

Untersuchung zu klimatischen Bedingungen in  
Sauenställen in Norddeutschland und deren  
Einfluss auf ausgewählte Fruchtbarkeitsparameter  
von Sauen

---

**Kerstin Wegner**



Inauguraldissertation zur Erlangung des Grades eines  
**Dr. med. vet.**  
beim Fachbereich Veterinärmedizin der Justus-Liebig-Universität Gießen



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**Das Werk ist in allen seinen Teilen urheberrechtlich geschützt.**

**Die rechtliche Verantwortung für den gesamten Inhalt dieses Buches liegt ausschließlich bei dem Autor dieses Werkes.**

Jede Verwertung ist ohne schriftliche Zustimmung des Autors oder des Verlages unzulässig. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung in und Verarbeitung durch elektronische Systeme.

1. Auflage 2014

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the Author or the Publishers.

1<sup>st</sup> Edition 2014

© 2014 by VVB LAUFERSWEILER VERLAG, Giessen  
Printed in Germany



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

STAUFENBERGRING 15, D-35396 GIESSEN  
Tel: 0641-5599888 Fax: 0641-5599890  
email: [redaktion@doktorverlag.de](mailto:redaktion@doktorverlag.de)

[www.doktorverlag.de](http://www.doktorverlag.de)

Aus der „Klinik für Schweine“  
der Justus-Liebig-Universität Gießen  
Betreuer: Prof. Dr. Dr. habil. Gerald Reiner  
und  
dem „Department für Nutztierwissenschaften“  
der Georg-August-Universität Göttingen  
Betreuer: Prof. Dr. Dr. Matthias Gauly

**Untersuchung zu klimatischen Bedingungen in  
Sauenställen in Norddeutschland und deren Einfluss  
auf ausgewählte Fruchtbarkeitsparameter von Sauen**

**INAUGURAL-DISSERTATION**

zur Erlangung des Grades eines  
Dr. med. vet.  
beim Fachbereich Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

**Kerstin Wegner**

Tierärztin aus Bruchsal

Gießen 2014

Mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Dekan: Prof. Dr. Dr. h.c. Martin Kramer

Gutachter: Prof. Dr. Dr. habil. Gerald Reiner

Prof. Dr. Dr. Matthias Gauly

Tag der Disputation 01.12.2014

**Meinen Eltern**

Ich erkläre: „Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>III</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>IV</b>
<b>ABKÜRZUNGEN .....</b>	<b>V</b>
<b>VERÖFFENTLICHUNGEN.....</b>	<b>VI</b>
<b>1 EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>2 LITERATURÜBERSICHT .....</b>	<b>3</b>
2.1 Bedeutung der Schweine- und Zuchtsauenhaltung in Deutschland .....	3
2.2 Fruchtbarkeitskennzahlen in der Ferkelerzeugung .....	6
2.3 Klimawandel in Deutschland.....	8
2.4 Thermoregulation beim Schwein.....	9
2.5 Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf Schweine .....	15
2.6 Auswirkungen thermischer Belastung auf Fruchtbarkeitsleistungen von Sauen .....	19
2.7 Möglichkeiten zur Reduzierung von Hitzestress .....	22
<b>3 VERÖFFENTLICHUNG 1 .....</b>	<b>29</b>
<b>4 VERÖFFENTLICHUNG 2 .....</b>	<b>30</b>
<b>5 VERÖFFENTLICHUNG 3 .....</b>	<b>32</b>
<b>6 ALLGEMEINE DISKUSSION.....</b>	<b>34</b>
Schlussfolgerung .....	39
<b>7 ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>41</b>

---

---

<b>8</b>	<b>SUMMARY .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>46</b>
<b>10</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>56</b>
<b>10.1</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>56</b>
<b>10.2</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>58</b>
<b>10.3</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>62</b>
	<b>DANKSAGUNG .....</b>	<b>66</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl an Tagen mit mittleren und maximalen täglichen Außentemperaturen in Temperaturklassen in den Sommermonaten der Jahre 2009 bis 2011 .....	58
Tabelle 2: Anzahl an Tagen mit mittlerem und maximalem THI in THI-Klassen während der Sommermonate der Jahre 2009 bis 2011 .....	58

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anzahl der Sauen und Anzahl der Sauenhalter in Deutschland von 1990 bis 2010.....	3
Abbildung 2: Anzahl Schweine pro 100 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche in den Landkreisen in Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2013) .....	5
Abbildung 3: Mechanismen der Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe durch Metabolismus und Umwelt (mod. nach Fuquay, 1981) .....	10
Abbildung 4: Kritische Temperaturen und Zonen (mod. nach Bianca 1976) .....	11
Abbildung 5: Modell der Wärmeabgabe beim Schwein bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (mod. nach Kelly et al., 1954) .....	14
Abbildung 6: Empfohlene maximale und minimale relative Luftfeuchtigkeit in Stallgebäuden in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur (CIGR, 1984).....	17
Abbildung 7: Mittlere tägliche Temperatur gemittelt über 9 Wetterstationen der Monate Mai bis September der Jahre 2009 bis 2011 .....	59
Abbildung 8: Mittlere tägliche THI-Werte gemittelt über 9 Wetterstationen der Monate Mai bis September der Jahre 2009 bis 2011 .....	59
Abbildung 9: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel an den Tagen vor und nach der Besamung (Kovariableneffekt ist durch die Schätzwerte (b) auf der y-Achse gezeigt)* .....	60
Abbildung 10: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der lebend geborenen Ferkel vor und am Tag der Geburt (Kovariableneffekte sind durch Schätzwerte (b) auf der y-Achse dargestellt).....	61
Abbildung 11: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der tot geborenen Ferkel vor und am Tag der Geburt (Kovariableneffekte sind durch Schätzwerte (b) auf der y-Achse dargestellt).....	62
Abbildung 12: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der abgesetzten Ferkel am Tag und nach der Geburt (Kovariableneffekte sind durch Schätzwerte (b) auf der y-Achse dargestellt).....	62

## Abkürzungen

\$	US-Dollar
°C	Grad Celsius
Abf	Abferkelabteile
B	Betrieb
Bes	Besamungsabteil / Deckzentrum
BHZZP	Bundes Hybridzuchtprogramm
ha	Hektar
K	Kelvin
km	Kilometer
l	Liter
LF	Landwirtschaftliche Fläche
m	Meter
P	Signifikanzniveau
RH	relative Luftfeuchtigkeit
T	Temperatur
T <sub>db</sub>	Trockenkugeltemperatur (dry-bulb temperature)
THI	Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index
T <sub>wb</sub>	Feuchtkugeltemperatur (wet-bulb temperature)
Warte	Wartestall

## Veröffentlichungen

Die vorliegende Arbeit basiert auf den folgenden Original Artikeln:

- I. Wegner, K., Lambertz, C., Daş, G. und Gauly, M. (2014). Klimabedingungen in norddeutschen Sauenställen. *Züchtungskunde* **86**, 200-211. ISSN 0044-5401
- II. Wegner, K., Lambertz, C., Daş, G, Reiner, G. und Gauly, M. (2014). Climatic effects on sow fertility and piglet survival under influence of a moderate climate. *Animal* **8**, 1526-1533.
- III. Wegner, K., Lambertz, C., Daş, G, Reiner, G. und Gauly, M.(2014). Effects of temperature and THI on the reproductive performance of sows during summer months under a moderate climate (in Bearbeitung)

# 1 Einleitung

Für die Ferkelerzeugung stellt die Fruchtbarkeitsleistung der Sauen den entscheidenden wirtschaftlichen Faktor dar. Die Fruchtbarkeitsleistung einer Herde ist von vielen Einflüssen abhängig. Neben dem Management, der Genetik, dem Haltungssystem und der Hygiene spielt das Stallklima eine wichtige Rolle. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Beschreibung und Beurteilung von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit und des Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI) in Sauenställen und deren Effekt auf die tierischen Leistungen.

In §22 der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (BMELV, 2009) ist eine Vorrichtung zur „Verminderung der Wärmebelastung der Schweine bei hohen Stalllufttemperaturen“ gefordert. Ab wann eine Wärmebelastung der Tiere vorliegt wird darin nicht definiert. Zudem wird nur die Lufttemperatur berücksichtigt, welche alleine die klimatische Umwelt von Tieren nur unzureichend beschreibt (Nardone et al., 2006).

Im Zuge des Klimawandels wird sich das Klima in Deutschland verändern. Dabei ist mit einem kontinuierlichen Anstieg der Temperatur zu rechnen. Zusätzlich werden vermehrt Extremwetterereignisse, und zwar vor allem Extremtemperaturen und Hitzewellen zu Leistungseinbußen in der Ferkelerzeugung führen (Klein Tank und Können, 2003). In der Rinder- und Milchviehhaltung ist das Problem des Klimaeinflusses auf die Leistung und Gesundheit der Tiere bereits erkannt worden. Aus den USA, Israel und Südafrika aber auch Deutschland (Brügemann et al. 2012; Sanker et al. 2013) sind Einbußen in der Milchleistung sowie im Extremfall Todesfälle durch Hitzewellen beschrieben. Aber auch Sauen, die in klimatisierten Ställen gehalten werden, können durch Hitzewellen in den Sommermonaten in ihren Leistungen beeinträchtigt werden. Das früher als „Sommerloch“ oder „Ackervirus“ bekannte Phänomen ist nicht mehr alleine durch die Abwesenheit des Stallpersonals in den Sommermonaten zu erklären. Da Schweine nicht schwitzen können, sind sie sehr empfindlich gegenüber ihrer klimatischen Umwelt. Mehrere Studien haben sich mit den Effekten von hohen Temperaturen auf die Fruchtbarkeitsleistungen von Sauen beschäftigt. Viele, vor allem der älteren Studien, haben sich dabei auf die Auswirkungen kontinuierlich hoher Temperaturen in Klimakammern auf die Tiere konzentriert (Edwards et al. 1968; Omtvedt et al. 1971). Andere Studien wurden unter tropischen und subtropischen Bedingungen durchgeführt, welche mit den

moderaten klimatischen Bedingungen in Deutschland nicht vergleichbar sind (u.a. Suriyasomboon et al. 2006). Eine Beurteilung von auftretendem Hitzestress ist dadurch sehr schwierig und eine Übertragbarkeit auf die praktischen Bedingungen in Deutschland nicht gegeben.

Unter Berücksichtigung der gesteigerten Fruchtbarkeitsleistungen im letzten Jahrzehnt, welche auch zu einer Erhöhung der metabolischen Wärmeproduktion der Tiere führte, ist Hitzestress auch unter moderaten Klimabedingungen zu erwarten (Fuquay, 1981).

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die klimatischen Bedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI)) in Sauenställen in Norddeutschland zu beschreiben und die Auswirkungen auf die Fruchtbarkeitsleistungen der Sauen zu untersuchen. Anhand dieser Daten sollten Hitzestresseffekte aufgezeigt und Handlungsstrategien sowie eventuell bevorzugte Systeme identifiziert werden.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Bedeutung der Schweine- und Zuchtsauenhaltung in Deutschland

Die Schweinehaltung in Deutschland ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung für den landwirtschaftlichen Sektor. Innerhalb der EU wurden 2010 in Deutschland mit 6,4 Millionen Vieheinheiten die meisten Schweine gehalten. Spanien liegt mit 6,2 Millionen Vieheinheiten an zweiter Stelle, gefolgt von Polen mit 3,7 Millionen (Eurostat, 2012).

Die Zahl der Zuchtsauen hat in den letzten 10 Jahren in Deutschland um etwa 14% abgenommen. Die Zahl der Zuchtsauenhalter sank dagegen von 85.800 im Jahr 2001 auf 20.815 im Jahr 2010 um 76% (ZMP 2003 - 2007; Destatis 2011). Somit nimmt die Bestandsgröße kontinuierlich zu. Abbildung 1 gibt einen Überblick über den Sauenbestand und die Anzahl der Sauenhalter.

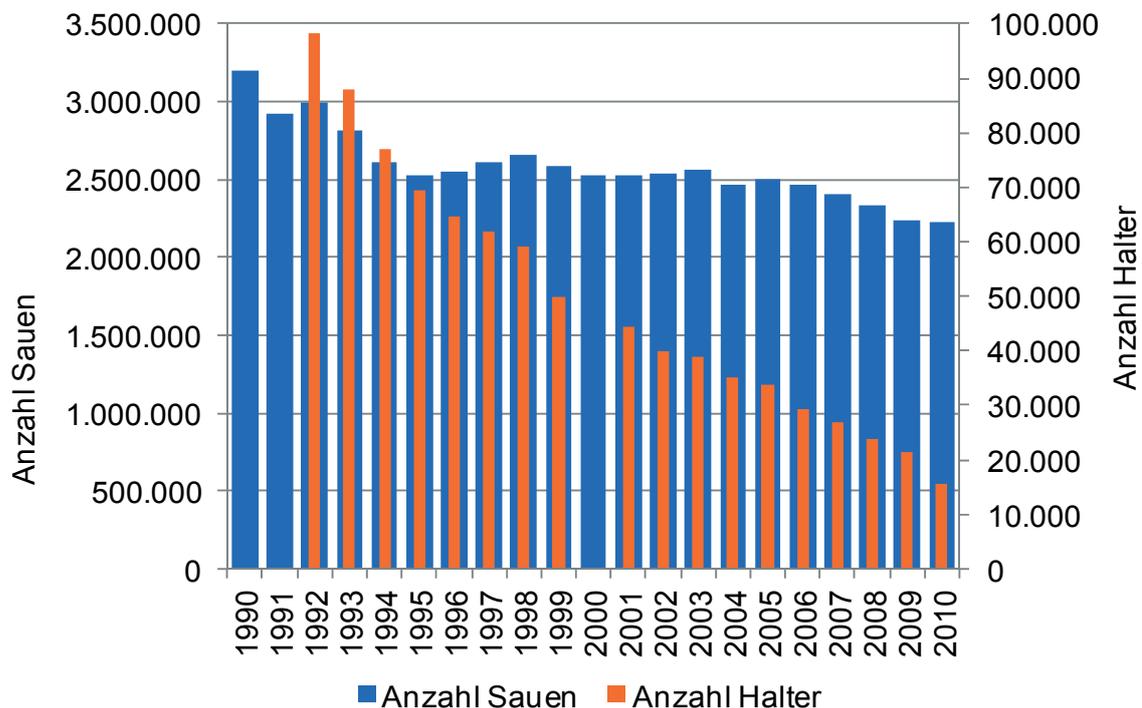


Abbildung 1: Anzahl der Sauen und Anzahl der Sauenhalter in Deutschland von 1990 bis 2010.

Für eine exakte Vergleichbarkeit der Tierzahlen ist die Art der Datenaufnahme aber von entscheidender Bedeutung. Bis zum Jahr 1998 sind bei der Viehzählung im Schweinebereich alle Betriebe ab 8 Schweinen und einer landwirtschaftlich genutzten Fläche von 1 ha erfasst worden. Ab 1999 wurde die Erfassungsgrenze geändert, in dem zwar weiterhin alle Betriebe mit mindestens 8 Schweinen gezählt wurden, aber mindestens 2 ha landwirtschaftlich genutzte Fläche vorhanden sein musste. Weiterhin wurde ab dem 3. Mai 2010 die Erfassungsgrenze für Schweinehaltende Betriebe auf 50 Schweine oder 10 Zuchtsauen angehoben. Dadurch sind die Betriebszahlen in den Jahren der Umstellung der Erfassungsgrenzen nicht mit den vorhergehenden Jahren vergleichbar, geben aber einen Eindruck von der Abnahme der Anzahl der Betriebe.

Sowohl die Verteilung der Bestände als auch die durchschnittliche Bestandsgröße sind sehr stark regional geprägt. Während im Nordwesten die Schweinedichte am höchsten ist, nimmt die Dichte der Schweinehaltung nach Osten und Süden ab. Die durchschnittliche Dichte an Schweinen betrug in Deutschland 165 pro 100 ha im Jahr 2010. In Niedersachsen lag sie durchschnittlich bei 327 Schweinen / 100 ha mit der höchsten Dichte an Schweinen im Landkreis Vechta (1.674 / 100 ha), siehe Abbildung 2.

**Anzahl Schweine je 100 Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche 2010 in einem Raster mit 5 km Weite**

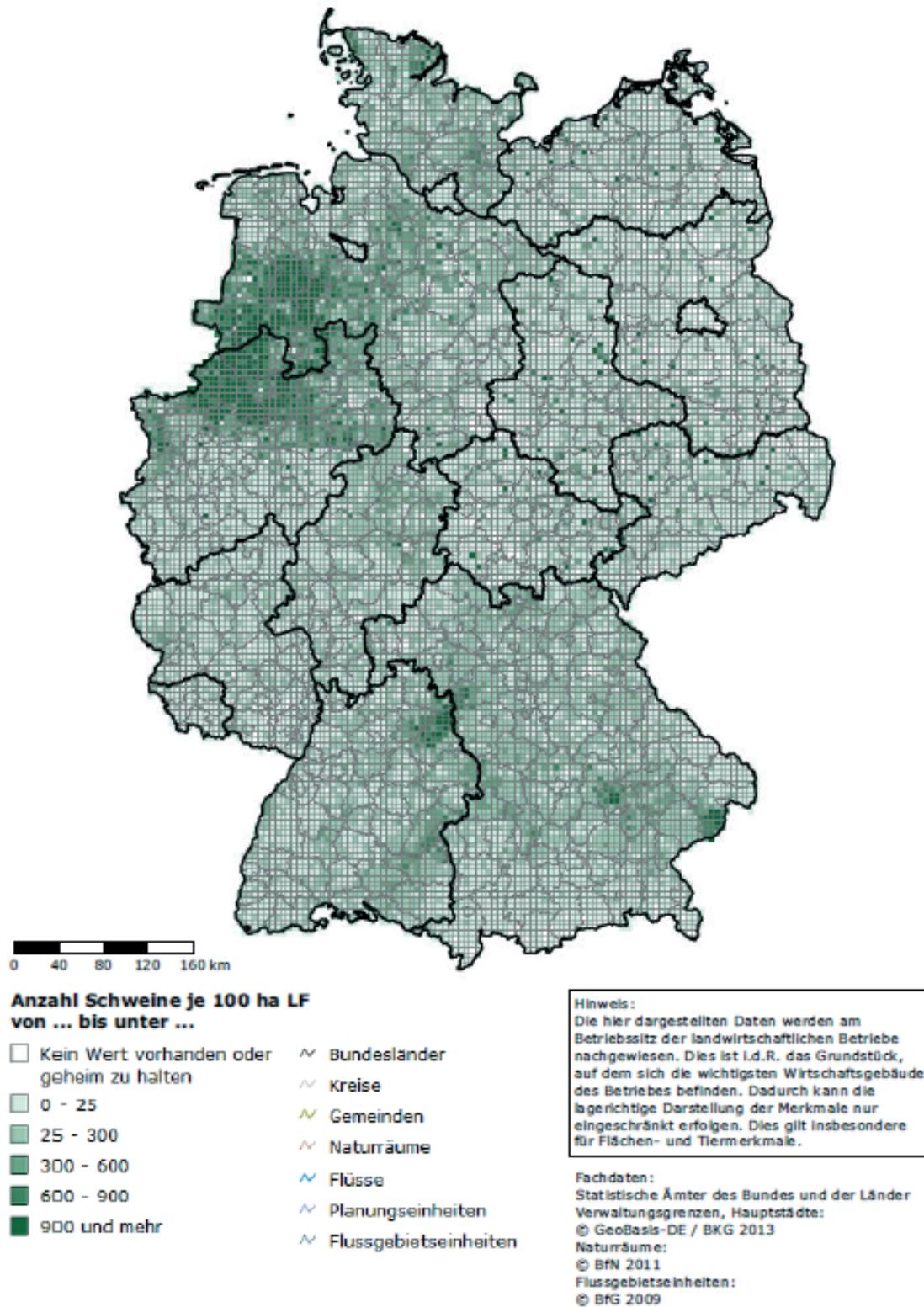


Abbildung 2: Anzahl Schweine pro 100 ha landwirtschaftlich genutzter Fläche in den Landkreisen in Deutschland (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2013)

## **2.2 Fruchtbarkeitskennzahlen in der Ferkelerzeugung**

In der vorliegenden Arbeit liegt ein Schwerpunkt auf der Analyse des Klimaeinflusses auf Fruchtbarkeitsparameter. Im Folgenden werden die in der Arbeit verwendeten Fruchtbarkeitsmerkmale gesamt geborene Ferkel, lebend und tot geborene Ferkel, abgesetzte Ferkel und Saugferkelverluste beschrieben.

### **2.2.1 Insgesamt, lebend und tot geborene Ferkel**

Die Zahl der insgesamt geborenen Ferkel berücksichtigt alle voll entwickelten geborenen Früchte, unabhängig ob lebend oder tot und ist eine Kennzahl der Wurfleistung von einzelnen Sauen oder Sauenherden (Wähner und Hoy, 2009). Dabei spielen für die Anzahl der insgesamt geborenen Ferkel neben der Ovulationsrate, der Konzeptionsrate, der Spermaqualität und des richtigen Besamungszeitpunkts sowie der embryonalen Mortalität viele weitere Faktoren eine wichtige Rolle (Reiner, 2006). Beim Schwein liegt die physiologische embryonale Mortalität bei 25 – 30%, was durch die Ovulationsrate bestimmt ist (Perry und Rowlands, 1962; Lambert et al., 1991). Je höher die Ovulationsrate, desto höher die embryonale Mortalität um die Anzahl der Früchte auf die für das Schwein typische Anzahl zu reduzieren. Die embryonale Sterblichkeit kann durch ungünstige Umweltbedingungen ansteigen und zu geringeren Wurfgrößen führen (Schnurrbusch, 2006). Von ökonomischer Bedeutung sind die Anzahl lebend geborenen Ferkel sowie die Anzahl abgesetzter Ferkel (Reiner, 2006). Nach Auswertungen der Landwirtschaftskammer Niedersachsen lag die Anzahl der lebend geborenen Ferkel pro Sau und Jahr 2010/11 bei durchschnittlich 30,4 Ferkeln, bei den 25% besten Betrieben bei 32,1. Verschleppte Geburten und Schweregeburten führen zu einer Erhöhung der Zahl tot geborener Ferkel (Schnurrbusch, 2006). Als tot geborene Ferkel werden während der Geburt gestorbene, sowie kurz vor und nach der Geburt verendete Ferkel bezeichnet. Bei Würfen normaler Größe sollten 0,7 tot geborene Ferkel pro Wurf nicht überschritten werden (Schnurrbusch, 2006). Nach einer Zusammenstellung von Leman et al. (1979) machen antepartale und intrapartale Todesfälle einen Anteil von knapp 27% an den Ferkelverlusten insgesamt aus. Berücksichtigt werden muss, dass aufgrund niedrigerer Geburtsgewichte die Anzahl lebend geborener Ferkel und die Anzahl abgesetzter Ferkel negativ korreliert sind (Reiner, 2006). Die Remontierung über alle Betriebe betrug 42% (LWK Niedersachsen, 2012). Im Durchschnitt liegt die Nutzungsdauer

von Sauen bei 5 Würfen, wobei als Hauptabgangsursachen die Fruchtbarkeit, der Bewegungsapparat und Todesfälle genannt werden (Balogh et al., 2007)

### **2.2.2 Saugferkelverluste**

Der Anteil der vor dem Absetzen verendeten und gemerzten Ferkel an der Anzahl lebend geborener Ferkel wird als Ferkelverluste bezeichnet (Schnurrbusch, 2006). Dabei sind die Ferkelverluste sowohl vom Geburtsgewicht, als auch von Geburtsreihenfolge, der Anzahl an Würfen, dem Zeitpunkt der Kolostrumaufnahme und der Umwelt abhängig (Stephens und Start, 1970). Die meisten Saugferkelverluste treten in den ersten 3 Tagen *post partum* auf und sind auf Erdrücken, Kümern und Lebensschwäche zurückzuführen. Missbildungen und Spreizer sowie infektiöse Ursachen wie Durchfall führen ebenfalls zu vermehrten Ferkelverlusten (Hoy et al., 2006). In der Studie von Quiniou et al. (2002) traten 75% der Saugferkelverluste in den ersten 7 Tagen nach der Geburt auf. Die Umgebungstemperatur und ausreichende Wärme im Ferkelnest spielen eine entscheidende Rolle in den ersten Lebenstagen. Die neugeborenen Ferkel haben eine untere kritische Temperatur von 33°C (Bianca, 1976). Niedrige Temperaturen oder ein zu spätes Erreichen des Ferkelneests führen zu Hypothermie und Hypoglykämie bei den neugeborenen Ferkeln, was letztendlich zu verminderter passiver Immunisierung durch verspätete Kolostrumaufnahme und Energiemangel führt. Die mittleren Saugferkelverluste in Niedersachsen lagen nach Auswertungen der Landwirtschaftskammer (LWK) Niedersachsen im Jahr 2010 bei 14,4% (LWK Niedersachsen 2012).

### **2.2.3 Abgesetzte Ferkel**

Die Anzahl abgesetzter Ferkel ist das für die Wirtschaftlichkeit von Sauenbetrieben entscheidende Merkmal (Reiner, 2006; Wehrkamp zu Höne, 2007). Die Anzahl abgesetzter Ferkel pro Wurf ist eine Funktion aus der Anzahl lebend geborener Ferkel, der Anzahl lebensfähiger Ferkel und den Saugferkelverlusten (Gill, 2007). Den größten Einfluss auf diese Zielgröße hat die genetische Selektion der Sauen auf lebend geborene Ferkel. Auf Betriebsebene liegt das größte Potential bei der Verminderung der Verluste. Die Anzahl der abgesetzten Ferkel pro Sau und Jahr lag nach Angaben der Betriebszweigsauswertung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2010/11 bei durchschnittlich 26. Die 25% besten Betriebe kamen auf 27,8 abgesetzte Ferkel pro Sau und Jahr.

## 2.3 Klimawandel in Deutschland

Das Klima ist der Antrieb der landwirtschaftlichen Produktivität (Adams et al., 1998). Dadurch erlangt die Landwirtschaft als der Hauptversorger der Menschheit mit Nahrungsmitteln einen hohen Stellenwert vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels (Adams et al., 1998). Der Anstieg der Durchschnittstemperatur innerhalb des letzten Jahrhunderts betrug  $0,95^{\circ}\text{C}$  in Europa und Deutschland mit einem deutlichen Anstieg der Temperatur in den Wintermonaten von bis zu  $2,3^{\circ}\text{C}$  und im Frühjahr von  $1,3^{\circ}\text{C}$  (EEA, 2010). Auch die Anzahl der Sommertage, definiert durch Temperaturen über  $25^{\circ}\text{C}$ , hat zugenommen sowie die Wahrscheinlichkeit für Hitzetage (Temperaturen über  $30^{\circ}\text{C}$ ) und Hitzewellen, welche definiert sind als ein „Zeitintervall von mehr als 3 Tagen in denen die Tagesmaxima über einer, bezogen auf das stationsabhängige Temperaturniveau hohen oberen Schwelle liegen“ (Schaller und Weigel, 2007). Die Eintrittswahrscheinlichkeit für einen heißen Sommer hat sich seit den 70er Jahren verzwanzigfacht (Schönwiese et al., 2004). Laut dem Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) liegt der berechnete Anstieg der Temperatur bis zum Jahr 2100 bei  $2,5 - 3,5^{\circ}\text{C}$  im Vergleich zur Referenzperiode von 1961 bis 1990 (Umwelt Bundesamt, 2006). Insgesamt wird eine Zunahme von Hitzewellen prognostiziert (IPCC, 2007).

Der Klimawandel wirkt sich auf mehreren Ebenen auf Nutztiere aus. Zum einen werden direkte Einflüsse von erhöhten Temperaturen und Hitzewellen auf das Tier in Form von verringerter Futteraufnahme und Kreislaufbelastung beobachtet. Zum anderen treten indirekte Effekte durch die Abnahme von Qualität und Quantität des Futters oder durch die Zunahme von Parasiten und das Überleben von Vektoren und Pathogenen auf (Adams et al., 1998; Turnpenny et al., 2007; Schaller und Weigel, 2007). Ein simulierter Temperaturanstieg von  $1,5^{\circ}\text{C}$  nach dem Basis Szenario 92a der IPCC (IPCC, 1992) führte in der Studie von Turnpenny et al. (2007) zu einem Anstieg der Stunden mit Hitzestress um 20% bei gleichzeitiger Erhöhung der Energie zur Belüftung um 10% bei Mastschweinen im Jahr 2050 in Großbritannien. Insgesamt waren die modellierten Einflüsse auf die Produktivität und damit die Ökonomie in dieser Studie aber gering. St-Pierre et al. (2003) fanden dagegen in ihren Untersuchungen massive ökonomische Auswirkungen durch Hitzestress auf Schweine in den USA. Monatliche Temperaturmittel- und -maxima von Wetterstationen für 48 Staaten wurden herangezogen. Daraus wurde die Anzahl an

Leertagen bei Sauen unter Hitzestressbedingungen und minimaler Hitzebekämpfung für den jeweiligen Staat geschätzt. Der finanzielle Schaden, trotz Kühlung, lag auf nationaler Ebene bei geschätzten 97 – 113 Millionen \$ jährlich nur durch Leertage von Sauen. Der Klimaeinfluss auf die Schweine ist indirekt. Hohe Stalltemperaturen in den Sommermonaten sind in der Literatur beschrieben (Haeussermann et al., 2007; Hessel et al., 2010; Seedorf et al., 1998) und können zu Hitzestress bei den Schweinen führen, was sich negativ auf die Produktivität der Tiere auswirkt. Vor allem regionale Anpassungen an das sich verändernde Klima sind wichtig (Gauly et al., 2013).

## **2.4 Thermoregulation beim Schwein**

Der Begriff Thermoregulation bezeichnet die Möglichkeit eines Tieres die Körperkerntemperatur aufrecht zu erhalten (Fuquay, 1981).

Die Thermoregulation homoiothermer Tiere funktioniert durch die Balance aus Wärmebildung und Wärmeabgabe (Fuquay, 1981), wie in Abbildung 3 dargestellt. Dabei kann ein Tier sowohl durch den eigenen Metabolismus, als auch durch die Umwelt Wärme aufnehmen und abgeben. Der Wärmegewinn aus dem Metabolismus ist umso größer, je höher die Stoffwechselrate ist (Fuquay, 1981). Wärmeabgabe erfolgt über die Nebenprodukte des Stoffwechsels, durch Absetzen von Harn und Kot und die Abgabe von Milch. Der größte Anteil wird aber an die Umwelt abgegeben.

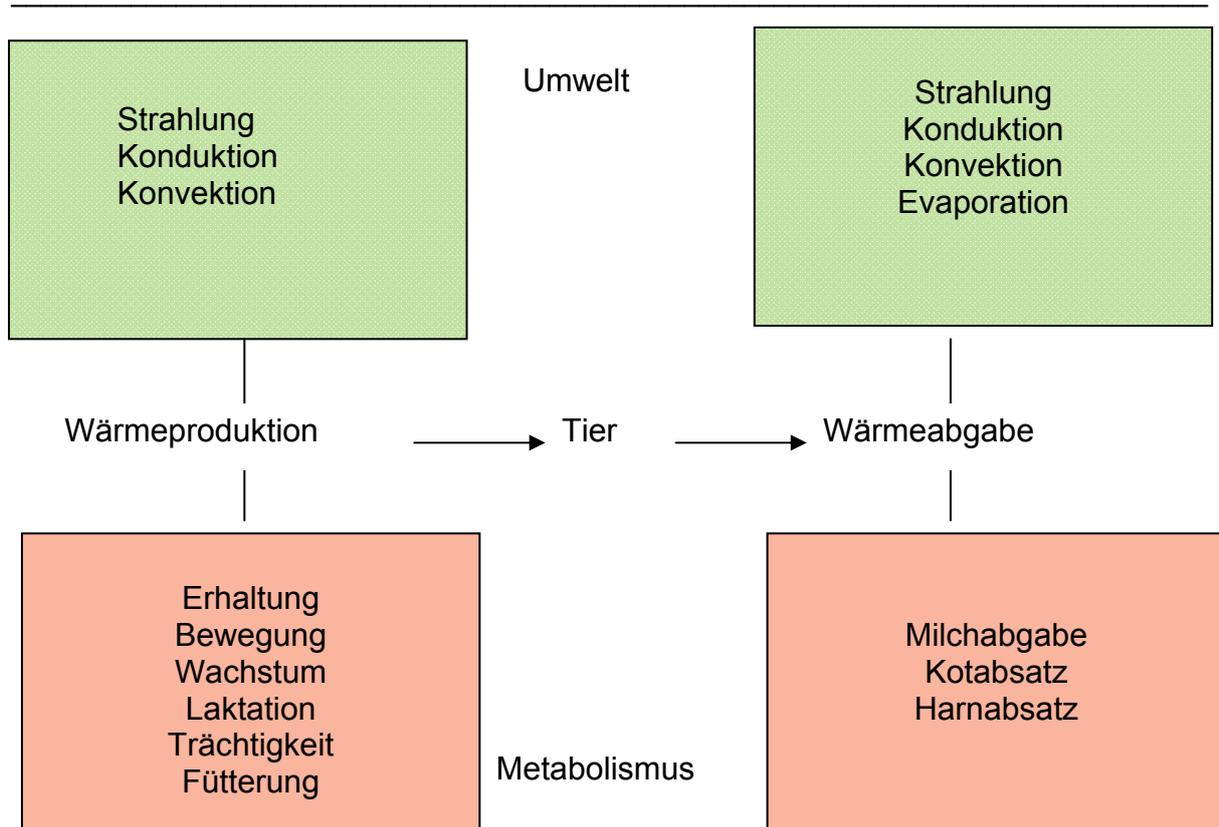


Abbildung 3: Mechanismen der Wärmeproduktion und der Wärmeabgabe durch Metabolismus und Umwelt (mod. nach Fuquay, 1981)

### 2.4.1 Thermoneutrale Zone

Homoiotherme Tiere können sich an ihre Umgebung durch Thermoregulation anpassen. Innerhalb der thermoneutralen Zone ist der Energieaufwand zur Aufrechterhaltung der Körpertemperatur minimal und von der Umgebungstemperatur unabhängig (Nardone et al., 2006; Monteith und Mount, 1974). Das Zusammenspiel von Thermoregulation und Umgebungstemperatur ist sehr komplex. In Abbildung 4 ist das von Bianca (1976) publizierte Modell der kritischen Temperaturen und Zonen dargestellt. Die thermoneutrale Zone wird von der oberen (A) und unteren (B) kritischen Temperatur begrenzt. Wird diese unterschritten, muss durch Wärmeproduktion die Körperkerntemperatur aufrechterhalten werden, das Tier erfährt Kältestress. Wird eine bestimmte Temperatur unterschritten, kann die Wärmeproduktion die Körperkerntemperatur nicht mehr aufrechterhalten. Das Tier rutscht in die Zone der Hypothermie, die ohne Änderung der Umgebung im Kältetod endet. Innerhalb der Zone der Homoiothermie ist die Körperkerntemperatur konstant. Bei Überschreitung der homoiothermen Zone steigt die Körperkerntemperatur an. Es kommt zur Hyperthermie und letztendlich zum Hitzetod.

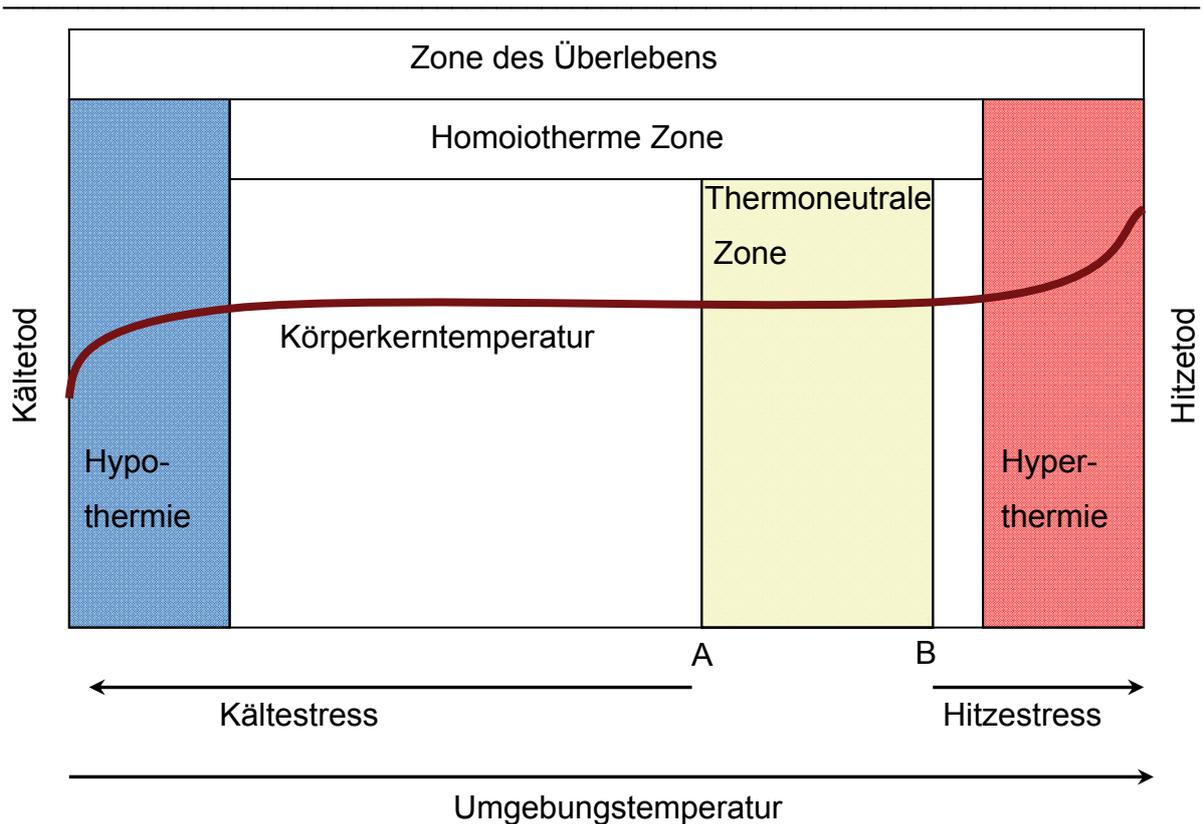


Abbildung 4: Kritische Temperaturen und Zonen (mod. nach Bianca 1976)

Jede Tierart, Rasse und Altersgruppe hat ihre eigene thermoneutrale Zone (Nardone et al., 2006). Bei der laktierenden Sau liegt die Komfortzone nach Black (1993) bei 12 bis 22°C. Nach aktuellen Ergebnissen von Bloemhof et al. (2013) liegt die obere kritische Temperatur für die Wurfgröße bei 21,7°C und für die Abferkelrate bei 19,2°C. Wie in Abbildung 4 erkennbar ist, ist die Anpassungsfähigkeit des Organismus an Kälte wesentlich größer als an Hitze. Während die Differenz zwischen normaler und letaler Körpertemperatur bei Kälte zwischen 15 bis 25°C liegt, beträgt die Differenz bei Wärme nur zwischen 3 und 6°C (Bianca, 1976). Zudem sind alle Produktionsfaktoren, wie tägliche Zunahmen und hohe Milchleistung mit hohen metabolischen Raten verknüpft, was der Kältetoleranz zuträglich ist. Zusätzliche Futteraufnahme führt zu mehr Wärmeproduktion durch den Prozess der Futteraufnahme, die Verdauung und die Absorption der Nährstoffe (Brown-Brandl et al., 2004).

Außerhalb der thermoneutralen Zone muss das Tier Energie aufbringen, um seine Körpertemperatur aufrecht zu erhalten. Diese Energie steht dann nicht mehr für Produktionsprozesse wie Milch- und Fleischbildung zur Verfügung (Bianca, 1976).

## **2.4.2 Anpassung an die Umgebungstemperatur**

Wärmeaustausch mit der Umgebung kann über 4 mögliche Wege erfolgen: Konduktion, Konvektion, Radiation und Evaporation (Mount, 1975). Dabei setzen Konduktion, Konvektion und Radiation ein Temperaturgefälle voraus und werden als sensible Wärmeabgabe bezeichnet. Die Evaporation wird als latente Wärmeabgabe bezeichnet. McArthur (1987) formulierte analog zum Ohmschen Gesetz, dass der Übergang von latenter oder sensibler Wärme zwischen zwei parallelen Oberflächen als die Temperaturdifferenz dividiert durch den Widerstand ausgedrückt werden kann. Dabei ist der Widerstand für die Geschwindigkeit der Wärmeübertragung verantwortlich (Kelly et al., 1954). Je höher die Umgebungstemperatur, desto geringer ist die Wärmeübertragung vom Tier an die Umgebung. Die Thermoregulation durch Wasserverdunstung über die Haut ist beim Schwein nur in geringem Maße möglich und trägt nicht zur Kühlung bei (Ingram, 1967). Ab 24°C ist die Evaporation über die Lunge die wichtigste Quelle der Wärmeabgabe für Schweine (Kelly et al., 1954).

### *2.4.2.1 Konduktion*

Konduktion beschreibt den Wärmefluss von einem Objekt zum anderen durch Wärmeleitung. Schweine können durch Konduktion Wärme an die Liegefläche oder an andere Tiere abgeben. Liegende Schweine haben mit 20% ihrer Körperoberfläche Kontakt zur Liegefläche (Kelly et al., 1954) daher hängt der Wärmeaustausch mit dem Boden von der Temperatur des Bodens und der Leitfähigkeit ab (Fialho et al., 2004). Die Wärmeabgabe an die Umgebung kann innerhalb einer gewissen Spannweite durch Vasodilatation und Vasokonstriktion geregelt werden (Fialho et al., 2004).

### *2.4.2.2 Konvektion*

Die Übertragung von Wärme von der Körperoberfläche an die Umgebungsluft wird Konvektion genannt (Turnpenny et al., 2000). Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit führt zu einer Erhöhung des Wärmeverlusts über Konvektion (Close, 2000; Mount, 1975). Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um 5cm/s hat einem Abfall der gefühlten Temperatur um 1°C zur Folge (Close et al., 1981). Konvektion hat einen positiven Effekt bei hohen Temperaturen, allerdings reagieren Schweine empfindlich auf Zugluft.

#### *2.4.2.3 Radiation*

Wärmeabgabe über Wärmestrahlung wird als Radiation bezeichnet. Sie ist umso effektiver, je größer die Temperaturdifferenz zwischen der wärmeabgebenden und der wärmeaufnehmenden Oberfläche ist. Im Idealfall ist bei hohen Stalltemperaturen ein Übergang der Wärme vom Tier auf die Liegefläche möglich. Ein Auskühlen des Tieres durch zu hohe Wärmeabgabe muss aber verhindert werden (DLG, 2002).

#### *2.4.2.4 Evaporation*

Die Wärmeabgabe durch Evaporation erfolgt durch eine gesteigerte Totraumventilation durch Erhöhung der Atemfrequenz (Georgiev, 1972). Ab einer Umgebungstemperatur von 24°C nimmt nach Kelly et al. (1954) die Wärmeabgabe durch Evaporation zu. Beginnt das Tier mit Wärmehecheln, kann es die Körpertemperatur noch während eines Temperaturanstiegs von 3 – 4°C konstant halten, bis die Körpertemperatur ansteigt (Huynh et al., 2005). Allerdings ist das Wärmehecheln, unter anderem durch die daraus resultierende alveoläre Hyperventilation, der Widerstandsfähigkeit des Organismus gegenüber Hitzestress nicht zuträglich (Georgiev, 1972).

Abbildung 5 beschreibt das Zusammenspiel der Möglichkeiten der Wärmeabgabe beim Schwein bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen. Mit zunehmender Umgebungstemperatur wird die latente Wärmeabgabe wichtiger, die sensible Wärmeabgabe nimmt ab.

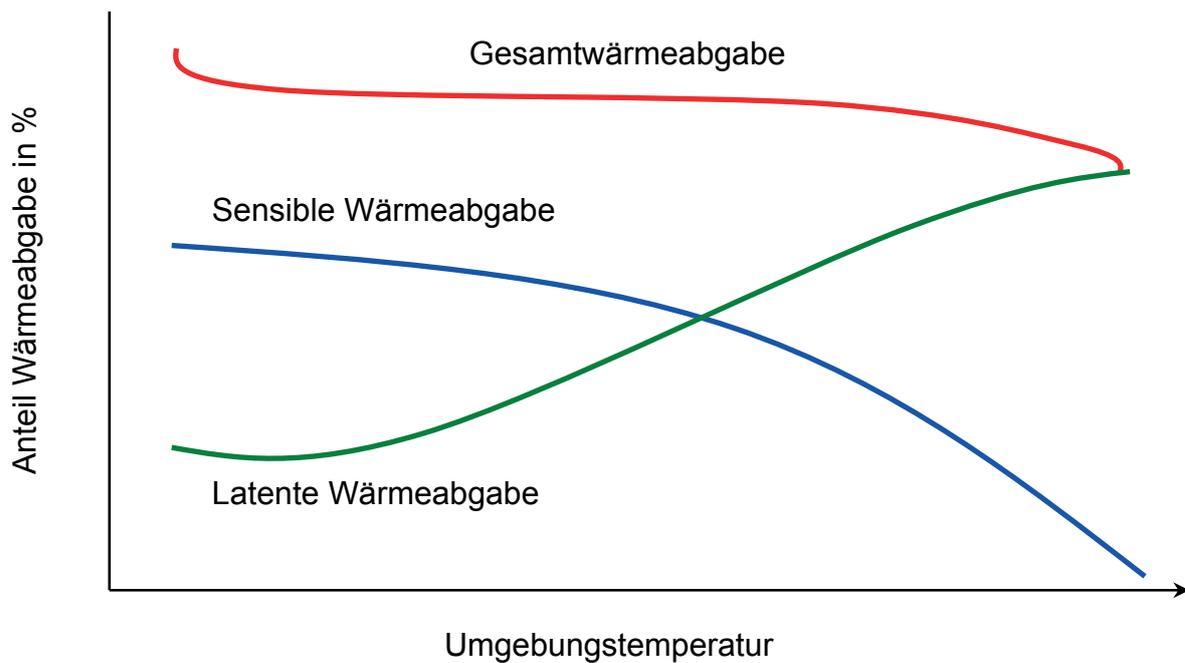


Abbildung 5: Modell der Wärmeabgabe beim Schwein bei unterschiedlichen Umgebungstemperaturen (mod. nach Kelly et al., 1954)

### 2.4.3 Klimatische Stresssituation

Stress ist eine biologische Reaktion eines Lebewesens auf ein Ereignis das als Gefährdung der Homöostase angesehen wird (Moberg und Mench, 2000). Es ist bekannt, dass Stress einen negativen Effekt auf die Reproduktion beim Schwein hat (Razdan et al., 2004).

Hitzestress beginnt mit der Überschreitung der oberen kritischen Temperatur der thermoneutralen Zone (Bianca, 1976; Bloemhof et al., 2008) und beeinflusst die Produktivität und die Reproduktion von Nutztieren (Bianca, 1976; Fuquay, 1981). Hitzestress führt beim Schwein zunächst zu einer Erhöhung der Atemfrequenz und damit zur Steigerung der Evaporation (Heitman und Hughes, 1949; Georgiev, 1972; Johnston et al., 1999; Brown-Brandl et al., 2001). Mit steigender Temperatur sinkt die freiwillige Futteraufnahme von Schweinen (Heitman und Hughes, 1949; Black et al., 1993; Barb et al., 1991; Azain et al., 1996; Prunier et al., 1997; Edwards et al., 1968; Huynh et al., 2005; Johnston et al., 1999). Besonders bei laktierenden Sauen ist eine unzureichende Futteraufnahme problematisch, da die Sau in diesem Fall eigene Körperreserven zur Sicherstellung der Milchbildung mobilisiert (Black et al., 1993). Physiologisch ist die Futterreduktion durch eine Reduktion der metabolischen

Wärmebildung zu erklären. Die Futteraufnahme fällt initial bei hohen Temperaturen ab, steigt aber nach einer Adaptationsphase wieder an (Black et al., 1993).

## **2.5 Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf Schweine**

Die Kontrolle der Temperatur und Luftfeuchtigkeit spielt eine wichtige Rolle in Bezug auf das Wohlbefinden und die Produktivität von Schweinen (Brown-Brandl et al., 2004; Close, 2000).

### **2.5.1 Die optimale Haltungsumgebung**

Unter natürlichen Bedingungen können Schweine ihre Umwelt selbst bestimmen, durch Anpassungen in der Futteraufnahme, Aktivität, Verhalten und Aufsuchen von Mikroklimata (Bianca, 1976; Close, 2000). In der modernen Schweinehaltung sind durch unstrukturierte Haltungsbedingungen und zum Teil Einzelhaltungen keine Wahlmöglichkeiten für die Schweine gegeben (Bianca, 1976). Die Lufttemperatur alleine beschreibt den Einfluss der Umgebung auf die Wärmebilanz des Tieres nur unzureichend (Nardone et al., 2006). Die Luftgeschwindigkeit, Radiation, Luftfeuchtigkeit und die Bodengestaltung haben einen großen Einfluss auf die Wärmebilanz von homoiothermen Tieren (McArthur 1987; Close 2000).

#### *2.5.1.1 Lufttemperatur*

Die Thermoneutrale Zone ist wie oben genannt von vielen Faktoren abhängig. Bei der Sau spielt das Gewicht und der Produktionsstatus eine Rolle. Nach DIN 18910-1 wird für Jungsaugen, leere und niedertragende Sauen über 50 kg ein optimaler Lufttemperaturbereich von 10 bis 18°C angegeben und für ferkelführende Sauen ein Bereich von 12 – 20°C (KTBL, 2009). Als kritisch ist der hohe Wärmebedarf neugeborener Ferkel mit einem optimalen Temperaturbereich von 32°C (KTBL, 2009) beziehungsweise 30 – 37°C (Black et al., 1993) zu sehen. Die Differenz zwischen optimalem Temperaturbereich der Sau und dem der Ferkel ist sehr hoch. Dies kann zu Hitzestress bei der Sau führen (Black et al., 1993) und bedarf eines guten Managements.

### *2.5.1.2 Luftgeschwindigkeit*

Der Luftaustausch in geschlossenen Ställen ist wichtig für die Aufrechterhaltung der Luftfeuchtigkeit, der Temperatur und der Luftqualität und damit für optimale Produktionsbedingungen (Clark et al. 1984).

Eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit führt zu einer Erhöhung des Wärmeverlusts über Konvektion (Close 2000; Mount 1975). Die Luftgeschwindigkeit wird durch die Lüftungsrate und die Gestaltung der Luftzufuhr geregelt (Boon, 1978). Während Lüftungsdecken über Verdrängung der Luft arbeiten und eine diffuse Luftströmung bewirken, arbeiten Wand- und Kanalelemente als Düsen, die eine Umwälzung der Luft im Raum bewirken (DLG, 2002). Während bei den Strahl Lüftungssystemen die Gefahr von Zugluft besteht ist diese bei den Verdrängungslüftungen nicht vorhanden. Porendecken sind aber anfällig für Verschmutzung und werden dadurch in ihrer Funktion eingeschränkt.

### *2.5.1.3 Relative Luftfeuchtigkeit*

Schweine sind bei hohen Temperaturen auf Evaporation zur Wärmeabgabe angewiesen. Bei steigender Luftfeuchtigkeit wird die Wärmeabgabe durch Verdunstung erschwert, da die Differenz zwischen Wasserdampf der Lunge und der Umgebung kleiner wird. Heitman und Hughes (1949) stellten in ihrem Experiment einen deutlichen Einfluss der Luftfeuchtigkeit, bei einem Anstieg von 30 auf 96% bei gleicher Temperatur, auf die Atemfrequenz und die rektale Temperatur fest. Huynh et al. (2005) stellten einen Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die obere kritische Temperatur fest. Die obere kritische Temperatur sank mit zunehmender Luftfeuchtigkeit (von 50 auf 80%) von 23°C auf 21,3°C ab. Allerdings hat eine Erhöhung der Temperatur einen größeren Effekt als eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit auf Schweine (Huynh et al., 2005; Morrison et al., 1969). Die ideale Luftfeuchtigkeit hängt demnach von der Lufttemperatur ab (CIGR, 1984). Abbildung 8 zeigt die empfohlene Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Lufttemperatur. Die Luftfeuchtigkeit spielt vor allem im Winter eine Rolle, da die Lüftung nur auf einem Minimum läuft (Clark et al., 1984). Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit sollte vermieden werden, da es zu Tropfwasser und Schimmelpilzbildung führen kann (Sada und Reppo, 2009). Zu geringe Luftfeuchtigkeit führt dagegen zu Staubbildung und Austrocknung der mukösen Membranen der Atemwege.

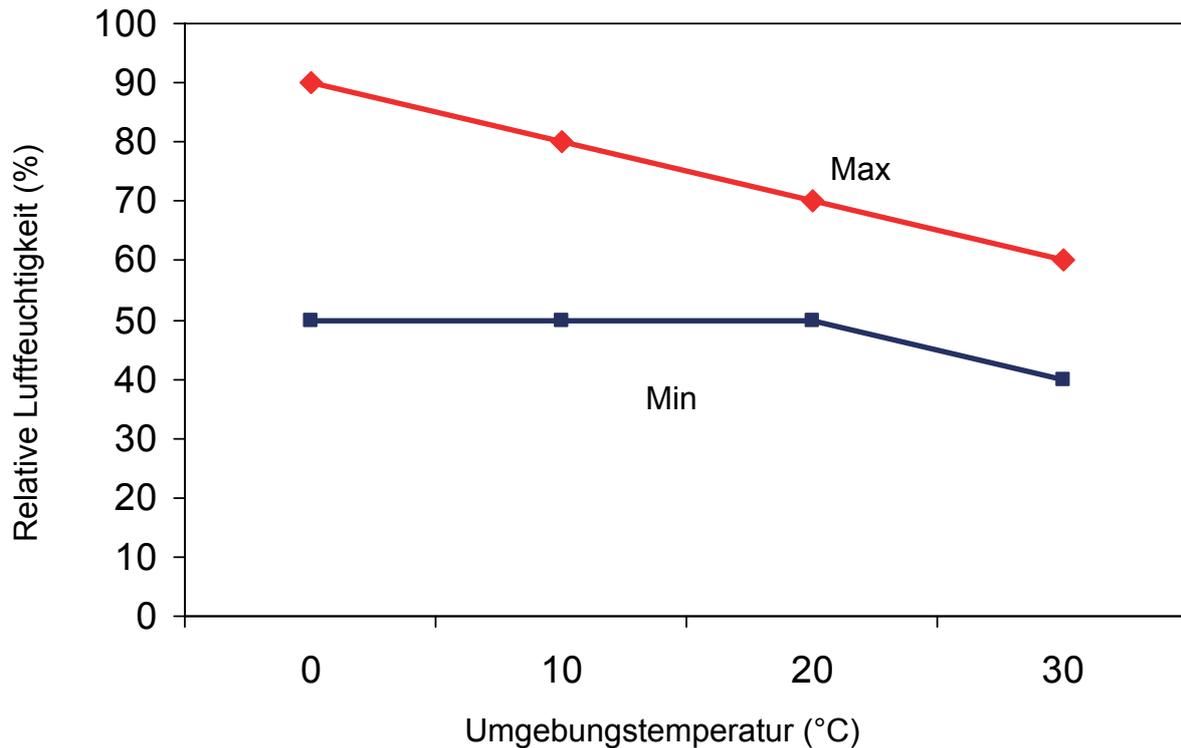


Abbildung 6: Empfohlene maximale und minimale relative Luftfeuchtigkeit in Stallgebäuden in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur (CIGR, 1984)

## 2.5.2 Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index

Wie bereits oben erwähnt, beschreibt die Lufttemperatur die klimatische Umwelt des Tieres nur ungenau (Close, 2000; McArthur, 1987; Nardone et al., 2006). Daher wurden von unterschiedlichen Autoren mehrere klimatische Faktoren zusammengefasst. Der Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI) ist der bekannteste Index (Dikmen und Hansen, 2009b). Ursprünglich wurde er von Thom (1959) entwickelt, um das Wohlbefinden beim Menschen durch Wettereinflüsse zu beschreiben. Während beim Menschen das Wohlbefinden im Vordergrund steht, spielt die Entwicklung von Temperaturindices beim Tier eine Rolle für die Produktivität und Gesundheit der Tiere (Hahn et al., 2009). Vor allem für Milchkühe stehen viele unterschiedliche THI Formeln zur Verfügung, wobei sich die Gewichtung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit je nach Autor und Klimazone verändert (Dikmen und Hansen, 2009). Nach Bohmanova et al. (2007) muss in Regionen mit hoher Luftfeuchtigkeit ein THI mit hoher Gewichtung der Luftfeuchtigkeit angewendet werden, wohingegen bei geringer Luftfeuchtigkeit die Gewichtung entsprechend

---

geringer ist. Demnach muss der gewählte THI der klimatischen Umgebung angepasst werden. Zu beachten ist, dass alle THIs nur Index-Werte ergeben und daher den Effekt der in der Formel verwendeten Variablen auf das Tier darstellen (Hahn et al., 2009). Des Weiteren stellen Temperatur-Indices nur mathematische Modelle dar, die die Komplexität der thermischen Umgebung des Tieres nie genau wiedergeben können. Grenzwerte zur Beurteilung des Ausmaßes eines Index auf das Tier sind daher notwendig (Hahn et al., 2009). Kategorien des THI wurden in Anlehnung an Eigenberg et al. (2005) eingeteilt in Normal THI <74, Vorsicht 75 – 78, Gefahr 79 – 83 und Notfall > 84.

Neben der Beurteilung des Index-Wertes spielt auch die Dauer der Einwirkung eine Rolle. Daher wurde die Dauer des Index-Wert oberhalb eines Grenzwertes als THI-Stunden Wert dargestellt (Hahn et al., 2009).

Für die Schweinehaltung wurde zunächst der WD-Index (wet-/dry-bulb index) von Roller und Goodman (1969; in: Hahn et al., 2009) entwickelt. Nach der Formel  $WD\text{-Index} = 0,75 T_{db} + 0,25 T_{wb}$  berechneten sie die Auswirkungen der Feuchtkugeltemperatur und der Trockenkugeltemperatur auf wachsende Mastschweine unter Berücksichtigung der Rektaltemperatur.

Sales et al. (2008) stellten den Klimaeinfluss auf die Reproduktion von Schweinen nach der Formel von Thom dar:  $THI = T_{db} + 0,36 \times T_{wb} + 41,5$ . Dabei wurde die Komfortzone für einen THI von <61 bis ≤ 65, die Zwischenzone von >65 bis ≤69 und die Stresszone von >69 bis ≤73 festgelegt. Von insgesamt 23 getesteten Variablen wurde ein Einfluss auf 7 Variablen festgestellt: Die meisten abgesetzten Ferkel pro Sau wurden in der Zwischenzone gefunden, Ferkelverluste waren in der Stresszone am höchsten, das durchschnittliche Wurfgewicht am 21. Tag war in der Stresszone am geringsten, das Durchschnittsgewicht pro abgesetztem Ferkel war am höchsten innerhalb der Komfortzone und auch die Anzahl der mumifizierten und totgeborenen Ferkel war in dieser Zone am geringsten. Die Abferkelrate war innerhalb der Zwischenzone am höchsten. Sie folgerten daraus, dass sich Sauen und Ferkel innerhalb der Komfortzone am wohlsten fühlten, aber für die Ferkel auch die Zwischenzone gut für die Produktivität ist und für Sauen noch erträglich. Die thermale Stresszone beeinflusst sowohl Sauen als auch Ferkel negativ. In einer süddeutschen Studie (Haeussermann et al., 2007) zum Kühleffekt von evaporativer Kühlung in Schweineställen wurde der THI nach der Formel des NWSCR (1976) berechnet:

$$THI = [(1,8 \times T) + 32] - [0,55(RH/100)] \times [((1,8T) + 32) - 58].$$

Die gleiche Formel wurde auch in einer Arbeit zur Beurteilung von „klimatischen Stresssituationen beim Schwein“ (Zurhake, 2010) genutzt. Insgesamt wird der THI für Schweine bisher nur sehr selten verwendet.

## **2.6 Auswirkungen thermischer Belastung auf Fruchtbarkeitsleistungen von Sauen**

Viele Studien haben den Einfluss von Temperatur auf die Fruchtbarkeit von Sauen untersucht. Vergleiche der Ergebnisse der Studien sind allerdings schwierig, da Unterschiede in der Saison, im Klima und der Genetik berücksichtigt werden müssen.

### **2.6.1 Zeitraum der Einwirkung von Hitzestress**

Neben der Einwirkungsdauer von Hitzestress und der Höhe der Temperatur spielt auch der Zeitraum eine Rolle. Edwards et al. (1968) fanden heraus, dass Hitzestress in den ersten 14 Tagen nach der Belegung bei Jungsauen zu vermehrten Embryoverlusten und verminderter Überlebensdauer der Embryonen führte. Omtvedt et al. (1971) fanden in ihren Untersuchungen den größten Temperatureinfluss bei hitzestressen Jungsauen zwischen 8 und 16 Tagen nach der Besamung und schlossen daraus, dass die kritische Phase für Hitzestress der Zeitraum der Implantation ist. Hitzestress zwischen dem 53. und 61. Tag hatte keinen Einfluss auf die Sauen (Omtvedt et al., 1971). Dagegen konnten in der letzten Phase der Trächtigkeit mehr tot geborene und weniger lebend geborene Ferkeln bei den hitzestressen Sauen festgestellt werden (Omtvedt et al., 1971). Aktuelle Ergebnisse von Bloemhof et al. (2013) zeigten den größten Einfluss hoher Temperaturen auf die Abferkelrate 21 bis 14 Tage vor der ersten Besamung. Dieser Zeitraum fällt mit dem vorhergehenden Zyklus bei Jungsauen und dem Beginn der Laktation bei Altsauen zusammen. Ein Einfluss der Temperatur auf die hormonelle Östrussteuerung ist hier naheliegend (Bloemhof et al., 2013). Ein negativer Einfluss hoher Temperaturen auf die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel wurde im Zeitraum von 7 Tagen vor erfolgreicher Besamung und 12 Tage nach Besamung festgestellt (Bloemhof et al., 2013). Dabei wurde der größte Einfluss am 10. Tag nach Besamung festgestellt. Dieser Tag stimmt mit dem Intervall zur Trächtigkeitserkennung und dem

Zeitpunkt der Implantation der Embryonen überein, was sich mit den Ergebnissen von Omtvedt et al. (1971) deckt.

### **2.6.2 Absetz-Östrus-Intervall**

Almond und Bilkei (2005) fanden in ihrer Untersuchung eine Verlängerung des Absetz-Östrus-Intervalls in Wochen mit Temperaturen über 35°C im Gegensatz zu Wochen mit Temperaturen unter 30°C. Eine Verlängerung des Absetz-Östrus-Intervalls um 4 Tage im Vergleich zwischen kühler und warmer Jahreszeit wurde in Kenia beobachtet (Boma und Bilkei, 2006). Stansbury et al. (1987) dagegen stellten in ihrem Experiment eine Verlängerung des Absetz-Östrus Intervall bei Umgebungstemperaturen von 18°C gegenüber Temperaturen von 25°C und 30°C fest. Auch in den Sommermonaten konnte keine Verzögerung des Zyklus festgestellt werden (Stansbury et al., 1987).

### **2.6.3 Umrauscher**

Eine Zunahme der regelmäßigen Umrauscher wird von Almond und Bilkei (2005) bei Temperaturperioden über 35°C beschrieben. Die Anzahl unregelmäßiger Umrauscher war nicht signifikant unterschiedlich. In einer Studie in Kenia wurden signifikant weniger regelmäßige Umrauscher in den kühleren Monaten gegenüber den heißen Monaten festgestellt (Boma und Bilkei, 2006). Dagegen konnten Suriyasomboon et al. (2006) in ihrer Studie keinen einheitlichen Einfluss von Temperatur und Luftfeuchtigkeit auf die Anzahl der Wiederbelegungen feststellen.

### **2.6.4 Wurfgröße, lebend und tot geborene Ferkel**

Eine deutliche Reduktion der Wurfgröße wurde in Wochen mit Temperaturen über 35°C gegenüber Wochen mit Temperaturen unter 30°C festgestellt (Almond und Bilkei, 2005). Neben der Wurfgröße hat Hitzestress auch einen negativen Effekt auf die Anzahl lebend geborener Ferkel und führt zu einer erhöhten Anzahl tot geborener Ferkel (Suriyasomboon et al., 2006). In ihrem Experiment wurde neben der Temperatur auch der Effekt der Luftfeuchtigkeit auf die Fruchtbarkeitsmerkmale getestet. Hohe relative Luftfeuchtigkeiten hatten einen negativen Effekt auf die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel und die Anzahl der lebend geborenen Ferkel (Suriyasomboon et al., 2006). Die Kombination aus Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit war nur schwach signifikant und spiegelte die einzelnen Ergebnisse

von Temperatur und Luftfeuchtigkeit wider (Suriyasomboon et al., 2006). Hochsignifikant wirkte sich aber der kombinierte Effekt von hoher Temperatur und hoher Luftfeuchtigkeit auf die Wurfgröße aus. Auch andere Autoren beschreiben eine Reduktion der Wurfgröße während der heißen Jahreszeiten (Boma und Bilkei, 2006). Johnston et al. (1999) fanden dagegen keinen Einfluss erhöhter Temperaturen (29°C) auf die Wurfgröße. Auch McGlone et al. (1988) und Prunier et al. (1997) fanden keinen Effekt der Temperatur auf die Wurfgröße. Auch auf die Anzahl der totgeborenen Ferkel konnte bei McGlone et al. (1988) kein Einfluss festgestellt werden. Die Lebensleistung der Sauen kann durch die verminderte Zahl lebend geborener und abgesetzter Ferkel stark verringert werden. Verlängerte Intervalle im Reproduktionszyklus reduzieren die Lebensleistung ebenfalls.

### **2.6.5 Milchleistung**

Eine reduzierte Milchleistung mit erhöhtem Gewichtsverlust während der Laktation bei Temperaturen oberhalb der thermoneutralen Zone wird von mehreren Autoren beschrieben (McGlone et al., 1988; Johnston et al., 1999; Renaudeau und Noblet, 2001; Bianca, 1976; Bloemhof et al., 2008). Wie im oberen Abschnitt bereits erwähnt hat Hitzestress einen negativen Effekt auf die Futteraufnahme. Um die Milchmenge aufrecht zu erhalten werden bei ungenügender Futteraufnahme Körperreserven mobilisiert. Neben der Verbesserung der Umwelt der Sauen wurden Fütterungsversuche zur Reduktion der überschüssigen Proteine durchgeführt, um die metabolische Wärmeproduktion zu minimieren (Johnston et al., 1999; Renaudeau und Noblet, 2001) und Futter mit hoher Energiedichte eingesetzt (McGlone et al., 1988). Aber die Fütterungsversuche hatten keinen signifikanten Einfluss auf die Reduktion von Hitzestress und das Körpergewicht. Die Absetzgewichte von Würfen mit reduziertem Proteingehalt im Futter waren dagegen höher als bei Sauen, die das Standardfutter erhalten hatten (Johnston et al., 1999). Neben der verminderten Futteraufnahme diskutiert Black (1993) die Umverteilung des Blutflusses in die Haut zur Wärmeabgabe, sodass die Blutzufuhr zum Gesäuge reduziert ist. Aufgrund der Abhängigkeit der Ferkel von der Muttermilch hat eine geringere Milchleistung Auswirkungen auf die Entwicklung und das Wachstum der Ferkel (Close, 2000). McGlone et al. (1988) fanden einen positiven Effekt erhöhter Umgebungstemperaturen auf die Ferkelverluste. Dagegen waren die Zunahmen schlechter als unter thermoneutralen Bedingungen für die Sau. Geringere

Wurfgewichte unter Hitzestress werden auch von weiteren Autoren bestätigt (Renaudeau et al., 2001).

### **2.6.6 Ferkelverluste**

Wärmere Temperaturen führen zu verminderten Ferkelverlusten in einer Studie von McGlone et al. (1988). Dies wurde durch die höhere thermoneutrale Zone von Ferkeln gegenüber Sauen begründet. Stansbury et al. (1987) fanden in ihrer Studie um 7 – 8% verminderte Ferkelverluste bei Umgebungstemperaturen von 25°C gegenüber 18°C und 30°C. Sie führten die bei Temperaturen von 30°C wieder ansteigenden Ferkelverluste auf die negativen Auswirkungen von Temperaturstress auf die Sau zurück. Neben der Umgebungstemperatur spielt nach der Studie von Stansbury et al. (1987) auch der Bodentyp eine Rolle. Signifikant weniger Ferkelverluste traten bei Plastikspalten- gegenüber Betonspaltenboden auf. Dagegen starben 3 Sauen auf Plastikspalten vor der Abferkelung an Hitzestress.

### **2.6.7 Saisonalität der Sau**

Die Jahreszeiten haben bekanntlich einen Einfluss auf die Reproduktionsleistung von Sauen. Obwohl das Hausschwein als asaisonal einzustufen ist (Love et al., 1995), führte die regelmäßig vorkommende Reduktion der Fertilität im Spätsommer zu dem Begriff „Restsaisonalität“ (Love et al., 1995; Wan et al., 1994). Auch Almond (2005) geht von einer Restsaisonalität des Hausschweins aus. Andere Autoren konnten keinen saisonalen Einfluss auf die Reproduktion beim Hausschwein feststellen (Koketsu und Dial, 1997). Hitzestress und die Photoperiode wurden als die Hauptgründe für die verringerte Fruchtbarkeit in den Sommermonaten diskutiert (Auvigne et al., 2010; Love et al., 1995). Dies wird aber durch Wan et al. (1994) in Frage gestellt, da ihrer Meinung nach dann alle Sauen und Betriebe betroffen sein müssten. Sie schlossen, dass die Saisonalität des Hausschweins ein Effekt von Stressoren auf einzelne Tiere ist, da sehr viele Faktoren, wie Management, die Wurfnummer aber auch die Gesundheit der Tiere sowie Haltung und Fütterung einen Einfluss auf die Fruchtbarkeit haben (Hälli, 2008; Nardone et al., 2006).

## **2.7 Möglichkeiten zur Reduzierung von Hitzestress**

Jede Reduktion von Hitzestress verursacht Kosten. Daher ist es aus ökonomischer Sicht wichtig, abzuwägen ob die voraussichtliche Produktionsminderung durch den

Umwelteinfluss größer oder kleiner ist als der ökonomische Aufwand, etwas zu verändern. Dabei gibt es diverse Möglichkeiten: eine Verlagerung der Produktion an einen anderen Ort, Umweltveränderung am Standort, Zucht auf Hitzetoleranz, Einsatz einer neuen Tierart, Veränderung der Fütterung oder im drastischsten Fall die Aufgabe der Tierhaltung (Hahn, 1981). Je wertvoller das Produkt, desto größer ist der freiwillige Aufwand negative Umwelteffekte auf das Tier abzuwenden (Hahn, 1981). Aus Sicht des Tierschutzes ist eine optimale Haltungsumgebung für das Tier zu schaffen. In der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (2009) wird daher „eine geeignete Vorrichtung [...] die eine Verminderung der Wärmebelastung der Schweine bei hohen Stalllufttemperaturen ermöglicht“ gefordert. Allerdings gibt es keine Definitionen, ab wann hohe Stalllufttemperaturen eintreten und weitere Stallklimaparameter werden nicht berücksichtigt. Neben den Möglichkeiten der Zuluftkühlung spielen Managementmaßnahmen, wie Verlegung der Fütterung in die kühlen Morgen- und Abendstunden, bestmögliche Regelung der Lüftung und Vermeidung von Stress eine Rolle, sowie die Zucht auf hitzetolerante Tiere (Bloemhof et al., 2012; DLG, 2008; Patience et al., 2005).

### **2.7.1 Lüftung und Gebäude**

Nach Boon (1978) muss das ideale Lüftungssystem in Nutztierställen eine optimale Umwelt auf Tierebene unabhängig von äußeren Bedingungen aufrecht erhalten.

Die Ventilation ist wichtig zur Sauerstoffzufuhr und Abfuhr von Staub, Verschmutzungen und Feuchtigkeit. Die Ventilationssysteme nutzen in der Regel die Lufttemperatur als Stellwert für die Belüftung (Huffman, 2009). In Deutschland gilt die DIN 18910 als die Basisnorm für die Planung von Lüftungsanlagen geschlossener Nutztierställe (Gramatte, 2009). Durch effiziente Isolierung und Anpassungen der Belüftungsrate zwangsbelüfteter Ställe an die Jahreszeiten können nach Carpenter und Randall (1975) in moderatem Klima Ställe das ganze Jahr ohne Heizung und Kühlung betrieben werden. Die Isolierung wird in der Regel beim Bau des Stalls geplant und eingebaut. Die Dicke der Isolierung soll extreme Abweichungen der Optimalbedingungen im Inneren des Stalls verhindern (Carpenter und Randall, 1975).

Die Ventilationsrate wird in der Regel über den Klimacomputer gesteuert. Ein Thermostat misst die Stalltemperatur, die durch eine bestimmte Belüftungsrate aufrechterhalten wird. Fällt die Außentemperatur unter einen kritischen Wert sinkt

auch die Stalltemperatur und die Belüftungsrate wird auf ein Minimum herabgesetzt (Carpenter und Randall, 1975). Im Winter steht die Luftrate zur Abführung von Wasserdampf und Kohlendioxid im Kontrast zu den anfallenden  $\text{NH}_3$  Konzentrationen wenn die Stalltemperatur aufrecht erhalten werden soll (Clark et al., 1984; Gramatte, 2009; Huffman, 2009). Ammoniak ist ein wasserlösliches Gas, welches sich mit der Luftfeuchtigkeit im Stall verbindet und so zu einer verminderten Luftqualität durch starken Geruch und Reizung der Schleimhäute führt (Huffman, 2009). Einen Einfluss auf die Luftverteilung im Stall haben die Abteilgröße, die Lufttemperatur sowie die Gestaltung der Luftzufuhr und mögliche Hindernisse wie Tröge und Wände die die Luftzirkulation verändern (Boon, 1978). Die Temperatursensoren der Belüftung sind in der Regel nicht auf Tierhöhe sondern in etwa 1,5m Höhe über dem Stallboden angebracht. Boon (1978) konnte in seinem Versuch zeigen, dass die Temperatur auf Tierhöhe höhere Schwankungen aufweist als in 1,5 m Höhe. Er stellte Abweichungen von bis zu  $4^\circ\text{C}$  fest. Allerdings ist die Anbringung auf Tierhöhe nicht immer einfach durchführbar. Eine optimale Durchmischung der Luft durch Veränderung der Zuluft kann aber zu einer Verminderung der Temperaturdifferenz in den unterschiedlichen Höhen führen. Ein Temperaturunterschied zwischen Boden und Decke von  $2^\circ\text{C}$  wie von Boon (1978) beschrieben ist durchaus akzeptabel. Nach DIN 18910 sollten die Ventilatoren so geplant werden, dass die Stalltemperatur im Sommer maximal  $2\text{K}$  höher liegt als die Außentemperatur (DLG et al., 2008).

### **2.7.2 Kühlungsmöglichkeiten**

Abkühlung kann durch Erhöhung der konvektiven Wärmeabgabe, durch Erhöhung der Luftgeschwindigkeit und durch Steigerung der evaporativen Wärmeabgabe in Form von Verneblung, Sprühkühlung und Drip Cooling erfolgen (Bull et al., 1997). Eine Abkühlung durch Evaporation wird auch als adiabatisch bezeichnet, da keine Energie mit der Umgebung ausgetauscht wird. Die sensible Wärme der Luft wird genutzt um das Wasser zu verdunsten und wird so in latente Wärme im Wasserdampf umgewandelt (Simmons und Lott, 1996 in Lucas, 2000). Wahlexperimente erlauben einen Rückschluss auf die präferierte Abkühlmöglichkeit unter Hitzestressbedingungen (Bull et al., 1997). Die Ergebnisse dieser Wahlexperimente sind allerdings relativ zu beurteilen, da in den meisten Experimenten auch die Möglichkeit bestand einer Kühlung zu entgehen, was unter

normalen Haltungsbedingungen in Kastenständen nicht möglich ist. Daher ist eine genaue Kontrolle von Kühlmöglichkeiten anzuraten. Neben den am häufigsten vorkommenden Verneblungs- und Sprühkühlungen, sowie selteneren Erdwärmetauschern gibt es weitere Möglichkeiten, wie die individuelle Kühlung der Sauen, die in der Literatur beschrieben werden.

Als nachträgliche Möglichkeit zur Kühlung von Stallgebäuden, auch während Hitzewellen, kann das Dach durch Gartensprenger abgekühlt werden (DLG et al., 2008). Photovoltaikanlagen, wie sie immer häufiger auf Stalldächern anzutreffen sind, lassen keine Wärmestrahlung an die Dachhülle und wirken so isolierend.

#### *2.7.2.1 Verneblung, Sprühkühlung*

Die Kühlung der Stallluft durch Verdunstung macht nur bei niedriger Luftfeuchtigkeit Sinn, da sich ansonsten der Hitzestress noch verstärkt (DLG, 2008). Die Kühlung der Luft erfolgt durch die bei der Verdunstung aufgewendete Energie. Als Effektiv ist die Kühlung zu werten, wenn die Abkühlung der Lufttemperatur den Anstieg der relativen Luftfeuchtigkeit kompensiert (Haeussermann et al., 2007). Die Kühlung über Wasserverdunstung kann im zentralen Zuluftkanal oder direkt im Abteil erfolgen.

Verneblung ist definiert als eine Zerstäubung der Wassertropfen unter 30µm. Bei direkter Verneblung im Abteil ist auf eine gleichmäßige Zerstäubung der Wassertropfen zu achten um feuchte Stellen zu vermeiden. Je höher der Druck in der Verneblungsanlage, desto feiner ist der Sprühnebel und umso besser ist die Kühlwirkung. Der Anschaffungspreis der Anlagen wird aber mit zunehmendem Druck höher. Die indirekte Verneblung im Zuluftkanal oder im Vorraum hat den Vorteil, dass tropfendes Wasser sich nicht direkt negativ auf die Tiere und die Liegeflächen auswirkt und die Luftfeuchtigkeit nicht innerhalb der Einzelabteile geregelt und gemessen wird, sondern zentral. Um den besten Effekt zu erzielen haben sich für diese Anwendung Hochdruckanlagen bewährt (DLG et al., 2008). Eine Abkühlung der Lufttemperatur um bis zu 7°C wird berichtet, im Mittel beträgt die Abkühlung aber 4 – 5°C (Haeussermann et al., 2007). Der gemessene Wasserverbrauch lag in diesem Versuch bei 4,9l/Tag/Schwein.

#### *2.7.2.2 Erdwärmetauscher*

Erdwärmetauscher nutzen die Möglichkeit die Zulufttemperatur im Sommer durch das Erdreich abzukühlen und im Winter anzuwärmen (DLG, 2008; Hessel et al.,

2010). Die Zuluftrohre werden unterhalb des Stalles in Kanälen eingearbeitet, wobei ein hoher Grundwasserspiegel zur Kühlung beiträgt. In einem Versuch von Hessel et al. (2010) konnte in den Wintermonaten eine Anwärmung der Temperatur um 20°C und in den Hochsommermonaten eine Kühlung der Zuluft um bis zu 15°C im Vergleich zur Außentemperatur erreicht werden. Im Vergleich zur Außentemperatur konnten sie eine Reduktion der täglichen Temperaturschwankungen um 90% feststellen, sodass die Raumtemperatur nahezu gleich war. Vor allem hohe Ölpreise und abnehmende Mengen fossiler Rohstoffe machen den Erdwärmetauscher zu einem nachhaltigen Kühlungssystem (Hessel et al., 2010). Der hohe Anschaffungspreis muss gegen die voraussichtlichen Einsparungen an Heizung und Kühlung umgerechnet werden.

#### *2.7.2.3 Evaporationskühlung, Pad-Cooling*

Die Führung der Zuluft durch eine perforierte Wabenkartonage mit Frischwasserberieselung wird als Pad-Cooling bezeichnet. Diese Form der Zuluftkühlung ist vor allem in Ländern mit extremen Temperaturen, wie Thailand und den USA verbreitet, aber auch in Spanien und Portugal zu finden. Auf der Gegenseite des Cool-Pad wird die Zuluft über Ventilatoren durch das Pad angesaugt. Die heiße Außenluft wird durch die Wasserverdunstung abgekühlt. In einem Versuch von Lucas (2000) konnte eine Reduktion von Hitzestress um 80% berechnet werden.

#### *2.7.2.4 Drip cooling*

Eine direkte Kühlung von Sauen durch Wasser wird durch Berieselung der Sauen im Nackenbereich durch sogenannte drip cooler erreicht. Diese haben in Studien einen signifikant positiven Effekt auf die Futteraufnahme und die Verminderung des Gewichtsverlusts bei laktierenden Sauen gezeigt (McGlone et al., 1988). Auch die Atemfrequenz der Sauen konnte durch die Berieselung vermindert werden. Allerdings wurde bei der Verwendung der Berieselung auf Betonboden ein negativer Einfluss auf die Ferkel festgestellt, sodass die Bodengestaltung vor Verwendung der Berieselung überprüft werden sollte (McGlone et al., 1988).

#### *2.7.2.5 Nasenlüftung*

Eine Nasenlüftung bezeichnet eine Lüftung, die frische Zuluft direkt zur Sauennase führt. Nasenlüftungen können vor allem bei hohen Temperaturen zu einer direkten

Kühlung der Sau beitragen. Allerdings besteht auch die Gefahr der Zugluft, da die Sau in der Regel keine Ausweichmöglichkeit hat. Studien haben gezeigt dass eine Nasenlüftung unter anderem einen positiven Effekt auf die Futteraufnahme laktierender Sauen bei Hitzestress haben kann (McGlone et al. ,1988).

#### *2.7.2.6 Conductive cool pads*

Kühlpads bestehen aus Metallplatten oder Rohren, die mit Hilfe von Leitungswasser gekühlt werden. In einem Versuch von Bull et al. (1997) wurde eine Oberflächentemperatur von 16 – 23,8°C erreicht. Das Coolpad wurde in dieser Studie aus einer Wahl zwischen Drip cooler, Nasenlüftung und Kühlpad am häufigsten genutzt und es erzielte die höchste Kühlwirkung. Die Rektaltemperatur und die Atemfrequenz waren deutlich niedriger als bei den anderen Kühlmöglichkeiten und in der Vergleichsgruppe.

#### *2.7.2.7 Zucht*

Die Anzahl an Zuchtprogrammen und –unternehmen hat in den letzten Jahren stark abgenommen und nur wenige Zuchtprogramme werden in Zukunft weiter bestehen (Bloemhof et al., 2012). Diese produzieren Schweine für unterschiedliche Umwelten. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Nahrungsmitteln und der damit verbundenen Verlagerung der Tierproduktion auch in tropische und subtropische Klimata (FAO, 2006) ist eine Anpassung der Schweine auf genetischer Ebene unverzichtbar (Knap, 2005). In den größeren Zuchtunternehmen werden Schweine in Nukleusfarmen selektiert, die überwiegend in gemäßigten Klimazonen liegen. Auch die Umweltbedingungen sind in diesen Farmen in der Regel optimal, was die Sensibilität der Schweine gegenüber der Umwelt erhöht (van der Waaij, 2004). Ein Ziel der Zuchtprogramme sollte demnach die Verbesserung der Robustheit der Schweine gegenüber Hitzestress sein (Bloemhof, et al., 2012; Knap, 2005). Die züchterische Beeinflussung der Toleranz gegenüber hohen Temperaturen wird bei Rindern schon seit längerem erforscht (Gauly et al., 2013). Bei Schweinen liegen Ergebnisse zu Mastschweinen vor (Zumbach et al., 2008), aber nur sehr wenige Studien haben sich mit der genetischen Variation der Hitzestresstoleranz bei Sauen beschäftigt (Bloemhof et al., 2012). Ein Vergleich zwischen einer spanischen und einer niederländischen Sauenlinie zeigte deutliche Unterschiede in der

Hitze­stresstoleranz (Bloemhof et al., 2008), was eine genetische Selektion auf Hitze­stresstoleranz ermöglicht.

### 3 Veröffentlichung 1

#### Klimabedingungen in norddeutschen Sauenställen

Kerstin Wegner, C. Lambertz, G. Daş und M. Gauly

Züchtungskunde **86** (3), 200 – 211. ISSN 0044-5401

#### Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels, war es das Ziel dieser Studie die Klimabedingungen von Sauenställen in Norddeutschland zu beurteilen. Auf 10 ferkelerzeugenden Betrieben wurden deshalb im Zeitraum von Juli 2011 bis August 2012 Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit in den Abferkel-, Besamungs- und Warteställen gemessen und der Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI) berechnet. Hohe Stalltemperaturen traten auf allen Betrieben und in allen Stallabteilen in den Monaten Mai bis August auf. Temperaturen über 22°C, welche sich nach unterschiedlichen Literaturquellen negativ auf Sauen auswirken, wurden an bis zu 245 von 428 Tagen aufgezeichnet. Die mittlere relative Luftfeuchtigkeit lag zwischen 65% in den Abferkel- und 71% in den Wartestallabteilen. Die Abferkelabteile wiesen im Mittel erwartungsgemäß eine höhere Temperatur als die Besamungs- und Wartestallabteile auf ( $P < 0,05$ ). Die Durchschnittstemperatur der drei Abteile wurde dabei in ähnlichem Maße von der Außentemperatur beeinflusst. Bis zu einer Außentemperatur von 10,5 bis 12,5°C beeinflusste diese die Abteilstemperaturen nur geringfügig. Oberhalb dieser Grenze führte ein Anstieg der Außentemperatur auch zu einem ausgeprägten Anstieg der Innentemperaturen. Die hohe Anzahl an Hitzestresstagen weist darauf hin, dass unter norddeutschen Klimabedingungen Sauen bereits gegenwärtig Hitzestressbedingungen ausgesetzt sind. Entsprechende Bau- und Managementmaßnahmen könnten diese abpuffern, wodurch positive Effekte auf Gesundheit, Leistung und Ökonomie zu erwarten sind.

**Schlüsselwörter:** Luftfeuchtigkeit, Sauen, Temperatur, Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI)

## 4 Veröffentlichung 2

### **Climatic effects on sow fertility and piglet survival under influence of a moderate climate**

K. Wegner<sup>1</sup>, C. Lambertz<sup>1</sup>, G. Daş<sup>1</sup>, G. Reiner<sup>2</sup> and M. Gauly<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Animal Sciences, Georg-August-University, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen, Germany

<sup>2</sup> Department of Veterinary Clinical Sciences, Justus-Liebig-University, Frankfurterstr. 112, 35392 Giessen, Germany

Animal 8, 1525 – 1533.

#### **Abstract**

Although the climate in Germany is moderate, heat stress conditions may occur during summer months. However, it is unknown to what extent sow fertility and piglet survival are affected under moderate climatic conditions in indoor systems. Therefore, this study estimated effects of temperature and temperature-humidity index (THI) on sow fertility and piglet survival under practical husbandry conditions. Temperature and relative humidity were recorded in six piglet producing farms in Lower Saxony, Germany, from July 2011 to August 2012. Based on that, the temperature-humidity index (THI) was calculated. In one farrowing, waiting and servicing unit of each farm two data loggers were installed. Reproductive parameters of 8279 successful inseminations and 10369 litters including total number of piglets born, liveborn, stillborn and weaned piglets as well as pre-weaning mortality were evaluated. The effects of temperature and THI on reproductive parameters were estimated for varying periods after breeding and before and after farrowing, respectively. Average daily temperature across all units ranged from 15.6 to 29.0°C, and average THI from 62.4 to 75.1. Season and parity significantly affected total number of piglets born, number of liveborn, stillborn and weaned piglets ( $P < 0.001$ ). The number of piglets born increased with rising temperature and THI in the first week post breeding. Higher temperatures and THI values before farrowing resulted in a reduced number of liveborn piglets. Elevated temperature and THI values after farrowing were associated with a greater number of weaned piglets. The pre-weaning

mortality significantly decreased with increasing temperature and THI values after farrowing ( $P < 0.05$ ). In conclusion, temperature and THI affected the reproductive performance of the sows and the survival of the piglets in different ways. While increased climatic values at the time of breeding positively affected the total number of piglets born, increased values at the time of farrowing had negative impacts on the reproductive performance of the sows. Piglets benefited from higher temperature and THI values after farrowing.

**Keywords:** climate, piglet survival, reproductive performance, sow, temperature-humidity index

## 5 Veröffentlichung 3

### Effects of temperature and THI on the reproductive performance of sows during summer months under a moderate climate

K. Wegner<sup>a</sup>, C. Lambertz<sup>a\*</sup>, G. Daş<sup>a</sup>, G. Reiner<sup>b</sup> and M. Gauly<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Department of Animal Sciences, Georg-August-University, Albrecht-Thaer-Weg 3, 37075 Göttingen, Germany*

<sup>b</sup> *Department of Veterinary Clinical Sciences, Justus-Liebig-University, Frankfurterstrasse 112, 35392 Giessen, Germany*

\* Corresponding author: Tel: +49 551 39 5613; E-mail address: clamber2@gwdg.de (C. Lambertz)

In Bearbeitung

#### Abstract

Heat stress is known to influence reproduction and productivity of sows. But it is unknown to which extent it influences sows in Germany under the current environmental conditions. The objective of this study was to estimate the impact of temperature and temperature-humidity-index (THI) on the reproductive performance of sows.

Data consisted of reproductive parameters of 22.264 successful inseminations and 21.610 resulting farrowings from 2009 to 2011 of 22 farms. Daily temperature and humidity values were available from the nearest weather station and the daily THI was calculated. Effects of temperature and THI at different periods of the reproductive cycle were estimated for the summer months from May to September. This period was chosen because temperatures were then expected to influence indoor temperatures. High temperatures and THI values 5 days pre- and 14 days post-breeding reduced litter size ( $P < 0.05$ ). Prior to farrowing the number of liveborn piglets was reduced ( $P < 0.05$ ) and the number of stillborn piglets increased with increasing temperature and THI values ( $P < 0.001$ ). Reduced numbers of weaned piglets were observed when temperature and THI values were elevated on the day of farrowing ( $P < 0.05$ ), but pre-weaning mortality was not influenced. In conclusion,

relatively high temperature and THI values have adverse effects on the reproductive performance of sows during the summer months even under moderate climatic conditions. Considering the impact of climate change and predicted heat waves, strategies to mitigate the impact of heat stress are necessary.

**Keywords:** heat stress, sows, reproductive performance, temperature, temperature-humidity-index (THI)

## 6 Allgemeine Diskussion

Die Auswirkungen hoher Temperaturen und von Hitzestress auf die Fruchtbarkeit von Schweinen werden seit vielen Jahren in der Literatur beschrieben und haben in den letzten Jahren durch die Diskussion um die Auswirkungen des Klimawandels an Bedeutung gewonnen (u.a. Bloemhof et al., 2013; Edwards et al., 1968; Omtvedt et al., 1971; Suriyasomboon et al., 2006). Des Weiteren hat sich die Anzahl der Zuchtunternehmen in den letzten Jahren stark reduziert, sodass an wenigen Standorten Schweine für sehr unterschiedliche Umweltbedingungen gezüchtet werden (Bloemhof et al., 2012; Merks et al., 2012). Grenz- und Richtwerte für das Auftreten von Hitzestress unterscheiden sich aber stark zwischen den Autoren, was unter anderem auf der Steigerung der Fruchtbarkeitsleistung der Sauen in den letzten Jahren, und damit einem höheren Metabolismus gegenüber älteren Sauengenetiken beruht (Brown-Brandl et al., 2004). Als homoiothermes Tier ist das Schwein in der Lage sich innerhalb der physiologischen Grenzen an die Umgebungstemperatur anzupassen (Fuquay, 1981). Viele der oben genannten Studien wurden jedoch unter verschiedenen Klimaverhältnissen durchgeführt und sind so nicht mit den Praxisbedingungen in Deutschland vergleichbar (Boma und Bilkei, 2006). Ältere Studien wurden häufig in Klimakammern durchgeführt. Gleichbleibend hohe Temperaturen spiegeln nicht die täglichen Schwankungen von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit im Tagesverlauf wieder, sodass eine Übertragung auf praktische Haltungsbedingungen schwierig ist (Fuquay, 1981).

Die Ergebnisse des vom Intergovernmental Panel on Climate Change modellierten Temperaturanstiegs zeigen einen Anstieg der Temperatur zwischen 2 und 4,5°C bis zum Jahr 2100 in Abhängigkeit vom verwendeten Klimaszenario für Deutschland (IPCC, 2007). Zudem wird mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von einer Zunahme an Hitzewellen und deren Intensität ausgegangen. Bereits bei den relativ moderaten Klimabedingungen im Versuchszeitraum konnten negative Auswirkungen auf die Sauen nachgewiesen werden, was darauf hinweist, dass noch Optimierungsbedarf bei den Haltungsbedingungen der Sauen herrscht. Vor allem Anpassungen auf regionaler Ebene sind aufgrund der unterschiedlichen Haltungs- und Betriebsstrukturen wichtig.

### **Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und THI**

Die Temperatur wird in der Regel in allen geschlossenen, zwangsbelüfteten Sauenställen durch die Lüftungsanlage kontrolliert. Anhand der Lüfrate wird die Temperatur im Stallabteil innerhalb der Möglichkeiten der Lüftungsanlage reguliert (Boon, 1978). Die Temperatur als alleiniger Indikator ist aber nicht ausreichend um die klimatische Umwelt im Stall zu beschreiben (Nardone et al., 2006). Wie in Kapitel 1.5 beschrieben, spielen andere Faktoren, wie Luftgeschwindigkeit, Wärmestrahlung, Luftfeuchtigkeit und die Bodengestaltung eine entscheidende Rolle. In der vorliegenden Arbeit wurden die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit in den Ställen gemessen, da dies die am besten erfassbaren Parameter über einen längeren Zeitraum sind, die eine Charakterisierung des Stallklimas in geschlossenen zwangsbelüfteten Ställen ermöglichen (Seedorf et al., 1998). Um den Einfluss des Klimas auf das Tier besser beschreiben zu können, wurden unterschiedliche Indices entwickelt, welche Kombinationen von Temperatur, relativer Luftfeuchtigkeit sowie Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit berücksichtigen und gewichten (Bohmanova et al., 2007; Dikmen und Hansen, 2009; Mader et al., 2003; Renaudeau et al., 2012). Der Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI) ist der am häufigsten in der Literatur verwendete Index (Dikmen und Hansen, 2009). Für Milchkühe wurde der vom NRC (1971) publizierte THI als der geeignetste Index für Norddeutschland beschrieben (Brügemann et al., 2012). Leistungseinbußen, die in den meisten Studien ab einem Schwellenwert von 70 bis 72 für Milchkühe zu erwarten sind, wurden von Brügemann et al. (2011) in Niedersachsen bereits ab einem THI von 60 festgestellt. Als Ursache wurde unter anderem die geringe Adaptation der Tiere an hohe Temperaturen und relative Luftfeuchtigkeit diskutiert.

Bei Schweinen wird der THI bisher nur sehr selten angewendet. Als Begründung wird häufig der geringe Einfluss bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit angegeben (Bloemhof et al., 2013; Huynh et al., 2005). Die Luftfeuchtigkeit in Deutschland liegt mit 70 bis 80% relativ hoch und kann einen negativen Einfluss bei hohen Temperaturen haben. Die vom NWSCR (1976) publizierte THI-Formel wurde in der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an Haeussermann et al. (2007) und Zurhake (2010) genutzt, sodass Vergleichswerte vorhanden waren. Die Gewichtung der relativen Luftfeuchtigkeit in dieser Formel ist relativ gering, was den größeren Einfluss der Temperatur wiedergibt. Zur Beurteilung des THI müssen spezifische

Grenzwerte herangezogen werden. Für Schweine sind diese bisher nicht beschrieben, daher wurde auf die Grenzwerte von Eigenberg et al. (2005) zurückgegriffen, welche auch von Haeussermann et al. (2007) verwendet wurden. Anhand dieser Einteilung liegen über 80% der berechneten THI Werte im normalen Bereich (THI <74). Dies ist jedoch unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die obere kritische Temperatur von 22°C an 57% der Tage in den Abferkelabteilen überschritten wurde, unwahrscheinlich. Berechnet man den THI mit 22°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80%, dann ergibt sich nach der in dieser Arbeit verwendeten Formel (NWSCR, 1976) ein THI von 66. Dieser müsste für Schweine, unter Verwendung der oben genannten Formel, der Schwelle zu Hitzestress entsprechen. Hier besteht noch Forschungsbedarf und der THI sollte stärkere Beachtung in der Schweinehaltung finden. Insbesondere beim Einsatz von Sprühkühlungen, welche die relative Luftfeuchtigkeit im Stall stark erhöhen, steigt die Wahrscheinlichkeit für ein Überschreiten der Schwellenwerte an, sodass neben der Temperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit kontrolliert werden sollte.

### **Stallklima und Außenklima**

Um die Auswirkungen des Klimas auf die Fruchtbarkeitsparameter von Sauen bestimmen zu können, mussten zunächst Messungen der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit in den Betrieben durchgeführt werden. Freitas et al. (2006) zeigten in ihrer Studie, dass sich Außentemperaturen und –THI nicht von den in Offenställen von Kühen gemessenen Temperaturen und THI-Werten unterschieden. Anders als bei Milchkühen, die in der Regel in Offenställen gehalten werden, waren in der vorliegenden Untersuchung alle Sauen in geschlossenen, zwangsbelüfteten Warmställen aufgestellt. Daher wurde davon ausgegangen, dass die Stalltemperaturen zwar von den Außentemperaturen beeinflusst werden, aber ab wann und wie stark der Einfluss war musste zunächst analysiert werden (Veröffentlichung 1).

Insgesamt waren die Temperaturen im Versuchszeitraum moderat. Trotzdem überschritten die Temperaturen die obere kritische Temperatur der thermoneutralen Zone von Sauen von 21,7°C (Bloemhof et al., 2013) an 245 von 428 Tagen in den Abferkelabteilen, in den Deckzentren an 159 und in den Wartestallabteilen an 151 Tagen.

Die Abteiltemperaturen und die Außentemperaturen zeigten eine hohe Korrelation, vor allem in den Deckzentren und in den Wartestallabteilen. Diese waren häufig in älteren Gebäudeteilen untergebracht und schlechter isoliert als die Abferkelabteile, welche zusätzlich durch die Ferkelnester aufgewärmt wurden. In den Wintermonaten waren die Stalltemperaturen weitgehend unabhängig von den Außentemperaturen, in den Sommermonaten war der Einfluss deutlicher. Der Einfluss der Außentemperatur war betriebsindividuell sehr unterschiedlich, ließ sich aber aufgrund der geringen Anzahl an Betrieben nicht statistisch belegen.

Die Außentemperatur beeinflusst das Stallklima. Seedorf et al. (1998) ermittelten in ihrer Studie einen Einfluss auf die Abteiltemperatur ab 17°C Außentemperatur. Ein starker Anstieg der Abteiltemperatur bei steigenden Außentemperaturen trat im Vergleich dazu in der vorliegenden Arbeit schon bei 12,5°C für die Abferkel- und Besamungsstallabteile und ab 10,8°C in den Wartestallabteilen auf. Je früher ein Einfluss auf die Abteiltemperatur feststellbar ist, desto schlechter ist die Anpassung der Lüftung an die Außentemperaturen und die Isolierung. Auch hier ergaben sich betriebsindividuelle Unterschiede. Eine Auswertung nach Haltungssystemen war in diesem Versuch nicht möglich. Die Haltungssysteme waren auf Betriebsebene durch Zu- und Umbau sehr unterschiedlich wodurch eine Einteilung in statistisch vergleichbare Gruppen nicht möglich war. Daher konnten keine bevorzugten oder benachteiligten Systeme identifiziert werden. In weitergehenden Untersuchungen müssten dazu Betriebe mit einem Stallgebäude für alle Sauen und mit vergleichbarem Lüftungssystem verglichen werden.

### **Auswirkungen des Klimas auf die Fruchtbarkeitsparameter von Sauen**

Viele Faktoren beeinflussen die Fruchtbarkeit von Sauen. Neben dem Haltungssystem, dem Management, der Fütterung und der Gesundheit spielt das Stallklima eine entscheidende Rolle (Einarsson et al., 2008; Hälli, 2008). Auch die Anzahl der Würfe hat einen großen Einfluss auf die Fruchtbarkeitsleistungen. Die höchste Anzahl an gesamt geborenen und lebend geborenen Ferkeln wird in der Regel bis zum 4. und 5. Wurf erreicht und fällt dann mit zunehmender Wurfnummer wieder ab (Suriyasomboon et al., 2006; Tantasuparuk et al., 2000). Dies zeigte sich auch in der vorliegenden Arbeit. Auch die Jahreszeit hat einen großen Einfluss auf die Fruchtbarkeit der Sauen. Dieser als Restsaisonalität bezeichnete Effekt wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Während einige Autoren von einem Einfluss der

Saison ausgehen (Almond und Bilkei, 2005; Auvigne et al., 2010; Love et al., 1995), konnten andere Autoren keinen saisonalen Einfluss feststellen (Koketsu und Dial, 1997) oder bestreiten den Einfluss von Hitzestress und Photoperiode, welche als Hauptgründe für die Saisonalität angeführt werden (Wan et al., 1994). In der vorliegenden Arbeit konnte ein Einfluss der Jahreszeiten nachgewiesen werden. Ein Zusammenhang mit der Temperatur liegt nahe, kann aber in dieser Arbeit nicht bewiesen werden, da weitere Einflussfaktoren wie Photoperiode und Fütterung nicht direkt berücksichtigt wurden. Ein weiterer Einflussfaktor auf die Fruchtbarkeitsleistung ist die Genetik. Die Selektion auf Wurfgröße hat zu einem rasanten Anstieg dieser Größe in den letzten Jahrzehnten geführt (Bloemhof et al., 2012; Boulot et al., 2008; Merks et al., 2012). Höhere Leistungen führen zu höherer metabolischer Wärmeproduktion (Fuquay, 1981). Letztere wurde unter anderem auch durch die verstärkte Selektion auf Magerfleischanteil potenziert, was in der Literaturstudie von Brown-Brandl et al. (2004) beschrieben ist. Demnach haben Schweine mit geringerem Fettanteil eine höhere Wärmeproduktion.

Der Einfluss der fixen Effekte, Wurfnummer und Saison, war in den Modellen stärker als der Einfluss des Klimas.

Bei den Auswertungen des direkt auf den Betrieben aufgezeichneten Klimas (Kapitel 4) und des Außenklimas (Anhang) auf die Leistungsparameter gesamt geborene, lebend und tot geborene, sowie abgesetzte Ferkel und Ferkelverluste ergaben sich deutliche Unterschiede zwischen den jeweiligen Fruchtbarkeitsparametern und den Versuchen.

Insgesamt war nur ein geringer negativer Einfluss auf die Reproduktionsleistung der Sauen feststellbar (Kapitel 4), während die Ferkel überwiegend von höheren Temperaturen und höheren THI-Werten profitierten. Die Ergebnisse waren zum Teil widersprüchlich zu anderen Veröffentlichungen und sind vor allem auf die moderaten Temperatur- und THI-Werte im Versuchszeitraum, sowie die geringe Anzahl an Betrieben zurückzuführen.

Der längere Messzeitraum und die höhere Anzahl der Betriebe im dritten Versuch (Anhang) führte zu deutlicheren Ergebnissen in Bezug auf den Klimaeinfluss auf die Sauen. Im Vergleich zu den eher moderaten Sommern im Jahr 2009 und 2011 zählte der Sommer 2010 zu den 10 wärmsten Sommern seit 1881 (DWD, 2010). Vor allem der Juli war über mehrere Tage sehr heiß. Insgesamt unterschieden sich die Temperaturen der 3 Jahre nicht signifikant. In diesen Auswertungen zeigte sich ein

negativer Klimaeinfluss hoher Temperatur- und THI-Werte auf die Wurfgröße im Zeitraum vor und nach der Besamung. Vor allem im Zeitraum der Implantation der Embryonen um den 11. und 12. Tag nach der erfolgreichen Besamung konnte ein Temperatureinfluss nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse werden von aktuellen Untersuchungen von Bloemhof et al. (2013) bestätigt. Auch die Anzahl der lebend und tot geborenen sowie der abgesetzten Ferkel wurden negativ von erhöhten Temperaturen und THI-Werten während der Zeit um die bzw. nach der Geburt beeinflusst. Ähnliche Ergebnisse konnten auch in anderen Studien beobachtet werden. Im Vergleich von Perioden mit durchschnittlichen Temperaturen oberhalb 35°C und unterhalb 30°C fanden Almond und Bilkei (2005) eine geringere Abferkelrate und eine verringerte Anzahl an gesamt geborenen Ferkeln während der Hitzeperioden. Ein negativer Einfluss von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit auf die Wurfgröße sowie die Anzahl tot geborenen Ferkel wurde auch in einer Studie aus Thailand berichtet (Suriyasomboon et al., 2006).

Der Einfluss der Temperatur auf die Fruchtbarkeitsparameter erfolgt vermutlich über das endokrinologische System. Stress, und demnach auch Hitzestress aktiviert das Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren System. Dadurch kommt es zur Aktivierung der „Stresskaskade“, wobei unter anderem auch das Adrenocorticotrope Hormon, ACTH, ausgeschüttet wird (Einarsson et al., 2008). Letzteres bewirkt die Freisetzung von Glukokortikoiden aus der Nebennierenrinde, verursacht aber auch die Freisetzung von Progesteron und Prostaglandin-2 $\alpha$  (Mwanza et al., 2000). Vor allem Prostaglandin-2 $\alpha$  kann die Reproduktion durch die Luteolyse beeinflussen. Neben dem direkten Einfluss des Klimas auf die Sauen ist auch der indirekte Effekt über eine schlechtere Spermaqualität der Eber möglich. Stone (1982) fand einen negativen Effekt auf die Motilität von Spermien und den Anteil der abnormalen Spermien ab einer Umgebungstemperatur von 30°C. Dieser Anteil blieb bis zu 5 Wochen über die Einwirkung des Hitzestress bestehen. Die geringeren Wurfgrößen bei Hitzestress können demnach auch ein Effekt von verringerter Spermaqualität sein. Dies wurde in dieser Arbeit jedoch nicht untersucht.

### **Schlussfolgerung**

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass die obere kritische Temperatur der Sauen während der Sommermonate in den Sauenställen in Norddeutschland regelmäßig überschritten wird. Dies führt zu Hitzestress bei den Sauen. Die Außentemperatur hat

---

in den Sommermonaten einen starken Einfluss auf die Abteilterperaturen und heizt diese auf. Während die Ferkel von einem leichten Temperaturanstieg profitieren können, haben hohe Temperaturen und THI-Werte einen negativen Effekt auf die Sauen. Die Wurfgröße, die Anzahl der lebend und tot geborenen Ferkel und die Anzahl der abgesetzten Ferkel pro Wurf wurden von hohen Temperaturen und THI-Werten negativ beeinflusst. Dabei spielt der Zeitraum der Einwirkung von Hitzestress eine wichtige Rolle. Zum Zeitpunkt der Besamung und am 11. und 12. Tag nach erfolgreicher Besamung wurden die stärksten Einflüsse gemessen. Dies bestätigt, dass der Zeitraum der Implantation der Embryonen als der empfindlichste Zeitpunkt der Sauen gegenüber Hitzestress anzusehen ist. Der geringste Klimaeinfluss trat nach der Abferkelung auf. Insgesamt bietet sich neben der Temperatur der THI als Indikator für Hitzestress an. Für dessen Verwendung fehlen für die Sau aber noch konkrete Grenzwerte um dessen Einfluss beurteilen zu können. Hier besteht noch Forschungsbedarf.

## 7 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, das Stallklima in norddeutschen Sauenställen zu untersuchen und dessen Auswirkung auf ausgewählte Fruchtbarkeitsparameter von Sauen und auf die Ferkel abzuschätzen. Dazu wurden über einen Zeitraum von 14 Monaten Datenlogger zur Aufzeichnung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit auf 10 Betrieben im norddeutschen Tiefland angebracht (Kapitel 3). Die erfassten Stallklimadaten wurden mit den Wetterstationsdaten der dem Betrieb am nächsten gelegenen Wetterstation abgeglichen und der Einfluss des Außenklimas auf das Stallklima berechnet. Insgesamt traten in diesem Versuch von Mai bis September hohe Stalltemperaturen auf, obwohl die Außentemperaturen in diesem Zeitraum eher als moderat einzustufen waren. Die relative Luftfeuchtigkeit in den Ställen war im normalen Bereich. Der THI wurde nach der Formel des NWSCR (1976) berechnet. Der mittlere tägliche THI überschritt die normale Schwelle von 74 nicht. Die maximalen Werte überschritten 74 an 20% der Tage. Die höchsten THI-Werte traten im Wartestall auf. Die Außentemperaturen beeinflussten die Stalltemperaturen in den drei Abteiltypen in ähnlichem Maße. Bis zu Außentemperaturen von 10,5 bis 12,5°C wurde die Abteilterperatur nur geringfügig beeinflusst. Oberhalb dieser Schwelle stieg die Abteilterperatur mit steigender Außentemperatur stark an. Temperaturen von über 22°C werden in Studien bereits mit schlechteren Fruchtbarkeitsleistungen in Verbindung gebracht. In den Abferkelabteilen wurden diese an 245 von 428 Tagen überschritten. Daraus kann geschlossen werden, dass auch unter den moderaten Klimabedingungen in Norddeutschland insbesondere in den Sommermonaten Hitzestress auftritt.

Darauf aufbauend wurde der Einfluss des auf den Betrieben aufgezeichneten Klimas auf ausgewählte Fruchtbarkeitsparameter der Sauen abgeschätzt (Kapitel 4). Die individuellen Daten, der in dem Aufzeichnungszeitraum von 14 Monaten erfolgreich besamten Sauen (n=8279) und der Anzahl der Würfe (n=10369) wurden aus den Sauenplanerdaten von 6 Betrieben entnommen. Der Einfluss der Temperatur und des THI wurde für unterschiedliche Zeiträume nach der Besamung, sowie vor und nach der Abferkelung geschätzt. Ein signifikanter Einfluss der Saison und der Wurfnummer auf die Fruchtbarkeitsparameter wurde wie erwartet nachgewiesen. Die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel pro Wurf stieg mit steigender Temperatur und

THI-Werten in der ersten Woche nach der Besamung an. Ein linearer Zusammenhang ist aber nicht zu erwarten. In den 5 Tagen vor der Abferkelung hatten hohe Temperaturen und THI einen negativen Effekt auf die Anzahl der lebend geborenen Ferkel. In der ersten Woche nach der Abferkelung führten hohe Temperatur und THI-Werte zu mehr abgesetzten Ferkeln. Auch die Ferkelverluste sanken mit höheren Temperaturen und THI-Werten. Daraus lässt sich folgern, dass die Temperatur und der THI die Fruchtbarkeitsparameter der Sauen und das Überleben der Ferkel unterschiedlich beeinflussten. Während hohe Temperaturen und THI in der ersten Woche nach der Besamung einen positiven Einfluss auf die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel hatten, wurden um die Geburt die Anzahl der lebend geborenen Ferkel negativ beeinflusst. Nach der Geburt profitierten die Ferkel von erhöhten Klimawerten.

Anschließend an die oben genannten Versuche wurden in einem dritten Versuchsansatz die Auswirkungen des Außenklimas von 2009 bis 2011 auf die Fruchtbarkeitsdaten von Sauen ausgewertet (Anhang). Insgesamt konnten Daten von 22 Betrieben in die Auswertungen aufgenommen werden. Der Datensatz umfasste 22.264 erfolgreiche Besamungen und 21.610 daraus folgende Würfe im Zeitraum von 2009 bis 2011. Die Außenklimadaten wurden von der jeweils nächstgelegenen Wetterstation des entsprechenden Betriebes bezogen. Ausgewertet wurde der Zeitraum von Mai bis September, da in diesen Monaten ein Einfluss der Außentemperatur auf die Abteiltemperatur wahrscheinlich war, wie die Ergebnisse von Kapitel 3 zeigen. Die ausgewählten Monate der 3 ausgewerteten Jahre unterschieden sich nicht voneinander. Lediglich im Juli 2010 traten mittlere Tagestemperaturen von über 25°C über mehrere Tage in Folge auf. Ausgewertet wurden, wie im Kapitel 4 die Zeiträume um die Besamung und die Geburt. Hohe Temperaturen und THI-Werte 5 Tage vor bis 14 Tage nach der Besamung hatten einen negativen Einfluss auf die Wurfgröße. Vor der Geburt führten erhöhte Temperaturen und THI zu einer geringeren Zahl lebend und vermehrt tot geborenen Ferkeln. Weniger Ferkel wurden bei erhöhten Temperaturen und THI Werten am Tag der Abferkelung abgesetzt, während die Ferkelverluste von der Außentemperatur nicht beeinflusst wurden. Zusammenfassend ergeben sich auch in diesem Versuch negative Einflüsse von erhöhten Temperaturen und THI-Werten während der Sommermonate auf die ausgewählten Fruchtbarkeitsparameter. Unter Berücksichtigung des berechneten Temperaturanstiegs und damit einhergehender

Hitzewellen im Rahmen des Klimawandels sollten Maßnahmen zur Abmilderung von Hitzestress bei den Sauen getroffen werden.

## 8 Summary

The aim of this study was to examine the indoor climatic conditions of northern German sow stables and to estimate its impact on selected reproductive performance parameters of sows and on piglet survival. Therefore data loggers were installed on 10 farms in the northern German lowlands over a period of 14 months to measure temperature and relative humidity in the buildings (Chapter 3). The gathered stable climate data were compared to the data of the weather station closest to the farm and the influence of the outdoor climate on the stable climate was determined. In total high stable temperatures were measured from May to September, although the outdoor climate was rather moderate. Relative humidity inside the stables was within the normal range. The temperature-humidity-index (THI) was calculated according to the formula published by the NWSCR (1976). The mean daily THI did not exceed the normal range of up to 74, but maximum values exceeded 74 in 20% of all days. The highest THI-values were measured within the waiting compartments. Outdoor temperatures influenced the indoor climate similarly in all compartments. Up to an outside temperature of 10.8 to 12.5, depending on the compartment type, the indoor temperature was influenced only marginally. Above these values, rising outdoor temperatures increased the indoor temperatures strongly. Temperatures of 22°C are reported to have a negative effect on reproductive parameters of sows. These temperatures were exceeded on 245 of 428 days in the farrowing compartments. It can be concluded, that even under moderate climatic conditions in northern Germany heat stress occurs within the summer months.

In a successive study the influence of the measured stable climate on selected reproductive performance parameters of the sows was estimated (Chapter 4). Individual sow performance data from successful inseminations (n=8279) and litters (n=10369) within the examined period of 14 months were extracted from the farm management software of 6 farms. The influence of temperature and THI was estimated for varying periods after breeding as well as prior to and after farrowing. A significant influence of season and parity on the reproductive parameters was found as expected. High temperature and THI values after breeding increased the number of total born piglets within the first week. But a linear relation was not expected. Within 5 days prior to farrowing high temperatures and THI values had a negative effect on the number of liveborn piglets. In the first week after farrowing, high

temperatures and THI had a positive effect on the number of weaned piglets. Pre weaning mortality decreased with higher temperature and THI values. In summary, temperature and THI had different influences on reproductive performance parameters of sows and on piglets. While high temperature and THI values positively affected the number of total born piglets within the first week after breeding, the negatively affected the number of liveborn piglets prior to farrowing. Piglets benefited from a warmer climate after farrowing.

In a third study the outdoor climatic effect on the performance of sows was examined for the years 2009 to 2011 (Annex). In total sow data from 22 farms could be examined. The data contained 22264 successful inseminations and 21610 resulting farrowings. The outside climate data was obtained from the weather station closest to the corresponding farm. The months May to September were chosen, because temperature was likely to influence the indoor climate within these months as results of chapter 3 show. The chosen months of the 3 year period did not differ significantly. Only in July 2010 mean daily temperatures exceeded 25°C on successive days. The estimations contained, like in chapter 4, varying periods prior to and after breeding and farrowing. High temperatures and THI values negatively influenced the litter size from 5 days prior to 14 days post breeding. Prior to farrowing increased temperatures and THI negatively affected the number of liveborn piglets and increased the number of stillborn piglets. Less piglets were weaned, when temperature and THI were high on the day of farrowing, while the pre weaning mortality was not influenced by the outside climate. In conclusion, an increased outside climate had negative influences on the selected reproductive performance parameters within the summer months. Taking into account the estimated increasing temperature and predicted heat waves through climate change, arrangements reducing heat stress in sows should be taken.

## 9 Literaturverzeichnis

- Adams, R. M., Hurd, B. H., Lenhart, S. und Leary, N. (1998). Effects of global climate change on agriculture : an interpretative review. *Climate Research* 11, 19–30.
- Almond, P. K. und Bilkei, G. (2005). Seasonal infertility in large pig production units in an Eastern-European climate. *Australian Veterinary Journal* 83, 344–346.
- Auvigne, V., Leneveu, P., Jehannin, C., Peltoniemi, O. und Sallé, E. (2010). Seasonal infertility in sows: A five year field study to analyze the relative roles of heat stress and photoperiod. *Theriogenology* 74, 60–66.
- Azain, M. J., Tomkins, T., Sowinski, J. S., Arentson, R. A. und Jewell, D. E. (1996). Effect of supplemental pig milk replacer on litter performance: seasonal variation in response. *Journal of Animal Science* 74, 2195–2202.
- Balogh, P., Ertsey, I. und Kovacs, S. (2007). Survival analysis of culling reasons and economic examination of production period in sow culling. In *104th (joint) EAAE-IAAE Seminar Agricultural Economics and Transition: "What we expected, what we observed, the lessons learned."* Budapest, Hungary.
- Barb, C. R., Estienne, M. J., Kraeling, R. R., Marple, D. N., Rampacek, G. B., Rahe, C. H. und Sartin, J. L. (1991). Endocrine changes in sows exposed to elevated ambient temperature during lactation. *Domestic Animal Endocrinology* 8, 117–127.
- Bianca, W. (1976). The significance of meteorology in animal production. *International Journal of Biometeorology* 20, 139–156.
- Black, J. L., Mullan, B. L., Lorsch, M. und Giles, L. R. (1993). Lactation in the sow during heatstress. *Livestock Production Science* 35, 153–170.
- Bloemhof, S., Van Der Waaij, E. H., Merks, J. W. M. und Knol, E. F. (2008). Sow line differences in heat stress tolerance expressed in reproductive performance traits. *Journal of Animal Science* 86, 3330–3337.
- Bloemhof, S., Kause, A., Knol, E. F., Van Arendonk, J. A. M. und Misztal, I. (2012). Heat stress effects on farrowing rate in sows: Genetic parameter estimation using within-line and crossbred models. *Journal of Animal Science* 90, 2109–2119.
- Bloemhof, S., Mathur, P. K., Vand der Waaij, E. H., Leenhouders, J. I. und Knol, E. F. (2012). Genetic aspects of heat stress in pigs expressed in fertility traits. In *2nd low input breeds Symposium*. Tunesia.
- Bloemhof, S., Mathur, P. K., Knol, E. F. und Vand der Waaij, E. H. (2013). Effect of daily environmental temperature on farrowing rate and total born in dam line sows. *Journal of Animal Science* 91, 2667–2679.

- Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) (2009). Verordnung zum Schutz landwirtschaftlicher Nutztiere und anderer zur Erzeugung tierischer Produkte gehaltener Tiere bei ihrer Haltung ( Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung - TierSchNutzTV).
- Bohmanova, J., Misztal, I. und Cole, J. B. (2007). Temperature-humidity indices as indicators of milk production losses due to heat stress. *Journal of Dairy Science* 90, 1947–1956.
- Boma, M. H. und Bilkei, G. (2006). Seasonal infertility in Kenyan pig breeding units. *Onderstepoort Journal of Veterinary Research* 73, 229 – 232.
- Boon, C. R. (1978). Airflow Patterns and Temperature Distribution in an Experimental Piggery. *Agricultural Engineering* 23, 129–139.
- Boulot, S., Quesnel, H. und Quiniou, N. (2008). Management of high prolificacy in French herds: Can we alleviate side effects on piglet survival. In *37th BANFF Pork Seminar, Advances in Pork Production* (pp. 213–220). Canada.
- Brown-Brandl, T., Eigenberg, R., Nienaber, J. und Kachman, S. (2001). Thermoregulatory profile of a newer genetic line of pigs. *Livestock Production Science* 7, 253 – 260.
- Brown-Brandl, T., Nienaber, J., Xin, H. und Gates, R. S. (2004). A literature review of swine heat production. *American Society of Agricultural Engineers* 47, 259–270.
- Brügemann, K., Gernand, E., von Borstel, U. U. und König, S. (2011). Genetic analyses of protein yield in dairy cows applying random regression models with time-dependent and temperature x humidity-dependent covariates. *Journal of Dairy Science* 94, 4129–4139.
- Brügemann, K., Gernand, E., König von Borstel, U. und König, S. (2012). Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *Archiv Tierzucht* 55, 13–24.
- Bull, R. P., Harrison, P. C., Riskowski, G. L. und Gonyou, H. W. (1997). Preference among cooling systems by gilts under heat stress. *Journal of Animal Science* 75, 2078–2083.
- Carpenter, G. und Randall, J. (1975). The interpretation of daily temperature records to optimise the insulation of intensive livestock buildings. *Agricultural Meteorology* 15, 245 – 255.
- Commission Internationale du Genie Rural (CIGR). (1984). *Climatization of animal houses, Report of working group*. Craibstone, Aberdeen, Scotland, Great Britain.
- Clark, P., McQuitty, J. und Feddes, J. (1984). Heat and moisture loads in swine finishing barns in alberta. *Canadian Agricultural Engineering* 26, 171 – 176.

- Close, W. H., Heavens, R. P. und Brown, D. (1981). The effects of ambient temperature and air movement on heat loss from the pig. *Animal Production* 32, 75–84.
- Close, W. H. (2000). Environmental Housing Requirements: Climatic needs and Responses of Pigs. Abgerufen am 23.01.2013 von [www.thepigsite.com/articles/290/environmental-housing-requirements-climatic-needs-and-responses-of-pigs](http://www.thepigsite.com/articles/290/environmental-housing-requirements-climatic-needs-and-responses-of-pigs)
- D’Allaire, S., Drolet, R. und Brodeur, D. (1996). Sow mortality associated with high ambient temperatures. *The Canadian Veterinary Journal* 37, 237–239.
- Destatis (Statistisches Bundesamt). (2011). Land - und Forstwirtschaft, Fischerei Viehhaltung der Betriebe Landwirtschaftszählung / Agrarstrukturerhebung 2010 Vol. 49, pp. 1–180.
- Dikmen, S. und Hansen, P. J. (2009). Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *Journal of Dairy Science* 92, 109–116.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG). (2002). Lüftung von Schweineställen. DLG Arbeitsunterlage Vol. 3, p. 59. Frankfurt Main.
- Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG). (2008). DLG Merkblatt 346 Kühlung von Schweineställen. 2. Auflage. Frankfurt am Main.
- Drolet, R., D’Allaire, S. und Chagnon, M. (1992). Some observations on cardiac failure in sows. *The Canadian Veterinary Journal* 33, 325–329.
- Deutscher Wetterdienst (DWD). (2010). Deutschlandwetter im Sommer 2010 - Ein Sommer mit Hitze und Dürre sowie intensiven Regenfällen. Abgerufen am 13.12.2013 von [https://www.google.de/#q=http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressemitteilungen/2010/20100830\\_\\_DeutschlandwetterSommer2010,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/20100830\\_DeutschlandwetterSommer2010.pdf](https://www.google.de/#q=http://www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressemitteilungen/2010/20100830__DeutschlandwetterSommer2010,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/20100830_DeutschlandwetterSommer2010.pdf)
- Edwards, R. L., Omtvedt, I. T., Tiesman, E. J., Stephens, D. F. und Mahoney, G. W. A. (1968). Reproductive performance of gilts following heat stress prior to breeding and in early gestation. *Journal of Animal Science* 27, 1634–1637.
- Europäische Umweltagentur (EEA). (2010). The european environment state and outlook 2010 - Adapting to climate change. *European Environment Agency*.
- Eigenberg, R. A., Brown-Brandl, T. M., Nienaber, J. A. und Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 2: Predictive Relationships. *Biosystems Engineering* 91, 111–118.

- Einarsson, S., Brandt, Y., Lundeheim, N. und Madej, A. (2008). Stress and its influence on reproduction in pigs: a review. *Acta Veterinaria Scandinavica* 50, 1-8.
- Eurostat. (2012). Agriculture, fishery and forestry statistics Main results 2010 - 11. Eurostat Pocketbooks. Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- FAO. (2006). Livestock's long shadow - environmental issues and options. Rome, Italy.
- Fialho, F. B., Bucklin, R. A., Zazueta, F. S. und Myer, R. O. (2004). Theoretical model of heat balance in pigs. *Animal Science* 79, 121 – 134.
- Freitas, M., Misztal, I., Bohmanova, J. und West, J. (2006). Utility of on- and off-farm weather records for studies in genetics of heat tolerance. *Livestock Science* 105, 223–228.
- Fuquay, J. (1981). Heat stress as it affects animal production. *Journal of Animal Science* 52, 164 – 174.
- Gauly, M., Bollwein, H., Breves, G., Brügemann, K., Dänicke, S., Das, G., Demeler, J., Hansen, H., Isselstein, J., König, S., Lohölter, M., Martinsohn, M., Meyer, U., Potthoff, M., Sanker, C., Schröder, B., Wrage, N., Meibaum, B., von Samson-Himmelstjerna, G., Stinshoff, H. und Wrenzycki, C. (2013). Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe - a review. *Animal* 7, 843–859.
- Georgiev, S. (1972). Wirkungen hoher Umgebungstemperaturen auf den Wasser- und Elektrolythaushalt des Schweines in verschiedenen Wachstumsstadien. *International Journal of Biometeorology* 16, 145–154.
- Gill, P. (2007). Managing reproduction - critical control points in exceeding 30 pigs per sow per year. In *London Swine Conference*. London. UK.
- Gramatte, W. (2009). Die Umsetzung der aktuellen DIN 18910 in die Praxis. *Bautagung Raumberg-Gumpenstein*. Österreich.
- Haeussermann, A., Hartung, E., Jungbluth, T., Vranken, E., Aerts, J. und Berckmans, D. (2007). Cooling effects and evaporation characteristics of fogging systems in an experimental piggery. *Biosystems Engineering* 97, 395–405.
- Hahn, G. L., Gaughan, J., Mader, T. und Eigenberg, R. (2009). Thermal indices and their Applications for Livestock Environments. In *Livestock energetics and thermal environmental Management* (pp. 113 – 130).
- Hahn, L. (1981). Housing and management to reduce climatic impacts on livestock. *Journal of Animal Science* 52, 175–186.

- Hälli, O. (2008). Effect of Environment and management on reproductive efficiency of sows with special emphasis on control of seasonal infertility. Dissertation University of Helsinki. Finland.
- Heitman, H. und Hughes, E. (1949). The effects of air temperature and relative humidity on the physiological well being of swine. *Journal of Animal Science* 8, 171 – 181.
- Hessel, E. F., Zurbake, C. und van den Weghe, H. F. A. (2010). Heating and cooling performance of an under floor earth tube air tempering system in a mechanical ventilated farrowing house. In *XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR)*. Québec City. Canada.
- Hoy, S., Gauly, M. und Krieter, J. (2006). *Nutztierhaltung und -hygiene*. Verlag Ulmer. Deutschland.
- Huffman, H. (2009). Effective Ventilation. In *9th London Swine Conference, Tools of the Trade 1-2 April* (p. 209). London, Ontario. Canada.
- Huynh, T. T. T., Aarnink, A. J. A., Verstegen, M. W. A., Gerrits, W. J. J., Heetkamp, M. J. W., Kemp, B. und Canh, T. T. (2005). Effects of increasing temperatures on physiological changes in pigs at different relative humidities. *Journal of Animal Science* 83, 1385–1396.
- Ingram, D. L. (1967). Stimulation of cutaneous glands in the pig. *Journal of Comparative Pathology* 77, 93 – 99.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1992). The 1992 IPCC Supplement: Scientific Assessment. IPCC working group I. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain, New York, NY, USA und Victoria, Australia.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland.
- Johnston, L. J., Ellis, M., Libal, G. W., Mayrose, V. B., Weldon, W. C. und NRC-89 Committee on swine. (1999). Effect of room temperature and dietary amino acid concentration on performance of lactating sows. *Journal of Animal Science* 77, 1638–1644.
- Kelly, C., Bond, T. und Heitman, H. J. (1954). The role of thermal radiation in animal ecology. *Ecology* 35, 562 – 569.
- Klein Tank, A. M. G. und Können, G. P. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1949-99. *Journal of Climate* 16, 3665–3680.

- Knap, P. W. (2005). Breeding robust pigs. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 45, 763-773.
- Koketsu, Y. und Dial, G. D. (1997). Factors influencing the postweaning reproductive performance of sows on commercial farms. *Theriogenology* 47, 1445–1461.
- Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). (2009). Faustzahlen für die Landwirtschaft (14. Ausgabe). Verlag YARA. Darmstadt.
- Lambert, E., Williams, D. H., Lynch, P. B., Hanrahan, T. J., McGeady, T. A., Austin, F. H., Boland, M.P. und Roche, J. F. (1991). The extent and timing of prenatal loss in gilts. *Theriogenology* 36, 655–665.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2013). Atlas Agrarstatistik NRW. Abgerufen am 11.03.2014 von [www.atlas-agrarstatistik.nrw.de](http://www.atlas-agrarstatistik.nrw.de)
- Leenhouders, J. I., van der Lende, T. und Knol, E. F. (1999). Analysis of stillbirth in different lines of pig. *Livestock Production Science* 57, 243–253.
- Leman, A., Hurtgen, J. und Hilley, H. (1979). Influence of intrauterine events on postnatal survival in the pig. *Journal of Animal Science* 49, 221 – 225.
- Love, R. J., Klupiec, C., Thornton, E. J. und Evans, G. (1995). An interaction between feeding rate and season affects fertility of sows. *Animal Reproduction Science* 39, 275 – 284.
- Lucas, E. (2000). Potential for Evaporative Cooling during Heat Stress Periods in Pig Production in Portugal (Alentejo). *Journal of Agricultural Engineering Research* 76, 363–371.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK). (2012). Betriebszweigsauswertung in der Ferkelerzeugung. Abgerufen am 19.03.2013 von <http://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/tier/nav/227/article/18955.html>
- Mader, T., Davis, S., Gaughan, J. und Brown-brandl, T. (2003). Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index. *15<sup>th</sup> Conference on Biometeorology and Aerobiology and the 16<sup>th</sup> International Congress of Biometeorology*. Kansas City, USA.
- McArthur, A. (1987). Thermal interaction between animal and microclimate: a comprehensive model. *Journal of Theoretical Biology* 126, 203 – 238.
- McGlone, J. J., Stansbury, W. F. und Tribble, L. F. (1988). Management of lactating sows during heat stress: effects of water drip, snout coolers, floor type and a high energy-density diet. *Journal of Animal Science* 66, 885–891.
- McGlone, J. J., Stansbury, W. F., Tribble, L. F. und Morrow, J. L. (1988). Photoperiod and heat stress influence on lactating sow performance and photoperiod effects on nursery pig performance. *Journal of Animal Science* 66, 1915–1919.

- Merks, J. W. M., Mathur, P. K. und Knol, E. F. (2012). New phenotypes for new breeding goals in pigs. *Animal* 6, 535–543.
- Moberg, G. und Mench, J. (2000). *The biology of animal stress: basic principles and implications for animal welfare*. Wallingford, UK. CABI Publishing.
- Monteith, J. L. und Mount, L. E. (1974). Heat loss from animals and man: assessment and control. Proceedings of the Twentieth Easter School in Agricultural Science, University of Nottingham, 1973. UK.
- Morrison, S. R., Heitman, H. und Bond, T. E. (1969). Effect of humidity on swine at temperatures above optimum. *International Journal of Biometeorology* 13, 135–139.
- Mösenbacher-Molterer, I., Zentner, E. und Suchanek, S. (2009). Lüftungstechnische Anforderungen, Details und Daten einer Messreihe aus dem Wartestall. In *Bautagung Raumberg-Gumpenstein 2009*. Österreich.
- Mount, L. E. (1975). The assessment of thermal environment in relation to pig production. *Livestock Production Science* 2, 381–392.
- Mwanza, A. M., Madej, A., Kindahl, H., Lundeheim, N. und Einarsson, S. (2000). Plasma levels of cortisol, progesterone, oestradiol-17 beta and prostaglandin F 2alpha metabolite after ACTH (Synacthen Depot) administration in ovariectomized gilts. *Journal of Veterinary Medicine Series A* 47, 193–200.
- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N. und Bernabucci, U. (2006). Climatic Effects on Productive Traits in Livestock. *Veterinary Research Communications* 30, 75–81.
- National Research Council (NRC). (1971). *A Guide to Environmental Research on Animals*. Washington DC, USA.
- National Weather Service Central Region (NWSCR). (1976). Livestock hot weather stress. Regional Operations Manual Letter C-31-76. National Weather Service Central Region, USA.
- Omtvedt, I. T., Nelson, R. E., Edwards, R. L., Stephens, D. F. und Turman, E. J. (1971). Influence of heat stress during early, mid and late pregnancy of gilts. *Journal of Animal Science* 32, 312–317.
- Patience, J., Umboh, J., Chaplin, R. und Nyachoti, C. (2005). Nutritional and physiological responses of growing pigs exposed to a diurnal pattern of heat stress. *Livestock Production Science* 96, 205–214.
- Perry, J. S. und Rowlands, I. W. (1962). Early pregnancy in the pig. *Journal of Reproduction and Fertility* 4, 175–188.
- Prunier, A., De Bragança, M. M. und Le Dividich, J. (1997). Influence of high ambient temperature on performance of reproductive sows. *Livestock Production Science* 52, 123–133.

- Quesnel, H., Pasquier, A., Mounier, A. M. und Prunier, A. (1998). Influence of feed restriction during lactation on gonadotropic hormones and ovarian development in primiparous sows. *Journal of Animal Science* 76, 856–863.
- Quiniou, N., Dagorn, J. und Gaudré, D. (2002). Variation of piglets' birth weight and consequences on subsequent performance. *Livestock Production Science* 78, 63–70.
- Razdan, P., Tummaruk, P., Kindahl, H., Rodriguez-Martinez, H., Hultén, F. und Einarsson, S. (2004). Hormonal profiles and embryo survival of sows subjected to induced stress during days 13 and 14 of pregnancy. *Animal Reproduction Science* 81, 295–312.
- Reiner, G. (2006). Genetische Aspekte der Fruchtbarkeit beim Schwein. *Tierärztliche Praxis* 34, 1–8.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., Basilio de, V., Gourdine, J. L. und Collier, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal* 6, 707–728.
- Renaudeau, D. und Noblet, J. (2001). Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on sow milk production and performance of piglets. *Journal of Animal Science* 79, 1540–1548.
- Renaudeau, D., Quiniou, N. und Noblet, J. (2001). Effects of exposure to high ambient temperature and dietary protein level on performance of multiparous lactating sows. *Journal of Animal Science* 79, 1240–1249.
- Sada, O. und Reppo, B. (2009). Effect of animal keeping technologies on the pigsty inner climate in summer. In *Engineering for rural development* (pp. 70–75). Jelgava, Latvia.
- Sales, G. T., Fialho, E. T., Yanagi Jr, T., Freitas, R. T. F. D., Teixeira, V. H., Gates, R. S., und Day, G. B. (2008). Thermal Environment Influence on Swine Reproductive Performance. In *Livestock Environment VIII 31 August - 4 September 2008 Conference Iguassu Falls*. Brasilien.
- Sanker, C., Lambertz, C. und Gauly, M. (2013). Climatic effects in Central Europe on the frequency of medical treatments of dairy cows. *Animal* 7, 316–321.
- Schaller, M. und Weigel, H.-J. (2007). Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Sonderheft 316. Landbauforschung Völkenrode. FAL Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Braunschweig.
- Schnurrbusch, U. (2006). Physiologie und Pathologie der Fortpflanzung weiblicher Tiere. In K. Heinritzi, H. R. Gindele, G. Reiner und U. Schnurrbusch (Eds.), *Schweinekrankheiten* (pp. 179–305). Verlag Ulmer.

- Schönwiese, C.-D., Staeger, T., Trömel, S. und Jonas, M. (2004). *Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland, Klimastatusbericht 2003* (pp. 123–132). Offenbach.
- Seedorf, J., Hartung, J., Schröder, M., Linkert, K. H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J. O., Metz, J. H. M., Groot Koerkamp, P. W. G., Uenk, G. H., Phillips, V. R., Holden, M. R., Sneath, R. W., Short, J. L., White, R. P. und Wathes, C. M. (1998). Temperature and Moisture Conditions in Livestock Buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 49–57.
- Stansbury, W. F., Mcglone, J. J. und Tribble, L. F. (1987). Effects of season, floor type, air temperature and snout coolers on sow and litter performance. *Journal of Animal Science* 65, 1507–1513.
- Stephens, D. B. und Start, I. B. (1970). The effect of ambient temperature, nature and temperature of the floor and radiant heat on the metabolic rate of the newborn pig. *International Journal of Biometeorology* 14, 275 – 283.
- Stone, B. A. (1982). Heat induced infertility of boars: The inter-relationship between depressed sperm output and fertility and an estimation of the critical air temperature above which sperm output is impaired. *Animal Reproduction Science* 4, 283–299.
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B. und Schnitkey, G. (2003). Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *Journal of Dairy Science* 86, E52–E77.
- Suriyasomboon, A., Lundeheim, N., Kunavongkrit, A. und Einarsson, S. (2006). Effect of temperature and humidity on reproductive performance of crossbred sows in Thailand. *Theriogenology* 65, 606–628.
- Tantasuparuk, W., Lundeheim, N., Dalin, A. M., Kunavongkrit, A. und Einarsson, S. (2000). Reproductive performance of purebred landrace and Yorkshire sows in Thailand with special reference to seasonal influence and parity number. *Theriogenology* 54, 481–496.
- Thom, E. C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise* 12, 57–61.
- Tummaruk, P., Tantasuparuk, W., Techakumphu, M. und Kunavongkrit, A. (2004). Effect of season and outdoor climate on litter size at birth in purebred landrace and yorkshire sows in Thailand. *Journal of Veterinary Medicine Science* 66, 477–482.
- Turnpenny, J. R., McArthur, A. J., Clark, J. A. und Wathes, C. M. (2000). Thermal balance of livestock 1. A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology* 101, 15–27.
- Turnpenny, J. R., Parsons, D. J., Armstrong, A. C., Clark, J. A., Cooper, K. und Matthews, A. M. (2007). Integrated models of livestock systems for climate change studies. 2. Intensive systems. *Global Change Biology* 7, 163–170.

- Umwelt Bundesamt. (2006). Künftige Klimaänderungen in Deutschland - Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert.
- Van der Waaij, E. H. (2004). A resource allocation model describing consequences of artificial selection under metabolic stress. *Journal of Animal Science* 82, 973–981.
- Wähner, M. und Hoy, S. (2009). Taschenbuch Schweine Schweinezucht und -mast von A bis Z. Verlag Ulmer.
- Wan, S. S., Hennessy, D. P. und Cranwell, P. D. (1994). Seasonal infertility, stress and adrenocortical responsiveness in pigs. *Animal Reproduction Science* 34, 265–279.
- Wehrkamp zu Höne, A. (2007). Epidemiologische Untersuchungen zum Reproduktionsmanagement in ausgewählten Sauenbeständen in Nordwestdeutschland. Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
- Wildt, D. E., Riegler, G. D. und Dukelow, W. R. (1975). Physiological temperature response and embryonic mortality in stressed swine. *American Journal of Physiology* 229, 1471–1475.
- Zentrale Markt- und Preisinformationen GmbH (ZMP). (2003). *ZMP-Bilanz Vieh und Fleisch 2003*. Bonn.
- Zentrale Markt- und Preisinformationen GmbH (ZMP). (2004). *ZMP-Bilanz Vieh und Fleisch 2004*. Bonn.
- Zentrale Markt- und Preisinformationen GmbH (ZMP). (2005). *ZMP-Bilanz Vieh und Fleisch 2005*. Bonn.
- Zentrale Markt- und Preisinformationen GmbH (ZMP). (2006). *ZMP-Bilanz Vieh und Fleisch 2006*. Bonn.
- Zentrale Markt- und Preisinformationen GmbH (ZMP). (2007). *ZMP-Bilanz Vieh und Fleisch 2007*. Bonn.
- Zumbach, B., Misztal, I., Tsuruta, S., Sanchez, J. P., Azain, M., Herring, W., Holl, J., Long, T. und Culbertson, M. (2008). Genetic components of heat stress in finishing pigs: development of a heat load function. *Journal of Animal Science* 86, 2082–2088.
- Zurhake, C. (2010). *Klimatische Stresssituationen beim Schwein und Maßnahmen zur Minderung*. Masterarbeit an der Universität Göttingen.

## 10 Anhang

### **Einfluss von Temperatur und des Temperatur-Luftfeuchtigkeits-Index (THI) auf Fruchtbarkeitsparameter von Sauen in den Sommermonaten unter moderaten Klimabedingungen**

#### **10.1 Material und Methoden**

##### *Tiere, Bestände und Haltungssystem*

In diesem Versuchsansatz gingen Leistungsdaten von 22 ferkelerzeugenden Betrieben aus Niedersachsen ein. Die Herdengröße schwankte zwischen 110 und 1000 Sauen. Die Sauengenetik schwankte innerhalb und zwischen den Betrieben. Alle Sauen wurden in geschlossenen, zwangsbelüfteten Ställen gehalten und künstlich besamt. Die Sauen wurden zur Besamung und in den folgenden 4 Wochen in Einzelhaltung gehalten. In 10 Betrieben wurden die Sauen über die gesamte Wartezeit in Einzelhaltung gehalten. Die übrigen 12 Betriebe hatten Gruppenhaltungen im Wartestallbereich, davon hielten 8 Betriebe die Sauen in stabilen Gruppen von 8 bis 100 Sauen und 4 Betriebe hatten dynamische Gruppen mit 10 bis 120 Sauen. Eine Woche vor der Geburt der Ferkel wurden alle Sauen in die Abferkelabteile umgestallt. Die Geburt wurde in 16 Betrieben mit *Prostaglandin-F2 $\alpha$*  eingeleitet. In den übrigen 6 Betrieben wurde die Geburt nicht routinemäßig eingeleitet. Die Fütterung der Sauen erfolgte ein- bis zweimal täglich und Wasser war *ad libitum* verfügbar. Die Stalltemperatur wurde automatisch durch Lüftungscomputer gesteuert. Eine aktive Kühlung von Abteilen war in 6 Betrieben möglich.

##### *Wetterdaten*

Die Wetterdaten wurden von der am nächsten am jeweiligen Betrieb liegenden Wetterstation des deutschen Wetterdienst (DWD) bezogen. Neun Wetterstationen wurden ausgesucht mit einer mittleren Entfernung von 15km und einer maximalen Entfernung von 27km zum entsprechenden Betrieb. Die Stationsdaten umfassten mittlere, minimale und maximale Temperatur (°C) und relative Luftfeuchtigkeit (%) über die Jahre 2009 bis 2011.

### *Sauenleistungsdaten*

Alle Betriebe nutzten entweder den db-Planer (Version V1209, Bundes Hybrid Zuchtprogramm (BHZP), Ellringen, Deutschland) oder den Agrar-Office Sauenplaner (LAND-DATA Eurosoft GmbH und Co. KG, Pfarrkirchen, Deutschland). Daten des letzteren wurden von der Softwareabteilung der BHZP in db-Planer Dateien umgewandelt, um mit einem einheitlichen Dateiformat arbeiten zu können. Die individuellen Fruchtbarkeitsdaten umfassten das Besamungsdatum, die Wurfnummer, das Wurfdatum, die Anzahl an lebend und tot geborenen Ferkeln, das Absetzdatum und die Anzahl abgesetzter Ferkel sowie die Ferkelverluste bis zum Absetzen.

### *Statistische Auswertungen*

Um die Klimaauswirkungen auf die Fruchtbarkeitsparameter der Sauen zu testen, wurden die Sauenleistungsdaten mit den Wetterdaten der nächstgelegenen Wetterstation zusammengefügt. Der THI wurde nach der Formel des NWSCR (1976) berechnet:

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

mit T für die Temperatur in °C und RH für relative Luftfeuchtigkeit in %. Berechnet wurden mittlere und maximale tägliche THI Werte. Der Einfluss des Klimas auf die Fruchtbarkeitsparameter wurde für den Zeitraum von Mai bis September berechnet, da in diesem Zeitraum ein Einfluss der Temperatur und des THI auf das Stallklima erwartet werden konnte (siehe Ergebnisse Kapitel 3).

Der Einfluss des Klimas wurde für mehrere Zeiträume innerhalb des Reproduktionszyklus der Sauen berechnet. Insgesamt wurden 22264 erfolgreiche Besamungen und 21610 daraus folgenden Geburten analysiert. Die Wurfnummer wurde in Anlehnung an Suriyasomboon et al. (2006) eingeteilt in 1 = Jungsauen, 2 = Erstlingssauen (bereits 1 Wurf gehabt), 3 = Sauen mit 2 und 3 Würfen, 4 = Sauen mit 4 und 5 Würfen und 5 = Sauen mit 6 und mehr Würfen. Die Daten wurden separat für jeden der 6 Tage vor der Besamung, 14 Tage nach der Besamung, 5 Tage vor der Abferkelung und 7 Tage nach der Abferkelung analysiert. Die Daten für jede abhängige Variable wurden mit einem gemischten Model analysiert, welches die Effekte Jahr (1-3) und Wurfnummer (1-5) als fixe Effekte beinhaltete und die Temperatur und den THI jeweils als Kovariable berücksichtigte. Die Analyse erfolgte mit der Prozedur GLIMMIX in SAS 9.3 (SAS Institute Inc. Cary, NC, USA). Der

Betrieb (1-22) und der Effekt der individuellen Sau gingen als R- und G-Side zufällige Effekte in das Modell ein. Eine Normalverteilung der Daten wurde angenommen. Die Ergebnisse werden als LSMEANS und deren Standardfehler angegeben.

Tabelle 1: Anzahl an Tagen mit mittleren und maximalen täglichen Außentemperaturen in Temperaturklassen in den Sommermonaten der Jahre 2009 bis 2011

Temperaturklasse	Mittlere Temperatur (Anzahl Tage)	Maximale Temperatur (Anzahl Tage)
< 10 °C	26	1
10 – 15 °C	173	22
15 – 20 °C	203	121
20 – 25 °C	49	173
25 – 30 °C	8	114
> 30 °C	0	28

Tabelle 2: Anzahl an Tagen mit mittlerem und maximalem THI in THI-Klassen während der Sommermonate der Jahre 2009 bis 2011

THI-Klasse	< 74	74 -78	79 - 83	≥ 84
Mittlerer THI	458	1	0	0
Maximaler THI	406	38	10	5

## 10.2 Ergebnisse

### *Klimabedingungen*

Die Abbildung 7 zeigt die täglichen mittleren Temperaturen über alle Wetterstationen in den Sommermonaten von Mai bis September für die Jahre 2009, 2010 und 2011. Die mittlere Temperatur im Versuchszeitraum betrug  $16 \pm 3,3$  °C in 2009,  $15,4 \pm 4,6$  °C in 2010 and  $15,9 \pm 3,1$  °C in 2011. Eine Klassifizierung der täglichen mittleren und maximalen Temperaturen ist in Tabelle 1 wiedergegeben. Die tägliche mittlere Temperatur lag im Auswertungszeitraum an 26 Tagen unter 10°C. Der überwiegende Anteil der Tage wies mittlere Temperaturen zwischen 15 und 20°C auf (n=203). Mittlere Temperaturen von über 20°C wurden an 57 Tagen gemessen, darunter lagen die mittleren Temperaturen an 8 Tagen über 25°C (Tabelle 1). Die mittleren täglichen Temperaturen überschritten 30°C nicht. Der mittlere tägliche THI-Verlauf

gemittelt über alle Stationen ist in Abbildung 8 gezeigt. Die mittleren THI Werte über alle Stationen und die Versuchsperiode betragen  $59,8 \pm 3,7$ ,  $59,3 \pm 5,2$  und  $59,5 \pm 3,5$  für die Jahre 2009, 2010 und 2011. Der mittlere THI war innerhalb des normalen Bereichs ( $\text{THI} < 74$ ) mit Ausnahme von einem Tag im Jahr 2010, welcher einen mittleren THI von 74 überschritt. In Tabelle 2 ist die Klassenaufteilung der mittleren und maximalen THI-Werte angegeben. Auch bei Betrachtung der maximalen THI-Werte hatte die überwiegende Anzahl an Tagen einen THI von unter 74. Ein maximaler THI von 84 wurde an 5 Tagen überschritten.

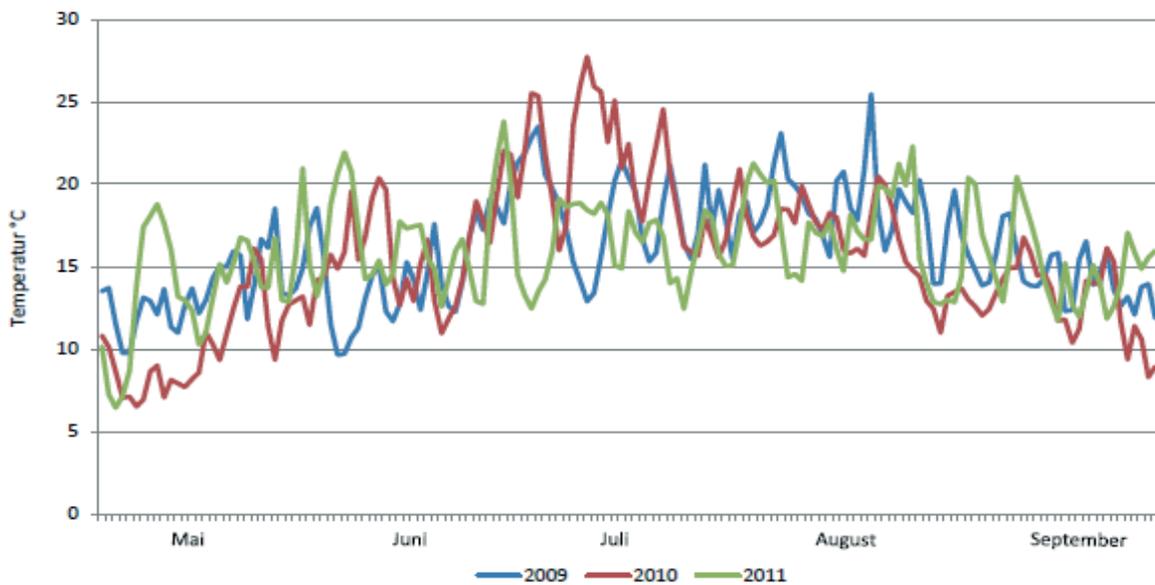


Abbildung 7: Mittlere tägliche Temperatur gemittelt über 9 Wetterstationen der Monate Mai bis September der Jahre 2009 bis 2011

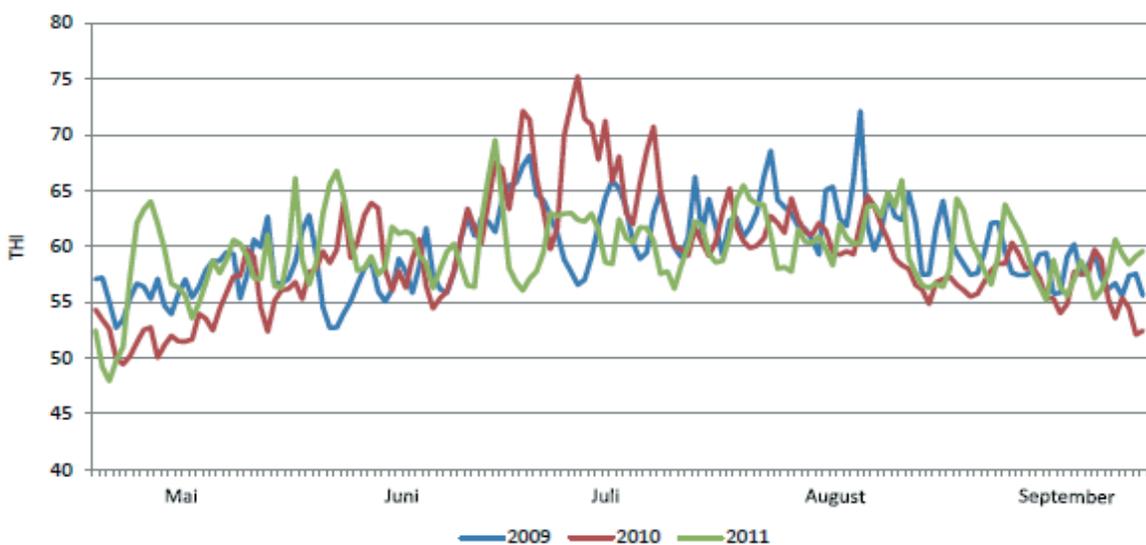


Abbildung 8: Mittlere tägliche THI-Werte gemittelt über 9 Wetterstationen der Monate Mai bis September der Jahre 2009 bis 2011

### *Einfluss von Wurfnummer und Jahr*

Die Wurfnummer hatte einen signifikanten Einfluss auf die betrachteten Fruchtbarkeitsparameter ( $P < 0,001$ ). Die Anzahl gesamt geborener Ferkel war bei den Jungsaunen am geringsten ( $P < 0,05$ ), nahm bis zu einem Maximum im 5. Wurf zu ( $P < 0,05$ ) und nahm bei Saunen mit über 5 Würfen wieder ab ( $P < 0,05$ ). Auch die Anzahl der lebend geborenen Ferkel nahm mit zunehmender Wurfnummer zu ( $P < 0,05$ ) mit einem Maximum im 3. Wurf und nahm mit zunehmender Wurfnummer wieder ab ( $P < 0,05$ ). Die Anzahl tot geborener Ferkel nahm mit zunehmender Wurfnummer zu ( $P < 0,001$ ), mit einem Minimum bei den Jungsaunen. Die Anzahl der abgesetzten Ferkel war am höchsten bei den Jungsaunen und nahm mit zunehmender Wurfnummer ab.

Alle betrachteten Fruchtbarkeitsparameter waren signifikant durch das Jahr beeinflusst ( $P < 0,001$ ). Die Fruchtbarkeitsleistungen verbesserten sich von 2009 bis 2011, was sich durch eine größere Anzahl gesamt, lebend und abgesetzter Ferkel pro Wurf zeigte. Allerdings stieg auch die Anzahl der tot geborenen Ferkel an.

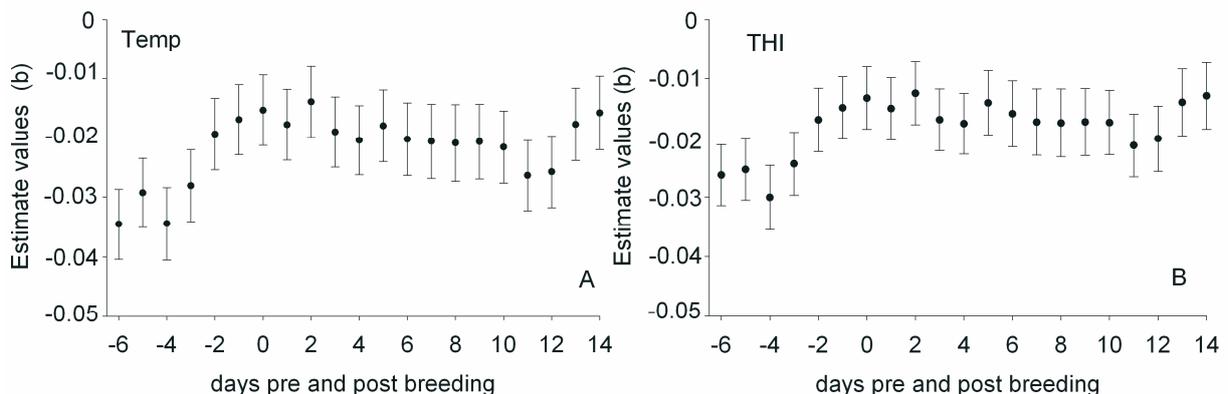


Abbildung 9: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel an den Tagen vor und nach der Besamung (Kovariableneffekt ist durch die Schätzwerte (b) auf der y-Achse gezeigt)\*

\*alle Schätzwerte signifikant für  $p < 0,05$

### *Klimaeinfluss auf Fruchtbarkeitsparameter*

Hohe Temperaturen oder hohe THI-Werte im Zeitraum von 6 Tagen vor der Besamung, am Tag der Besamung und den folgenden 14 Tagen standen in Zusammenhang mit einer verringerten Anzahl gesamt geborener Ferkel je Wurf ( $P < 0,05$ ; Abbildung 9 A und B). An jedem dieser Tage wurden negative b-Werte für

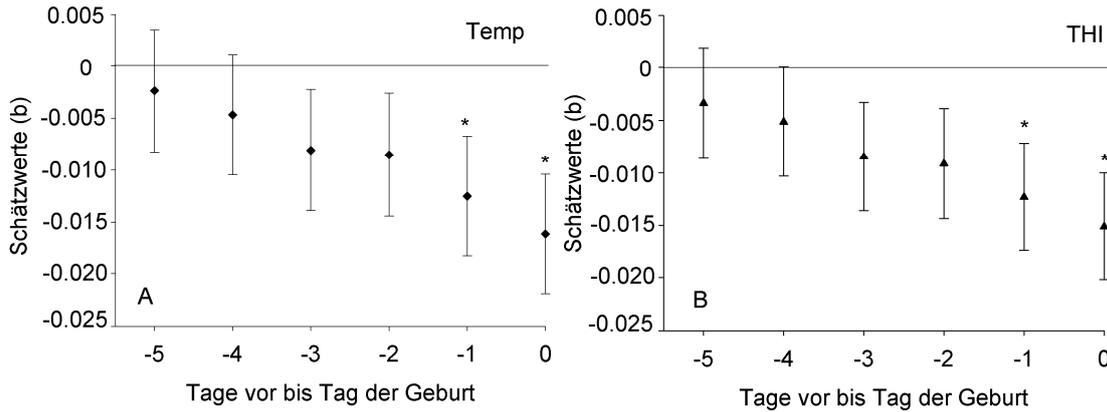


Abbildung 10: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der lebend geborenen Ferkel vor und am Tag der Geburt (Kovariableneffekte sind durch Schätzwerte (b) auf der y-Achse dargestellt)

\*Schätzwerte waren signifikant für  $p < 0,05$

den Zusammenhang zwischen Wurfgröße und steigenden Temperatur- und THI-Werten geschätzt. Der größte negative Einfluss vor der Besamung trat vier Tage vor Belegung auf ( $P < 0,001$ ). Der Anstieg der Temperatur um  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  verringerte die Wurfgröße um 0,03 Ferkel. Den stärksten negativen Einfluss auf die Wurfgröße nach der Besamung hatten die Tage 11 und 12 ( $P < 0,001$ ). Hohe Temperaturen und THI-Werte hatten am Tag der Abferkelung und einen Tag vor der Geburt der Ferkel waren mit einer geringeren Anzahl lebend geborener Ferkel verbunden ( $P < 0,05$ ; Abbildung 10 A und B). Die Anzahl der tot geborenen Ferkel pro Wurf stieg signifikant mit höheren Temperaturen und THI über 5 Tage vor der Geburt und dem Tag der Abferkelung ( $P < 0,001$ ; Abbildung 11 A und B). Nach der Geburt waren hohe Temperaturen am ersten und siebten Tag nach der Abferkelung mit einer verminderten Anzahl an abgesetzten Ferkeln assoziiert ( $P < 0,05$ ; Abbildung 12 A). Hohe THI-Werte hatten zudem einen negativen Einfluss auf die Anzahl der abgesetzten Ferkel am Tag der Geburt ( $P < 0,05$ ; Abbildung 12 B). Die Ferkelverluste wurden im Zeitraum von 7 Tagen nach der Geburt nicht von der Temperatur oder dem THI beeinflusst ( $P > 0,07$ ).

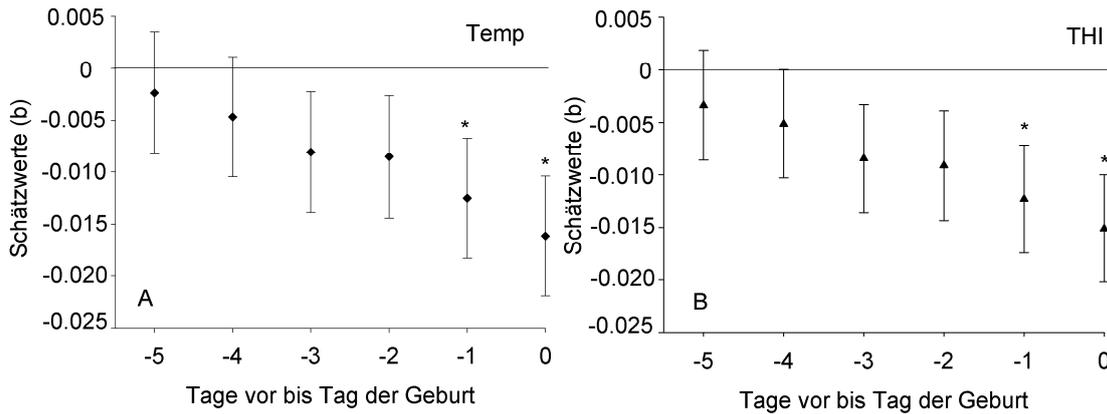


Abbildung 11: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der tot geborenen Ferkel vor und am Tag der Geburt (Kovariableneffekte sind durch Schätzwerte (b) auf der y-Achse dargestellt)

\*Schätzwerte waren signifikant für  $p < 0,05$

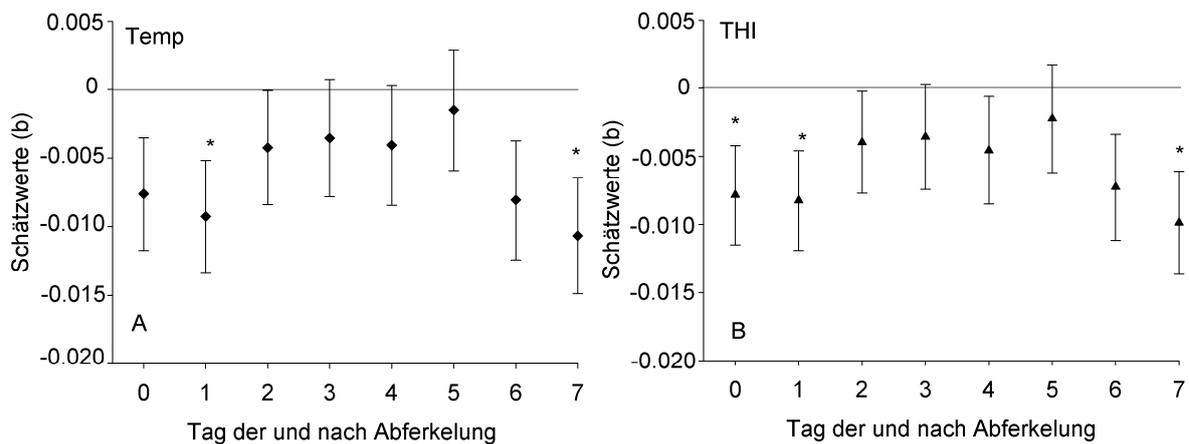


Abbildung 12: Einfluss der Temperatur (A) und des THI (B) auf die Anzahl der abgesetzten Ferkel am Tag und nach der Geburt (Kovariableneffekte sind durch Schätzwerte (b) auf der y-Achse dargestellt)

\*Schätzwerte waren signifikant für  $p < 0,05$

### 10.3 Diskussion

#### *Klimabedingungen*

Ergebnisse des von Freitas et al. (2006) durchgeführten Vergleichs von Klimadaten, welche entweder auf dem Betrieb oder von Wetterstationen aufgezeichnet wurden zeigten, dass sich diese nicht signifikant unterschieden. Daraus folgerten die Autoren, dass für genetische Schätzungen von Hitzestressparametern Wetterstationsdaten ausreichend sind. Allerdings wurde dieser Versuch mit Offenställen für Kühe in den USA durchgeführt und die Ergebnisse sind nicht direkt

auf die in zwangsbelüfteten, geschlossenen Sauenställen dieses Versuchs übertragbar. Ein direkter Effekt der Außentemperatur auf das Stallklima konnte aber im Versuch in Kapitel 3 in den Sommermonaten nachgewiesen werden. Ein drastischer Anstieg der Stalltemperaturen bei Überschreitung von Außentemperaturen von 17°C wurde in der Studie von Seedorf et al. (1998) beschrieben. Der Fokus wurde auf die Sommermonate von Mai bis September gelegt um den Effekt eines relativ warmen Klimas auf die Fruchtbarkeitsparameter analysieren zu können.

Die Temperaturen in allen 3 Jahren waren weitgehend moderat und unterschieden sich nicht voneinander; lediglich im Sommer 2010 überschritt die mittlere tägliche Temperatur 25°C über einen Zeitraum von 7 Tagen. Temperaturschwankungen über den Tag haben, in einem gewissen Rahmen einen positiven Effekt auf Sauen (Mösenbacher-Molterer et al., 2009) und geben den Tieren eine Möglichkeit sich von Temperaturstress zu erholen. Längere Zeiträume mit Hitzestress und erhöhten nächtlichen Temperaturen, wie sie während Hitzewellen vorkommen können, haben möglicherweise verheerende Folgen für die Tiere (Renaudeau et al., 2012; Sanker et al., 2013). Experimente mit Jungsauen haben gezeigt, dass sie sich über einen längeren Zeitraum an hohe Temperaturen anpassen konnten. Die rektalen Temperaturen fielen bis auf ein gewisses Level, blieben aber immer oberhalb der normalen Körpertemperatur (Edwards et al., 1968; Omtvedt et al., 1971).

#### *Einfluss von Wurfnummer und Jahr*

Der Einfluss der Wurfnummer auf die Fruchtbarkeitsparameter ist bekannt (Suriyasomboon et al., 2006; Tummaruk et al., 2004). Jungsauen befinden sich noch in der Wachstumsphase, haben ein geringeres Körpergewicht und geringere Körpergröße im Vergleich zu den Altsauen, was sich in geringeren Wurfgrößen zeigt (Bloemhof et al., 2013). Mit zunehmenden Alter und Wachstum steigen auch die Ovulationsraten und die Uterusgröße, was sich in einer Zunahme der Wurfgröße auswirkt (Leenhouwers et al., 1999). Bei den Altsauen sinken die Wurfgröße und insbesondere die Anzahl der lebend geborenen Ferkel (Tantasuparuk et al., 2000; Tummaruk et al., 2004). Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen mit den Ergebnissen der oben genannten Arbeiten überein.

Der Einfluss des Jahres geht vermutlich auf die genetischen Verbesserungen in den letzten Jahren und oder im Management der Betriebe zurück, da sich weder die

Temperatur noch der THI zwischen den Versuchsjahren unterschieden. Die Fruchtbarkeitsparameter wurden in den letzten Jahren massiv züchterisch verbessert (Bloemhof et al., 2012; Boulot et al., 2008). Ein Nebeneffekt daraus ist eine verminderte obere kritische Temperatur der Sauen durch erhöhte metabolische Wärmeproduktion (Fuquay, 1981). Des Weiteren trägt die Selektion von Schweinen unter optimalen Umwelt- und Haltungsbedingungen, wie sie bei den Zuchtunternehmen herrschen dazu bei, dass Schweine sensitiver gegenüber weniger optimalen Bedingungen werden (van der Waaij, 2004). Daraus folgt, dass Hitzestress bereits unter moderaten Bedingungen, aufgrund der geringen Hitzestressadaptation der hoch produktiven Sauen, auftreten kann.

#### *Klimaeinfluss auf Fruchtbarkeitsparameter*

Eine verringerte Wurfgröße bei hitzestressen Sauen wird von mehreren Autoren beschrieben (u.a. (Almond und Bilkei, 2005; Suriyasomboon et al., 2006). Der Zeitraum der Einwirkung von Hitzestress spielt dabei eine entscheidende Rolle. Eine aktuelle Studie über den Einfluss der Temperatur auf Sauen weist darauf hin, dass der Zeitraum zwischen 7 Tage vor bis 12 Tage nach der erfolgreichen Besamung den größten Effekt auf die Anzahl der gesamt geborenen Ferkel hat (Bloemhof et al., 2013). Ähnliche Ergebnisse wurden bereits durch Omtvedt et al. (1971) veröffentlicht. Der größte Effekt von Hitzestress auf Jungsauen wurde im Zeitraum von 8 bis 16 Tagen nach der Besamung festgestellt mit der Schlussfolgerung, dass die Implantationsperiode die empfindlichste Phase für Hitzestress ist. Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen mit diesen Ergebnissen überein. Quesnel et al. (1998) beschreiben einen positiven Zusammenhang zwischen der Futteraufnahme während der Laktation und den Ovarfunktionen nach dem Absetzen. Sauen mit reduzierter Futtermenge zeigten eine langsamere Follikelentwicklung und das Ovargewicht, der Durchmesser und das Volumen des größten Follikels waren signifikant geringer als bei den gut gefütterten Sauen (Quesnel et al., 1998). Die Futteraufnahme bei Sauen sinkt ab 16°C (Black et al., 1993). Insbesondere während der Laktation, wenn viel Energie zur Milchbildung benötigt wird, hat Hitzestress einen negativen Einfluss auf Sauen und Ferkel (Renaudeau und Noblet, 2001). Eine verringerte Futteraufnahme ist vermutlich der Grund für den klimatischen Einfluss vor der Besamung. Die Implantation der Embryonen beginnt bei Sauen um den 12. Tag nach der Besamung.

Ein Einfluss auf diese Phase ist wahrscheinlich der Grund für den Einfluss von hohen Temperatur und THI-Werten an diesen Tagen.

Hitzestress vor der Geburt führte bei Jungsauen zu einer verringerten Zahl lebend und vermehrt tot geborenen Ferkeln, während kein Einfluss in der mittleren Trächtigkeit gefunden wurde (Omtvedt et al., 1971). Die Geburt ist ein stressvolles Ereignis für Sauen. Das Kreislaufsystem der Sauen wird, aufgrund von anatomischen Gründen und der fehlenden Aktivität schnell überfordert, was zu Kreislaufüberlastung und im schlimmsten Fall zum Tod der Tiere führen kann (Drolet et al., 1992). Auch hohe Temperaturen werden als Stressfaktoren für Sauen betrachtet, sodass der kombinierte Effekt aus Geburt und Hitzestress für Sauen und Ferkel verheerend sein kann (D'Allaire et al., 1996; Drolet et al., 1992). Dementsprechend werden unter Hitzestress vermehrt tot und weniger lebend geborene Ferkel beobachtet (Edwards et al., 1968; Omtvedt et al., 1971; Suriyasomboon et al., 2006). Diese Beobachtung wird weitgehend von den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit unterstützt. Hohe Temperatur und THI-Werte wirken sich negativ auf die Anzahl der abgesetzten Ferkel aus, allerdings nur am ersten und siebten Tag nach der Geburt. Ein Rückgang der Milchleistung unter Hitzestressbedingungen bei Sauen ist bekannt (Johnston et al., 1999; McGlone et al., 1988; Renaudeau und Noblet, 2001), was sich auf die Ferkelverluste auswirken kann. Die Ferkel benötigen nach der ersten Lebenswoche mehr Milch als kurz nach der Geburt, was ein Grund für die erhöhten Ferkelverluste am siebten Tag nach der Geburt sein kann. Die Aktivität hitzestresser Sauen nahm in einem Versuch von Wildt et al. (1975) zu, eine Begründung dafür konnte nicht gegeben werden. Eine mögliche Ursache war der Versuch der Hitze zu entkommen, was durch die Fixierung in Kastenständen nicht möglich war. Daraus folgend könnte es vermehrt zu erdrückten Ferkeln bei hitzestresser Sauen kommen, was die Anzahl abgesetzter Ferkel verringert. Jungsauen waren in der Studie von Bloemhof et al. (2013) stärker von Hitzestress betroffen als Altsauen. Allerdings wurden die Versuche in Spanien und Portugal durchgeführt, wo die Temperaturen höher sind als in Deutschland. Eine Interaktion zwischen Wurfnummer und dem Klima konnten im Rahmen dieser Auswertungen nicht festgestellt werden.

## Danksagung

Zunächst möchte ich mich herzlich bei Herr Prof. Gauly für das Vertrauen und die Überlassung dieses aktuellen und komplexen Themas bedanken. Danke für Ihre Geduld und die Ermunterungen in den Zeiten, in denen die „Datenflut“ zu groß wirkte und das Chaos zu siegen schien.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Herr Prof. Reiner für die Betreuung meiner Arbeit. Vielen Dank für die Bearbeitung meiner Manuskripte und die freundlichen und hilfreichen Kommentare.

Ein riesiges Dankeschön geht an die Leute, die sich die meiste Zeit mit mir um die Ohren schlagen mussten, nämlich Gürbüz Daş, Christian Lambertz und Eva Moors. Oft war ich zu hastig, zu ungeduldig und auch zu schnell enttäuscht. Ihr habt mich wieder motiviert und mir geholfen Lösungen für Probleme zu finden. Danke vor allem an Gürbüz für die Zeit, die du in meine statistischen Auswertungen investiert hast. Du hast es geschafft mein Interesse für die Zahlen zu wecken und Verständnis für die Statistik zu entwickeln. Ohne dich würde ich wahrscheinlich immer noch rechnen. Danke auch an Christian und Eva für die Unterstützung im Projekt, auch für die Unterstützung bei der Statistik und bei den Veröffentlichungen. Christian möchte ich vor allem für die zahlreichen Überarbeitungen danken, ohne die die Veröffentlichungen sicherlich nicht so gut geworden wären.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Leuten am Institut, die als Freunde oder Kollegen immer ein offenes Ohr hatten. Danke vor allem an Sabrina, denn ohne deine aufbauenden Worte hätte ich wahrscheinlich aufgegeben. Du warst die beste Mitbewohnerin, die ich mir vorstellen kann und eine Freundin zum Pferde stehlen, wobei du wahrscheinlich eher ein Schaf mitgenommen hättest... Thanks, of course, to the PowerBauern, what would life have been without you? I would never have dreamed to walk 100km, but with you it became possible. You made a very big part of my life in Göttingen and thus of this work. Even so, it was nice to get to know so many people from different countries, Denisse, Miguel, Shayan, Kalyakorn. You enriched my horizon by getting to know your cultures and personalities.

Bedanken möchte ich mich bei den Betrieben, die mir freundlicherweise Zugang zu ihren Ställen und ihren Leistungsdaten gegeben haben. Ohne Sie hätte ich diese Arbeit gar nicht durchführen können. In diesem Sinne möchte ich mich auch bei den beteiligten Beratern der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, vor allem Heiko Janssen und Petra Klaus und den Beratern der URS Sulingen für Ihr Engagement bei der Betriebssuche bedanken. Ohne Sie wäre ich wahrscheinlich immer noch nicht fertig.

Auch wenn er diese Arbeit nie lesen wird (allerhöchstens essen), aber auch Oskar hat einen großen persönlichen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet. In den enttäuschten und verzweifelten Momenten hat er mir wieder Freude gebracht. So mancher Spaziergang hat geholfen, Probleme noch einmal auf eine andere Weise zu betrachten. Mein besonderer Dank geht an dieser Stelle an alle, die auch die anstrengenden Seiten an Oskar kennenlernen mussten.

Last, but not least, möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die schlau genug waren sich nicht in meine Arbeit einzumischen aber immer geduldig allen Problemen zugehört haben und mich in meinem Vorhaben unterstützt haben. Meiner Familie möchte ich dafür danken, dass ihr immer an mich geglaubt habt.

Für die finanzielle Unterstützung im Rahmen des Projektes „Nachhaltiges Landmanagement im norddeutschen Tiefland“ möchte ich mich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung bedanken.



*édition scientifique*  
**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**

**VVB LAUFERSWEILER VERLAG**  
STAUFENBERGRING 15  
D-35396 GIESSEN

Tel: 0641-5599888 Fax: -5599890  
redaktion@doktorverlag.de  
www.doktorverlag.de

ISBN: 978-3-8359-6266-8



9 17 8 3 8 3 5 19 6 2 6 6 8