buchten mit befestigtem Auslauf ins Freie integriert werden können (BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen 2010). Im Vergleich zu natürlichen Suhlen ist der Kühleffekt durch reines Wasser allerdings weniger effektiv (Ingram 1965; Hörning 1999). Außerdem bieten Schweineduschen keinen zusätzlichen Schutz vor Ektoparasiten und Sonnenbrand (Olczak et al. 2015).

Huynh et al. (2006) führten einen Versuch mit Duschen und Wasserbädern bei Mastschweinen durch. Die beiden Kühlsysteme wurden im Innenbereich von Buchten mit und ohne Auslauf getestet. Dabei wurde unter anderem der Effekt der beiden Kühlsysteme auf die Hautoberflächentemperatur untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass Duschen und Wasserbäder die Hautoberflächentemperatur von Mastschweinen im Vergleich zu Kontrolltieren ohne zusätzliche Kühlungsmöglichkeit um 0,3 (Wasserbäder) bzw. 0,4 °C (Duschen) ($p < 0,05$) senken können. Die Duschen wurden während der heißesten Zeit des Tages (10:00 Uhr morgens bis 16:00 Uhr nachmittags) alle 30 Minuten für 2 Minuten aktiviert. Es wurden die Hautoberflächentemperaturen von drei markierten Schweinen an drei markierten Stellen (Schulter, Lendenbereich und Oberschenkel) zweimal täglich (06:30 Uhr morgens; 13:30 Uhr nachmittags) mit einem Infrarotthermometer gemessen, wobei der Versuchszeitraum insgesamt 95 Tage betrug. Die AutorenInnen beobachteten vor allem nachmittags (13:30 Uhr) einen starken Effekt der Dusche auf die Hautoberflächentemperatur. Auch die Atemfrequenz sank bei Vorhandensein einer Schweinedusche um 5,2 Atemzüge pro Minute (Huynh et al. 2006). Des Weiteren beschreiben Huynh et al. (2006), dass Schweine in Buchten mit Duschen höhere tägliche Futteraufnahmen (2,17 vs. 2,07 kg/Tag/Schwein) sowie Tageszunahmen (586 vs. 535 g/Tag) haben als Schweine in Buchten ohne Duschen. Außerdem liegen Schweine in Buchten ohne Duschen vermehrt in Seitenlage (77,3 vs. 66 %), um die Wärmeabgabe durch Wärmeableitung zu erhöhen. Ergebnisse von Zentner et al. (2005) und Zentner et al. (2006) zeigen ebenfalls eine Senkung der Hautoberflächentemperatur durch den Zugang zu Duschen, was auf einen Kühlungseffekt hinweist. In den Studien wurde der Kühlungseffekt durch Schweineduschen mit Hilfe der IRT nachgewiesen: es konnte eine Reduktion der Hautoberflächentemperatur um 3-4 °C festgestellt werden, der bei Tieren mit ca. 85 kg im Vergleich zu schwereren Tieren länger (bis zu 30 Minuten) anhielt (Zentner et al. 2005). Dabei waren im Gegensatz zur Studie von Huynh et al. (2006) Tageszunahmen und tägliche Futteraufnahmen durch die Duschen nicht signifikant beeinflusst. Jeppsson et al. (2021) untersuchten den Effekt von Schweineduschen in Stallhaltung auf die Aktivität der Tiere, die Nutzung verschiedener Funktionsbereiche, die Buchtenverschmutzung sowie die Ammoniakemissionen. Die AutorenInnen stellten fest, dass Mastschweine mit Duschen im Spaltenbodenbereich bei hohen Umgebungstemperaturen signifikant weniger auf dem Spaltenbodenbereich liegen als Schweine ohne Duschen. Auch die Verschmutzung des planbefestigten Buchtenbereiches, der als Liegebereich dienen soll, wird durch die Bereitstellung von Duschen reduziert. Zudem beobachteten die AutorenInnen bei Buchten mit Duschen eine Reduktion der Ammoniakemissionen um 45 %. Aufgrund des niedrigeren Verschmutzungsgrades und der geringeren Ammoniakemissionen können Duschen die Haltungsbedingungen für Mastschweine im Stall somit potentiell verbessern (Jeppsson et al. 2021). In all den genannten Untersuchungen wurden die Schweineduschen im Stall montiert. Dabei muss berücksichtigt werden, dass Kühlsysteme wie Schweineduschen, die auf Wasserverdampfung basieren, insbesondere in geschlossenen Räumen, wo der Luftaustausch eingeschränkt ist, zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit führen. Eine hohe relative Luftfeuchtigkeit kann sich wiederum negativ auf die Abgabe von überschüssiger Körperwärme auswirken (Godyń et al. 2020). Befinden sich die Duschen allerdings im Freien (Auslauf), kommt dieser Effekt weniger zum Tragen.

3.3 Infrarotthermografie (IRT) zur Erfassung der Oberflächentemperatur

Die innere Körpertemperatur und die Hautoberflächentemperatur sind wichtige Indikatoren zur Beurteilung von Tierwohl und Tiergesundheit (Zhang et al. 2019). Neben der Verhaltensbeobachtung und der Atemfrequenz dienen Körperkerntemperatur und Hautoberflächentemperatur als wichtige physiologische Indikatoren für die Erkennung von Hitzestress (Godyń et al. 2020; Mayorga et al. 2019; Rashamol et al. 2018; Huynh 2005).

Die Messung der Körperkerntemperatur dient unter anderem der Krankheitserkennung und somit der Überwachung der Tiergesundheit. Bei der konventionellen Methode wird die Körperkerntemperatur rektal gemessen. Die Anwendung dieser Methode ist invasiv und nimmt im Vergleich zur IRT mehr Zeit in Anspruch. Außerdem erfordert diese Art der Temperaturmessung direkten Kontakt zum Schwein, wodurch Krankheitserreger über Gruppen hinweg verbreitet werden können (Zhang et al. 2019). Zudem wird das Tier durch die Behandlung und Fixierung in Stress versetzt. Stressreaktionen beeinflussen wiederum die Körperkerntemperatur und wirken sich zudem negativ auf das Tierwohl aus (Soerensen und Pedersen 2015).

Die Hautoberflächentemperatur ergibt sich aus der Temperatur des inneren Gewebes und der von der Umgebungstemperatur beeinflussten äußeren Hautoberfläche (Cilulko et al. 2013) und kann beispielsweise ein Indikator für Krankheiten, Entzündungen, physiologischen Stress, Trächtigkeit und thermoregulatorische Belastungen (Kälte- und Hitzestress) sein (McManus et al. 2016). Mayorga et al. (2019) beschreiben jedoch auch, dass die Hautoberflächentemperatur als Indikator für die Ermittlung des Schweregrads der Hitzestressbelastung nur wenig zuverlässig ist, da zur präzisen Ermittlung der Hautoberflächentemperatur alle Faktoren der Wärmebilanz bekannt sein müssen. Diese sind Kennzahlen in Bezug auf die vom Tier erzeugte Wärme (z.B. Körperkerntemperatur, Gewebewiderstand, periphere Durchblutung, Atmung, passive Hautdiffusion und Temperatur des Borstenkleids) als auch Kennzahlen in Bezug auf die vom Tier abgeführte Wärme (fühlbare und latente Wärmeabgabe an der Hautoberfläche unter Berücksichtigung aller Umgebungsdaten) (Mayorga et al. 2019).

Die Temperatur an der Hautoberfläche ändert sich in Abhängigkeit vom Wärmeaustauschbedarf und damit auch mit der Durchblutungsrate (Nääs et al. 2014), sodass Änderungen in der Durchblutung mit einer Erhöhung oder Verringerung der Gewebetemperatur einhergehen (Kunc und Knizkova 2012). Somit spiegelt die Hautoberflächentemperatur indirekt das Ausmaß der Hautdurchblutung wider (McManus et al. 2016; Nääs et al. 2014; Kunc und Knizkova 2012). Wenn beispielsweise die Hautoberflächentemperatur bei gleichbleibender Körperkerntemperatur sinkt, kann dies auf einen verringerten Blutfluss durch Vasokonstriktion zurückzuführen sein (Wiedemann 2013). Wenn hingegen die Hautoberflächentemperatur bei gleichbleibender Körperkerntemperatur steigt, kann dies als Folge einer Zunahme der peripheren Durchblutung interpretiert werden.

Die Methode der IRT ermöglicht eine nicht-invasive und berührungslose Messung der Hautoberflächentemperatur (Soerensen und Pedersen 2015; Tattersall 2016; Zhang et al. 2019) selbst aus großer Distanz (McCafferty 2007). Dadurch wird das Risiko

einer Infektionsausbreitung erheblich reduziert. Zudem kann durch die schnelle Erfassung der Hautoberflächentemperatur ohne Fixierungs- oder Berührungsbedarf Stress vermieden werden, weshalb die IRT in der Veterinärmedizin und Nutztierwissenschaft zunehmend an Bedeutung gewinnt (Soerensen und Pedersen 2015; Zhang et al. 2019). Allerdings ist zu berücksichtigen, dass es einige Einflussfaktoren gibt, welche die Temperaturmessung durch IRT beeinflussen.

3.3.1 Grundsätze der IRT

Infrarotstrahlung ist die Energie, die von der Oberfläche eines Objekts abgestrahlt wird (Usamentiaga et al. 2014; Vidal und Pitarma 2019). Die auf ein Objekt auftreffende Strahlungsenergie kann sowohl absorbiert, transmittiert als auch reflektiert werden (Gerß 2016; Tattersall, 2016). Die gesamte Strahlungsenergie eines Körpers ergibt sich somit aus dem Absorptionsgrad, dem Reflexionsgrad und dem Transmissionsgrad (Absorptionsgrad + Reflexionsgrad + Transmissionsgrad = 1) (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Bei nicht transparenten (undurchlässigen) Materialien, wie beispielsweise biologischen Körpern, setzt sich die Strahlungsenergie nur noch aus dem Absorptionsgrad und dem Reflexionsgrad zusammen (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Folglich wird jener Anteil der auftreffenden Strahlungsenergie, den ein undurchlässiger Körper nicht absorbiert, reflektiert (Absorptionsgrad = 1 - Reflexionsgrad).

Ein Körper, bei dem der Reflexionsgrad und der Transmissionsgrad gleich Null ist, wird als schwarzer Körper bezeichnet (Usamentiaga et al. 2014). Er dient als Referenz im Bereich der kontaktlosen Messtechnik und wird zum Kalibrieren von IRT-Kameras eingesetzt (Gerß 2016; Tattersall 2016). Bei diesem hypothetischen Körper wird die gesamte auf ihn auftreffende Strahlungsenergie bei jeder beliebigen Wellenlänge vollständig absorbiert (Absorptionsgrad = 1) (Gerß 2016; Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Bei gleicher Temperatur wird die gesamte absorbierte Strahlung eines schwarzen Körpers wieder emittiert (abgegeben), sodass der Absorptionsgrad eines schwarzen Körpers dem Emissionsgrad entspricht (Absorptionsgrad = Emissionsgrad = 1) (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Ein grauer Körper ist ein Körper, der nur einen Teil der Strahlungsenergie emittiert, die ein schwarzer Körper bei gleicher Temperatur abgibt. Somit ist der Emissionsgrad bei realen Körpern immer kleiner als eins und der Reflexionsgrad größer als null (Absorptionsgrad = 1 - Reflexionsgrad) (Usamentiaga et al. 2014). Der Emissionsgrad eines Körpers gibt also an, wie viel Strahlung im Vergleich zu einem schwarzen Körper bei gleicher Temperatur emittiert wird (Gerß 2016; Tattersall 2016).

Die gesamte von der Kamera empfangene Strahlung (W_{ges}) ergibt sich aus der Emission des Zielobjekts ($\epsilon \tau W_{obj}$), der vom Objekt reflektierten Emission der Messumgebung ($(1 - \epsilon) \tau W_{refl}$) und der Emission aus der Atmosphäre ($(1 - \tau) W_{atm}$) (**Abbildung 5**). Daraus ergibt sich folgende Gleichung (FLIR Systems 2012; Usamentiaga et al. 2014; Vidal und Pitarma 2019):

$$W_{ges} = \epsilon \tau W_{obj} + (1 - \epsilon) \tau W_{refl} + (1 - \tau) W_{atm}$$

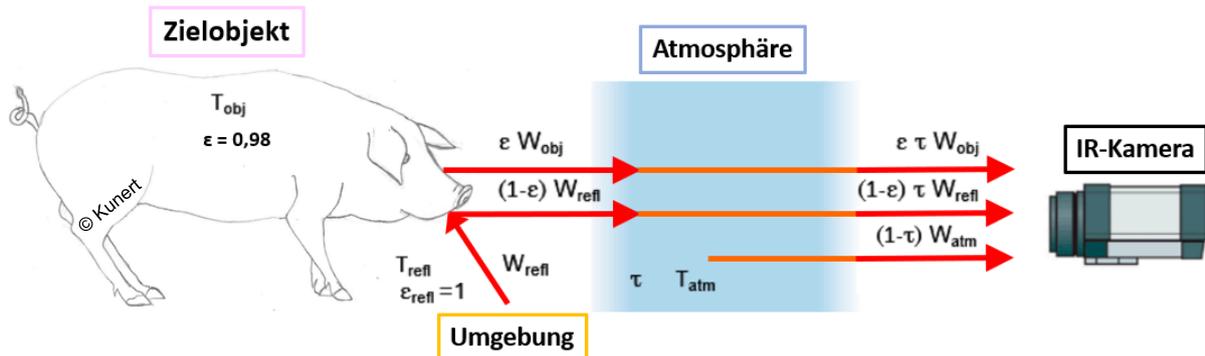


Abbildung 5: Schematische Darstellung der von der Infrarotkamera empfangenen Gesamtstrahlung (W_{ges}) (adaptiert nach FLIR Systems 2012).

Die vom Zielobjekt emittierte Strahlung wird allerdings nicht zur Gänze von der Kamera erfasst, da je nach Transmissionsgrad (Durchlässigkeit) der Atmosphäre ein Teil der Strahlung von der Atmosphäre absorbiert wird (Usamentiaga et al. 2014). Graue Körper, wie beispielsweise biologische Objekte, haben einen Reflexionsgrad größer als Null, das heißt, sie reflektieren auch von der Umgebung emittierte Infrarotstrahlung (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Ein Teil dieser reflektierten Strahlung wird ebenfalls von der Atmosphäre absorbiert. Für ein präzises Messergebnis spielen daher der Emissionsgrad des Objekts, die reflektierte Strahlung sowie die Temperatur und der Transmissionsgrad der Atmosphäre eine Rolle.

Der Transmissionsgrad der Atmosphäre liegt im Allgemeinen sehr nahe bei eins (100 % Durchlässigkeit). Dementsprechend hat auch die Temperatur der Atmosphäre wenig Einfluss auf die Oberflächentemperaturmessung, da der Emissionsgrad der Atmosphäre sehr nahe bei Null liegt.

Im Gegensatz dazu haben der Emissionsgrad des Messobjekts und die reflektierte Strahlung einen bedeutenderen Einfluss auf die Temperaturmessung und sollten berücksichtigt werden (Usamentiaga et al. 2014). Die reflektierte Temperatur hat nur einen bedeutenden Einfluss, wenn der Reflexionsgrad des Zielobjekts hoch ist (das ist bei Materialien mit niedrigem Emissionsgrad der Fall). Der Emissionsgrad hingegen ist der wichtigste Parameter für eine präzise Temperaturmessung (Usamentiaga et al. 2014). Dieser kann zwischen 0 und 1 liegen (Gerß 2016) und ist unter anderem von der Oberflächenbeschaffenheit abhängig (z.B. Struktur, Flüssigkeitsfilme) (Gerß 2016; Usamentiaga et al. 2014). Der Emissionsgrad des Zielobjektes muss vom Anwender direkt an der Infrarotkamera voreingestellt werden. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, den Emissionsgrad über die jeweilige Software zu korrigieren. Bei Objekten mit hohem Emissionsgrad haben geringe Schwankungen des gewählten

Emissionsgrades aber nur wenig Einfluss auf die Oberflächentemperaturmessung (Usamentiaga et al. 2014). Der Emissionsgrad von biologischem Gewebe liegt in einem Bereich zwischen 0,95 und 1 (Tattersall 2016), wobei eine Schwankung innerhalb diesen Bereichs nach Tattersall (2016) kaum zu Messfehlern führen dürfte. McCafferty (2007) gibt an, dass der Emissionsgrad von Säugetieren zwischen 0,98 und 1 liegt. Nach Gerß (2016) liegt der Emissionsgrad von Schweinehaut bei 0,98 mit einer dazugehörigen Standardabweichung von 0,005.

3.3.2 Atmosphärische Fenster

Die Transmission der Atmosphäre ist abhängig von der Distanz zum Zielobjekt, den Bestandteilen der Luft (vor allem Wasserdampfgehalt, Kohlendioxid, Ozon) sowie der Wellenlänge (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Im Wellenlängenbereich von 5-7,5 μm ist die Transmission der Atmosphäre gering, das heißt, dass beinahe die gesamte emittierte Strahlung durch die Atmosphäre absorbiert wird (Usamentiaga et al. 2014). Wellenlängenbereiche zwischen 3 und 5 μm sowie 8 und 14 μm werden als atmosphärische Fenster bezeichnet (Gerß 2016). Während der Transmissionsgrad im Spektralbereich des langwelligen atmosphärischen Fensters (8-14 μm) auch über große Übertragungstrecken gleichmäßig hoch ist, werden im Wellenlängenbereich des kurzwelligen atmosphärischen Fensters (3-5 μm) bereits bei Übertragungstrecken von einigen zehn Metern bis zu 20 % der emittierten Infrarotstrahlung von der Atmosphäre absorbiert (Infratec GmbH 2004). Bei einer Wellenlänge von 8-14 μm kann der Transmissionsgrad der Atmosphäre somit vernachlässigt werden, da dieser hier sehr nahe bei 1 liegt ($\tau=1$) (Infratec GmbH 2004; Usamentiaga et al. 2014) (**Abbildung 6**).

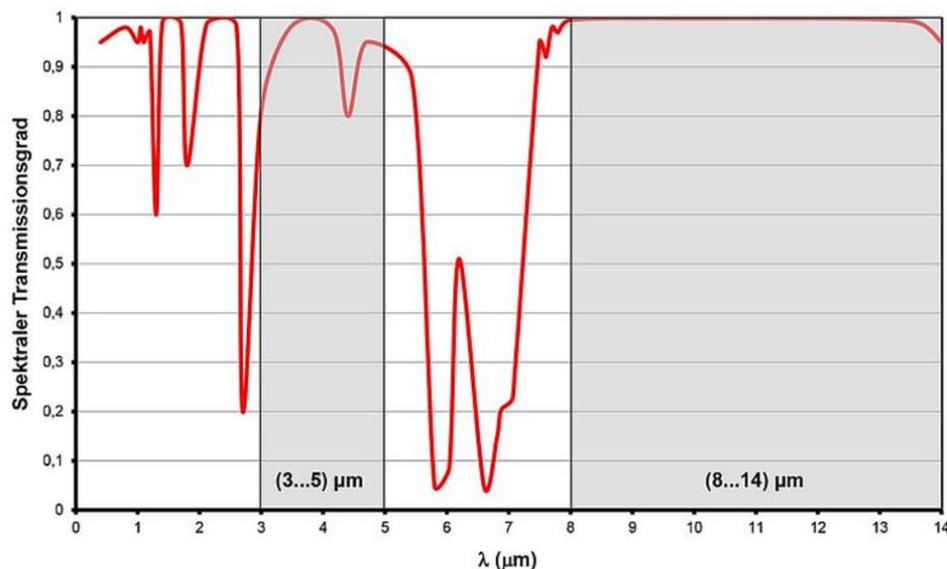


Abbildung 6: Spektraler Transmissionsgrad der Atmosphäre in Abhängigkeit der Wellenlänge bei einem Messabstand von 10 m, einer Lufttemperatur von 25 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 85 % (Infratec GmbH 2004).

Für biologische Anwendungen werden deshalb in der Regel langwellige Infrarot-Sensoren (LWIR: 8 bis 14 μm) verwendet. Bei Tieren hat beispielsweise eine Hautoberflächentemperatur von 30 °C eine Spitzenwellenlänge von 9,56 μm , die weit

im Bereich der Sensorempfindlichkeit von LWIR-Kameras (Spektralbereich FLIR T420[®]: 7,5-13 μm ; Spektralbereich BOSCH GTC 400 C Professional[®]: 8-14 μm) (Tattersall 2016) liegt.

3.3.3 Analyse der Wärmebilder

Durch IRT wird die Intensität der von der Hautoberfläche eines Tieres emittierten Wärmestrahlung erfasst und in ein Thermogramm (Wärmebild) umgewandelt (Jeelani und Jeelani 2019). Dieses Thermogramm ermöglicht die Visualisierung der Temperaturverteilung an der Hautoberfläche von Tieren, wobei eine Farbenpalette wärmere Hautoberflächenbereiche in helleren Farben und kühlere in dunkleren Farben erscheinen lässt (Zhang et al. 2019). Die Temperaturverteilung an der Hautoberfläche kann auch in Graustufen angezeigt werden (McCafferty 2007) (**Abbildung 7**). Moderne Infrarotkameras haben einen hohen Präzisionsgrad zwischen $\pm 0,08$ $^{\circ}\text{C}$ (Stelletta et al. 2012) und ± 1 $^{\circ}\text{C}$ (Nääs et al. 2014). Die Bildanalyse konzentriert sich entweder auf einen Untersuchungspunkt (einzelnes Pixel) oder eine begrenzte Untersuchungsregion (Summe mehrerer Pixel in einem definierten Bereich). Diese Untersuchungsregionen können anhand von Linien oder Flächen von verschiedenen Formen, wie beispielsweise Kreisen, analysiert werden (Soerensen und Pedersen 2015).

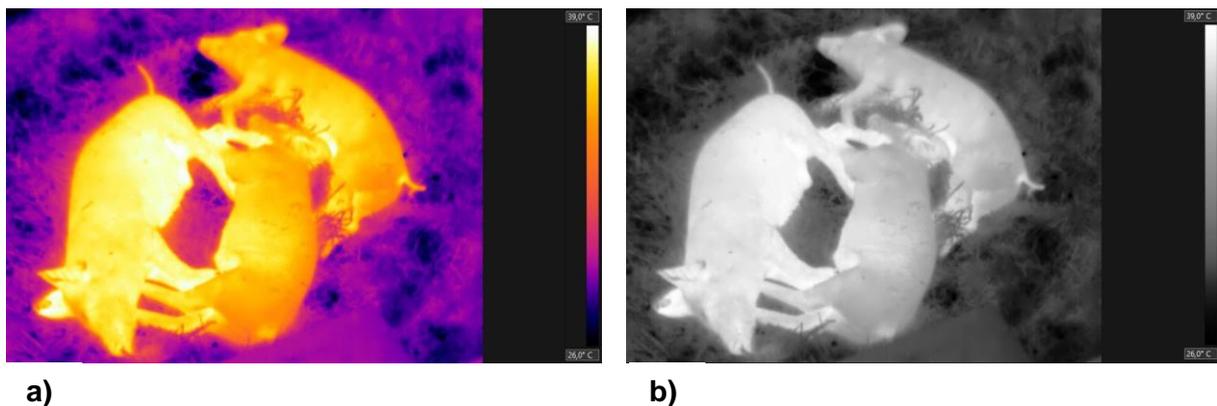


Abbildung 7: Infrarotbild von Schweinen in **a)** Regenbogenfarben und **b)** Graustufen (© BOKU/Kunert).

3.3.4 Anwendungsbereiche

Es gibt eine große Bandbreite an Anwendungsbereichen für den Einsatz der IRT zur Messung der Hautoberflächentemperatur in den Nutztier- und Veterinärwissenschaften. Beispiele dafür sind die Beurteilung des thermischen Komforts, die Krankheitserkennung sowie die Stressbeurteilung (Choudhury et al. 2020; McManus et al. 2016; Nääs et al. 2014; Kunc und Knizkova 2012).

1) Thermischer Komfort

Die Bestimmung von Hitze- und Kältestress sowie der thermoneutralen Zone für unterschiedliche Tierarten in verschiedenen Alterskategorien sind besonders wichtig für die Beurteilung von Tierwohl (Boileau et al. 2018). Die Analyse physiologischer Indikatoren kann durch IRT unterstützt werden (Mitchell 2013).

Tabuaciri et al. (2012) und Caldara et al. (2014) setzten die IRT zur Überwachung des Wärmeverlustes sowie zur Erkennung von Unterkühlung bei Ferkeln ein. Dabei untersuchten Caldara et al. (2014), inwiefern das Geburtsgewicht bei Ferkeln mit Änderungen der Körperoberflächentemperatur nach der Geburt korreliert. Um auf die durchschnittliche Hautoberflächentemperatur des gesamten Ferkelkörpers zu schließen, wurde die mittlere Körperoberflächentemperatur anhand 30 ausgewählter Temperaturmesspunkte am Infrarotbild berechnet (**Abbildung 8**). Die AutorenInnen stellten fest, dass zwischen dem Geburtsgewicht und der Hautoberflächentemperatur der Ferkel 30 und 45 Minuten nach der Geburt eine positive Korrelation besteht. Je schwerer ein Ferkel zur Geburt ist, desto geringer ist der Hautoberflächentemperaturabfall. Außerdem beobachteten die AutorenInnen eine stark ausgeprägte negative Korrelation (-0,8) zwischen dem Temperature-Humidity-Index (THI) und der Hautoberflächentemperatur. Mit Hilfe der IRT konnte verdeutlicht werden, dass insbesondere den Ferkeln mit niedrigem Geburtsgewicht besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden sollte, um Verluste durch Unterkühlung zu vermeiden (Caldara et al. 2014).

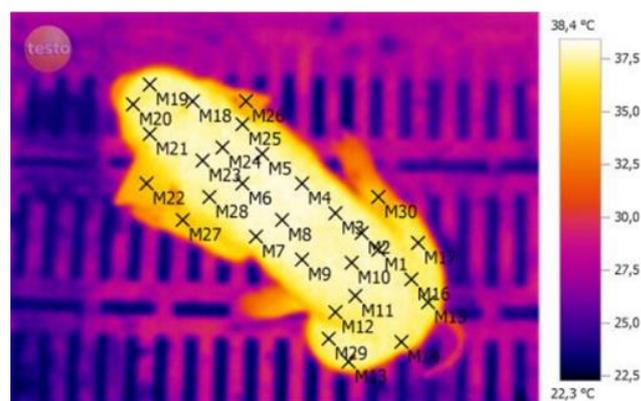


Abbildung 8: Infrarotbild eines unmittelbar nach der Geburt aufgenommenen Ferkels mit 30 ausgewählten Temperaturmesspunkten, die zur Berechnung der durchschnittlichen Hautoberflächentemperatur herangezogen wurden (Caldara et al. 2014).

Tabuaciri et al. (2012) erfassten die Körperoberflächentemperatur an 6 verschiedenen Körperstellen: an linker und rechter Ohrbasis, an linker und rechter Ohrspitze; am linken oder rechten Auge und die Durchschnittstemperatur der Strecke zwischen Scheitel und Steiß (**Abbildung 9**). Die Ergebnisse zeigen, dass der lineare Bereich vom Scheitel bis zum Steiß der zugänglichste Bereich ist, um geeignete IRT-Aufnahmen von Ferkeln zu erhalten. Allerdings ist der Korrelationskoeffizient zwischen der Rektaltemperatur (38,2 °C) und der Hautoberflächentemperatur für die rechte (37,9 °C; $r=0,88$) und linke (38,1 °C; $r=0,80$) Ohrbasis höher, als für den Bereich vom Scheitel bis zum Steiß (37,7 °C; $r=0,75$). Es wurde auch beobachtet, dass sich die mittlere Rektal- und Hautoberflächentemperatur (linke Ohrbasis, linke Ohrspitze, Scheitel-Steiß-Länge) von zitternden ($n=58$) und nicht zitternden ($n=567$) Ferkeln signifikant unterscheiden ($p<0,05$). Die AutorenInnen kamen zu dem Schluss, dass die IRT neben einem geeigneten Instrument zur Früherkennung von Hypothermie auch eine praktikable Alternative zur Messung der Körperkerntemperatur bei neugeborenen Ferkeln ist. Außerdem sollten nicht nur zitternde Ferkel, sondern auch diejenigen mit niedriger Hautoberflächentemperatur im Auge behalten werden.

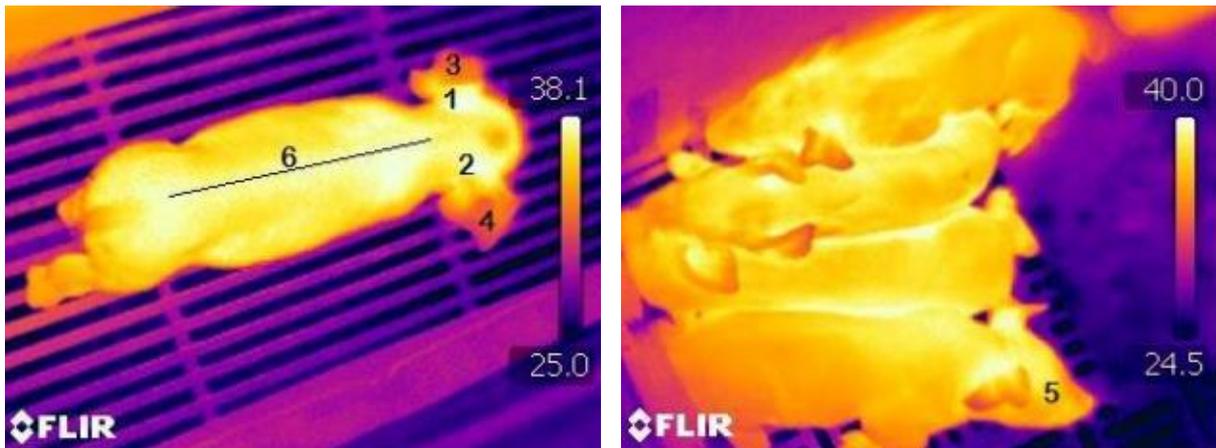


Abbildung 9: Gewählte Untersuchungsregionen bei Ferkeln: **1**=linke Ohrbasis; **2**=rechte Ohrbasis; **3**=linke Ohrspitze; **4**=rechte Ohrspitze; **5**=linkes oder rechtes Auge und **6**=Durchschnittstemperatur der Länge zwischen Scheitel und Steiß (Tabuaciri et al. 2012).

Brown-Brandl et al. (2013) entwickelten eine IRT-Methode, in welcher die Hautoberflächentemperatur zur Bestimmung von Hitzestress bei Mastschweinen herangezogen wurde. Mit Hilfe von IRT-Bildern konnte die Änderung der Hautoberflächentemperatur bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen bestimmt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die obere Grenze der thermoneutralen Zone bei Mastschweinen zwischen 17,4 und 20,8 °C Umgebungstemperatur liegt. Die AutorenInnen nehmen an, dass diese Schwellenwerte die Umgebungstemperaturen darstellen, ab denen eine verstärkte Durchblutung der Haut jedenfalls einsetzt. Das bedeutet, dass bei Überschreitung einer Umgebungstemperatur zwischen 17,4 und 20,8 °C mehr Blut zur Hautoberfläche geleitet wird, um den Wärmeverlust zu erhöhen. Außerdem fanden die AutorenInnen heraus, dass der maximale Blutfluss zur Hautoberfläche bei Umgebungstemperaturen zwischen 35,7 und 40,7 °C erfolgt, so dass längere Phasen mit solchen Extremtemperaturen ohne zusätzliche Kühlmechanismen zu einer Hyperthermie führen können. Die AutorenInnen folgerten, dass die IRT erfolgreich zur Bewertung des thermischen Komforts von Schweinen eingesetzt werden kann. Die AutorenInnen betonen jedoch auch, dass weitere Studien durchgeführt werden sollten, um die mit Hilfe der IRT ermittelten Schwellenwerte zu validieren.

Sapkota et al. (2016) untersuchten, ob die Methode der IRT zur genauen Überwachung des thermischen Zustandes von Schweinen geeignet ist, indem sie Änderungen der Hautoberflächen- und Körperkerntemperatur während akutem Hitzestress ($39,3 \pm 0,1$ °C) und einer anschließenden Erholungsphase unter thermoneutralen Bedingungen ($20,6 \pm 0,1$ °C) verglichen. Bevor die Tiere dem Hitzestress ausgesetzt waren, wies die Hautoberfläche an der Ohrbasis höhere Durchschnittstemperaturen auf ($35,6 \pm 0,3$ °C; $p < 0,01$) als alle anderen Hautoberflächen (Rückseite des Ohrs, Nacken, Schulter, Thorax, Flanke, Steiß, Oberschenkel sowie Körperstamm). Die Oberflächentemperatur an allen Hautoberflächen stieg linear ($p < 0,01$) mit der Dauer der akuten Hitzestressexposition. Die durchschnittliche Körperkerntemperatur aller Schweine stieg von 39,3 °C (vor akuter Hitzestressphase) auf 40,3 °C (während akuter Hitzestressphase) an. Auch die durchschnittliche Hautoberflächentemperatur des Rumpfes stieg von 33,5 °C auf 40,5 °C an. Wenn die Schweine nach 30-minütiger Hitzestressbelastung unter

thermoneutralen Bedingungen gehalten wurden, fiel die Hautoberflächentemperatur innerhalb von 10 Minuten drastisch ab, während die Körperkerntemperatur für mindestens 30 Minuten erhöht blieb. Die durchschnittliche und maximale Körperkerntemperatur war in der Phase der Erholung unter thermoneutralen Bedingungen höher ($p < 0,01$; 0,2 und 0,3 °C) als während der akuten Hitzestressphase. Die AutorenInnen fassen zusammen, dass die Oberflächentemperatur an der Ohrbasis zur Schätzung der Körperkerntemperatur herangezogen werden könnte, sofern sich die Tiere in einer dauerhaften thermoneutralen Umgebung befinden. Werden Schweine hingegen nach einer akuten Hitzestressbelastung in einer thermoneutralen Umgebung gehalten, reicht die Hautoberflächentemperatur zur genauen Überwachung des thermischen Zustandes von Schweinen nicht aus.

Des Weiteren kann die IRT auch zur Überprüfung der Effektivität von Kühlung, z.B. durch Schweineduschen, eingesetzt werden (Kapitel 3.2.2).

In einer Studie untersuchten Dela Ricci et al. (2019) die Hautoberflächentemperatur von Sauen und Ferkeln mit und ohne Kühlsystem anhand von IRT. Nach Dela Ricci et al. (2019) kann das Kühlen von Ställen, durch Ventilatoren und Wassersprinkler am Dach, die Hautoberflächentemperatur von Sauen und Ferkeln nicht absenken. Dela Ricci et al. (2019) kamen zum Schluss, dass der Einsatz der IRT eine Identifizierung der heißesten und kältesten Hautoberflächenbereiche von Schweinen ermöglicht.

2) Krankheitserkennung

Bei einem gesunden Tier herrscht eine relativ ausgeglichene Temperaturverteilung zwischen verschiedenen Körperteilen vor (Choudhury et al. 2020; Cilulko et al. 2013). Pathologische Prozesse können die Gewebetemperatur aufgrund der verstärkten Durchblutung erhöhen. So wird beispielsweise die durch eine Entzündung erzeugte Wärme über einen erhöhten kapillaren Blutfluss zur angrenzenden Haut transportiert, wo sie als Infrarotstrahlung abgeleitet wird (Kunc und Knizkova 2007; Kunc und Knizkova 2012). Werden dieselben anatomischen Hautregionen kranker und gesunder Tiere mithilfe der IRT untersucht, so weisen kranke Tiere erhöhte Hautoberflächentemperaturen auf (Cilulko et al. 2013).

Die IRT wird deshalb auch zur Krankheitsdiagnose sowie zur Untersuchung von Verletzungen, Entzündungen, Schmerzen, Lahmheiten und Muskelschäden eingesetzt (Mitchell 2013), da durch die Messung der Oberflächentemperaturverteilung Anomalien identifiziert werden können (Soerensen und Pedersen 2015). Anwendungsbeispiele sind die Frühdiagnose von Lahmheit bei Milchkühen (Alsaad et al. 2015; Nikkha et al. 2005), die Früherkennung von Mastitis bei Rindern (Berry et al. 2003; Pezeshki et al. 2011) und Schafen (Felipe Saraiva Martins et al. 2012), die Schmerzbeurteilung bei Pferden (Fonseca et al. 2006) und Schafen (Stubsjøen et al. 2009) sowie die Erkennung von Infektionen mit Maul- und Klauenseuche (Rainwater-Lovett et al. 2009) oder Boviner Virus Diarrhoe (BVD) (Schaefer et al. 2004).

Auch bei Schweinen wurde die IRT eingesetzt, um Infektionskrankheiten und Immun- und Entzündungsreaktionen zu erkennen. Beispiele sind die Erkennung von Lungenveränderungen durch das Bakterium *Actinobacillus pleuropneumoniae* (Menzel et al. 2014) sowie fieberhaften Impfreaktionen auf das *Actinobacillus pleuropneumoniae* Vakzin (Cook et al. 2014). Menzel et al. (2014) stellten fest, dass Entzündungsreaktionen in der Lunge, verursacht durch *Actinobacillus*

pleuropneumoniae Infektion, durch IRT erkannt werden können, indem Hautoberflächentemperaturen des Thorax- und Abdominalbereiches mit klinischen Parametern und Daten aus der Computertomographie verglichen werden. Amezcua et al. (2014) verwendeten die IRT bei Entzündungsreaktionen im Zusammenhang mit Lahmheit und kamen zu dem Schluss, dass die IRT eine geeignete Methode ist, um Lahmheit bei trächtigen Sauen frühzeitig zu erkennen. Auch zur frühzeitigen Erkennung von Fieber wurde die IRT beim Schwein bereits eingesetzt (Schmidt et al. 2013; Siewert et al. 2014).

3) Stressbeurteilung

Des Weiteren kann die IRT bei Tieren auch angewendet werden, um physiologische Reaktionen auf belastende und schmerzhafte Reize oder Eingriffe zu erkennen, wodurch Rückschlüsse auf den emotionalen Zustand von Tieren gezogen werden können. Dadurch können Auswirkungen von Stressfaktoren, wie kardiovaskuläre Reaktionen, untersucht werden (Mitchell 2013). Aufgrund der nicht-invasiven und kontaktlosen Vorgehensweise ist die IRT besonders relevant für die Bewertung von physiologischen Stressreaktionen (McManus et al. 2016). In einem Versuch beobachteten Nakayama et al. (2005) ein Absinken der Nasentemperatur bei Rhesusaffen während und nach dem Erleben eines negativen emotionalen Zustandes. Die Ergebnisse einer Studie von Proctor und Carder (2015) bei Milchkühen zeigen hingegen, dass auch ein positiver emotionaler Zustand mit einem Abfall der Nasentemperatur korreliert. Daher sind die Zusammenhänge zwischen emotionalen Zuständen und den zugrundeliegenden Mechanismen des autonomen Nervensystems bisher noch nicht vollständig geklärt (Boileau 2018).

4) Sonstige

Neben den zuvor genannten IRT-Anwendungsbereichen gibt es zahlreiche weitere, wie beispielsweise IRT-Studien zu Aspekten wie Stoffwechsel und Ernährung bei verschiedenen Tierarten (McManus et al. 2016), Erkennung von Ektoparasiten bei Rindern (Cortivo et al. 2016) und Reproduktion bei Schweinen (Sykes et al. 2012). Auch um den Einsatz illegaler Leistungsförderer im Pferdesport aufzudecken, kann die IRT eingesetzt werden (Van Hoogmoed und Snyder 2002).

3.3.5 Potentielle Einflussfaktoren auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung

Um beim Einsatz der IRT valide Daten über Hautoberflächentemperaturen zu gewinnen, müssen einige Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Physiologisch wird die Hautoberfläche von Tieren durch deren artspezifische Thermoregulationsmechanismen beeinflusst. Die von einem Tier produzierte Wärme geht durch Wärmeleitung, Wärmeströmung, Verdunstung und Infrarotstrahlung verloren (McCafferty et al. 2011). Neben der Art des Wärmeaustausches haben auch tierbezogene Faktoren wie die physikalischen Eigenschaften der Haut einen großen Einfluss auf die von Wärmebildkameras erfasste Hautoberflächentemperatur (Boileau 2018). Daher müssen physikalische, anatomische und physiologische Unterschiede zwischen verschiedenen Tierarten berücksichtigt werden (Boileau 2018). Aber auch Umweltfaktoren wie relative Luftfeuchtigkeit, Sonneneinstrahlung, Wind und Regen

haben einen Einfluss auf die Messung der Hautoberflächentemperatur durch IRT (Jeelani und Jeelani, 2019; Tattersall 2016).

a) Pigmentierung und Haardichte

Physikalischen Eigenschaften der Haut, wie beispielsweise Pigmentierung und Haardichte, haben einen Einfluss auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung. Bei Zebras sind schwarze Streifen beispielsweise wärmer als nebenliegende weiße Streifen. Durch starke Sonneneinstrahlung wird dieser Effekt verstärkt (McCafferty 2007) (**Abbildung 10, Abbildung 11**). In einer Studie von Isola et al. (2020) wurden Hautoberflächentemperaturen von rot-weißen und schwarz-weißen Holstein-Kühen durch IRT verglichen. Die AutorenInnen fanden heraus, dass sowohl während der kühlen als auch der heißen Jahreszeit die Hautoberflächentemperaturen an pigmentierten Stellen von rot-weißen Kühen signifikant niedriger waren (23,2 bzw. 33,4 °C) als jene von schwarz-weißen Kühen (27,2 bzw. 34,2 °C). Interessant ist auch, dass selbst nicht-pigmentierte Stellen von rot-weißen Kühen (32,9 °C) während der heißen Jahreszeit signifikant kühler waren, als jene von schwarz-weißen Kühen (33,8 °C). Zudem zeigen die Ergebnisse, dass die Rektaltemperatur von rot-weißen Kühen in der warmen Jahreszeit signifikant niedriger ist, als die von schwarz-weißen Kühen. Die AutorenInnen schließen daraus, dass der rot-weiße Fell-Phänotyp weniger Sonnenstrahlen absorbiert und weniger Wärme zurückhält als der schwarz-weiße Phänotyp. Somit hat der Fell-Phänotyp nicht nur Einfluss auf das Messergebnis, sondern auch auf die Thermoregulation der Tiere. Um vergleichbare Messdaten zu erhalten, sollte daher zwischen pigmentierten und nicht-pigmentierten Hautoberflächen bzw. Tieren unterschieden werden. Zusätzlich zur Hautpigmentierung muss auch das Ausmaß der Haarabdeckung berücksichtigt werden, da Haare einen Teil der abgestrahlten Wärme absorbieren und so die Intensität der von der Wärmebildkamera detektierten Infrarotstrahlung vermindern (Jeelani und Jeelani 2019). Somit liefern stark behaarte Hautoberflächen keine zuverlässigen Temperaturdaten. Bei den meisten kommerziell verwendeten Schweinerassen ist die Haarabdeckung jedoch minimal, weshalb sich die IRT zur Messung der Hautoberflächen bei Schweinen eignet (Soerensen und Pedersen 2015).

b) Thermische Fenster (TF) und Nicht-thermische Fenster (NTF)

Nicht alle Körperregionen weisen dieselbe Hautoberflächentemperatur auf, da die Hauttemperatur von anatomischen Strukturen und physiologischen Prozessen beeinflusst wird. Aufgrund dessen können verschiedene Körperregionen von Tieren in Thermische Fenster (TF) und Nicht-thermische Fenster (NTF) eingeteilt werden. TF werden als Wärmeaustausch-Körperbereiche charakterisiert, die immer gut durchblutet sind und als Fenster zur Körperkerntemperatur wirken. Somit stehen TF in einem positiven Zusammenhang mit der Rektaltemperatur und sind wenig beeinflusst von der Umgebungstemperatur (Soerensen und Pedersen 2015). Bei NTF wird die Durchblutung durch Thermoregulationsmechanismen reguliert. Es sind Hautbereiche mit einer dicken subkutanen Fettschicht, welche positiv mit den Umgebungstemperaturen korrelieren. Aufgrund der wärmeisolierenden Wirkung der Fettschicht sinkt die Hauttemperatur solcher Regionen mit sinkender Umgebungstemperatur. Mit steigender Umgebungstemperatur steigt die Hauttemperatur hingegen an (Soerensen und Pedersen 2015).

Bei Schweinen können Auge, Ohrbasis, innere Seite der Ohrmuschel, Innenohr, Bauch, Gesäuge, Vulva, Afterregion und Anus als TF angesehen werden. Zu den NTF

zählen Ohrlappen, Lendenbereich, der Bereich zwischen den Schulterblättern, Carpus, Tarsus, Schulter, Knie, Ellenbogen, Rüssel, Schwanzansatz, Flanke, Rücken und Ohrspitze (Soerensen und Pedersen 2015). Auch Schmidt et al. (2013) untersuchten den Zusammenhang zwischen Rektaltemperatur und Hautoberflächentemperatur an acht verschiedenen anatomischen Regionen bei Muttersauen. Die Ergebnisse zeigten, dass es für Auge, Stirn, Ohrbasis, Gesäuge und Vulva eine hohe Übereinstimmung zwischen Rektaltemperatur und Hautoberflächentemperatur gibt, während es für den seitlichen Oberschenkel und die Rückenbereiche (Lendenwirbel- und Kreuzbein-Bereich) keinen engen Zusammenhang gibt. Außerdem ist die Spannweite der durch IRT erfassten Hauttemperaturen für den Oberschenkel und die Rückenbereiche größer als für die anderen Regionen. Eine Erklärung könnte nach Schmidt et al. (2013) deren dickere Hautschicht und dickere subkutane Fettschicht sein. Die Ergebnisse deuten deshalb darauf hin, dass Oberschenkel und Rücken bei Schweinen NTF sind. Jedoch ist eine eindeutige und zuverlässige Einteilung anatomischer Regionen in TF und NTF schwierig, da sich Studienergebnisse mitunter widersprechen. So werden manche Untersuchungsregionen, je nach Studie, sowohl als TF, als auch als NTF eingestuft. Insbesondere die Rolle der Hautoberflächentemperatur am Ohr ist schwierig zu interpretieren. Zum Beispiel stellten Petry et al. (2017) keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der Hautoberflächentemperatur des Ohrs und der Körperkerntemperatur fest, obwohl jeweils drei verschiedene Stellen am Ohr (Vorderseite des Ohrs: Ohrbasis, Mittelohr und Ohrspitze) verglichen wurden. Auch Dewulf et al. (2003) stellten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen der mit einem Infrarotthermometer gemessenen Hauttemperatur des Ohrs und der Rektaltemperatur fest. Tabuaciri et al. (2012) ermittelten hingegen eine bedeutende Korrelation zwischen Körperkern- und Hauttemperatur der Ohrbasis ($r=0,85$) im Vergleich zur Ohrspitze ($r=0,27$). Somit können bei Schweinen Ohrlappen und Ohrspitze als NTF, Ohrbasis und Gehörgang als TF eingestuft werden. Während TF Aufschluss über Veränderungen der inneren Körpertemperatur geben können, ist auch die Hauttemperatur von NTF ein wichtiger physiologischer Indikator für Thermoregulation. Denn die metabolische Vasokonstriktion und Vasodilatation, die als Thermoregulationsmechanismen wirken, beeinflussen auch die Hautoberflächentemperaturen der NTF (Soerensen und Pedersen 2015).

c) Relative Luftfeuchtigkeit

Von den atmosphärischen Gasen in der Luft ist es insbesondere Wasserdampf, der die Durchlässigkeit für Infrarotstrahlung beeinflussen kann (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Allerdings ist bei kurzen Distanzen bis zu 10 Meter und im Wellenlängenbereich von 8-14 μm (vgl. 3.3.2) der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Durchlässigkeit der Atmosphäre gering (Infratec GmbH 2004; Usamentiaga et al. 2014). Nach Fernández-Cuevas et al. (2015) kann die relative Luftfeuchtigkeit die IRT-Analyse (am Beispiel von menschlicher Haut) auf zwei Arten beeinflussen. Zum einen haben Wasserdampfpartikel ein Potenzial zur Abgabe von Infrarot-Strahlung, auch wenn dieses nur minimal ist. Zudem hat die relative Luftfeuchtigkeit einen direkten Einfluss auf die Temperatur an der Hautoberfläche.

Jia et al. (2020) untersuchten den Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Hautoberflächentemperatur bei 18 nicht-trächtigen Muttersauen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Hauttemperatur von Schweinen im Rücken- und Augenbereich negativ mit der relativen Luftfeuchtigkeit korreliert ($-0,21$ und $-0,25$; $p<0,01$). Die Oberflächentemperatur der Ohrbasis und der Vulva hingegen zeigt keinen

Zusammenhang mit der relativen Luftfeuchtigkeit (0,03 und 0,07; $p > 0,05$), was auch von Wendt et al. (1997) bestätigt wird. Nach Jia et al. (2020) sollte der Einfluss der relative Luftfeuchtigkeit bei der Erfassung der Hautoberflächentemperatur durch IRT allerdings berücksichtigt werden. Atmaca und Yigit (2006) sowie Gómez Carmona (2012) hingegen stellten fest, dass die relative Luftfeuchtigkeit keinen signifikanten Einfluss auf die Hauttemperatur von Menschen hat, wenn die Umgebungstemperatur im Bereich der thermoneutralen Zone liegt.

d) Sonneneinstrahlung und Wind

Laut Fachliteratur sollten Wärmebilder von Tieren außerhalb von direktem Sonnenlicht und Windzug aufgenommen werden (Kunc und Knizkova 2012). Dies bestätigen die Ergebnisse von Codde et al. (2016), die den Effekt der Umweltvariablen Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit auf die mittels IRT gemessene Hautoberflächentemperatur von 100 erwachsenen nördlichen See-Elefanten (*Mirounga angustirostris*) und deren Kälbern untersuchten. Die mittlere und maximale Hautoberflächentemperatur der Tiere wurde stark von der Sonneneinstrahlung ($p < 0,0001$ für beide Altersklassen) und Windgeschwindigkeit ($p < 0,0001$ für erwachsene Weibchen; $p < 0,01$ für Jungtiere) beeinflusst, wobei die mittlere und maximale Hautoberflächentemperatur mit zunehmender Sonneneinstrahlung zunahm und mit erhöhter Windgeschwindigkeit sank. Auch die Bilder von McCafferty (2007) (**Abbildung 10** vs. **Abbildung 11**) verdeutlichen, dass sowohl schwarze als auch weiße Streifen von Steppenzebras in direktem Sonnenlicht im Vergleich zu Steppenzebras im Schatten höhere Hautoberflächentemperaturen aufweisen, wobei schwarze Streifen stärker von Sonneneinstrahlung beeinflusst werden (**Abbildung 10**).

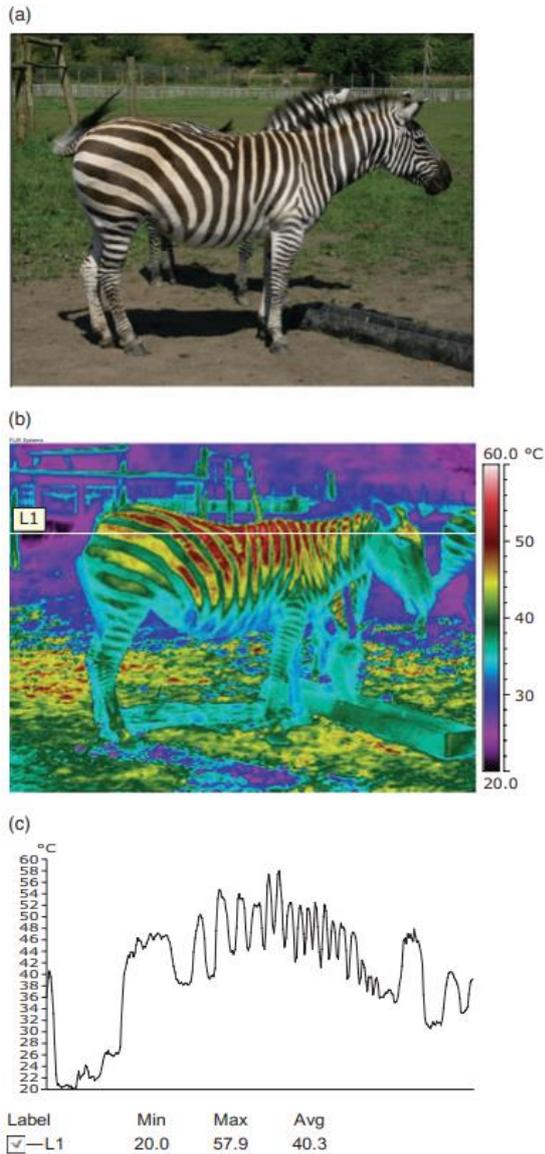


Abbildung 10: Foto (a) eines Böhme-Zebras (*Equus burchelli boehmi*) mit dazugehörigem Infrarotbild (b) in voller Sonne. Das Temperaturprofil L1 in der darunter stehenden Grafik (c) zeigt die Temperaturschwankungen der Hautoberflächentemperatur von Kopf bis Schwanzansatz, wobei die schwarzen Streifen um mehr als 10 °C wärmer sind als die weißen Streifen des Fells. Durchschnittliche Umgebungstemperatur = 28,3 °C, relative Luftfeuchtigkeit = 44 % (McCafferty 2007).

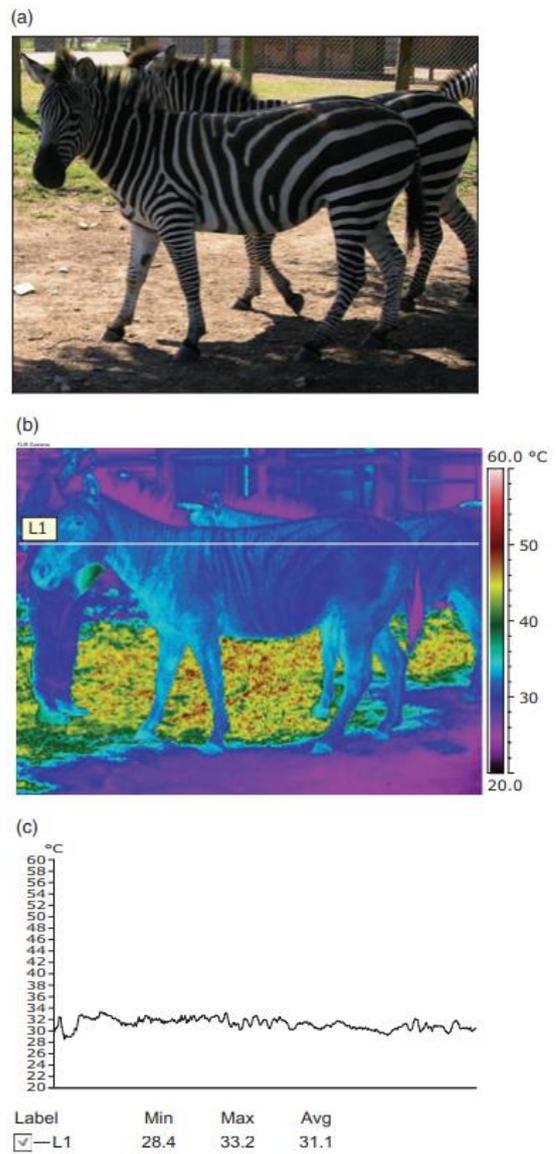


Abbildung 11: Foto (a) eines Böhme-Zebras mit entsprechendem Infrarotbild (b) nach 5-10 min im Schatten eines Baumes. Das Temperaturprofil L1 in der untenstehenden Grafik (c) zeigt die Temperaturschwankungen der Hautoberflächentemperatur von Kopf bis Schwanzansatz, wobei die schwarzen Streifen durchschnittlich um weniger als 2 °C wärmer sind als weißen Streifen. Durchschnittliche Umgebungstemperatur = 27,4 °C und relative Luftfeuchtigkeit = 45 % (McCafferty 2007).

e) Nässe und Verschmutzung

Auch Nässe und Verschmutzung der Oberfläche beeinflussen die Hautoberflächentemperatur von Tieren und führen zu unklaren Ergebnissen am Wärmebild. Deswegen sollten verschmutzte Regionen bei der Bildanalyse ausgeschlossen werden (Kunc und Knizkova 2012). Verdunstungskälte führt ebenfalls zu Temperaturänderungen an der Hautoberfläche. Allerdings sind Temperaturfehler durch Änderungen des Emissionsgrades einer nassen Hautoberfläche gering im Vergleich zu Temperaturabweichungen durch Kühlung der Hautoberflächentemperatur aufgrund von Verdunstungskälte. Dies ist von Bedeutung für Studien an aquatischen Säugetieren, bei Tieren, die unter natürlichen Bedingungen durch Niederschlag nass werden, sowie für Studien, die z.B. Duschen zur Evaporationskühlung untersuchen. Nasse Hautoberflächen täuschen eine der Wassertemperatur entsprechende Oberflächentemperatur am Wärmebild vor. Grund dafür ist die Speicherung von Wasser im Haarkleid (McCafferty 2007, **Abbildung 12**). Die herkömmlichen Hausschweinrasen weisen jedoch nur eine geringe Haarabdeckung auf (Bogner und Grauvogel 1984), weshalb die Speicherung von Wasser im Fell minimal ist. Darüber hinaus bewirkt die höhere Wärmeleitfähigkeit von Wasser, dass Wärme schneller von warmen Körperteilen abgeleitet wird. Die genannten Faktoren führen zu kühleren Hautoberflächentemperaturen am Wärmebild (McCafferty 2007).

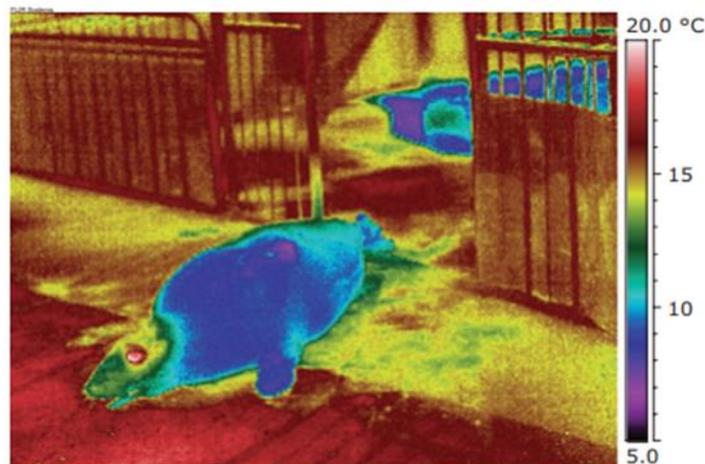


Abbildung 12: Infrarotbild eines erwachsenen Kegelrobbenweibchens, welches kurz vor Bildaufnahme aus dem Meerwasserbecken robbte. Der Körper täuscht eine einheitliche Oberflächentemperatur vor, die der Temperatur des Wassers entspricht. Der Kopf ist wärmer als der Körper, da die Robbe ihren Kopf über Wasser hielt, bevor sie das Becken verließ. Durchschnittliche Umgebungstemperatur beträgt 16,2 °C (McCafferty 2007).

Auch Bernard et al. (2013) untersuchten den Einfluss von Wasser auf das IRT-Messergebnis, indem sie die Hautoberflächentemperatur an menschlichen Händen verglichen. Auf der rechten Hand wurde Wasser mit Körperoberflächentemperatur (35 °C) aufgetragen, während die linke Hand trocken blieb. Die AutorenInnen fanden heraus, dass die Benetzung mit Wasser derselben Temperatur wie die trockene Handoberfläche (35 °C) zu niedrigeren Handoberflächentemperaturen am Wärmebild führt. Dies deutet darauf hin, dass die niedrigere Hauttemperatur an der mit Wasser benetzten Hand auf eine Kühlung durch Evaporation zurückzuführen sein könnte. Die AutorenInnen empfehlen, dass der Emissionsgrad beim Auftragen von Wasser korrigiert werden sollte, um einen physikalischen Einfluss von Wasser auf das Messergebnis auszuschließen.

Banhazi et al. (2009) untersuchte den optimalen Zeitpunkt für die Aufnahme von IRT-Bildern bei Schweinen als Methode zur Bestimmung der prozentualen Hautfeuchtigkeit. Es konnte gezeigt werden, dass durch IRT nur innerhalb einer Minute nach dem Besprühen der Flanke mit Wasser die prozentuale Hautfeuchtigkeit bei Schweinen abgeschätzt werden kann. Zwischen zwei und 20 Minuten nach dem Besprühen der Hautoberfläche mit Wasser zeigen IRT-Bilder den Kühleffekt der benetzten Haut anstatt der Fläche der nassen Haut.

Moe et al. (2018) setzten die IRT ein, um Temperaturunterschiede vor und nach der Reinigung der Fußsohlen bei achtzig Truthähnen (*Meleagris gallopovo*) zu untersuchen. Die Füße wurden mit lauwarmem Wasser und einem Schwamm gereinigt und anschließend mit einem Papierhandtuch getrocknet, um die Minimal- und Maximaltemperatur von Fußballen- und Fußsohlen-Oberfläche bei verschmutzten und gereinigten Füßen zu bestimmen. Die AutorenInnen stellten fest, dass die Maximaltemperatur vor der Reinigung an der Fußsohle um 3,92 °C ($p < 0,001$) und am Fußballen um 2,64 °C ($p < 0,001$) höher ist als nach der Reinigung. Die Minimaltemperatur an der Oberfläche der Fußballen ist nach der Reinigung hingegen signifikant höher (1,28 °C, $p < 0,001$). Die Ergebnisse widersprechen der Annahme der AutorInnen, dass verschmutzte Hautoberflächen aufgrund der abschirmenden Eigenschaften des Schmutzes zu niedrigeren Temperaturen am Wärmebild führen. Die AutorenInnen erklären die niedrigeren Hautoberflächentemperaturen der gereinigten Füße unter anderem dadurch, dass Restwasser an den Füßen Infrarotstrahlung absorbiert sowie den Emissionsgrad der Haut verändert haben könnte. Als weitere Begründungen werden angeführt, dass die Füße der Tiere durch Verdunstung des Restwassers gekühlt worden sind und das Restwasser als Filter für die Infrarotstrahlung gewirkt haben könnte. Außerdem kann erhöhter Stress durch das Fangen und Festhalten der Tiere die höhere Temperatur vor der Reinigung erklären.

f) Sonstige

Bei der Aufnahme der Wärmebilder sollten zudem zirkadiane (=Dauer von etwa 24 Stunden), infradiane (>24 Stunden) und ultradiane (<24 Stunden) Rhythmen berücksichtigt werden. Wenn sich die Datenerhebung über mehrere Tage erstreckt, sollte die Zeit der Aufnahme daher für jeden Tag gleich sein (Jeelani und Jeelani 2019). Außerdem müssen mögliche Einflüsse durch Stress (Hilsberg 2000; Nakayama et al. 2005), Bewegung (Hilsberg 2000), Fütterungszeitpunkt, Melkprozess oder physiologische Vorgänge wie Wiederkauen beim Einsatz der IRT berücksichtigt werden (Kunc und Knizkova 2012).

4 Tiere, Material und Methoden

Im Rahmen des ERANet CoreOrganic Cofund Projektes „POWER“ (<https://projects.au.dk/coreorganiccofund/core-organic-cofund-projects/power/>), das sich über den Zeitraum von Mai 2018 bis Oktober 2021 erstreckte, wurden Experimente zur Auslaufgestaltung auf Praxisbetrieben durchgeführt. Diese Masterarbeit wurde als Teil der Experimente durchgeführt, die sich mit dem Effekt von Duschen im Auslauf von biologisch gehaltenen Mastschweinen beschäftigten.

4.1 Betriebe und Tiere

Der Versuch wurde auf drei biologisch bewirtschafteten Betrieben durchgeführt, davon befanden sich zwei in der Schweiz und einer in Österreich (**Tabelle 2**). Alle Betriebe waren auf Mastschweine spezialisiert und hielten die Schweine in Stallhaltung mit permanentem Zugang zu einem befestigten Auslauf. Jede Gruppe in einer Bucht wurde einer Gewichtsklasse (klein: 30 bis 60 kg, mittel: 60 bis 80 kg, groß: > 80 kg) zugeordnet. **Tabelle 3** gibt Auskunft über Platzangebot und Bodengestaltung in den Funktionsbereichen je Bucht und Betrieb.

Tabelle 2: Übersicht über Details zu den Untersuchungsbetrieben (Anzahl an Buchten und Tieren).

| | Land | | |
|------------------------|------------|---------|-----------|
| | Österreich | Schweiz | |
| Anzahl Betriebe | 1 | 2 | |
| Bezeichnung | AT01 | CH01 | CH02 |
| Anzahl Schweine | 201 | 90, 66* | 137, 121* |
| Buchten/Betrieb | 6 | 4*-5 | 4 |
| Schweine/Bucht | 28-45 | 7-20 | 7-42 |

** Für Tag 2 (CH01) bzw. 3 (CH02)*

Tabelle 3: Übersicht zu Platzangebot und Bodengestaltung in den verschiedenen Funktionsbereichen je Bucht für die Betriebe AT01, CH01 und CH02.

| Betrieb | Innenbereich | | Auslauf | |
|---|-------------------------------------|------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| | Liegebereich | Fütterungs- bereich | Kotbereich | Aktivitätsbereich + Liegebereich |
| Platzangebot in m ² | | | | |
| AT01 | 38,0 | | 15,4 | 35,0 |
| CH01 | 7,7 | 11,8 | 12,2 | |
| CH02 | 25,2 | 15,1 | 8,0 | 19,3 |
| Platzangebot in m ² je Schwein | | | | |
| AT01 | 1,12 | | 0,45 | 1,03 |
| CH01 | 0,43 | 0,66 | 0,68 | |
| CH02 | 0,79 | 0,47 | 0,25 | 0,60 |
| Bodengestaltung | | | | |
| AT01 | Spaltenboden | Spaltenboden | befestigter Boden | befestigter Boden mit Stroheinstreu |
| CH01 | befestigter Boden mit Stroheinstreu | befestigter Boden | befestigter Boden | befestigter Boden |
| CH02 | befestigter Boden mit Stroheinstreu | Spaltenboden | Spaltenboden | befestigter Boden |

Am österreichischen Betrieb (AT01) betrug das durchschnittliche Mastanfangsgewicht der Tiere 28 kg. Im Schnitt wurden die Schweine in 180 Tagen auf ein Mastendgewicht von 140 kg gemästet. Es waren hauptsächlich Tiere einer Zwei-Rassen-Kreuzung aus Edelschwein und Landrasse; wenige Tiere hatten zusätzlich Anteile der Rassen Duroc und Piétrain. Die Tiere wurden im Innenbereich über eine Flüssigfütterung am Langtrog gefüttert. Im Außenbereich standen den Schweinen Nippeltränken zur Verfügung. Außerdem wurde ihnen Heu in Raufen angeboten. Der Außenbereich war zu 69 Prozent überdacht. Mit Ausnahme der Tiere in Bucht 6 wurden alle Tiere in einem Teil des Außenbereichs durch Windschutznetze vor schlechten Witterungsbedingungen geschützt. Der Stallgrundriss einer Bucht für den Betrieb AT01 ist in **Abbildung 13** im Detail dargestellt.

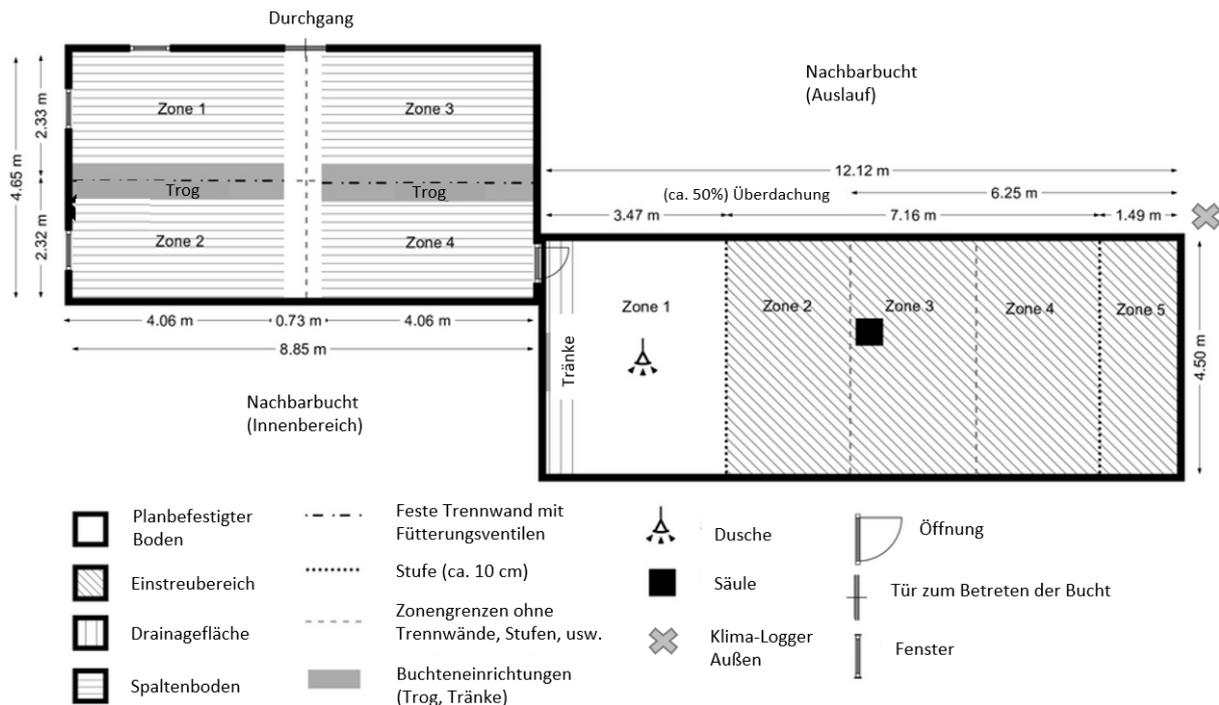


Abbildung 13: Grundriss: einer Bucht am Betrieb AT01 inklusive Stallmaße und Platzangebot je Funktionsbereich (© BOKU/Wimmler).

Die Tiere auf den Schweizer Betrieben hatten ein durchschnittliches Mastanfangsgewicht von 25 kg und wurden auf ein Mastendgewicht von 110 kg gemästet. Die Betriebe hielten vorwiegend Tiere einer konventionellen Drei-Rassen-Kreuzung (Mutterlinie: Edelschwein mal Landrasse; Endstufeneber: Piétrain); wenige Tiere hatten zusätzlich Anteile der Rasse Duroc. Der erste Schweizer Betrieb (CH01) hatte am ersten Erhebungstag 90 Schweine, die auf 5 Buchten aufgeteilt waren. Am zweiten Erhebungstag waren 66 Schweine Teil des Versuchs. Am zweiten Betrieb in der Schweiz (CH02) waren am ersten Erhebungstag 137 Schweine Teil des Versuchs, am zweiten und dritten Erhebungstag reduzierte sich die Anzahl der Schweine auf 121. Die Veränderung der Tieranzahl lässt sich darauf zurückführen, dass einige Tiere geschlachtet und neue Schweine eingestallt worden waren (**Tabelle 2**). Die Tiere auf den Betrieben CH01 und CH02 wurden im Innenbereich gefüttert, im Auslauf standen den Tieren Tränken zur Verfügung. Die Ausläufe der beiden Betriebe waren zur Hälfte überdacht. Der Stallgrundriss ist in **Abbildung 14** (CH01) und **Abbildung 15** (CH02) im Detail dargestellt.

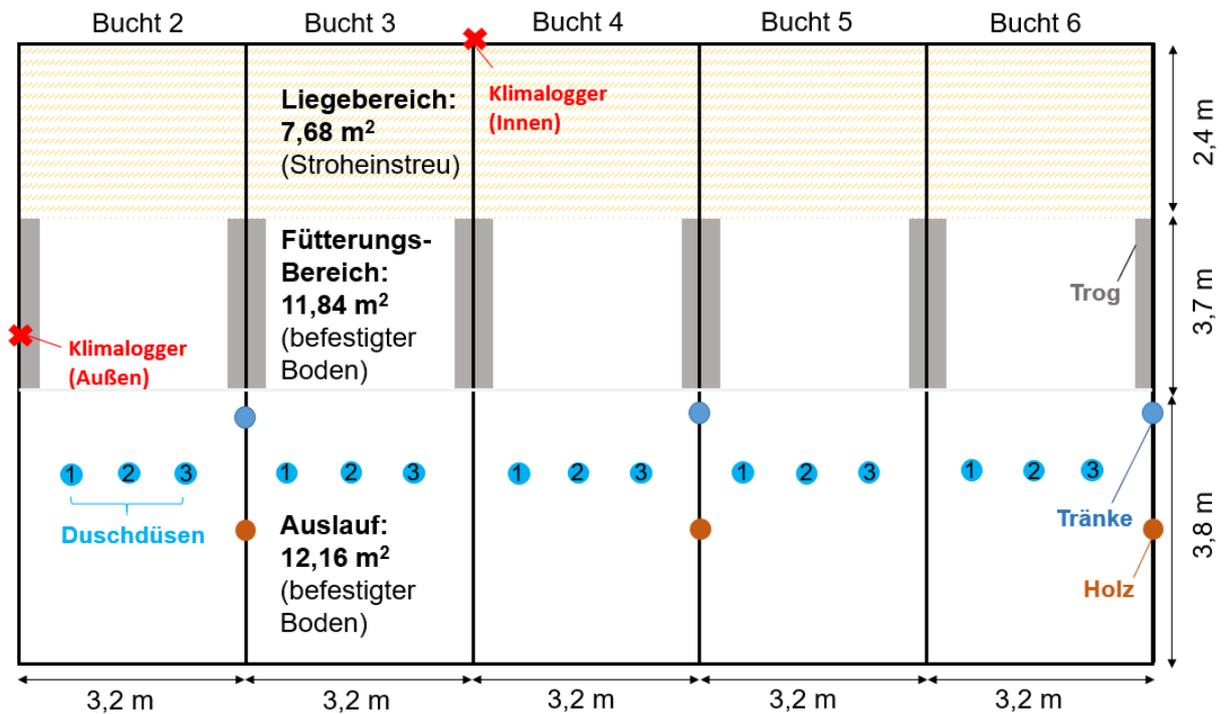


Abbildung 14: Grundriss: Stallmaße und Platzangebot je Funktionsbereich für den Betrieb CH01 (© FiBL/Holinger, adaptiert von Kunert).

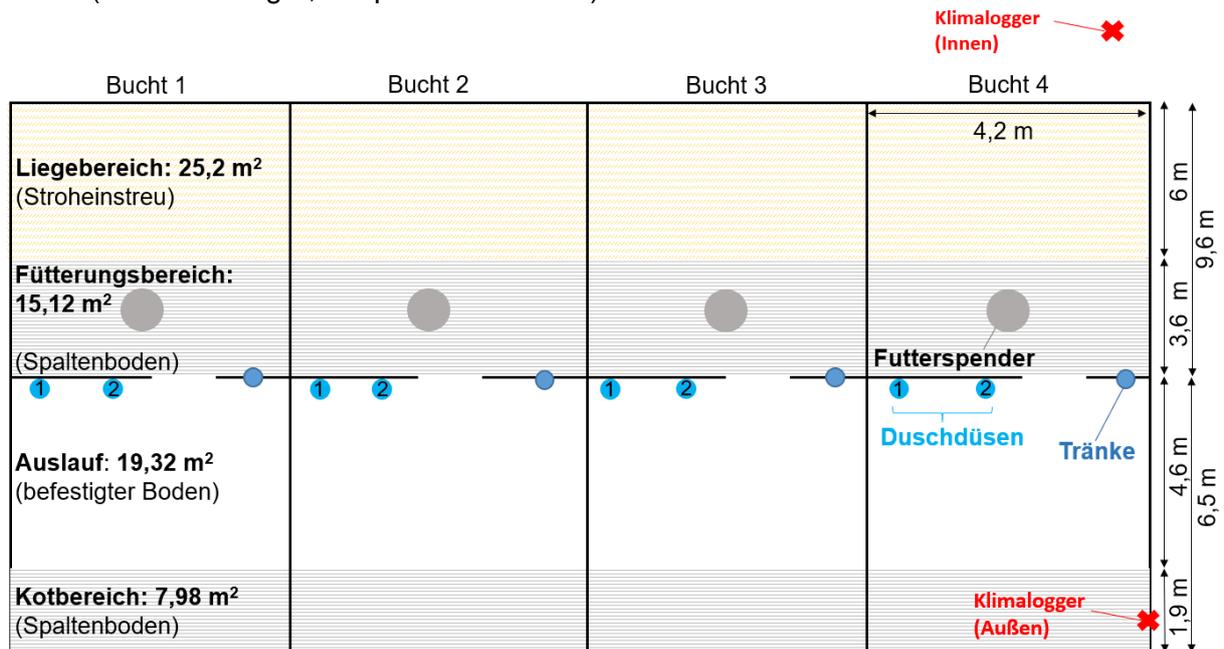


Abbildung 15: Grundriss: Stallmaße und Platzangebot je Funktionsbereich für den Betrieb CH02 (© FiBL/Holinger, adaptiert von Kunert).

4.2 Duschen im Auslauf

Als Schweineduschen wurden Sprinkler, wie sie auch in Gartenbewässerungssystemen Anwendung finden, verwendet. Diese Sprinkler erzeugten einen feinen Sprühnebel (**Abbildung 16**). Am Betrieb AT01 gab es je Versuchsbucht einen aktiven Sprinkler mit einer Durchflussrate zwischen 0,90 und 1,02 Liter pro Minute. Die Durchflussraten der Schweizer Duschen betrug 1,22 Liter pro Minute (CH01) und 2,38 Liter pro Minute (CH02). Am Betrieb CH01 wurden je Bucht 3 Sprinkler montiert, die Sprinklerrate je Bucht betrug somit 3,66 Liter pro Minute. Am Betrieb CH02 wurden je Bucht 2 Düsen bereitgestellt. Die Sprinklerrate je Bucht lag deshalb bei 4,76 Liter pro Minute.



a) (© FiBL/Holinger)



b) (© FiBL/Holinger)



c) (© BOKU/Kunert)

Abbildung 16: Schweineduschen am Betrieb CH01: Über den planbefestigten Bereich im Auslauf (a), CH02: Im planbefestigten Bereich des Auslaufs (b) und AT01: Über den planbefestigten Kotbereich im Auslauf (c).

Je Betrieb wurden die Duschen in der Hälfte der Buchten aktiviert (Versuchsbuchten), während die Duschen in den übrigen Buchten abgesperrt wurden (Kontrollbuchten). Versuchs- und Kontrollbuchten waren wechselweise angeordnet und wurden unter Berücksichtigung ausgeglichener Verteilung der Gewichtsklassen zufällig ausgewählt. Die Duschen wurden über dem planbefestigten Boden im Auslauf montiert und an Tagen mit prognostizierter Tageshöchsttemperatur von mind. 22 °C aktiviert. Auf allen Betrieben liefen die Duschen mehrmals täglich für 30 Minuten zwischen 10:00 und 17:00 Uhr, wobei am Betrieb AT01 ein Duschiintervall 90 Minuten dauerte (d.h. 30 Minuten Dusche und 60 Minuten Unterbrechung ohne Dusche) und auf den Betrieben CH01 und CH02 60 Minuten (d.h. 30 Minuten Dusche und 30 Minuten Unterbrechung ohne Dusche) (**Abbildung 18**).

4.3 Datenerhebung

4.3.1 Temperatur und Luftfeuchtigkeit

Über dem überdachten Liegebereich im Auslauf des Betriebes AT01 wurden ungefähr 3 Meter über der Bodenoberfläche zwei kontinuierlich aufzeichnende Klima-Datenlogger (Modell HOBO® U23 Pro v2) montiert, um die Außentemperatur und relative Luftfeuchtigkeit zu erfassen. Auch auf den Betrieben CH01 und CH02 dienten kontinuierliche Klima-Datenlogger (Typ TGU®-4500) der Erfassung der Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsdaten. **Tabelle 4** gibt die Außentemperaturen in Grad Celsius (°C) um 10:00 Uhr morgens sowie die Tageshöchst- und Durchschnittstemperaturen an den Beobachtungstagen je Betrieb wieder.

Tabelle 4: Außentemperatur (°C) um 10:00 Uhr morgens, Tageshöchsttemperatur sowie Durchschnittstemperatur bei der Datenerhebung je Betrieb und Erhebungstag.

| Betrieb | Erhebungstag | Außentemperatur in ° C | | |
|---------|--------------|------------------------|-------------------|--------------------------|
| | | 10:00 Uhr morgens | Höchst-Temperatur | Durchschnitts-Temperatur |
| AT01 | 28.08.2019 | 23,8 | 28,3 | 26,3 |
| | 05.09.2019 | 19,8 | 22,6 | 21,3 |
| | 13.09.2019 | 21,1 | 24,0 | 22,8 |
| CH01 | 09.08.2019 | 24,3 | 31,7 | 28,3 |
| | 24.08.2019 | 18,2 | 27,9 | 23,6 |
| CH02 | 08.08.2019 | 22,3 | 36,6 | 27,8 |
| | 22.08.2019 | 15,9 | 26,0 | 20,2 |
| | 16.09.2019 | 23,2 | 35,3 | 28,4 |

4.3.2 Infrarotthermographie und Versuchsablauf

Zur nicht-invasiven Messung der Hautoberflächentemperatur (°C) wurde die Infrarot-Wärmebildtechnik eingesetzt. Wärmebilder wurden von außerhalb der Bucht aufgenommen und umfassten einen definierten Bereich unter den Duschen im Auslauf mitsamt den darin befindlichen Tieren. Die Bilder wurden je Land von jeweils einer Person mit unterschiedlichen Kameras aufgenommen (**Abbildung 17**). Es wurden Kameras mit langwelligen IR-Sensoren (LWIR-Kameras, Spektralbereich FLIR T420®:

7,5-13 μm ; Spektralbereich BOSCH GTC 400 C Professional[®]: 8-14 μm) verwendet. Dies geschah zum einen, weil die von Tieren ausgesendete (emittierte) Infrarotstrahlung innerhalb dieses Wellenlängenbereichs die größte Intensität hat, zum anderen, weil die atmosphärische Durchlässigkeit (Transmission) in diesem Bereich am höchsten ist, sodass mehr Strahlung den IR-Sensor der Kamera erreicht. Die Distanz zwischen den Tieren im Duschbereich und der IR-Kamera je Betrieb betrug ungefähr 7,1 bis 10,2 Meter (AT01), 0,5 bis 3,4 Meter (CH01) sowie 0,5 bis 6,1 Meter (CH02). Genauere Daten zum Versuch sind in **Tabelle 5** ersichtlich. Jeder Erhebungstag wurde in Durchgänge eingeteilt, die den jeweiligen Duschintervallen zugeordnet waren (**Abbildung 18**). Der erste Durchgang begann 10 Minuten vor der ersten Dusche am Morgen. Je nach Länge des Duschintervalls ergaben sich daher 5 (AT01) bzw. 6 (CH01, CH02) Durchgänge.

Tabelle 5: Details zu den Versuchen für die Betriebe AT01, CH01 und CH02.

| | AT01 | CH01 | CH02 |
|-----------------------|------------------------|---|---|
| Erhebungstage | 3 | 2 | 3 |
| Kamera | FLIR T420 [®] | BOSCH GTC 400 C Professional [®] | BOSCH GTC 400 C Professional [®] |
| Durchgänge/Tag | 5 | 6 | 6 |
| Fotos/Durchgang/Bucht | 3 | 3 | 3 |
| Fotos/Bucht/Tag | 15 | 18 | 18 |

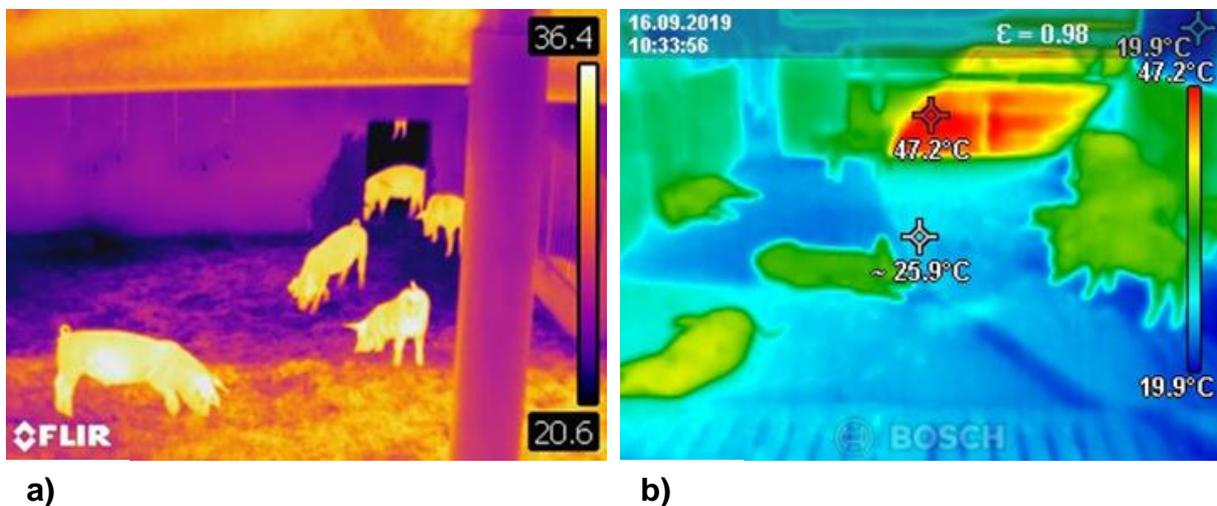


Abbildung 17: Wärmebild FLIR[®] (© BOKU/Kunert) **(a)** und Wärmebild BOSCH[®] (© FiBL/Holinger) **(b)**.

Je Duschintervall wurden drei Wärmebilder aufgenommen. Am Betrieb AT01 wurden das erste Bild 10 Minuten vor Beginn der Dusche (=T1), die nächsten zwei Bilder 15 Minuten nach Beginn der Dusche (=D2) und 20 Minuten nach Ende der Dusche (=T2) aufgenommen. Auf den Schweizer Betrieben wurden die ersten zwei Bilder kurz nach Beginn der Dusche (=D1) sowie 15 Minuten nach Beginn der Dusche (=D2), also in der „Duschphase“ erfasst. Das letzte Bild wurde 20 Minuten nach Ende der Dusche, also in der „Trockenphase“ (=T2 und T1) aufgenommen. Somit ist das Bild, welches 20 Minuten nach Ende der Dusche (=T2) aufgenommen wurde, gleichzeitig auch das

Bild für den Aufnahmezeitpunkt 10 Minuten vor Beginn der nächsten Dusche (=T1) und entspricht auch dem Zeitpunkt T1 am österreichischen Betrieb (Abbildung 18).

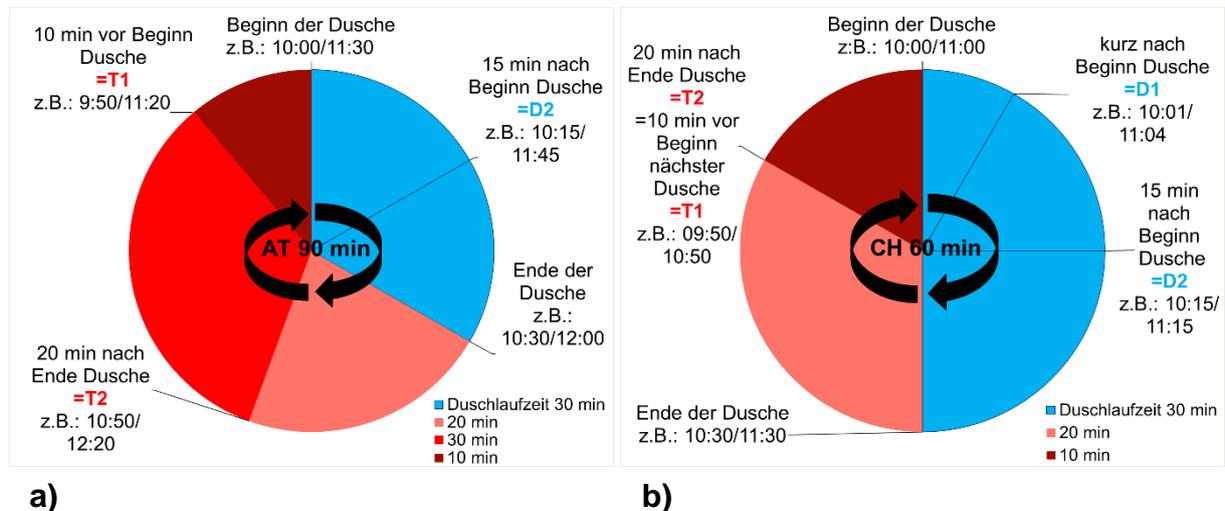


Abbildung 18: Duschartikel für AT01 (90 min) (a) und CH01 & CH02 (60 min) (b) mit Aufnahmezeitpunkten (D1, D2, T1 und T2) innerhalb eines Duschartikels.

4.4 Auswertung der Infrarot-Wärmebilder

4.4.1 Software für Auswertung der Wärmebilder

Die FLIR®-Bilder wurden mit der Software FLIR Tools®, die BOSCH®-Bilder mit der GTC Transfer Software® ausgewertet (Abbildung 19). Die Softwareeinstellungen sind in **Tabelle 6** ersichtlich. An der FLIR®-Kamera wurden die Objektparameter Emissionsgrad des Zielobjektes ($\epsilon=0,98$), der Transmissionsgrad der Atmosphäre ($\tau=1$), die reflektierte Temperatur ($=25\text{ °C}$) sowie die Distanz zwischen der IR-Kamera und dem Tier ($=5\text{ Meter}$) konstant für alle Messungen eingestellt. Die für die FLIR®-Kamera eingestellte Distanz von 5 Metern (AT01) entsprach der durchschnittlichen Entfernung bezogen auf den gesamten Auslauf, da ursprünglich alle Schweine im Auslauf ausgewertet werden sollten (nicht nur im Duschbereich). Auch die eingestellte relative Luftfeuchtigkeit ($=54\text{ %}$) und die Umgebungstemperatur ($=25\text{ °C}$) wurden konstant für alle Messungen beibehalten, da die jeweiligen Werte beinahe der durchschnittlich gemessenen Umgebungstemperatur ($=23\text{ °C}$) und der durchschnittlichen relativen Luftfeuchtigkeit ($=57,8\text{ %}$) an allen Erhebungstagen entsprachen. An der BOSCH®-Kamera hingegen konnte nur der Emissionsgrad des Zielobjektes ($\epsilon=0,98$) sowie die reflektierte Temperatur ($=\text{Umgebungstemperatur}$) eingestellt werden. Für die Auswertung wurden je Bild alle zuvor definierten Untersuchungsregionen (siehe **10.1 Auswertungsplan** im Anhang), die am Bild gut sichtbar waren, berücksichtigt. Auf den FLIR®-Bildern wurden für jedes einzelne Schwein die im Plan erklärten Kreisflächen ausgewertet. Weil es schwierig war, in der GTC Transfer Software® Kreise zu ziehen, wurden die Untersuchungsregionen auf den BOSCH®-Bildern als Punkte ausgewertet. Die Punkte auf den BOSCH®-Bildern wurden so positioniert, dass sie sich in der Mitte dieser exakt definierten Kreisfläche befanden. Die Region Ohrbasis konnte auf den BOSCH®-Bildern nicht ausgewertet werden, weil sie zu schlecht zu erkennen war.

Tabelle 6: Einstellungen für die Auswertung der Wärmebilder in der FLIR Tools®- und GTC Transfer Software® für die Betriebe AT01, CH01 und CH02.

| | AT01 | CH01 + CH02 |
|--------------------------|---|--|
| Kamera | FLIR® T420 | BOSCH® GTC 400 C |
| Software | FLIR Tools® | GTC Transfer Software® |
| Farbskala | Graustufen | Graustufen |
| Emissionsgrad ϵ | 0,98 | 0,98 |
| Reflektierte Temperatur | 25 °C | 25 °C |
| Auswertung | Kreis | Punkt |
| Regionen | Schulter (S), Oberschenkel (OS), Flanke (F), Rückseite Ohr (RO) und Ohrbasis (OB) | Schulter (S), Oberschenkel (OS), Flanke (F) und Rückseite Ohr (RO) |
| Ergebnis | Durchschnittstemperatur der Kreisfläche | Temperatur des Einzelmesspunktes |

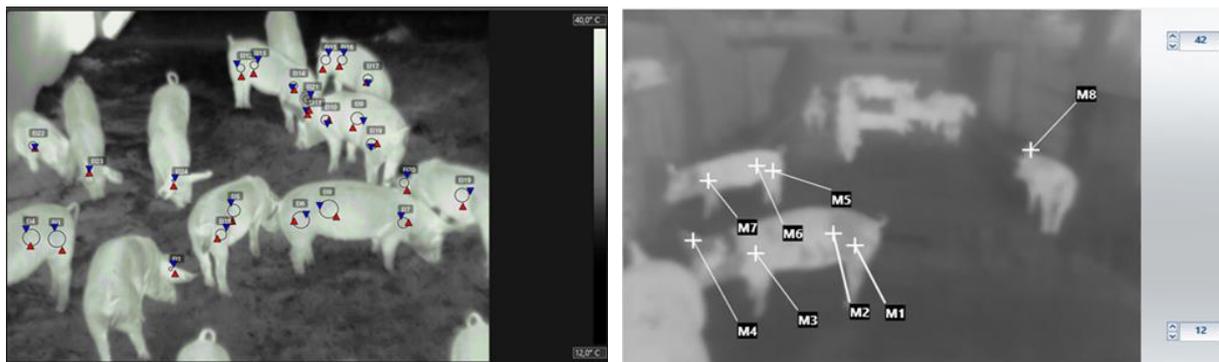


Abbildung 19: Auswertung in der FLIR Tools® (a) und GTC Transfer Software® (b).

4.4.2 Auswahl der Untersuchungsregionen

Als Untersuchungsregionen wurden die Nicht-thermischen Fenster (NTF) (Soerensen und Pedersen 2015; Zhang et al. 2019) Schulter, Oberschenkel, Flanke sowie die Rückseite des Ohrs ausgewählt. Sie sind in **Abbildung 20** als blaue Kreisflächen dargestellt. Als Thermisches Fenster (TF) (Jia et al. 2020; Soerensen und Pedersen 2015; Zhang et al. 2019) wurde die Ohrbasis herangezogen, welche in **Abbildung 20** als rote Kreisfläche zu sehen ist.

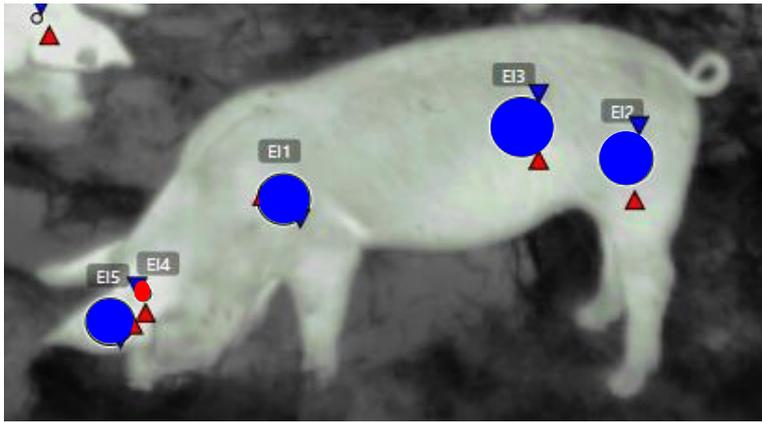


Abbildung 20: Durch die Software FLIR Tools[®] bearbeitetes Wärmebild: Nicht-thermische Fenster (NTF) Schulter (EI1), Oberschenkel (EI2), Flanke (EI3) sowie Rückseite Ohr (EI5) und Ohrbasis (EI4) als Thermisches Fenster (TF) (© BOKU/Kunert).

4.4.3 Auswertungsplan

Um valide Daten zu gewinnen, wurde für die Auswahl und Positionierung der zuvor genannten Körperregionen ein standardisiertes Vorgehen in einem Auswertungsplan festgelegt. Dazu wurde in einem ersten Schritt die Kreisgröße der zu untersuchenden Region festgelegt und in einem zweiten Schritt dessen exakte Position anhand anatomischer Strukturen bestimmt. Weiters wurde bei der Vorgehensweise zwischen stehenden und liegenden Schweinen differenziert und beschrieben, welche Regionen bei verschiedenen Ansichten auswertbar sind und bzw. ab wann keine Auswertung möglich ist (siehe **10.1 Auswertungsplan**). Als Beispiel sind in **Abbildung 21** stehende Schweine in Seitenansicht sowie diagonaler Ansicht zu sehen. In der Abbildung sind die auswertbaren NTF Schulter (S), Oberschenkel (OS) und Flanke (F) dargestellt.

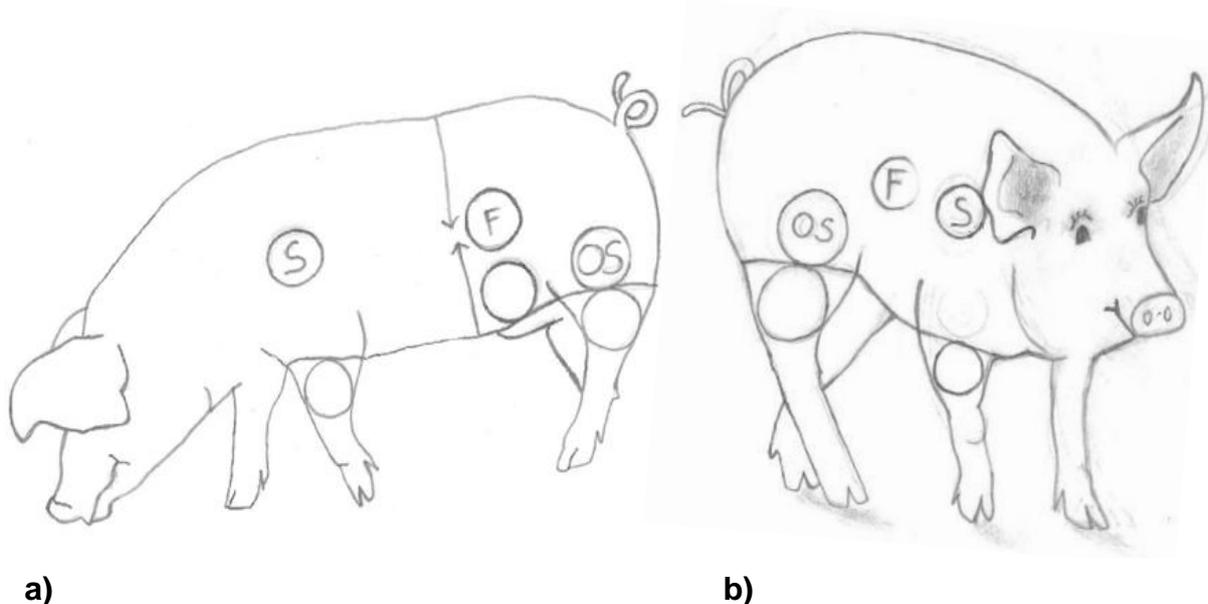


Abbildung 21: Auswertbare NTF Schulter (S), Oberschenkel (OS) und Flanke (F) bei stehenden Schweinen in Seitenansicht (**a**) und diagonaler Ansicht (**b**) (Zeichnung: © Kunert).

In **Abbildung 22** sind die Untersuchungsregionen des Kopfes (Rückseite des Ohrs (RO) als NTF und die Ohrbasis (OB) als TF) bei Seitenansicht skizziert. Die genaue Beschreibung der Auswertung der einzelnen Regionen bei verschiedenen Ansichten und Positionen kann im Anhang **10.1 Auswertungsplan** nachgelesen werden.

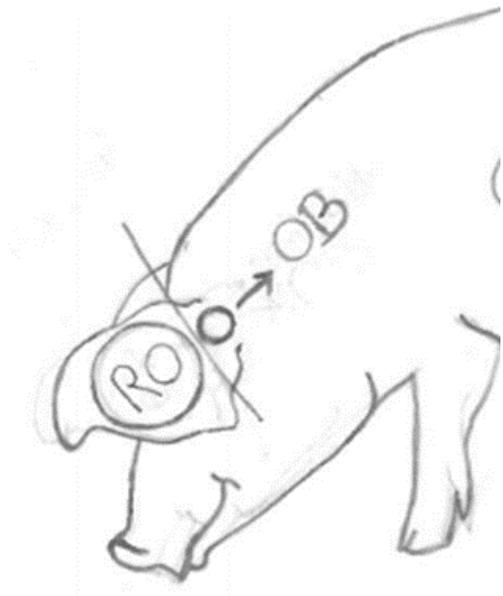


Abbildung 22: Untersuchungsregionen am Kopf: Rückseite Ohr (RO) als NTF und Ohrbasis (OB) als TF (Zeichnung: © Kunert).

4.4.4 Inter- und Intra-Observer Reliabilität (IOR)

Zur Überprüfung, ob basierend auf der Vorgehensweise im Auswertungsplan wiederholbare Ergebnisse für die Hautoberflächentemperaturen erzielt werden können, wurde die Übereinstimmung von drei Beobachterinnen (A, B, C) getestet. Die Beobachterinnen wurden zuvor anhand von Auswertungsplan und Beispielbildern geschult. Die Softwareeinstellungen für die Beobachterinnen-Abgleiche können aus **Tabelle 6** entnommen werden.

Jede Beobachterin wertete dieselben 15 Bilder aus, davon acht FLIR[®]-Bilder und sieben BOSCH[®]-Bilder. Für den IOR-Abgleich wurden die Ergebnisse der Durchschnittstemperaturen (FLIR[®]-Bilder) bzw. der Temperaturmesspunkte (BOSCH[®]-Bilder) verglichen. Ebenso wurde die Übereinstimmung der Beobachterinnen, welche Kreisflächen (FLIR[®]-Bilder) bzw. Punkte (BOSCH[®]-Bilder) welcher Tiere auf den Wärmebildern auswertbar waren, durch den Kappa-Koeffizienten bestimmt. Dabei wurden die absoluten Abweichungen (°C) der Beobachterinnen voneinander sowie der Korrelationskoeffizient (r) je Beobachterinnen-Paar und Region ermittelt. Der paarweise Vergleich bezieht sich immer auf Beobachterin A, die den Auswertungsplan entwickelt hat und die vorliegende Studie samt allen Auswertungen durchgeführt hat. Außerdem wurde für die FLIR[®]-Bilder ein Intra-Observer-Abgleich durchgeführt, indem Beobachterin A dieselben acht Wärmebilder zwei Mal im Abstand von drei Wochen auswertete.

4.4.5 Auswertung

Nach Abschluss des Abgleichs und darauf basierenden Anpassungen (siehe **5.1 IOR**) wurden die für diese Studie ausgewählten Wärmebilder von Beobachterin A ausgewertet. In der Auswertung von BOSCH®-Bildern wurden eng nebeneinanderstehende Tiere bei weiter Entfernung bzw. schlechter Auflösung nicht berücksichtigt. Die gemessenen Hautoberflächentemperaturen der einzelnen Untersuchungsregionen (Messpunkte für BOSCH® bzw. Kreisflächendurchschnitt für FLIR®) wurden je Schwein und Bild erfasst und stellen die Datengrundlage dar (Datensatz D0). Diese Rohdaten wurden anschließend schrittweise weiter aufbereitet. Wichtig ist, dass bei der Erfassung der Hautoberflächentemperaturen mit denselben Softwareeinstellungen gearbeitet wurde wie für den Beobachterinnen-Abgleich (**Tabelle 6**).

4.5 Datenaufbereitung und statistische Auswertung

4.5.1 Schrittweise Aufbereitung der Temperaturdaten

Zu Beginn wurden alle sichtbaren Regionen je Schwein und Bild ausgewertet (Datensatz D0). Auf Basis der Überprüfung verschiedener Einflussfaktoren wurden die Rohdaten (Datensatz D0) im ersten Schritt reduziert. Die reduzierten Datensätze (D1) enthielten keine pigmentierten Untersuchungsregionen (AT01: 24 Messwerte wurden ausgeschlossen; CH02: 51 Messwerte wurden ausgeschlossen), da es einen Einfluss der Pigmentierung auf die Hautoberflächentemperatur gab (siehe **4.5.2** und **5.2.1**). Außerdem enthielten die reduzierten Datensätze (D1) der Betriebe CH01 und CH02 keine Tiere der kleinen Gewichtsklasse bis zu 60 kg, um eine ausgeglichene Verteilung der Gewichtsklassen zu gewährleisten. In einem zweiten Schritt wurden die Messwerte der Hautoberflächentemperatur je Schwein und Region zu einem Mittelwert je Bild und Region zusammengefasst (Datensatz D2), um einen Wert auf Gruppenebene (der Einheit für die weitere Auswertung) zu gewinnen. Aufgrund der Ergebnisse des „Regionseinflusses“ (siehe **4.5.3** und **5.2.2** Einfluss der Region) wurden Schulter-, Oberschenkel- und Flanken-Mittelwerte zu einem NTF-Mittelwert zusammengefasst (Datensatz D3). Anschließend wurden alle verschmutzten Messflächen bzw. Messpunkte ausgeschlossen und ein Mittelwert der Hautoberflächentemperaturen je Region aus allen Bildern gebildet, die im Schatten, der Sonne sowie im sauberen Zustand aufgenommen waren (Datensatz D4). Für die finale statistische Auswertung wurden die Differenzen aus den Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten zwischen den Aufnahmezeitpunkten herangezogen (Datensatz D5). Die verschiedenen Datensätze, die für die Berechnungen des AT01-Betriebes herangezogen wurden, sind in **Tabelle 7** ersichtlich. Die Datensätze für die Betriebe CH01 und CH02 sowie der zusammengefasste Datensatz der beiden Schweizer Betriebe ($CH12=CH01 + CH02$) können aus **Tabelle 8** entnommen werden.

Tabelle 7: Beschreibung und Verwendung der unterschiedlichen Datensätze für den Betrieb AT01 (EF=Einflussfaktor; MW=Mittelwert; n=Anzahl an ausgewerteten Schultern (S), Oberschenkeln (OS), Flanken (F), Ohrbasen (OB), NTF=Nicht-thermische Fenster und TF=Thermisches Fenster).

| Datensatz | Beschreibung | Werte | n | Verwendung |
|---------------------|--|--|--|--|
| Betrieb AT01 | | | | |
| D0 | Rohdaten aller ausgewerteten Bilder ohne Berücksichtigung von EF | °C der Messflächen je Region, Tier und Bild | S: 247 OS: 221 F: 271 OB: 218 | EF: Direktes Sonnenlicht, Kot-Verschmutzung, Pigmentierung |
| D1 | Ausschluss von EF Pigmentierung | °C der Messflächen je Region, Tier und Bild | S: 244 OS: 212 F: 262 OB: 215 | EF: Direktes Sonnenlicht, Kot-Verschmutzung |
| D2 | Aggregation der Messflächen zu einem MW je Region und Bild | °C-MW der Messflächen je Region und Bild | S: 137 OS:120 F:133 OB: 124 | Einfluss der Region (nur S, OS und F) |
| D3 | Zusammenfassung der S-, OS- und F-Messflächen zu einem NTF-MW | °C-MW der Messflächen je NTF und Bild | NTF: 144 TF: 124 | „Carry-Over-Effekt“ |
| D4 | Ausschluss von EF Verschmutzung | °C-MW der Messflächen je Region(en) und Bild | NTF: 135 TF: 123 | Korrelation mit THI |
| D5 | Δ aus MW zw. Aufnahme-Zeitpunkten | °C-Differenzen aus MW der Messflächen je Region(en) und Bild | NTF: 69 TF: 52 | Statistisches Modell |

Tabelle 8: Beschreibung und Verwendung der unterschiedlichen Datensätze für die Betriebe CH01, CH02 sowie der zusammengefasste Datensatz CH12 der beiden Schweizer Betriebe (EF=Einflussfaktor; MW=Mittelwert; n=Anzahl an ausgewerteten Schultern (S), Oberschenkeln (OS), Flanken (F) und „Nicht-thermischen Fenstern“ (NTF)).

| Datensatz | Beschreibung | Werte | n | Verwendung |
|---------------------|--|--|-----------------------------|--|
| Betrieb CH01 | | | | |
| D0 | Rohdaten aller ausgewerteten Bilder ohne Berücksichtigung von EF | °C der Messpunkte je Region, Tier und Bild | S: 107 OS: 114 F: 114 | EF: Direktes Sonnenlicht, Kot-Verschmutzung |
| D1 | Ausschluss einer Kontrollgruppe | °C der Messpunkte je Region, Tier und Bild | S: 89 OS: 97 F: 98 | EF: Direktes Sonnenlicht, Kot-Verschmutzung |
| D2 | Aggregation der Messpunkte zu einem MW je Region und Bild | °C-MW der Messpunkte je Region und Bild | S: 55 OS: 57 F: 57 | Einfluss der Region |
| D3 | Zusammenfassung der S-, OS- und F-Messpunkte zu einem NTF-MW | °C-MW der Messpunkte je NTF und Bild | NTF: 63 | „Carry-Over Effekt“ |
| CH02 | | | | |
| D0 | Rohdaten aller ausgewerteten Bilder ohne Berücksichtigung von EF | °C der Messpunkte je Region, Tier und Bild | S: 309 OS: 326 F: 328 | EF: Direktes Sonnenlicht, Kot-Verschmutzung, Pigmentierung |
| D1 | Ausschluss von EF Pigmentierung sowie einer Versuchsgruppe | °C der Messpunkte je Region, Tier und Bild | S: 280 OS: 281 F: 273 | EF: Direktes Sonnenlicht, Kot-Verschmutzung |
| D2 | Aggregation der Messpunkte zu einem MW je Region und Bild | °C-MW der Messpunkte je Region und Bild | S: 139 OS: 140 F: 141 | Einfluss der Region |
| D3 | Zusammenfassung der S-, OS- und F-Messpunkte zu einem NTF-MW | °C-MW der Messpunkte je NTF und Bild | NTF: 155 | „Carry-Over Effekt“ |
| CH12 | | | | |
| D4 | Ausschluss von EF Verschmutzung | °C-MW der Messpunkte je NTF und Bild | NTF: 208 | Korrelation mit THI |
| D5 | Δ aus MW zw. Aufnahme-Zeitpunkten | °C-Differenzen aus MW der Messpunkte je NTF und Bild | NTF: 102 | Statistisches Modell |

4.5.2 Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung

Basierend auf Hypothesen aus der Literatur wurden die Faktoren direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung univariat auf ihren Einfluss auf die Hautoberflächentemperatur geprüft (siehe **5.2.1**). Aufgrund normalverteilter Daten erfolgte die Signifikanzprüfung der jeweiligen Einflussfaktoren auf Basis eines t-Tests. Zur Interpretation des t-Tests wurden Signifikanzniveaus von 5 % (signifikanter Unterschied, $\alpha=0,05$) und 10 % (Tendenz für signifikanten Unterschied, $\alpha=0,1$) angenommen.

4.5.3 Einfluss der Region

Um herauszufinden, ob es signifikante Unterschiede zwischen den Hautoberflächentemperaturen der NTF Schulter, Oberschenkel und Flanke gibt, wurde ein univariater Gruppenvergleich mit einem Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Die Ergebnisse des Kruskal-Wallis Tests wurden mit einer unterstellten Alpha-Grenze von 5 % ($\alpha=0,05$) interpretiert.

4.5.4 Außentemperatur und Luftfeuchtigkeit

Der THI wurde aus den Daten der Klima-Logger berechnet. Zur Berechnung wurde folgender Formel der National Weather Service Centre Region (NWSCR, 1976) verwendet:

$$\text{THI} = [(1.8T) + 32] - [0.55(\text{RH}/100)] * [(1.8T) + 32] - 58].$$

Dabei steht T für die Umgebungstemperatur in °C und RH für die relative Luftfeuchtigkeit in %. Anschließend wurde der statistische Zusammenhang zwischen Hautoberflächentemperatur und THI durch Berechnung des Korrelationskoeffizienten in Microsoft Excel (© Microsoft Office 2019 Professional Plus) berechnet.

4.5.5 Übertragungseffekt („Carry-Over Effekt“)

Um festzustellen, ob die Durchgänge unabhängig voneinander sind, oder ein Einfluss des vorhergehenden Duschvorgangs besteht, wurde das Vorhandensein eines „Carry-Over-Effektes“ graphisch überprüft. Dazu wurden Boxplots für die Verteilung der Mittelwerte der Hauttemperatur für jeden Aufnahmezeitpunkt in jedem Durchgang visuell verglichen. Bei Vorhandensein eines „Carry-Over-Effekts“ ist anzunehmen, dass jeder zusätzlicher Duschvorgang eine zusätzliche Abkühlung verursacht und sich so das Niveau der Hautoberflächentemperatur für die Versuchsbuchten mit steigender Durchgangszahl weiter nach unten verschiebt.

4.5.6 Statistisches Modell

Die gesammelten Daten wurden mit einem gemischten linearen Modell ausgewertet. Für die Analyse wurde die Prozedur Mixed im Programm SAS[®] 9.4 verwendet (Version 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Im Modell wurde mit der Differenz aus den Mittelwerten der Hautoberflächentemperatur (je Bild) zwischen den Aufnahmezeitpunkten gerechnet. Die Datensätze für die Betriebe CH01 und CH02 wurden in einem kombinierten Modell ausgewertet. Der Datensatz für den Betrieb AT01 wurde unabhängig von den Datensätzen der Betriebe CH01 und CH02 ausgewertet, da sich die Versuchsbedingungen des Betriebes AT01 von jenen der Betriebe CH01 und CH02 unterschieden (**Tabelle 9**).

Tabelle 9: Unterschiede im Versuchsablauf zwischen Betrieb AT01 und Betriebe CH01 und CH02 (CH12).

| | AT01 | CH12 |
|----------------|---|---|
| Kamera | FLIR [®] T420 | BOSCH [®] GTC 400 C Professional |
| Software | FLIR Tools [®] | GTC Transfer Software [®] |
| Auswertung | Kreis | Punkt |
| Ergebnis | Durchschnittstemperatur der Kreisfläche | Temperatur des Einzelmesspunktes |
| Duschintervall | 90 min | 60 min |

Für die Daten des österreichischen Betriebes wurde folgendes Modell erstellt:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + D_j + G_k + \varepsilon_{ijk} \quad (\text{Modell AT})$$

| | |
|---------------------|---|
| Y_{ijk} | Differenz der Hautoberflächentemperatur-Mittelwerte |
| μ | gemeinsame Konstante (Intercept) |
| T_i | fixer Treatment-Effekt (i=Dusche, Kontrolle) |
| D_j | zufälliger Effekt des Datums (j=28.08.2019, 05.09.2019, 13.09.2019) |
| G_k | zufälliger Effekt der Gruppe (k=1, 2, 3, 4, 5, 6) |
| ε_{ijk} | Residuen |

Das Modell AT enthält eine abhängige Variable Y, welche die Differenz der Hautoberflächentemperaturen zu unterschiedlichen Zeitpunkten beschreibt, sowie den fixen Effekt des Treatments (i=Dusche, Kontrolle). Zudem werden die Gruppe k (entspricht der Bucht) und das Datum j als zufällige Effekte berücksichtigt.

Die Daten der Schweizer Betriebe CH01 und CH02 wurden in einem gemeinsamen Modell (Modell CH) analysiert.

$$Y_{ijkl} = \mu + T_i + D_j + G_k(B_l) + \varepsilon_{ijkl} \quad (\text{Modell CH})$$

| | |
|----------------------|---|
| Y_{ijkl} | Differenz der Hautoberflächentemperatur-Mittelwerte |
| μ | gemeinsame Konstante (Intercept) |
| T_i | fixer Treatment-Effekt (i=Dusche, Kontrolle) |
| D_j | zufälliger Effekt des Datums (j=08.08.2019, 09.08.2019, 22.08.2019, 24.08.2019, 16.09.2019) |
| $G_k(B_l)$ | zufälliger Effekt der Gruppe (k=1, 2, 3, 4, 5) genestet im Betrieb (l=CH01, CH02) |
| ε_{ijkl} | Residuen |

Das kombinierte Modell CH enthält, wie auch Modell AT, die Differenz der Hautoberflächentemperatur als abhängige Variable und den Effekt des Treatments als einflussgebende Variable. Die Gruppe k (entspricht der Bucht) genestet im Betrieb l sowie der Erhebungstag j stellen die zufälligen Effekte dar. Zur Interpretation der beiden statistischen Modelle wurden obere Alpha-Schwellen von 5 % (signifikanter Unterschied, $\alpha=0,05$) und 10 % (Tendenz für signifikanten Unterschied, $\alpha=0,1$) festgelegt.

5 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden zunächst die Ergebnisse bezüglich IOR dargestellt (Kapitel 5.1). Im Kapitel 5.2 werden die Ergebnisse zu den potentiellen Einflussfaktoren beschrieben, auf deren Basis die weiteren Analysen aufbauen. Die Ergebnisse zur Wirkung der Dusche auf die Hautoberflächentemperatur werden in Kapitel 5.3 dargelegt.

5.1 IOR

5.1.1 Beobachterinnen-Übereinstimmung bei der Auswahl der Regionen

Die Beobachterinnen-Übereinstimmung bei der Auswahl der auszuwertenden Körperregionen ist in **Tabelle 10** in Form der Kappa-Koeffizienten für FLIR[®]- und BOSCH[®]-Bilder ersichtlich. Je näher der Koeffizient bei 1 liegt, umso höher ist die Übereinstimmung, d.h. die Beobachterinnen wählten bei denselben Schweinen dieselben Regionen zur Beurteilung aus. Die grüne Farbe steht für eine sehr gute bis gute ($\geq 0,75$ bis $0,60$), die gelbe für eine genügende ($0,59$ bis $0,40$) und die rote für eine mangelhafte ($< 0,40$) Übereinstimmung (Fleiss 1981). Die Ergebnisse der FLIR[®]-Bilder (**Tabelle 10**) verdeutlichen, dass sich die Beobachterinnen oft bei der Auswahl der Rückseite des Ohrs und der Ohrbasis uneinig waren. Beim Intra-Observer-Abgleich war die Übereinstimmung durchwegs gut bis sehr gut. Aus der nachstehenden **Tabelle 10** ist auch ersichtlich, dass die Kappa-Koeffizienten der BOSCH[®]-Bilder für die Flanke gut waren, Schulter und Oberschenkel schnitten allerdings schlechter ab. Die Rückseite des Ohrs schnitt, je nach Beobachterinnen-Paar, einmal gut und mangelhaft ab, wobei hier zu berücksichtigen ist, dass der Stichprobenumfang von 14 Tieren mit sichtbarer Ohrrückseite gering war.

Tabelle 10: Kappa-Koeffizienten (κ) für die paarweise Übereinstimmung zwischen den Beobachterinnen A vs. B sowie A vs. C für die einzelnen Untersuchungsregionen bzw. FLIR®- und BOSCH®-Bilder. Ein Intra-Observer-Abgleich (A vs. A) erfolgte nur für FLIR®-Bilder (n=Anzahl sichtbare Regionen).

| Untersuchungs-Region (UR) | Beobachterinnen-Paar | | | |
|---------------------------|--|--|--|----|
| | Kappa-Koeffizient (κ)* FLIR®-Bilder | | | |
| | A vs. B | A vs. C | A vs. A | n |
| Schulter | 0,72  | 0,67  | 0,78  | 44 |
| Oberschenkel | 0,75  | 0,13  | 0,75  | 39 |
| Flanke | 0,89  | 0,65  | 1,00  | 36 |
| Rückseite Ohr | 0,58  | 0,30  | 0,85  | 48 |
| Ohrbasis | 0,30  | 0,57  | 0,71  | 28 |
| | Kappa-Koeffizient (κ)* BOSCH®-Bilder | | | |
| Schulter | 0,52  | 0,28  | | 25 |
| Oberschenkel | 0,57  | 0,34  | | 33 |
| Flanke | 0,67  | 0,60  | | 34 |
| Rückseite Ohr | 0,70  | 0,36  | | 14 |

*

| | | |
|---------------|------------|---|
| $\geq 0,75$ | Sehr Gut |  |
| 0,60 bis 0,74 | Gut |  |
| 0,40 bis 0,59 | Genügend |  |
| $< 0,40$ | Mangelhaft |  (Fleiss 1981) |

5.1.2 Übereinstimmung der Messung der Hautoberflächentemperatur

In **Tabelle 11** sind die durchschnittlichen Temperaturabweichungen je Untersuchungsregion und Beobachterinnen-Paar ersichtlich. Die minimalen und maximalen Abweichungen sind hier in Klammern gesetzt. Aus der Tabelle ist zu entnehmen, dass die durchschnittlichen Abweichungen bei den FLIR®-Bildern gering waren. Jedoch schnitt die Messung der Rückseite des Ohrs mit einer mittleren Abweichung von 0,75 °C zwischen Beobachterinnen A und C und einer Spannbreite von -1,2 bis 4,1 °C zwischen allen Beobachterinnen am schlechtesten ab. Bei den BOSCH®-Bildern stimmten die Hautoberflächentemperaturen je Beobachterinnen-Paar für Schulter, Oberschenkel und Flanke gut überein. Die Hauttemperaturen der Ohrrückseite wichen jedoch stark ab. Beobachterinnen A und C wiesen eine mittlere Abweichung von -3,55 °C auf. Zwischen Beobachterpaar B und C betrug die durchschnittliche Abweichung 5,45 °C. Vor allem ist jedoch die große Spannweite zwischen allen Beobachterinnen zu berücksichtigen, die von -6,7 bis 2,3 °C reicht.

Tabelle 11: Durchschnittliche, minimale und maximale Abweichung in der Hautoberflächentemperatur je Untersuchungsregion und Beobachterpaar für FLIR®- und BOSCH®-Bilder. Ein Intra-Observer-Abgleich (A vs. A) erfolgte nur für FLIR®-Bilder.

| Untersuchungs-Regionen | Beobachterinnen-Paar | | | |
|------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | FLIR®-Bilder: Ø Abweichung Kreisflächen-Temperatur in °C (min / max) | | | |
| | A vs. B | A vs. C | B vs. C | A vs. A |
| Schulter | 0,05 (-0,3/+0,6) | 0,08 (-0,5/+0,8) | 0,04 (-0,7/+1,1) | 0,03 (-0,2/+0,5) |
| Oberschenkel | 0,00 (-0,6/+1,2) | 0,01 (-1,6/+3,4) | 0,01 (-1,4/+3,4) | -0,01 (-0,3/+0,2) |
| Flanke | 0,11 (-0,5/+0,8) | -0,29 (-1,2/+0,3) | -0,42 (-1,2/+0,4) | 0,00 (-0,7/+0,7) |
| Rückseite Ohr | 0,56 (-1,2/+4,1) | 0,75 (-1,0/+4,1) | -0,01 (-0,9/+1,1) | 0,32 (-0,8/+2,6) |
| Ohrbasis | -0,01 (-1,6/+1,1) | 0,17 (-0,3/+1,2) | 0,18 (-0,6/+2,0) | -0,06 (-1,2/+0,6) |
| | BOSCH®-Bilder: Ø Abweichung Punkt-Temperatur in °C | | | |
| Schulter | 0,05 (-0,8/+0,8) | 0,01 (-1,1/+0,9) | 0,04 (-1,4/+1,2) | |
| Oberschenkel | 0,00 (-1,8/+1,1) | -0,27 (-2,2/+0,6) | -0,24 (-2,4/+0,4) | |
| Flanke | -0,43 (-2,8/+0,9) | -0,43 (-2,9/+0,4) | -0,02 (-0,8/+0,5) | |
| Rückseite Ohr | 0,53 (-2,2/+2,3) | -3,55 (-5,2/-1,9) | -5,45 (-6,7/-4,2) | |

Die Stärke des Zusammenhangs zwischen den ausgewerteten Oberflächentemperaturen je Beobachterinnen-Paar und Untersuchungsregion wurde durch den Korrelationskoeffizienten (r) bestimmt. Dieser kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen. Je näher der Wert bei 1 liegt, umso stärker ist der Zusammenhang. Die in **Tabelle 12** ersichtlichen Korrelationskoeffizienten waren sowohl für die FLIR®- als auch die BOSCH®-Bilder sehr hoch. Das bedeutet, dass die ausgewerteten Hautoberflächentemperaturen der verschiedenen Beobachterinnen positiv korrelierten.

Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten (r) für die Hautoberflächentemperatur je Untersuchungsregion und Beobachterinnen-Paar bei FLIR®- und BOSCH®-Bildern.

| Parameter | Korrelationskoeffizient (r) | | | |
|---------------|-----------------------------|---------|----------------------|---------|
| | FLIR®-Bilder | | BOSCH®-Bilder | |
| | Beobachterinnen-Paar | | Beobachterinnen-Paar | |
| | A vs. B | A vs. C | A vs. B | A vs. C |
| Schulter | 0,99 | 0,98 | 0,99 | 0,99 |
| Oberschenkel | 0,96 | 0,77 | 0,97 | 0,96 |
| Flanke | 0,96 | 0,95 | 0,97 | 0,97 |
| Rückseite Ohr | 0,85 | 0,79 | 0,82 | 0,82 |
| Ohrbasis | 0,90 | 0,97 | | |

In **Abbildung 23** sind die Korrelationen der durchschnittlichen Hautoberflächentemperaturen (\emptyset HOT in °C) für die Untersuchungsregionen Oberschenkel **(a)** und Schulter **(b)** dargestellt (FLIR®-Bilder). Für den Oberschenkel (Beobachterinnen A vs. C) wurde der niedrigste Korrelationskoeffizient berechnet ($r=0,77$). Der Korrelationskoeffizient von 0,99 für die Schulter (Beobachterinnen A vs. B) war dagegen sehr hoch.

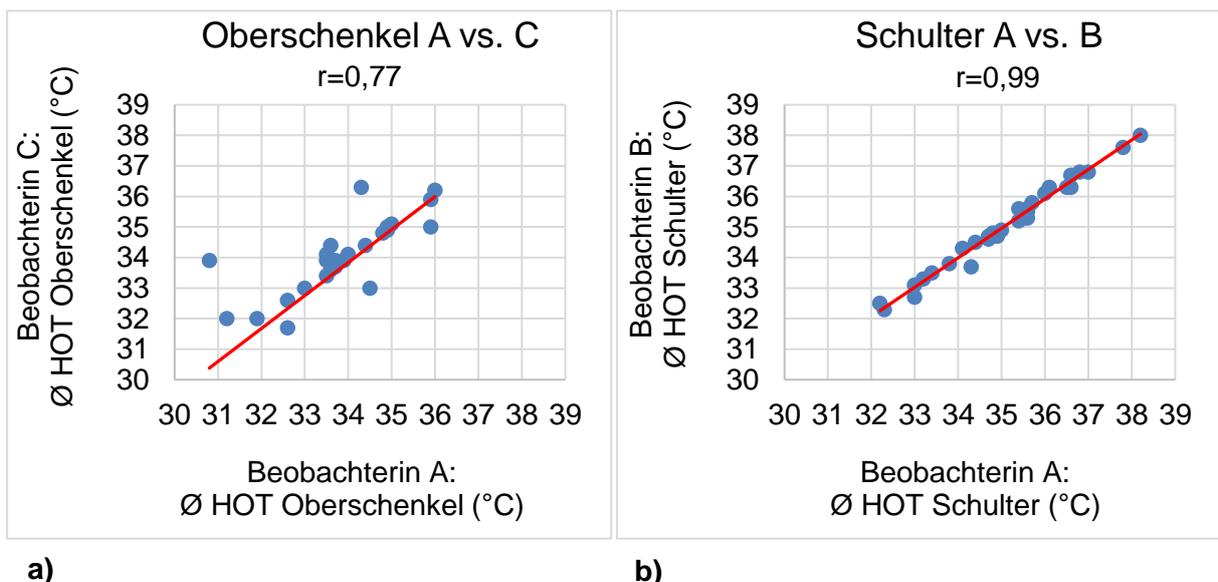


Abbildung 23: Übereinstimmung der Hautoberflächentemperatur am Beispiel Oberschenkel und Schulter bei den FLIR®-Bildern: Korrelation der \emptyset HOT des Oberschenkels (°C) zwischen Beobachterinnen-Paar A und C **(a)** sowie Korrelation der \emptyset HOT der Schulter (°C) zwischen Beobachterinnen A und B **(b)**; (r =Korrelationskoeffizient).

5.1.3 Konsequenz der IOR-Ergebnisse für die weitere Analyse

FLIR®-Bilder:

Ohrrückseite (NTF)

Bei den FLIR®-Bildern wurde für die Ohrrückseite keine ausreichende Übereinstimmung bei der Ermittlung der Hautoberflächentemperatur erreicht.

Abbildung 24 verdeutlicht diese Problematik der unterschiedlichen Hautoberflächentemperaturen an der Rückseite des Ohrs. Für die Beobachterinnen A, B und C lagen bei derselben Ohrrückseite Temperaturdifferenzen zwischen 1,1 und 3,7 °C auf. Grund dafür könnte sein, dass die Hautoberflächentemperatur an der Ohrrückseite variabler ist, weswegen unterschiedliche Kreisflächeninhalte und Kreispositionen zu höheren Abweichungen führten. Daher wurde die Ohrrückseite für die folgenden Auswertungen nicht weiter berücksichtigt.

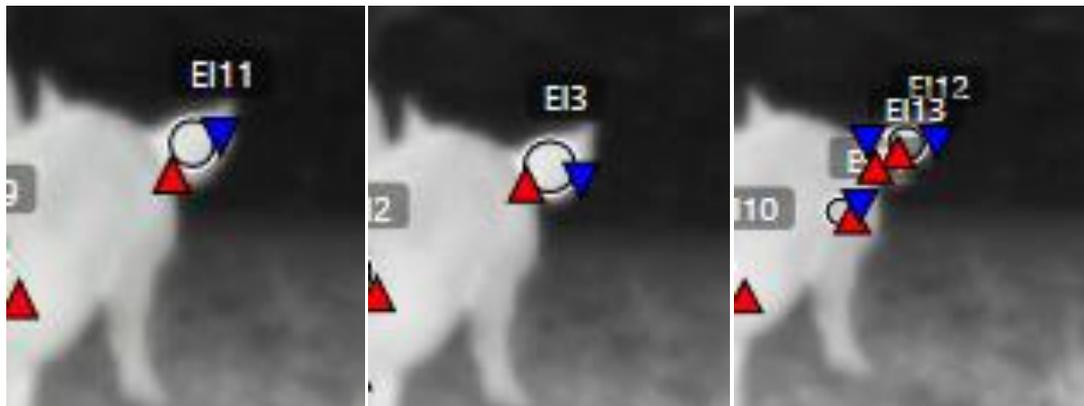


Abbildung 24: Ausschnitt aus einem FLIR®-Bild: Vergleich Rückseite Ohr Beobachterin A, B und C.

Oberschenkel, Schulter und Flanke (NTF)

Für die Auswahl der Oberschenkelregion gab es beim Abgleich zwischen den unterschiedlichen Beobachterinnen (Inter-Observer-Abgleich) eine mangelhafte bis sehr gute Übereinstimmung, beim Intra-Observer-Abgleich gab es jedoch eine sehr gute Übereinstimmung. Aufgrund der hohen Übereinstimmung der Hautoberflächentemperaturen beim IOR-Abgleich und der sehr guten Ergebnisse beim Intra-Observer Abgleich wurde der Oberschenkel trotzdem berücksichtigt. Auch Schulter und Flanke wurden weiterhin berücksichtigt, da bei allen Abgleichen gute Ergebnisse erzielt wurden.

Ohrbasis (TF)

Für die Auswahl der Ohrbasis ergab der Abgleich zwischen den Beobachterinnen eine mangelhafte bis genügende Übereinstimmung. Weil beim Intra-Observer-Abgleich ein gutes Ergebnis erzielt wurde und die Übereinstimmung der Oberflächentemperatur hoch war, wurde die Ohrbasis für die weitere Auswertung dennoch berücksichtigt.

BOSCH®-Bilder:

Ohrrückseite, Oberschenkel, Schulter und Flanke (NTF)

Wie auch für die FLIR®-Bilder wurde die Ohrrückseite für Aufnahmen der BOSCH®-Kamera nicht weiter als Untersuchungsregion berücksichtigt. Grund dafür waren die hohen Abweichungen in der Hautoberflächentemperatur zwischen den Beobachterinnen. Bei den BOSCH®-Bildern gab es nur geringe Übereinstimmung in der Auswahl der Regionen Schulter und Oberschenkel. Jedoch war die Übereinstimmung der Oberflächentemperatur von Schulter und Oberschenkel sehr hoch, weshalb sie weiter berücksichtigt wurden. Die Flanke wurde weiterhin berücksichtigt, da bei allen Abgleichen gute Ergebnisse erzielt wurden.

5.2 Potentielle Einflussfaktoren auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung

5.2.1 Direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung

Bei der Überprüfung der Rohdaten (Datensatz D0) konnte ein Einfluss des direkten Sonnenlichts auf die Hautoberflächentemperatur nur bezüglich der Auswertung der Flanke am Betrieb CH02 ($p=0,035$) festgestellt werden. Zudem wurden signifikante Unterschiede hinsichtlich der Oberflächentemperatur bei Verschmutzung von Schulter ($p=0,048$) und Flanke ($p=0,003$) auf dem Betrieb CH01 gefunden. Weiters ist zu sehen, dass die Pigmentierung die Hautoberflächentemperatur bei drei Untersuchungsregionen (Oberschenkel, Ohrbasis, Flanke) auf zwei Betrieben (AT01, CH02) signifikant beeinflusste. Da die Pigmentierung zu deutlich signifikanten Unterschieden in der Hautoberflächentemperatur führte und es nur eine geringe Anzahl an pigmentierten Hautoberflächentemperatur-Messwerten gab, wurden pigmentierte Untersuchungsregionen in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt (**Tabelle 13**).

Tabelle 13: Überblick über die Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten), Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) und Pigmentierung (1=pigmentiert, 0=nicht pigmentiert) für die Betriebe AT01, CH01 und CH02: Mittelwerte der Hautoberflächentemperatur (MW HOT °C) je Ausprägung der Einflussfaktoren (1; 0) sowie p-Wert (t-Test; n=Anzahl an ausgewerteten Messwerten je Region und Ausprägung).

| Einflussfaktor | Betrieb | Region | n | | MW HOT °C | | p-Wert |
|----------------------------|---------|---------------------|-----|-----|-----------|-------|--------------|
| | | | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| Direktes Sonnenlicht | AT01 | Schulter | 17 | 227 | 35,92 | 33,88 | 0,986 |
| | | Oberschenkel | 13 | 204 | 35,42 | 33,91 | 0,317 |
| | | Flanke | 32 | 236 | 35,32 | 34,17 | 0,599 |
| | | Ohrbasis | 29 | 184 | 35,54 | 34,78 | 0,974 |
| | CH01 | Schulter | 61 | 45 | 34,19 | 32,30 | 0,544 |
| | | Oberschenkel | 70 | 40 | 34,68 | 31,81 | 0,064 |
| | | Flanke | 64 | 43 | 34,92 | 31,51 | 0,831 |
| | CH02 | Schulter | 108 | 196 | 33,76 | 31,68 | 0,326 |
| | | Oberschenkel | 94 | 224 | 33,80 | 31,54 | 0,330 |
| | | Flanke | 111 | 213 | 34,04 | 31,66 | 0,035 |
| Kot- Verschmutzung | AT01 | Schulter | 45 | 188 | 32,75 | 34,43 | 0,203 |
| | | Oberschenkel | 56 | 148 | 33,06 | 34,33 | 0,093 |
| | | Flanke | 47 | 213 | 32,45 | 34,72 | 0,056 |
| | | Ohrbasis | 3 | 208 | 33,97 | 34,86 | 0,655 |
| | CH01 | Schulter | 15 | 85 | 33,99 | 33,37 | 0,048 |
| | | Oberschenkel | 21 | 86 | 34,17 | 33,55 | 0,092 |
| | | Flanke | 18 | 90 | 33,85 | 33,65 | 0,003 |
| | CH02 | Schulter | 31 | 271 | 31,94 | 32,45 | 0,421 |
| | | Oberschenkel | 55 | 258 | 31,41 | 32,32 | 0,843 |
| | | Flanke | 37 | 277 | 31,69 | 32,60 | 0,158 |
| Pigmentierung ¹ | AT01 | Schulter | 1 | 244 | 33,90 | 34,02 | - |
| | | Oberschenkel | 6 | 212 | 34,35 | 33,96 | 0,032 |
| | | Flanke | 9 | 262 | 35,31 | 34,29 | 0,458 |
| | | Ohrbasis | 3 | 215 | 35,03 | 34,87 | 0,035 |
| | CH02 | Schulter | 5 | 303 | 32,90 | 32,40 | 0,428 |
| | | Oberschenkel | 19 | 307 | 31,54 | 32,26 | 0,010 |
| | | Flanke | 26 | 302 | 31,92 | 32,54 | 0,015 |

¹ Keine pigmentierten Tiere in CH01.

Die verbleibenden Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht und Kotverschmutzung wurden erneut anhand der Datensätze D1 getestet, wobei die NTF Schulter (S), Oberschenkel (OS) und Flanke (F) aggregiert und die Datensätze der Betriebe CH01 und CH02 sowohl separat als auch zusammengefasst betrachtet wurden. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 14** zu sehen. Auch im Datensatz D1 hatte das direkte Sonnenlicht keinen signifikanten Einfluss auf die Hautoberflächentemperatur der zusammengefassten NTF auf Betrieb AT01 ($p=0,935$). Am Betrieb CH02 hatte das direkte Sonnenlicht einen Einfluss ($p=0,006$) auf die NTF und am Betrieb CH01 gab es eine Tendenz dafür ($p=0,085$). Bei Zusammenlegung der Datensätze CH01 + CH02 (CH12) konnte diese jedoch nicht mehr festgestellt werden ($p=0,516$). Obwohl der Einfluss des direkten Sonnenlichtes für den zusammengelegten Datensatz CH12 wie auch für den Betrieb AT01 nicht signifikant war, war der nominale Unterschied bedeutend. Die mittlere Differenz der NTF-Mittelwerte zwischen Sonne und Schatten für CH12 betrug $2,3\text{ °C}$. Auch für den Betrieb AT01 war die mittlere Differenz von $1,57\text{ °C}$ zwischen den NTF-Mittelwerten in der Sonne und im Schatten deutlich (**Tabelle 14**). Messwerte (NTF-Mittelwerte) in der Sonne waren für den Betrieb AT01 etwas häufiger im Kontrolltreatment (Kontrolle: $55,8\%$, Versuch: $44,2\%$), im zusammengelegten Datensatz CH01 + CH02 (CH12) etwas häufiger im Versuch (Kontrolle: $44,3\%$, Versuch: $55,7\%$). Die Verschmutzung hatte auf die Hauttemperatur der NTF für den Betrieb AT01 einen signifikanten Einfluss ($p=0,008$); auch für den zusammengelegten Datensatz CH01 + CH02 (CH12) gab es eine Tendenz ($p=0,065$). Die Verteilung für NTF-Mittelwerte an verschmutzten Regionen auf die Versuchs- und Kontrollbuchten war am Betrieb AT01 weniger ausgeglichen (Kontrolle: $57,1\%$, Versuch: $42,9\%$).

Auch für die Ohrbasis-Mittelwerte in der Sonne war die Verteilung je Versuchs- und Kontrollbucht nicht ausgeglichen ($36,4\%$ zu $63,6\%$), jedoch hatte das direkte Sonnenlicht keinen signifikanten Einfluss auf die Hautoberflächentemperatur dieser Region und der Anteil an Mittelwerten gemessen an einer Ohrbasis in der Sonne war nicht sehr hoch (22 von 134 Werten). Verschmutzung an der Ohrbasis hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Hautoberflächentemperaturen, konnte allerdings nur drei Mal beobachtet werden.

Tabelle 14: Überblick über die Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten) und Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) für die Betriebe AT01, CH01, CH02 sowie CH01 + CH02: Mittelwerte der Hautoberflächentemperatur (MW HOT °C) je Ausprägung der Einflussfaktoren (1; 0) sowie p-Wert (t-Test; n=Anzahl an ausgewerteten Messwerten je Region und Ausprägung).

| Einflussfaktor | Betrieb | Region | n | | MW HOT °C | | p-Wert |
|-------------------------|-------------|-------------------|-----|-----|-----------|-------|------------------|
| | | | 1 | 0 | 1 | 0 | |
| Direktes Sonnenlicht | AT01 | S + OS + F | 61 | 646 | 35,53 | 33,96 | 0,935 |
| | | Ohrbasis | 29 | 184 | 35,54 | 34,77 | 1,000 |
| | CH01 | S + OS + F | 171 | 101 | 34,76 | 32,25 | 0,085 |
| | CH02 | S + OS + F | 246 | 577 | 33,34 | 31,51 | 0,006 |
| | CH01 + CH02 | S + OS + F | 417 | 678 | 33,92 | 31,62 | 0,516 |
| Kot- Verschmutzung | AT01 | S + OS + F | 148 | 536 | 32,77 | 34,50 | 0,008 |
| | | Ohrbasis | 3 | 206 | 33,97 | 34,88 | 0,657 |
| | CH01 | S + OS + F | 51 | 213 | 34,06 | 33,91 | <0,001 |
| | CH02 | S + OS + F | 114 | 700 | 31,43 | 32,13 | 0,269 |
| | CH01 + CH02 | S + OS + F | 165 | 913 | 32,24 | 32,55 | 0,065 |

Konsequenz der Ergebnisse für die weitere Auswertung

Pigmentierte Regionen wurden im finalen statistischen Modell nicht berücksichtigt, da die Ergebnisse auf potentielle Einflüsse (AT01: höhere Hautoberflächentemperaturen; CH02: niedrigere Hautoberflächentemperaturen) hinwiesen und es nur eine geringe Anzahl an pigmentierten Messwerten gab.

Auch mit Kot verschmutzte Regionen wurden im statistischen Modell ausgeschlossen, da die Signifikanzniveaus auf potentielle Einflüsse (AT01, CH01 + CH02: niedrigere Hautoberflächentemperaturen; CH01: höhere Hautoberflächentemperaturen) hindeuteten (**Tabelle 14**) und aufgrund der unausgeglichene Verteilung innerhalb der Versuchs- und Kontrollbuchten (**Tabelle 17** und **Tabelle 18** im **Anhang**) nicht davon ausgegangen werden konnte, dass die Verschmutzung in den Versuchs- und Kontrollbuchten einen vergleichbaren Einfluss hatte.

Obwohl es einen Einfluss (AT01, CH01, CH02: höhere Hautoberflächentemperaturen) des direkten Sonnenlichtes auf die Hautoberflächentemperatur gab, wurde dieser für die weitere Analyse nicht berücksichtigt, da Messungen mit Sonnenlicht zwischen Versuch und Kontrolle relativ ausgeglichen waren und keine statistisch absicherbaren Unterschiede vorlagen.

Alle Messwerte, für die weder Pigmentierung noch Kotverschmutzung vorlag, wurden anschließend zu Mittelwerten je aufgenommenem Wärmebild zusammengefasst (Datensatz D5).

5.2.2 Einfluss der Region

Der Gruppenvergleich für die Hautoberflächentemperaturen der NTF-Regionen Schulter, Oberschenkel und Flanke am Datensatz D2 ergab keine signifikanten Unterschiede für AT01 ($n=390$, $p=0,210$), CH01 ($n=169$, $p=0,931$) und CH02 ($n=420$, $p=0,962$). Daher wurden die Messwerte dieser Regionen zu einem Parameter „NTF“ zusammengefasst (Datensatz D3).

5.2.3 Zusammenhang zwischen Hautoberflächentemperatur und THI

Für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Hautoberflächentemperatur und dem THI wurden die Mittelwerte je Bild herangezogen (Datensatz D4). In **Abbildung 25** und **Abbildung 26** sind die Korrelationen zwischen der Hautoberflächentemperatur der NTF und dem THI je Treatment für den Betrieb AT01 und für die beiden Betriebe CH01 + CH02 (CH12) zu sehen. Für den Betrieb AT01 wurden Korrelationskoeffizienten von 0,46 (Kontrolle) und 0,30 (Versuch) berechnet. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten für die Betriebe CH12 liegen bei 0,69 (Kontrolle) und 0,44 (Versuch). Das heißt, dass mit zunehmendem THI auch die Hautoberflächentemperatur von Schulter, Oberschenkel und Flanke stieg. Somit lag ein geringer (AT01: Versuch) bis deutlicher positiver Zusammenhang zwischen den Hautoberflächentemperaturen der NTF und dem THI vor, wobei der Zusammenhang für die Kontrollbuchten stärker war.

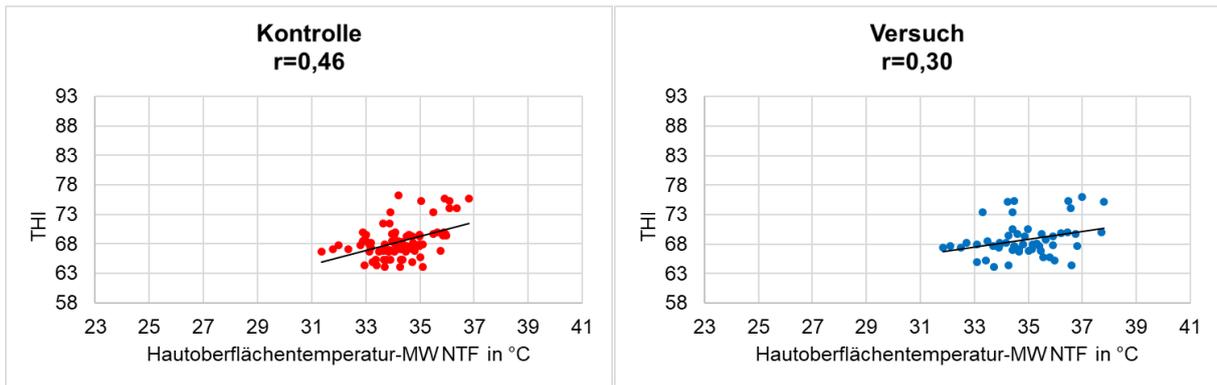


Abbildung 25: Betrieb AT01: Korrelation zwischen Hautoberflächentemperatur-Mittelwert (°C) für NTF und THI je Treatment.

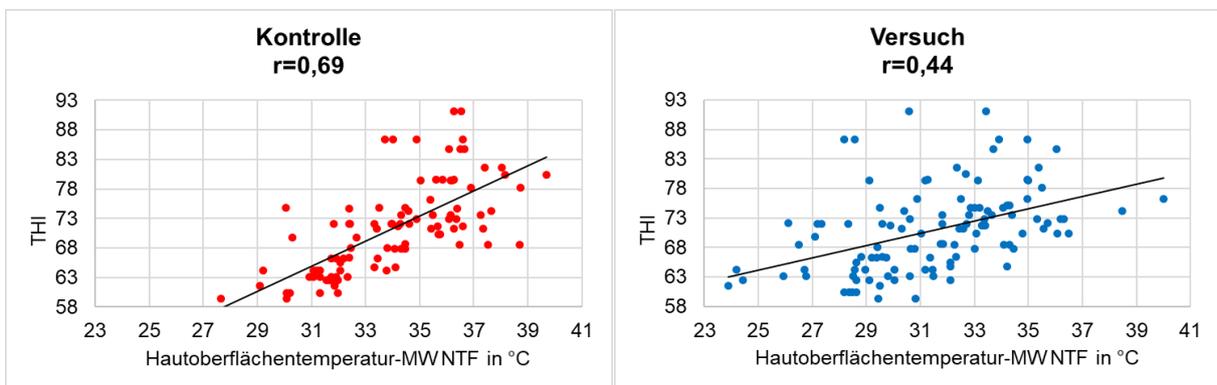


Abbildung 26: Betriebe CH12: Korrelation zwischen Hautoberflächentemperatur-Mittelwert (°C) für NTF und THI je Treatment.

Die Korrelationen zwischen den Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten der Ohrbasis und dem THI (AT01: $r=0,39$ für Kontrolle; $r=0,24$ für Versuch) sind in **Abbildung 27** ersichtlich. Es lag eine relativ geringe Korrelation zwischen den Oberflächentemperaturen an der Ohrbasis und dem THI vor, wobei die Korrelation für die Versuchsbuchten geringer war.

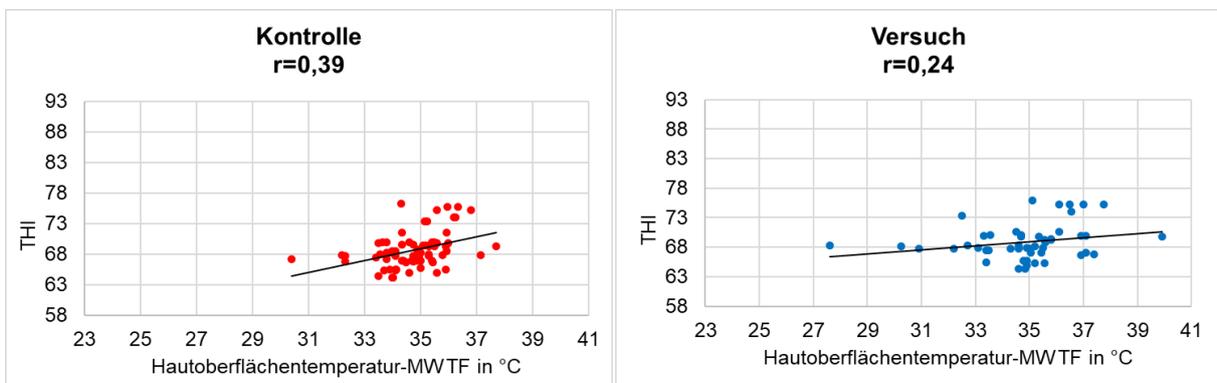


Abbildung 27: Betrieb AT01: Korrelation zwischen Hautoberflächentemperatur-Mittelwert (°C) der Ohrbasis (TF) und THI.

5.2.4 Übertragungseffekt bzw. „Carry-Over-Effekt“ bei den Durchgängen

Die Verteilung der Hautoberflächentemperatur-Mittelwerte vor, während und nach jeder Dusche über alle Durchgänge gibt Aufschluss über einen potentiellen Überlagerungseffekt („Carry-Over-Effekt“, **Abbildung 28**). Aus **Abbildung 28** geht hervor, dass das Niveau der Hautoberflächentemperatur in Versuchsbuchten für die Aufnahmezeitpunkte kurz nach Beginn der Dusche (D1, hellblau gestreifte Boxplots) und zur Duschhalbzeit (D2, blau gepunktete Boxplots) ungefähr gleich blieb. Dabei ist zu beachten, dass Boxplots ohne Whisker nicht überbewertet werden dürfen, da sie nur zwei bis maximal drei Messwerte repräsentieren. Da das Ausgangsniveau (D1) für jeden Durchgang ähnlich ist und das Niveau der blauen Boxplots (Versuchsbuchten) für die Aufnahmezeitpunkte zur Duschhalbzeit (D2) sowie 20 Minuten nach der Dusche (T2) ungefähr gleich blieb, gibt es keinen Hinweis dafür, dass sich ein Abkühlungseffekt des vorherigen Duschvorgangs auf den nächsten Durchgang übertrug. Für die Betriebe AT01 und CH01 konnte ebenso kein Übertragungseffekt festgestellt werden. Insbesondere für den Betrieb CH01 gab es allerdings zu wenige Messwerte je Aufnahmezeitpunkt und Durchgang.

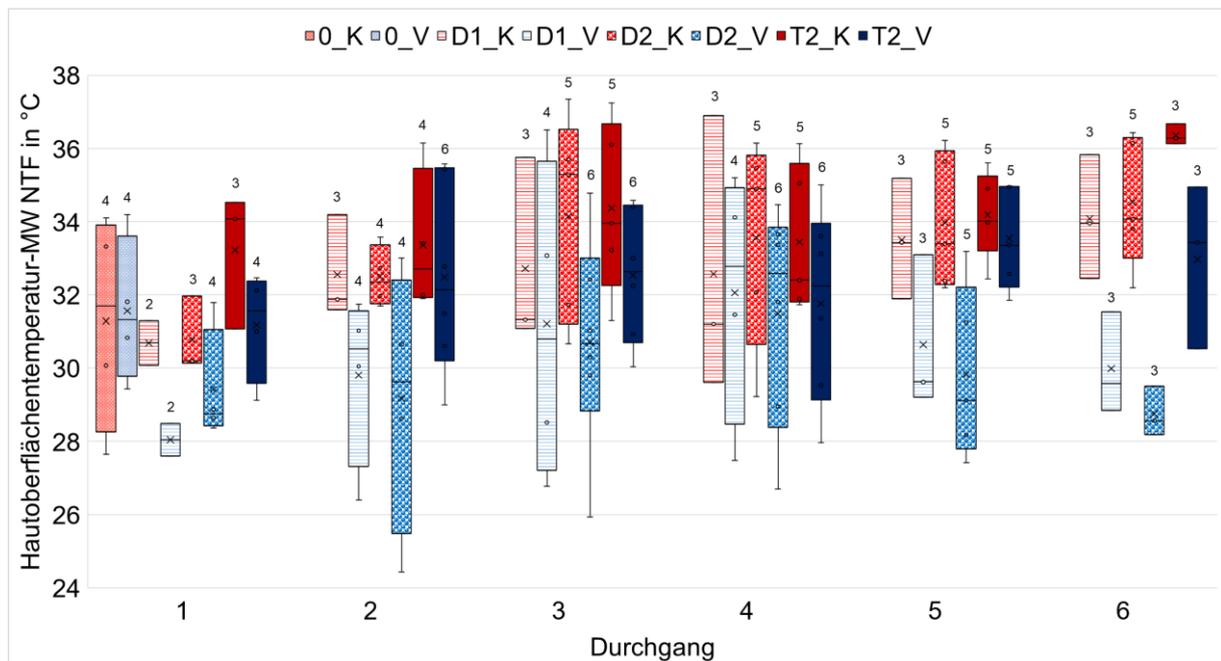


Abbildung 28: Betrieb CH02: Überprüfung eines möglichen Überlagerungseffektes anhand visueller Darstellung der Verteilung der Hautoberflächentemperatur-MW (°C) für NTF je Aufnahmezeitpunkt und Durchgang (K=Kontrollbuchten, V=Versuchsbuchten; 0=10 min vor Beginn der ersten Duschlaufzeit, D1=kurz nach Beginn der Dusche, D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche bzw. Duschhalbzeit und T2=20 Minuten nach Ende Dusche; Anzahl an Messwerten je Aufnahmezeitpunkt, Durchgang und Treatment direkt über den Boxplots).

5.3 Einfluss der Duschen auf die Hautoberflächentemperatur

Die Ergebnisse zum Einfluss der Duschen werden für AT01 als Differenzen aus den Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten zu den Zeitpunkten 10 Minuten vor (T1) und während (D2) der Dusche ($\Delta AT_{T1, D2}$) sowie vor und nach (T2) der Dusche ($\Delta AT_{T1, T2}$) dargestellt. Im Modell CH wurde die Differenz vor (T1) und zu Beginn (D1) der Dusche ($\Delta CH_{T1, D1}$) sowie vor und während (D2) der Dusche ($\Delta CH_{T1, D2}$) dargestellt. Bei einer effektiven Kühlung wurde erwartet, dass die Schweine in den Versuchsbuchten während und nach der Dusche eine kühlere Hautoberfläche haben als vor der Dusche, das heißt, eine größere positive Differenz deutet auf einen Kühlungseffekt hin.

5.3.1 Betrieb AT01

Die Ergebnisse für die NTF sind in **Tabelle 15** und **Abbildung 29** dargestellt und zeigen, dass Schweine in den Versuchsbuchten während der Dusche mit 1,33 °C tendenziell eine größere positive Differenz ($\Delta AT_{T1, D2}$) und damit einen stärkeren Rückgang der Hautoberflächentemperatur aufwiesen als Schweine in Kontrollbuchten (0,45 °C; $p=0,084$).

Zwanzig Minuten nach Ende der Dusche zeigten die Schweine mit Dusche eine leicht höhere Hauttemperatur als vor Beginn der Dusche, was sich in einer negativen Differenz widerspiegelt (-0,42 °C für $\Delta AT_{T1, T2}$). Diese Erhöhung war - allerdings statistisch nicht signifikant ($p=0,469$) - in den Versuchsbuchten um 0,38 °C stärker ausgeprägt als in den Kontrollbuchten, die kaum eine Veränderung zeigten (-0,04 °C).

Tabelle 15: Schätzwerte für die Differenz der Hautoberflächentemperatur (in °C) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) und der Ohrbasis vor und während der Dusche ($\Delta AT_{T1, D2}$) sowie vor und nach der Dusche ($\Delta AT_{T1, T2}$) für den fixen Effekt des Treatments für den österreichischen Betrieb AT01 (Modell AT).

| Variable | Differenz Aufnahmezeitpunkt | Schätzwert in °C | | p-Wert |
|----------|--------------------------------|------------------|-----------------|--------|
| | | Kontrolle | Versuch | |
| NTF | ($\Delta AT_{T1, D2}$) | 0,45 (n=24) | 1,33 (n=8) | 0,084 |
| NTF | ($\Delta AT_{T1, T2}$) | -0,04 (n=24) | -0,42 (n=13) | 0,469 |
| Ohrbasis | ($\Delta AT_{T1, D2}$) | -0,08 (n=12) | 2,65 (n=7) | 0,057 |
| Ohrbasis | ($\Delta AT_{T1, T2}$) | -0,84 (n=21) | -0,38 (n=12) | 0,590 |

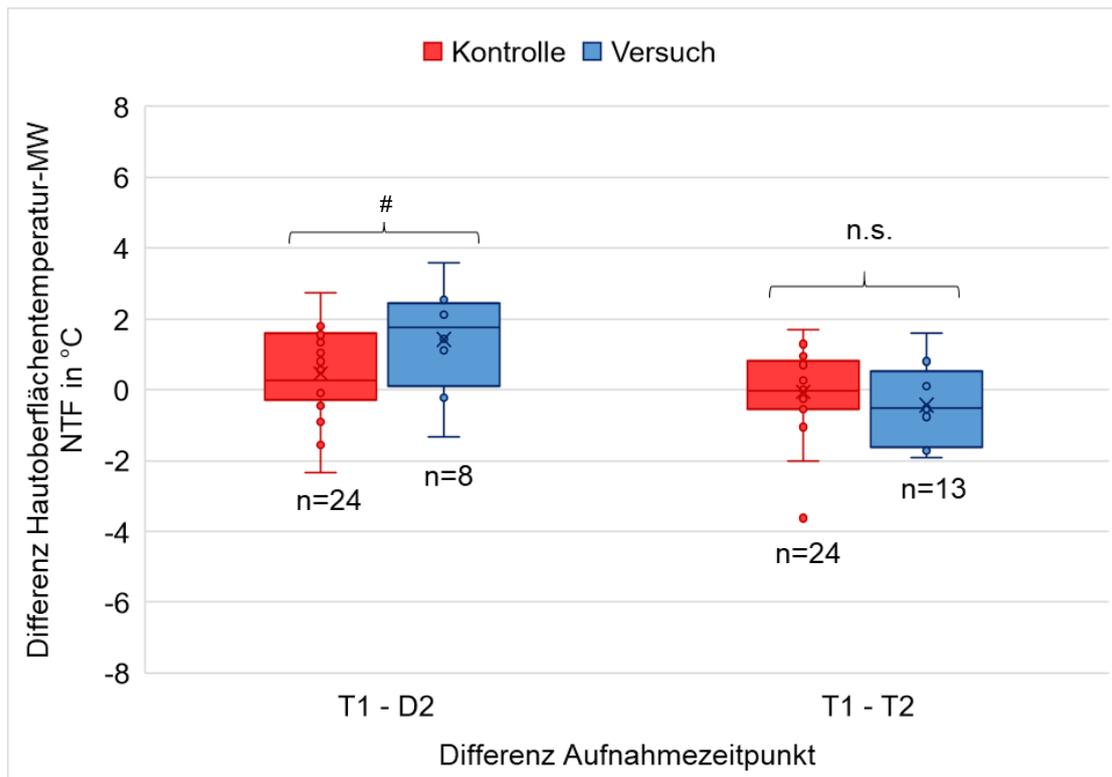


Abbildung 29: Betrieb AT01: Differenz (°C) der Hautoberflächentemperatur-Mittelwerte (MW) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) zwischen den Aufnahmezeitpunkten T1 (10 Minuten vor Beginn der Dusche) und D2 (15 Minuten nach Beginn der Dusche) sowie T1 und T2 (20 Minuten nach Ende der Dusche) für Kontroll- (n=24 für $\Delta T1, D2$ bzw. $\Delta T1, T2$) und Versuchsbuchten (n=8 für $\Delta T1, D2$, n=13 für $\Delta T1, T2$); #Tendenz für signifikante Unterschiede $p < 0,1$ und n.s. nicht signifikant $p > 0,1$.

Die Ergebnisse für das TF Ohrbasis sind in **Tabelle 15** ersichtlich und in **Abbildung 30** graphisch dargestellt. Daraus geht hervor, dass die Hautoberflächentemperatur an der Ohrbasis in Versuchsbuchten während der Dusche kühler war als vor der Dusche (positive Differenz von 2,65 °C für $\Delta AT_{T1, D2}$), während die Hauttemperaturen in den Kontrollbuchten gleichblieben (Differenz nahe Null). Dieser Unterschied in der Änderung der Hautoberflächentemperatur war knapp nicht signifikant ($p=0,057$). Im Vergleich der Hauttemperaturen vor und nach der Dusche ($\Delta AT_{T1, T2}$) lagen sowohl für die Kontroll- als auch die Versuchsbuchten kaum Unterschiede vor ($p=0,590$). Weder Effektgröße noch p-Wert deuten auf eine Abkühlung 20 Minuten nach Ende der Dusche hin ($\Delta AT_{T1, T2}$).

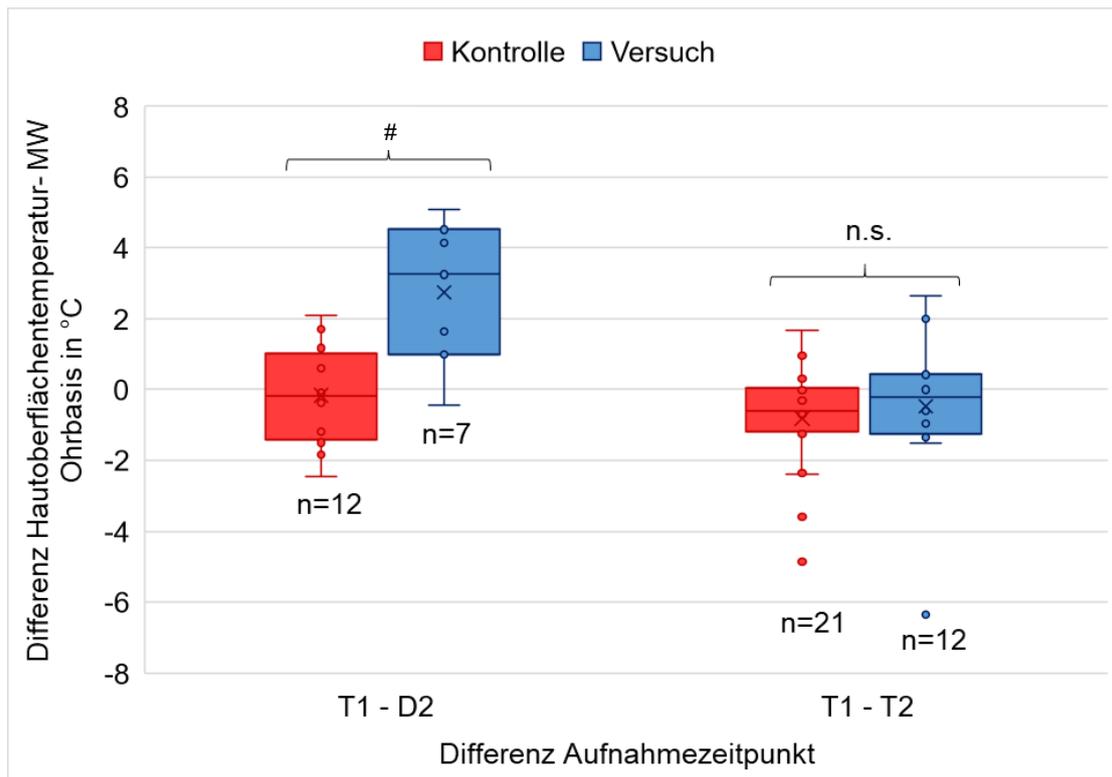


Abbildung 30: Betrieb AT01: Differenz (°C) aus Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten (MW) der Ohrbasis zwischen Aufnahmezeitpunkten (T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche und T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, T2=20 Minuten nach Ende der Dusche) für Kontroll- (n=12 für $\Delta_{T1, D2}$, n=21 für $\Delta_{T1, T2}$) und Versuchsbuchten (n=7 für $\Delta_{T1, D2}$, n=13 für $\Delta_{T1, T2}$), #Tendenz $p < 0,1$ und n.s. nicht signifikant $p > 0,1$.

5.3.2 Schweizer Betriebe (CH12)

Tabelle 16 und **Abbildung 31** stellen die Ergebnisse für die NTF des zusammengelegten Datensatzes (CH12) der Betriebe CH01 + CH02 dar. Die signifikant größeren, positiven Schätzwerte für die Versuchsbuchten verdeutlichen, dass die Hautoberfläche an den NTF Schulter, Oberschenkel und Flanke kurz nach Beginn der Dusche (=D1) sowie während der Dusche (=D2) kühler war als davor, während die Hautoberflächentemperatur der Tiere in Kontrollbuchten annähernd gleich blieb (d.h. Temperaturdifferenz nahe Null). Dieser statistisch signifikante Unterschied war während der Dusche ($\Delta_{CH_{T1, D2}}$) mit einer positiven Temperaturdifferenz von 2,23 °C ($p=0,017$) stärker ausgeprägt als kurz nach Beginn der Dusche ($\Delta_{CH_{T1, D1}}=1,77$ °C, $p=0,043$).

Tabelle 16: Schätzwerte für die Differenz der Hautoberflächentemperaturen (in °C) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) gemessen vor und kurz nach Beginn der Dusche ($\Delta CH_{T_1, D_1}$) sowie vor und während der Dusche ($\Delta CH_{T_1, D_2}$) für den fixen Effekte des Treatments (Modell CH).

| Variable | Differenz Aufnahmezeitpunkt | Schätzwert in °C | | p-Wert |
|----------|-----------------------------|------------------|----------------|--------------|
| | | Kontrolle | Versuch | |
| NTF | ($\Delta CH_{T_1, D_1}$) | 0,04 (n=19) | 1,77 (n=20) | 0,043 |
| NTF | ($\Delta CH_{T_1, D_2}$) | -0,01 (n=28) | 2,23 (n=35) | 0,017 |

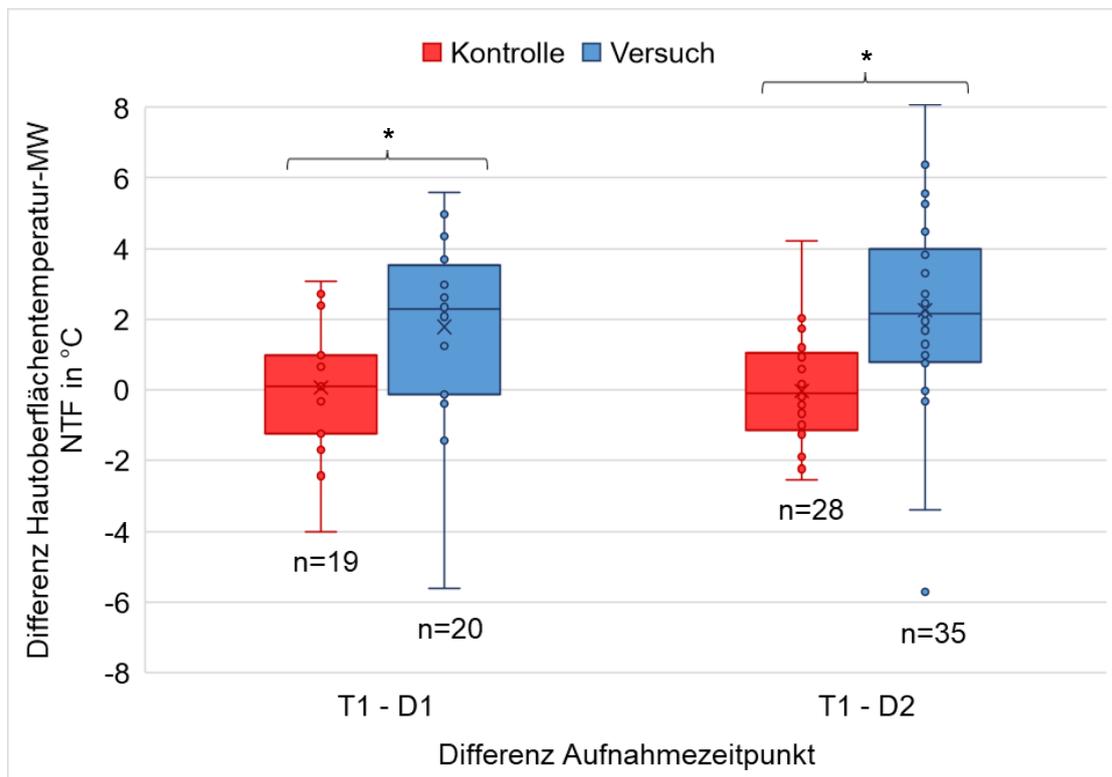


Abbildung 31: Schweizer Betriebe CH12: Differenz (°C) aus Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten (MW) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) zwischen Aufnahmezeitpunkten (T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, D1=kurz nach Beginn der Dusche und T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche) für Kontroll- (n=19 für Δ_{T_1, D_1} , n=28 für Δ_{T_1, D_2}) und Versuchsbuchten (n=20 für Δ_{T_1, D_1} , n=35 für Δ_{T_1, D_2}), *signifikante Unterschiede **p<0,05**.

6 Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse diskutiert, wobei zunächst auf die wichtigsten methodischen Aspekte und anschließend auf die Fragestellungen hinsichtlich der Einflussfaktoren sowie der Effektivität der Dusche eingegangen wird.

6.1 On-farm-Anwendung von IRT

Für eine präzise Messung der Hautoberflächentemperatur durch IRT sollten einige physikalische und umweltbedingte Parameter berücksichtigt werden, z.B. die reflektierte Temperatur, Distanz und relative Luftfeuchtigkeit.

Die reflektierte Temperatur, das heißt die Strahlungsenergie von Objekten in der Umgebung kann zu Messfehlern führen (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Diesbezüglich gilt aber: Je höher der Emissionsgrad, desto weniger Beeinflussung durch die reflektierte Temperatur (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Nach Tattersall (2016) führt der Einfluss der Hintergrundreflexion bei der Ermittlung der Hautoberflächentemperatur von Tieren (hoher Emissionsgrad von biologischem Gewebe) nur zu einem geringen Messfehler. Daher wurde die reflektierte Temperatur aufgrund des sehr hohen Emissionsgrades von Schweinehaut ($\epsilon=0,98$; Gerß 2016) der durchschnittlichen Umgebungstemperatur (25 °C) gleichgesetzt.

Die reale Distanz zwischen den Tieren im Duschbereich und der IR-Kamera je Betrieb betrug ungefähr 7,1 bis 10,2 Meter (AT01), 0,5 bis 3,4 Meter (CH01) sowie 0,5 bis 6,1 Meter (CH02). Die für die FLIR®-Kamera eingestellte Distanz von 5 Metern (AT01) entsprach der durchschnittlichen Entfernung bezogen auf den gesamten Auslauf, da ursprünglich alle Schweine im Auslauf ausgewertet werden sollten (nicht nur im Duschbereich). Obwohl die reale Distanz zwischen 7,1 und 10,2 Meter lag, kann der entstehende Messfehler aufgrund des langwelligen atmosphärischen Fensters von 8-14 μm und des geringen Kamera-Tier-Abstandes von weniger als 10 Metern als gering eingestuft werden (**Abbildung 6**). Zudem ergab eine Überprüfung in der FLIR Tools®-Software für dieselben Bilder bei gleichbleibender Einstellung aller anderen Objektparameter und einer eingestellten Distanz von 5 oder 10 Metern eine maximale Abweichung in der Durchschnittstemperatur von 0,1 °C. Dies war allerdings nur bei sehr wenigen Untersuchungsregionen zu beobachten; die überwiegenden Messwerte blieben trotz Verdoppelung der eingestellten Entfernung konstant (eigene Daten, nicht dargestellt). Bei den BOSCH®-Bildern (CH01, CH02) konnte die Aufnahmedistanz nicht berücksichtigt werden, da die Einstellung dieses Objektparameters nicht möglich war. Doch auch hier kann der Einfluss der Distanz aufgrund des geringen Abstands zu den Tieren von maximal 6,1 Metern als relativ gering angesehen werden.

Für den von LWIR-Kameras (FLIR T420®; BOSCH GTC 400 C Professional®) erfassten Wellenlängenbereich (8-14 μm) ist Wasserdampf der wichtigste Absorber von Infrarotstrahlung (Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). Die meisten Thermografie-Softwares für die Bildanalyse enthalten atmosphärische Transmissionskurven zur Abschätzung des Messfehlers, der sich aus dem Wasserdampfgehalt und der Distanz ergibt (Tattersall 2016). Am Betrieb AT01 lag die relative Luftfeuchtigkeit während aller Erhebungen zwischen 49,0 und 67,6 %. In der vorliegenden Arbeit wurde für alle Bilder eine durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit von 54 % konstant eingestellt. Allerdings waren die Klima-Datenlogger am Betrieb

AT01 weit vom Duschbereich entfernt (etwa 9 Meter), so dass die tatsächliche relative Luftfeuchtigkeit im Bereich der Duschen vermutlich höher war. Auf den Betrieben CH01 und CH02 waren die Klima-Datenlogger zwar nur 2-3 Meter von den Duschen entfernt, jedoch war eine Einstellung dieses Objektparameters in der verwendeten Kamera bzw. Software nicht möglich. Üblicherweise ist der Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit bei kurzen Distanzen bis etwa 10 Meter und einem Wellenlängenbereich von 8-14 μm aber gering, weshalb der dadurch entstandene Messfehler ebenso als vernachlässigbar einzuschätzen ist (Infratec GmbH 2004; Tattersall 2016; Usamentiaga et al. 2014). In der FLIR Tools[®]-Software wurden außerdem dieselben Bilder mit einer eingestellten Distanz von 5 Metern und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 54 % mit einer eingestellten Distanz von 10 Metern und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 % verglichen. Dabei wurde eine maximale Abweichung zwischen der Durchschnittstemperatur von 0,1 ° C beobachtet (eigene Daten, nicht dargestellt). Somit ist der Einfluss auf das Messergebnis trotz Verdoppelung der Entfernung sowie relativer Luftfeuchtigkeit als relativ gering anzusehen.

6.2 Auswertungsplan und IOR

Aufgrund der physiologischen und anatomischen Unterschiede war es wichtig, die zu untersuchenden Körperregionen im Rahmen dieser Studie klar zu definieren. Darauf wurde insbesondere deshalb Wert gelegt, da in anderen Studien die Untersuchungsregionen nicht immer ausreichend beschrieben wurden, was die Nachvollziehbarkeit dieser Studien erschwert (Arduini et al. 2017; Caldara et al. 2014; Traulsen et al. 2010; Machado et al. 2016; Dela Ricci et al. 2019; Tabuaciri et al. 2012; Zentner et al. 2005; Zentner et al. 2006). Es zeigte sich auch, dass der im Rahmen der vorliegenden Studie erstellte Auswertungsplan alleine nicht ausreicht, um eine zuverlässige Auswertung der Hautoberflächentemperaturen für alle ausgewählten Untersuchungsregionen zu gewährleisten. Erst die Anwendung durch die drei Beobachterinnen zeigte, welche Untersuchungsregionen aussagekräftige Daten zu den Hautoberflächentemperaturen liefern können. Dies war klar am Beispiel der Ohrrückseite zu sehen: Obwohl die Analyse der Ohrrückseite im Auswertungsplan eindeutig beschrieben wurde, ergaben sich für die Beobachterinnen bei der Auswertung derselben Ohrrückseiten extreme Temperaturdifferenzen (FLIR[®]: -1,2 bis +4,1 ° C; BOSCH[®]: -6,7 bis +2,3 ° C). Besonders die Hautoberflächentemperatur an der Ohrrückseite war im Vergleich zu den anderen Regionen variabler, weswegen schon kleine Unterschiede in der Kreisfläche und Kreis- (FLIR[®]) bzw. Punktpositionen (BOSCH[®]) zu höheren Temperaturabweichungen führten. Das könnte auch erklären, warum unterschiedliche Regionen des Ohrs in der Literatur von verschiedenen AutorenInnen sowohl als TF (Tabuaciri et al. 2012), als auch als NTF (Dewulf 2003; Petry et al. 2017; Tabuaciri et al. 2012) eingestuft werden. In diesen Studien wurden allerdings weder die Regionen exakt definiert, noch die Auswahl und Genauigkeit der Messungen durch einen Inter- oder Intra-Observer-Abgleich dargestellt. Die exakte Definition der Untersuchungsregionen und die Prüfung der IOR sind für eine zuverlässige Auswertung der Hautoberflächentemperaturen jedoch unumgänglich. Die Ergebnisse der Ohrrückseite unterstreichen deshalb, wie wichtig der IOR-Abgleich im Rahmen dieser Studie war, denn ohne ihn wäre der Ausschluss der Ohrrückseite nicht erfolgt, wodurch möglicherweise unzuverlässige Daten für die Ohrrückseite erhoben worden wären.

Für die Auswahl der Regionen Schulter, Oberschenkel und Flanke war auffällig, dass beim Inter-Observer-Abgleich der FLIR[®]-Bilder bessere Kappa-Korrelationen erzielt wurden, als beim Abgleich der BOSCH[®]-Bilder (FLIR[®]: $\kappa \geq 0,65$, außer für Beobachterinnen A vs. C für die Region Oberschenkel; BOSCH[®]: $\kappa \geq 0,60$ nur für die Region Flanke, ansonsten genügende bis mangelhafte Übereinstimmung). Es stellte sich heraus, dass die Entscheidung der Beobachterinnen, ob die jeweilige Region ausgewertet werden kann, aufgrund der schlechteren Auflösung der BOSCH[®]-Wärmebilder schwieriger war. Dabei kam es vor allem bei vielen nebeneinanderstehenden und gleichzeitig weit entfernten Tieren zu Uneinigkeiten. In der weiteren Auswertung von BOSCH[®]-Bildern wurden daher eng nebeneinanderstehende Tiere bei weiter Entfernung bzw. schlechter Auflösung nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Übereinstimmung bei der Auswahl der Regionen auch durch unterschiedliche Softwares bzw. IRT-Kameras beeinflusst wird. Interessant ist auch, dass die Übereinstimmung für die Regionsauswahl beim Intra-Observer-Abgleich besser war als beim Inter-Observer-Abgleich (FLIR[®]-Bilder). Das könnte daran liegen, dass sich Beobachterin A am meisten mit der Thematik beschäftigte und auch den Auswertungsplan erstellte.

Die Übereinstimmung der Beobachterinnen hinsichtlich der gemessenen Hautoberflächentemperatur war für alle Regionen der FLIR[®]- und BOSCH[®]-Bilder (ausgenommen Ohrrückseite) hoch bis sehr hoch, weshalb von einer zuverlässigen Erfassung der Hautoberflächentemperatur ausgegangen werden kann.

6.3 Potentielle Einflussfaktoren auf die Hautoberflächentemperatur und deren Messung

Neben vielen Vorteilen brachte der Einsatz der IRT auch einige Herausforderungen mit sich. Bei der Analyse der Wärmebilder gab es zahlreiche potentielle Einflussfaktoren, die in der Literatur zum Teil wenig beschrieben sind. Zusätzlich gibt es bei der Messung der Hauttemperatur von Schweinen im Auslauf weitere Faktoren, wie den Einfluss des direkten Sonnenlichtes. Um zuverlässige und aussagekräftige Ergebnisse zu gewinnen, wurden die Einflüsse von direktem Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung im Rahmen dieser Arbeit univariat überprüft und auf Basis dessen die Daten für das finale statistische Modell ausgewählt.

6.3.1 Direktes Sonnenlicht

Die Hautoberflächentemperatur wird unter anderem durch Sonneneinstrahlung beeinflusst (Codde et al. 2016; Hilsberg 2000; Jeelani und Jeelani 2019; McCafferty 2007), weswegen mit direktem Sonnenlicht beleuchtete Hautregionen nicht ausgewertet werden sollten (Kunc und Knizkova 2012). Auch in der vorliegenden Arbeit wurde für alle Untersuchungsregionen auf allen Betrieben eine höhere Hautoberflächentemperatur für Regionen mit direkter Sonneneinstrahlung ermittelt. Dies hatte einen signifikanten Einfluss auf die NTF am Betrieb CH02, am Betrieb CH01 zeigte sich eine Tendenz. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen von Codde et al. (2016), die zeigen, dass die Hautoberflächentemperatur von ausgewachsenen nördlichen See-Elefanten und deren Kälbern signifikant von der Sonneneinstrahlung beeinflusst wird. Auch die Bilder von McCafferty (2007) zeigen, dass Steppenzebras

in direktem Sonnenlicht höhere Hautoberflächentemperaturen aufweisen als im Schatten (**Abbildung 10** vs. **Abbildung 11**).

Obwohl es einen Einfluss des direkten Sonnenlichtes auf die Hautoberflächentemperatur gab (**Tabelle 14**), wurden im Rahmen dieser Untersuchung mit direktem Sonnenlicht beleuchtete Regionen in der finalen Statistik dennoch berücksichtigt, da ansonsten zu wenige Daten für einen aussagekräftigen Vergleich zur Verfügung gestanden wären. Die Verteilung der NTF-Mittelwerte in der Sonne und im Schatten war jedoch für die beiden Treatments auf allen Betrieben ausgeglichen (**Tabelle 17**). Es ist daher anzunehmen, dass das direkte Sonnenlicht vermutlich wenig Einfluss auf die vorliegenden Ergebnisse bezüglich der Wirksamkeit der Duschen hat, bzw. eine mögliche Verzerrung gleichermaßen Versuchs- und Kontrollbuchten trifft. Bei zukünftigen Studien könnte man versuchen, die Bilder nur in einem definierten, beschatteten Bereich aufzunehmen. Nach eigener Beobachtung lagen die Schweine jedoch häufig in der Sonne, insbesondere zu Versuchsbeginn (10:00 Uhr vormittags) konnten kleinere Schweine beim „Sonnenbaden“ beobachtet werden.

6.3.2 Kotverschmutzung

Auch die Verschmutzung wird in der Literatur als Einflussfaktor auf die durch IRT erfassten Hautoberflächentemperaturen genannt, jedoch wird der genaue Einfluss auf das Messergebnis selten beschrieben (McCafferty 2007; Kunc und Knizkova 2012; Jeelani und Jeelani 2019). Aufgrund dessen wurde der Einfluss der Kotverschmutzung auch in der vorliegenden Arbeit untersucht, mit der Annahme, dass verschmutzte Hautoberflächen aufgrund der abschirmenden Eigenschaften und kühlenden Wirkung des Schmutzes zu niedrigeren Temperaturen am Wärmebild führen. In dieser Studie führte Kotverschmutzung bei allen Untersuchungsregionen auf 2 Betrieben (AT01; CH02) zu niedrigeren Hautoberflächentemperaturen, wobei der Einfluss auf die NTF am Betrieb AT01 signifikant war. Dies steht somit im Widerspruch zu einem Teil der Ergebnisse der Studie von Moe et al. (2018), nach denen die Maximaltemperatur an verschmutzten Fußsohlen und -ballen von Truthähnen um 2,6 bis 3,9 °C höher ist, als an gereinigten Fußsohlen- und Fußballen-Oberflächen. Andererseits stellten die AutorenInnen ebenso fest, dass die Minimaltemperatur an der Oberfläche der Fußballen nach einer Reinigung signifikant höher ist (1,28 °C). Dieses Ergebnis unterstützt wiederum die Annahme einer niedrigeren Hautoberflächentemperatur aufgrund von Verschmutzung und stimmt mit den Ergebnissen der Betriebe AT01 und CH02 in dieser Studie überein. Allerdings sind die Fußsohlen- und Fußballen-Oberflächen von Puten weniger gut vergleichbar mit der Körperoberfläche von Schweinen, da es sich um unterschiedliche Tierarten handelt und die Haut an der Fußsohlen- und Fußballen-Oberfläche viel dicker ist als die an der Körperoberfläche bei Schweinen.

Da die Ergebnisse der vorliegenden Studie einen Einfluss von Verschmutzung auf die Oberflächentemperatur nicht ausschließen konnten, wurden im statistischen Modell keine verschmutzten Hautstellen berücksichtigt (**Tabelle 14**). Für zukünftige Studien wäre es daher vorteilhaft, wenn verschmutzte Regionen von Beginn an ausgeschlossen werden.

6.3.3 Pigmentierung

Die Pigmentierung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Hautoberflächentemperatur von drei Untersuchungsregionen (Oberschenkel, Ohrbasis, Flanke) auf zwei Betrieben (AT01, CH02; **Tabelle 13**). Jedoch waren die Resultate widersprüchlich, weil die Pigmentierung sowohl zu höheren (AT01) als auch zu niedrigeren Hautoberflächentemperaturen (CH02) führte. Bisher wurde der Zusammenhang von Hautoberflächentemperatur und Pigmentierung in der Literatur speziell bei Schweinen noch nicht untersucht.

Für Zebras (Hilsberg 2000; McCafferty 2007), Giraffen (Hilsberg 2000) und Rinder (Isola et al. 2020) konnte gezeigt werden, dass sich die Temperatur an der Hautoberfläche in Abhängigkeit von der Pigmentierung ändert. Die höheren Hautoberflächentemperaturen von pigmentierten Untersuchungsregionen am Betrieb AT01 stimmen auch mit den Ergebnissen von Hilsberg (2000) und McCafferty (2007) überein. Nach Hilsberg (2000) betragen die Temperaturdifferenzen zwischen wärmeren schwarzen und kühleren weißen Streifen bei Steppenzebras (*Equus burchelli*) durchschnittlich 5,4 °C und maximal 7,3 °C. McCafferty (2007) konnte sogar Temperaturdifferenzen von über 10 °C bei Steppenzebras messen. Diese hohen Temperaturdifferenzen zwischen schwarzen und weißen Streifen wurden insbesondere bei Sonneneinstrahlung und warmen Umgebungstemperaturen beobachtet, was den Bedingungen in der vorliegenden Arbeit entspricht. Hilsberg (2000) beschreibt, dass die dünneren schwarzen Streifen des Berg- (*Equus zebra*) und Grevy-Zebras (*Equus grevyi*) bei kühleren Temperaturen und geringerer Sonneneinstrahlung kaum sichtbar waren. Auch McCafferty (2007) beobachtete, dass die schwarzen Streifen im Schatten im Schnitt um weniger als 2 °C wärmer sind als die weißen. Somit sind schwarze Streifen von Zebras sowohl im Schatten als auch in der Sonne wärmer als nebenliegende weiße Streifen; bei Sonneneinstrahlung wird dieser Effekt verstärkt.

In der vorliegenden Arbeit sind die Ergebnisse der univariaten Testung für den Einfluss der Pigmentierung jedoch nur bedingt aussagekräftig, da es nur sehr wenige pigmentierte Untersuchungsregionen gab (AT01: n=3 bis 9; CH02: n=5 bis 26). Weil es sich nur um eine univariate Testung handelte, waren diese wenigen pigmentierten Untersuchungsregionen möglicherweise gleichzeitig auch verschmutzt, oder durch direktes Sonnenlicht und Wasser beeinflusst, was sowohl die niedrigeren (CH01) als auch die höheren (AT01) Hautoberflächentemperaturen erklären könnte (**Tabelle 13**). Des Weiteren fanden Isola et al. (2020) heraus, dass die Hautoberflächentemperatur an pigmentierten Stellen von rot-weißen Holstein Kühen sowohl während der kühlen Jahreszeit als auch während der heißen Jahreszeit kühler ist als die Hautoberflächentemperatur von schwarz-weißen Holstein Kühen. In der vorliegenden Arbeit wurden jedoch alle pigmentierten Untersuchungsregionen zusammengefasst betrachtet, unabhängig davon, ob sie schwarz, grau oder braun waren. Da signifikante Effekte beobachtet werden konnten, die unterschiedlichen Fell-Phänotypen (schwarz, grau, braun) nicht berücksichtigt wurden und es zudem nur eine geringe Anzahl an pigmentierten Untersuchungsregionen gab (**Tabelle 13**), wurden diese schlussendlich von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. In zukünftigen Studien sollte jedoch untersucht werden, wie sich die durch IRT gemessene Hautoberflächentemperatur in Abhängigkeit vom Fell-Phänotyp ändert, wenn eine hohe Anzahl an Messdaten für pigmentierte Hautoberflächen vorliegt.

6.3.4 Region

Beim Vergleich der Hautoberflächentemperaturen von Schulter, Oberschenkel und Flanke zeigte sich, dass sich die Hautoberflächentemperaturen dieser Nicht-thermischen Fenster nicht signifikant unterschieden (siehe Kapitel 5.2.2). Die Ergebnisse bestätigen die Theorie, dass es sich bei den Regionen Schulter, Oberschenkel und Flanke um NTF bei Schweinen handelt, die ähnliche Hautoberflächentemperaturen aufweisen (Soerensen und Pedersen 2015). Eine Mittelwertbildung über diese Regionen zu einem Parameter „NTF“ erscheint daher angemessen.

6.3.5 Zusammenhang zwischen Hautoberflächentemperatur und THI

Der Einfluss der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Hautoberflächentemperatur wurde in den meisten bisherigen IRT-Studien nur getrennt voneinander untersucht (Atmaca und Yigit 2006; Jia et al. 2020; Gómez Carmona 2012; Wendt et al. 1997). Für die Thermoregulation spielt allerdings die Kombination dieser beiden Umweltvariablen als THI eine wichtige Rolle. Machado et al. (2016) untersuchten den Einfluss des THI auf die Hautoberflächentemperatur bei Muttersauen und Ferkeln zu verschiedenen Tageszeiten. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Hautoberflächentemperatur und dem THI lagen bei Ferkeln zwischen 0,33 und 0,73, für Muttersauen zwischen 0,53 und 0,64. Ebenso stellten Arduini et al. (2017) einen Anstieg der maximalen Hautoberflächentemperatur von Rücken- und Augenregion mit zunehmenden THI fest. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diese Zusammenhänge: Es wurde eine geringe bis hohe Korrelation zwischen der Hautoberflächentemperatur der NTF und dem THI berechnet (AT01: 0,46 für Kontrolle, 0,30 für Versuch; CH12: 0,69 für Kontrolle, 0,44 für Versuch). Der mit zunehmendem THI stärkere Anstieg der Hautoberflächentemperatur in den Kontroll- als in den Versuchsbuchten deutet darauf hin, dass Schweineduschen zu einer Senkung der Hautoberflächentemperatur und folglich zu einer Reduktion von Hitzestress beitragen können.

Für die Ohrbasis (AT01) waren die Korrelationskoeffizienten geringer (0,39 für Kontrolle, 0,24 für Versuch). Diese relativ niedrigen Korrelationen könnten darauf zurückzuführen sein, dass die Ohrbasis als TF weniger von der Umgebungstemperatur beeinflusst wird (Soerensen und Pedersen 2015) und diese außerdem zum Zeitpunkt der Aufnahmen nicht sehr hoch war (Umgebungstemperatur: 19,7 bis 28,3 °C). Denn insbesondere bei TF wäre ein Anstieg der Hautoberflächentemperatur erst bei höheren Umgebungstemperaturen zu erwarten (Sapkota et al. 2016). Allerdings waren die Korrelationen zwischen der Hautoberflächentemperatur und dem THI am Betrieb AT01 auch für die NTF nicht sehr hoch.

Die höhere Korrelation ($r=0,69$) zwischen den NTF und dem THI für den kombinierten Schweizer Datensatz (CH12) der Betriebe könnte möglicherweise auf eine höhere Variation der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit während der Erhebungen zurückzuführen sein (Umgebungstemperatur: 15,9 bis 36,6 °C; relative Luftfeuchtigkeit: 30,6 bis 95,2 %; THI: 59,4 bis 91,2). Am Betrieb AT01 war die Variation der Umgebungstemperatur und Luftfeuchtigkeit während der Erhebungen geringer (Umgebungstemperatur: 19,7 bis 28,3 °C; relative Luftfeuchtigkeit: 49,0 und 67,6 %; THI 64,1 bis 76,3). Allerdings waren die Klima-Datenlogger insbesondere am

Betrieb AT01 weit vom Duschbereich entfernt (ungefähr 9 Meter), so dass teilweise von einer höheren relativen Luftfeuchtigkeit im Bereich der Duschen ausgegangen werden muss.

Aufgrund der geringen Anzahl an Buchten je Betrieb konnte der THI im statistischen Modell nicht berücksichtigt werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass dies nur wenig Einfluss auf die Ergebnisse hatte, da bei den nebeneinander liegenden Kontroll- und Versuchsbuchten annähernd dieselben Umgebungsbedingungen herrschten. Für zukünftige Studien wäre es allerdings empfehlenswert, den THI im statistischen Modell zu berücksichtigen, sofern Kontroll- und Versuchsbuchten örtlich voneinander getrennt sind.

6.3.6 Übertragungseffekt bzw. „Carry-Over-Effekt“ bei den Durchgängen

Eine weitere Besonderheit dieser Studie ist, dass das Vorhandensein eines „Carry-Over-Effektes“ bei den Durchgängen geprüft wurde. Auf allen Betrieben gab es keinen Hinweis dafür, dass sich ein Abkühlungseffekt des vorherigen Duschvorganges auf den nächsten Durchgang übertrug. Für den Betrieb CH01 gab es allerdings relativ wenige Messwerte je Aufnahmezeitpunkt und Durchgang, um einen Übertragungseffekt überprüfen zu können. Der Grund für das Nichtvorhandensein eines „Carry-Over-Effektes“ liegt wahrscheinlich darin, dass sich die Hautoberfläche der Schweine nach der Dusche relativ schnell wieder bis auf den Ausgangswert erwärmte.

6.3.7 Auswertung auf Gruppenebene

Ein Vorteil der IRT ist, dass mit nur einem Bild die Hautoberflächentemperaturen mehrerer Tiere erfasst werden können. Dieser Vorteil wurde bei der Durchführung dieses Versuches genutzt, indem die Hautoberflächentemperaturen aller unter der Dusche befindlichen Schweine an mehreren Untersuchungsregionen ausgewertet wurden. Die Gruppenauswertung brachte jedoch auch den Nachteil mit sich, dass keine Daten zur Häufigkeit der Nutzung der Dusche je Tier vorhanden sind. Auch der Anteil der Tiere, die die Dusche tatsächlich nutzten, und die Verweildauer unter der Dusche konnten nicht beobachtet werden. Insbesondere für den Vergleich der Hautoberflächentemperaturen vor und nach der Dusche am Betrieb AT01 ist nicht bekannt, ob die Tiere, welche 20 Minuten nach Ende der Dusche erfasst wurden, zuvor tatsächlich geduscht hatten. Wenn alle Tiere, welche 20 Minuten nach Ende der Dusche aufgenommen wurden, zuvor tatsächlich geduscht hatten, wären somit höhere Temperaturdifferenzen zu erwarten, als wenn auch Tiere erfasst wurden, die nicht geduscht hatten. Daher sind die Ergebnisse zur Wirksamkeit der Dusche für den Vergleich der Hautoberflächentemperaturen 10 Minuten vor Beginn und 20 Minuten nach Ende der Dusche, nur begrenzt aussagekräftig. Andererseits ist die Einzeltierbeurteilung bei größeren Herden sehr aufwändig, da zur Unterscheidung einzelner Tiere eine individuelle Markierung notwendig gewesen wäre. Dies wäre allerdings beispielsweise durch farbliche Kennzeichnung kaum möglich gewesen, da die Dusche die Farbe heruntergewaschen hätte. Daher ist die Auswertung der Hautoberflächentemperaturen für die ganze Gruppe für On-farm-Studien, die Duschen zur Evaporationskühlung bei Schweinen untersuchen, praktikabler als die

Einzeltierbeurteilung. Für zusätzliche Fragestellungen hingegen, wie z.B. zur Validierung der durch IRT gemessenen Hautoberflächentemperatur als Indikator für Hitzestress, wäre allerdings eine Einzeltierauswertung sinnvoller, da die gemessenen Hautoberflächentemperaturen mit zusätzlichen Hitzestress-Indikatoren (z.B. Verhaltensweisen, Atemfrequenz) verknüpft werden können. Dies setzt allerdings voraus, dass sich eine Möglichkeit zur längerfristigen bzw. wasserbeständigen Markierung der Tiere findet.

6.4 Effektivität der Dusche

Die Ergebnisse in Kapitel 5.3.1 zeigen, dass die NTF-Oberflächentemperatur (AT01) in den Versuchsbuchten während der Dusche (D2=15 Minuten nach Beginn) um 1,33 °C kühler war als 10 Minuten vor Beginn (T1), während die Hauttemperatur in den Kontrollbuchten ungefähr gleich blieb.

Ebenfalls war die Hautoberflächentemperatur an der Ohrbasis (TF) in Versuchsbuchten während der Dusche (D2=15 Minuten nach Beginn) um 2,65 °C kühler als 10 Minuten vor Beginn (T1), während sich die Hautoberflächentemperatur in den Kontrollbuchten nicht veränderte. Daher kann die in Kapitel 2 formulierte Hypothese, dass die Hautoberflächentemperaturen von Schweinen mit Zugang zu Duschen im Vergleich zu Schweinen in den Kontrollbuchten niedriger sind, für den Vergleich vor und 15 Minuten nach Beginn der Dusche, angenommen werden.

Des Weiteren waren die Unterschiede hinsichtlich der Hautoberflächentemperaturen vor und während der Dusche für das TF Ohrbasis deutlicher als für die NTF Schulter, Oberschenkel und Flanke. Bestätigt wird dies durch den größeren Unterschied der Schätzwerte zwischen Kontroll- und Versuchsbuchten sowie den kleineren p-Wert. In den Versuchsbuchten war die Hautoberflächentemperatur an der Ohrbasis während der Dusche um 2,65 °C niedriger als vor der Dusche, bei den NTF nur um 1,33 °C (AT01) (**Tabelle 15**). Somit scheint das TF Ohrbasis stärker auf den Effekt der Dusche zu reagieren, als die NTF. Für zukünftige Studien könnten TF womöglich besser geeignet sein, um die Effektivität von Schweineduschen zu untersuchen.

Auch auf den Schweizer Betrieben (Kapitel 5.3.2) hatten Schweine in den Versuchsbuchten kurz nach Beginn der Dusche (D1) eine um 1,77 °C kühlere NTF-Oberflächentemperatur als zuvor (T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche), wobei die Abkühlung nach 15 Minuten (=D2) noch stärker ausgeprägt war (2,23 °C für $\Delta CH_{T1, D2}$). Daher wird die Hypothese, dass die Hautoberflächentemperaturen von Schweinen mit Zugang zu Duschen im Vergleich zu Schweinen in den Kontrollbuchten niedriger sind, für die Temperaturdifferenzen vor und kurz nach Beginn ($\Delta CH_{T1, D1}$) sowie vor und 15 Minuten nach Beginn der Dusche ($\Delta CH_{T1, D2}$), angenommen.

All diese Ergebnisse deuten somit auf einen Kühleffekt bereits kurz nach Beginn sowie während der Dusche hin. In der vorliegenden Untersuchung wurde für den Aufnahmezeitpunkt D2 (=15 Minuten nach Beginn der Dusche) allerdings nicht beobachtet, wie lange die Tiere bereits in der Dusche verweilten. Die Tiere gingen möglicherweise unmittelbar vor Aufnahme unter die Dusche, oder sie verweilten bereits 15 Minuten darunter. Dies könnte ebenso einen Einfluss auf die Ausprägung des Kühleffektes gehabt haben, wobei eine längere Verweildauer zu einer stärkeren Abkühlung führen würde. Umgekehrt wäre von einem geringeren Kühlungseffekt auszugehen, würden die Tiere erst unmittelbar vor Aufnahme den Duschbereich betreten.

Auffällig war, dass Schweine in den Versuchsbuchten der Schweizer Betriebe (CH12) während der Dusche (D1=kurz nach Beginn der Dusche und D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche) signifikant kühlere NTF-Oberflächentemperaturen hatten als zuvor, während der Abkühlungseffekt zum Zeitpunkt D2 (=15 Minuten nach Beginn der Dusche) am Betrieb AT01 statistisch nicht signifikant war (vgl. 5.3.1 und 5.3.2). Der stärker ausgeprägte Kühleffekt für die NTF in den Versuchsbuchten der Schweizer Betriebe (CH12) könnte möglicherweise darauf zurückzuführen sein, dass die Durchflussrate der Duschen je Bucht höher lag (3,66 bis 4,76 Liter pro Minute) als auf dem Betrieb AT01 (0,90 bis 1,02 Liter pro Minute) und die Umgebungstemperaturen während der Datenerhebung deutlich höher waren (**Tabelle 4**).

Da Schweine aufgenommen wurden, die sich direkt unter dem Sprühnebel befanden, waren die jeweiligen Untersuchungsregionen zum Zeitpunkt D1 (=kurz nach Beginn der Dusche) und D2 (=15 Minuten nach Beginn der Dusche) mit Wasser benetzt. Im Rahmen dieser Studie stellte sich daher die Frage, ob tatsächlich die Hautoberflächentemperaturen der Schweine gemessen wurden. In der Literatur herrscht allerdings Uneinigkeit bezüglich des Effektes von Wasser auf die Hautoberflächentemperatur beim Einsatz der IRT. McCafferty (2007) schreibt, dass man bei Anwendung der IRT an nassen Tieren eher die Wassertemperatur misst, anstatt die Hautoberflächentemperatur. Er bezieht sich allerdings auf eine Kegelrobbe, die kurz vor Bildaufnahme aus dem Wasserbecken robbte. Kegelrobben haben ein dichtes Fell, wodurch das Wasser lange Zeit nach dem Verlassen des Beckens zwischen dem Fell eingeschlossen bleibt. In der vorliegenden Studie wurden hingegen Schweine untersucht, die nur eine spärliche Haarabdeckung aufweisen. Dies lässt vermuten, dass das Wasser in einem nur sehr geringen Ausmaß zwischen den Haaren eingeschlossen blieb. Außerdem erzeugten die Duschen nur einen feinen Sprühnebel, wodurch die Versuchstiere nie mit einem dichten Wasserfilm bedeckt waren. Dieser feine Sprühnebel durch Duschen kann daher nicht mit dem Ausmaß der Hautfeuchtigkeit von Robben nach dem Schwimmen im Wasserbecken verglichen werden. Bernard et al. (2013) hingegen verwendeten die IRT bei Menschen, deren Behaarung, ähnlich wie die von Schweinen, nur sehr gering ist. Die AutorenInnen stellten fest, dass das Benetzen der Hand mit Wasser derselben Temperatur wie die Handoberfläche (35 °C) zu niedrigeren Handoberflächentemperaturen am Wärmebild führt. Diese Ergebnisse unterstützen somit, dass die niedrigeren Hautoberflächentemperaturen nach Beginn und während der Dusche nicht die niedrigeren Wassertemperaturen widerspiegeln, sondern eine Kühlung durch Evaporation. Die AutorenInnen schließen aber auch, dass Wasser den Emissionsgrad der Haut beeinflusst, weswegen der Emissionsgrad beim Auftragen von Wasser korrigiert werden sollte. Auch McCafferty (2007) legt nahe, dass der Emissionsgrad für nasse Säugetiere auf 0,96 eingestellt werden sollte. Zur Überprüfung wurden in der FLIR Tools[®]-Software für dieselben Bilder bei gleichbleibender Einstellung aller anderen Objektparameter Emissionsgrade von 0,98 und 0,96 eingestellt. Das ergab eine Abweichung zwischen der Durchschnittstemperatur von Null bis maximal 0,3 °C, wobei die Durchschnittstemperatur bei Änderung des Emissionsgrades von 0,98 auf 0,96 sowohl sank als auch anstieg (eigene Daten, nicht dargestellt). Bei der BOSCH GTC Transfer[®]-Software ergab sich eine Abweichung in der Durchschnittstemperatur von Null bis maximal 0,2 °C. Allerdings stiegen hier meistens die Messwerte bei der Änderung des Emissionsgrades von 0,98 auf 0,96 an (eigene Daten, nicht dargestellt). Da das Ausmaß der Hautfeuchtigkeit im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestimmt wurde und die Tiere nur mit einem feinen Wassernebel benetzt waren, wurde der

Emissionsgrad von 0,98 allerdings auch für die Auswertung der Bilder zu den Aufnahmezeitpunkten D1 (=kurz nach Beginn der Dusche) und D2 (=15 Minuten nach Beginn der Dusche) beibehalten. Es kann daher nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass der Sprühnebel der Schweineduschen möglicherweise einen physikalischen Einfluss auf das Messergebnis hatte. Allerdings kann die durch den Emissionsgrad bedingte Änderung in der Hautoberflächentemperatur von Null bis 0,3 °C nicht die Differenz von bis zu 2,65 °C (TF: AT01) erklären, weshalb von einer tatsächlichen Änderung der Hautoberflächentemperatur (Kühleffekt) durch Schweineduschen ausgegangen werden kann.

Ein physikalischer Einfluss durch Wasser auf das Messergebnis könnte jedoch erklären, warum bereits zu Beginn der Dusche ein Abkühlungseffekt eintrat. Denn basierend auf den Ergebnissen von Ingram (1965), nach denen es ungefähr 20 Minuten dauert, bis Wasser auf der Schweinehaut verdunstet (**Abbildung 4**), kann nicht davon ausgegangen werden, dass das Wasser bereits zu Beginn der Dusche eine kühlende Wirkung auf die Hautoberfläche hatte. Das deutet darauf hin, dass der Abkühlungseffekt kurz nach Beginn der Dusche das Resultat einer Kombination aus physikalischen Einflüssen des Sprühnebels auf das Messergebnis und tatsächlichem Kühleffekt ist. Da allerdings der Abkühlungseffekt während der Dusche sehr viel stärker ausgeprägt war als zu Beginn der Dusche, ist es unwahrscheinlich, dass die niedrigeren Hautoberflächentemperaturen während der Dusche nur auf physikalische Einflüsse des Sprühnebels zurückzuführen sind.

Die Ergebnisse zur Effektivität der Dusche zum Aufnahmezeitpunkt D1 (=kurz nach Beginn der Dusche) und D2 (=15 Minuten nach Beginn der Dusche) deuten somit darauf hin, dass Duschen zu einem besseren thermischen Komfort bei Schweinen führen. Allerdings ist bei der Interpretation der Ergebnisse nicht ganz klar, inwieweit die niedrigeren Hautoberflächentemperaturen durch den tatsächlichen Effekt der Verdunstungskühlung bedingt sind. Um die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, wäre es für weitere Studien ratsam, die Hautoberflächentemperaturen der Tiere nicht während der Duschlafzeit zu messen, um einen möglichen physikalischen Einfluss von Wasser auf das Messergebnis auszuschließen. Allerdings ist die Bestimmung des optimalen Aufnahmezeitpunktes schwierig, da Banhazi et al. (2009) eine Verdunstungszeit von fünf bis 10 Minuten beobachteten, wohingegen es nach Ingram (1965) ungefähr 90 Minuten dauert, bis reines Wasser vollständig von der Hautoberfläche verdunstet ist.

Beim Vergleich für die Aufnahmen 10 Minuten vor Beginn (T1) und 20 Minuten nach Ende der Dusche (T2) ($\Delta AT_{T1, T2}$) gab es sowohl für die NTF als auch für das TF keinen Abkühlungseffekt durch Duschen. Deshalb wird die Hypothese, dass die Hautoberflächentemperaturen gemessen an NTF sowie TF von Schweinen mit Zugang zu Duschen im Vergleich zu Schweinen in den Kontrollbuchten niedriger sind, für den Vergleich der Hautoberflächentemperatur vor Beginn und 20 Minuten nach Ende der Dusche, abgelehnt. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Abkühlungseffekt durch Schweineduschen weniger als 20 Minuten anhält. Daher scheint eine Sprühdauer von 30 Minuten in einem Intervall von 90 Minuten nicht auszureichen, um Schweine langfristig zu kühlen. Somit stimmen diese Beobachtungen nicht mit den Ergebnissen von Ingram (1965) überein, nach denen es ungefähr 20 Minuten dauert, bis das Wasser auf der Schweinehaut evaporiert (**Abbildung 4**). Nach Banhazi et al. (2009) hingegen ist Wasser bereits fünf bis 10 Minuten nach Befeuchtung vollständig von der Hautoberfläche verdunstet, wobei der

durch IRT erkennbare Kühleffekt des Wassers zwischen 10 und 15 Minuten anhält. Die AutorenInnen stellten zudem fest, dass der Kühleffekt auch vom Ausmaß der besprühten Fläche abhängig ist. Zentrale Teile des besprühten Bereiches sind 20 Minuten nach Befeuchtung immer noch gekühlt, während peripherere Bereiche bereits davor ihren ursprünglichen Wärmecharakter wiedererlangen. Demnach stehen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit teilweise mit den Ergebnissen von Banhazi et al. (2009) im Einklang, nach denen der durch IRT erkennbare Kühleffekt weniger als 20 Minuten anhält. In diesem Zusammenhang muss jedoch noch einmal erwähnt werden, dass aufgrund der Auswertung auf Gruppentierebene keine Informationen darüber vorhanden sind, welche Tiere und wie lange sie die Duschen zuvor genutzt hatten. Folglich kann insbesondere für den Zeitpunkt T2 (=20 Minuten nach Ende der Dusche) nicht gesagt werden, ob tatsächlich Hautoberflächentemperaturen von „geduschten“ Schweinen erfasst wurden, wodurch die Ergebnisse für den Vergleich 10 Minuten vor Beginn und 20 Minuten nach Ende der Dusche nur bedingt aussagekräftig sind. Daher sollten in weiteren Studien Hautoberflächentemperaturen von markierten Tieren erfasst werden, um möglichst aussagekräftige Daten für die Aufnahmen 20 Minuten nach Ende der Dusche zu erhalten.

7 Schlussfolgerung

Es gibt viele Herausforderungen bei der Messung der Hautoberflächentemperatur durch IRT, die in dieser Untersuchung durch eine sorgfältige Herangehensweise bei der Auswertung der Aufnahmen berücksichtigt wurden. Die Anwendung des Auswertungsplans durch die drei Beobachterinnen erwies sich als eine gute Vorgehensweise, um zuverlässige und wiederholbare Daten zu den Hautoberflächentemperaturen verschiedener Untersuchungsregionen zu gewinnen. Durch die Ergebnisse des Inter- und Intra-Observer-Abgleiches zeigte sich, dass die Regionen Schulter, Oberschenkel, Flanke (NTF) und Ohrbasis (TF) für eine standardisierte Messung der Hautoberflächentemperatur durch IRT geeignet sind, während die Rückseite des Ohrs keine zuverlässigen Daten liefert und in weiteren Studien nicht als Untersuchungsregion ausgewählt werden sollte.

Außerdem lieferten die Ergebnisse dieser Studie Hinweise darauf, dass die Faktoren direktes Sonnenlicht, Kotverschmutzung und Pigmentierung die Messergebnisse beeinflussen, weshalb es wichtig ist, diese Einflüsse auszuschließen bzw. zu berücksichtigen.

Im Hinblick auf den Effekt der Dusche hatten Schweine in den Versuchsbuchten zu Beginn und während der Dusche niedrigere mittlere Hautoberflächentemperaturen als Schweine ohne Duschen. In diesem Zusammenhang zeigte sich auch, dass es eine gute Vorgehensweise ist, die Körperregionen in NTF und TF einzuteilen, denn der Kühleffekt scheint offensichtlich auch von der jeweiligen Untersuchungsregion abhängig zu sein. So war die Kühlung an der Ohrbasis während der Dusche im Vergleich zu den NTF stärker ausgeprägt. Allerdings konnte durch diese Arbeit nicht vollständig beantwortet werden, ob die niedrigeren Hautoberflächentemperaturen zu Beginn und während der Dusche ausschließlich auf den Kühleffekt der Dusche zurückzuführen sind. Für zukünftige Studien wäre es von Vorteil, die Hautoberflächentemperaturen frühestens fünf Minuten nach Ende der Dusche (an der trockenen Haut) zu messen, um einen möglichen physikalischen Einfluss des Wassers auf die Messergebnisse von vornherein auszuschließen. Dabei ist aber die Dauer der vollständigen Abtrocknung von vielen Faktoren abhängig (z.B. Windgeschwindigkeit, Umgebungstemperatur, Sonneneinstrahlung). Daher gibt es noch Forschungsbedarf, um den idealen Zeitpunkt von IRT-Aufnahmen zur Überprüfung der Effektivität von Kühlungssystemen, wie z.B. Schweineduschen zu untersuchen.

Zwanzig Minuten nach Ende der Dusche zeigten Schweine in den Versuchsbuchten allerdings keine niedrigeren Hauttemperaturen als 10 Minuten vor Beginn der Dusche. Der Kühleffekt scheint also nicht über 20 Minuten nach Ende der Dusche anzudauern. Diese Ergebnisse sind jedoch nur bedingt aussagekräftig, da insbesondere für den Zeitpunkt T2 nicht bekannt ist, ob tatsächlich Hautoberflächentemperaturen von „geduschten“ Schweinen erfasst wurden. Für weitere Studien wäre es deshalb interessant, die Hautoberflächentemperaturen von Fokustieren zu erfassen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Duschen eine wirksame Abkühlungsmöglichkeit bieten und damit mögliche Einschränkungen des Tierwohls durch Hitzestress unter Praxisbedingungen reduzieren können. Allerdings bedarf es weiterer Untersuchungen, um das optimale Duschintervall und die optimale Duschlaufzeit festzustellen. In zukünftigen Studien sollte außerdem validiert werden, ob die durch IRT gemessene Hautoberflächentemperatur als Indikator für thermischen Komfort und Hitzestress herangezogen werden kann. Dazu kann die Beobachtung und Messung zusätzlicher Hitzestress-Indikatoren

(thermoregulatorische Verhaltensweisen, Körperkerntemperatur, Durchblutung unter der gemessenen Hautoberflächentemperatur, Atemfrequenz, Pulsfrequenz) sinnvoll sein, um Beziehungen von Hauttemperaturveränderungen zu diesen Indikatoren ableiten zu können. Darüber hinaus gibt es Forschungsbedarf zur Optimierung und Standardisierung der IRT-Anwendung unter Praxisbedingungen (z.B. Methode zur Markierung von Fokustieren, Beschattung der Buchtenfläche).

8 Literaturverzeichnis

- Alsaad, M., Schaefer, A. L., Büscher, W., and Steiner, A.** (2015). The role of infrared thermography as a non-invasive tool for the detection of lameness in cattle. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 15, Issue 6, pp. 14513–14525). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s150614513>
- Amezcuca, R., Walsh, S., Luimes, P. H., and Friendship, R. M.** (2014). Infrared thermography to evaluate lameness in pregnant sows. *Canadian Veterinary Journal*, 55(3), 268–272. [/pmc/articles/PMC3923485/](https://doi.org/10.1186/1745-7169-55-268)
- Ammer, K.** (2009). Does neuromuscular thermography record nothing else but an infrared sympathetic skin response? *Thermology International*, 19(4), 107–108.
- Arduini, A., Redaelli, V., Luzi, F., Dall'Olio, S., Pace, V., and Costa, L. N.** (2017). Relationship between deck level, body surface temperature and carcass damages in Italian heavy pigs after short journeys at different unloading environmental conditions. *Animals*, 7(2), 0–8. <https://doi.org/10.3390/ani7020010art72507.pdf>.
- Atmaca, I., and Yigit, A.** (2006). Predicting the effect of relative humidity on skin temperature and skin wettedness. *Journal of Thermal Biology*, 31, 442–452. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2006.03.003>
- Banhazi, T., Kitchen, J., and Tivey, D.** (2009). Potential of Using Infrared Thermography for Determination of Skin Wetness and Thus Perceived Thermal Comfort of Pigs. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1), 47–54. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464798>
- Baumgard, L. H., and Rhoads, R. P.** (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 311–337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
- Behrends, J. C., Bischofberger, J., Deutzmann, R., Ehmke, H., Frings, S., Grissmer, S., Hoth, M., Kurtz, A., Leipziger J., Müller, F., Pedain, C., Rettig, J., Wagner, C., und Wischmeyer, E.** (2021). *Duale Reihe Physiologie*. Hrsg. 4., unveränderte Auflage. Stuttgart: Thieme. <https://doi.org/10.1055/b000000462>
- Bernard, V., Staffa, E., Mornstein, V., and Bourek, A.** (2013). Infrared camera assessment of skin surface temperature - Effect of emissivity. *Physica Medica*, 29(6), 583–591. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2012.09.003>
- Berry, R. J., Kennedy, A. D., Scott, S. L., Kyle, B. L., and Schaefer, A. L.** (2003). Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: Potential for mastitis detection. *Canadian Journal of Animal Science*, 83, 687–693.
- Bianca, W.** (1976). The significance of meteorology in animal production. *International Journal of Biometeorology*, 20(2), 139–156. <https://doi.org/10.1007/BF01553047>

BIO AUSTRIA-Produktionsrichtlinien (2021). *Richtlinien Juni 2021*.

BLV Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen. (2010). Fachinformation Tierschutz - Abkühlungsmöglichkeiten für Schweine. 8.5(2), 1–3.

Bogner, H., und Grauvogel, A. (1984). Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Boileau, A. (2018). Infrared thermography as a tool to investigate the physiological and emotional state of pigs engaged in agonistic encounters. Dissertation University of Edinburgh. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11670.80968>

Bracke, M. B. M. (2011). Review of wallowing in pigs: Description of the behaviour and its motivational basis. *Applied Animal Behaviour Science*, 132(1–2), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.01.002>

Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., and Purswell, J. L. (2013). Using thermal imaging as a method of investigating thermal thresholds in finishing pigs. *Biosystems Engineering*, 114(3), 327–333. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.11.015>

Buckner, L. J., Edwards, S. A., and Bruce, J. M. (1998). Behaviour and shelter use by outdoor sows. *Applied Animal Behaviour Science*, 57(1–2), 69–80. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(97\)00111-1](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(97)00111-1)

Caldara, F. R., Dos Santos, L. S., MacHado, S. T., Moi, M., De Alencar Nääs, I., Foppa, L., Garcia, R. G., and Dos Santos, R. D. K. S. (2014). Piglets' surface temperature change at different weights at birth. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 27(3), 431–438. <https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13505>

Choudhury, M., Saikia, T., Banik, S., Patil, G., Pegu, S. R., Rajkhowa, S., Sen, A., and Das, P. J. (2020). Infrared imaging a new non-invasive machine learning technology for animal husbandry. *Imaging Science Journal*, 68(4), 240–249. <https://doi.org/10.1080/13682199.2020.1848084>

Cilulko, J., Janiszewski, P., Bogdaszewski, M., and Szczygielska, E. (2013). Infrared thermal imaging in studies of wild animals. In *European Journal of Wildlife Research* (Vol. 59, Issue 1, pp. 17–23). Springer Verlag. <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0688-1>

Codde, S. A., Allen, S. G., Houser, D. S., and Crocker, D. E. (2016). Effects of environmental variables on surface temperature of breeding adult female northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*, and pups. *Journal of Thermal Biology*, 61, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.09.001>

Collier, R. J., and Gebremedhin, K. G. (2015). Thermal biology of domestic animals. *Annual Review of Animal Biosciences*, 3(October 2014), 513–532. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-110659>

- Cook, N. J., Chabot, B., Lui, T., Bench, C. J., and Schaefer, A. L.** (2014). Infrared thermography detects febrile and behavioural responses to vaccination of weaned piglets. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002481>
- Cortivo, P. D., Dias, E., Barcellos, J. O. J., Peripolli, V., Costa, J. B. G., Dallago, B. S. L., and McManus, C. M.** (2016). Use of thermographic images to detect external parasite load in cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127, 413–417. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.002>
- Dela Ricci, G., da Silva-Miranda, K. O., and Titto, C. G.** (2019). Infrared thermography as a non-invasive method for the evaluation of heat stress in pigs kept in pens free of cages in the maternity. *Computers and Electronics in Agriculture*, 157(January), 403–409. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.01.017>
- Dewulf, J., Koenen, F., Laevens, H., and de Kruif, A.** (2003). Infraroodthermometrie is ongeschikt voor de detectie van koorts bij varkens. *Vlaams Diergeneeskundig Tijdschrift*, 72:373–379.
- EEA Report** (European Environment Agency, Europäische Umweltagentur). (2017): Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report (Issue 1). <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-adaptation-and-disaster>
- Felipe Saraiva Martins, R., do Prado Paim, T., de Abreu Cardoso, C., Stéfano Lima Dallago, B., Barros de Melo, C., Louvandini, H., and McManus, C.** (2012). Mastitis detection in sheep by infrared thermography. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2012.10.021>
- Fernández-Cuevas, I., Bouzas Marins, J. C., Arnáiz Lastras, J., Gómez Carmona, P. M., Piñonosa Cano, S., García-Concepción, M. Á., and Sillero-Quintana, M.** (2015). Classification of factors influencing the use of infrared thermography in humans: A review. *Infrared Physics and Technology*, 71, 28–55. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2015.02.007>
- FLIR Systems GmbH** (2012). Benutzerhandbuch. FLIR T420. Flir Systems, Frankfurt am Main, Deutschland.
- Flores-Peinado, S., Mota-Rojas, D., Guerrero-Legarreta, I., Mora-Medina, P., Cruz-Monterrosa, R., Gómez-Prado, J., Guadalupe Hernández, M., Cruz-Playas, J., and Martínez-Burnes, J.** (2020). Physiological responses of pigs to preslaughter handling: infrared and thermal imaging applications. *International Journal of Veterinary Science and Medicine*, 8(1), 71–84. <https://doi.org/10.1080/23144599.2020.1821574>
- Fonseca, B. P. A., Alves, A. L. G., Nicoletti, J. L. M., Thomassian, A., Hussni, C. A., and Mikail, S.** (2006). Thermography and ultrasonography in back pain diagnosis of equine athletes. *Journal of Equine Veterinary Science*, 26(11), 507–516. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2006.09.007>

- Früh, B., Bochicchio, D., Edwards, S., Hegelund, L., Leeb, C., Sundrum, A., Werne, S., Wiberg, S., and Prunier, A.** (2014). Description of organic pig production in Europe. *Organic Agriculture*, 4(2), 83–92. <https://doi.org/10.1007/s13165-013-0056-9>
- Fuquay, J. W.** (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science*, 52(1), 164–174. <https://doi.org/10.2527/jas1981.521164x>
- Gerß, H.** (2014). Anwendung der Infrarotthermographie zur nicht-invasiven Detektion fieberhafter Tiere in Schweinegruppen – Einschätzung der Anwendbarkeit im Tierseuchenkrisenfall am Beispiel der Klassischen Schweinepest. Dissertation Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Godyń, D., and Herbut, P.** (2018). Applications of continuous body temperature measurements in pigs – a review. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW - Animal Science*, 56(2), 209–220. <https://doi.org/10.22630/aas.2017.56.2.22>
- Godyń, D., Herbut, P., Angrecka, S., and Vieira, F. M. C.** (2020). Use of different cooling methods in pig facilities to alleviate the effects of heat stress—a review. In *Animals* (Vol. 10, Issue 9, pp. 1–14). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ani10091459>
- Gómez Carmona P. M.** (2012). Influencia de la información termográfica infrarroja en el protocolo de prevención de lesiones de un equipo de fútbol profesional español, Sports Department, Faculty of Sciences for Physical Activity and Sport (INEF), Universidad Politécnica de Madrid.
- Götz, M.** (2008). Suhlen und Duschen von Schweinen. *STS-Merkblatt*, 1–4. http://www.tierschutz.com/publikationen/nutztiere/infothek/pflege/mb_pflege_b.pdf
- Hertzman, A. B.** (1959). Vasomotor Regulation of Cutaneous Circulation. *Physiological Reviews*, Volume 39, Issue 2. 280–306. <https://doi.org/10.1152/physrev.1959.39.2.280>
- Hilsberg, S.** (2000). Aspekte zur klinischen Anwendung der Infrarot-Thermographie in der Zoo- und Wildtiermedizin. Dissertation Universität Leipzig.
- Hörning, B.** (1999). Artgemäße Schweinehaltung. Grundlagen und Beispiele aus der Praxis. Ökologische Konzepte 78, 4. unveränderte Auflage. Bad Dürkheim, Stiftung Ökologie und Landbau.
- Huynh, T. T. T.** (2005). Heat stress in growing pigs. Dissertation Universität Wageningen, *Institute of Animal Science*.
- Huyn, T. T. T., Aarnink, A. J. A., and Verstegen, M. W. A.** (2005). Reactions of pigs to a hot environment. *Livestock Environment VII - Proceedings of the Seventh International Symposium*, 544–550.

- Huynh, T. T. T., and Aarnink, A.** (2005). Heat stress in pigs. *Pig Progress*, 21(3), 30–32.
- Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Gerrits, W. J. J., Heetkamp, M. J. H., Canh, T. T., Spoolder, H. A. M., Kemp, B., and Verstegen, M. W. A.** (2005). Thermal behaviour of growing pigs in response to high temperature and humidity. *Applied Animal Behaviour Science*, 91(1–2), 1–16.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.10.020>
- Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Truong, C. T., Kemp, B., and Verstegen, M. W. A.** (2006). Effects of tropical climate and water cooling methods on growing pigs' responses. *Livestock Science*, 104(3), 278–291.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.04.029>
- Infratec GmbH.** (2004). Einführung in Theorie und Praxis der Infrarot-Thermografie.
- Ingram, D. L.** (1965). Evaporative cooling in the pig [26]. In *Nature* (Vol. 207, Issue 4995, pp. 415–416). <https://doi.org/10.1038/207415a0>
- IPCC** (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf
- Isola, J. V. V., Menegazzi, G., Busanello, M., dos Santos, S. B., Agner, H. S. S., and Sarubbi, J.** (2020). Differences in body temperature between black-and-white and red-and-white Holstein cows reared on a hot climate using infrared thermography. *Journal of Thermal Biology*, 94(November), 102775.
<https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2020.102775>
- Jeelani, R., and Jeelani, R.** (2019). Thermal imagery for monitoring livestock. *International Journal of Life Sciences & Applied Sciences*, 1(1), 58–69.
- Jeppsson, K. H., Olsson, A. C., and Nasirahmadi, A.** (2021). Cooling growing/finishing pigs with showers in the slatted area: Effect on animal occupation area, pen fouling and ammonia emission. *Livestock Science*, 243(July 2020), 104377. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104377>
- Jia, G., Li, W., Meng, J., Tan, H., and Feng, Y.** (2020). Non-contact evaluation of a pig's body temperature incorporating environmental factors. *Sensors (Switzerland)*, 20(15), 1–13. <https://doi.org/10.3390/s20154282>
- Justino, E., Nääs, I. D. A., Carvalho, T. M. R., Neves, D. P., and Salgado, D. D' Alessandro.** (2014). The impact of evaporative cooling on the thermoregulation and sensible heat loss of sows during farrowing. *Engenharia Agricola*, 34(6), 1050–1061. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000600003>
- Kunc, P. and Knizkova, I.** (2007). Applications of Infrared Thermography in Animal Production. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(3), 329–336.
<https://doi.org/10.7161/anajas.2007.22.3.329-336>

- Kunc, P. and Knizkova, I.** (2012). The use of infrared thermography in livestock production and veterinary field. *Infrared Thermography: Recent Advances and Future Trends*, 85–101. <https://doi.org/10.2174/978160805143411201010085>
- Lura, D.** (2012). Einfluss der Ganzkörperkälteanwendung auf die Wärmeregulation des ruhenden, aufrechtstehenden Menschen. Dissertation der Medizinischen Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin.
- Machado, S. T., Nääs, I. D. A., Dos Reis, J. G. M., Caldara, F. R., and Santos, R. C.** (2016). Sows and piglets thermal comfort: A comparative study of the tiles used in the farrowing housing. *Engenharia Agricola*, 36(6), 996–1004. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p996-1004/2016>
- Mayorga, E. J., Renaudeau, D., Ramirez, B. C., Ross, J. W., and Baumgard, L. H.** (2019). Heat stress adaptations in pigs. *Animal Frontiers*, 9(1), 54–61. <https://doi.org/10.1093/af/vfy035>
- McCafferty, D. J.** (2007). The value of infrared thermography for research on mammals: Previous applications and future directions. *Mammal Review*, 37(3), 207–223. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2007.00111.x>
- McCafferty, D. J., Gilbert, C., Paterson, W., Pomeroy, P., Thompson, D., Currie, J. I., and Ancel, A.** (2011). Estimating metabolic heat loss in birds and mammals by combining infrared thermography with biophysical modelling. In *Comparative Biochemistry and Physiology - A Molecular and Integrative Physiology* (Vol. 158, Issue 3, pp. 337–345). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2010.09.012>
- McManus, C., Tanure, C. B., Peripolli, V., Seixas, L., Fischer, V., Gabbi, A. M., Menegassi, S. R. O., Stumpf, M. T., Kolling, G. J., Dias, E., and Costa, J. B. G.** (2016). Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.01.027>
- Mende, C. H.** (2012). Validierung eines kutanen, nicht-invasiven Temperaturmesssystems zur Errechnung der Körperkerntemperatur. Dissertation der Universität zu Lübeck.
- Menzel, A., Beyerbach, M., Siewert, C., Gundlach, M., Hoeltig, D., Graage, R., Seifert, H., Waldmann, K. H., Verspohl, J., and Hennig-Pauka, I.** (2014). *Actinobacillus pleuropneumoniae* challenge in swine: Diagnostic of lung alterations by infrared thermography. *BMC Veterinary Research*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12917-014-0199-2>
- Mitchell, M. A.** (2013). Thermal imaging: Thermoregulation in relation to animal production and welfare. (F. Luzi, M. Mitchell, L. Nanni Costa, and V. Redaelli (Eds.); pp. 147–162).

- Moe, R. O., Flø, A., Bohlin, J., Vasdal, G., Erlandsen, H., Guneriussen, E., Sjøkvist, E. C., and Stubsjøen, S. M.** (2018). Experimental factors affecting the within- and between-individual variation of plantar foot surface temperatures in turkeys (*Meleagris gallopavo*) recorded with infrared thermography. *Infrared Physics and Technology*, 92(May), 381–386. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2018.06.035>
- Nääs, I. A., Garcia, R. G., and Caldara, F. R.** (2014). Infrared thermal image for assessing animal health and welfare. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 2(3), 66–72. <https://doi.org/10.14269/2318-1265/jabb.v2n3p66-72>
- Nakayama, K., Goto, S., Kuraoka, K., and Nakamura, K.** (2005). Decrease in nasal temperature of rhesus monkeys (*Macaca mulatta*) in negative emotional state. *Physiology and Behavior*, 84(5), 783–790. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2005.03.009>
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., and Bernabucci, U.** (2006). Climatic effects on productive traits in livestock. *Veterinary Research Communications*, 30(SUPPL. 1), 75–81. <https://doi.org/10.1007/s11259-006-0016-x>
- Nikkhah, A., Plaizier, J. C., Einarson, M. S., Berry, R. J., Scott, S. L., and 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. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72954-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72954-4)
- Olczak, K., Nowicki, J., and Klocek, C.** (2015). Pig behaviour in relation to weather conditions - A review. *Annals of Animal Science*, 15(3), 601–610. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0024>
- Olsen, A. W., Dybkjær, L., and Simonsen, H. B.** (2001). Behaviour of growing pigs kept in pens with outdoor runs II. Temperature regulatory behaviour, comfort behaviour and dunging preferences. *Livestock Production Science*, 69(3), 265–278. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00173-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00173-7)
- Olsson, A. C., Botermans, J., Andersson, M., Jeppsson, K. H., and Bergsten, C.** (2016). Design of rooting yards for better hygiene and lower ammonia emissions within the outdoor concrete area in organic pig production. *Livestock Science*, 185(January), 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.01.012>
- Passarge, U.** (2013). Gesundheitsmonitoring in Milchviehherden mit Hilfe von Infrarot-Thermographie. Dissertation Humboldt-Universität zu Berlin. 1–188.
- Petry, A., McGilvray, W., Rakhshandeh, A. R., and Rakhshandeh, A.** (2017). Technical note: Assessment of an alternative technique for measuring body temperature in pigs. *Journal of Animal Science*, 95(7), 3270–3274. <https://doi.org/10.2527/jas2017.1566>

- Pezeshki, A., Stordeur, P., Wallemacq, H., Schynts, F., Stevens, M., Boutet, P., Peelman, L. J., De Spiegeleer, B., Duchateau, L., Bureau, F., and Burvenich, C.** (2011). Variation of inflammatory dynamics and mediators in primiparous cows after intramammary challenge with *Escherichia coli*. *Veterinary Research*, 42(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1297-9716-42-15>
- Proctor, H. S., and Carder, G.** (2015). Nasal temperatures in dairy cows are influenced by positive emotional state. *Physiology and Behavior*, 138, 340–344. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2014.11.011>
- Rainwater-Lovett, K., Pacheco, J. M., Packer, C., and Rodriguez, L. L.** (2009). Detection of foot-and-mouth disease virus infected cattle using infrared thermography. *Veterinary Journal*, 180(3), 317–324. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2008.01.003>
- Rashamol, V. P., Sejian, V., Bagath, M., Krishnan, G., Archana, P. R., and Bhatta, R.** (2018). Physiological adaptability of livestock to heat stress: an updated review. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, 6(3), 62–71. <https://doi.org/10.26667/2318-1265jabb.v6n2p62-71>
- Report of the Scientific Veterinary Committee** (1997). The welfare of intensively kept pigs. Eur. Comm. Brussels. Adopted 30 September 1997. *EU Doc*.
- Richtlinie 2008/120/EG** des Rates, Fassung vom 18.12.2008, Abl. L 47 vom 18.02.2009.
- Ross, J. W., Hale, B. J., Gabler, N. K., Rhoads, R. P., Keating, A. F., and Baumgard, L. H.** (2015). Physiological consequences of heat stress in pigs. *Animal Production Science*, 55(11–12), 1381–1390. <https://doi.org/10.1071/AN15267>
- Ross, Jason W., Hale, B. J., Seibert, J. T., Romoser, M. R., Adur, M. K., Keating, A. F., and Baumgard, L. H.** (2017). Physiological mechanisms through which heat stress compromises reproduction in pigs. *Molecular Reproduction and Development*, 84(9), 934–945. <https://doi.org/10.1002/mrd.22859>
- Sapkota, A., Herr, A., Johnson, J. S., and Lay, D. C.** (2016). Core body temperature does not cool down with skin surface temperature during recovery at room temperature after acute heat stress exposure. *Livestock Science*, 191, 143–147. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2016.07.010>
- Savage, M. V., and Brengelmann, G. L.** (1996). Control of skin blood flow in the neutral zone of human body temperature regulation. <https://doi.org/10.1152/Jappl.1996.80.4.1249>, 80(4), 1249–1257. <https://doi.org/10.1152/JAPPL.1996.80.4.1249>
- Schaefer, A. L., Cook, N., Tessaro, S. V, Deregt, D., Desroches, G., Dubeski, P. L., Tong, A. K. W., and Godson, D. L.** (2004). Early detection and prediction of infection using infrared thermography 1.

- Schmidt, M., Lahrmann, K. H., Ammon, C., Berg, W., Schön, P., and Hoffmann, G.** (2013). Assessment of body temperature in sows by two infrared thermography methods at various body surface locations. In *Journal of Swine Health and Production* (Vol. 21, Issue 4, pp. 203–209).
- Siewert, C., Dänicke, S., Kersten, S., Brosig, B., Rohweder, D., Beyerbach, M., and Seifert, H.** (2014). Difference method for analysing infrared images in pigs with elevated body temperatures. *Zeitschrift Für Medizinische Physik*, 24(1), 6–15. <https://doi.org/10.1016/j.zemedi.2013.11.001>
- Soerensen, D. D., and Pedersen, L. J.** (2015). Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: A review. In *Acta Veterinaria Scandinavica* (Vol. 57, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s13028-015-0094-2>
- Stelletta, C., Gianesella, M., Vencato, J., Fiore, E., and Morgante, M.** (2012). 6 Thermographic Applications in Veterinary Medicine. Retrieved April 21, 2021, from www.intechopen.com
- Stubsjøen, S. M., Flø, A. S., Moe, R. O., Janczak, A. M., Skjerve, E., Valle, P. S., and Zanella, A. J.** (2009). Exploring non-invasive methods to assess pain in sheep. *Physiology and Behavior*, 98(5), 640–648. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2009.09.019>
- Sykes, D. J., Couvillion, J. S., Cromiak, A., Bowers, S., Schenck, E., Crenshaw, M., and Ryan, P. L.** (2012). The use of digital infrared thermal imaging to detect estrus in gilts. *Theriogenology*, 78(1), 147–152. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.01.030>
- Tabuaciri, P., Bunter, K. L., and Graser, H.-U.** (2012). Thermal imaging as a potential tool for identifying piglets at risk. *AGBU Pig Genetics Workshop, 24-25 October 2012*, 23–30.
- Tansey, E. A., and Johnson, C. D.** (2015). Recent advances in thermoregulation. *Advances in Physiology Education*, 39(1), 139–148. <https://doi.org/10.1152/advan.00126.2014>
- Tattersall, G. J.** (2016). Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. *Comparative Biochemistry and Physiology -Part A : Molecular and Integrative Physiology*, 202, 78–98. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2016.02.022>
- Taylor, N.** (2014). Considerations for the measurement of deep-body, skin and mean body temperatures. *Centre for Human and Applied Physiology, School of Medicine, University of Wollongong, Wollongong, NSW 2522, Australia*. 1–111.
- Traulsen, I., Naunin, K., Müller, K., und Krieter, J.** (2010). Untersuchungen zum Einsatz der Infrarotthermographie zur Messung der Körpertemperatur bei Sauen. *Züchtungskunde*, 82(6), 437–446.

- Usamentiaga, R., Venegas, P., Guerediaga, J., Vega, L., Molleda, J., and Bulnes, F. G.** (2014). Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors (Switzerland)*, *14*(7), 12305–12348. <https://doi.org/10.3390/s140712305>
- Van Hoogmoed, L. M., and Snyder, J. R.** (2002). Use of infrared thermography to detect injections and palmar digital neurectomy in horses. *Veterinary Journal*, *164*(2), 129–141. <https://doi.org/10.1053/tvj.2002.0719>
- Van Putten, G.** (2000). An ethological definition of animal welfare with special emphasis on pig behaviour. Retrieved April 20, 2021, from <http://www.veeru.reading.ac.uk/organic/proc/vanP.htm>
- Verordnung (EG) Nr. 834/2007** des Rates, Fassung vom: 28.06.2007, (Abl. L 189 vom 20.7.2007).
- Verordnung (EU) 2018/848** des Europäischen Parlaments und des Rates, Fassung vom 30.05.2018, (Abl. L 150 vom 14.06.2018).
- Vidal, D., and Pitarma, R.** (2019). Infrared thermography applied to tree health assessment: A review. *Agriculture (Switzerland)*, *9*(7). <https://doi.org/10.3390/agriculture9070156>
- Wegner, K.** (2014). Untersuchung zu klimatischen Bedingungen in Sauenställen in Norddeutschland und deren Einfluss auf ausgewählte Fruchtbarkeitsparameter von Sauen. Dissertation Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Wendt, M., Eickhoff, K., and Koch, R.** (1997). Measurement of skin temperature as a method of detecting febrile diseases in swine. *DTW. Deutsche tierärztliche Wochenschrift*, *104*(1), 29–33.
- Wiedemann, C. S.** (2013). Hautoberflächentemperaturen und Differenzen aus Körperkern- und Hautoberflächentemperaturen: Zusammenhang mit klinischer Einschätzung der Mikrozirkulation, Laktat, $S_{cv}O_2$ sowie Herzindex und SVRI. Dissertation Technische Universität München.
- Zentner, E., Mösenbacher-Molterer, I., Gasteiner, J., Bachler, C., Maier, M., Zainer, J., Vockenhuber, D., Schauer, A., Urdl, M., und Maierhofer, G.** (2005). Abschlussbericht 3477: Schweinedusche. 1–21.
- Zentner, E., Mösenbacher-Molterer, I., Gasteiner, J., Bachler, C., Maier, M., Zainer, J., Vockenhuber, D., Schauer, A., Urdl, M., und Maierhofer, G.** (2006). Abschlussbericht 3494: Einsatz einer Schweinedusche im Hinblick auf Emissionen, tägliche Zunahmen in der Schweinemast und Oberflächentemperaturverhalten von Mastschweinen. 1–18.
- Zhang, Z., Zhang, H., and Liu, T.** (2019). Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, *1*, 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2019.02.002>

9 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1:** Ausdehnung von Körperkern und Körperschale beim Menschen bei a) 20 °C (T_{U1}) und b) 35 °C (T_{U2}) Umgebungstemperatur (Behrends et al. 2021, Seite 522). 5
- Abbildung 2:** Thermoregulation bei homoiothermen Tieren in Abhängigkeit von Umgebungstemperatur (adaptiert nach Bianca 1976). 7
- Abbildung 3:** Anpassungen von 60 kg schweren Mastschweinen an steigende Umgebungstemperaturen (Huynh 2005). 9
- Abbildung 4:** Wasserverlust durch Evaporation auf der Haut eines Schweins gemessen mit der Ventilated Capsule Methode. Bei A wurde die Kapsel auf der Haut platziert. Bei B wurde Schlamm (durchgehende Linie) oder reines Wasser (unterbrochene Linie) aufgetragen. Bei C wurde die Kapsel wieder abgenommen (Ingram 1965). 11
- Abbildung 5:** Schematische Darstellung der von der Infrarotkamera empfangenen Gesamtstrahlung (W_{ges}) (adaptiert nach FLIR Systems 2012). 15
- Abbildung 6:** Spektraler Transmissionsgrad der Atmosphäre in Abhängigkeit der Wellenlänge bei einem Messabstand von 10 m, einer Lufttemperatur von 25 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 85 % (Infratec GmbH 2004). 16
- Abbildung 7:** Infrarotbild von Schweinen in a) Regenbogenfarben und b) Graustufen (© BOKU/Kunert). 17
- Abbildung 8:** Infrarotbild eines unmittelbar nach der Geburt aufgenommenen Ferkels mit 30 ausgewählten Temperaturmesspunkten, die zur Berechnung der durchschnittlichen Hautoberflächentemperatur herangezogen wurden (Caldara et al. 2014). 18
- Abbildung 9:** Gewählte Untersuchungsregionen bei Ferkeln: 1=linke Ohrbasis; 2=rechte Ohrbasis; 3=linke Ohrspitze; 4=rechte Ohrspitze; 5=linkes oder rechtes Auge und 6=Durchschnittstemperatur der Länge zwischen Scheitel und Steiß (Tabuaciri et al. 2012). 19
- Abbildung 10:** Foto (a) eines Böhm-Zebras (*Equus burchelli boehmi*) mit dazugehörigem Infrarotbild (b) in voller Sonne. Das Temperaturprofil L1 in der darunter stehenden Grafik (c) zeigt die Temperaturschwankungen der Hautoberflächentemperatur von Kopf bis Schwanzansatz, wobei die schwarzen Streifen um mehr als 10 °C wärmer sind als die weißen Streifen des Fells. Durchschnittliche Umgebungstemperatur = 28,3 °C, relative Luftfeuchtigkeit = 44 % (McCafferty 2007). 25

| | |
|--|-----------|
| Abbildung 11: Foto (a) eines Böhm-Zebras mit entsprechendem Infrarotbild (b) nach 5-10 min im Schatten eines Baumes. Das Temperaturprofil L1 in der untenstehenden Grafik (c) zeigt die Temperaturschwankungen der Hautoberflächentemperatur von Kopf bis Schwanzansatz, wobei die schwarzen Streifen durchschnittlich um weniger als 2 °C wärmer sind als weißen Streifen. Durchschnittliche Umgebungstemperatur = 27,4 °C und relative Luftfeuchtigkeit = 45 % (McCafferty 2007). | 25 |
| Abbildung 12: Infrarotbild eines erwachsenen Kegelrobbe weibchens, welches kurz vor Bildaufnahme aus dem Meerwasserbecken robbte. Der Körper täuscht eine einheitliche Oberflächentemperatur vor, die der Temperatur des Wassers entspricht. Der Kopf ist wärmer als der Körper, da die Robbe ihren Kopf über Wasser hielt, bevor sie das Becken verließ. Durchschnittliche Umgebungstemperatur beträgt 16,2 °C (McCafferty 2007). | 26 |
| Abbildung 13: Grundriss: einer Bucht am Betrieb AT01 inklusive Stallmaße und Platzangebot je Funktionsbereich (© BOKU/Wimmler). | 30 |
| Abbildung 14: Grundriss: Stallmaße und Platzangebot je Funktionsbereich für den Betrieb CH01 (© FiBL/Holinger, adaptiert von Kunert). | 31 |
| Abbildung 15: Grundriss: Stallmaße und Platzangebot je Funktionsbereich für den Betrieb CH02 (© FiBL/Holinger, adaptiert von Kunert). | 31 |
| Abbildung 16: Schweineduschen am Betrieb CH01: Über den planbefestigten Bereich im Auslauf (a), CH02: Im planbefestigten Bereich des Auslaufs (b) und AT01: Über den planbefestigten Kotbereich im Auslauf (c). | 32 |
| Abbildung 17: Wärmebild FLIR® (© BOKU/Kunert) (a) und Wärmebild BOSCH® (© FiBL/Holinger) (b). | 34 |
| Abbildung 18: Duschintervalle für AT01 (90 min) (a) und CH01 & CH02 (60 min) (b) mit Aufnahmezeitpunkten (D1, D2, T1 und T2) innerhalb eines Duschintervalls. | 35 |
| Abbildung 19: Auswertung in der FLIR Tools® (a) und GTC Transfer Software® (b). | 36 |
| Abbildung 20: Durch die Software FLIR Tools® bearbeitetes Wärmebild: Nicht-thermische Fenster (NTF) Schulter (EI1), Oberschenkel (EI2), Flanke (EI3) sowie Rückseite Ohr (EI5) und Ohrbasis (EI4) als Thermisches Fenster (TF) (© BOKU/Kunert). | 37 |
| Abbildung 21: Auswertbare NTF Schulter (S), Oberschenkel (OS) und Flanke (F) bei stehenden Schweinen in Seitenansicht (a) und diagonaler Ansicht (b) (Zeichnung: © Kunert). | 37 |
| Abbildung 22: Untersuchungsregionen am Kopf: Rückseite Ohr (RO) als NTF und Ohrbasis (OB) als TF (Zeichnung: © Kunert). | 38 |

| | |
|---|-----------|
| Abbildung 23: Übereinstimmung der Hautoberflächentemperatur am Beispiel Oberschenkel und Schulter bei den FLIR®-Bildern: Korrelation der Ø HOT des Oberschenkels (°C) zwischen Beobachterinnen-Paar A und C (a) sowie Korrelation der Ø HOT der Schulter (°C) zwischen Beobachterinnen A und B (b); (r=Korrelationskoeffizient)..... | 48 |
| Abbildung 24: Ausschnitt aus einem FLIR®-Bild: Vergleich Rückseite Ohr Beobachterin A, B und C. | 49 |
| Abbildung 25: Betrieb AT01: Korrelation zwischen Hautoberflächentemperatur-Mittelwert (°C) für NTF und THI je Treatment. | 55 |
| Abbildung 26: Betriebe CH12: Korrelation zwischen Hautoberflächentemperatur-Mittelwert (°C) für NTF und THI je Treatment. | 55 |
| Abbildung 27: Betrieb AT01: Korrelation zwischen Hautoberflächentemperatur-Mittelwert (°C) der Ohrbasis (TF) und THI. | 55 |
| Abbildung 28: Betrieb CH02: Überprüfung eines möglichen Überlagerungseffektes anhand visueller Darstellung der Verteilung der Hautoberflächentemperatur-MW (°C) für NTF je Aufnahmezeitpunkt und Durchgang (K=Kontrollbuchten, V=Versuchsbuchten; 0=10 min vor Beginn der ersten Duschaufzeit, D1=kurz nach Beginn der Dusche, D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche bzw. Duschhalbezeit und T2=20 Minuten nach Ende Dusche; Anzahl an Messwerten je Aufnahmezeitpunkt, Durchgang und Treatment direkt über den Boxplots). | 56 |
| Abbildung 29: Betrieb AT01: Differenz (°C) der Hautoberflächentemperatur-Mittelwerte (MW) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) zwischen den Aufnahmezeitpunkten T1 (10 Minuten vor Beginn der Dusche) und D2 (15 Minuten nach Beginn der Dusche) sowie T1 und T2 (20 Minuten nach Ende der Dusche) für Kontroll- (n=24 für ΔT1, D2 bzw. ΔT1, T2) und Versuchsbuchten (n=8 für ΔT1, D2, n=13 für ΔT1, T2); #Tendenz für signifikante Unterschiede p<0,1 und n.s. nicht signifikant p>0,1..... | 58 |
| Abbildung 30: Betrieb AT01: Differenz (°C) aus Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten (MW) der Ohrbasis zwischen Aufnahmezeitpunkten (T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche und T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, T2=20 Minuten nach Ende der Dusche) für Kontroll- (n=12 für ΔT1, D2, n=21 für ΔT1, T2) und Versuchsbuchten (n=7 für ΔT1, D2, n=13 für ΔT1, T2), #Tendenz p<0,1 und n.s. nicht signifikant p>0,1. | 59 |
| Abbildung 31: Schweizer Betriebe CH12: Differenz (°C) aus Hautoberflächentemperatur-Mittelwerten (MW) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) zwischen Aufnahmezeitpunkten (T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, D1=kurz nach Beginn der Dusche und T1=10 Minuten vor Beginn der Dusche, D2=15 Minuten nach Beginn der Dusche) für Kontroll- (n=19 für ΔT1, D1, n=28 für ΔT1, D2) und Versuchsbuchten (n=20 für ΔT1, D1, n=35 für ΔT1, D2), *signifikante Unterschiede p<0,05. | 60 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Tabelle 1: Normale Rektaltemperaturen bei ruhenden Schweinen in der thermoneutralen Zone (Soerensen und Pedersen 2015). | 4 |
| Tabelle 2: Übersicht über Details zu den Untersuchungsbetrieben (Anzahl an Buchten und Tieren). | 28 |
| Tabelle 3: Übersicht zu Platzangebot und Bodengestaltung in den verschiedenen Funktionsbereichen je Bucht für die Betriebe AT01, CH01 und CH02. | 29 |
| Tabelle 4: Außentemperatur (°C) um 10:00 Uhr morgens, Tageshöchsttemperatur sowie Durchschnittstemperatur bei der Datenerhebung je Betrieb und Erhebungstag. | 33 |
| Tabelle 5: Details zu den Versuchen für die Betriebe AT01, CH01 und CH02. | 34 |
| Tabelle 6: Einstellungen für die Auswertung der Wärmebilder in der FLIR Tools®- und GTC Transfer Software® für die Betriebe AT01, CH01 und CH02. | 36 |
| Tabelle 7: Beschreibung und Verwendung der unterschiedlichen Datensätze für den Betrieb AT01 (EF=Einflussfaktor; MW=Mittelwert; n=Anzahl an ausgewerteten Schultern (S), Oberschenkeln (OS), Flanken (F), Ohrbasen (OB), NTF=Nicht-thermische Fenster und TF=Thermisches Fenster). | 40 |
| Tabelle 8: Beschreibung und Verwendung der unterschiedlichen Datensätze für die Betriebe CH01, CH02 sowie der zusammengefasste Datensatz CH12 der beiden Schweizer Betriebe (EF=Einflussfaktor; MW=Mittelwert; n=Anzahl an ausgewerteten Schultern (S), Oberschenkeln (OS), Flanken (F) und „Nicht-thermischen Fenstern“ (NTF). | 41 |
| Tabelle 9: Unterschiede im Versuchsablauf zwischen Betrieb AT01 und Betriebe CH01 und CH02 (CH12). | 43 |
| Tabelle 10: Kappa-Koeffizienten (κ) für die paarweise Übereinstimmung zwischen den Beobachterinnen A vs. B sowie A vs. C für die einzelnen Untersuchungsregionen bzw. FLIR®- und BOSCH®-Bilder. Ein Intra-Observer-Abgleich (A vs. A) erfolgte nur für FLIR®-Bilder (n=Anzahl sichtbare Regionen). | 46 |
| Tabelle 11: Durchschnittliche, minimale und maximale Abweichung in der Hautoberflächentemperatur je Untersuchungsregion und Beobachterpaar für FLIR®- und BOSCH®-Bilder. Ein Intra-Observer-Abgleich (A vs. A) erfolgte nur für FLIR®-Bilder. | 47 |
| Tabelle 12: Korrelationskoeffizienten (r) für die Hautoberflächentemperatur je Untersuchungsregion und Beobachterinnen-Paar bei FLIR®- und BOSCH®-Bildern. | 48 |

| | |
|--|-----------|
| Tabelle 13: Überblick über die Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten), Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) und Pigmentierung (1=pigmentiert, 0=nicht pigmentiert) für die Betriebe AT01, CH01 und CH02: Mittelwerte der Hautoberflächentemperatur (MW HOT °C) je Ausprägung der Einflussfaktoren (1; 0) sowie p-Wert (t-Test; n=Anzahl an ausgewerteten Messwerten je Region und Ausprägung)..... | 51 |
| Tabelle 14: Überblick über die Einflussfaktoren direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten) und Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) für die Betriebe AT01, CH01, CH02 sowie CH01 + CH02: Mittelwerte der Hautoberflächentemperatur (MW HOT °C) je Ausprägung der Einflussfaktoren (1; 0) sowie p-Wert (t-Test; n=Anzahl an ausgewerteten Messwerten je Region und Ausprägung). | 53 |
| Tabelle 15: Schätzwerte für die Differenz der Hautoberflächentemperatur (in °C) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) und der Ohrbasis vor und während der Dusche ($\Delta AT_{T1, D2}$) sowie vor und nach der Dusche ($\Delta AT_{T1, T2}$) für den fixen Effekt des Treatments für den österreichischen Betrieb AT01 (Modell AT)..... | 57 |
| Tabelle 16: Schätzwerte für die Differenz der Hautoberflächentemperaturen (in °C) der Nicht-thermischen Fenster (NTF) gemessen vor und kurz nach Beginn der Dusche ($\Delta CH_{T1, D1}$) sowie vor und während der Dusche ($\Delta CH_{T1, D2}$) für den fixen Effekte des Treatments (Modell CH). | 60 |
| Tabelle 17: Anzahl (n) Messwerte (NTF-Mittelwerte) und deren Verteilung (%) auf Treatments (Versuch und Kontrolle) für die Einflussfaktoren Direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten) und Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) für die Betriebe AT01, CH01, CH02 sowie CH01 + CH02..... | 89 |
| Tabelle 18: Anzahl (n) der Messwerte (TF-Mittelwerte) und deren Verteilung (%) auf Treatments (Versuch und Kontrolle) für die Einflussfaktoren Direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten) und Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) für den Betrieb AT01..... | 89 |
| Tabelle 19: Sichtbarkeit der Untersuchungsregionen am Körperstamm..... | 95 |
| Tabelle 20: Sichtbarkeit der Untersuchungsregionen am Kopf..... | 99 |

10 Anhang

Tabelle 17: Anzahl (n) Messwerte (NTF-Mittelwerte) und deren Verteilung (%) auf Treatments (Versuch und Kontrolle) für die Einflussfaktoren Direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten) und Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) für die Betriebe AT01, CH01, CH02 sowie CH01 + CH02.

| Nicht-thermische Fenster (NTF) | | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------------|------------|---------|-------------|-----------|-------------|-------|------------|
| Betrieb | Einflussfaktor | Ausprägung | Versuch | | Kontrolle | | V + K | |
| | | | n | % | n | % | n | % |
| AT01 | Direktes Sonnenlicht | 1 | 23 | 44,2 | 29 | 55,8 | 52 | 100 |
| | | 0 | 148 | 38,9 | 232 | 61,1 | 380 | 100 |
| | Kot-Verschmutzung | 1 | 51 | 42,9 | 68 | 57,1 | 119 | 100 |
| | | 0 | 130 | 39,5 | 199 | 60,5 | 329 | 100 |
| CH01 | Direktes Sonnenlicht | 1 | 55 | 47,7 | 61 | 52,6 | 116 | 100 |
| | | 0 | 46 | 53,5 | 40 | 46,5 | 86 | 100 |
| | Kot-Verschmutzung | 1 | 9 | 22,0 | 32 | 78,0 | 41 | 100 |
| | | 0 | 77 | 56,2 | 60 | 43,8 | 137 | 100 |
| CH02 | Direktes Sonnenlicht | 1 | 120 | 60,6 | 78 | 39,4 | 198 | 100 |
| | | 0 | 178 | 55,8 | 141 | 44,2 | 319 | 100 |
| | Kot-Verschmutzung | 1 | 61 | 64,2 | 34 | 35,8 | 95 | 100 |
| | | 0 | 208 | 53,7 | 179 | 46,3 | 387 | 100 |
| CH01 + CH02 | Direktes Sonnenlicht | 1 | 175 | 55,7 | 139 | 44,3 | 314 | 100 |
| | | 0 | 224 | 55,3 | 181 | 44,7 | 405 | 100 |
| | Kot-Verschmutzung | 1 | 70 | 51,5 | 66 | 48,5 | 136 | 100 |
| | | 0 | 285 | 54,4 | 239 | 45,6 | 524 | 100 |

Tabelle 18: Anzahl (n) der Messwerte (TF-Mittelwerte) und deren Verteilung (%) auf Treatments (Versuch und Kontrolle) für die Einflussfaktoren Direktes Sonnenlicht (1=Sonne, 0=Schatten) und Kotverschmutzung (1=schmutzig, 0=sauber) für den Betrieb AT01.

| Thermisches Fenster (TF) | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|------------|---------|-------------|-----------|-------------|-------|------------|
| Betrieb | Einflussfaktor | Ausprägung | Versuch | | Kontrolle | | V + K | |
| | | | n | % | n | % | n | % |
| AT01 | Direktes Sonnenlicht | 1 | 14 | 63,6 | 8 | 36,4 | 22 | 100 |
| | | 0 | 43 | 38,4 | 69 | 61,6 | 112 | 100 |
| | Kotverschmutzung | 1 | 1 | 33,3 | 2 | 66,7 | 3 | 100 |
| | | 0 | 48 | 39,0 | 75 | 61,0 | 123 | 100 |

10.1 Auswertungsplan

Nicht-thermische Fenster (NTF)

1) Schulter:

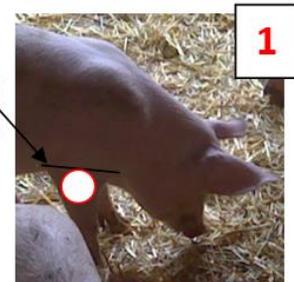
a) Stehende Schweine = Seitenansicht = 2 mögliche Positionen

Kann nicht ausgewertet werden, wenn das Schwein zu sehr in frontaler Position steht (Kopf zugewandt).

i) Größe des Kreises festlegen!

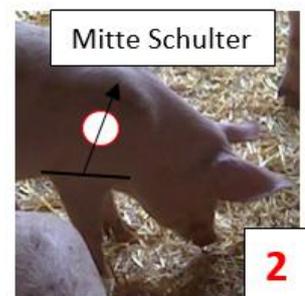
→ Dazu nimmt man als Ausgangspunkt die obere Grenze des Ellenbogens an der vorderen Extremität → eine Linie vorstellen, welche vom Hals zur unteren Bauchlinie durch die

obere Grenze des Ellenbogens



Extremität geht. Diese Linie durch die Extremität ist die obere Grenze des Ellenbogens (**siehe Abb. 1**). Den Kreis so auf die vordere Extremität setzen, dass der obere Bereich des Kreises genau die obere Grenze des Ellenbogens berührt. Den Kreis innerhalb des Beins so groß wie möglich ziehen, es sollen jedoch keine Randbereiche enthalten sein.

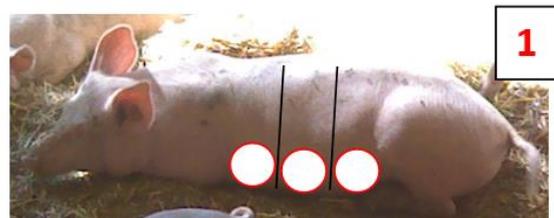
ii) Kreis positionieren → Den Kreis dann nach oben verschieben in Richtung Schultermitte. Den Kreis so lange nach oben verschieben, bis er sich in der Mitte zwischen Ellenbogen und Wirbelsäule befindet (**siehe Abb. 2**).



b) Liegende Schweine: BAUHLAGE

Wenn die Schweine in der **BAUHLAGE** liegen, funktioniert die Auswertung der **Schulter** nur in der **Seitenansicht (linke oder rechte Seite auswertbar bzw. sichtbar)**.

i) Größe des Kreises: Kreis ziehen, der im Durchmesser so groß ist wie das erste Drittel der unteren Bauchlinie. Dabei immer innerhalb vom Bauch bleiben. → Der untere Bereich des Kreises soll die untere Bauchlinie „beinahe“ berühren (**siehe Abb. 1**).



- ii) **Kreis positionieren:** Bei Bauchlage soll der Kreis in der **Mitte** zwischen Ellenbogen (in der Mitte wo es aufliegt) und Wirbelsäule liegen (**siehe Abb. 2**).



Wenn keine andere Möglichkeit zur Definition der Größe besteht, sollen die Kreise an Schulter, Flanke und Oberschenkel **beim liegenden Tier** etwa **gleich groß** sein.

c) Liegende Schweine: SEITENLAGE

Wenn die Schweine in der **SEITENLAGE** liegen, **dann gleich vorgehen wie in der stehenden Position**. Die Schulter kann in der Seitenlage in **fast allen Positionen** ausgewertet werden.

→ Es kommt aber auch auf die Entfernung an; es ist **NICHT** immer möglich! Nur bei Schweinen die weiter vorne liegen.

→ **Ausnahmen:** Wenn die Schweine einem den Rücken zudrehen, oder mit dem Kopf nach vorne liegen (→ Kehrseite 0°), ist die Auswertung oft nicht möglich.

Kehrseite 0° = Kopf schaut vom Beobachter weg

90° = Kopf schaut nach rechts

Stirnseite 180° = Kopf schaut zum Beobachter

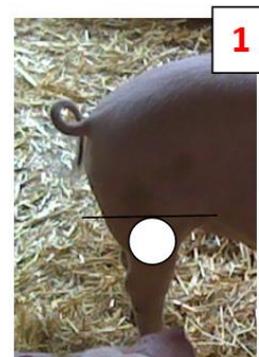
270° = Kopf schaut nach links

2) Oberschenkel:

a) Stehende Schweine

- i) **Größe des Kreises festlegen** → Selbes Prinzip wie bei der Schulter.

Linie vom Ende der unteren Bauchlinie durch den Oberschenkel vorstellen. Der obere Bereich des Kreises soll wieder genau diese Linie (= obere Grenze des Kniegelenks) berühren. Der Kreis soll innerhalb des Beins so groß wie möglich gezogen werden, keine Randbereiche berühren (**siehe Abb. 1**).



- ii) **Kreis positionieren:** Den Kreis dann mittig nach oben verschieben in Richtung Mitte des Hüftknochens. Der untere Bereich des Kreises soll genau die obere Grenze des Kniegelenks berühren (**siehe Abb. 2**).

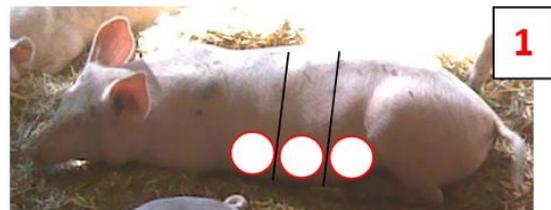


ACHTUNG: Bei einer **Hinteransicht** kann der **Oberschenkel nicht ausgewertet** werden, da man ansonsten das Hinterteil auswertet und nicht den Oberschenkel. Bei **Seitenansicht** auch darauf **achten**, dass sich der **Kreis nicht zu nah am Hinterteil** befindet; auf der Seite bleiben!

b) Liegende Schweine: BAUCLAGE (Linke oder rechte Seite auswertbar)

Wenn die Schweine in der **Bauchlage** liegen, funktioniert die Auswertung des **Oberschenkels** nur in der **90°** Position sowie der **270°** Position (= Seitenansicht).

- i) **Größe des Kreises:** Einen Kreis im hinteren Drittel der unteren Bauchlinie ziehen. Dabei immer innerhalb vom Bauch bleiben (nicht in die Hinterhand!). → Der untere Bereich des Kreises soll die untere Bauchlinie „beinahe“ berühren (**siehe Abb. 1**).



- ii) **Kreis positionieren:** Bei Bauchlage soll der Kreis zwischen Knie (in der Mitte wo es aufliegt) und Wirbelsäule liegen (**siehe Abb. 2**).



Wenn keine andere Möglichkeit zur Definition der Größe besteht, sollen die Kreise an Schulter, Flanke und Oberschenkel **beim liegenden Tier** etwa **gleich groß** sein.

c) Liegende Schweine: SEITENLAGE

Wenn die Schweine in der **Seitenlage** liegen, dann gleich vorgehen wie in der stehenden Position. Der Oberschenkel kann bei Seitenlage in der Position Kehrseite 0°, Stirnseite 180° und bei 270° ausgewertet werden. → Das kommt aber auch auf die Entfernung an; es ist **NICHT** immer möglich (nur bei Schweinen, die weiter vorne liegen).

0° = Kopf schaut vom Beobachter weg

90° = Kopf schaut nach rechts

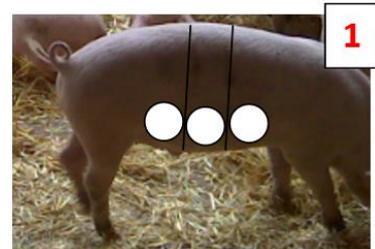
Stirnseite 180° = Kopf schaut zum Beobachter

270° = Kopf schaut nach links

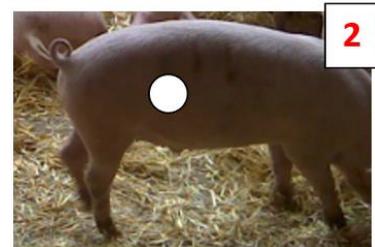
3) Flanke:

a) Stehende Schweine

- i) **Größe des Kreises** → Einen Kreis ziehen vom hinteren Drittel der unteren Bauchlinie weg, bis zum Beginn der Hinterhand. Dabei immer innerhalb vom Bauch bleiben. → Der untere Bereich des Kreises soll die untere Bauchlinie „beinahe“ berühren (**siehe Abb. 1**).



- ii) **Kreis positionieren** → Von der Position im hinteren Drittel nach oben in Richtung Flanke verschieben, so, dass man sich nicht am Oberschenkel bzw. Hüftknochen befindet. Der Kreis soll sich in der Mitte zwischen Wirbelsäule und untere Bauchlinie befinden (**siehe Abb. 2**).



b) Liegende Schweine: BAUHLAGE → Gleiche Vorgehensweise wie bei stehender Position

- i) **Größe des Kreises** → Im hinteren Drittel der unteren Bauchlinie einen Kreis bilden. Dabei immer innerhalb vom Bauch bleiben (nicht in die Hinterhand!). → Der untere Bereich des Kreises soll die untere Bauchlinie „beinahe“ berühren.
- ii) **Kreis positionieren** → Kreis nach oben verschieben, bis sich der Kreis zwischen unterer Bauchlinie und Wirbelsäule befindet.

Wenn keine andere Möglichkeit zur Definition der Größe besteht, sollen die Kreise an Schulter, Flanke und Oberschenkel **beim liegenden Tier etwa gleich groß** sein.

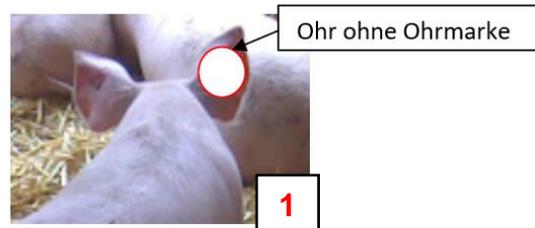
c) **Liegende Schweine: SEITENLAGE → Gleiche Vorgehensweise wie bei stehender Position**

- i) **Größe des Kreises** → Im hinteren Drittel der unteren Bauchlinie einen Kreis bilden. Dabei immer innerhalb vom Bauch bleiben (nicht in die Hinterhand!). → Der untere Bereich des Kreises soll die untere Bauchlinie „beinahe“ berühren.
- ii) **Kreis positionieren** → Kreis nach oben verschieben, bis sich der Kreis zwischen unterer Bauchlinie und Wirbelsäule befindet.

4) **Rückseite der Ohrmuschel:**

Auswerten, wenn man den Kopf von hinten oder von der Seite sieht = 3 mögliche Positionen.

Wenn man nicht ins Ohr bzw. in den Gehörgang sehen kann, kann die Rückseite der Ohrmuschel i.d.R. ausgewertet werden. Wenn das Ohr nach hinten geklappt ist, ist die Auswertung nicht möglich. Die Kreisfläche soll die sichtbare Rückseite jener Ohrmuschel, die **keine Ohrmarke** enthält, einkreisen. Immer am Tageslichtbild nachsehen, ob das Ohr eine Ohrmarke enthält oder nicht, da man das am Wärmebild oft schwer erkennen kann.



ABER: Der Rand des Ohrs darf nicht miterfasst werden. Soviel Fläche wie möglich einkreisen, bis man ansteht, weil man sich am Rand vom Ohr befindet. Ohrspitzen sind nicht Teil der Fläche (**siehe Abb. 1**).

Thermisches Fenster (TF)

5) **Ohrbasis:**

Die Ohrbasis immer auf jener Seite beurteilen, wo sie besser zu erkennen ist. Sind beide Seiten gleich gut zu erkennen, die Seite auswählen, an der sich die Ohrmarke befindet. *

Der Bereich Ohrbasis liegt genau hinter dem Ohr (= in Richtung Nacken- bzw. Halsbereich). Er befindet sich nicht auf der Rückseite der Ohrmuschel. **Möglichst mittig in der Breite vom Ohr** einen sehr kleinen Kreis setzen (→ **siehe Abb. 1**). Nicht zu weit oben in Richtung Stirn und nicht zu weit unten in Richtung Wange! Der Kreis soll kleiner sein als der Kreis auf der Rückseite der Ohrmuschel, um sicher zu stellen, dass man sich nicht am Nacken oder Halsbereich befindet. Die Ohrbasis kann meistens nur ausgewertet werden, wenn man die gesamte Seite des Schweins sieht.

Bei einer Frontansicht kann nur ausgewertet werden, **wenn** der **Kopf ganz nach unten gehalten** wird. Der Kreis soll die Linie, wo das Ohr ansetzt nur berühren, um sicher zu gehen, dass man sich nicht auf der Rückseite der Ohrmuschel befindet.

* So vermeiden wir Überschneidungen mit dem Kreis an der Rückseite des Ohrs (für den wir das Ohr ohne Ohrmarke benötigen)

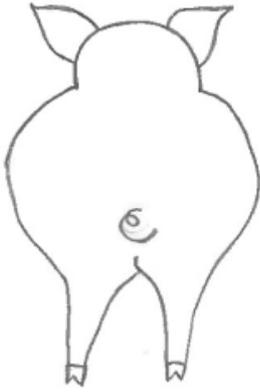


→ **Praktische Hinweise für den Beobachterabgleich!**

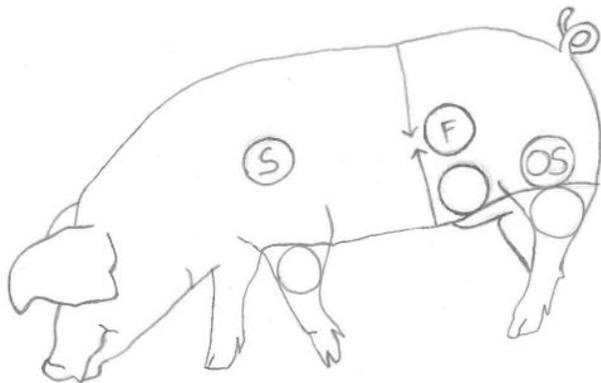
In der Software werden alle Wärmebilder in Graustufen ausgewertet. Wärmebilder immer mit **Tageslichtfotos** vergleichen! (u.a. Erkennen der Ohrmarke, Verschmutzung, Schatten, usw.). **Verschmutzte Stellen nicht auswerten!** Wenn irgendetwas die Sicht verdeckt, z.B. der Schwanz von einem anderen Schwein oder irgendein anderes Körperteil, dann die jeweilige Region nicht auswerten. **Im Zweifelsfall:** Nicht auswerten.

Tabelle 19: Sichtbarkeit der Untersuchungsregionen am Körperstamm.

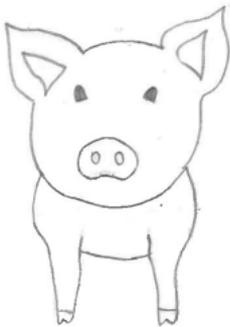
| Ansicht | Untersuchungsregionen Körper (NTF) | | |
|--------------------------------|------------------------------------|--------|--------------|
| | Schulter | Flanke | Oberschenkel |
| Hinteransicht stehend | | | |
| Seitenansicht stehend | x | x | x |
| Vorderansicht stehend | | | |
| diagonal nach hinten stehend | x | x | x |
| diagonal nach vorne stehend | x | x | x |
| Hinteransicht Seitenlage | x | x | x |
| Seitenlage Rücken abgewandt | | | |
| Seitenlage Rücken zugewandt | x | x | x |
| Vorderansicht Seitenlage | x | x | x |
| Bauchlage Hinteransicht | | | |
| Bauchlage Seitenansicht | x | x | x |
| Bauchlage diagonal nach hinten | x | x | x |
| Bauchlage diagonal nach vorne | x | x | x |
| Bauchlage Vorderansicht | | | |



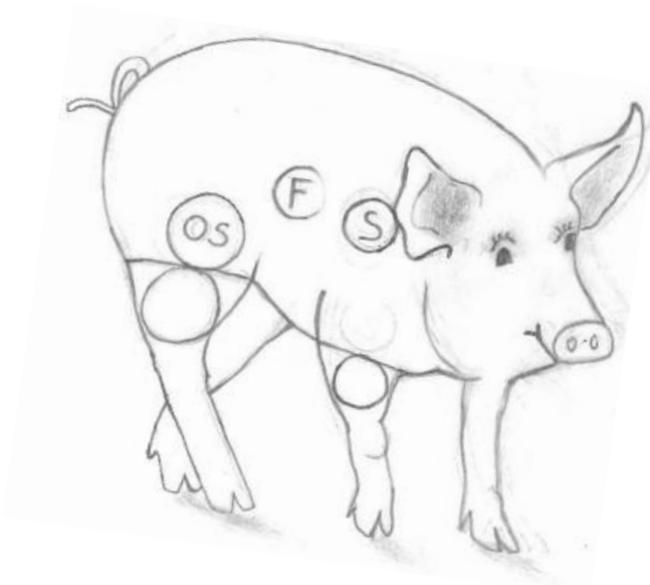
Hinteransicht stehend:
Nicht beurteilbar.



Seitenansicht stehend: Schulter (S),
Flanke (F) und Oberschenkel (OS)
auswertbar.



Vorderansicht stehend:
Nicht beurteilbar.



Diagonal nach vorne stehend:
Oberschenkel, Flanke und Schulter
auswertbar.

ABER: Je weiter sich ein schräg nach vorne gewandtes Schwein der Vorderansicht nähert, umso schwieriger wird die Auswertung. → **Wie beispielsweise im rechten Bild:** Hier steht ein Schwein so schräg, ist es nicht mehr auswertbar ist.

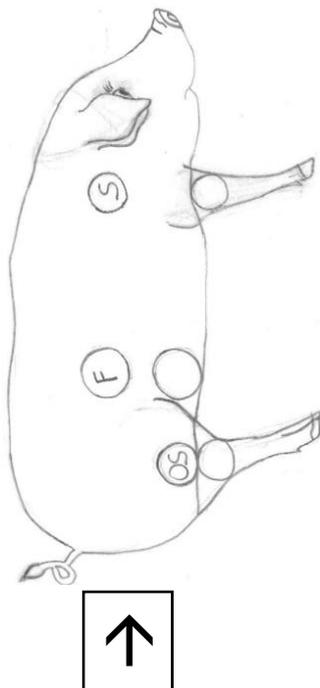


Diagonal nach hinten stehend:

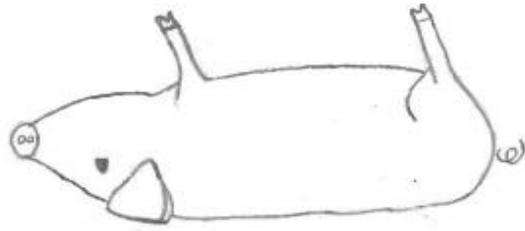
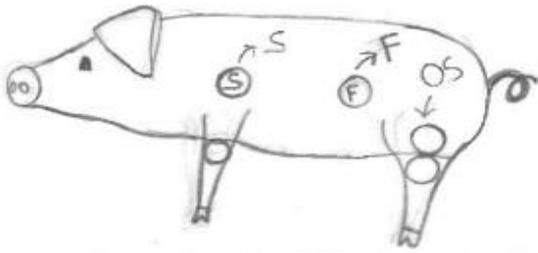
Oberschenkel, Flanke und Schulter auswertbar.

ABER: Je weiter sich ein schräg nach hinten gewandtes Schwein der Hinteransicht nähert, umso schwieriger wird die Auswertung.

Hinweis zu diagonal stehenden Schweinen: Wenn bei diagonal stehenden Schweinen die Größe des Kreises innerhalb des Beins nicht mehr bestimmt werden kann oder die Untersuchungsregion nicht mehr vollständig sichtbar ist, nicht auswerten.

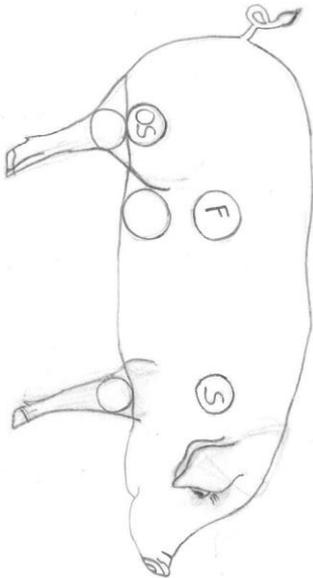


Hinteransicht Seitenlage: Oberschenkel, Flanke und Schulter auswertbar.



Linkes Schwein: Seitenlage Rücken abgewandt: Schulter, Flanke und Oberschenkel auswertbar.

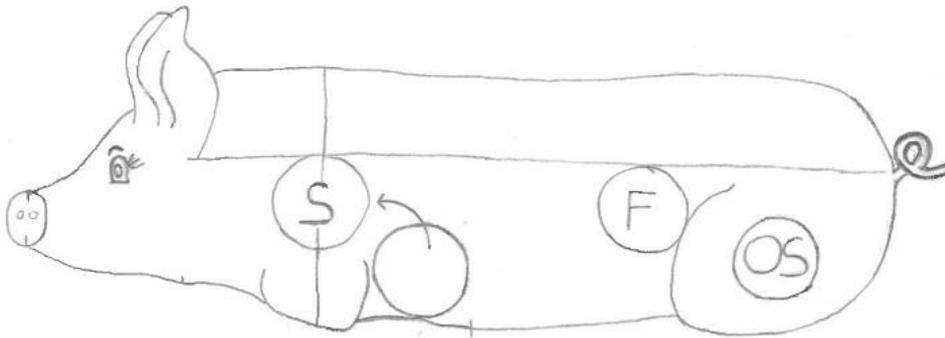
Rechtes Schwein: Seitenlage Rücken zugewandt: Nicht beurteilbar.



Seitenlage Vorderansicht: Schulter, Oberschenkel und Flanke beurteilbar.



Bauchlage Hinteransicht: Nicht beurteilbar.

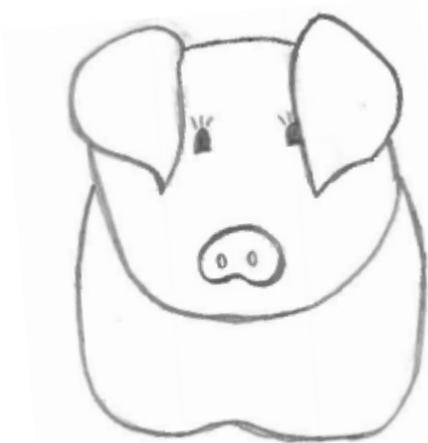


**Bauchlage
Seitenansicht:**
Schulter,
Flanke und
Oberschenkel
auswertbar.

Bauchlage diagonal nach vorne und Bauchlage diagonal nach hinten:

Schulter, Flanke und Oberschenkel auswertbar.

→ Wenn die Schweine zu schräg in Richtung Vorderansicht bzw. Hinteransicht liegen, dann sind schräg liegende Schweine nicht mehr auswertbar.

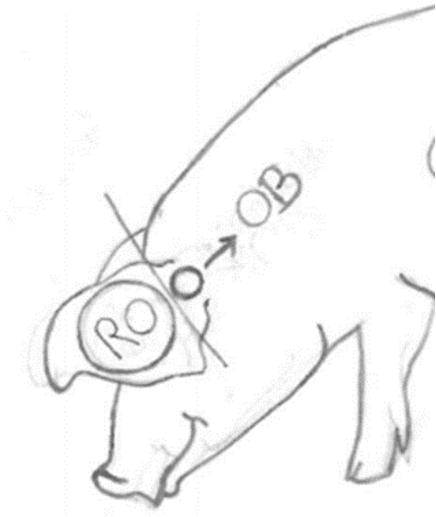


Bauchlage Vorderansicht:
Nicht beurteilbar.

Tabelle 20: Sichtbarkeit der Untersuchungsregionen am Kopf.

| Ansicht | Untersuchungsregionen Kopf | |
|--|----------------------------|----------|
| | Rückseite Ohr | Ohrbasis |
| Kopf Hinteransicht (= keine Augen sichtbar) | (x) | (x) |
| Kopf Seitenansicht (= linkes od. rechtes Auge sichtbar) | x* | x |
| Kopf diagonal | x* | x |
| Kopf Vorderansicht (= beide Augen sichtbar) | x* | (x) |

*bei Vorhandensein einer Ohrmarke **nicht** auswertbar



Beispiel Kopf Seitenansicht:
Rückseite Ohr (RO) und Ohrbasis auswertbar.

© Esther Kunert: Das Copyright für den gesamten Auswertungsplan (inkl. Zeichnungen) liegt bei der Verfasserin Esther Kunert.