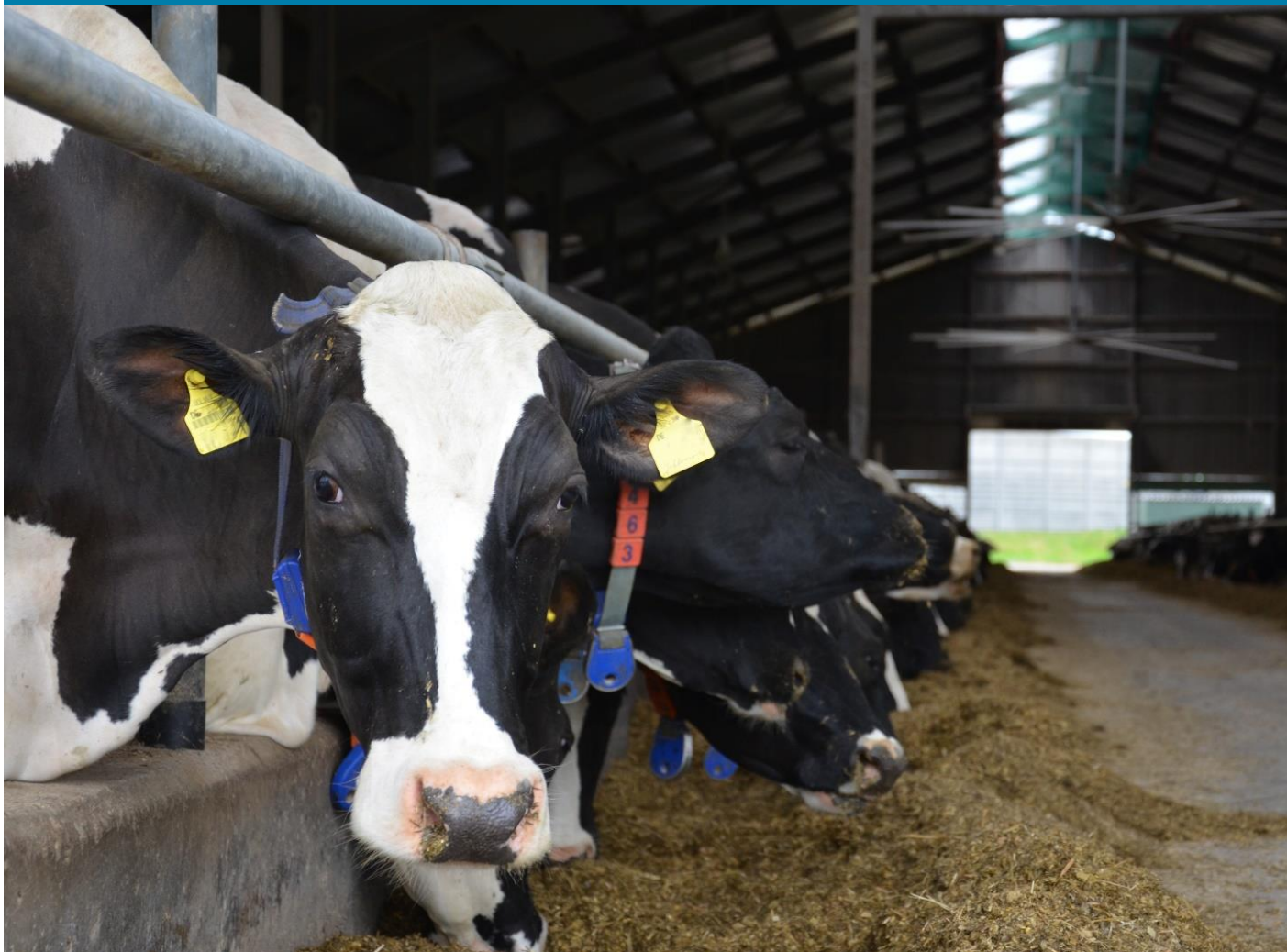


Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung 2020

Arbeitsgruppe „Stallklima und Emissionen“
der Koordinierungsgruppe Tierhaltung



IMPRESSUM

Titel

Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung 2020

Verantwortlich für die Redaktion

Christiane Hansen, Olaf Tober, Dr. Peter Sanftleben

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Institut für Tierproduktion

Wilhelm-Stahl-Allee 2

18196 Dummerstorf

Telefon: 038208/630-320

Fax: 038208/630-111

c.hansen@lfa.mvnet.de

www.lfamv.de

ISBN 978-3-00-064640-9

Titelfoto

Christiane Hansen

Dummerstorf, 07.07.2020

INHALTSVERZEICHNIS

1 Vorwort.....	3
2 Entwicklung der Stallklimadaten in einem freigelüfteten Milchviehstall.....	4
<i>Christiane Hansen, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion</i>	
3 Abhängigkeit der Vormagentemperatur von der Stalltemperatur bei laktierenden Kühen in einem frei gelüfteten Stall.....	11
<i>Olaf Tober, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion</i>	
4 Atemfrequenz als Hitzestress-Parameter bei Milchkühen und dessen automatische Erfassung durch einen neuen Atemsensor.....	21
<i>Gundula Hoffmann, Saskia Strutzke, Severino Pinto, Julia Heinicke, Sabrina Hempel, Thomas Amon, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) Potsdam</i>	
5 Diagnostizierte und prognostizierte tierspezifische Hitzestressbelastungen bei steigenden Temperaturen und erhöhter Klimavariabilität.....	27
<i>Sabrina Hempel, Gundula Hoffmann, Theresa Müschner-Siemens, Julia Heinicke, Severino Pinto, Thomas Amon, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) Potsdam</i>	
6 Technische Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress in Rinderställen.....	37
<i>Johannes Zahner, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft</i>	
7 Monitoring und Gestaltung von Stallklimabedingungen in Thüringen unter besonderer Beachtung des Tierwohls.....	42
<i>Erhard Gernand, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum, Sven König, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik</i>	
8 Untersuchungen zum Temperaturgeschehen in Kälberiglus im Freien und unter Dach.....	50
<i>Christiane Hansen, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion</i>	
9 Untersuchung von ausgewählten Verhaltensweisen bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur.....	57
<i>Olaf Tober, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion</i>	
10 Modellierung der Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak bei der Schweinefleischerzeugung in Thüringen unter Berücksichtigung der gesamten Produktionskette.....	70
<i>Ulrich Dämmgen, Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI); Wilfried Brade, Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo); Heinrich Kleine Klausling, EW Nutrition GmbH; Andreas Berk, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI); Hans-Dieter Haenel, TI; Jürgen Müller, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL); Simone Müller, TLL; Claus Rösemann, TI</i>	
11 Emissionen aus diffusen Quellen der Rinderhaltung.....	76
<i>Jennifer Deichmann, Thomas Heidenreich, Jens Lippmann, Horst-Günter Kath, Marc Fröhlich, Frank Rothe, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie</i>	

1 Vorwort

Die Auswirkungen des Klimawandels stellen die Landwirtschaft vor große Herausforderungen. Gekennzeichnet durch steigende Temperaturen und langanhaltende Wärmeperioden in den vergangenen Jahren verändern sich die Umgebungsbedingungen für die Tiere deutlich. Auf der anderen Seite konnte durch Zuchtfortschritt und ein stetig verbessertes Management eine bessere Ausschöpfung des Leistungspotentials der Tiere erreicht werden. Hohe Leistungen und hohe Temperaturen erfordern hinsichtlich Stallklima neue Strategien für eine nachhaltige Nutztierhaltung. Zudem bestimmen Themen wie Tierwohl, Ressourcenschonung und Digitalisierung den Alltag eines jeden Landwirtes.

Die Arbeitsgruppe „Stallklima und Emissionen“, hervorgegangen aus einer länderübergreifenden Kooperationsvereinbarung zwischen den Landeseinrichtungen für Landwirtschaft und der daraus resultierenden Koordinierungsgruppe Tierproduktion, beschäftigt sich forschungsseitig mit aktuellen Themen der Tierproduktion. Durch eine Bündelung der fachlichen Kompetenzen der Landeseinrichtungen von Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Thüringen, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Bayern sowie dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie (ATB) im Fachgebiet Stallklima und Emissionen werden Vernetzungsstrukturen und Synergien genutzt.

Bereits im Jahr 2015 wurde durch diese Arbeitsgruppe eine Broschüre „Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung“ erstellt. Die Notwendigkeit der Anpassung der Tierproduktion an neue Anforderungen und Gegebenheiten des Klimawandels ist von besonderer Relevanz. Mit der nun vorgelegten Broschüre „Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung 2020“ werden einige akute Fragen aufgegriffen und mit neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen untersetzt.

Angefangen bei einem Überblick und einer Trendabzeichnung von Stalltemperaturen in einem freigelüfteten Milchviehstall werden tierspezifische Hitzestressbelastungen der Milchrinder bei hohen Temperaturen sowie deren Reaktion in Form von physiologischen Parametern wie der Vormagentemperatur und der Herzfrequenz bis hin zu temperaturabhängigen Verhaltensweisen der Tiere in den Beiträgen analysiert.

Neben dem Aufzeigen von technischen Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress sowie einem Monitoring und einer tierwohlgerechten Gestaltung von Stallklimabedingungen werden auch die Unterschiede einer Igluhaltung von Kälbern unter verschiedenen Standortbedingungen hinsichtlich Sonneneinstrahlung dargestellt. In einem weiteren Problemfeld werden die Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak bei der Schweinefleischerzeugung sowie Emissionen aus diffusen Quellen der Rinderhaltung untersucht.

Die Vielfalt der von der Arbeitsgruppe bearbeiteten Themen gibt einen Überblick über die Arbeitsbereiche der Landeseinrichtungen. Angewandte Forschung erfolgt immer mit der Zielstellung, Tierhalter in ihrer Arbeit zu unterstützen und auf künftige Herausforderungen einzustellen.

2 Entwicklung der Stallklimadaten in einem freigelüfteten Milchviehstall

Christiane Hansen, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion

Einleitung

Das Klima wird als Summe von Wetter und Witterung beschrieben und ist somit etwas Variables (DWD, 2018). Schwankungen um mittlere klimatische Zustände auf unterschiedlichen Zeitskalen werden als Klimavariabilität bezeichnet. Diese Schwankungen können sowohl kurzfristig (Tages- und Jahresschwankungen) als auch über längere Perioden auftreten (DWD, 2017). Ein Klimatrend hingegen beinhaltet verstärkte Veränderungen von z. B. Temperaturabweichungen, die zwar unterbrochen sein können, aber über einen längeren Zeitraum die gleichen Änderungsrichtungen aufweisen (DWD, 2018).

Das Erkennen solcher Trends ist wichtig, um daraus Handlungskonzepte für die Zukunft ableiten und entwickeln zu können. Dies trifft auch auf die Tierhaltung zu. Sich verändernde Gegebenheiten haben zum Teil einen erheblichen Einfluss auf das Tierwohl und die damit verbundenen Leistungen.

Material und Methode

Die Daten, die die Grundlage für diese Auswertungen liefern, wurden in einem freigelüfteten Laufstall mit 380 Milchkühen ermittelt. Der Beginn der Datenaufzeichnung erfolgte im Jahr 2003. Im Jahr 2005 wurden in den Stall drei Deckenventilatoren installiert. Die Lüftungsanlage wurde 2012 durch einen vierten Deckenventilator ergänzt. Im Zuge dieser Erweiterungsmaßnahmen wurde auch die Steuerung von manueller auf automatisch temperaturabhängige umgestellt. Im Jahr 2019 erfolgten umfangreiche Umbauten im Stall. Auf den Laufgängen wurde der planbefestigte Gussasphalt durch einen neuartigen emissionsarmen Fußboden ausgetauscht. In diesem Zusammenhang wurden außerdem aufwendige Vorbereitungen für die Nutzung von sechs Melkrobotern getroffen, die im Jahr 2020 in Betrieb genommen werden.

Die Seitenwände des Stalles sind mit Vogelschutznetzen versehen. Außerdem befinden sich dort Jalousien, die bei extremen Wetterlagen manuell geschlossen werden. In gleicher Weise wird mit den Toren an den jeweiligen Giebelseiten verfahren.

Der untersuchte Milchviehstall befindet sich im Nordosten Deutschlands und liegt somit im Übergangsbereich zwischen maritimem und kontinentalem Klima und steht mit seiner Entfernung von ca. 20 km zur Küste vermehrt unter deren maritimem Einfluss (DWD, 2018).

In den Jahren 2003 bis 2012 wurden die Temperaturdaten im Stall mittels Temperaturdatenlogger (Tinytalk/Tinytag) ermittelt. Die Daten wurden in einem 1-Stundenintervall gespeichert. Im Zusammenhang mit der Erweiterung der Lüftungsanlage im Stall wurde zusätzlich ein Temperatursensor installiert und das Messintervall auf Grund der zeitlichen Zuordnung für andere Versuchsanstellungen auf ein 1-Minutenintervall eingestellt. Um für die vorliegende Auswertung einheitlich Stundenwerte zur Verfügung zu haben, wurden die 1-Minuten-Messwerte einer Stunde jeweils gemittelt und weiterverarbeitet. Die Messpunkte befanden sich in der Stallmitte in einer Höhe von ca. 2,7 m außerhalb der Reichweite der Tiere.

Das ausgewertete Datenmaterial bezieht sich auf die Jahre 2003 bis 2019 und dort jeweils auf die Monate Mai bis September. Das sind vorrangig die Monate, in denen die Temperaturen vermehrt zu einer thermischen Belastung für die Milchrinder führen können.

Optimaler Temperaturbereich für Milchrinder

Milchrinder sind relativ kälteresistent und Temperaturen im Minusbereich werden kaum als störend empfunden. Hingegen reagieren sie bei höheren Temperaturen recht empfindlich. Grund für diese Wärmeempfindlichkeit der Milchrinder ist die enorme Wärmeproduktion, die als Folge einer sehr hohen Stoffwechselaktivität auftritt. Dabei erhöht sich mit steigender Milchleistung die Körperwärmeproduktion. Gelingt es den Tieren nicht, diese Wärme in ausreichendem Maße an die Umgebung abzugeben und somit ihre Körpertemperatur zu regulieren, geraten sie in Hitzestress. Neben der Temperatur und der Luftfeuchte spielen aber auch die Windgeschwindigkeit und die Wärmeeinstrahlung eine entscheidende Rolle. Dabei stellen hohe Temperaturen gekoppelt mit einer hohen Luftfeuchte, einer geringen Windgeschwindigkeit und einer hohen Wärmeeinstrahlung für das Tier den ungünstigsten Fall dar.

Welches ist aber der optimale Temperaturbereich, in dem die Milchrinder sich am wohlsten fühlen und damit die Grundlage für eine Ausschöpfung ihres Leistungspotentials gegeben ist? Nach neuesten Untersuchungen (TOBER und HANSEN, 2019) gibt es diesen einen Temperaturbereich nicht. In Abhängigkeit von ihrer Milchleistung variiert die Temperatur, bei der die Tiere den thermischen Wohlfühlbereich verlassen. So liegt der optimale Bereich der Umgebungstemperatur z. B. für eine laktierende 25 l-Kuh bei 0 bis 12 °C. Mit steigender Milchleistung verändert sich dieser Bereich der Umgebungstemperatur nach unten und wird z. B. bei einer hochleistenden 50 l-Kuh mit -10 bis 2 °C veranschlagt. (Beitrag Tober S. 17) Auch dies sind Richtwerte, die von einigen tierindividuellen Faktoren beeinflusst werden. So führen zwar das jeweilige Laktationsstadium einer Kuh und die damit verbundene Milchleistung zu einer unterschiedlichen Wärmeproduktion resultierend aus der Stoffwechselaktivität, aber auch die Rasse, der Gesundheitsstatus, das Alter, die Futteraufnahme bis hin zur Fellbeschaffenheit haben Einfluss auf den Optimalbereich.

Temperaturgeschehen im freigelüfteten Milchviehstall

Im Folgenden werden die im Stall gemessenen Temperaturen in Zusammenhang mit den Daten der empfohlenen Optimalbereiche für laktierende Milchrinder betrachtet. Ziel ist es, kritische Situationen für die Tiere aufzudecken und damit Anhaltspunkte für notwendige Handlungskonzepte zu schaffen.

Für die Auswertungen wurde in einigen Fällen eine Stalltemperatur von 12 °C exemplarisch als eine obere Grenze für den Behaglichkeitsbereich zu Grunde gelegt, wohlwissend, dass diese Zahl vorrangig für Milchrinder mit einer Milchleistung von 25 l zutrifft. Hintergrund ist das Aufzeigen von Problembereichen bereits bei Milchrindern mit einer relativ niedrigen Leistung. Es soll die Notwendigkeit des Handelns bei höherleistenden laktierenden Kühen unterstreichen.

So konnte in den untersuchten Jahren 2003 bis 2019 festgestellt werden, dass sich zwischen 79 und 95 % der Temperaturen (Stundenmittelwerte) oberhalb von den genannten 12 °C befanden und damit außerhalb des Wohlfühlbereiches laktierender 25 l-Kühe (Abb. 1). Mit steigender Milchleistung sinkt diese Temperaturgrenze weiter nach unten und somit reduzieren sich die Anteile von Temperaturen innerhalb des Behaglichkeitsbereiches höherleistender Tiere ebenfalls. Die Regressionsgerade zeigt einen ansteigenden Trend für die ausgewerteten Jahre.

Im Verlauf der ausgewerteten Zeitschiene kann außerdem festgestellt werden, dass es wärmere und kühlere Jahre gibt. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass die wärmeren Jahre immer wärmer werden und auch bei den kühleren Jahren ist diese Tendenz zu beobachten. Der Mittelwert des Anteils der Stalltemperaturen > 12 °C über die ausgewerteten Jahre liegt bei 89 % und insbesondere in den letzten Jahren lagen die meisten Anteile über dem Durchschnitt und unterstreichen den Aufwärtstrend.

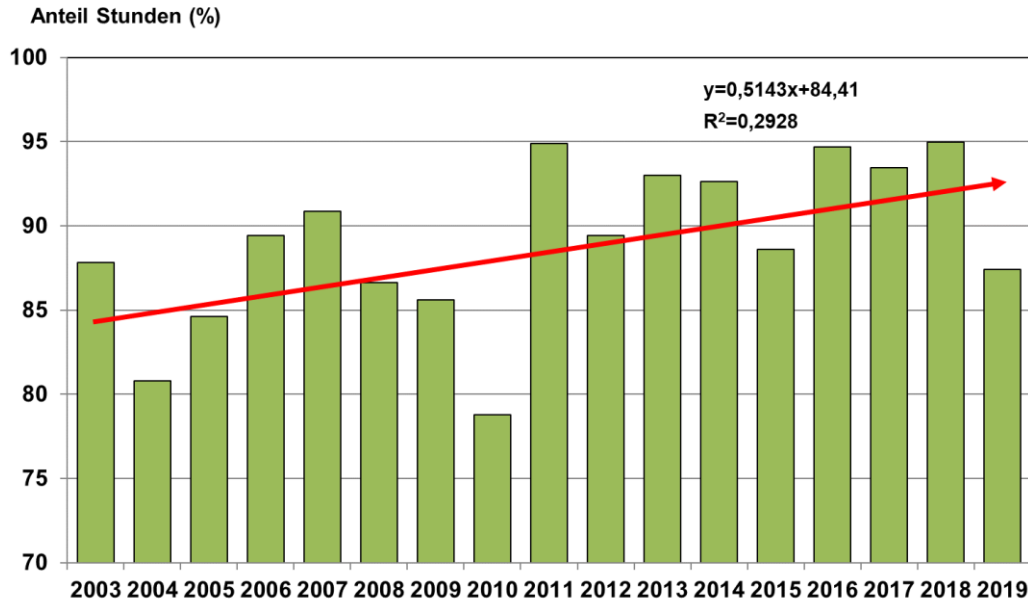


Abbildung 1: Anteil der Stunden mit Temperaturen oberhalb von 12 °C in den Monaten Mai bis September in den Jahren 2003 bis 2019

Überschreiten bzw. erreichen die gemessenen Temperaturen die Werte 25 °C bzw. 30 °C, so werden diese Tage als Sommer- bzw. Hitzetage bezeichnet (DWD, 2020). Bedenklich aus Sicht der Tiere sind die Zunahmen solcher für die Tiere extremen Tage (Abb. 2). Die Anzahl der Hitzetage schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 0 und 13, wobei die höchsten Werte in den letzten beiden Jahren ermittelt wurden. Für den ausgewerteten Zeitraum 01.05. - 30.09. konnten 16 bis 53 Sommertage im Stall erfasst werden. Das entspricht z. B. für den bisherigen Rekordsommer 2018 einem Anteil von 36 %.

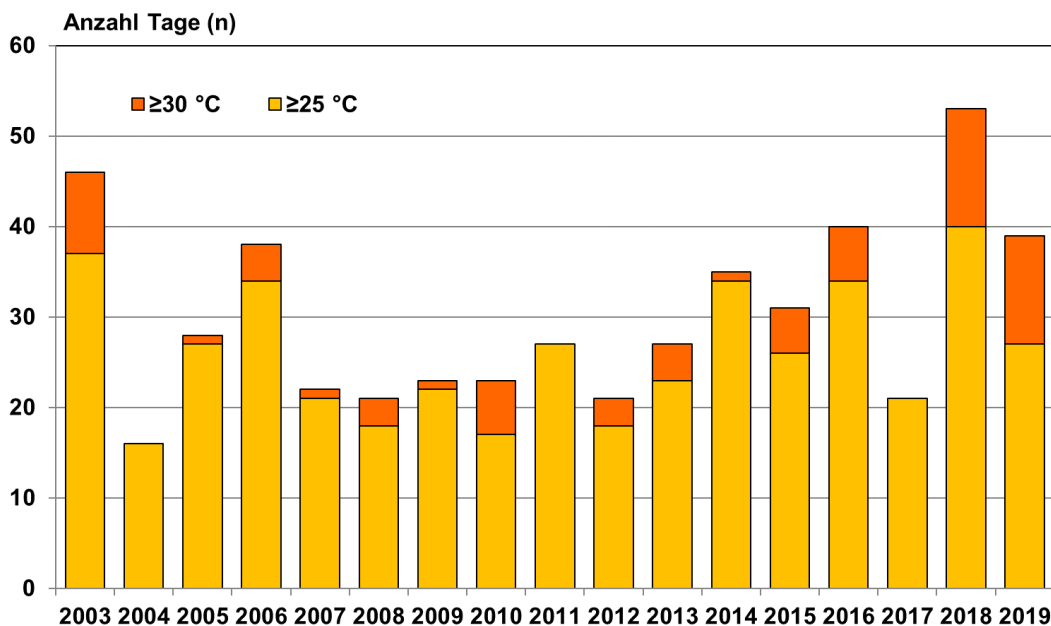


Abbildung 2: Anzahl Hitzetage (≥30°C) und Sommertage (≥25°C) in den Jahren 2003 bis 2019

Hohe Tagestemperaturen im Stall sind die eine Seite, aber wie sieht es mit der Möglichkeit einer Abkühlung in der Nacht aus? Sogenannte Tropennächte, wie sie in der Klimaforschung mit Minimaltemperaturen in der Nacht $\geq 20^\circ\text{C}$ beschrieben werden (DWD, 2020), traten im genannten Zeitraum in acht Jahren maximal neun Mal auf und stellen damit die Ausnahme dar. Kritischer ist dagegen die Anzahl Tage zu sehen, an denen die Minimaltemperatur nicht unter 12°C fiel, d. h. sich gar nicht in der Temperaturkomfortzone befand und die Tiere kaum die Möglichkeit hatten, sich von den hohen Tagestemperaturen zu erholen. Abbildung 3 verdeutlicht dies eindrucksvoll. Werte zwischen 77 (50 %) und 128 (84 %) Tage besagen, dass es z. B. in den Jahren 2016, 2017 und 2018 jeweils insgesamt 128, 123 bzw. 126 Tage gab, an denen die Temperatur im Stall zu keiner Stunde unter 12°C lag. Dies ist im Sommer nicht ungewöhnlich, aber die steigende Anzahl solcher Tage und die in den vergangenen Jahren erheblich angestiegene Milchleistung der Tiere und ihre damit verschobene Wohlfühltemperatur nach unten sind konträr und stellen ein zunehmendes Problem dar. Treten solche Tage vermehrt hintereinander auf, ist die Belastung für die Tiere noch größer und Leistungsdepressionen sind nicht auszuschließen. Im Durchschnitt gab es an fast 70 % der Tage (106 Tage) in den Monaten Mai bis einschließlich September in den untersuchten Jahren keine Stalltemperaturen unter 12°C .

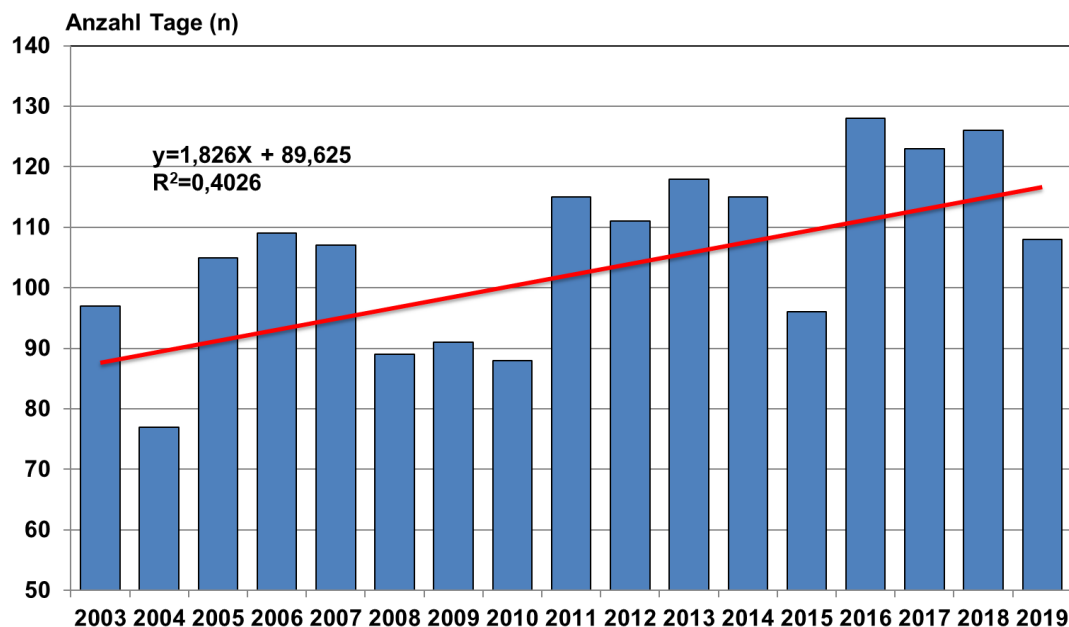


Abbildung 3: Anzahl Tage mit minimalen Stalltemperaturen $> 12^\circ\text{C}$ in den Monaten Mai bis September in den Jahren 2003 bis 2019

Exemplarisch wird in Abbildung 4 für das Jahr 2016 der Zeitraum 01.05. - 30.09. veranschaulicht, wobei für jeden Tag die Anzahl Stunden in den einzelnen Temperaturbereichen summiert wurde. Die blauen Bereiche zeigen den Anteil Temperaturen an, der im Wohlfühlbereich liegt und den Tieren keine Probleme bereitet. Die gelben und roten Bereiche befinden sich oberhalb dieser optimalen Temperaturzone, wobei in den roten Bereichen bereits mit Leistungseinbußen durch einen Rückgang der Futteraufnahme zu rechnen ist. Unverkennbar wird das Verhältnis von kühleren und wärmeren Temperaturbereichen aufgezeigt, wobei die warmen Temperaturen ganz eindeutig überwiegen. Gut erkennbar sind auch die einzelnen Wärmeperioden ($\geq 22^\circ\text{C}$) von bis zu 13 Tagen am Stück. Dies zeigt einmal mehr, unter welchem „Druck“ hochleistende Milchrinder stehen.

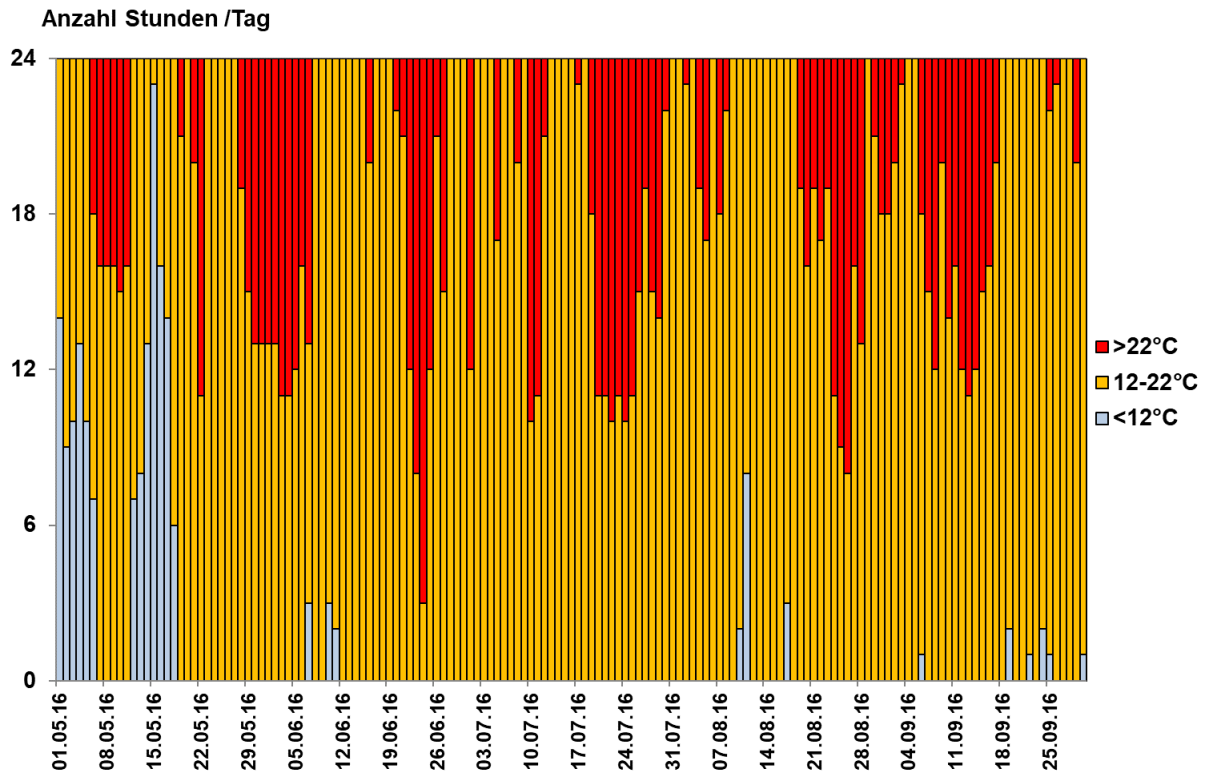


Abbildung 4: Temperaturverteilung Sommer 2016

Eine weitere Möglichkeit der Einschätzung eines Temperaturgeschehens ist die Bildung von Temperatursummen. Ursprünglich wird dieser Parameter in der Agrarmeteorologie verwendet und kennzeichnet die Wärmesumme über einen definierten Zeitraum, um Aussagen über den Vegetationsbeginn bzw. über phänologische Phasen oder Vorhersagen zu erhalten (DWD, 2020). Temperatursummen sind statistische Kenngrößen und dienen zur thermischen Charakterisierung einer Station oder eines Raumes (ANONYM, 2020).

Die Anwendung der Temperatursumme zur Beurteilung des Temperaturgeschehens im Stall wurde vom Autor ausgewählt, da durch die Summierung der Temperaturstundenwerte eines Tages oder längerer Zeiträume Aussagen über die „Wärmemengen“ möglich sind, die über einen definierten Zeitraum auf den Organismus Milchrind einwirken.

Für die vorliegende Auswertung wurden die Temperatursummen der Stundenwerte für einen Zeitraum von drei Tagen gebildet (3-Tagestemperatursumme), ursächlich, um den Einfluss der Temperaturen auf die Milchleistung zu generieren. Diese Temperatursumme vereint das Niveau der Temperaturen und deren Dauer, so dass konkrete Angaben zur Intensität der Wärmebelastung von Milchrindern über einen Zeitraum von drei Tagen möglich sind. So zeigen 3-Tagestemperatursummen von 1.000 °C, dass über einen Zeitraum von drei Tagen im Durchschnitt 13,9 °C im Stall herrschten. Mit dieser „Wärmemenge“ würde sich eine laktierende 25 l-Kuh theoretisch schon am Rande ihres Behaglichkeitsbereiches befinden. Tagesschwankungen können mit diesem Parameter zwar nicht abgebildet werden, aber ein Vergleich der 3-Tagestemperatursummen in den einzelnen Jahren kann Aussagen zu Veränderungen hinsichtlich Höhe und Dauer von diesen thermischen Ereignissen beschreiben.

In den Jahren 2003 bis 2019 konnten Anteile der 3-Tagestemperatursummen im Bereich bis 1.000 °C ($\bar{x}$ 13,9 °C) von 5 bis 29 % ermittelt werden (Abb. 5). Im Umkehrschluss kann festgestellt werden, dass im Durchschnitt 84 % (71...95 %) der 3-Tagestemperatursummen höher als 1.000 °C lagen. In diesen Zeiträumen ist die Intensität der Wärmebelastung z. B. für eine 25 l-Kuh zu hoch, da sie ihre überschüssige Wärme nur sehr schwer an die Umgebung im Stall abgeben kann. Die Trendlinie für die Variante 3-Tagestemperatursumme > 1.000 °C zeigt trotz

Schwankungen über die ausgewerteten Jahre mit einem R^2 von 0,3189 eine Zunahme dieser hohen Temperatursummen. Hohe „Wärmemengen“ über mehrere Tage stellen insbesondere für hochleistende Milchrinder eine thermische Belastung dar, die sie allein mit ihren Mechanismen der Thermoregulation nicht mehr bewältigen können.

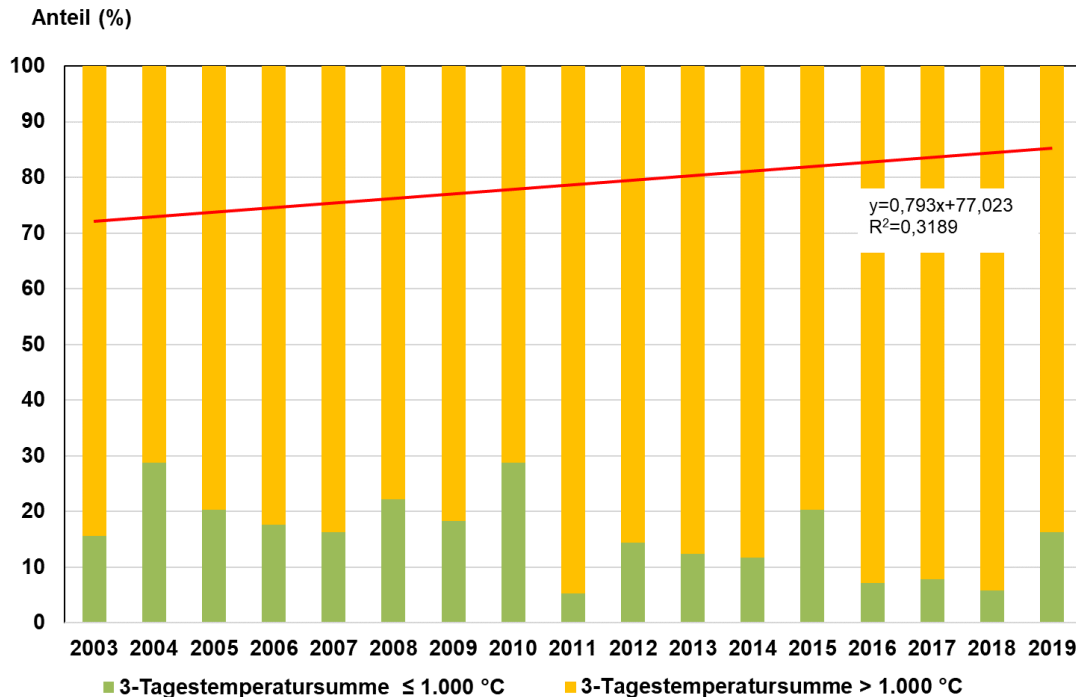


Abbildung 5: Anteil 3-Tagestempersumme ≤ 1.000 °C und > 1.000 °C für den Zeitraum 01.05. - 30.09. für die Jahre 2003 bis 2019

Fazit

Der Trend aller ausgewerteten Temperaturparameter ist vergleichbar. Auch wenn es Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren gibt, so sind doch die Abweichungen vom langjährigen Mittelwert meist oberhalb des Mittelwertes und zeigen damit in den zurückliegenden Jahren einen klaren Aufwärtstrend der Temperaturen. Das sind Fakten, auf die reagiert werden muss, zumal sich der ausgewertete Stall in einer vergleichsweise günstigen küstennahen Lage befand. Vielerorts gestalten sich die Temperaturverhältnisse in den Ställen noch drastischer. Die meisten Auswertungen bezogen sich auf Tiere mit einer täglichen Milchleistung von ca. 25 l. Für höher leistende Milchkühe gestalten sich viele Bedingungen als schwieriger und diese gilt es durch geeignete Maßnahmen zu verbessern.

Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, um die Tiere bei ihrer Thermoregulation zu unterstützen und somit mit den meist unvermeidlichen Temperaturgeschehen im Stall fertig zu werden. Angefangen bei baulichen Lösungen bis hin zu technischen Möglichkeiten mittels Ventilatoren und Wasserkühlung kann aber auch über das Management Einfluss auf die bestehenden Bedingungen der Haltungsumwelt der Tiere genommen werden. Die Unterschiede in den Leistungen der Tiere bedingen z. B. unterschiedlich klimatisierte Bereiche.

Sowohl aus tierschutzrelevanten als auch aus wirtschaftlichen Gründen sollte alles getan werden, um Hitzestress für die Tiere zu minimieren, das Wohlbefinden zu steigern und damit letztendlich einen Leistungsrückgang zu vermeiden.

Literatur

Anonym (2020): <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/temperatursumme/7999>

DWD (2017): Klimavorhersagen und Klimaprojektionen; Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main

DWD (2018): Klimareport MV 2018; Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main

DWD (2020):

<https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=102248&lv3=102522>

Tober, O.; Hansen, C. (2019): Untersuchungen zur Abhängigkeit der Vormagentemperatur von der Stalltemperatur bei laktierenden Kühen in einem frei gelüfteten Stall, 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Bonn

3 Abhängigkeit der Vormagentemperatur von der Stalltemperatur bei laktierenden Kühen in einem frei gelüfteten Stall

Olaf Tober, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion

Einleitung und Zielstellung

Moderne Milchviehrassen geraten aufgrund ihres hohen Stoffumsatzes auch unter einheimischen Klimabedingungen immer häufiger unter Wärmebelastung. Als Optimalbereich für Milchkühe werden von verschiedenen Autoren unterschiedliche Angaben gemacht. BIANCA (1968 und 1971) gibt hier Temperaturen zwischen 0 °C und 16 °C an. In der hiesigen Beratung wird am häufigsten der Bereich von 4 °C bis 16 °C laut DLG-Merkblatt 336 (2005) angegeben. Allerdings gehen diese Werte auf KOLLER und SÜSS (1984) zurück. Bei diesen Temperaturen sollen sich die Tiere wohl fühlen und nahezu keine zusätzliche metabolische Energie aufwenden müssen, um ihre Körpertemperatur stabil zu halten.

Die zugrundeliegenden Quellen dieser Angaben zum Optimal- oder Komfortbereich der Umgebungstemperatur für Milchkühe sind also schon mindestens 35 Jahre alt. Der Bereich der optimalen Umgebungstemperatur wird aber von vielen Faktoren beeinflusst, von denen die Milchleistung nur einer, aber ein sehr wesentlicher ist. Wird die jährliche Milcherzeugung im Durchschnitt der Bundesrepublik betrachtet, so ist diese zwischen 1980 und 2018 von 4.553 kg/Kuh (nur alte Bundesländer; MEYN, 2005) auf 8.843 kg/Kuh (DLQ, 2018) gestiegen. Das entspricht in etwa einer Steigerung der durchschnittlichen Tagesleistung von 15 kg/Kuh auf 29 kg/Kuh. Allein diese Leistungssteigerung in den vergangenen 38 Jahren lässt daran zweifeln, dass der o.g. thermische Optimalbereich für Milchkühe in dieser Form heute noch seine Gültigkeit besitzt.

Rinder und hier insbesondere Milchrinder sind sehr kältetolerant, aber nur relativ wenig durch Wärme belastbar. Es ist auch allgemein bekannt, dass unsere modernen Milchviehrassen unter einheimischen Klimabedingungen unter eine solche Wärmebelastung geraten. Aber warum ist das so und warum scheint dieses Problem in den letzten Jahren sehr an Bedeutung zu gewinnen? Zum einen hat dies mit der Klimaerwärmung und der Zunahme von Wetterextremen wie z. B. Hitzeperioden zu tun. Zum anderen hängt es aber hauptsächlich mit der rasanten Leistungsentwicklung der Milchrinder in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten zusammen.

Frühere Untersuchungen zur Aktivität und zum Liegen von Milchkühen zeigen, dass die Tiere mit deutlichen Verhaltensänderungen auf unterschiedliche Temperaturen reagieren. Allerdings gibt es kaum Anhaltspunkte, nach denen aus der Intensität der Verhaltensanpassung auf die Intensität der Belastung geschlossen werden könnte (TOBER et al., 2012; TOBER und LOEBSIN, 2013). Die durchgeführten Untersuchungen zur Vormagen- respektive Körpertemperatur sollen Antworten auf diese Frage geben und ab welchen Stallklimabedingungen der Tierhalter seine Kühe durch geeignete Maßnahmen in der Thermoregulation unterstützen sollte.

Literaturbetrachtung

In der Literatur werden keine einheitlichen Angaben gemacht, ab wann Kühe Hitze als Stress empfinden. Das hat seine Ursache vor allem darin, dass diese Temperaturgrenze von vielen Faktoren abhängt und die in der Vergangenheit durchgeführten Untersuchungen unterschiedliche Parameter nutzten, um den Beginn von Hitzestress zu definieren. Ältere Untersuchungen von BERMAN et al. (1985) verwendeten hierfür neben anderen Merkmalen die Rektaltemperatur. Umgebungstemperaturen zwischen 10 °C und 24 °C beeinflussten dabei die Körpertemperatur nicht. Gleichzeitig hatte die Milchleistung bei Kühen mit hoher Leistung einen signifikanten

Einfluss auf die Körpertemperatur. Ab Umgebungstemperaturen von 26 °C stieg die Körpertemperatur bei allen Kühen abhängig von der Umgebungstemperatur, wobei höhere Milchleistung zu einem größeren Anstieg führte. Eine verstärkte Belüftung bremste den Anstieg der Körpertemperatur.

Grundsätzliche Prinzipien der Thermoregulation bei homoiothermen Tieren (Abb. 1) wurden zuerst von BIANCA (1968) in einem Thermoneutralzonenkonzept beschrieben, welches später von SILANIKOVE (2000) erweitert bzw. präzisiert wurde. Die thermoneutrale Zone wird durch die obere und untere kritische Temperatur begrenzt. Innerhalb dieser Zone müssen homoiotherme Organismen im Allgemeinen und Rinder im Speziellen keine zusätzliche Energie aufwenden, um die Körpertemperatur konstant zu halten. Wärmeproduktion und -abgabe befinden sich im annähernden Gleichgewicht. Einzige physiologische Reaktionen in Richtung der unteren kritischen Temperatur bestehen in der Verengung der hautnahen Blutgefäße (Vasokonstriktion) und im Auftreten der sogenannten Gänsehaut (Piloerektion), um die Wärmeabgabe zu verringern. In Richtung der oberen kritischen Temperatur kommt es zur Erweiterung der Blutgefäße (Vasodilatation), um die Wärmeabgabe zu beschleunigen. Das sind Prozesse, für die kaum Energie aufgewendet werden muss. Innerhalb der thermoneutralen Zone liegt die Optimal- oder Komfortzone. Das ist der Bereich, in dem weder Kälte noch Wärme empfunden wird, weshalb er auch häufig als Wohlfühlbereich bezeichnet wird.

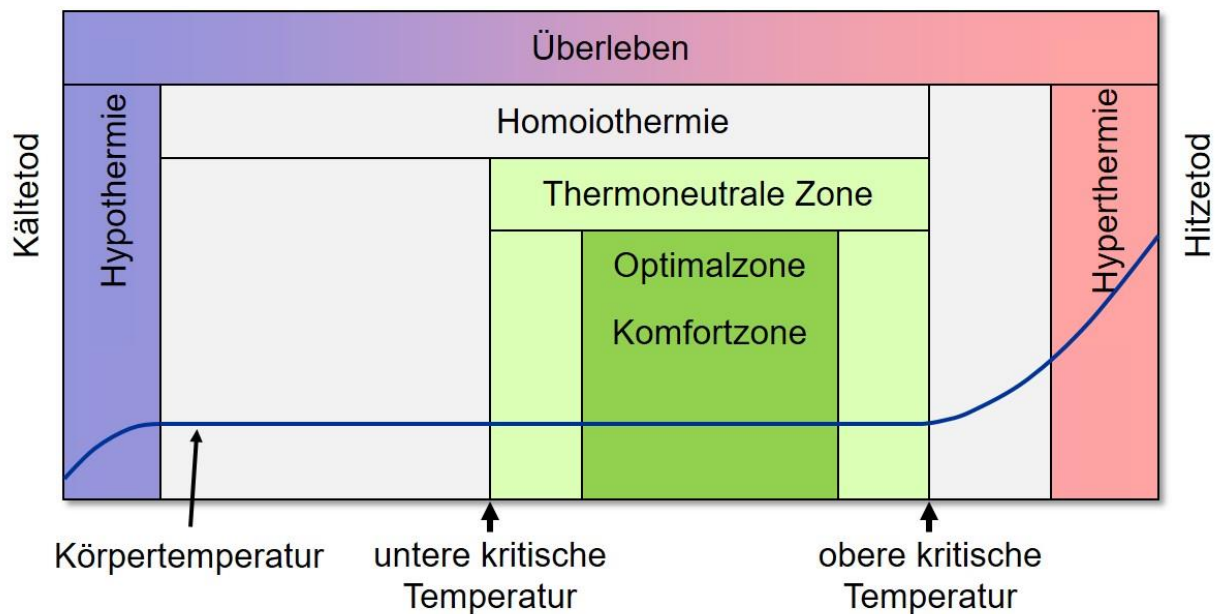


Abbildung 1: Zonen und Temperaturen bei der Thermoregulation (Thermoneutralzonenkonzept)

Quelle: BIANCA, 1968; SILANIKOVE, 2000 (geändert)

Wird die untere kritische Temperatur unterschritten, beginnt das Tier zusätzliche metabolische Energie für die Aufrechterhaltung der Körpertemperatur aufzuwenden. Es kommt zum Kältezittern, um durch Muskelarbeit Wärme zu erzeugen. Bei Überschreiten der oberen kritischen Temperatur steht den Kühen eine ganze Reihe Anpassungsmechanismen zur Verfügung. Das reicht von der Verringerung der Futteraufnahme, um die körpereigene Wärmeproduktion zu reduzieren, dem Erhöhen der Wasseraufnahme, dem Schwitzen und dem Ansteigen der Atemfrequenz bis hin zum Hecheln. Schwitzen und Atemfrequenzerhöhung dienen dabei der aktiven evaporativen Kühlung. Dies können die Tiere noch durch das Aufsuchen kühlerer Stallbereiche unterstützen oder durch vermehrtes Stehen, um die maximale Körperfläche für die Verdunstungskühlung nutzen zu können.

SILANIKOVE (2000) beschreibt in seinem Konzept, dass ein Rind bei Wärmebelastung am oberen Ende der thermoneutralen Zone im von ihm als Stadium 3 bezeichneten Bereich versucht, seine endogene Wärmeproduktion durch Verringerung der Aktivität und der Futteraufnahme einzuschränken, denn ab hier kann es die entstehende Eigenwärme nicht mehr dauerhaft und in vollem Umfang abführen. Ist eine vollständige Adaptation durch Verhaltensanpassungen nicht mehr möglich, so folgt daraus ein Anstieg der Körperkerntemperatur. Aus diesen Feststellungen lassen sich mehrere Schlussfolgerungen ableiten. Beginnt die Körpertemperatur aufgrund zu hoher Umgebungstemperatur anzusteigen, ist die obere kritische Temperatur überschritten. Dabei muss davon ausgegangen werden, dass das ethologische und physiologische Adaptationsvermögen der Tiere an seine Grenzen stößt. Des Weiteren kommt es dabei zu einer verringerten Futteraufnahme und damit zu verminderter Leistungsbereitschaft. Letztendlich dürfte die Gesamtsituation dazu führen, dass das Wohlbefinden der Tiere beeinträchtigt ist, der Komfortbereich der thermischen Umgebungsbedingungen also verlassen wurde. ARMSTRONG et al. (1993) stellen fest, dass, wenn die effektive Umgebungstemperatur die thermoneutrale Zone überschreitet, die Kühe Wärmebelastung erfahren (zit. bei ZIMBELMAN und COLLIER, 2011).

Die thermoneutrale Zone eines jeden Individuums wird von vielen Faktoren beeinflusst, von denen die Leistung nur einer, aber ein sehr wesentlicher ist. Es wurde berechnet, dass sich die untere kritische Temperatur einer Milchkuh je 10 kg erzeugte Milch pro Tag um 8 Kelvin verändert. So beträgt sie für eine Kuh, die 20 kg Milch pro Tag erzeugt, -16 °C und für eine Kuh, die 40 kg Milch pro Tag erzeugt, -32 °C (KRAMER et al., 1999), was die hohe Kältetoleranz der Milchrinder unterstreicht. BERMAN und MELTZER (1973) berechneten, dass sich die obere kritische Temperatur einer Milchkuh je 10 kg erzeugte Milch pro Tag um etwa 4 Kelvin verändert. Bei einer Leistung von 20 kg/d liegt demnach die obere kritische Temperatur bei 16 °C und bei 40 kg/d nur noch bei 8 °C.

Tabelle 1: Hitzestress bei Milchrindern in Abhängigkeit des THI

Quelle: ZIMBELMAN und COLLIER, 2011 (geändert)

THI	Stressniveau	entspricht einer Lufttemperatur bei einer rel. Luftfeuchte von	
		40 %	70 %
<68	kein Hitzestress	<23 °C	<22 °C
68 - 71	milder Hitzestress	23 °C - 25 °C	22 °C - 23 °C
72 - 79	mäßiger Hitzestress	26 °C - 32 °C	24 °C - 28 °C
80 - 89	starker Hitzestress	33 °C - 40 °C	29 °C - 35 °C
≥90	Lebensgefahr	>40 °C	>35 °C

Um Hitzestress bei Milchrindern zu beschreiben, wird häufig auf die Werte aus Tab.1 zurückgegriffen. Dabei stellt der THI (Temperature-Humidity-Index) eine Möglichkeit dar, die Wirkung der Luftfeuchte beim thermischen Empfinden einer bestimmten Lufttemperatur mit zu berücksichtigen. Die Zuordnung der THI-Klassen zu den verschiedenen Stressniveaus für Milchrinder (Tab.1) wurde letztmalig vor etwa 10 Jahren aktualisiert (ZIMBELMAN et al., 2009; ZIMBELMAN und COLLIER, 2011). Dabei wird die Verwendung der THI-Werte für Rinder verschiedentlich kritisch betrachtet (COLLIER und ZIMBELMAN, 2007; GEISCHEDER, 2017), weil der ursprünglich für den humanen Bereich entwickelte Index (THOM, 1958) von BERRY et al. (1964) für Milchvieh adaptiert wurde. Die Datengrundlage beruhte dabei auf einer retrospektiven Analyse von Studien, die an der Universität von Missouri in den 1950er und frühen 1960er Jahren an insgesamt 56 Kühen durchgeführt wurden. Die Durchschnittsleistung der dabei

involvierten Tiere betrug 15,5 kg/Tag (2,7 bis 31,8 kg/Tag). Dagegen liegt die durchschnittliche Leistung heutiger Kühe bei 30 bis 40 kg/Tag, wobei viele Kühe zu Spitzenlaktationszeiten über 50 kg Milch pro Tag produzieren. Eine Steigerung der Milchleistung erhöht die Empfindlichkeit von Rindern gegenüber thermischem Stress und senkt die Temperaturschwelle, bei der Hitzestress und Milchverluste auftreten (BERMAN, 2005). Die Aussage von COLLIER und ZIMBELMAN (2007), dass die THI-Vorhersagen zu Umweltauswirkungen auf die Milchleistung das Ausmaß der thermischen Belastung für (damals) aktuelle Holstein-Rinder unterschätzen, kann bei der Leistungsentwicklung der vergangenen Jahre durchaus erneuert getroffen werden.

ZIMBELMAN und COLLIER (2011) ermittelten bei Kühen, die über jeweils 24 Stunden einem bestimmten durchschnittlichen THI ausgesetzt waren, den Einfluss auf deren Milchleistung. Ein THI von 68 verringerte dabei die Milchleistung um 0,283 kg/Stunde, ein THI von 71 um 0,303 kg/Stunde und ein THI von 72 um 0,322 kg/Stunde. Außerdem wurde gezeigt, dass die Milchausbeute linear abnimmt, wenn THI, Rektaltemperatur und Verdunstungswärmeabgabe zunehmen.

Ein gutes Werkzeug für die Bestimmung thermischer Belastung stellt die Möglichkeit der kontinuierlichen Erfassung der Körpertemperatur dar. Bei Rindern besitzen in diesem Zusammenhang telemetrische Systeme, die mit Hilfe von Boli die Vormagentemperatur aufzeichnen, ein großes Potential für ein nichtinvasives Monitoring der Körpertemperatur (SMALL et al., 2008), wenngleich die Vormagen- und Körperkerntemperatur nicht identisch sind. Aufgrund der wärmeproduzierenden Aktivität der Mikroorganismen im Pansen liegt die dort oder im Vormagen gemessene Temperatur generell etwa 0,5 K über der Körperkerntemperatur (BITMAN et al., 1984; HICKS et al., 2001; PRENDIVILLE et al., 2002). Es wurden aber starke ($r=0,50$; BURNS et al., 2002 und $r=0,56\ldots 0,73$; BEWLEY et al., 2008) bis sehr starke Korrelationen ($r=0,92$; SIEVERS et al., 2004) zwischen Vormagen- und Rektaltemperaturen gefunden.

Einem sehr starken Störeinfluss sind die Messwerte im Vormagen vor allem durch die Wasseraufnahme ausgesetzt. Nahezu alle Autoren, die sich mit derartigen Messreihen befassten, verwendeten verschiedene Grenzwerte für den Ausschluss solcher Messdaten, um den thermischen Einfluss der Wasseraufnahme zu eliminieren:

Ausschluss aller Messdaten

- $< 37,2\text{ °C}$ (WADSWORTH, 2014)
- $\leq 37,7\text{ °C}$ (BOEHMER et al., 2009)
- $< 38,3\text{ °C}$ (LIANG et al., 2013)
- $< 37,8\text{ °C}$ (ROSE-DYE et al., 2011)
- $\leq 37,0\text{ °C}$ (VOß, 2016)
- wenn zwischen zwei aufeinander folgenden Messwerten im Abstand von 15 min die Temperaturdifferenz $\Delta T > 0,75\text{ K}$ ist bis zum Zeitpunkt, wenn der Ausgangswert $-0,75\text{ K}$ wieder erreicht ist, aber maximal 2,5 h. (GASTEINER et al., 2015)

Material und Methode

Die Untersuchungen fanden in der Milchviehherde eines Praxisbetriebes in Mecklenburg-Vorpommern statt. Der Betrieb verfügte über eine Herde von etwa 480 Kühen der Rasse Deutsche Holstein bei einer Jahresmilchleistung von rund 11.000 kg Milch/Tier. Die Tiere wurden in einem frei gelüfteten Liegeboxen-Laufstall (Außenklimabedingungen) gehalten. Mithilfe von Datenloggern wurden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte in Form von Stundenmittelwerten erfasst.

Für die Erfassung der Vormagentemperaturen wurde das Messsystem Bella Ag (Bella Ag LLC, 300 East 16th Street Suite 305, Greeley, CO, 80631, United States) verwendet. Dabei handelte

es sich um ein Managementhilfsmittel aus der Rinderhaltung, welches aus folgenden Komponenten bestand:

- den Boli, die mit Hilfe eines handelsüblichen Eingebers im Vormagen (Retikulum) der Tiere abgelegt wurden und die dortige Temperatur erfassen und zwischenspeichern,
- einem Reader, der über dem Vorwarte Hof angebracht war und während jedes Melkvorganges telemetrisch die Werte aus den Boli übernahm,
- einem sogenannten Gateway, welches telemetrisch die Daten vom Reader übernahm und per USB an den angeschlossenen PC übertrug,
- einer Software, die eine Verarbeitung und Behandlung der Daten ermöglicht.

Die Messfrequenz war wählbar und wurde auf 15 Minuten eingestellt. Insgesamt wurden zwei Durchgänge durchgeführt. Zunächst sind im August 2016 25 Milchkühe mit Boli ausgestattet worden und nachdem sich gezeigt hatte, dass die gewünschten Messungen realisiert werden konnten, wurden im August 2017 erneut 40 Tiere mit Boli bestückt.

Die gewonnenen Daten wurden regelmäßig aus der Bella AG-Software im csv-Format exportiert und zur weiteren Verarbeitung in Microsoft Excel 2013 importiert. Es musste im ersten Durchgang festgestellt werden, dass etwa 6 % der Daten einen Messabstand von weniger als 15 min aufwiesen. Dabei waren jeweils zwei benachbarte Temperaturwerte immer identisch und die Summe der beiden zugehörigen Messabstände ergab jeweils immer 15 min (z. B. 10 min und 5 min oder 12 min und 3 min, siehe Tab.2). Es handelte sich also um Doppelwerte, die durch einen unbekannten Systemfehler entstanden. Diese Tatsache und dass die Vormagentemperatur als Indikator für die Körpertemperatur verwendet werden sollte, machten die Entwicklung einer Korrekturroutine der Rohdaten notwendig, bevor diese Messreihen einer weiteren Auswertung unterzogen werden konnten. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Entfernen der doppelten (Fehler-) Messwerte,
- Entfernen aller Werte, die durch Wasser- oder Futteraufnahme beeinflusst waren nach folgendem Algorithmus (in Anlehnung an Gasteiner et al., 2015): War die Differenz zweier aufeinanderfolgender Messwerte $>0,75$ K, so wurden alle nachfolgenden Messwerte solange entfernt, bis die Ausgangstemperatur $\pm 0,75$ K wieder erreicht war, maximal jedoch für drei Stunden

Tabelle 2: Beispielhafter Ausschnitt aus der Rohdatendatei mit Doppelwerten

Ear Tag	BolusID	Read Date	Read Time	Temp (°F)	Temp (°C)
157	12508541	10.09.2016	02:14:01	102,09	38,94
157	12508541	10.09.2016	02:26:01	102,09	38,94
157	12508541	10.09.2016	02:29:01	101,98	38,88
157	12508541	10.09.2016	02:41:01	101,98	38,88

Die so verbliebenen korrigierten Messdaten wurden zu Stundenmittelwerten zusammengefasst, um sie den jeweiligen Stalltemperaturen (klassifiziert, in Einerschritten auf volle Zahlen gerundet) gegenüberstellen zu können. In die Auswertungen wurden nur Tiere involviert, die gesund waren, nicht trocken standen und pro Stalltemperaturklasse mindestens vier Messwerte der Vormagentemperatur aufwiesen. Nach diesen Prämissen verblieben 31 auswertbare Tiere (7 aus dem ersten Durchgang, 24 aus dem zweiten Durchgang) und die Stalltemperaturklassen von -1 °C bis 26 °C. Diese Tiere wiesen folgende charakterisierende Merkmale auf (Spannweite in Klammern):

Messtage pro Tier:	$\bar{x} = 135$ (62 ... 239)
Messpunkte pro Tier:	$\bar{x} = 2.713$ (1.238 ... 4.896)
Milch/Tier und Tag (kg):	$\bar{x} = 41,1$ (7,5 ... 66,4)
Laktation:	$\bar{x} = 3,2$ (2 ... 5)
Laktationstag:	$\bar{x} = 187$ (4 ... 415)

Aus den bereinigten Messdaten wurden mit einem gemischten Modell (proc. Mix, SAS 9.4) die Schätzwerte (least squares means = LSM) der Vormagentemperatur in Abhängigkeit von den Stalltemperaturklassen berechnet. In das Modell gingen die Effekte Stalltemperatur, Tageszeit (Stunde), Saison, Haltungsgruppe, Laktation, Laktationstag und Milchleistung pro Tag ein. Anschließend ist mit den so erhaltenen Daten mithilfe des Programms SegReg (<https://www.waterlog.info/segreg.htm>) eine segmentierte lineare Regression (Broken-Stick-Test) berechnet worden, um so einen eventuell vorhandenen Strukturbruch identifizieren zu können.

Ergebnisse

In Abbildung 2 sind die LSM der korrigierten Vormagentemperaturen in Abhängigkeit von der Stalltemperatur dargestellt. Bei Betrachtung der Wertekurve wird deutlich, dass die Vormagentemperatur im Bereich von -1 °C bis etwa 7 °C Stalltemperatur verglichen mit dem Bereich ab ca. 8 °C Stalltemperatur nahezu keinen Anstieg zeigt und damit keine Abhängigkeit der beiden Parameter voneinander vermuten lässt. Ab etwa 8 °C Stalltemperatur ist aber ein Anstieg der Vormagentemperatur mit zunehmender Stalltemperatur deutlich zu erkennen. Um festzustellen, ob es in der vorliegenden Messreihe einen Bereich der Stalltemperatur gibt, ab dem die Vormagentemperatur beginnt anzusteigen, wurde die Datenreihe mit der segmentierten linearen Regression auf einen Strukturbruch untersucht. Dieser ließ sich zwischen 7 °C und 8 °C Stalltemperatur nachweisen (Abb. 2).

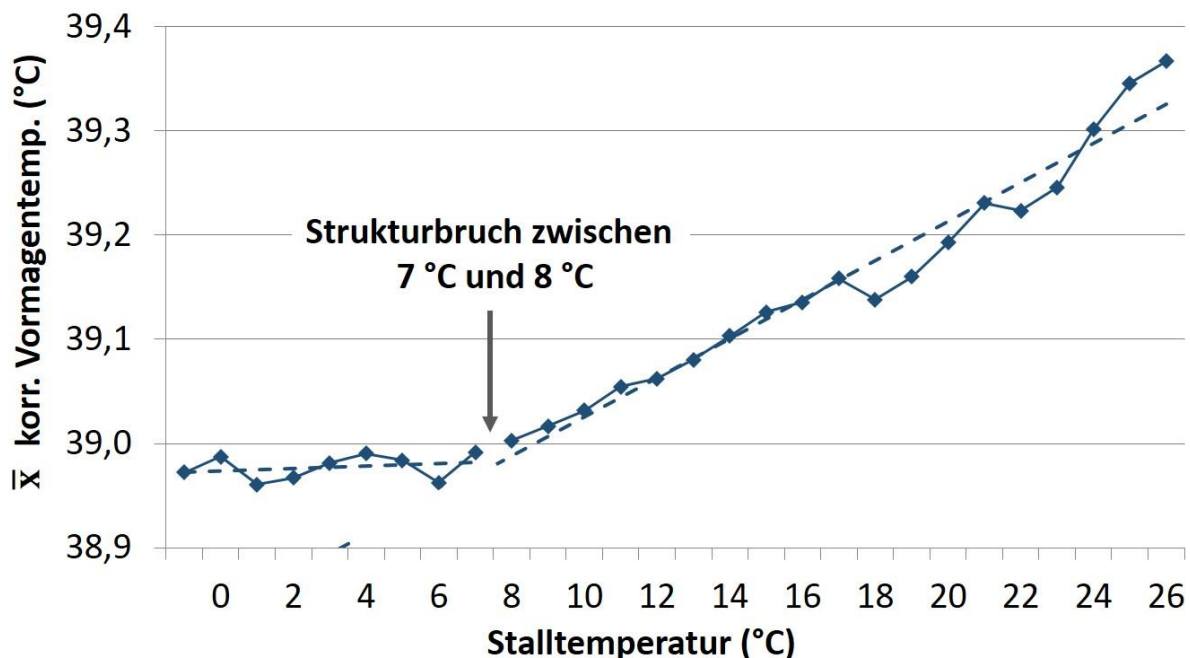


Abbildung 2: Mittlere korrigierte Vormagentemperaturen (LSM) in Abhängigkeit von der Stalltemperatur

Das bedeutet, ab hier begann eine Erhöhung der Vormagentemperatur infolge steigender Umgebungstemperaturen. Die Regressionsgleichungen der Werte der Vormagentemperaturen (y) für die beiden Bereiche der Stalltemperaturen (x) unterstreichen diese Feststellung und lauten wie folgt:

Stalltemperatur von -1 °C bis 7 °C: $y=0,001x+38,97$ ($R^2=0,08$)

Stalltemperatur von 8 °C bis 26 °C: $y=0,019x+38,80$ ($R^2=0,96$)

Für den Zusammenhang zwischen Vormagentemperatur und Körpertemperatur sind starke (BEWLEY et al., 2008) bis sehr starke Korrelationen (SIEVERS et al., 2004) nachgewiesen. Damit kann davon ausgegangen werden, dass ein Monitoring der Vormagentemperatur nach Bereinigung der Daten um Einflüsse durch Futter- und Wasseraufnahme als Basis zur Beurteilung des Verlaufes der Körpertemperatur geeignet ist (SMALL et al., 2008).

Folgt man dem Thermoneutralzonenkonzept von SILANIKOVE (2000), so überschreitet ein Tier die obere kritische Temperatur und verlässt damit die thermoneutrale Zone, wenn es nicht mehr in der Lage ist, die endogene Wärme vollständig abzuführen und es dadurch zum Anstieg der Körpertemperatur kommt. Dies ist in den vorgestellten Ergebnissen (Abb. 2) bereits ab 8 °C Stalltemperatur der Fall.

Die direkt an den Tieren gewonnenen Ergebnisse bestätigen sehr gut die obere kritische Temperatur von 8 °C für Milchkühe mit einer Leistung von 40 kg Milch pro Tag, wie sie von BERMAN und MELTZER (1973) berechnet wurde. Diese Bestätigung und weitere Berechnungen von BERMAN und MELTZER (1973), dass sich die obere kritische Temperatur bei Milchkühen um jeweils 4 K je 10 kg tägliche Milchleistung verschiebt, lassen die Ableitung von Optimalbereichen der Umgebungstemperatur für Milchkühe bei verschiedenen Leistungsniveaus zu (Abb. 3). Ausgehend vom Alter der Quelle des Optimalbereiches von 4 °C bis 16 °C (DLG-Merkblatt, 2005; KOLLER und SÜSS, 1984) ist dies für Kühe mit einer in den 1980er Jahren üblichen durchschnittlichen Leistung um etwa 15 kg Milch pro Tag zutreffend. Mit den gefundenen Ergebnissen und den Literaturerkenntnissen lassen sich die in Abbildung 3 dargestellten Optimalbereiche in Abhängigkeit von der Leistung ableiten. Dabei wird deutlich, dass es nur einen Optimalbereich für eine ganze Herde nicht geben kann. Deshalb wäre es ideal, verschiedene Leistungsgruppen in unterschiedlichen Stallarealen unterzubringen, die auch kühlungstechnisch weitgehend unabhängig voneinander gemanagt werden können. Generell erscheinen bei dem heutigen Leistungsniveau der Tiere Kühlungsmöglichkeiten in unseren Kuhställen als zwingend erforderlich.

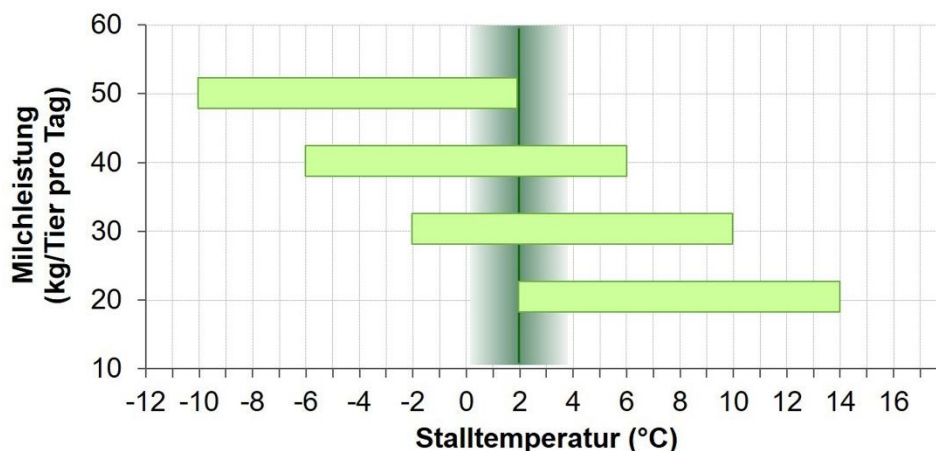


Abbildung 3: Optimaler Temperaturbereich von Milchkühen in Abhängigkeit von deren Leistung

Quelle: eigene Darstellung nach BERMAN und MELTZER, 1973 und DLG-Merkblatt, 2005 (geändert)

Für hochleistende Tiere sollte ab etwa 5 °C und für sonstige laktierende ab etwa 10 °C begonnen werden, technische Kühlanlagen mit Teilleistung laufen zu lassen. Aber auch dort, wo (noch) keine technischen Anlagen zur Kühlung der Tiere vorhanden sind, können die Kühe unterstützt werden, indem in den Ställen ab etwa 5 °C (Frostfreiheit) die Jalousien der Seitenwände geöffnet werden. Spätestens ab 10 °C sollte der Stall maximal geöffnet sein, wenn möglich auch ohne Windbrechnetze.

Literatur

- Armstrong, D. V.; Welchert, W. T.; Wiersma, F. (1993): Environmental modification for dairy cattle housing in arid climates. In: Proc. 4th Int. Livestock Environmental Symp., Warwick, Coventry, England. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI, USA.
- Berman, A. (2005): Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science* 83, 1377–1384.
- Berman, A.; Folman, Y.; Kaim, M.; Mamen, M.; Herz, Z.; Wolfenson, D.; Arieli, A.; Graber, Y. (1985): Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *J. Dairy Sci.* 68, 1488-1495.
- Berman, A. und Meltzer, A. (1973): Critical temperatures in lactating dairy cattle: a new approach to an old problem. In: *International Journal of Biometeorology*, H. 17, S. 167-176.
- Berry, I. L.; Shanklin, M. D.; Johnson, H. D. (1964): Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. *Trans. Am. Soc. Ag. Eng.* 7, 329-331.
- Bewley, J. M.; Einstein, M. E.; Grott, M. W.; Schutz, M. M. (2008): Comparison of Reticular and Rectal Core Body Temperatures in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 91, 4661-4672.
- Bianca, W. (1968): Neuzeitliche Ergebnisse und Aufgaben der Bioklimatologie bei Haustieren. *Der Tierzüchter* 20, 438-442.
- Bianca, W. (1971): Die Akklimatisation von Haustieren. *Der Tierzüchter* 23, 187-189.
- Bitman, J.; Lefcourt, A.; Wood, D. L.; Stroud, B. (1984): Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 67, 1014-1023.
- Boehmer, B. H.; Bailey, C. L.; Wright, E. C.; Wettemann, R. P. (2009): Effects of temperature of consumed water on rumen temperature of beef cows. *Oklahoma Agricultural Experiment Station*.
- Burns, P. D.; Wailes, W. R.; Baker, P. B. (2002): Changes in reticular and rectal temperature during the periostrous period in cows. *J. Anim. Sci.* 80 (Suppl. 2), 128.
- Collier, R. J. und Zimbelman, R. B. (2007): Heat stress effects on cattle: What we know and what we don't know. In: *Proceedings of the 22nd Annual Southwest Nutrition and Management Conference*, Arizona, 76-83.
- DLG-Merkblatt (2005): Vermeidung von Wärmebelastungen für Milchkühe. DLG-Merkblatt 336, Frankfurt.
- DLQ (2018): Durchschnittsleistungen aller Kühe in der Milchkontrolle 2018. <https://www.die-milchkontrolle.de/news/Die-Milchkontrolle-im-Duerrejahr-2018/41/> (20.02.2019).
- Gasteiner, J.; Wolfthaler, J.; Zollitsch, W.; Horn, M.; Steinwigger, A. (2015): Kann durch die kontinuierliche Messung der Vormagen-Temperatur bei Milchkühen das Bevorstehen einer Brunst bzw. einer Abkalbung erkannt werden? 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der Landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, KTBL Verlag, Freising, 134-139.

- Geischeder, S. A. (2017): Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayerischen Klimabedingungen und Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren. Diss., Veterinärwissenschaftliches Department der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Hicks, L. C.; Hicks, W. S.; Bucklin, R. A.; Shearer, J. K.; Bray, D. R.; Soto, P.; Carvalho, V. (2001): Comparison of methods of measuring deep body temperature of dairy cows. 6th Int. Symp. ASAE, Louisville, KY. Am. Soc. Agric. Biol. Eng., St. Joseph, MI, 432–438.
- Koller, G. und Süss, M. (1984): Stallbau und Haltung. In: Bogner, H. und Grauvogl, A. (Hrsg.): Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kramer, A.; Haidn, B. und Schön, H. (1999): Energieströme beim liegenden Rind - Einflüsse der Liegefläche. In: Tagungsband 4. Internationale Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 9. - 10. März 1999, Freising-Weihenstephan, Hrsg.: Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan, 141-146.
- Liang, D.; Wood, C. L.; McQuerry, K. J.; Ray, D. L.; Clark, J. D.; Bewley, J. M. (2013): Influence of breed, milk production, season and ambient temperature on dairy cow reticulorumen temperature. J. Dairy Sci. 96, 5072-5081.
- Meyn, K. (2005): Entwicklung, Stand und Perspektiven der Rinder- und Schweineproduktion. Züchtungskunde 77 (6), 478-489.
- Prendiville, D. J.; Lowe, J.; Earley, B.; Spahr, C.; Kettlewell, P. (2002): Radiotelemetry systems for measuring body temperature. Beef Prod. Ser. 57, Grange Research Centre, Tunsany, UK.
- Rose-Dye, T. K.; Burciaga-Robles, L. O.; Krehbiel, C. R.; Step, D. L.; Fulton, R. W.; Confer, A.W.; Richards, C. J. (2011): Rumen temperature change monitored with remote rumen temperature boluses after challenges with bovine viral diarrhea virus and Mannheimia haemolytica. J. Anim. Sci. 89, 1193-1200.
- Silanikove, N. (2000): Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest. Prod. Sci. 67, 1-18.
- Sievers, A. K.; Kristensen, N. B.; Laue, H.-J.; Wolfram, S. (2004): Development of an intraruminal device for data sampling and transmission. J. Anim. Feed Sci. 13 (2), 207-210.
- Small, J. A.; Kennedy, A. D.; Kahane, S. H. (2008): Core body temperature monitoring with passive transponder boluses in beef heifers. Can. J. Anim. Sci. 88 (2), 225-235.
- Tober, O; Loebstin, C. (2013): Das Verhalten von laktierenden Kühen in einem Außenklima-Laufstall in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur. Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift 126 (9-10), 388-393.
- Tober, O; Loebstin, C; Gräber, J. (2012): Beeinflussung des Verhaltens von Milchkühen durch Wärmebelastung in einem frei gelüfteten Außenklima-Laufstall. In: Beiträge zur Milchproduktion. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Heft 49, 73-79.
- Thom, E. C. (1958): Cooling degree days. Air Conditioning. Heating and Ventilating 55, 65-69.
- Voß, B. (2016): Bewertung eines Temperaturmesssystems im Reticulo-Rumen bei Kälbern. Diss., Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
- Wadsworth, B. A. (2014): The impact of dual chamber cow waterbeds as a freestall base. Theses and Dissertations - Animal and Food Sciences. 36.
- http://uknowledge.uky.edu/animalsci_etds/36 (28.06.2017)

- Zimbelman, R. B. and Collier, R. J. (2011): Revised Temperature Humidity Index (THI) for Lactating Dairy Cows. Tri-State Dairy Nutrition Conference, April 19 and 20.
- Zimbelman, R. B.; Rhoads, R. P.; Rhoads, M. L.; Duff, G. C.; Baumgard, L. H.; Collier, R. J. (2009): A re-evaluation of the impact of temperature humidity index (THI) and black globe humidity index (BGHI) on milk production in high producing dairy cows. Proceedings of the 24th Annual Southwest Nutrition and Management Conference, 158-168.

4 Atemfrequenz als Hitzestress-Parameter bei Milchkühen und dessen automatische Erfassung durch einen neuen Atemsensor

Gundula Hoffmann, Saskia Strutzke, Severino Pinto, Julia Heinicke, Sabrina Hempel, Thomas Amon, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) Potsdam

Einleitung

Untersuchungen der vergangenen Jahre haben bereits gezeigt, dass die Reaktionen der Tiere auf klimatische Veränderungen von verschiedenen tierindividuellen Faktoren abhängig sind (z. B. Milchleistung, Alter, Laktationsnummer der Tiere). Es wurde dabei deutlich, dass ihre Individualität für die Einschätzung der Belastung von großer Bedeutung ist und dass Verhaltensparameter (Liege- und Stehzeiten, Aktivität, Wiederkauen) sowie physiologische Parameter (Atemfrequenz, Körpertemperatur) für die Beurteilung von Hitzestressbelastungen herangezogen werden sollten. Die alleinige Analyse des Stallklimas mittels Temperatur-Feuchte-Index (engl. temperature-humidity index, THI) ist hingegen nicht zielführend.

Der Klimawandel und hohe Milchleistungen lassen Kühe anfälliger für Hitzestress werden. Hitzestress wiederum beeinflusst das Tierwohl, die Milchleistung und die Erkrankungsrate, was zu ökonomischen Verlusten (z. B. Amerikanische Milchindustrie: durchschnittlich 897 Millionen \$/Jahr) führt (ST-PIERRE et al., 2003; FERRAZZA et al., 2017). Daher wurden in den letzten Jahren zahlreiche Untersuchungen durchgeführt, um zu verstehen, wie sich Hitzestress physiologisch und ethologisch bei Kühen äußert und welche Parameter am besten geeignet sind, diesen frühzeitig und individuell zu erkennen. Folgende Parameter zeigten demnach Abweichungen unter Hitzestress: Erhöhung der Körpertemperatur (sowohl rektal, vaginal als auch im Pansen), der Atemfrequenz, Herzfrequenz, Wasseraufnahme sowie eine Reduktion der Futteraufnahme und Wiederkautätigkeit (BURFEIND et al., 2012; LIANG et al., 2013; SORIANI et al., 2013; AMMER et al., 2016; REJEB et al., 2016; GARNER et al., 2017; PINTO et al., 2019a; PINTO et al., 2019b; MÜSCHNER-SIEMENS et al., 2020). Die tägliche Liegedauer der Kühe nimmt bei steigendem THI signifikant ab, dementsprechend erhöht sich die durchschnittliche Stehzeit pro Tag (COOK et al., 2007; HEINICKE et al., 2018; HEINICKE et al., 2019). Die Leistungsmerkmale der Milchkühe werden ebenfalls erheblich durch die Wärmebelastung beeinflusst. Es kommt zu einer Reduktion der Milchmenge (ca. 2,4 kg weniger Milch pro Tier und zusätzlichem Tag mit moderatem Hitzestress) und Beeinflussung der Milchinhaltsstoffe (CINCOVIĆ et al., 2011; BRÜGEMANN et al., 2012; REJEB et al., 2016; GARNER et al., 2017; HEMPEL et al., 2019) sowie zu einer verminderten Reproduktionsleistung (SCHÜLLER et al., 2014; GERNAND et al., 2019).

Eigene Untersuchungen (PINTO et al., 2019a; PINTO et al., 2019b; PINTO et al., 2020) und Literaturrecherchen (HERBUT et al., 2019; HOFFMANN et al., 2019) haben gezeigt, dass vor allem die Atemfrequenz bei Milchkühen ein sehr sensibler Parameter zur frühzeitigen Erkennung von Hitzestress ist. Die gängige Methode zur Bestimmung der Atemfrequenz von Rindern ist dabei das visuelle Zählen der Flankenbewegungen pro Zeiteinheit (Atemzüge pro Minute). Allerdings ist die visuelle Erfassung der Atemfrequenz sehr zeit- und arbeitsintensiv und führt durch die notwendige Anwesenheit einer Person möglicherweise zu einer Beeinträchtigung der Tiere und ihrer Atemfrequenz. Bereits bestehende Systeme zur Messung der Atemfrequenz erwiesen sich bisher nicht als ausreichend zuverlässig, um die wissenschaftlichen Fragestellungen zu beantworten. Beispielsweise wurde von EIGENBERG et al. (2000) ein Sensor (Respiratory Effort Transducer, BIOPAC Systems Inc., Goleta, USA) an Kühen getestet, der ursprünglich für Menschen entwickelt wurde. Dieser Sensor wird an einem Gurt um den Brustkorb der Kühe angebracht und misst die Bewegungen von Brust- und Bauchwand. Der Nachteil dieser Methode ist jedoch das mögliche Verrutschen des Gurts sowie die potentielle Zerstörbarkeit

durch andere Tiere. Eine berührungslose Methode mittels Laser-Distanzmesser, die von PASTELL et al. (2007) entwickelt wurde, wäre somit von Vorteil, kann aber nur an bestimmten Orten (beispielsweise Melkroboter) installiert werden, sodass keine kontinuierliche Messung der Atemfrequenzmessung möglich ist. Daher wurde am Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB) in Potsdam ein Sensor zur automatischen und kontinuierlichen Erfassung der Atemfrequenz für Kühe entwickelt und validiert (STRUTZKE et al., 2019).

Atemfrequenzsensor für Rinder

Der Sensor zur kontinuierlichen Aufzeichnung der Atemfrequenz besteht aus einem Druckdifferenzsensor, einem Mikrocontroller und einer Software zur Datenanalyse. Der Atemfrequenzsensor wird an einem Halfter befestigt und ein flexibler Silikonschlauch verbindet einen Anschluss des Drucksensors mit dem Nasenloch auf der gegenüberliegenden Seite (Abb. 1).



Der Silikonschlauch ragt ca. 10 cm in die Nasenhöhle hinein. Der zweite Anschluss des Sensors bleibt offen und ist daher dem Umgebungsdruck ausgesetzt. Über einen flexiblen Silikonschlauch wird der nasale Ausatemungsdruck an den Drucksensor übertragen und der Mikrocontroller wandelt das vom Drucksensor eingehende analoge Signal in ein digitales Signal um. Die Druckdifferenz nimmt mit der Strömungsgeschwindigkeit zu; somit steigt der Druck (mbar) während der Ausatmung an, was durch einen Anstieg in der Atemkurve

Abbildung 1: Kuh mit einem Atemfrequenzsensor

gekennzeichnet ist. Zu Beginn der Einatmung nimmt der Druck am Sensor ab, was zu einem Abfall der Atemkurve führt (Abb. 2). Die Übertragung der Daten zu einem Server erfolgt über ein Wireless Local Area Network (WLAN). Der Atemfrequenzsensor hat ein Gesamtgewicht von 45 g und erhält seine Energie durch eine Power Bank (Kapazität 2600 mAh) mit einem Gewicht von 60 g. Die Abmessungen des Sensors mit dem Mikrocontroller betragen $46 \times 15 \times 25$ mm (l $\times$ b $\times$ h).

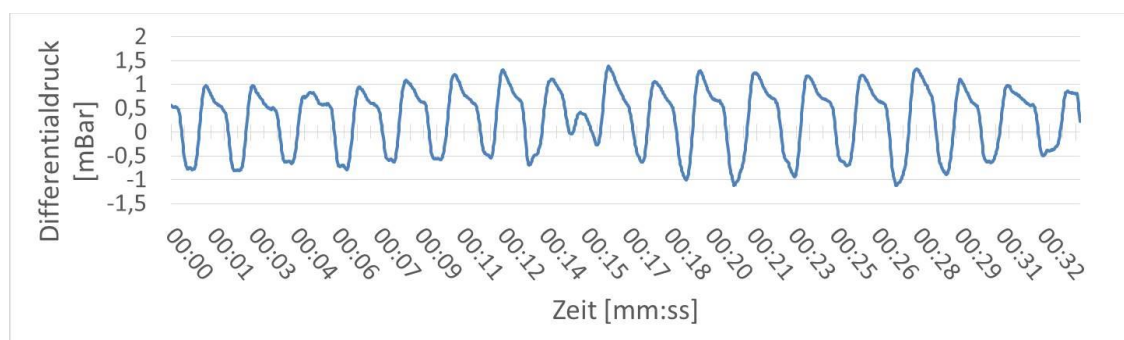


Abbildung 2: Mittels Atemsensor gemessene Druckdifferenz. Der durch die Ausatmung auf den Sensor ausgelöste Druck führt zu einem Anstieg der Datenkurve und der durch die Einatmung ausgelöste Unterdruck führt zu einem Abfall der Kurve.

Die Validierung des Sensors erfolgte an zwei Tagen im Januar 2018 mit sechs laktierenden Deutschen Holstein Kühen der Lehr- und Versuchsanstalt für Tierzucht und Tierhaltung e.V. (LVAT) in Groß Kreutz (Brandenburg). Das Landesamt für Arbeitsschutz, Verbraucherschutz und Gesundheit (LAVG Brandenburg) hat dieser experimentellen Studie (Nr. 2340-1-2018) zuvor zugestimmt. Bei 5 Kühen wurde die Atemfrequenz über einen Zeitraum von 10 Stunden (8:00 bis 18:00 Uhr) aufgezeichnet und bei einer Kuh über 24 Stunden (8:00 bis 8:00 Uhr des Folgetages).

Die Kühe wurden in einem freigelüfteten Liegeboxen-Laufstall mit überwiegend planbefestigten Laufflächen und 51 Liegeboxen gehalten. Die sechs ausgewählten Kühe unterschieden sich in Alter, Milchleistung und Laktationsnummer (drei Tiere in zweiter Laktation und jeweils ein Tier in erster, vierter und fünfter Laktation). Dadurch wurde zugleich untersucht, ob der Atemsensor für unterschiedlich große Tiere geeignet ist. Während der Versuche konnten sich die Kühe frei im Stall bewegen und hatten Wasser und Futter (Totale Mischration) frei zugänglich. Lediglich zur Anbringung der Halfter und der Sensortechnik sowie zum Austausch der Power Banks nach jeweils sechs Stunden fand eine Fixierung (ca. 10-30 Minuten, Selbstfangfressgitter) der Tiere statt. Alle Tiere hatten sich schnell an den angebrachten Sensor gewöhnt und das Tragen eines Halfters war ihnen bereits vertraut. Die Atemfrequenz wurde über den gesamten Versuchszeitraum von 10 bzw. 24 Stunden kontinuierlich aufgezeichnet, wobei lediglich der Wechsel der Power Banks zu kurzen Unterbrechungen (< 1 Minute) führte.

Zur Validierung des Atemsensors wurden von den Kühen Videoaufzeichnungen (Samsung Galaxy Note 10.1, Seoul, Südkorea) gemacht, auf denen die Flankenbewegungen zu sehen waren. Es wurde darauf geachtet, dass sich die Kühe während der Aufzeichnung ruhig verhielten und ungestört waren. Folgende Verhaltensweisen wurden dabei von jedem Tier, jeweils zwei- bis dreimal für ca. 5 Minuten gefilmt: Liegen (in einer Liegebox, Kuh beobachtet aktiv die Umgebung, mit und ohne Wiederkauen), Dösen (in einer Liegebox, liegende Position, dösend mit halb geschlossenen Augen, ohne Wiederkauen), Stehen (im Gang oder in der Liegebox, mit oder ohne Wiederkauen). Eine rote LED-Lampe am Sensor zeigte dabei jeweils den Beginn einer Minute an, wobei zeitgleich ein Marker in der Aufzeichnung der Atemfrequenz erzeugt wurde. Anschließend wurde die Atemfrequenz, unabhängig voneinander, auf den Videos und den zeitgleich erzeugten Sensoraufzeichnungen für den Zeitraum einer Minute visuell ausgezählt.

Der Vergleich der zwei Methoden (Zählung der Flankenbewegung und der sensorisch erfassten Atmungspeaks) erfolgte durch Bland-Altman Plots (BLAND und ALTMAN, 1999). Sie zeigen die Differenz zwischen den beiden gepaarten Messungen (y-Achse) und den Mittelwert der Sensordaten und der visuellen Zählungen (x-Achse) (Abb. 3). Die horizontale Linie veranschaulicht die mittlere Differenz mit dem darüber liegenden 95 %-Vertrauensintervall (gepunktete Linie).

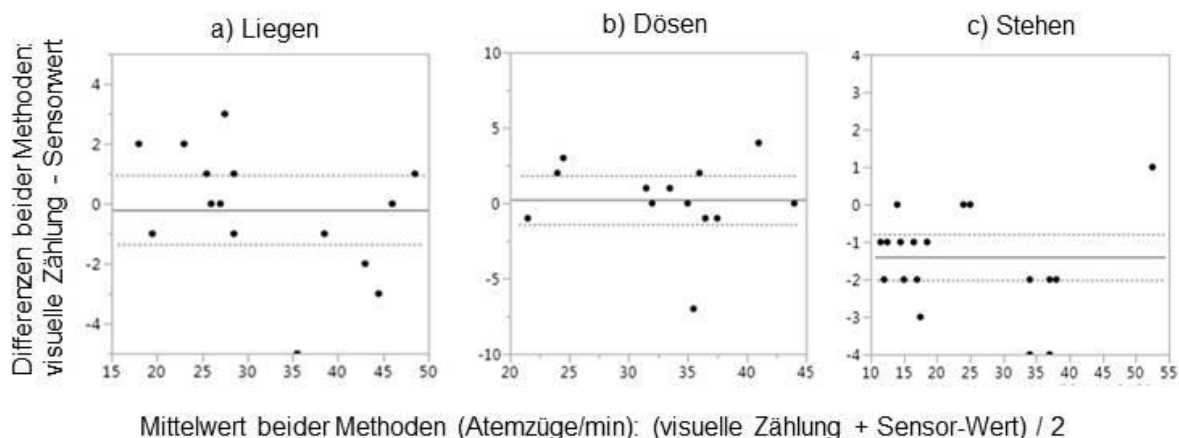


Abbildung 3: Differenz zwischen der Atemfrequenz während des Liegens (a), des Dösens (b) und des Stehens (c), gezählt durch den Atemsensor und die visuelle Beobachtung im Vergleich zum Mittelwert beider Methoden. Die Daten (jeweils in Atemfrequenz/min.) repräsentieren Aufnahmen von jeweils 1 Minute (95 % Konfidenzintervall von a: -1,35 bis 0,95; b: -1,39 bis 1,86; c: -2,01 bis -0,78; mittlere Differenz von a: -0,2; von b: 0,23; von c: -1,4).

Die Ergebnisse zeigen eine homogene und normale Verteilung der Differenzen während des Liegens und Dösens (Abb. 3a, b). Die mittlere Differenz von -0,2 im Liegen zeigte, dass der

Sensor 0,2 Atemzüge pro Minute mehr zählte als die visuelle Zählung. Das Konfidenzintervall (KI, 95 %) der mittleren Differenz betrug -1,35 und 0,95 Atemzüge pro Minute ($P=0,71$). Die mittlere Differenz von 0,2 während des Dösens zeigte, dass der Sensor 0,2 Atemzüge pro Minute weniger zählte als die visuelle Zählung. Das KI der mittleren Differenz betrug -1,39 und 1,86 Atemzüge pro Minute ($P=0,76$). Die Auswertung für das Liegen und Dösen zeigte somit keinen signifikanten Unterschied zwischen der automatischen und der visuellen Zählmethode. Beim Stehen (Abb. 3c) waren die Differenzen hingegen nicht homogen und nicht normalverteilt. Die Unterschiede stellen eine starke einseitige Verschiebung dar. Die mittlere Differenz von -1,4 im Stehen zeigte, dass der Sensor 1,4 Atemzüge mehr pro Minute zählte als die visuelle Zählung. Das KI der mittleren Differenz betrug -2,01 und -0,79 Atemzüge pro Minute ($P < 0,0001$). Die Ergebnisse im Stehen zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen der automatischen und der visuellen Zählung. Hierbei ist jedoch die einseitige Verschiebung der Unterschiede zu berücksichtigen. Dies liegt wahrscheinlich an der flachen Atmung oder an der schwierigen Zählbarkeit aufgrund kurzfristiger Bewegungen der Tiere, was zu einer Verringerung der gezählten Atemzüge geführt haben könnte. Bei wiederholter Analyse der Videoaufnahmen oder direkter Beobachtung neben den Tieren konnten diese fehlenden Atemzüge identifiziert werden. Daher scheint der Sensor im Vergleich zur visuellen Zählung die zuverlässigere Methode zu sein, da der Sensor in der Nasenhöhle positioniert wird, wo der Drucksensor tatsächlich die Ein- und Ausatmung der Luft misst. Fehlinterpretationen bei der Zählung der Atemfrequenz, z. B. durch Bewegungen oder sehr flache Atmung, können vermieden und Fehlerquellen, z. B. durch ungeschulte Beobachter, reduziert werden. Dies ist ein Vorteil im Gegensatz zu früheren Studien, bei denen zur Erfassung der Atemfrequenz die Bauchbewegung per Brustgurt (EIGENBERG et al., 2000) oder Laser (PASTELL et al., 2007) gemessen wurde. Weitere Untersuchungen sind jedoch notwendig, um einerseits den Sensor noch zu verbessern (Laufzeit der Batterien, Befestigung des Sensors am Tier) und andererseits, um die Beziehung zwischen der Stressbelastung und der Atemfrequenz zu untersuchen. Geplant sind insbesondere Studien zu Hitzestress, da frühere Untersuchungen bereits darauf hingewiesen haben, dass die Atemfrequenz bei hitzebelasteten Kühen zunimmt, aber bisher nicht bekannt ist, ab welcher Atemfrequenz tatsächlich Hitzestress vorliegt.

Beeinflussung der Atemfrequenz durch klimatische Parameter

Bereits vor der Entwicklung des Atemsensors fanden am ATB eigene Untersuchungen zum Einfluss des Stallklimas auf die Atemfrequenz der Tiere statt. Die Versuche dazu fanden ebenfalls an der LVAT in Groß Kreutz (Brandenburg) statt. Die Kühe der Versuchsgruppe (Hochleistungskühe, Milchleistung mind. 30 kg / Tag) wurden in einem freigelüfteten Liegeboxen-Laufstall gehalten und durch ein automatisches Melksystem (Lely Astronaut A4, Maassluis, Niederlande) gemolken. Die durchschnittliche Herdengröße lag bei 50 Milchkühen, denen insgesamt eine Fläche von 686 m² (13,7 m² pro Kuh) zur Verfügung stand. Die Umgebungstemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit der Luft wurden alle 5 Minuten mit acht Datenloggern (EasyLog USB 2+, Lascar Electronics Inc., Whiteparish, UK), die 3,4 m über dem Boden im Stall positioniert waren, aufgezeichnet. Basierend auf diesen Werten wurde der THI nach NRC (1971) wie folgt berechnet:

$$THI = (1,8 * T + 32) - (0,55 - 0,0055 * RH) * (1,8 * T - 26),$$

wobei T die Lufttemperatur (in °C) und RH die relative Luftfeuchtigkeit (in %) ist.

Der THI wurde in folgende Kategorien eingeteilt: $THI < 68$ kein Hitzestress; $68 \leq THI < 72$ als Stressschwelle (Übergang zum Hitzestress); $72 \leq THI < 80$ als leichter Hitzestress; $80 \leq THI < 90$ als mäßiger Stress und $THI \geq 90$ als schwerer Stress (ARMSTRONG, 1994; ZIMBELMAN et al., 2011). Die Atemfrequenz der Milchkühe wurde visuell erfasst. Dazu wurde die Anzahl der Atemzüge für 30 Sekunden gezählt und anschließend verdoppelt, um die Atemfrequenz in der gängigen Einheit Atemzüge pro Minute zu erfassen. Diese Zählungen wurden stündlich von 7 bis

15 Uhr durchgeführt. Gleichzeitig wurde dokumentiert, ob sich das Tier während der Messung in einer liegenden oder stehenden Körperhaltung befand.

Die Ergebnisse der Untersuchungen haben gezeigt, dass die Interaktion zwischen der THI-Kategorie und der Körperhaltung einen signifikanten Einfluss auf die Atemfrequenz hatte. Die Atemfrequenz von liegenden Kühen betrug jeweils 37, 46 bzw. 53 Atemzüge pro Minute in den THI-Kategorien < 68 , $68 \leq \text{THI} < 72$ und $72 \leq \text{THI} < 80$ und waren somit höher als die von stehenden Kühen (30, 38 bzw. 45 Atemzüge pro Minute) in denselben THI-Kategorien. Mit zunehmendem THI-Wert stieg die Atemfrequenz signifikant an. Die eigenen Untersuchungen bestätigten Erkenntnisse früherer Untersuchungen, die besagen, dass neben dem THI verschiedene Faktoren die Anfälligkeit von Milchkühen für Hitzestress beeinflussen können, wie z. B. die Körperhaltung und die Milchproduktion (GAUGHAN et al., 2000; BERMAN, 2005).

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zur Validierung des Atemsensors haben gezeigt, dass die Messung der Atemfrequenz durch einen Druckdifferenzsensor zuverlässige Daten liefert. Kontinuierliche Messungen sind möglich und können die visuellen Beobachtungen ersetzen. Insgesamt wurde festgestellt, dass das Verhalten der Tiere während der Studie durch den Atemsensor nicht gestört und ihre Gesundheit nicht beeinträchtigt wurde. Abnormales Verhalten, wie etwa eine heftige Abwehrreaktion oder Unruhe, konnte nicht festgestellt werden. Weitere Tests und Entwicklungen sind mit der Software und dem Sensorgerät geplant. Für weitere wissenschaftliche Fragestellungen wird der Sensor wertvolle Informationen bringen. Insbesondere als Hitzestress-Indikator ist die Atemfrequenz gut geeignet, da sie sehr sensibel und zeitnah eine Stressreaktion anzeigt und individuell messbar ist. Die Beobachtung der Atmung zeigte zudem, dass sich die Atemfrequenz bei zunehmendem THI erhöht und dass liegende Kühe ihre Atemfrequenz unter Hitzestress deutlich stärker erhöhen als stehende Tiere.

Literatur

- Ammer, S., C. Lambertz und M. Gauly. 2016. Is reticular temperature a useful indicator of heat stress in dairy cattle? *Journal of Dairy Science* 99(12):10067-10076.
- Armstrong, D. V. 1994. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *Journal of Dairy Science* 77(7):2044-2050.
- Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science* 83(6):1377-1384.
- Bland, J. M. und D. G. Altman. 1999. Measuring agreement in method comparison studies. *Statistical Methods in Medical Research* 8(2):135-160.
- Brügemann, K., E. Gernand, U. König von Borstel und S. König. 2012. Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *Archiv Tierzucht* 55:13-24.
- Burfeind, O., V. Suthar und W. Heuwieser. 2012. Effect of heat stress on body temperature in healthy early postpartum dairy cows. *Theriogenology* 78(9):2031-2038.
- Cincović, M., B. Belić, B. Toholj und M. Stevančević. 2011. On-farm measurement of heat stress load in dairy cows. *Veterinarska Stanica* 42(Supplement 1):285-289.
- Cook, N. B., R. L. Mentink, T. B. Bennett und K. Burgi. 2007. The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 90(4):1674-1682.
- Eigenberg, R. A., G. L. Hahn, J. A. Nienaber, T. M. Brown-Brandl und D. E. Spiers. 2000. Development of a new respiration rate monitor for cattle. *Transactions of the ASAE* 43(3):723-728.
- Ferrazza, R. D., H. D. M. Garcia, V. H. V. Aristizabal, C. D. Nogueira, C. J. Verissimo, J. R. Sartori, R. Sartori und J. C. P. Ferreir. 2017. Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. *Journal of Thermal Biology* 66:68-80.
- Garner, J., M. Douglas, S. Williams, W. Wales, L. Marett, K. DiGiacomo, B. Leury und B. Hayes. 2017. Responses of dairy cows to short-term heat stress in controlled-climate chambers. *Animal Production Science* 57(7):1233-1241.

- Gaughan, J. B., S. M. Holt, G. L. Hahn, T. L. Mader und R. Eigenberg. 2000. Respiration rate - Is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 13:329-332.
- Gernand, E., S. König und C. Kipp. 2019. Influence of on-farm measurements for heat stress indicators on dairy cow productivity, female fertility, and health. *Journal of Dairy Science* 102(7):6660-6671.
- Heinicke, J., G. Hoffmann, C. Ammon, B. Amon und T. Amon. 2018. Effects of the daily heat load duration exceeding determined heat load thresholds on activity traits of lactating dairy cows. *Journal of Thermal Biology* 77:67-74.
- Heinicke, J., S. Ibscher, V. Belik und T. Amon. 2019. Cow individual activity response to the accumulation of heat load duration. *Journal of Thermal Biology* 82:23-32.
- Hempel, S., C. Menz, S. Pinto, E. Galán, D. Janke, F. Estellés, T. Müschner-Siemens, X. Wang, J. Heinicke, G. Zhang, B. Amon, A. del Prado und T. Amon. 2019. Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios - uncertainties and potential impacts. *Earth Syst. Dynam. Discuss.* 10(4):859–884.
- Herbut, P., S. Angrecka, D. Godyn und G. Hoffmann. 2019. The physiological and productivity effects of heat stress in cattle – a review. *Ann Anim Sci* 19(3):579-594.
- Hoffmann, G., P. Herbut, S. Pinto, J. Heinicke, B. Kuhla und T. Amon. 2020 (in press). Review paper: Animal-related, non-invasive indicators for determining heat stress in dairy cows. *Biosystems Engineering*: doi:10.1016/j.biosystemseng.2019.10.017.
- Liang, D., C. Wood, K. McQuerry, D. Ray, J. Clark und J. Bewley. 2013. Influence of breed, milk production, season, and ambient temperature on dairy cow reticulorumen temperature. *Journal of Dairy Science* 96(8):5072-5081.
- Müschner-Siemens, T., G. Hoffmann, C. Ammon und T. Amon. 2020. Daily rumination time of lactating dairy cows under heat stress conditions. *Journal of Thermal Biology* 88.
- NRC. 1971. A guide to environmental research on animals. National Academies.
- Pastell, M., J. Kaihilahti, A.-M. Aisla, M. Hautala, V. Poikalainen und J. Ahokas. 2007. A system for contact-free measurement of respiration rate of dairy cows. Pages 105-109 in *Precision livestock farming '07*. S. Cox, ed. Wageningen Academic Publisher, The Netherlands.
- Pinto, S., G. Hoffmann, C. Ammon, B. Amon, W. Heuwieser, I. Halachmi, T. Banhazi und T. Amon. 2019a. Influence of barn climate, body postures and milk yield on the respiration rate of dairy cows. *Ann Anim Sci* 19(2):469-481.
- Pinto, S., G. Hoffmann, C. Ammon und T. Amon. 2020. Critical THI thresholds based on the physiological parameters of lactating dairy cows. *Journal of Thermal Biology* 88.
- Pinto, S., G. Hoffmann, C. Ammon, W. Heuwieser, H. Levit, I. Halachmi und T. Amon. 2019b. Effect of two cooling frequencies on respiration rate in lactating dairy cows under hot and humid climate conditions. *Annals of Animal Science* 19(3), 821-834.
- Rejeb, M., R. Sadraoui, T. Najar und M. B. M'rad. 2016. A complex interrelationship between rectal temperature and dairy cows' performance under heat stress conditions. *Open Journal of Animal Sciences* 6(01):24.
- Schüller, L., O. Burfeind und W. Heuwieser. 2014. Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology* 81(8):1050-1057.
- Soriani, N., G. Panella und L. Calamari. 2013. Rumination time during the summer season and its relationships with metabolic conditions and milk production. *Journal of Dairy Science* 96(8):5082-5094.
- St-Pierre, N. R., B. Cobanov und G. Schnitkey. 2003. Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries. *Journal of Dairy Science* 86:E52-E77.
- Strutzke, S., D. Fiske, G. Hoffmann, C. Ammon, W. Heuwieser und T. Amon. 2019. Technical note: Development of a noninvasive respiration rate sensor for cattle. *Journal of Dairy Science* 102(1):690-695.
- Zimbelman, R. B., R. J. Collier und M. Eastridge. 2011. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. Pages 111-126 in *Proc. 2011 Tri-State Dairy Nutrition Conf.* The Ohio State University, Columbus.

5 Diagnostizierte und prognostizierte tierspezifische Hitzestressbelastungen bei steigenden Temperaturen und erhöhter Klimavariabilität

Sabrina Hempel, Gundula Hoffmann, Theresa Müschner-Siemens, Julia Heinicke, Severino Pinto, Thomas Amon, Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) Potsdam

Einleitung

In den vergangenen Jahrzehnten wurde ein starker globaler Erwärmungstrend mit teils gravierenden Auswirkungen auf das regionale Klima beobachtet (IPCC AR 4, 2007; IPCC AR 5, 2013; WMO, 2018; KJELLSTRÖM et al., 2018). Veränderungen in den Feuchte- und Windverhältnissen verstärken die Auswirkungen dieses globalen Temperaturanstiegs auf die Nutztierhaltung (NARDONE et al., 2010). Zu den direkten Folgen gehört das verstärkte Auftreten von klimabedingten Stresssituationen (insbesondere Hitzestress). Ungünstige klimatische Bedingungen können dabei durch verschiedene Kombinationen von Luftbewegung, Temperatur, Luftfeuchte und Strahlungswärme hervorgerufen werden (MADER et al., 2006).

Milchkühe, die vorwiegend in offenen, freibelüfteten Ställen gehalten werden, sind sowohl aufgrund der Haltungsform als auch aus physiologischen Gründen besonders vom Klimawandel betroffen. Der aus überschüssiger Wärme resultierende Stress führt zu physiologischen und ethologischen Veränderungen. Unter anderem kann dies die Menge und Qualität der Milch, die Reproduktionsleistung, den Stoffwechsel- und Gesundheitszustand sowie die Immunantwort der Tiere beeinträchtigen (NARDONE et al., 2010; GALAN et al., 2018). Quantitative Analysen zu den Folgen des Klimawandels für das Tierwohl und damit assoziierte ökonomische und ökologische Faktoren sind jedoch bisher in der Literatur kaum zu finden.

Von 2014 bis 2017 verknüpfte daher das am ATB koordinierte, transnationale und interdisziplinäre Projekt OptiBarn (Optimized animal specific barn climatization facing temperature rise and increase climate variability) Forschung zu tierindividuellem Stress und Stallklima mit Klimamodellierung und Klimafolgenforschung (HEMPEL et al., 2016). OptiBarn wurde im Rahmen der FACCE ERA-NET Plus Initiative „Climate Smart Agriculture“ des 7. Forschungsrahmenplans (FP7) der Europäischen Kommission gefördert und adressierte im weiten Sinne Strategien und Maßnahmen zur Anpassung der Europäischen Landwirtschaft an den Klimawandel. Die Interdisziplinarität des Forscherteams (u. a. Agrarwissenschaftler, Tiermediziner, Meteorologen, Ingenieurwissenschaftler und Physiker) befähigte die Arbeitsgruppen zu weitgefächerten Untersuchungsansätzen, um eine Verbindung zwischen den Bereichen der Klimaprognose, Auswirkungen auf das Stallinnenklima und Empfehlungen für den Stallbau bzw. eine angepasste Bewirtschaftung der Gebäude herzustellen.

Im Rahmen des OptiBarn-Projekts wurden umfangreiche mikroklimatische, tierphysiologische und verhaltensbezogene Daten in 4 Milchviehställen in Mitteleuropa und der mediterranen Region erhoben. Der Datensatz wurde ergänzt durch Experimente im Grenzschichtwindkanal und numerische Simulationen. Im Folgenden werden exemplarisch die Ergebnisse zu Stallklima und Tierreaktion für einen Milchviehstall in Ostdeutschland vorgestellt.

Messungen und Simulationen

Der Stall

Der umfangreichste und homogenste Datensatz im OptiBarn Projekt wurde in einem kleinen, freibelüfteten Milchviehstall (Grundfläche ca. 39 m x 18 m, vgl. Abb. 1) in Brandenburg, mit gemäßigttem, kontinentalen Klima, erhoben (HEMPEL et al., 2019; PINTO et al., 2019; HEINICKE

et al., 2018; SIEMENS et al., 2017). Der Stall ist am First ca. 6 m und an den Seitenwänden ca. 3 m hoch. Er hat 51 Liegeboxen und ein automatisches Melksystem (Lely Astronaut A3).



Abbildung 1: Ansichten des Stalls. Die linke Abbildung zeigt oben eine Außenansicht des Stalls und dessen Lage auf dem Betrieb (Quelle: Google Luftbild und Foto ATB), sowie unten einen Grundriss des Stalls mit der Verteilung der Sensoren (G, J, I, O, E, Z, U und R) für die Erfassung von Temperatur, Luftfeuchte und Wind in etwa 3 m Höhe über dem Stallboden. An den Sensorpositionen I, O und E wurden Temperatur und Luftfeuchte jeweils zusätzlich in 4 Höhen zwischen 4 m und 6 m erfasst. In der rechten Abbildung ist eine Aufnahme des Stallinneren zu sehen.

Während des Messzeitraums zwischen Sommer 2015 und Sommer 2017 umfasste die Herde Milchkühe von der ersten bis zur achten Laktation (Rasse Deutsche Holstein) mit einem Durchschnittsgewicht von etwa 645 kg. Die Gruppe hatte während der gesamten Untersuchungsphase einen dynamischen Charakter (neue Tiere kamen in die Gruppe, andere verließen sie). Die Fütterung der Tiere erfolgte zweimal am Tag gegen 05:30 Uhr und gegen 10:30 Uhr mit einer totalen Mischration. Um etwa 15:30 Uhr und 20:00 Uhr wurde für die Tiere nicht erreichbares Futter wieder an das Fressgitter herangeschoben. Die Kühe kamen zwei- bis dreimal täglich zum automatischen Melksystem. Das durchschnittliche Tagesgemelk lag bei etwa 40 kg pro Kuh. Verschiedene Lüfter wurden manuell durch den Herdenmanager gesteuert.

Mikroklimatische Betrachtung

Temperatur, Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit wurden im Messzeitraum kontinuierlich (mindestens 5-min-Auflösung) an 8 Positionen im Stall in einer Höhe von etwa 3 m über dem Stallboden erfasst (Abb. 1). Zusätzlich wurden an drei der Sensorpositionen entlang der Mittelachse des Stalls vertikale Temperatur- und Feuchteprofile aufgenommen (d. h., vier zusätzliche Sensoren zwischen 4 m und 6 m Höhe).

Aus der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchte wurde zu jedem Zeitpunkt der Temperatur-Luftfeuchte-Index (temperature humidity index, THI) nach der Formel des NRC (1971) berechnet:

$$THI = (1.8 \times T + 32) - (0.55 - 0.0055 \times RH) \times (1.8 \times T - 26),$$

wobei T die Trockentemperatur in °C und RH die relative Luftfeuchte in % ist (NRC, 1971).

Zusätzlich wurde der Equivalenztemperatur-Index für Kühe (equivalent temperature index for cattle, ETIC) nach WANG (2018) vergleichend dazu betrachtet:

$$ETIC = T - 0.0038 \cdot T \cdot (100 - RH) - 0.1173 \cdot |v|^{0.707} \cdot (39.20 - T) + 1.86 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot Q,$$

wobei T die Trockentemperatur in °C, RH die relative Luftfeuchte in %, v die Luftgeschwindigkeit in ms^{-1} und Q die solare Einstrahlung in W m^{-2} ist (WANG et al., 2018). Die Isolierung und Höhe des Daches wurde dabei als hinreichend angenommen, um den Einfluss der solaren Einstrahlung zu vernachlässigen (d. h., für die Untersuchungen wurde $Q = 0 \text{ W m}^{-2}$ angenommen).

Zukunftsprognosen

Um das zukünftige Hitzestressrisiko unter dem Einfluss des Klimawandels abschätzen zu können, wurde unter Verwendung von Daten des Deutschen Wetterdienstes (Messstation Potsdam) ein empirisches Modell abgeleitet, das Prognosen für die mittleren klimatischen Bedingungen im Stall (Temperatur, Luftfeuchte, zonaler und meridionaler Wind) bei gegebenen Außenbedingungen ermöglicht. Dazu wurde ein künstliches neuronales Netzwerk (artificial neuronal network, ANN) mit zwei verdeckten Schichten mit 90 bzw. 74 Knoten trainiert (Abb. 2). Als Eingangsknoten des Modells wurden die Außenwerte für Temperatur, relative Luftfeuchte, zonale und meridionale Windkomponente, Luftdruck (normiert auf Meeresspiegelniveau) und Globalstrahlung berücksichtigt. Das Modell berücksichtigt implizit die komplexen Zusammenhänge zwischen den klimatischen Bedingungen außen und innen, die von Bauform, Baumaterialien, Gebäudeorientierung und umgebender Landschaft / Bebauung abhängen.

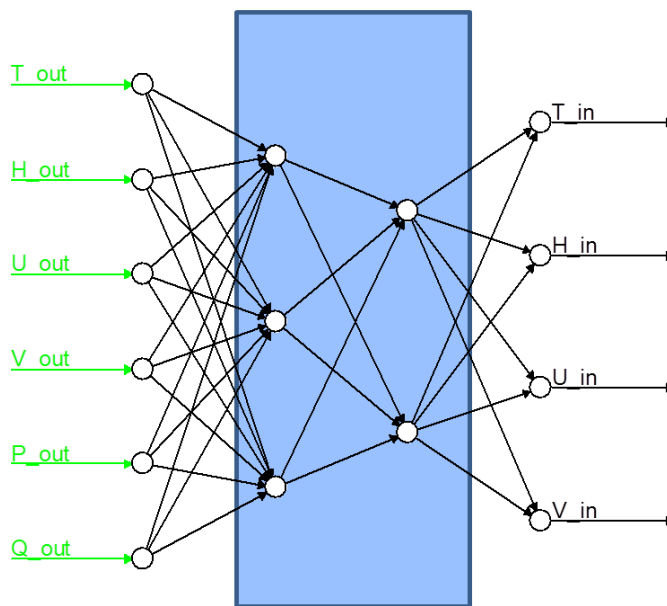


Abbildung 2:
Schema eines künstlichen neuronalen Netzwerkes zur Prognose der mikroklimatischen Bedingungen im Stall. Als Eingangsgrößen (d. h. die unabhängige Variablen) dienen Daten einer Wetterstation ca. 20 km entfernt vom Stall bzw. regionale Klimasimulationen. Die Ausgabewerte (d. h. die abhängigen Variablen) beschreiben die Umweltbedingungen im Stallinneren. Dabei ist T die Lufttemperatur, H die Luftfeuchte, U die zonale Windkomponente, V die meridionale Windkomponente, P der Luftdruck auf Meeresspiegelniveau und Q die Globalstrahlung.

Das Modell wurde anschließend mit einem Ensemble von regionalen Klimaprojektionen mit drei verschiedenen Treibhausgaskonzentrationsszenarien angetrieben (den „representative concentration pathways“ RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 des IPCC AR5 (IPCC, 2013)). Zur Bewertung des Hitzestressrisikos wurden die Anzahl und die Dauer von Hitzestressereignissen ausgewertet, wobei ein Hitzestressereignis als $\text{THI} \geq 72$ bzw. $\text{ETIC} \geq 20$ auf Stundenbasis definiert wurde.

Physiologische/ethologische Abschätzungen

Statistische Modelle mit gemischten Effekten wurden entwickelt, um das tierindividuelle Stresslevel bei gegebenen physiologischen Parametern (z. B. Laktationsstatus) und variierenden stallklimatischen Bedingungen abzuschätzen. Dazu wurden tierbezogene Parameter wie Aktivität, Wiederkauzeit und Atemfrequenz erfasst.

Das Aktivitätsverhalten der Kühe wurde mit Hilfe von Pedometern (IceTag3D™ activity sensor, IceRobotics, Edinburgh, UK) an einem der Hinterbeine durch 3D-Beschleunigungssensoren erfasst. Die zeitliche Auflösung lag bei einer Sekunde. Der Datenabruf erfolgte regelmäßig manuell per USB-Schnittstelle, wobei der Sensor kurzzeitig vom Bein entfernt werden musste. Die permanenten Fluktuationen in der Herdenzusammensetzung führten zu einer Gesamtzahl von 196 verschiedenen Kühen, die im Messzeitraum hinsichtlich ihres Aktivitätsverhaltens erfasst wurden. Verhaltensmuster wie Gesamtliegezeit, Anzahl und Dauer der Liegeereignisse sowie Gesamtstehzeit, Anzahl und Dauer der Stehzeiten und Anzahl der Schritte wurden ausgewertet.

Für die Erfassung der tierindividuellen Wiederkauzeit war jede Milchkuh im Stall mit einem mikrofonbasierten Sensor (Lely Qwes HR System, Lely, Maassluis, Niederlande) am Halsband ausgestattet. Dieser zeichnete, ausgelöst durch das spezifische Geräusch des Hochwürgens, die Wiederkaudauer als Gesamtzeit pro 2-Stunden-Phase und relativ zur Echtzeit auf. Die Daten wurden über eine Antenne während der Melkzeiten ausgelesen. Im Messzeitraum wurden 318.949 einzelne 2h-Datensätze von 183 Versuchskühen erhoben.

Die Atemfrequenz der Milchkühe wurde visuell erfasst. Dazu wurde die Anzahl der rechten thorakoabdominal Bewegungen pro 30 Sekunden gezählt und auf Atemzüge/Minute extrapoliert. Der Abstand zwischen Tier und Beobachter betrug etwa 15 m. Es gab zwei Messkampagnen. In der ersten Messkampagne wurden zweimal täglich (zwischen 7 und 10 Uhr und zwischen 11 und 14 Uhr) Daten von 30 mehrfach gekalbten Kühen pro Tag erhoben. In der zweiten Messkampagne wurden stündlich von 7 bis 15 Uhr Atemfrequenzmessungen an 15 erstkalbenden und mehrfach gekalbten Kühen durchgeführt. Während eines Messtages wurden immer die gleichen Kühe erfasst, wobei die Tiere am Anfang des Erfassungszeitraumes zufällig aus der Herde ausgewählt wurden. Zwischen den Messtagen wurden einzelne Kühe aufgrund des Herdenmanagements durch neue ersetzt. Insgesamt wurde bei 84 Kühen die Atemfrequenz erfasst, bei 13 davon in beiden Messkampagnen. Gleichzeitig wurde dokumentiert, ob sich ein Tier während der Messung in einer liegenden oder stehenden Körperhaltung befand.

Ergebnisse

Hitzestressprojektionen

Unsere Simulationen zeigten einen deutlichen Trend zu mehr und längeren Hitzestressereignissen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts (HEMPEL et al., 2019). Die Stärke des Anstiegs variierte abhängig vom Klimamodell und der angenommenen Treibhausgaskonzentration. In den Berechnungen unter Verwendung von ETIC ohne Wind ist eine leicht höhere Zunahme des Hitzestressrisikos als in den Berechnungen mit THI und ETIC mit Wind erkennbar, obwohl der THI den Wind nicht berücksichtigt (Abb. 3).

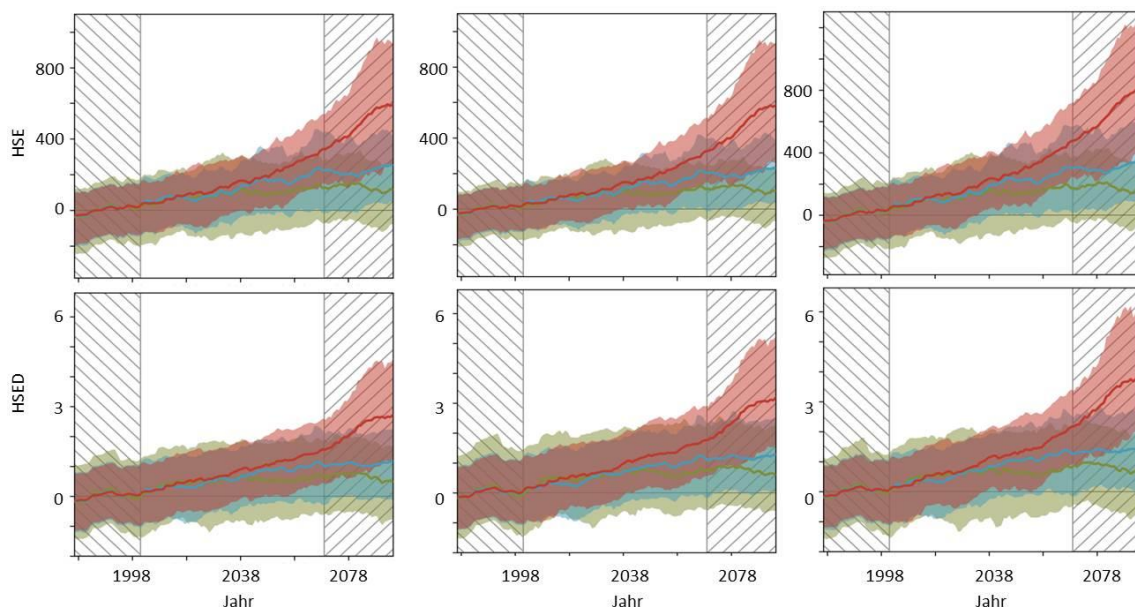


Abbildung 3: Projektionen der Änderung des Hitzestressrisikos im untersuchten Stall unter 3 verschiedenen Szenarien der Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen (grün entspricht RCP 2.6, blau RCP 4.5 und rot RCP 8.5 aus dem IPCC AR5). Die Anzahl von Hitzestressereignissen (HSE) und deren Dauer (HSED) wurden jeweils mit Hilfe des THI (links), des ETIC mit Windeinfluss (Mitte) und des ETIC ohne Windeinfluss (rechts) geschätzt. Grundlage der Schätzung ist ein Schwellwert von THI=72 bzw. ETIC=20.

Der Vergleich von ETIC ohne und mit Wind bestätigt andererseits die abmildernde Wirkung durch eine zeitgleich zur Temperaturerhöhung prognostizierte leichte Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeiten am Standort.

Insgesamt implizieren diese Ergebnisse gravierende Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit (direkt durch Reduktion der Menge und Qualität der Milch sowie indirekt durch erforderliche Umwelt- und Tierschutzmaßnahmen bzw. Behandlungskosten) und die dringende Notwendigkeit, mittelfristige Anpassungsmaßnahmen zu planen.

Unsicherheitsfaktor Mikroklimatische Variabilität

Unsere Studien zeigen, dass die turbulenten Strömungsbedingungen im Stall in Verbindung mit der ungleichmäßigen Verteilung von Wärme-, Feuchte- und Gasquellen zu einer sehr ungleichen Verteilung von Windgeschwindigkeit, Temperatur, Feuchte und Schadgaskonzentration im Stallinneren führen (HEMPEL et al., 2018). Alterungseffekte der Messgeräte sowie die Wahl der Messstrategie und der Analysemethode tragen zur Messunsicherheit bei, welche sich in die Folgenforschung fortpflanzt. Eine zunehmende Verzerrung der Messdaten bei der Langzeiterfassung im Stall wurde insbesondere im Fall von Feuchtedaten als wesentlicher Unsicherheitsfaktor identifiziert. Hier zeigten die Sensoren bereits nach einigen Monaten deutliche Verschiebungen hin zu höherer relativer Luftfeuchtigkeit (Abb. 4 links).

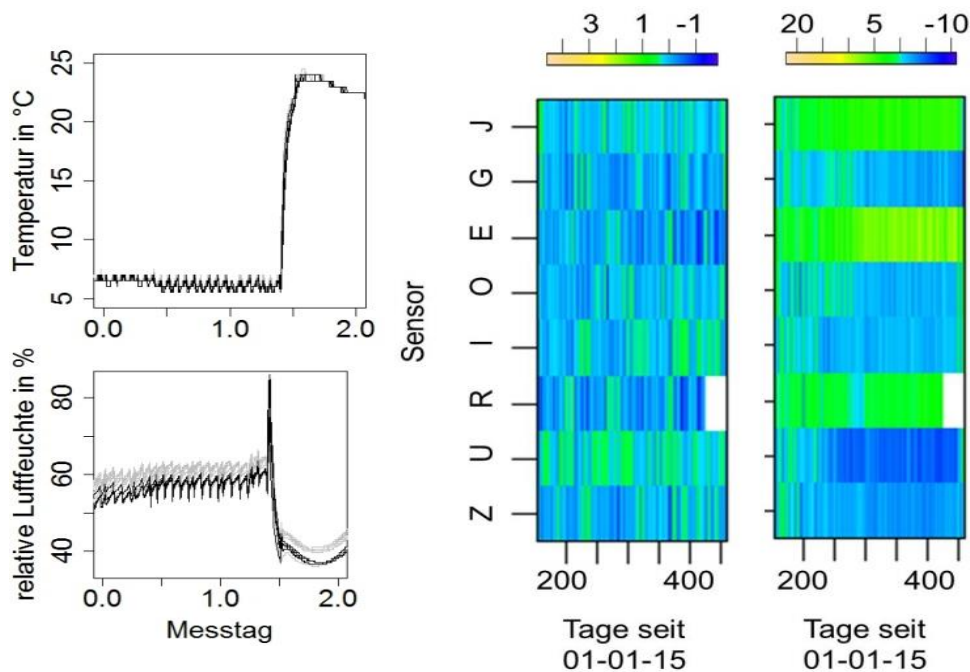


Abbildung 4: **Links:** Bias in Langzeitmessungen. Die Sensoren wurden, nach unterschiedlich langem Einsatz im Stall, gemeinsam über zwei Tage in einer Kühlzelle untersucht. Alle Sensoren zeigten nahezu die gleiche Temperatur (obere Abbildung). Die Sensoren, die etwa ein dreiviertel Jahr im Stall hingen (untere Abbildung in grau) zeigten eine deutlich höhere relative Luftfeuchte als die Sensoren, die nur einen Monat im Stall hingen (untere Abbildung Schwarz). **Rechts:** Zeitreihen der Abweichungen in Temperatur und relativer Feuchte an den verschiedenen Sensorpositionen in 3 m Höhe (Abb. 1). Referenzwert ist der Mittelwert der Sensorwerte zum jeweiligen Zeitpunkt.

Dies zeigt die Notwendigkeit, die Geräte regelmäßig zu recalibrieren oder zu erneuern. Wenn dies nicht möglich ist, können, so lange die Verschiebung noch nicht zu dauerhaften Saturierungseffekten führt, alternativ Algorithmen zur Biaskorrektur vor der weiteren Nutzung der Feuchtedaten angewandt werden.

Größere Unsicherheiten bestehen zudem auch bei der Erfassung der Windgeschwindigkeit. Diese kann aufgrund der turbulenten Prozesse in freibelüfteten Ställen lokal sehr unterschiedlich sein und wesentlich von den Windstärken abweichen, die außerhalb des Stalls gemessen werden.

Die charakteristischen Strömungsmuster, die in numerischen Strömungssimulationen und Windkanalexperimenten identifiziert wurden, deuten darauf hin, dass Messungen in einer Höhe von etwa 3 m die mikroklimatischen Bedingungen im Tierbereich in guter Näherung abbilden können, wobei jedoch die ungleichmäßige Verteilung der mikroklimatischen Bedingungen innerhalb dieses Querschnitts als Unsicherheit zu berücksichtigen bleibt (Abb. 4 rechts). Diese Unsicherheit kann insbesondere bei der lokalen Windgeschwindigkeit und der Luftfeuchte erheblich sein.

Je nachdem, welche meteorologischen Variablen einbezogen werden, unterscheiden sich umweltbezogene Stressindizes bezüglich ihrer Vorhersage, ob Hitzestress auftritt. Dabei wiesen unsere Ergebnisse darauf hin, dass die Unsicherheit durch die Wahl der Kombination von Index (z. B. THI) und zugehörigem Schwellwert etwa in der gleichen Größenordnung liegt wie der Effekt der Strömung (HEMPEL et al., 2019).

Unsicherheitsfaktor tierindividuelle Stressreaktion

Bezüglich des kritischen Schwellwertes stellt die tierindividuelle Reaktion einen erheblichen zusätzlichen Unsicherheitsfaktor bei der Beurteilung von Hitzestressrisiko und Anpassungsmaßnahmen dar. In unseren Untersuchungen nahm mit steigender Temperatur bzw. steigendem THI die Liegedauer pro Tag ab und die Stehzeit stieg an, während die Bewegungsdauer annähernd konstant blieb (HEINICKE et al., 2017). Die Reduktion der Liegezeit mit steigendem THI war bereits bei niedrigen THI-Werten (kleiner 50) zu beobachten. Oberhalb eines Schwellwerts von 67 THI-Einheiten wurde die Reduktion der Liegezeit jedoch deutlich

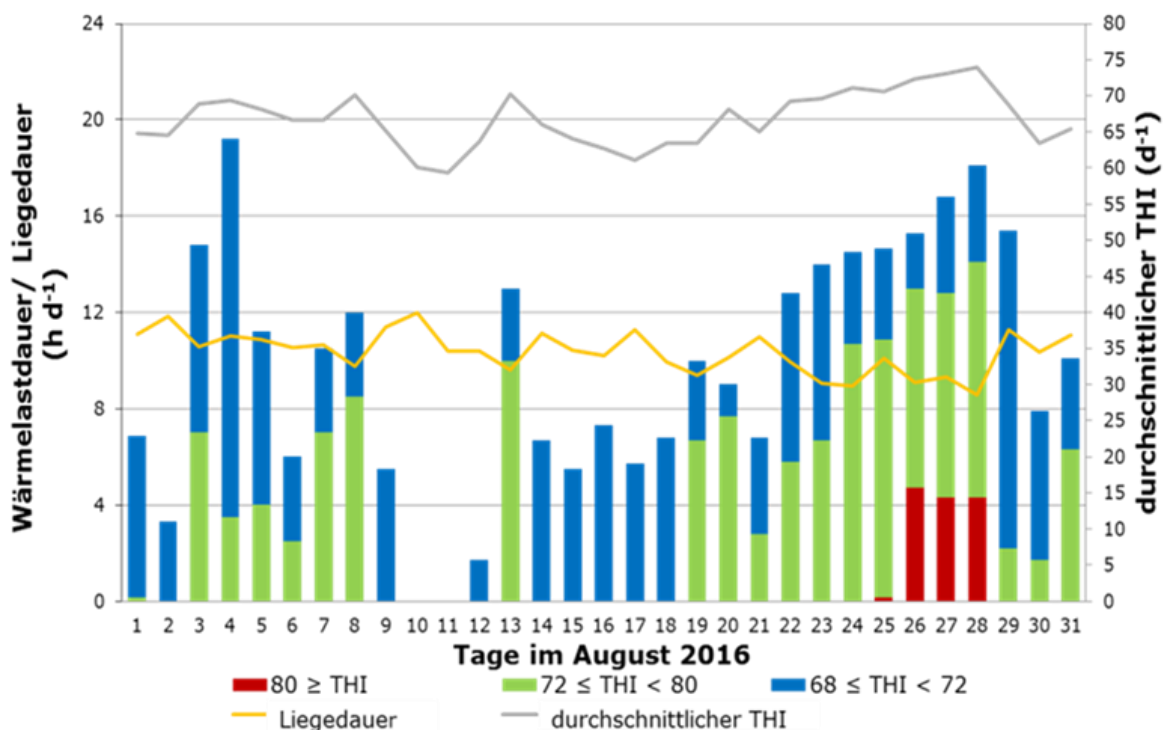


Abbildung 5: Wärmelastdauer definierter THI-Level mit dem dazugehörigen Tages-THI und der Liegedauer im Verlauf des Monats August 2016.

ausgeprägter und die tägliche Liegezeit nahm im Mittel um etwa 10-20 Minuten pro THI-Einheit ab. Die individuelle tägliche Liegezeit variierte dabei in Abhängigkeit von der Tageszeit und von Tier zu Tier (z. T. mehr als 12 Stunden) unter anderem in Abhängigkeit von der Leistungsklasse (HEINICKE et al., 2019). Die Kühe mit den höchsten Milchleistungen reduzierten ihre Liegezeiten bei steigendem THI am stärksten. Auch die Dauer der Wärmebelastung hatte einen signifikanten Einfluss auf die beobachtete Veränderung der Liegedauer (Abb. 5) (HEINICKE et al., 2018).

Die Analyse der Atmung der Kühe zeigt zudem, dass liegende Kühe ihre Atemfrequenz unter Hitzestress deutlich stärker erhöhen als stehende Kühe (Abb. 6). Die Atemfrequenz kann sich dabei gegenüber dem ungestressten Zustand etwa verdoppeln (PINTO et al., 2019).

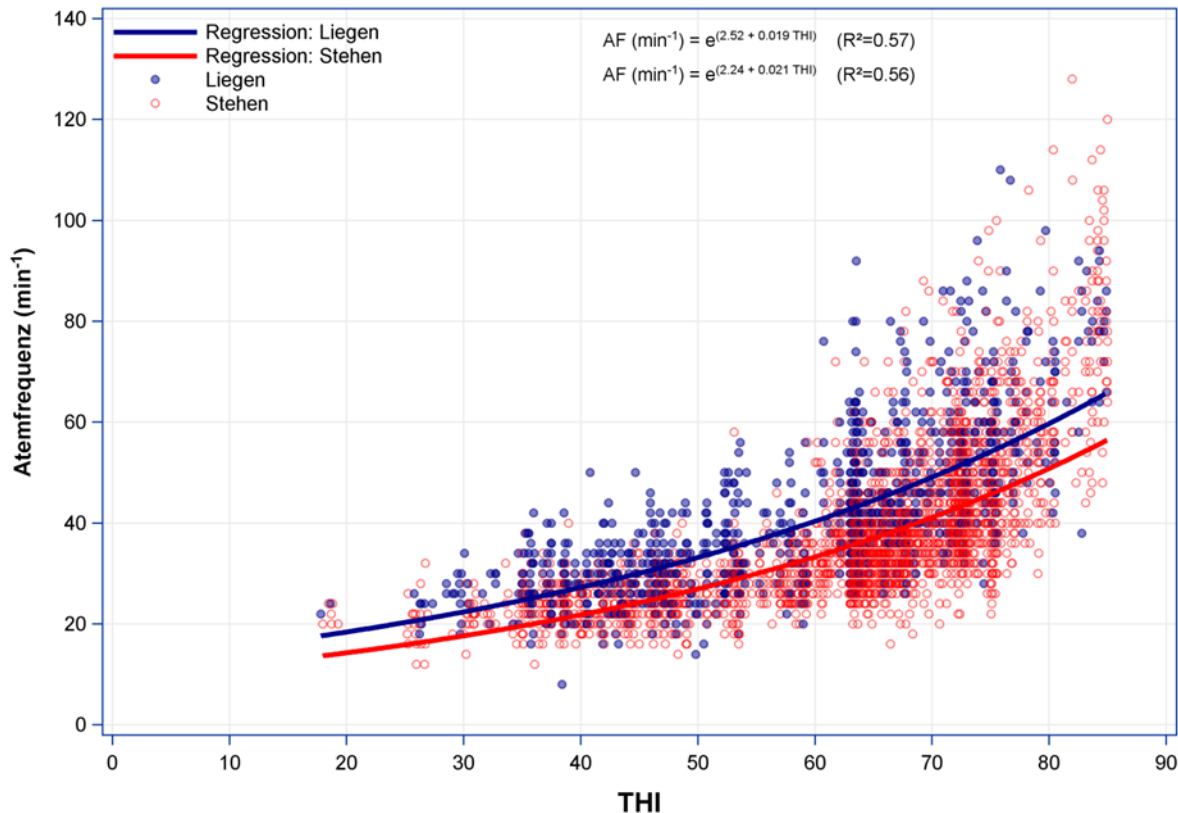


Abbildung 6: Tierindividuelle Atemfrequenz in Abhängigkeit von der Aktivität (Liegen versus Stehen) und dem mittleren THI des Stalls zum Messzeitpunkt

Aufstehen kann in diesem Sinne als eine frühe Anpassungsmaßnahme der Tiere verstanden werden, um überschüssige Wärme besser abzutransportieren. Die Atemfrequenz ist ein besonders nützlicher Indikator für Hitzestress, da sie nahezu ohne Zeitverzögerung reagiert. Um dieses Potential für die Stresserfassung von Kühen besser nutzbar zu machen, wurde parallel zur hier beschriebenen Analyse der visuell erfassten Atemfrequenz ein neuartiger Sensor zur automatisierten Erfassung der Atemfrequenz entwickelt, welcher sich derzeit in der Erprobung befindet (STRUTZKE et al., 2019).

Die Verschiebungen im Steh- und Liegeverhalten spiegeln sich darüber hinaus, wie in Abbildung 7 gezeigt, auch im Wiederkauverhalten wider. Während der Ruhephase in der Nacht von 22 bis 4 Uhr und bei niedrigen THI-Werten verbrachten die Tiere in unserer Studie etwa 10 Minuten mehr Zeit mit dem Wiederkauen als unter Hitzestress (SIEMENS et al., 2017). Im Tagesverlauf fiel bei steigendem THI die Dauer des Wiederkauens ab. Besonders ausgeprägt war dieser Abfall in den Nachmittagsstunden (etwa 12:00-20:00 Uhr). Darüber hinaus beobachtete verkürzte Wiederkauzeiten in den frühen Morgenstunden (04:00-06:00 Uhr) sind vermutlich fütterungsbedingt.

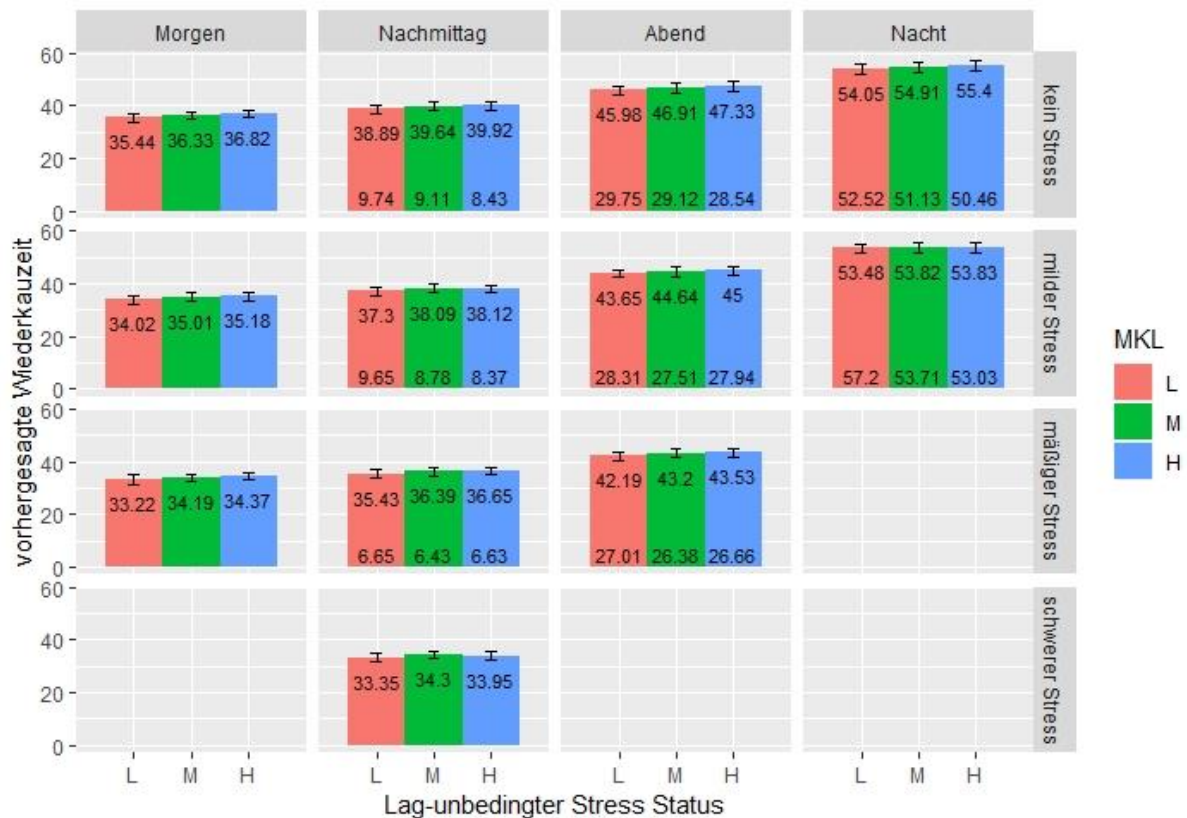


Abbildung 7: Durchschnittliche Wiederkauzeit laktierender Deutsche Holstein Kühe in Minuten zu verschiedenen Tageszeiten in Abhängigkeit von der Milchleistung und dem Hitzestresslevel. Die Tageszeiten sind klassifiziert als Morgen (04:00 Uhr - 10:00 Uhr), Nachmittag (10:00 Uhr - 16:00 Uhr), Abend (16:00 Uhr - 22:00 Uhr) und Nacht (22:00 Uhr - 04:00 Uhr). Es werden die Milchleistungsklassen L (Tagesgemelk $\leq 28,8$ kg), M ($28,8$ kg < Tagesgemelk $\leq 38,4$ kg) und H (Tagesgemelk > 38,4 kg) unterschieden. Betrachtete Hitzestresslevel sind stressfrei ($THI < 68$), milder Stress ($68 \leq THI < 72$), mäßiger Stress ($72 \leq THI < 80$) und schwerer Stress ($THI \geq 80$).

Schlussfolgerungen

Das Hitzestressrisiko steigt für alle betrachteten Klimawandelszenarien an. Die Stärke des prognostizierten Anstiegs hängt neben den regional-spezifischen Randbedingungen wesentlich vom Treibhausgasemissionsszenario und Klimamodell ab. Als zusätzliche Unsicherheitsfaktoren sind mikroklimatische Inhomogenitäten und tierindividuelle Stressanfälligkeit zu berücksichtigen.

Bei rein umweltbezogenen Indizes, wie THI oder ETIC, beeinflusst die Positionierung, insbesondere bei Feuchte- und Windmessungen, das Ergebnis wesentlich. Bei der relativen Feuchte wurde zudem die Kalibrierung bei Langzeitmessungen als wesentlicher Unsicherheitsfaktor ermittelt. Einen eindeutigen rein umweltbezogenen Hitzestressschwellwert anzugeben, ist zudem aufgrund der vielfältigen tierindividuellen Einflussfaktoren mit großen Unsicherheiten verbunden. Bei der Interpretation der Hitzestressprojektionen müssen daher immer auch die tierindividuellen Unterschiede und die frühzeitigen physiologisch-ethologischen Anpassungsmaßnahmen der Tiere berücksichtigt werden. Tierindividuelle Reaktionen im Wiederkau- und Atemverhalten sind dabei eng verknüpft mit der Aktivität der Tiere (d. h. Stehen versus Liegen).

Weitere detaillierte Studien zu den direkten Stressauswirkungen unter Berücksichtigung tierindividueller Faktoren sowie zur Bewertung von Anpassungsmöglichkeiten bei verschiedenen

Stressleveln sind dringend erforderlich. Zudem implizieren die indirekten Auswirkungen von Hitzestressbedingungen (z. B. steigende Treibhausgas- und Ammoniakemissionen, Milchleistungsabfall, erhöhte Krankheitsanfälligkeit) Rückkopplungsmechanismen im Erdsystem, die gegenwärtig noch kaum erforscht sind.

Literatur

- Galan, E.; Llonch, P.; Villagra, A.; Levit, H.; Pinto, S.; del Prado, A. (2018): A systematic review of non-productivity-related animal-based indicators of heat stress resilience in dairy cattle. *PloS one*, 13(11), e0206520.
- Heinicke, J.; Hempel, S.; Pinto, S.; Ammon, C.; Amon, T.; Englisch, A.; Hoffmann, G.; Amon, B. (2017): Wirkung von Hitzestress auf Verhaltens- und Vitalitätsparameter von Milchkühen. Effect of heat stress on behaviour and vitality parameters of dairy cows. In: 13. Tagung "Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017". 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017. KTBL, Darmstadt, (978-3-945088-46-3), 64-69.
- Heinicke, J.; Hoffmann, G.; Ammon, C.; Amon, B.; Amon, T. (2018): Effects of the daily heat load duration exceeding determined heat load thresholds on activity traits of lactating dairy cows. *Journal of thermal biology*, 77, 67-74.
- Heinicke, J.; Ibscher, S.; Belik, C.; Amon, T. (2019): Cow-individual activity response to the accumulation of heat load duration. *Journal of Thermal Biology*. 82 (5): 23-32.
- Hempel, S.; Janke, D.; König, M.; Menz, C.; Englisch, A.; Pinto, S.; Sibony, V.; Halachmi, I.; Rong, L.; Zong, C.; Zhang, G.; Sanchis, E.; Estellés, F.; Calvet, S.; Galán, E.; del Prado, A.; Ammon, C.; Amon, B.; Amon, T. (2016): Integrated modelling to assess optimisation potentials for cattle housing climate. *Advances in Animal Biosciences*, 7(3), 261-262.
- Hempel, S.; König, M.; Menz, C.; Janke, D.; Amon, B.; Banhazi, T. M.; Estellés, F.; Amon, T. (2018): Uncertainty in the measurement of indoor temperature and humidity in naturally ventilated dairy buildings as influenced by measurement technique and data variability, *Biosystems Engineering*, 166, 58–75.
- Hempel, S.; Menz, C.; Pinto, S.; Galán, E.; Janke, D.; Estellés, F.; Müschner-Siemens, T.; Wang, X.; Heinicke, J.; Zhang, G.; Amon, B.; del Prado, A.; Amon, T. (2019): Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts, *Earth System Dynamics*, 10, 859–884, <https://doi.org/10.5194/esd-10-859-2019>.
- IPCC AR 4: Christensen, J.; Hewitson, B.; Busuioc, A.; Chen, A.; Gao, X.; Held, I.; Jones, R.; Kolli, R.; Kwon, W.-T.; Laprise, R.; Magaña Rueda, V.; Mearns, L.; Menéndez, C.; Räisänen, J.; Rinke, A.; Sarr, A.; Whetton, P. (2007): Regional Climate Projections, in: *IPCC Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, edited by Solomon, S.; Qin, D.; Manning, M.; Chen, Z.; Marquis, M.; Averyt, K.; Tignor, M.; Miller, H.; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC AR5: van Oldenborgh, G.; Collins, M.; Arblaster, J.; Christensen, J.H.; Marotzke, J.; Power, S.; Rummukainen, M.; Zhou, T. (2013): Annex I: Atlas of Global and Regional Climate Projections, in: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, edited by Stocker, T.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S.; Boschung, J.; Nauels, A.; Xia, Y.; Bex, V.; Midgley, P.; Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kjellström, E.; Nikulin, G.; Strandberg, G.; Christensen, O. B.; Jacob, D.; Keuler, K.; Lenderink, G.; van Meijgaard, E.; Schär, C.; Somot, S.; Sørland, S. L.; Teichmann, C.; Vautard, R. (2018): European climate change at global mean temperature increases of 1.5 and 2° C

- above pre-industrial conditions as simulated by the EURO-CORDEX regional climate models, *Earth System Dynamics*, 9, 459.
- Mader, T. L.; Davis, M.; Brown-Brandl, T. (2006): Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle, *Journal of Animal Science*, 84, 5712–719.
- Nardone, A.; Ronchi, B.; Lacetera, N.; Ranieri, M. S.; Bernabucci, U. (2010): Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems, *Livestock Science*, 130, 57–69.
- NRC - National Research Council (1971): A guide to environmental research on animals, National Academy of Science, Washington, DC.
- Pinto, S.; Hoffmann, G.; Ammon, C.; Amon, B.; Heuwieser, W.; Halachmi, I.; Banhazi, T.; Amon, T. (2019): Influence of barn climate, body postures and milk yield on the respiration rate of dairy cows. *Annals of Animal Science*, 19(2), 469-481.
- Siemens, T.; Hoffmann, G.; Hempel, S.; Ammon, C.; Heinicke, J.; Pinto, S.; Amon, T.; Amon, B. (2017): Wirkung von Hitzestress auf das Wiederkauverhalten von Milchkühen. Effect of heat stress on rumination activity in lactating dairy cows. In: 13. Tagung "Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017". 13. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung 2017. KTBL, Darmstadt, (978-3-945088-46-3), 182-186.
- Strutzke, S.; Fiske, D.; Hoffmann, G.; Ammon, C.; Heuwieser, W.; Amon, T. (2019): Technical note: Development of a noninvasive respiration rate sensor for cattle *Journal of Dairy Science*. 102 (1), 690-695, Online: <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14999>.
- Wang, X.; Gao, H.; Gebremedhin, K. G.; Bjerg, B. S.; Van Os, J.; Tucker, C. B.; Zhang, G. (2018): A predictive model of equivalent temperature index for dairy cattle (ETIC), *Journal of Thermal Biology*. 76, 165-170
- WMO (2018): WMO Statement on the state of the global climate in 2017, in: WMO-No.1212, edited by Publications Board World Meteorological Organization (WMO), World Meteorological Organization, CH-1211 Geneva 2, Switzerland.

6 Technische Maßnahmen zur Reduzierung von Hitzestress in Rinderställen

Johannes Zahner, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

Einleitung

Durch die in den letzten Jahren und auch in Zukunft stetig steigende Milchleistung von Milchkühen geraten diese immer stärker und immer schneller in eine Hitzestress-Situation, da sich die thermoneutrale Zone der Tiere durch die infolge der höheren Stoffwechselleistung steigende Wärmeproduktion nach unten verschiebt (TOBER und HANSEN, 2019). Durch die gleichzeitig steigenden Temperaturen während der Sommermonate nimmt die Anzahl an Hitzestressstunden zu. Die für die Tiere dadurch entstehende Belastung führt zu physiologischen und verhaltensbedingten Anpassungen, die wiederum eine Verringerung der Milchleistung und der Futtereffizienz nach sich ziehen. Bei beiden sind wirtschaftliche Einbußen die Folge. Aus Sicht des Tieres führt bereits leichter Hitzestress zu einer Beeinträchtigung des Wohlbefindens und mit zunehmender Stärke zu Leiden.

Neben baulichen Möglichkeiten zur Reduzierung von Hitzestress stehen auch technische Lösungsansätze zur Verfügung. Insbesondere beim Einsatz von Ventilatoren ist aber eine differenzierte Betrachtung des gewünschten Effekts unbedingt sinnvoll.

Mechanische Lüftung

Zur Reduktion der relativen Luftfeuchtigkeit und Schadgasbelastung im Stall kann neben den klassischen natürlichen Lüftungskonzepten (HAIDN und MAČUHOVÁ, 2008) zusätzlich auf Ventilatoren zurückgegriffen werden. Hier kann von einer klassischen Zwangslüftung gesprochen werden. In der DIN 18910 werden Luftwechselraten für den Milchviehbereich angegeben (Tab. 1). Diese Werte sind für geschlossene und wärmegeämmte Gebäudehüllen festgelegt und können nicht für Außenklimaställe angewendet werden. Da in der Regel aber im Stall höhere Luftfeuchtigkeiten als außen vorherrschen, ist es trotzdem sinnvoll, zusätzlich „frische“ Luft mit geringerer relativer Feuchte in den Stall einzubringen, um die Hitzebelastung zu reduzieren. Neben der Zuluftführung muss auch die Abluftführung gewährleistet sein. Bei vorhandenem Gegendruck durch z. B. Wind an der Abluftöffnung kann das Lüftungskonzept zum Erliegen kommen.

Nach DIN 18910 werden die zur Abfuhr der Wärme notwendigen Sommerluftraten je Tier bei einer Außentemperatur von 30 °C errechnet. Die zulässige Stalltemperatur darf dabei 34 °C nicht überschreiten. Bei diesen Temperaturen tritt aber bereits erheblicher Hitzestress auf. Um auch bei Umgebungstemperaturen von etwa 20 °C einen ausreichenden Luftwechsel ohne wesentlichen Anstieg der Stalltemperaturen zu erreichen, sind weitaus höhere Luftraten zu fordern.

Bei der Berechnung der Wärmeproduktion nach neuen Erkenntnissen wird neben der Milchleistung auch der Trächtigkeitsstatus berücksichtigt. Daraus ergeben sich die höheren Werte besonders während dem dritten Laktationsdrittel und der Trockenstehphase.

Tabelle 1: Luftwechselraten für Hochleistungskühe mit 700 kg LM in geschlossenen, wärmedämmten Stallanlagen nach DIN 18910 (2017)

	Milchleistung [kg]	Durchschnitt	1. Laktations- drittel	2. Laktations- drittel	3. Laktations- drittel	Trocken- steher
Mindestluftwechsel [m³/h]						
	8.000	102	106	98	103	104
	10.000	107	112	102	102	102
	12.000	114	124	124	112	112
Sommerluftwechsel [m³/h]						
30 °C $\Delta t = 4 \text{ K}$	8.000	328	339	313	328	333
	10.000	342	361	330	339	333
	12.000	368	401	361	360	333
20 °C $\Delta t = 4 \text{ K}$	8.000	584	602	560	585	593
	10.000	608	639	589	603	593
	12.000	651	706	640	637	593

Verbesserung der Wärmeabgabe durch Ventilatoren

Ventilatoren können auch eingesetzt werden, um die Tiere aktiv zu kühlen. Dabei wird grundsätzlich auf das Prinzip des sogenannten Wind-Chill-Effekts zurückgegriffen. Durch Luftbewegung auf den Tieren wird die konvektive Wärmeabgabe der Tiere unterstützt, wodurch sich die gefühlte Temperatur verringert. Dabei ist zu beachten, dass auf dem Tier eine Luftgeschwindigkeit von mindestens 2 m/s erreicht werden muss, um überhaupt einen Abkühlungseffekt zu erhalten. Bei weiterer Erhöhung der Luftgeschwindigkeit kann die Wärmeabgabe weiter verbessert werden.

Vertikalventilatoren werden in der Praxis gerne auf Grund ihrer geringen Leistungsaufnahme (W/m³ umgewälzte Luft) und ihres geringen Schalldruckpegels eingesetzt. Eine Untersuchung zur Luftströmung (TOBER et al., 2011) hat ergeben, dass eine kühlende Wirkung durch ihre Luftbewegung allerdings stark variiert und oftmals die Mindestluftgeschwindigkeit von 2 m/s auf dem Tier nicht erreicht wird. Die durchschnittliche Luftgeschwindigkeit wurde hier mit 0,92 m/s angegeben. Des Weiteren wurde festgestellt, dass in freigelüfteten Ställen oftmals der Winddruck erheblichen Einfluss auf die Wirksamkeit hat. Durch eine falsche Anordnung der Ventilatoren steigt zusätzlich das Risiko, dass das vorgelegte Futter und auch die Laufgänge schneller abtrocknen. Die Vorteile dieses Ventilatorentyps werden eher in kleineren, geschlossenen Räumen, wie z. B. im Vorwartebereich gesehen.

Horizontalventilatoren werden auf Grund ihres hohen Wirkungsgrades zur Ventilierung von Kühen im Milchviehstall eingesetzt. Durch sie können die nötigen Windgeschwindigkeiten auf dem Tier erzeugt werden, weshalb sie als Stand der Technik anerkannt werden. Bei der Auswahl des Ventilators sollte neben den Anschaffungskosten, dem tatsächlichen Stromverbrauch und der erreichbaren Luftgeschwindigkeit auch die Lautstärkeentwicklung berücksichtigt werden.

Um einen bestmöglichen Abkühlungseffekt zu erzielen, werden die Ventilatoren in Abhängigkeit des spezifischen Leistungsspektrums des jeweiligen Ventilators über den Liegeboxenreihen in einem Abstand von max. 15 m eingebaut. Sie werden dabei mit einem Winkel von 15 – 25 ° nach vorne geneigt, um die nötige Luftgeschwindigkeit in den Tierbereich zu leiten. Wenn der Ventilator mit der Unterkante seines Rahmens auf 2,70 m über den Liegeflächen angebracht wird, kann aus Sicht der Berufsgenossenschaft auf ein Schutzgitter verzichtet werden, was die notwendigen

Reinigungs- und Wartungsarbeiten deutlich vereinfacht (Abb. 1). Der erste Ventilator sollte direkt in die Giebelwand oder 1,50 m von der Giebelwand entfernt eingebaut werden, um den Gegendruck („Ansaugwiderstand“) möglichst gering zu halten. Wenn die Möglichkeit besteht, die erste Ventilatorenreihe bereits in die Giebelwand einzubauen, kann zusätzlich von außen Frischluft in den Stall eingebracht werden. Hier muss der Ventilator dann gegen Niederschlag geschützt werden (Abb. 2).

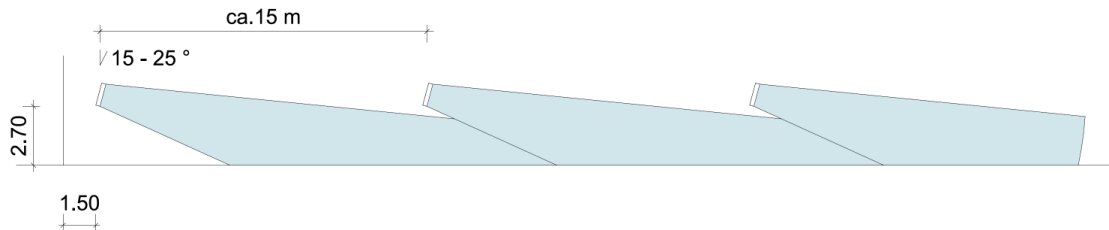


Abbildung 1: Einbauempfehlung für Ventilatoren in Längsrichtung

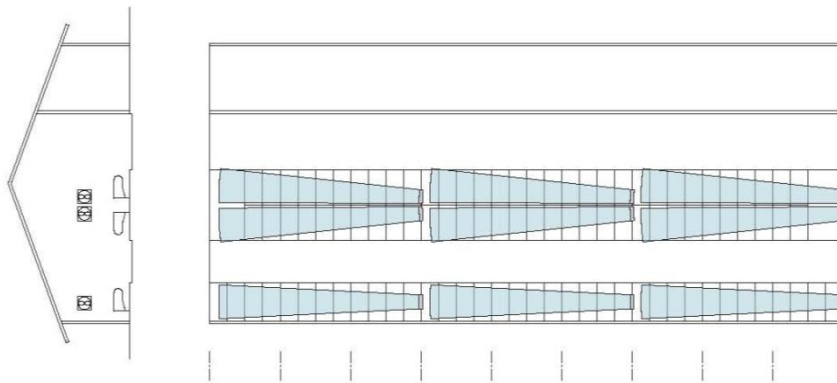


Abbildung 2: Anordnung von Ventilatoren in Längsausrichtung

Eine dritte Möglichkeit, die Ventilatoren im Stall zu platzieren, ist die Queranordnung (Abb. 3). Durch diese Anordnung kann eine Kühlung mit einer Unterstützung der Querlüftung kombiniert werden. Hier sind im Vergleich zur Längsausrichtung mehr Ventilatoren nötig, um eine möglichst gleichmäßige Durchströmung des Gebäudes zu erreichen. Ein weiterer Nachteil ist, dass die Laufflächen ebenfalls stark bewirkt werden und somit eine höhere Ammoniakemission und eine schnelle Abtrocknung der Flächen erfolgt, was wiederum Nachteile beim Reinigen der Flächen hervorruft.

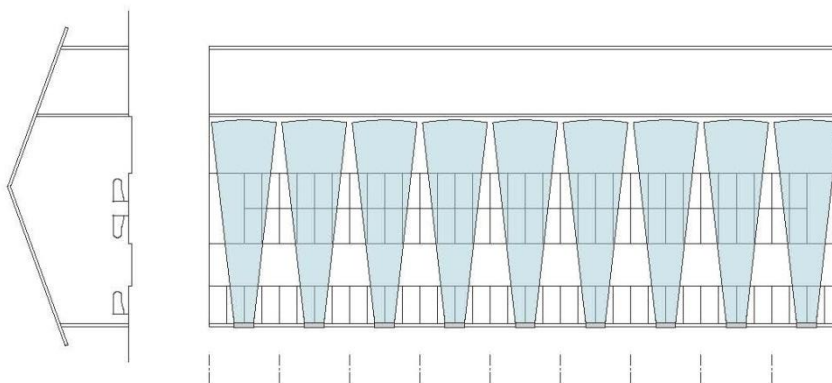


Abbildung 3: Anordnung von Ventilatoren in Querausrichtung

Nicht nur neu gebaute Ställe können mit Ventilationsanlagen zur Kühlung ausgestattet werden. Auch ältere Ställe können durch den gezielten Einsatz von Ventilatoren deutlich aufgewertet und dadurch den Ansprüchen der Tiere gerechter werden.

Wie bei regulierbaren Wandöffnungen sollte auch bei Ventilationsanlagen eine automatische Steuerung vorgesehen werden, die die Ventilatoren nach den Temperatursprüchen der Tiere steuert und den Landwirt von der täglichen Entscheidung entbindet. Auf dem Markt sind bereits mehrere Steuerungen verfügbar, die hierzu herangezogen werden können.

Nachdem Ventilationsanlagen betriebsindividuell angepasst werden sollten, um die optimale Wirkung zu erzielen, empfiehlt es sich, professionelle Unterstützung bei der Auswahl und Platzierung der Ventilatoren in Anspruch zu nehmen.

Kühlung durch Verdunstung von Wasser

Zur Kühlung durch Verdunstung stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung, die auf dem gleichen physikalischen Prinzip beruhen. Durch gezieltes Verdunsten von Wasser wird Wärme entzogen. Dies kann direkt auf dem Rücken der Kuh unter der Verwendung von Kuhduschen stattfinden oder durch Hochdruckvernebelungsanlagen, die die Luft im Stall herunterkühlen. Der begrenzende Faktor ist bei beiden Systemen die vorherrschende Luftfeuchtigkeit im Stall, die beim Einsatz von Verdunstungskühlungen weiter erhöht wird, was wiederum die Wärmeabgabe der Kühe einschränkt.

Über ein Thermostat gesteuert sollte die Verdunstungsanlage nur bei Temperaturen von über 24 °C eingeschaltet werden. Ab einer relativen Luftfeuchtigkeit größer 70 % ist der Wirkungsgrad nur noch sehr gering, so dass die Anlagen abgeschaltet werden sollten. Eine Steuerung nach Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist deshalb sehr sinnvoll. Grundsätzlich ist auf eine ausreichende Lüftung zu achten, um die Luftfeuchtigkeit möglichst gering zu halten, denn ein Anheben der Luftfeuchtigkeit kann durchaus ein Problem mit der Stallhygiene nach sich ziehen.

Hochdrucksystem

Das Wasser wird sehr feintropfig versprüht bzw. vernebelt. Die Wassertröpfchen verdunsten bereits vollständig in der Luft. Beim Wechsel des Aggregatzustandes (Verdunstung) wird Energie aufgenommen. Die dafür benötigte Energie stammt aus der Umgebungsluft, was zu einer Abkühlung führt. Im Temperaturbereich >25 °C ist davon auszugehen, dass die Wasseraufnahme dazu führt, die relative Luftfeuchtigkeit je Grad der Abkühlung um ca. 5 % ansteigen zu lassen. Eine nennenswerte Abkühlung von z. B. 5 Kelvin erhöht die Luftfeuchtigkeit von z. B. 50 % auf mehr als 75 %. Dies bedeutet ein Absenken des THI (Temperature-Humidity-Index) um 5 Punkte. Weiterhin sind die Ansprüche an die Technik, die feintropfige Vernebelung sicherzustellen, sehr hoch. Durch die sehr feinen Wasserdüsen (vorgefiltertes und gereinigtes Wasser, Verkalkung) und den hohen Wasserdruck (>18 bar) ist ein höherer Wartungs- und Energieaufwand erforderlich, der Wasserverbrauch ist hingegen geringer als bei Niederdrucksystemen.

Niederdrucksystem

Als zweite Variante wird Wasser großtropfig auf die Kühe verregnet, um das Fell bis zur Haut zu durchnässen, die Euter sollten dabei nicht nass werden. Bei diesem System wird Wärme direkt aus dem Tierkörper genutzt, um das Wasser zu verdunsten. Findet keine vollständige Durchnässung statt, bildet sich zwischen Haut und Wasser eine Dämmschicht, die die Wärmeabgabe zusätzlich erschwert. In Kombination mit einer Ventilationsanlage wird eine beachtliche Abkühlungswirkung erzielt. Die Beregnungstechnik muss so installiert werden, dass weder Liegeboxen noch das Futter benässt werden. Beim Einsatz einer Kuhdusche ist ein Anbringen in einem Auslauf die beste Alternative. Dies hat auch den positiven Nebeneffekt, dass

der Auslauf für die Tiere attraktiver gestaltet wird. Falls keine Freiflächen zur Verfügung stehen, sollten Kuhduschen im Stall so positioniert werden, dass die Tiere sich seitlich in den Beregnungsbereich bewegen können, da es die Tiere vermeiden, dass ihre Ohren nass werden. Bei einer schlechten Standortwahl kann es durchaus vorkommen, dass z. B. Durchgänge komplett blockiert werden und dadurch der Tierverkehr eingeschränkt wird. Neben der richtigen Wahl des Standorts haben die Wassertropfengröße und -geschwindigkeit einen wesentlichen Einfluss auf die Akzeptanz von Kuhduschen. Es haben sich 15-Minuten-Intervalle bewährt, wobei über eine Zeitschaltuhr gesteuert, etwa 3 Minuten lang Wasser versprüht wird und 12 Minuten Verdunstungszeit angeschlossen werden.

Literatur

- DIN 18910 (2017): Wärmeschutz geschlossener Ställe – Wärmedämmung und Lüftung – Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe: Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin
- Haidn, B.; Mačuhová, J. (2008): Wärmeregulation bei Milchkühen und Möglichkeiten der freien Lüftung zur Vermeidung von Hitzestress. In: LfL Information, Hitzestress im Milchviehstall
- Tober, O.; Hansen, C. (2019): Untersuchungen zur Abhängigkeit der Vormagentemperatur von der Stalltemperatur bei laktierenden Kühen in einem frei gelüfteten Stall, 14. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Bonn
- Tober, O.; Loebstin, C.; Sanftleben, P. (2011): Untersuchungen telemetrisch erfassbaren Verhaltens sowie ausgewählter physiologischer und Stallklimaparameter bei Hochleistungskühen unter den Bedingungen moderner Außenklima-Laufstallhaltung zur Schaffung von Managementhilfen und Optimierung der Tierumwelt. Forschungsbericht 2011, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern

7 Monitoring und Gestaltung von Stallklimabedingungen in Thüringen unter besonderer Beachtung des Tierwohls

*Erhard Gernand, Thüringer Landesamt für Landwirtschaft und Ländlichen Raum (TLLLR),
Sven König, Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Tierzucht und Haustiergenetik*

Einleitung

Weltweit wird die globale Erwärmung zunehmend zum Diskussionsgegenstand. Während in ariden Regionen dabei die Temperatursteigerungen im Mittelpunkt stehen, werden in gemäßigten Zonen mit hohem Stallhaltungsanteil das Mikroklima im Stall, dessen Wirkung auf das Rind neben der Temperatur auch von der Luftfeuchte und der Luftgeschwindigkeit bestimmt wird, in den Mittelpunkt der Betrachtungen gerückt.

Es soll der Frage nachgegangen werden, in welchem Maße in Thüringen Milchkühe und ihre Leistungen unter Stallklimaextremen leiden, wie häufig diese Leidenssituationen auftreten und welche Auswirkungen auf Gesundheit und Leistung zu beobachten sind.

Material und Methoden

Merkmale

Die Daten für die Merkmalskategorien **Produktion, weibliche Fruchtbarkeit und Gesundheit** umfassten 22.212 Deutsche Holsteins mit 38.107 Laktationen aus 15 Betrieben Thüringens. Die Datenerfassung erstreckte sich über einen Zeitraum von Mai 2013 bis November 2015.

Hier vorgestellt werden die Ergebnisse für Milch- (MM) und Eiweißmenge (EM) am Testtag, den Eiweißgehalt (E%) und den Milchharnstoff (MH). Es gingen die Daten aus den Laktationen 1 bis 5 und die Laktationstage von 6 bis 360 in die Untersuchungen ein. Ausgeschlossen wurden Milchleistungsprüfergebnisse mit einer täglichen Milchleistung von weniger als 2 kg oder mehr als 70 kg und E% von weniger als 2 % oder mehr als 5,5 %. Der Datensatz beinhaltet 191.911 Milchkontrollen.

Als **Fruchtbarkeitsmerkmale** wurden Besamungserfolg (BE) und die Besamungsintensität (BI) betrachtet. Die BI bezieht sich auf alle nicht tragenden Herdenzeitgenossen nach dem 40. Laktationstag. Daher repräsentiert sie die Östrusaktivität auf Herdenebene. Die BI wird in erheblichem Maß vom Fortpflanzungsmanagement in den Herden beeinflusst. Um hier Verzerrungen durch Maßnahmen der Brunstsynchronisation zu vermeiden, wurden die Daten in
a) Kühe ohne Östrussynchronisation bis zu diesem Zeitpunkt und
b) Kühe mit Östrussynchronisation geteilt.

Eine Insemination wurde als erfolgreich angesehen, wenn eine Trächtigkeitsuntersuchung mit positivem Ergebnis protokolliert war, und/oder eine zur Besamung passende Kalbung beobachtet wurde. Insgesamt wurden 1.099.426 Besamungstage (27.487 Inseminationen) ohne vorherige Östrussynchronisation in dieser Laktation und 32.533 (11.057 Inseminationen) nach mindestens einer Östrussynchronisation in dieser Laktation berücksichtigt.

Bei den hier vorgestellten **Gesundheitsmerkmalen** handelt es sich um klinische Mastitis (MAST) der Frischabkalber, Nachgeburtsverhaltungen (NGV) von Tag 0 bis 10 nach der Geburt und die Klauenerkrankungen Panaritium (PA), Dermatitis digitalis (DD) von Tag 0 bis 360 nach der Geburt. Die Daten basieren auf dem ICAR-Diagnoseschlüssel (ICAR, 2012). Für die Gesundheitsmerkmale aus der kurzen Früh-laktationsperiode (MAST, NGV) erhielt eine Kuh in der 10-tägigen Zeitspanne für mindestens einen Krankheitseintrag für die jeweilige Krankheit die Note 1 = krank; ansonsten wurde die Note 0 = gesund vergeben. Die durchschnittlichen Krankheitsinzidenzen innerhalb des 10-tägigen Intervalls lagen bei 6,69 % für MAST und 10,80 % für NGV. Für die während der Laktation aufgezeichneten Klauenerkrankungen PA und DD wurden

die Krankheitsfälle auf Tagesbasis berechnet, d. h. die Anzahl der neu erkrankten Kühe im Verhältnis zur Anzahl der gesunden Kühe pro Tag. In diesem Zusammenhang haben wir 4.159.595 Melktage für wiederholte Messanalysen berücksichtigt. Die durchschnittliche tägliche Inzidenz von Krankheiten, die alle 360 Tage nach der Geburt berücksichtigten, betrug 0,06 % für PA, 0,11 % für DD.

Produktions- und Fruchtbarkeitsmerkmale wurden in Abhängigkeit vom durchschnittlichen Temperatur-Humidity-Index (THI) des Testtages/Besamungstages analysiert. Für die Gesundheitsmerkmale in der frühen Laktation (MAST, NGV) haben wir den durchschnittlichen THI vom Tag 0 bis 5 nach der Geburt berücksichtigt. Die Klauenerkrankungen (PA, DD) bezogen sich auf den durchschnittlichen THI der Vorwoche.

Statistische Modelle

Gemischte lineare Modelle mit generalisierten Schätzgleichungen (GEE) (LIANG und ZEGGER, 1986) wurden verwendet, um THI-Effekte auf normalverteilte Produktionsmerkmale zu schätzen. Wir haben die gleichen grundlegenden fixen Effekte wie in genetischen Modellen für Produktionsmerkmale und meteorologische Daten von offiziellen Wetterstationen berücksichtigt (BRÜGEMANN et al., 2013). Für binäre Merkmale wurden generalisierte gemischte lineare Modelle (GLMM) (McCULLAGH und NELDER, 1989) mit einer Logit-Link-Funktion verwendet.

Für Produktionsmerkmale wurde das GEE-Modell (1) definiert:

$$y_{iklmo} = \mu + Lact_i + HerdSeas_k + DIM_l + THILegP_m + cow_o + DIMKp (THILegP_m) + e_{iklmo} \quad [1]$$

Für den binären BI war das GEE-Modell (2) mit einer Logit-Link-Funktion:

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijklno} / (1 - \pi_{ijklno})] = \mu + Lact_i + Insem_j + HerdSeas_k + DIM_l + THILinearR_n + cow_o + e_{ijklno} \quad [2]$$

Für den binären BE war das GEE-Modell (3) mit einer Logit-Link-Funktion:

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ijklmo} / (1 - \pi_{ijklmo})] = \mu + Lact_i + Insem_j + HerdSeas_k + DIM_l + THILegP_m + cow_o + e_{ijklmo} \quad [3]$$

Für binäre Gesundheitsmerkmale, die nur innerhalb des frühen Laktationsintervalls (MAST, NGV) aufgezeichnet wurden, wurde GLMM (4) mit einer Logit-Link-Funktion verwendet:

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{ikn} / (1 - \pi_{ikn})] = \mu + Lact_i + HerdSeas_k + THILinearR_n + e_{ikn} \quad [4]$$

Bei Gesundheitsmerkmalen, die über die gesamte Laktation zu betrachten waren (PA, DD), wurde das GEE-Modell (5) mit einer Logit-Link-Funktion verwendet:

$$\text{logit}(\pi) = \log [\pi_{iklno} / (1 - \pi_{iklno})] = \mu + Lact_i + HerdSeas_k + DIM_l + THILinearR_n + cow_o + e_{iklno} \quad [5]$$

Die Erklärungen der in den Modellen 1 bis 5 berücksichtigten Effekte sind wie folgt:

y_{iklmo} =	Beobachtungen für die Gaußschen Produktionsmerkmale
π_{ijklno} =	Wahrscheinlichkeit für die binäre weibliche Fruchtbarkeit und Gesundheitsmerkmale
μ =	Gesamtmittel
$Lact_i$ =	fester Effekt der i-ten Laktationszahl (i = 1, 2, 3, 4, 5)
$Insem_j$ =	fester Effekt der j-ten Besamungszahl (j = 1, 2, 3, > 3)
$HerdSeas_k$ =	fester Effekt des k-ten Herdensaison-Effekts (k=1, 2)

	(Saison 1: vom 1. Februar bis 31. Juli; Saison 2: vom 1. August bis 31. Januar; Alle Klimabereiche in beiden Halbjahren)
$DIM_l =$	feste Regression für den Laktationsverlauf (nach GUO und SWALVE, 1995)
$THILegP_m =$	Legendre-Polynome der Ordnung 4 zur Modellierung des kontinuierlichen THI-Effekts
$THILinearR_n =$	lineare Regression zur Modellierung des kontinuierlichen THI-Effekts
$cow_o =$	zufällige permanente Umweltwirkung der Kuh (aufgrund wiederholter Messungen innerhalb der Laktation)
$DIMK_p(THILegP_m) =$	THI genestet in DIM-Klassen, (um Wechselwirkungen zwischen THI und Laktationsstufe zu untersuchen; drei DIM-Klassen wurden berücksichtigt: 6 bis 100 DIM; 101 bis 240 DIM; > 240 DIM).
$e_{ijklmnp_o} =$	zufälliger Resteffekt

Der kontinuierliche THI-Effekt wurde in statistische Modelle als lineare Regression (THILinearR) oder als Regression auf Legendre-Polynome der Ordnung 4 (THILegP) einbezogen.

Potentielle THI-Schwellenwerte wurden visuell anhand der Kurvenverläufe eingegrenzt. Zur Validierung der Modellierung von Fruchtbarkeit und Gesundheitsmerkmalen wurden zusätzlich THI-Klasseneffekte modelliert. Die THI-Klassen wurden mit 5 % Perzentilen erstellt.

Ergebnisse

Leistung

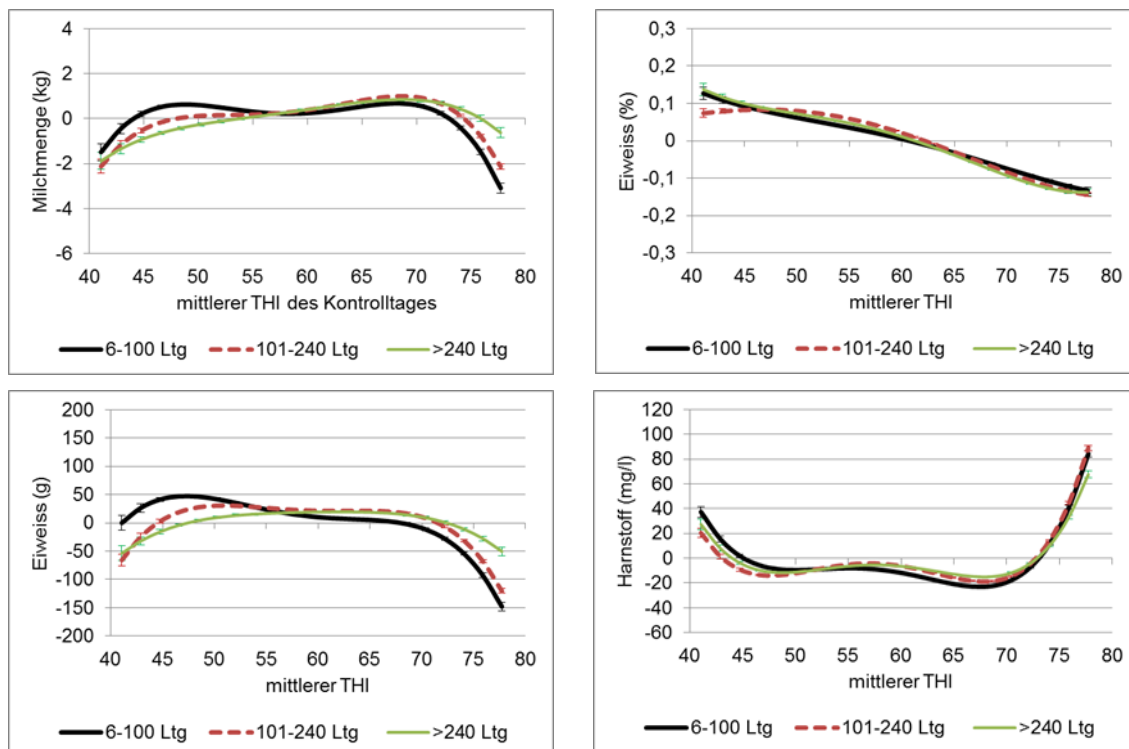


Abbildung 1: Abhängigkeit ausgewählter Parameter der Milchleistungsprüfung ($\pm$ Standardfehler) von den Klimadaten des Tages

Die Ergebnisse zur MM und EM (Abb. 1) bestätigen, dass ab einem THI-Grenzwert von etwa 70-72 ein deutlicher Leistungsabfall auftritt. Davon sind etwa 10 % der Melktage betroffen. Dabei

sind erwartungsgemäß die Kühe in der Früh- und Hochlaktation stärker beeinträchtigt als die späteren Laktationsabschnitte. Es kann vermutet werden, dass in diesem Bereich reduzierte Futteraufnahme und erste Stoffwechselentgleisungen einsetzen, wie u.a. von RHOADS et al. (2013) beschrieben, obwohl in nahezu allen beteiligten Betrieben versucht wird, dem mit erhöhter Luftbewegung entgegen zu wirken.

Auch für den Bereich sehr niedriger Temperaturen kann dann eine allgemeine Leistungsreduktion beobachtet werden, die für die Hochleistungsgruppe am niedrigsten ausfällt, weil hier die meiste ‚Abwärme‘ aus den Stoffwechselprozessen anfällt.

Die strikte und durchgängige Abhängigkeit des E% von den Temperaturen in allen Laktationsabschnitten, also unabhängig von der Energie- und Eiweißbilanz der Tiere, hat überrascht. Damit stellt die Temperatur den wichtigsten und vom Management nur begrenzt beeinflussbaren Faktor für den E% der Herdenmilch dar. Der negative Einfluss von Hitzestress (HS) auf den Proteinstoffwechsel ist bekannt (WHEELOCK et al., 2010; COWLEY et al., 2015). Dass auch innerhalb des mittleren oder kalten Bereichs die Abhängigkeit erhalten bleibt, kann aber nicht mit Stresssituationen begründet werden.

Der MH scheint im Bereich zwischen 0 und 20 °C bzw. einem THI von 40 - 70 kaum beeinflusst. Werden diese Bereiche überschritten, setzt unmittelbar eine deutliche Steigerung der Harnstoffwerte ein. Die Hintergründe dieses Phänomens sehen RHOADS et al. (2013) eher als eine Verschiebung des Stoffwechsels, KOCH et al. (2016) in einer reduzierten Nierendurchblutung.

Fruchtbarkeit

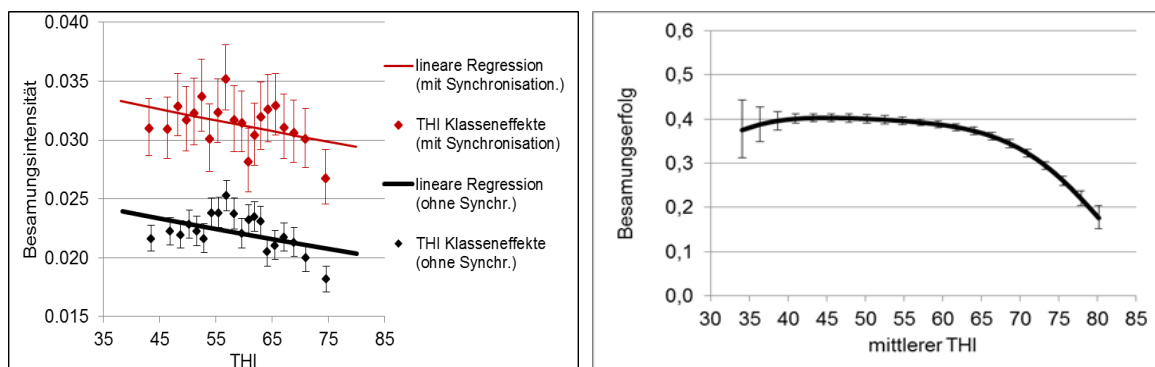


Abbildung 2: Abhängigkeit von Fruchtbarkeitsparametern ($\pm$ Standardfehler) von den THI des Tages

Dass bei hohen Temperaturen die Follikelreifung leidet, ist an vielen Stellen beschrieben (ROTH et al., 2000; BADINGA et al., 1993 und WILSON et al., 1998). Entsprechend überrascht es nicht, dass der Anteil Besamungen, der sich auf die besamungsfähigen Tiere bezieht, mit steigender Temperatur zurückgeht, weil weniger Tiere als brünstig erkannt werden (Abb. 2). Neben der reduzierten Fruchtbarkeit können aber auch andere Faktoren wirken. So ist bekannt, dass bei zunehmenden Temperaturen der Anteil stehender Tiere in der Herde steigt (IGONO et al., 1987; ANDERSON et al., 2013; SMITH et al., 2016), was das Erkennen brünstiger Tiere anhand ihres geänderten Verhaltens erschwert. Die Schätzwerte der Percentilgruppen zeigen dabei aber, dass der lineare Ansatz die Problematik deutlich unterschätzt. Während im Bereich bis etwa 15 °C bzw. einem THI von 60 sich eher eine Zunahme der Besamungshäufigkeit zeigt, setzt bei darüber hinaus gehenden Temperaturen ein dramatischer Abfall ein. Damit scheint der Effekt schon mit beginnender leichter Hitzebelastung in einem Bereich einzusetzen, in dem die Milchmengenleistungen noch aufrechterhalten werden. In der Stoffwechselregulation scheint die

Ernährung des bereits geborenen Kalbes, in das das Muttertier bereits einen hohen Aufwand investiert hat, Priorität zu genießen.

Tiere, bei denen mit Medikamenten in das Zyklusgeschehen eingegriffen wurde, reagieren ähnlich sensibel auf Hitzebelastung. Es ist davon auszugehen, dass diese Tiere im fraglichen Zeitraum intensiv beobachtet werden. Wenn dennoch keine Besamung erfolgt, sind ausbleibende Brunstsymptome für die bei Hitze reduzierte Besamungsintensität wahrscheinlich. Noch gravierender werden die Wirkungen des Hitzestresses (HS) auf den Besamungserfolg.

Dies ist in der Literatur vielfach bestätigt (CHEBEL et al., 2004; Al-KATANANI et al., 1999; AMUNDSON et al., 2006; ROTH et al., 2000; HUANG et al., 2008; PSZCZOLA et al., 2009; RAVAGNOLO und MISZTAL, 2002). Zum einen ist es möglich, dass in Zeiten insgesamt schwacher Brunstsymptome die Differenzierung zwischen brünstig und nichtbrünstig schlechter wird oder die Brunst häufiger zu spät erkannt wird, weil Brunstsymptome schwächer werden, sodass der exakte Besamungszeitpunkt schlechter zu bestimmen ist und in der Folge auch Tiere vermehrt zum nicht optimalen Zeitpunkt besamt werden. Andererseits ist aus der Literatur bekannt, dass unter HS die Qualität der Oozyten leidet (FERREIRA et al., 2011) oder HS behindert das Einnisten der Blastozysten (EALY et al., 1993).

Gesundheit

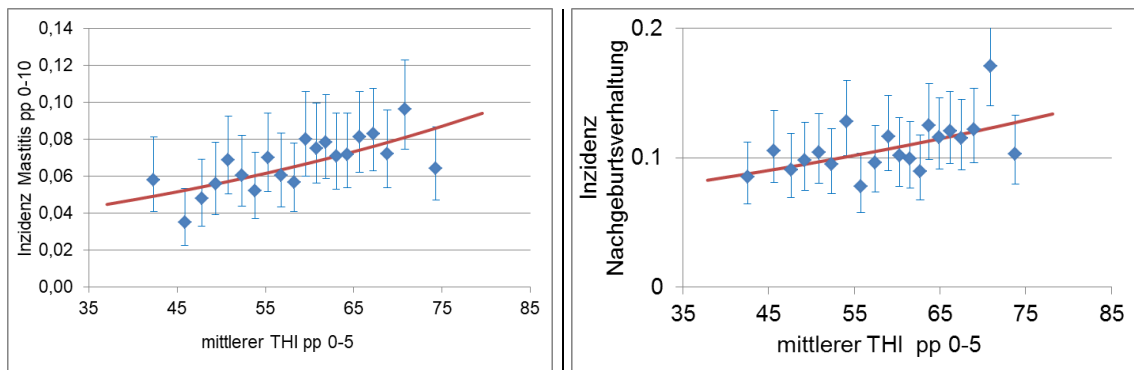


Abbildung 3: Abhängigkeit ausgewählter Krankheitsrisiken ($\pm$ Standardfehler) vom THI im Zeitraum nach der Kalbung

Im peripartalen Zeitraum ist die Kuh besonderen Risiken ausgesetzt. So wird Immunkompetenz herabgesetzt, um den Fetus zu schonen (DETILLEUX et al., 1995; FRANKLIN et al., 2005), Gleichzeitig nehmen inflammatorische Prozesse zu (BERTONI et al., 2008; BRADFORD et al., 2015) und die Tiere stehen vor den Herausforderungen einer schnellen Stoffwechselumstellung. Darüber hinaus berichteten DO AMARAL et al. (2011) über eine zusätzliche Beeinträchtigung des Immunsystems unter HS-Bedingungen. So stimmt das hier gefundene Ergebnis, wonach die Nachgeburtshaltung mit der Hitze zunimmt (Abb. 3), mit dem von GREGORY et al. (1996) überein, die von einer Zunahme der Nachgeburtshaltungen im Sommer berichten. Noch gravierender scheint aber die Zunahme der Frischabkalbermastitis zu sein. Für den Ausbruch einer Krankheit bei möglicherweise bereits a.p. infiziertem Euter scheint zusätzliche Hitzebelastung eine wesentliche Rolle zu spielen.

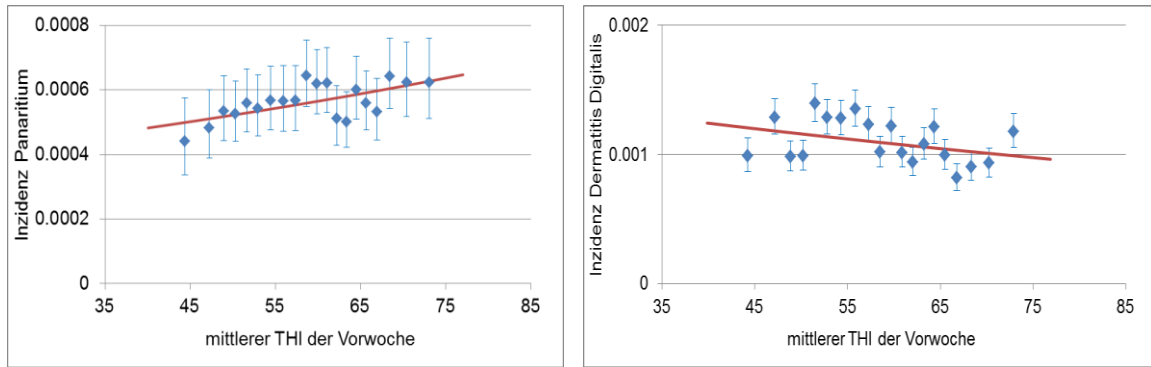


Abbildung 4: Abhängigkeit der Risiken ($\pm$ Standardfehler) ausgewählter Klauenkrankheiten vom THI

Für PA sind plötzlich auftretende Lahmheiten und Schwellungen typisch. Der infektionsbedingte, oft akute Verlauf lässt am ehesten eine Verbindung mit den aktuellen Umgebungsbedingungen erwarten. Tatsächlich scheint die Temperatur der Vorwoche eine Bedeutung für das Auftreten oder den Verlauf der Krankheit zu haben. Mit steigendem THI lässt sich ein deutlich zunehmendes Risiko erkennen (Abb. 4).

In Dänemark gaben ALBAN et al. (1995) an, dass die meisten PA-Fälle in den warmen Monaten zwischen Juni und September behandelt wurden. Im Gegensatz dazu berichteten BLOWEY et al. (2004) in Großbritannien über mehr Fälle von PA im Winter, fanden aber auch einen zusätzlichen Krankheitsgipfel im August. Eine mögliche Erklärung für höhere PA-Inzidenzen unter HS-Bedingungen ist das intensive Wachstum von *Fusobacterium necrophorum* und weiteren potenziell pathogenen Bakterien (ALBAN et al., 1995).

Die Häufigkeit von DD nahm mit zunehmendem THI der Vorwoche ab. In britischen Milchviehbeständen beobachteten MURRAY et al. (1996) und LAVEN und LAWRENCE (2006) ebenfalls mehr DD-Fälle im Winter als im Sommer und vermuten einen positiven Effekt der Weide im Sommer. Die Kühe in der hier vorliegenden Studie hatten jedoch weder im Sommer noch im Winter Zugang zur Weide. In Übereinstimmung mit unserer Studie fanden auch LAVEN und LAWRENCE (2006) einen deutlichen Unterschied in den saisonalen Auswirkungen auf DD und PA. Dementsprechend ging auch in ihrer Studie die Inzidenz für DD unter HS-Bedingungen zurück, stieg aber für PA an. In der Folge vermuteten LAVEN und LAWRENCE (2006) verschiedene Risikofaktoren für diese beiden Arten von Klauenerkrankungen. DD scheint eine spezifische Klauenerkrankung zu sein, die ein spezifisches Reaktionsmuster aufweist.

Zusammenfassung

Vor allem in der Frühlaktation waren schädliche Auswirkungen auf Leistung, Tagesproduktion und die weiblichen Fruchtbarkeitsmerkmale festzustellen. Die Auswirkungen der Erhöhung von THI auf das Krankheitsgeschehen waren meist ungünstig, je nach Krankheitspathogenese. Die identifizierten HS-Schwellenwerte für die Leistungsmerkmale lagen im engen Bereich zwischen THI 68 und THI 70. Im Vergleich zu Produktionsmerkmalen reagierten die weiblichen Fertilitätsmerkmale empfindlicher auf HS, mit identifizierten HS-Schwellen von THI 60 bzw. THI 65. Die Assoziationen zwischen THI und Krankheitsfällen waren fast linear. Somit wurden keine eindeutigen HS-Schwellenwerte identifiziert. Im Gegensatz zu den übrigen Gesundheitsmerkmalen nahmen die DD-Inzidenzen mit zunehmendem THI ab.

Literatur

- Alban, L., L. G. Lawson, and J. F. Agger. 1995. Foul in the foot (interdigital necrobacillosis) in Danish dairy cows — frequency and possible risk factors. *Prev. Vet. Med.* 24(2):73–82.
- Al-Katanani, Y.M., Webb, D.W. and Hansen, P.J. 1999. Factors affecting seasonal variation in 90-day non return rate to first service in lactating Holstein cows in a hot climate. *J. Dairy Sci.*, 82, 2611-2616.
- Amundson, J.L., Mader, T.L., Rasby, R.J. and Hu, Q.S. 2006. Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *J. Anim. Sci.*, 84, 3415-3420.
- Anderson, S.D., Bradford, B.J., Harner, J.P., Tucker, C.B., Choi, C.Y., Allen, J.D., Hall, L.W., Rungruang, S., Collier, R.J., Smith J.F. 2013. Effects of adjustable and stationary fans with misters on core body temperature and lying behavior of lactating dairy cows in a semiarid climate. *J. Dairy Sci.* 96, 4738-4750.
- Badinga, L., Thatcher, W.W., Diaz, T., Drost, M. Wolfenson. D. 1993. Effect of environmental heat stress on follicular development and steroidogenesis in lactating Holstein cows. *Theriogenology* 39:797–810.
- Bertoni, G.; E. Trevisi, X. Han, M. Bionaz. 2008. Effects of inflammatory conditions on liver activity in puerperium period and consequences *J. Dairy Sci.* 91 3300-10. doi: 10.3168/jds.2008-0995.
- Blowey, R. W., L. E. Green, V. J. Collis, and A. J. Packington. 2004. The effects of season and stages of lactation on lameness in 900 dairy cows. 13th Intl. Symp. on Diseases of the Ruminant Digit, 11.–15. Febr. 2004, Maribor, Slovenia, 43-45.
- Bradford, B.J., Yuan, K., Farney, J.K., Mamedova, L.K., Carpenter, A.J. 2015. Invited review: Inflammation during the transition to lactation: New adventures with an old flame. *J. Dairy Sci.* 98:6631-6650.
- Brügemann, K., E. Gernand, U. U. von Borstel, and S. König. 2013. Application of random regression models to infer the genetic background and phenotypic trajectory of binary conception rate by alterations of temperature × humidity indices. *Livestock Sci.* 157(2-3):389–396.
- Chebel, R.C., Santos, J.E.P., Reynolds, J.P., Cerri, R.L.A., Juchem, S.O., Overton, M. 2004. Factor affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. *Anim. Rep. Sci.*, 84, 239-255.
- Cowley, F. C., D. G. Barber, A. V. Houlihan, and D. P. Poppi. 2015. Immediate and residual effects of heat stress and restricted intake on milk protein and casein composition and energy metabolism. *J. Dairy Sci.* 98(4):2356–2368.
- Detilleux, J. C., Kehrl, M.E.J., Stabel, J.R., Freeman, A.E., Kelley, D.H. 1995. Study of immunological dysfunction in periparturient Holstein cattle selected for high and average milk production. *Veterinary Immunology and Immunopathology* 44, 251-267
- Do Amaral, B. C., E. E. Connor, S. Tao, M. J. Hayen, J. W. Bubolz, and G. E. Dahl. 2011. Heat stress abatement during the dry period influences metabolic gene expression and improves immune status in the transition period of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94(1):86–96.
- Ealy, A.D., Drost, M., Hansen, P.J. 1993. Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J. Dairy Sci.*, 76: 2899-2905.
- Ferreira, R.M., Ayres, H., Chiaratti, M.R., Ferraz, M.L., Araújo, A.B., Rodrigues, C.A., Watanabe, Y.F. 2011. The low fertility of repeat-breeder cows during summer heat stress is related to a low oocyte competence to develop into blastocysts. *J. Dairy Sci.* 94, 2383–2392.

- Franklin, S. T., Newman, M.C., Newman, K.E., Meek, K.I. 2005. Immune Parameters of Dry Cows Fed Mannan Oligosaccharide and Subsequent Transfer of Immunity to Calves. *J. Dairy Sci.* 88, 766-775
- Gregory, K.E., S.E. Echternkamp, L.V. Cundiff 1996. Effects of twinning on dystocia, calf survival, calf growth, carcass traits, and cow productivity. *J. Anim. Sci.* 74:1223-33.
- Huang, C., Tsuruta, S., Bertrand, J.K., Misztal, I., Lawlor, T.J., Clay, J.S. 2008. Environmental effects on conception rates of Holsteins in New York and Georgia. *J. Dairy Sci.* 91:818–825.
- Igono, M.O., Johnson, H.D., Steevens, B.J., Krause, G.F., Shanklin, M.D. 1987. Physiological, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan system versus shade for Holstein cows during summer heat. *J. Dairy Sci.* 88, 2454-2461.
- Koch, F., Lamp, O., Eslamizad, M., Weitzel, J., Kuhla, B. 2016. Metabolic Response to Heat Stress in Late-Pregnant and Early Lactation Dairy Cows: Implications to Liver-Muscle Crosstalk. *PLoS ONE* 11 (8): e0160912. doi:10.1371/journal.pone.0160912
- Laven, R. A., and K. R. Lawrence. 2006. An Evaluation of the Seasonality of Veterinary Treatments for Lameness in UK Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 89(10):3858–3865.
- Liang, K., Zeger, S.L. 1986. Longitudinal data analysis using generalized linear models. *Biometrika*, 73, 13–22
- McCullagh, P., and J. A. Nelder. 1989. *Generalized Linear Models* (2nd ed.). London: Chapman and Hall.
- Murray, R. D., D. Y. Downham, M. J. Clarkson, W. B. Faull, J. W. Hughes, F. J. Manson, J. B. Merritt, W. B. Russell, J. E. Sutherst, and W. R. Ward. 1996. Epidemiology of lameness in dairy cattle: Description and analysis of foot lesions. *Vet. Rec.* 138:586–591.
- Pszczola, M. Aguilar, I., Misztal, I. 2009. Short communication: Trends for monthly changes in days open in Holsteins. *J. Dairy Sci.* 92, 4689–4696
- Ravagnolo, O., Misztal, I. 2002. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holsteins: Fixed-model analyses. *J. Dairy Sci.* 85, 3101-3106
- Rhoads, R.P., Baumgard, L.H., Suagee, J.K. 2013: 2011 and 2012 Early Careers Achievement Awards: Metabolic priorities during heat stress with an emphasis on skeletal muscle. *J. Anim. Sci.* 91, 2492–2503
- Roth, Z., R. Meidan, R. Braw-Tal, and D. Wolfenson. 2000. Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *J. Reprod. Fertil.* 120(1):83–90.
- Smith, J.F., Bradford, B.J., Harner, J.P., Potts, J.C., Allen, J.D., Overtonk, M.W., Ortiz, X.A., Collier, R.J. 2016. Short communication: Effect of cross ventilation with or without evaporative pads on core body temperature and resting time of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 99, 1495-500.
- Wheelock, J. B.; Rhoads, R. P.; VanBaale, M. J.; Sanders, S. R.; Baumgard, L. H., 2010. Effects of heat stress on energetic metabolism in lactating Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 93, 644–655.
- Wilson, S. J., C. J. Kirby, A. T. Koenigsfeld, D. H. Keisler, and M. C. Lucy. 1998. Effects of Controlled Heat Stress on Ovarian Function of Dairy Cattle. 2. Heifers. *J. Dairy Sci.* 81(8):2132–2138.

8 Untersuchungen zum Temperaturgeschehen in Kälberiglus im Freien und unter Dach

Christiane Hansen, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion

Problemstellung

Damit Kälber gesund und vital aufwachsen können, benötigen sie frische Luft, ausreichend Licht und Umweltreize. All diese Faktoren können durch eine Haltung der Tiere in Iglus erreicht werden. Die Einzelhaltung in Iglus in den ersten 14 Lebenstagen kommt dem natürlichen Verhalten der Kälber entgegen. Von Kälbern in Mutterkuhherden ist bekannt, dass sie sich nach der Geburt getrennt von der Herde in hohem Bewuchs aufhalten (EILERS, 2008). Die gute Luftqualität und der dadurch geringe Keimdruck bei diesem Haltungssystem sind neben einer angepassten Kolostralmilchversorgung wichtige Voraussetzungen für eine gute Immunabwehr der Kälber. Aus tierphysiologischer Sicht werden für die ersten zehn Lebenstage Temperaturen von 10 bis 20 °C in der Literatur als optimaler Bereich beschrieben (RUCKEBUSCH, 1990). Verfügen sie über einen gut eingestreuten, trockenen und windgeschützten Liegebereich, kommen die relativ kältetoleranten Tiere selbst im Winter mit frostigen Temperaturen zurecht. Im Sommer hingegen können hohe Temperaturen verbunden mit einer intensiven Sonneneinstrahlung für die Kälber durchaus problematisch werden. KUNZ und MONTANDON (1985) konnten durch Körpertemperaturmessungen nachweisen, dass tiefe Wintertemperaturen weniger Stress bei Kälbern erzeugen als hohe Sommertemperaturen. Bei Temperaturen über 25 °C wird die Wärmeabgabe der Tiere vermindert, sie beginnen zu schwitzen und zu hecheln (KÖHLER, 2011). Gestresste Tiere fressen weniger und sind anfälliger für Krankheiten. Letztendlich kann die Entwicklung des Kalbes durch Hitzestress negativ beeinflusst werden (BROUCEK et al., 2008).

Material und Methode

In Untersuchungen der Landesforschungsanstalt MV zu verschiedenen Aufstellungsformen der Iglus wurde der Schwerpunkt auf das Temperaturverhalten dieses Haltungssystems gelegt. Gegenüber gestellt wurden dabei Iglus, die zum einen im Freien am Melkhaus teilweise beschattet durch Bäume bzw. zwischen anderen Gebäuden aufgestellt waren (Abb.1) und zum anderen Iglus, die sich in einem Leichtbaustall mit Wänden aus Trapezlochblech und einem ungedämmten Dach aus Faserzementplatten befanden (Abb. 2).

Bei den im Freien stehenden Iglus handelte es sich um Iglus aus UV-stabilisiertem HD-Polyethylen, während die im Stall befindlichen Iglus aus glasfaserverstärktem Kunststoff hergestellt waren. Der Einfluss der unterschiedlichen Materialien wurde bei der folgenden Auswertung nicht berücksichtigt. Die Iglus befanden sich an zwei unterschiedlichen Standorten in Mecklenburg-Vorpommern. Die Temperaturen in den Iglus und im Außenbereich wurden mittels Datenlogger erfasst. Das Messintervall betrug eine Stunde. Des Weiteren wurden die Werte der Globalstrahlung von den jeweils in der Nähe befindlichen Wetterstationen für die Auswertung genutzt, die ebenfalls im 1-Stundenintervall vorlagen. Bei der Variante Iglus im Freien konnten Daten einer eigenen Wetterstation vom Typ Dalos (F&C, Gülzow) verwendet werden. Für die Variante Iglus unter Dach musste hingegen auf Daten des Wetterdienstes Kachelmannwetter (<https://kachelmannwetter.com/de/messwerte/deutschland/globalstrahlung>) zurückgegriffen werden. Der Einfluss des Verhaltens der Kälber hinsichtlich Nutzung des Igluinnenraumes wurde bei beiden Varianten nicht mitbetrachtet. Bei der Variante Iglus im Leichtbaustall wurden allerdings nur die Zeiträume ausgewertet, in denen sich die Iglus mit Kälbern im Stall befanden. Waren die Iglus zwecks Reinigung und Desinfektion bzw. Lagerung außerhalb des Stalles, so wurden diese Zeiträume von der Auswertung ausgeschlossen.



Abbildung 1: Iglus im Freien an bzw. zwischen Gebäuden



Abbildung 2: Leichtbaustall mit innenliegenden Iglus

Die Untersuchungen erstreckten sich über einen Zeitraum von Juli 2016 bis Dezember 2019, so dass alle Jahreszeiten mehrfach und für beide Varianten in gleicher Weise miteinbezogen werden konnten.

Um den Einfluss der Außenbedingungen auf das Temperaturgeschehen im Iglu anschaulich darzustellen, wurden die Differenzen zwischen Iglu- und Außentemperatur gebildet. Dazu wurden deren Mittelwerte den Außentemperaturbedingungen und der Globalstrahlung gegenübergestellt. Zur Vereinfachung wurden die Außentemperaturen in insgesamt zehn Klassen beginnend bei $< -10\text{ °C}$ in 5 °C -Schritten bis zur Klasse $> 30\text{ °C}$ eingeteilt. In gleicher Weise wurde mit der Globalstrahlung verfahren. Die zehn gebildeten Globalstrahlungsklassen hatten ein Intervall von 100 und begannen bei der Klasse 1 - 99 W/m^2 und endeten bei der Klasse $900 - 1.000\text{ W/m}^2$.

Einfluss der Außentemperatur

Der Vorteil der Igluhaltung ist eine permanente Zufuhr von frischer Außenluft sowohl im Freien als auch wie in unserem Beispiel in einem Leichtbaustall. Demzufolge ist der Einfluss der Außentemperatur auf die Temperatur im Igluinnenraum groß.

Die Mittelwerte der Differenzen von Iglu- und Außentemperatur wurden unterschiedlichen Außentemperaturbereichen gegenübergestellt (Abb. 3). Positive Werte bedeuten eine höhere Temperatur im Iglu als außen und negative Werte dementsprechend eine niedrigere Temperatur im Iglu.

Für die Iglus, die im Freien standen, konnten durchgängig positive Differenzen nachgewiesen werden. Die Iglutemperaturen lagen im Durchschnitt zwischen $0,6$ und $2,9\text{ K}$ über den jeweiligen Außentemperaturen. Bei sehr niedrigen und sehr hohen Außentemperaturen waren die Unterschiede zwischen innen und außen am höchsten. Insbesondere an kalten Tagen im Winter

halten sich die Tiere bei schlechtem Wetter vermehrt im Inneren des Iglus auf. Ist reichlich und trockene Einstreu verfügbar, können sich die Kälber auf Grund der guten Wärmedämmeigenschaft des trockenen Stroh einen wärmenden Platz schaffen. Mit einem so entstehenden angenehmen Mikroklima im Iglu überstehen die meisten Kälber auch frostige Temperaturen unbeschadet.

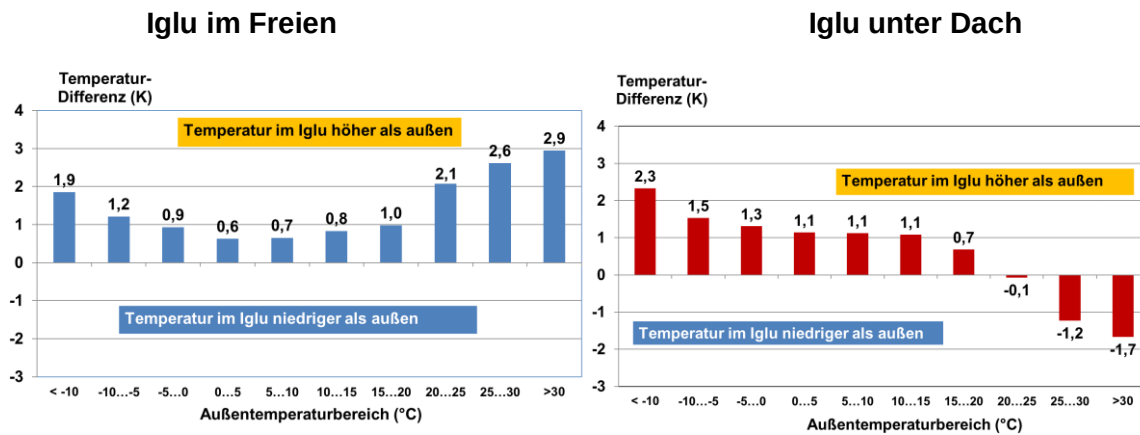


Abbildung 3: Mittelwert der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Iglutemperatur in Abhängigkeit von den einzelnen Außentemperaturbereichen

Einfluss der Sonneneinstrahlung

Wie hoch der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Iglutemperatur ist, zeigen die folgenden Auswertungen. Die eingangs bereits genutzten Temperaturdifferenzen werden dafür in gleicher Weise der Globalstrahlung gegenübergestellt. Die Globalstrahlung setzt sich aus der Summe der Strahlungseinflüsse aus der direkten Sonneneinstrahlung und der diffusen Himmelsstrahlung zusammen (ANONYM, 2012). Auf Grund des unterschiedlichen Einfallwinkels der Sonne im Sommer und im Winter sowie mittags und morgens bzw. abends kann die Globalstrahlung sehr differieren. Es gibt eine enge Korrelation zwischen Globalstrahlung und Sonnenscheinintensität, so dass an dieser Stelle die Globalstrahlung als Hilfsmittel für die Sonneneinstrahlung Verwendung findet. Im Sommer wird ab einer Globalstrahlung von 300-600 W/m² und im Winter bereits ab 150-300 W/m² von Sonnenschein bei leichter bis mittlerer Bewölkung gesprochen. In der Literatur wird auch ein Wert von 120 W/m² als Schwellenwert für Sonnenschein angegeben (SONNTAG und BEHRENS, 1992). In der Abbildung 4 werden die Unterschiede zwischen den beiden Haltungssystemen deutlich. Bei der Haltung von Kälbern, bei der die Iglus im Freien ungeschützt der Sonne ausgesetzt sind, steigt die Differenz zwischen Iglu- und Außentemperatur mit steigender Globalstrahlung sprich Sonneneinstrahlung an. Mit durchschnittlich 5,3 K werden bei einer Globalstrahlung zwischen 800 und 899 W/m², was einem Sommertag mit viel Sonnenschein entspricht, die höchsten Werte erreicht, wobei Spitzenwerte von 15 K, d. h. Iglutemperaturen von weit über 30 °C bis hin zu 40 °C keine Seltenheit sind. An warmen Sommertagen können sich die Iglus ab mittags nach langer intensiver Sonneneinstrahlung derart aufheizen.

Etwas anders sieht es hingegen in den Iglus des Leichtbaustalles aus. Mit steigender Globalstrahlung verändert sich die Temperaturdifferenz zwischen Iglu und außen insofern, dass es bei geringer Globalstrahlung (bis 300 W/m²) in den Iglus wärmer ist als außen. Bei höherer Globalstrahlung (ab 400 W/m²) ändern sich die Verhältnisse derart, dass es in den Iglus dann kühler ist als außen. Erst bei Globalstrahlungswerten ab 700 W/m² wird es in den Iglus wieder etwas wärmer als außen, was auf eine längere Sonnenscheindauer hindeutet, die dann auf Grund der damit verbundenen Lufterwärmung auch irgendwann im Leichtbaustall und somit in den Iglus wirksam wird. Insgesamt sind die Differenzen aber deutlich geringer als bei den Iglus im Freien.

Durch die Sonneneinstrahlung erwärmt sich zwar auch das Stallinnere langsam, aber eine direkte Sonneneinstrahlung auf die Iglus und somit deren Aufheizen findet nicht statt. Der Dämmeffekt des Stalles wird wirksam und in den Iglus ist es nur wenig wärmer und über lange Strecken fast gleich warm bzw. sogar kühler als außen. Die Temperaturen im Innern des Stalles und in den Iglus verändern sich nur verzögert und in geringerem Umfang. Allerdings werden auch bei dieser Haltungsform vereinzelt Maximaltemperaturen von deutlich über 30 °C erreicht. Die Kälber sind aber nicht direkt der Sonne ausgesetzt und können sich im luftigen Auslaufbereich der Iglus bewegen. Kälber im Freien hingegen suchen an heißen Tagen das wärmere Igluinnere auf, um Schutz vor der Sonne zu finden. Schattenspendende Baulichkeiten wären an dieser Stelle sehr hilfreich.

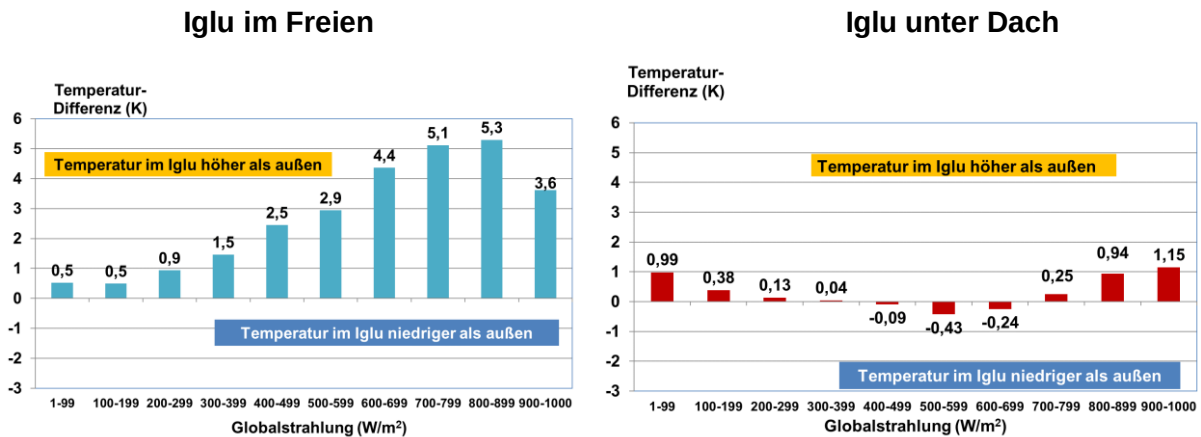


Abbildung 4: Mittelwerte der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Iglutemperatur in den einzelnen Globalstrahlungsklassen

Ein Vergleich der Temperaturdifferenzen für beide Varianten gegliedert nach einer Globalstrahlung $< 600 \text{ W/m}^2$ und $> 600 \text{ W/m}^2$ unterstreicht deutlich die Unterschiede zwischen beiden Aufstallungsformen (Abb. 5). Bei den im Freien stehenden Iglus ist es in den Iglus demzufolge ab Außentemperaturen von 5 °C bei einer Globalstrahlung $> 600 \text{ W/m}^2$ um durchschnittlich 5 K wärmer als außen. Im Gegensatz dazu bewegen sich die Temperaturunterschiede zwischen Igluinnenraum und außen bei der Variante im Stall auf einem eindeutig niedrigeren Niveau. Mit Werten zwischen -1,2 K und 0,7 K werden nur geringe Abweichungen von der Außentemperatur festgestellt. Auch dies ist ein Indiz dafür, dass die Sonneneinstrahlung nicht direkt zu einer Temperaturerhöhung im Iglu führt. Das schließt allerdings eine allmähliche Erwärmung mit der ansteigenden Außentemperatur im Tagesverlauf nicht aus.

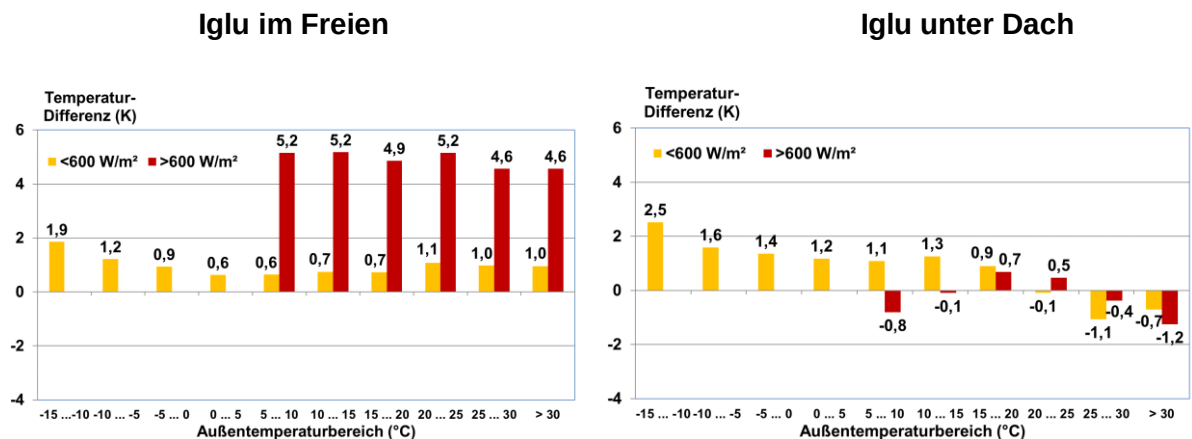


Abbildung 5: Mittelwert der Temperaturdifferenzen für unterschiedliche Globalstrahlungswerte in den einzelnen Temperaturbereichen

Wie sich die Intensität der Globalstrahlung (sprich Sonneneinstrahlung) und deren Dauer auf die Igluinnentemperaturen auswirken, zeigt Abbildung 6. Es werden die Temperaturdifferenzen zwischen Iglu- und Außentemperatur in Abhängigkeit ihrer Dauer und für die Globalstrahlungsbereiche $> 120 \text{ W/m}^2$ und $> 600 \text{ W/m}^2$ dargestellt. Bei den freistehenden Iglus kann beobachtet werden, dass in jeder Globalstrahlungsklasse mit steigender Dauer eine Aufwärtstendenz der Temperaturdifferenzen erfolgt. Besonders drastisch sind sowohl der Anstieg als auch die Höhe bei den Differenzen in der Globalstrahlungsklasse $> 600 \text{ W/m}^2$. Aber auch Einwirkungszeiten von elf und mehr Stunden in den unteren Globalstrahlungsklassen führen zu einer Erhöhung der Temperaturdifferenz von bis zu 2,9 K und somit zu höheren Temperaturen im Iglu als außen. Auf einem deutlich niedrigeren Niveau bewegen sich die Temperaturdifferenzen bei der Variante Iglus im Stall. Die Werte liegen durchgängig unter 1,5 K und verzeichnen kein Ansteigen der Differenzen mit zunehmender Einwirkungsdauer. Im Gegenteil, es kann teilweise eher eine leichte Abwärtstendenz bzw. ein Halten des Niveaus festgestellt werden. Das Material des Iglus kann sich durch die fehlende indirekte Sonneneinstrahlung nicht so aufheizen und demzufolge kann die Strahlungswärme des Iglus nicht so wirksam werden wie bei einem ungeschützten Iglu.

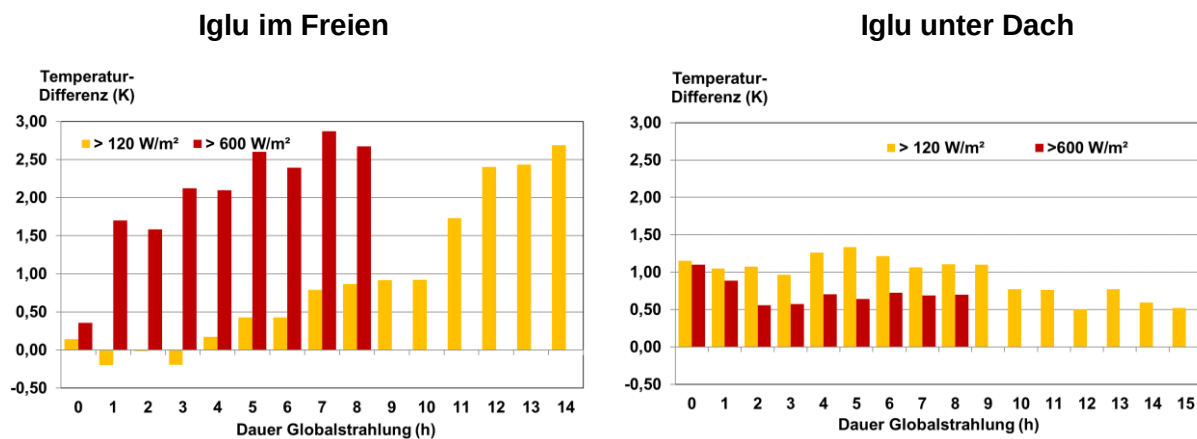


Abbildung 6: Einfluss der Dauer der Globalstrahlung auf die Temperaturdifferenz zwischen Iglu und außen für verschiedene Globalstrahlungsbereiche

Der relativ hohe Luftwechsel, der durch die Stallwände aus Trapezlochblech ermöglicht wird, führt zu einer Angleichung der Igluinnentemperatur an die Außentemperatur. Diese Annäherung auf der einen Seite und das Verhindern der direkten Sonneneinstrahlung auf der anderen Seite sind als Ursache dafür zu sehen, dass die Temperaturdifferenzen bei hoher Globalstrahlung ($> 600 \text{ W/m}^2$) trotzdem eher geringer sind als bei niedrigeren Werten. Das heißt aber nicht, dass sich die Temperatur in den Iglus nicht erhöht. Mit steigender Globalstrahlung steigen die Lufttemperatur der Außenluft und somit auch die Igluinnentemperatur. Eine zusätzliche Erhöhung der Iglutemperatur kann aber minimiert werden.

In der Abbildung 7 wird für jede Aufstallungsvariante an einem Beispiel eindrucksvoll der Einfluss der Globalstrahlung auf die Temperaturen in den Iglus gezeigt. Während die im Freien stehenden Iglus an den Tagen mit einer hohen Globalstrahlung $> 800 \text{ W/m}^2$ Temperaturspitzenwerte von fast 40°C erreichen, liegen die Iglutemperaturen bei der Variante Iglus unter Dach bei vergleichbaren Wetterbedingungen unter den Außentemperaturen und erreichen keine 30°C .

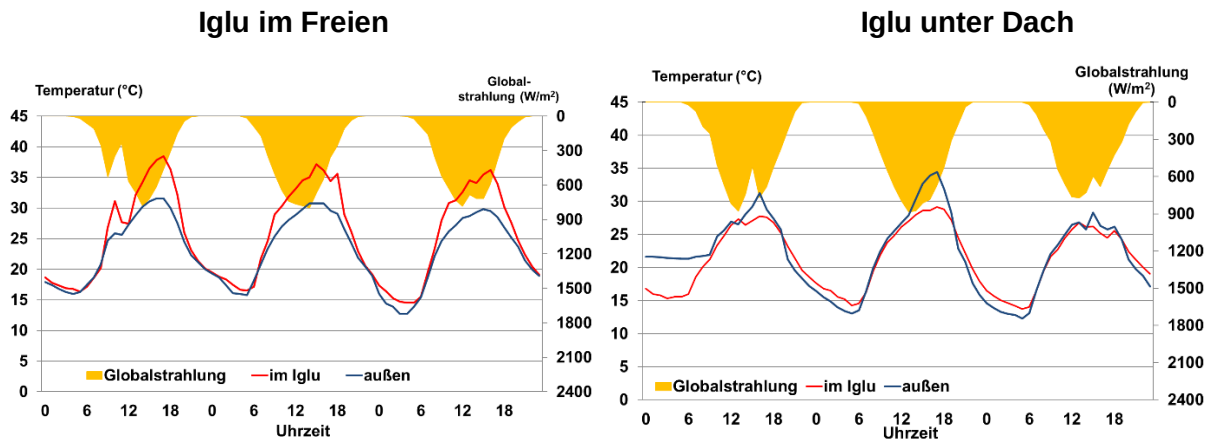


Abbildung 7: Temperaturverläufe und Globalstrahlung für Iglu im Freien und Iglu unter Dach

Empfehlungen zur Aufstellung von Iglus

Wie bereits erwähnt, sind Iglus eine gute Alternative, um Kälber nach der Geburt an frischer und keimarmer Luft aufzuziehen. Um gute Aufzuchtergebnisse zu erzielen und die Vorteile dieses Haltungssystems zu nutzen, sind allerdings einige Dinge zu beachten. Stress kann Tiere in ihrer Entwicklung beeinträchtigen oder sogar krankmachen. Die Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, dass die Außentemperaturen und insbesondere die Globalstrahlung einen immensen Einfluss auf das Temperaturgeschehen im Iglu haben. Durch die Aufstellung der Iglus in einem Leichtbaustall sind die Iglus nicht direkt der Sonne ausgesetzt und ein Aufheizen der Iglus kann deutlich reduziert werden. Ähnliche Effekte können auch durch eine einfache Überdachung erreicht werden. Ebenso können auch die Schatten von Bäumen oder benachbarten Gebäuden hilfreich sein (Abb. 8). Um zu den wärmsten Stunden des Tages die größte Schattenwirkung der Gebäude zu erhalten, empfiehlt es sich daher, im Sommer die Nord- oder Ostseite von Stallungen, Lagerräumen oder Melkhäusern zu nutzen. Die Aufstellung von Iglus unter Dach hat außerdem den Vorteil, dass in Schlechtwetterphasen das Einstreumaterial nicht durchnässt.



Abbildung 8: Wärmebild von Iglus in der Sonne und im Schatten

Bei der Platzierung der Iglus sollte im Sommer darauf geachtet werden, dass deren Öffnung nach Nord bis Nordost zeigt, da in dieser Ausrichtung die direkte Sonneneinstrahlung in das Iglu am geringsten ist. Im Winter hingegen sollten die Öffnungen nach Südost bzw. Ost gerichtet sein, um die wärmende Sonne zu nutzen. Ein Aufstellen der Iglus mit der Öffnung zur Wetterseite hat zur Folge, dass der Regen und der Wind vermehrt in das Iglu hineingeraten und zum Auskühlen und Durchnässen der Einstreu und auch der Tiere führen können (HÄUSLER, 2009)

Um in besonders warmen Wetterperioden die Luftzirkulation im Iglu zu steigern, wird von einigen Betreibern der hintere Teil der Iglus auf Ziegelsteine oder andere geeignete Materialien gestellt.

Neben einer Temperaturabsenkung im Iglu kann durch die bessere Durchlüftung auch eine Reduzierung des Keimgehaltes erreicht werden. Allerdings sollten die Tiere vor Zugluft geschützt werden. Der Standort der Iglus sollte insgesamt luftig, aber nicht zugig sein. Die Luft sollte zirkulieren können und Sackgassen, in denen sich schlechte Luft und Wärme stauen können, sollten vermieden werden. Trockene saubere Einstreu und ausreichend frisches Wasser sind insbesondere bei warmem Wetter ein Muss.

Fazit

Iglus eignen sich auf Grund einer permanenten Zufuhr von frischer Außenluft sehr gut für die Haltung von Kälbern in den ersten beiden Lebenswochen. Somit ist es möglich, das Infektionsrisiko zu reduzieren. Stress jeder Art macht die Tiere aber anfällig für Krankheiten. Um dies zu verhindern, ist es u. a. notwendig, optimale Umgebungsbedingungen für die Kälber zu schaffen. Durch das Aufstellen der Iglus an einem zugfreien überdachten Standort kann ein Aufheizen der Iglus verhindert werden und die Tiere können geschützt sowohl bei hoher Sonneneinstrahlung als auch bei Regen den Auslauf stressfrei nutzen.

Literatur

- Anonym (2012): Städtebauliche Klimafibel 2012, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, Stuttgart
- Broucek, J.; Kisac, P.; Uhrincat, M.; Hanus, A. and Benc, F. (2008): Effect of high temperature on growth performance of calves maintained in outdoor hutches. *Journal of Animal and Feed Sciences* 17, 139-146
- Eilers, U. (2008): Aktuelle Anforderungen und Systeme für die Kälberhaltung. <https://www.landwirtschaft-bw.info>; 25.03.2020; Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf
- Häusler, J. (2009): Erhebung tiergesundheitlicher Parameter von Kälbern in unterschiedlichen Kälberiglus (Vergleichstest). Abschlussbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein
- Köhler, C.: Nicht ins Schwitzen kommen. *dlz primus Rind*, 7/2011
- Kunz, P. und Montandon, G. (1985): Vergleichende Untersuchungen zur Haltung von Kälbern im Warm- und Kaltstall während der ersten 100 Lebenstage. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, FAT, Tänikon
- Ruckebusch, Y. (1990): Thermoregulation. In: Monet, P. and Espinase, J. (Hrsg.): *Das Kalb: Anatomie, Physiologie, Aufzucht, Ernährung, Produktion, Pathologie*. Schober Verlags-GmbH, Hengersberg, 96-101
- Sonntag, D. und Behrens, K. (1992): Bericht des Deutschen Wetterdienstes 181: Ermittlung der Sonnenscheindauer aus pyranometrisch gemessenen Bestrahlungsstärken der Global- und Himmelsstrahlung. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

9 Untersuchung von ausgewählten Verhaltensweisen bei Milchkühen in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur

Olaf Tober, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, Institut für Tierproduktion

Einleitung

Mit steigender Leistung erhöht sich auch stetig der Stoffwechsel unserer modernen Milchkühe, was zu großen Mengen überschüssiger Wärme führt, die in ausreichendem Maße an die Umgebung abgegeben werden muss. Aufgrund des Klimawandels kommt es zu steigenden Temperaturen und zunehmenden Hitzeperioden (Beitrag Hansen ab S. 4). In solchen Wetterperioden gelingt den Tieren die erforderliche Wärmeabgabe an die Umgebungsluft oft nur unzureichend. Die Folge sind Wärmebelastungen oder Hitzestress. Dem können die Tiere mit einer Reihe physiologischer Mechanismen begegnen, die der Thermoregulation dienen. Dies kann zum einen durch einen Anstieg der Körpertemperatur in gewissen Grenzen erfolgen, wie im Beitrag ab Seite 11 dargestellt, zum anderen stellen entsprechende Verhaltensanpassungen eine weitere Möglichkeit für die Kühe dar, ihre Thermoregulation innerhalb physiologischer Grenzen aufrecht zu erhalten.

Mit den vorliegenden Untersuchungen zum Verhalten von Milchkühen sollen Aussagen getroffen werden, ob und in welcher Form die Tiere mit Adaptationen auf relativ moderate Stalllufttemperaturen, wie sie im Jahresverlauf in einem freigelüfteten Laufstall auftreten, reagieren.

Literaturbetrachtung

Aktivität und Ruhe

Das Verhalten von Rindern kann belastbare Aussagen zu Qualität und Tiergerechtheit der Umgebungsbedingungen liefern. Dabei spielt die lokomotorische Aktivität eine eher untergeordnete Rolle. Der Antrieb zum Laufen lässt beim Rind hauptsächlich eine Verbindung zur Nahrungsaufnahmemotivation erkennen. Das Fehlen einer spezifischen Laufmotivation wird dabei unterstellt (PORZIG et al., 1991).

Dem Ruhen und Liegen wird dagegen eine sehr viel größere Bedeutung im Hinblick auf die Beurteilung von Tierwohl oder Belastungen zugesprochen. GRAUVOGL et al. (1997) zufolge lässt sich die Tiergerechtheit eines Stalles am schnellsten und zuverlässigsten anhand von Messungen des inaktiven Verhaltens beurteilen.

MAČUHOVÁ et al. (2008) stellten einen Einfluss sowohl des Temperature-Humidity-Index (THI) als auch der Stalllufttemperatur allein auf die Belegungsintensität der Liegeboxen fest. Es wurden Tag- und Nachtbeobachtungen in zwei Betrieben durchgeführt. Die beschriebenen Effekte waren nicht immer einheitlich nachweisbar. THI und Boxenbelegungsintensität waren negativ korreliert. Daraus wird geschlossen, dass zur Belastung durch Hitze zusätzlich noch eine Belastung durch verkürzte Liegezeiten auftreten kann. Die Autoren ermittelten eine Liegezeit zwischen 12,1 und 13,3 Stunden pro Kuh und Tag. Ein Einfluss der Belegungsintensität des Stalles auf das Liegeverhalten wurde abgeleitet. Außerdem wurden noch viele weitere Faktoren wie das Tier-Liegeplatzverhältnis, die Milchleistung, die Boxengestaltung, die Boxenposition im Stall und andere genannt, die das Liegeverhalten beeinflussen können.

Bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (THI zwischen 56,2 und 73,8) stellten COOK et al. (2007) Veränderungen im Verhalten von Milchkühen fest. Im Vergleich der kühlest zu den wärmsten Bedingungen lagen die Tiere länger (10,9 zu 7,9 h je Tier und Tag), sie standen

weniger in den Gängen (2,6 zu 4,5 h je Tier und Tag) und sie verbrachten weniger Zeit mit Trinken (0,3 zu 0,5 h je Tier und Tag). Es wurde aber gleichzeitig eine Vermischung der Effekte von Hitze und Lahmheit (erhöhter locomotion score) in Bezug auf die Dauer des Stehens festgestellt. Die Verhaltensänderungen waren ab einem THI um 68 zu registrieren, daher wird die Anwendung effektiver Strategien zum Abbau von Hitzestress ab 21 °C empfohlen.

Von PORZIG et al. (1991) wurde das Ausruhen als physiologisch sehr wertvoll für das Tier beschrieben, weil es dabei Zeit zum Wiederkauen hat und wenig Energie verbraucht. Außerdem wird die hohe Bedeutung für das Tier am zeitlichen Umfang deutlich, der von HALEY et al. (2000) mit etwa der Hälfte der verfügbaren Zeit angegeben wurde. Dabei ist die Motivation, diese Zeitdauer aufrechtzuerhalten, sehr groß (JENSEN et al., 2005).

Die Liegedauer kann aber von vielen Umweltfaktoren beeinflusst werden (HOUP, 1998). Deshalb variieren die Angaben in der Literatur über die durchschnittliche tägliche Liegedauer von Milchkühen zum Teil beträchtlich. Als Einflussfaktoren werden genannt: Rasse, Alter, Geschlecht, Leistung, Aufstallung, Liegeflächenqualität und Klima (REITER et al., 2007). In einer Arbeit von WECHSLER et al. (2000) wurde eine durchschnittliche Liegedauer von 11,6 Stunden pro Tag in Liegeboxen mit Stroheinstreu als Unterlage gefunden, während die Tiere in Boxen mit Komfortmatratzen in Abhängigkeit vom Matratzentyp 10,8 bis 11,4 Stunden pro Tag lagen.

Nach einer Literaturübersicht gaben TUCKER et al. (2004) die durchschnittlichen Liegezeiten von Milchkühen zwischen 9,4 bis maximal 14,7 Stunden pro Tag an. Für die Anzahl Liegeperioden pro Tag lagen die Werte in den gesichteten Studien zwischen 8,2 und 14,1 Perioden und die durchschnittliche Dauer einer Liegeperiode wurde in verschiedenen Untersuchungen mit 0,9 bis 1,4 Stunden ermittelt. Die Autoren betonten, dass laktierende Kühe bei Angebot eines komfortablen Liegeplatzes zu mindestens 12 Stunden Gesamtliegezeit pro Tag neigen.

Kühe lagen pro Tag bei Temperaturen um etwa 10 °C am längsten, während die Liegedauer mit zunehmenden Temperaturen abnahm (TOBER und LOEBSIN, 2013). Dabei stieg die Anzahl der Liegeperioden pro Tag an und die Dauer der Liegeperioden verringerte sich mit steigenden Temperaturen. Die lokomotorische Aktivität war von der Temperatur unbeeinflusst.

Kühe ruhten und kauten zunehmend im Stehen wieder, je höher die Umgebungstemperaturen waren. Dabei verhielt sich die Beziehung zwischen den genannten Aktivitäten im Stehen und der Umgebungstemperatur linear. Außerdem stieg mit zunehmenden Temperaturen der Anteil Tiere, die tranken bzw. sich im Bereich der Tränken aufhielten (SHULTZ, 1984).

Für IGONO et al. (1987) lag es nahe, dass Kühe bei hohen Temperaturen vermehrt in den Stallgängen stehen, weil dieses Verhalten die evaporative Kühlung maximiert. Beim Liegen in der Box neben anderen ebenfalls Wärme produzierenden Kühen wäre die Kühlung weniger effektiv.

Futteraufnahme und Wiederkäuen

Allgemein lässt sich feststellen, dass die Angaben zu Fresszeiten pro Tag erheblich im Schrifttum variieren. Demnach fressen Hochleistungskühe zwischen knapp 3 und etwa 6,5 Stunden pro Tag (Tab.1). Es kann häufig nicht nachvollzogen werden, worin die erheblichen Differenzen zwischen den verschiedenen Studien begründet lagen.

In ihrer Übersicht beschrieben SCHRADER et al. (2006) für die Kaufrequenz während des Fressens und Wiederkäuens durchschnittlich 65 bis 70 Kauschläge pro Minute, was von der Qualität der Nahrung abhängig sei. Dabei würde eine Gesamtzahl von etwa 40.000 Kauschlägen pro Tag ausgeführt. Im Vergleich zur Weidehaltung fiel die Nahrungsaufnahme bei Stallhaltung mit 4 bis 7 Stunden pro Tag etwa 4 bis 5 Stunden geringer aus. Außerdem wurde ausgeführt, dass das Wiederkäuen meist im Liegen stattfindet, am intensivsten während der ausgedehnten Ruhephasen in den Nachtstunden gezeigt wird und insgesamt 5 bis 9 Stunden pro Tag in Anspruch nimmt. Die Dauer des Wiederkäuens sei in hohem Maße vom Rohfasergehalt, der

Trockenmasse und der Feuchte des Futters abhängig. Außerdem würde die Wiederkaudauer von der Umwelt und den Tieren selbst beeinflusst (JILE, 2003).

Tabelle 1: Ergebnisse aus Untersuchungen zur Fressdauer von Milchkühen verschiedener Literaturquellen

Autoren	Ergebnisse zur Fressdauer
DADO und ALLEN, 1994	284 min/d (primipare Kühe), 314 min/d (pluripare Kühe)
FREGONESI und LEAVER, 2002	219-273 min/d (Milchleistung: 21,4 kg/d und 24,6 kg/d), 270-280 min/d (Milchleistung: 38,7 kg/d und 42,6 kg/d)
GRANT und ALBRIGHT, 2001	184 min/d (Primipare und Pluriparen gemischt gehalten), 205 min/d (Primipare separat gehalten)
PHILLIPS und RIND, 2001	334-359 min/d (tägliche Futtervorlage), 385-394 min/d (Futtervorlage alle 2 Tage)
DEVRIES et al., 2003	332 min/d
KAUFMANN et al., 2007	201 min/d
LINDGREN, 2009	160 min/21 h ¹⁾ (Milchleistung: 44,7 kg/d)

¹⁾ Während des Melkens (dreimal pro Tag je eine Stunde) war keine Beobachtung möglich.

Bei Untersuchungen von PAHL et al. (2016) an insgesamt sieben Kühen wurden folgende Mittelwerte der aufgeführten Merkmale gefunden. Die Tiere verbrachten 270 ($\pm$ 39) Minuten pro Tier und Tag in den Wiegefuttertrögen und kauten 262 ($\pm$ 48) Minuten pro Tier und Tag. Außerdem wurden 9,7 Fressperioden pro Tier und Tag mit einer Länge von 27,8 ($\pm$ 21,7) Minuten pro Periode ermittelt. Die Wiederkauzeiten betrugen 534 ($\pm$ 58) Minuten pro Tier und Tag.

Einige Faktoren, die Einfluss auf die tägliche Wiederkaudauer nehmen, wurden von HOY (2014) identifiziert. So konnte nach retrospektiver Auswertung von Wiederkaudaten aus einem automatischen Messsystem ermittelt werden, dass sowohl die Laktationsnummer als auch der Laktationstag bzw. die -woche zu verschiedenen Ruminationsdauern bei den Tieren führten. Erstkalbinnen hatten demnach mit 466 Minuten pro Tag die kürzeste Wiederkaudauer und Kühe mit mehr als vier Laktationen kauten mit 544 Minuten pro Tag am längsten wieder. Dieser Einfluss wurde damit erklärt, dass die Kühe mit zunehmendem Alter großrahmiger und schwerer werden. Damit steigen das Fassungsvermögen des Magen-Darm-Traktes sowie die Futteraufnahme an und ein Einfluss auf die tägliche Wiederkaudauer ist zu erwarten. In den gleichen Untersuchungen wurde im Winter (Tagesmitteltemperaturen unter 0 °C) eine signifikant höhere Wiederkaudauer (526 Minuten pro Tag) gefunden als im Sommer bei Tagesmitteltemperaturen über 20 °C (481 Minuten pro Tag). Zwischen täglicher Maximaltemperatur und Wiederkaudauer bestand mit $r = -0,55$ ein signifikanter Zusammenhang. Ein Anstieg der maximalen Außentemperatur um 10 Kelvin senkte demnach die tägliche Wiederkaudauer um 28 Minuten, was für den Juni 2013 exemplarisch nachgewiesen wurde.

Von WITTKOWSKY (2007) wurde eine tägliche Wiederkaudauer von 300 bis 420 Minuten je Tier angegeben. SCHIMMEL et al. (2006) fanden Wiederkauzeiten von 416 bzw. 446 Minuten pro Tier und Tag sowie Fresszeiten von lediglich 128 bzw. 125 Minuten pro Tier und Tag bei unterschiedlichen Häcksellängen von Maissilage.

Dem Einfluss der Häufigkeit der Futtervorlage auf das Fress- und Wiederkauverhalten gingen GROTHMANN et al. (2012) nach, indem sie Fütterungsfrequenzen von einmal, zehnmal und zwölfmal täglich verglichen. Keine der untersuchten Verhaltensweisen (Fresszeit, Wiederkauzeit, Fress- und Wiederkauschläge sowie Anzahl Wiederkauboli) wurde signifikant von der Fütterungsfrequenz beeinflusst.

Der Frage, ob das Anlegen eines Halfters zum Zweck der Messung von Fress- und Wiederkauaktivitäten die Futteraufnahme und damit das Fress- und Wiederkauverhalten der Tiere beeinflusst, stellte sich BÜCHEL (2013). In ihren Untersuchungen wurden 12 Kühe mit

Halfter und 12 Kontrollkühe über vier Tage verglichen. Dabei wurde nachgewiesen, dass sich die Futteraufnahme der Kühe mit Halfter nicht von der der Kontrollkühe ohne Halfter im Vergleichszeitraum unterschied. Es wurde ebenfalls kein Unterschied gefunden, wenn die Futteraufnahme der gehalfterten Kühe verglichen wurde mit der Zeit vor dem Anlegen der Halfter.

SILANIKOVE (2000) beschrieb in seinem Thermoneutralzonenkonzept, dass ein homoiothermes Tier ab einer bestimmten Hitzebelastung versucht, seine endogene Wärmeproduktion durch Verringerung der Aktivität und der Futteraufnahme einzuschränken, da es die entstehende Eigenwärme nicht mehr dauerhaft und vollständig abführen kann.

Für subtropische, feuchte Gebiete im Südosten der USA schlussfolgerte WEST (2003), dass die Milchleistungen der Kühe dort nur aufrechterhalten werden können, wenn es gelänge, effiziente technische Kühlmöglichkeiten und Futterrationen mit höherer Energie- und Nährstoffdichte bereitzustellen, um Probleme der naturgegebenen Wärmebelastung in Form verminderter Futteraufnahmen zu kompensieren.

Validierung des Systems RumiWatch

Ein im europäischen Raum mehrfach eingesetztes System zur automatischen Erfassung verschiedener Verhaltensweisen ist RumiWatch (RW). Um sowohl Merkmale des Liegens, Stehens und Gehens als auch des Fress- und Wiederkauverhaltens erfassen zu können, sind ein Pedometer und ein Halfter mit einem Nasenbandsensor zwei wesentliche Bestandteile des Systems (Abb. 1 und 2). Auch wenn die Entwicklung von RW mit dem Anspruch stattfand, es auch als Managementhilfe einzusetzen, ist sein häufigster Einsatzbereich bei wissenschaftlichen Untersuchungen. Deshalb ist das Ziel verschiedener Arbeiten die Validierung des Systems gewesen.

Nur wenige Arbeiten beschäftigten sich mit den RW-Pedometern. So stellten ALSAOD et al. (2015) in ihren Untersuchungen zur Früherkennung von Lahmheit mithilfe des RW-Pedometers folgende Korrelationskoeffizienten (r) und mittlere relative Messfehler (RMF) fest:

Liegezeit: $r = 1,00$ (RMF = 0,09 %)

Stehzeit: $r = 0,96$ (RMF = 4,70 %)

Gehzeit: $r = 0,96$ (RMF = 17,12 %)

Schritte: $r = 0,98$ (RMF = 6,23 %)

Für die Parameter Anzahl Liege-, Steh-, Geh-, Aufsteh- und Liegeereignisse überstieg der Anteil korrekt erfasster Ereignisse 99 %.

In einer Studie, die die Validierung von RW zur automatischen Erfassung des Verhaltens unter den Bedingungen von weidebasierten Haltungssystemen zum Ziel hatte (WERNER et al., 2018), wurden die vom RW-Pedometer ermittelten Daten mit denen aus visuellen Beobachtungen verglichen. Dabei konnten Korrelationskoeffizienten von $r = 0,99$ für das Liegen, $r = 0,97$ für das Stehen und $r = 0,78$ für das Gehen ermittelt werden. Die relativ schwache Korrelation beim Gehen führen die Autoren darauf zurück, dass Liege- und Stehverhalten scheinbar leichter und damit korrekter erkannt werden können als Gehen. Zusammenfassend wird geschlussfolgert, dass RW eine zuverlässige Sensortechnologie zur Beobachtung der Kuhaktivität und des Fressverhaltens ist und für Forschungszwecke verwendet werden kann.

Häufiger beschäftigten sich Arbeiten mit der Validierung des RW-Nasenbandsensors und dem Vergleich mit anderen Systemen unter praktischen Bedingungen. Bereits vor einigen Jahren validierten ZEHNER et al. (2017) eine frühe Entwicklung des RW-Nasenbandsensors und stellten anhand von Video- und Direktbeobachtungen Übereinstimmungen bei der Quantifizierung spezifischer Kieferbewegungen mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,79$ für das Wiederkauen und $R^2 = 0,77$ für das Fressen fest. Weiterer Entwicklungsbedarf wurde eingeräumt.

Bei ihren Untersuchungen zur Schätzung der Futteraufnahme stellten PAHL et al. (2016) zeitliche Übereinstimmungen der von Wiegetrögen und Messhalftern mit MSR-ART-Drucksensoren (entspricht RW) erfassten Daten zum Fressen von durchschnittlich 92,2 % fest bei einer Spannweite von 89,6 % bis 94,1 %. Verwendet wurde hierbei ein Auswertintervall von einer Minute.

In der Arbeit von BÜCHEL (2013) wurden drei verschiedene automatische Systeme zur Erfassung der Wiederkauaktivität miteinander verglichen: das DairyCheck verarbeitet und analysiert elektromyographische Signale der Kaumuskulatur, RW verwendet einen Druckwandler zur Erfassung der Kaubewegungen und Lely Qwes HR nutzt akustische biotelemetrische Signale. Dabei zeigte sich in einem ersten Versuch, dass sich die ermittelten täglichen Wiederkauzeiten mit dem DairyCheck deutlich von denen mit dem Lely Qwes HR unterscheiden (530 ± 60 Minuten respektive 399 ± 148 Minuten). Im zweiten Versuch wurden RW und Lely Qwes HR verglichen und auch hier erhebliche Abweichungen gefunden (546 ± 54 Minuten respektive 413 ± 148 Minuten). Die Übereinstimmung zwischen DairyCheck und RW wurde als hoch und die ermittelten Ergebnisse dieser Systeme als konsistent eingeschätzt.

Bei einem Vergleich des von RW (Version 2.23) erfassten Fress-, Wiederkau- und Trinkverhaltens mit visuellen Beobachtungen der Tieraktivitäten wurden von SCHNEIDER et al. (2016) die Rohdaten von RW mit der Software RW Converter (0.7.3.2) einmal mit der Option 1-Minuten-Intervall und einmal mit der Option 10-Minuten-Intervall ausgewertet. Dabei ergaben sich für das Wiederkauen Bestimmtheitsmaße von $R^2 = 0,70$ bzw. $R^2 = 0,75$ und für die Futteraufnahme von $R^2 = 0,78$ und $R^2 = 0,72$ und für die Wasseraufnahme lediglich $R^2 = 0,07$ bzw. $R^2 = 0,10$. Außerdem entstand bei der Futteraufnahmedauer eine Differenz von etwa einer Stunde pro Tier und Tag, wenn dieselben Rohdaten mit der 1-Minuten- oder der 10-Minuten-Option konvertiert wurden. Die Autoren schlussfolgerten, dass die Wasseraufnahme mit dem Nasenbandsensor nicht erfasst werden kann und die Genauigkeit des Systems bei der Wiederkauaktivität ausreicht, um beim Herdenmanagement wirksame Unterstützung leisten zu können. Für wissenschaftliche Untersuchungen wurde die Genauigkeit als nicht ausreichend bezeichnet.

Eine Validierung des RW-Nasenbandsensors unter Laufstallbedingungen führten RUUSKA et al. (2016) in Form eines Vergleiches der RW-Daten mit kontinuierlichen Videoaufzeichnungen und den Besuchszeiten in einer automatischen Futterstation durch. In einer Untersuchung an sechs Kühen über 72 Stunden zeigte sich eine hohe Übereinstimmung der RW-Daten mit den videobasierten Daten beim Fressen und beim Wiederkauen. Die Bestimmtheitsmaße betrugen $R^2 = 0,94$ bzw. $R^2 = 0,93$, was von einem geringen Zufallsfehler zeugt. Außerdem konnte nachgewiesen werden, dass kein signifikanter systematischer Fehler vorhanden war. Allerdings wurde eine Tendenz festgestellt, wonach RW das Fressen überschätzt. Diese Tendenz wurde bei den weiteren Untersuchungen mit insgesamt 18 Kühen im Vergleich mit den Besuchszeiten in der automatischen Futterstation bestätigt. Während hier vom RW-System $5,1 \pm 2,7$ Stunden Fresszeit pro Tier und Tag ermittelt wurden, lagen die Besuchszeiten an der Futterstation lediglich bei $3,2 \pm 1,1$ Stunden pro Tier und Tag. Das zugehörige R^2 betrug dabei 0,76. Dabei gab es für die Tiere keine andere Möglichkeit Futter aufzunehmen als an der Futterstation. Die Beziehungen der von RW registrierten Trinkzeit im Vergleich zu den Videoaufzeichnungen war mit $R^2 = 0,20$ schlecht. Es wurde festgestellt, dass die automatische Aufzeichnung von Trinken generell mit großen Schwierigkeiten behaftet ist.

In 14 Schweizer Betrieben testeten ZEHNER et al. (2017) den RW-Nasenbandsensor unter Praxisbedingungen im Vergleich zu Direktbeobachtungen. Die Gesamtstichprobe umfasste 60 Kühe, die jeweils eine Stunde lang beobachtet wurden. Mithilfe der Software RW-Converter wurden die Sensorrohdaten anschließend sowohl mit der Softwareversion 0.7.2.0 als auch mit der Version 0.7.3.2 jeweils im Stundenintervall konvertiert. Im Vergleich von Direktbeobachtungen und Sensordaten wurden für die Wiederkauzeit Korrelationen von $r = 0,91$ (0.7.2.0) und $r = 0,96$ (0.7.3.2) errechnet und für die Fresszeit $r = 0,86$ (0.7.2.0) und $r = 0,96$

(0.7.3.2). Die Autoren schlussfolgern aus den hohen bis sehr hohen Korrelationen, dass der RW-Nasenbandsensor erfolgreich als wissenschaftliches Überwachungsgerät zur automatisierten Messung von Wiederkau- und Fressaktivität bei im Stall gefütterten Kühen entwickelt und validiert wurde.

Material und Methode

Die Untersuchungen zum Verhalten fanden in der Milchviehherde des gleichen Praxisbetriebes in Mecklenburg-Vorpommern wie die Untersuchungen zur Vormagentemperatur statt (siehe Beitrag ab Seite 11). Der Betrieb verfügte über etwa 480 Kühe der Rasse Deutsche Holstein bei einer Jahresmilchleistung von rund 11.000 kg Milch/Tier, dabei wurden die Tiere in einem frei gelüfteten Liegeboxen-Laufstall unter Außenklimabedingungen gehalten und täglich dreimal gemolken. Mithilfe von Datenloggern wurden die Lufttemperatur und die relative Luftfeuchte in Form von Stundenwerten aufgezeichnet.

Für die Erfassung verschiedener Verhaltensparameter ist das Gerätesystem RW zum Einsatz gekommen. Dabei handelte es sich um eine Schweizer Gemeinschaftsentwicklung von AGROSCOPE, ITIN+HOCH und VETSUISSE BERN. Hersteller ist die Firma ITIN+HOCH. Das System besteht aus einem Pedometer (Abb. 1) und einem Wiederkauhalter (Abb. 2), welche beide die Daten intern auf eine SD-Karte aufzeichneten. Am Ende des Untersuchungszeitraums wurden die Geräte von den Tieren abgenommen und die gewonnenen Daten mittels USB-Kabel auf einen PC übertragen. Die so erhaltenen Rohdaten mit einer Aufzeichnungsfrequenz von 10 Hz wurden anschließend mit der Systemsoftware RW-Converter (Version 7.4.13) verarbeitet, um so aus den Rohdaten die verschiedenen Verhaltensparameter in Form von Tagessummen zu generieren. Dabei haben die Pedometer verschiedene Parameter der Aktivitäten und des Ruhens der Tiere sehr detailliert registriert (Tab. 2). Aufzeichnungen des Fress-, Wiederkau- sowie Trinkverhaltens (Tab. 2) erfolgten mit dem Nasenbandsensor in Form eines Druckschlauches in einem Messhalter (Abb. 2).

Tabelle 2: Vom System RW klassifizierte, verwendete und aufgezeichnete Verhaltensweisen

Halfter	Futtermaufnahme	Zeitdauer Anzahl Fresskauschläge
	Wiederkauen	Zeitdauer Anzahl Wiederkauschläge Anzahl rejizierter Boli
	Trinken	Zeitdauer Anzahl Trinkschlucke
Pedometer	Liegen	Zeitdauer Anzahl Abliege- und Aufstehvorgänge Anzahl abgebrochener Abliegevorgänge Anzahl abgebrochener Aufstehvorgänge
	Aktivität	Zeitdauer Gehen Zeitdauer Stehen Anzahl ausgeführter Schritte



Abbildung 1: Am Tier angebrachtes RW-Pedometer
(Quelle: ITNIN+HOCH)



Abbildung 2: Sitz des Druckschlauchs auf der Nase bei angelegtem RW-Messhalfter (Quelle: ITNIN+HOCH)

Ziel der Untersuchungen war, Einflüsse unterschiedlicher Stalltemperaturen auf das Verhalten der Tiere zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden zwei zeitlich so nah wie möglich beieinanderliegende Beobachtungszeiträume mit 14 Kühen, die sich in der zweiten bis fünften Laktation befanden ($\bar{x}$ = 3,6 Laktationen), realisiert. Die ersten Untersuchungen mit kühlen bis mittleren Umgebungstemperaturen fanden vom 16. Februar bis 20. März 2018 statt und der zweite Untersuchungszeitraum mit wärmeren Temperaturen vom 1. Juni bis 28. Juni 2018. Aus diesen Gesamtzeiträumen wurden zum Vergleich der Verhaltensweisen bei unterschiedlichen Temperaturen drei Bereiche von jeweils drei aufeinanderfolgenden Tagen ausgewählt, die sich dadurch auszeichneten, dass innerhalb eines Dreitagebereiches annähernd gleiche Tagesmitteltemperaturen und zwischen den Dreitagebereichen entsprechende Unterschiede herrschten (Tab.3). Im Weiteren werden der erste Temperaturbereich (-1 °C bis 1 °C) mit 0 °C, der zweite (8 °C bis 11 °C) mit 9 °C und der dritte Bereich (19 °C bis 20 °C) mit 19 °C bezeichnet.

Tabelle 3: Stallklimatische Charakteristika der drei ausgewählten dreitägigen Untersuchungszeiträume

Datum	Tagesmitteltemperatur (°C)	Stalllufttemperatur (°C)			Relative Luftfeuchte (%)		
		$\bar{x}$	Min	Max	$\bar{x}$	Min	Max
25.02.-27.02.18	-1... 1	0,2	-3,7	3,7	84,2	63,1	95,0
11.03.-13.03.18	8...11	9,5	4,2	16,2	94,8	77,2	100,0
03.06.-05.06.18	19...20	19,5	15,3	25,7	85,3	40,0	100,0

In die Auswertungen wurden ausschließlich gesunde laktierende Tiere einbezogen, die in den Leistungsgruppen 1 und 4 gehalten wurden, welches beides Hochleistungsgruppen mit identischer Fütterung waren. Außerdem sind die Aktivitätsdaten von jedem Tier auf Tage mit ungewöhnlich hohen Aktivitäten untersucht worden. Wurden solche Tage identifiziert, wurden sie von der Auswertung ausgeschlossen, weil davon auszugehen war, dass die betreffenden Tiere an diesen Tagen brünstig waren. Ziel dieses Vorgehens war, möglichst nur normales, ungestörtes Verhalten in die Untersuchungen einzubeziehen. Weiterhin kam es zu einigen Datenausfällen, weil im Februar zwei der involvierten Tiere erkrankten und weil es zu technischen Ausfällen von Geräten kam. Am Ende standen insgesamt acht auswertbare Tiere mit vollständigen Daten in den drei dreitägigen Temperaturbereichen zur Verfügung (Tab.4).

Tabelle 4: Charakteristische Parameter der acht ausgewerteten Tiere

Datum	Milchleistung pro Tag (kg)			Laktationstag		
	$\bar{x}$	Min	Max	$\bar{x}$	Min	Max
25.02.-27.02.18	44,7	35,0	53,0	130,4	51	311
11.03.-13.03.18	44,4	34,7	52,6	144,4	65	325
03.06.-05.06.18	39,6	31,4	48,8	228,7	149	409

Statistik

Die statistische Verrechnung der aufbereiteten Daten erfolgte mit dem Programmpaket SAS 9.4 mit einem gemischten Modell (proc mix) mit Messwertwiederholung. Folgendes Modell wurde hierfür in Ansatz gebracht:

$$Y_{ijk} = TB_i + T_j + (T \times ML)_{jk} + e_{ijk}.$$

Dabei bedeutet:

Y_{ijk} = Beobachtungswert des Merkmals

TB_i = fixer Effekt des Temperaturbereichs / Messzeitpunkts in °C ($i = 0, 9, 19$)

T_j = Tier mit Messwiederholung an den Messzeitpunkten ($i = 5; 7; 121; 192; 280; 430; 440; 462$)

ML_k = Milchleistung in kg/d ($k = \leq 35,0; 35,1-40,0; 40,1-45,0; 45,1-50,0; >50,0$)

$(T \times ML)_{jk}$ = Wechselwirkung zwischen Tier und Milchleistung

e_{ijk} = zufälliger Restfehler

Das Signifikanzniveau wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse und Diskussion

In der Tabelle 5 sind die Schätzwerte als least squares means (LSM) der untersuchten Verhaltensmerkmale an den verschiedenen Messzeitpunkten respektive in den Temperaturbereichen aufgezeigt. Nur wenige Verhaltensweisen wiesen signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von den untersuchten Temperaturen auf.

Ein ungewöhnlicher Befund war, dass die Liegedauer pro Tag oberhalb von 9 °C tendenziell noch weiter anstieg ($p=0,09$ zwischen 0 °C und 19 °C). Frühere eigene Untersuchungen ergaben bei ähnlichen Temperaturbereichen ein Absinken der Liegedauer mit zunehmender Stalltemperatur (TOBER und LOEBSIN, 2013), wobei von unter 0 °C bis 10 °C die Liegezeiten zunächst anstiegen und danach wieder abfielen, was für das hier beobachtete Verhalten zwischen 0 °C und 9 °C ebenfalls tendenziell zutraf. Auch COOK et al. (2007) und MAČUHOVÁ et al. (2008) fanden kürzere Liegezeiten bei wärmeren Temperaturen im Vergleich zu kühleren. Auf die Liegedauer können viele Faktoren einen Einfluss haben (HOUP, 1998; REITER et al., 2007; WECHSLER et al., 2000). Die Versuchsdurchführung lieferte für das beobachtete abweichende Verhalten, dass die Liegedauer bei Temperaturen über 9 °C tendenziell weiter anstieg, keine Erklärung.

Die Anzahl der beobachteten Liegeperioden lag in einem Bereich, wie er auch von TUCKER et al. (2004) in ihrer Literaturstudie beschrieben wurde und wies mit dem Anstieg bei wärmeren Temperaturen gegenüber 0 °C das gleiche Verhalten auf, wie in der Arbeit von TOBER und LOEBSIN (2013). Allerdings waren die Liegeperiodendauern in den hier vorgestellten Untersuchungen von der Umgebungstemperatur offenbar völlig unbeeinflusst, sie bewegten sich durchschnittlich zwischen rund 75 Minuten und 83 Minuten pro Liegeperiode, was gut mit den

von TUCKER et al. (2004) in der Literatur gefundenen Werten korrespondiert. Die mittlere Dauer einer Liegeperiode in den Untersuchungen von TOBER und LOEBSIN (2013) war um ca. 30 bis 45 Minuten länger, was aber einer abweichenden Definition einer Liegeperiode und damit deren Berechnung geschuldet war. Hier war die Dauer der Liegeperiode eindeutig von den Umgebungstemperaturen beeinflusst.

Das Stehen zeigte erwartungsgemäß eine umgekehrte Tendenz wie das Liegen und damit auch ein ungewöhnliches Verhalten, welches sich einer Erklärung aus den vorliegenden Untersuchungsbedingungen entzieht. Signifikante Abhängigkeiten von der Stalltemperatur waren nicht vorhanden. Im Gegensatz dazu stellten COOK et al. (2007) ein Ansteigen des Stehens bei zunehmenden Temperaturen fest und IGONO et al. (1987) postulierten, dass Kühe bei hohen Temperaturen durch vermehrtes Stehen die evaporative Kühlung maximieren.

Die Dauer des Gehens und damit auch die Anzahl der Schritte nehmen bei Stallhaltung naturgemäß nur einen relativ geringen Raum im Gesamtverhalten der Milchkühe ein. Die meisten Schritte und die längste Gehdauer dürften im Zusammenhang mit dem Weg zum und vom Melken zustande kommen, womit die deutliche Unabhängigkeit von der Umgebungstemperatur erklärt werden kann. Gleiches stellten TOBER und LOEBSIN (2013) bei der Untersuchung der lokomotorischen Aktivität in Abhängigkeit von der Stalltemperatur fest.

Tabelle 5: LSM der untersuchten Verhaltensweisen in Abhängigkeit vom Temperaturbereich (Unterschiedliche Buchstaben in einer Zeile bedeuten Signifikanz.)

Merkmal	ME	Temperaturbereich		
		0 °C	9 °C	19 °C
Liegen	min/d	645	700	748
Liegeperioden-Anzahl	n/d	8,7 ^a	10,1 ^b	10,0 ^{a,b}
Liegeperioden-Dauer	min/n	82,6	74,6	80,5
Stehen	min/d	751	699	650
Gehen	min/d	43,0	42,2	41,9
Schritte	n/d	1.125	1.103	1.091
Fressdauer	min/d	331 ^a	326 ^a	273 ^b
Fresskauschläge	n/d	23.823 ^a	22.739 ^a	18.002 ^b
Wiederkaudauer	min/d	555	540	564
Wiederkauperioden-Anzahl	n/d	15,0	15,7	16,0
Wiederkauperioden-Dauer	min/n	37,2	35,6	35,5
Wiederkauschläge	n/d	38.767	37.155	38.187
Wiederkauboli	n/d	595	568	571
Wiederkauschläge/Bolus	n/Bolus	63,8 ^{a,b}	63,3 ^a	66,7 ^b
sonstige Kiefebewegungen	n/d	2.322	2.740	2.607

Die erfassten Werte der Fressdauer lagen alle in einem Bereich, wie er in der Übersicht von SCHRADER et al. (2006) mit vier bis sieben Stunden für Stallfütterung angegeben wurde. Auch im Vergleich mit den berichteten Ergebnissen der Quellen, die in Tabelle 1 aufgelistet sind, passen sich die gefundenen Werte gut bei den meisten Angaben ein.

Im Temperaturbereich von 19 °C reduzierten die Tiere die Dauer der Futteraufnahme um fast eine Stunde gegenüber 0 °C und 9 °C, was einer Reduktion um 16 % bzw. 18 % entspricht. Gleiche Verhältnisse finden sich folgerichtig auch bei der Anzahl der Fresskauschläge wieder.

Mit Ausnahme der Anzahl Wiederkauschläge pro Bolus zeigte kein Merkmal des Wiederkauverhaltens eine Beeinflussung durch die unterschiedlichen Umgebungstemperaturen. Die ermittelten LSM der Ruminationsdauer lagen in einem sehr ähnlichen Bereich wie bei HOY (2014). Während aber von HOY (2014) eine Verkürzung der Wiederkaudauer bei zunehmenden Temperaturen nachgewiesen wurde, war ein solcher Effekt in den eigenen Untersuchungen nicht festzustellen.

Die verringerte Fressdauer bei 19 °C legt eine entsprechend reduzierte Aufnahme der Futtermenge nah. JILE (2003) beschreibt, dass die Wiederkaudauer vom Individuum beeinflusst wurde. Möglicherweise zeigten die Ergebnisse in den hier vorgestellten Untersuchungen ein Bestreben der Tiere nach einer gewissen Konstanz des Wiederkauens. Die geringere Futtermenge könnte dabei teilweise durch mehr Kauschläge pro Bolus kompensiert worden sein.

Die reduzierte Futteraufnahme war nur zum Teil aus der Verringerung der Milchleistung von 44 kg bis 45 kg pro Tag bei 0 °C und 9 °C auf knapp 40 kg pro Tag bei 19 °C zu erklären, was nach BRADE und BRADE (2016) im Mittel einen Rückgang der Futteraufnahme von 25,2 kg Trockenmasse pro Tag auf 23,7 kg Trockenmasse pro Tag verursachte. Die gleiche Verzehrsgeschwindigkeit vorausgesetzt, hätten die Kühe für die Aufnahme von 23,7 kg Trockenmasse bei 19 °C etwa 310 Minuten benötigen müssen. Die Effekte von Leistungsrückgang im fortgeschrittenen Laktationsstadium und der höheren Umgebungstemperaturen konnten zwar nicht vollständig voneinander getrennt werden, dennoch sind die hohen Temperaturen zum großen Teil für die Reduzierung der Futteraufnahmedauer ursächlich, weil zum einen die Milchleistung Bestandteil des statistischen Modells war und der Rückgang der Fressdauer war zu groß, um vollständig mit der leistungsbedingten Futteraufnahmereduzierung erklärt werden zu können.

Die Anzahlen der sonstigen Kieferbewegungen wiesen erwartungsgemäß keine Unterschiede zwischen den drei Temperaturbereichen auf. Sonstige Kieferbewegungen waren laut Herstellerdefinition sämtliche Kieferbewegungen, die nicht als Wiederkau-, Fress- oder Trinkaktivität klassifiziert wurden. Sie traten z. B. beim Lecken (gegenseitig oder sich selbst) auf oder waren vom System nicht richtig klassifizierte Bewegungen, die eigentlich zu einer der drei genannten Aktivitäten gehörten.

Das System RumiWatch bietet zwar die Auswertung des Trinkverhaltens an. Eigene Überprüfungen anhand der Vormagentemperatur haben jedoch ergeben, dass die mit der Wasseraufnahme in Verbindung stehenden ermittelten Verhaltensweisen nur sehr unzuverlässige Daten liefern. Deshalb wurde auf eine Verwendung dieser Merkmale verzichtet. Diese Feststellungen stehen im Einklang mit den Ergebnissen und Aussagen von BÜCHEL (2013), SCHNEIDER et al. (2016) und RUUSKA et al. (2016), die aufgrund von Verifizierungsuntersuchungen berichteten, dass mit RumiWatch das Trinken nicht zuverlässig erfassbar war.

Fazit

Das Messsystem RumiWatch ist prinzipiell gut für die Erfassung der verschiedenen Verhaltensweisen des Ruhe- und Aktivitätsverhaltens (Pedometer) und der Futteraufnahme sowie des Wiederkauens (Halfter) geeignet. Aufgrund einer teilweise recht komplizierten und komplexen Handhabung und des relativ hohen Preises kann es für einen Einsatz als Managementhilfe in der praktischen Landwirtschaft jedoch nicht empfohlen werden. Zudem sind vereinzelt Ausfälle in Form gerissener Halfterriemen zu verzeichnen gewesen, die auf Materialschwächen im harten Praxiseinsatz hindeuten. Auch Scheuerstellen am Fell und an der Haut der Tiere im Halfterbereich (Nase) und an den Pedometern im Fesselbereich sind aufgetreten, obwohl die Geräte nur jeweils für vier bis fünf Wochen an den Tieren angebracht

waren. Insbesondere die Halfter müssen relativ stramm angelegt werden, um exakte Messwerte liefern zu können. Ein dauerhaftes Tragen im Praxiseinsatz erfordert noch weitere Entwicklungsarbeit bezüglich zuverlässiger und verletzungsfreier Materialien. Zur Erfassung des Trinkverhaltens ist das System (noch?) nicht geeignet.

Die Milchkühe zeigten in den untersuchten Temperaturbereichen nur bei wenigen Verhaltensmerkmalen eine Reaktion auf die untersuchten Umgebungstemperaturen. Signifikante Unterschiede gab es nur bei der Liegeperiodenhäufigkeit, der Fressdauer und damit im Zusammenhang bei der Anzahl Fresskauschläge. Die Veränderungen dürften jedoch auch bei aufmerksamer Tierbeobachtung nicht so deutlich in Erscheinung treten, dass dies dem Tierhalter bereits als Alarmzeichen auffallen würde. Allerdings ist eine Reduktion der Futteraufnahme um 16 % bis 18 % bei Tagesmitteltemperaturen um 19° C schon als erheblich und als deutliches Zeichen einer Wärmebelastung zu werten. Um das Tierwohl und die Leistung zu sichern, muss schon deutlich vor Tagesmitteltemperaturen um 19 °C mit technischer Unterstützung der Thermoregulation der Tiere begonnen werden. Im Beitrag ab Seite 11 zu Untersuchungen der Vormagentemperatur bei Milchkühen im Zusammenhang mit der Umgebungstemperatur wird deutlich, dass leistungsabhängig bereits ab etwa 5 °C bis 10 °C Stalltemperatur unterstützende Maßnahmen ergriffen werden sollten. Es muss dann zwar noch nicht von Hitzestress gesprochen werden, aber das Verhalten und hier vor allem der Rückgang der Futteraufnahme weisen auf die Adaptationsreaktionen der Tiere oberhalb von 9 °C hin. Dies zeigt einmal mehr, dass die Zuschaltung unterstützender technischer Maßnahmen für die Thermoregulation der Milchkühe wie z. B. Ventilatoren oder Lüfter nicht „nach Gefühl“ der Tierhalter erfolgen sollte, sondern am besten mithilfe einer messwertgeführten Automatik. Außerdem sollten Milchviehhalter immer wieder für diese Problematik sensibilisiert werden.

Literatur

- Alsaad, M.; Niederhauser, J. J.; Beer, G.; Zehner, N.; Schuepbach-Regula, G.; Steiner, A. (2015): Development and validation of a novel pedometer algorithm to quantify extended characteristics of the locomotor behavior of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98, 6236–6242
- Brade, W. und Brade, E. (2016). Die Futteraufnahme von hochleistenden Milchkühen im ersten Laktationsdrittel aus der Sicht der Züchtung und des Tierwohles. *Berichte über Landwirtschaft-Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*
- (https://buel.bmel.de/index.php/buel/article/view/111/Brade_Futteraufnahme.html)
- Büchel, S. (2013): Sensor-based Control of Chewing and Rumination Behavior of Dairy Cows. Diss, Fachbereich Agrarwissenschaften der Universität Kassel
- Cook, N. B.; Mentink, R. L.; Bennett, T. B.; Burgi, K. (2007): The effect of heat stress and lameness on time budgets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 90, 1674–1682
- Dado, R. G.; Allen, M. S. (1994): Variation in and Relationships among Feeding, Chewing, and Drinking Variables for Lactating Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* Vol. 77, 132-144
- DeVries, T. J.; von Keyserlingk, M. A. G.; Weary, D. M.; Beauchemin, K. A. (2003): Measuring the feeding behavior of lactating dairy cows in early to peak lactation. *J. Dairy Sci.* 86, 3354-3361
- Fregonesi, J. A.; Leaver, J. D. (2002): Influence of space allowance and milk yield level on behaviour, performance and health of dairy cows housed in strawyard and cubicle systems. *Livestock Prod. Sci.* 78, 245-257
- Grant, R. J.; Albright, J. L. (2001): Effect of Animal Grouping on Feeding Behavior and Intake of Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 84 (E. Suppl.), 156-163

- Grauvogl, A.; Pirkelmann, H.; Rosenberger, G.; Zerboni, D. I.; Sposetti, H. N. (1997): Artgemäße und rentable Nutztierhaltung. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München
- Grothmann, A.; Moser, L.; Zähler, M. F.; Steiner, A. (2012): Einfluss verschiedener Futtervorlagehäufigkeiten auf das Wiederkau- und Liegeverhalten von Milchkühen. Tagungsband Fachtagung „Feed for Health“, ETH Zürich, ETH-Schriftenreihe zur Tierernährung, 92-95
- Haley, D. B.; Rushen, J.; Passille, A. M. (2000): Behavioural indicators of cow comfort: activity and resting behaviour of dairy cows in two types of housing. Can. J. Anim. Sci. 80, 257-263
- Houpt, K. (1998): Domestic Animal Behavior for Veterinarians and Animal Scientists. Iowa State University Press, Ames
- Hoy, S. (2014): Untersuchungen zu Faktoren mit Einfluss auf die automatisch gemessene Wiederkaudauer bei Kühen. Züchtungskunde, 86 (3), 145–156
- Igono, M. O.; Johnson, H. D.; Stevens, B. J.; Krause, G. F.; Shanklin, M. D. (1987): Physiological, productive, and economic benefits of shade, spray, and fan system versus shade for Holstein cows during summer heat. J. Dairy Sci. 70, 1069-1079
- Jensen, M. B.; Pedersen, L. J.; Munksgaard, L. (2005): The effect of reward duration on demand functions for rest in dairy heifers and lying requirements as measured by demand functions. Appl. Anim. Behav. Sci. 90, 207-217
- Jile, Y. H. (2003): Untersuchungen zur Bedeutung der Frequenz der Kieferschläge während des Wiederkauens für die Einschätzung der Wiederkauaktivität von Milchkühen. Diss. Tierärztl. Hochschule Hannover
- Kaufmann, O.; Azizi, O.; Hasselmann, L. (2007): Untersuchungen zum Fressverhalten hochleistender Milchkühe in der Früh lactation. Züchtungskunde 79, (3), 219-230
- Lindgren, E. (2009): Validation of rumination measurement equipment and the role of rumination in dairy cow time budgets. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Examensarbeit
- Mačuhová, J.; Enders, S.; Preis, R.; Gutermann, S.; Freiburger, M.; Haidn, B. (2008): Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh. Schriftenreihe 8, Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
- Pahl, C.; Hartung, E.; Grothmann, A.; Mahlkow-Nerge, K.; Haeussermann, A. (2016): Suitability of feeding and chewing time for estimation of feed intake in dairy cows. Animal 10 (9), 1507-1512
- Phillips, C. J. C.; Rind, M. I. (2001): The effects of frequency of feeding a total mixed ration on the production and behavior of dairy cows. J. Dairy Sci. 84, 1979-1987
- Porzig, E. (Hrsg.); Sambras, H. H. (Hrsg.); Engelmann, C.; Flade, H.-E.; Scheibe, M. (1991): Nahrungsaufnahmeverhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin GmbH, 63
- Reiter, K.; Koßmann, A.; Tutsch, S.; Plesch, G. (2007): Verhaltensuntersuchungen bei Gelbvieh und Fleckvieh zur Optimierung der Liegefläche. In: Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Ruuska, S.; Kajava, S.; Mughal, M.; Zehner, N.; Mononen, J. (2016): Validation of a pressure sensor-based system for measuring eating, rumination and drinking behaviour of dairy cattle. Appl. Anim. Behav. Sci. 174, 19-23

- Schimmel, P.; Preißinger, W.; Mohr, U.; Spiekers, H.; Moosmeyer, M. (2006): Wiederkauprofil in Abhängigkeit vom Strukturwert der Milchkuhration. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda, Hrsg.: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 47–51
- Schneider, M.; Obermaier, A.; Edelmann, P.; Ettle, T. (2016): Überprüfung von Nasenbandsensoren (RW) zur Erfassung von Wiederkauverhalten und Fressdauer bei Milchkühen. Tagungsband, Forum angewandte Forschung, 12./13.04., Fulda, 35-38
- Schrader, L.; Bünger, B.; Marahrens, M.; Müller-Arnke, I.; Otto, C.; Schäffer, D.; Zerbe, F. (2006): Anforderungen an eine tiergerechte Nutztierhaltung. Nationaler Bewertungsrahmen für Tierhaltungsverfahren – Methode zur Bewertung von Tierhaltungsverfahren hinsichtlich Umweltwirkungen und Tiergerechtigkeit. KTBL-Schrift 446, 14-74
- Shultz, T. A. (1984): Weather and shade effects on cow corral activities. J. Dairy Sci. 67, 868-873
- Silanikove, N. (2000): Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. Livest. Prod. Sci. 67, 1- 18
- Tober, O. und Loebstin, C. (2013): Das Verhalten von laktierenden Kühen in einem Außenklima-Laufstall in Abhängigkeit von der Stalllufttemperatur. Berliner und Münchner Tierärztliche Wochenschrift 126, Heft 9/10, 388-393
- Tucker, C. B.; Weary, D. M.; Rushen, J.; Passillé, A. M.; (2004): Designing better environments for dairy cattle to rest. Advances in Dairy Technology Volume 16, 39
- Wechsler, B.; Schaub, J.; Friedli, K.; Hauser, R. (2000): Behaviour and leg injuries in dairy cows kept in cubicle systems with straw bedding or soft lying mats. Appl. Anim. Behav. Sci. 69, 189-197
- Werner, J.; Leso, L.; Umstätter, C.; Niederhauser, J.; Kennedy, E.; Geoghegan, A.; Shalloo, L.; Schick, M.; O'Brien, B. (2018): Evaluation of the RumiWatchSystem for measuring grazing behaviour of cows. Journal of Neuroscience Methods, 300, 138-146
- West, J. W. (2003): Effects of heat-stress on production in dairy cattle. J. Dairy Sci. 86, 2131–2144
- Wittkowsky, G. (2007): Grundlagen der Tierzucht. Bau und Funktion des Tierkörpers. In: Die Landwirtschaft - Tierische Erzeugung. Zwölfte, völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, BLV Buchverlag GmbH & Co. KG, München
- Zehner, N.; Umstätter, C.; Niederhauser, J. J.; Schick, M. (2017): System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. Computers and Electronics in Agriculture, 136, 31–41

10 Modellierung der Emissionen von Treibhausgasen und Ammoniak bei der Schweinefleischherzeugung in Thüringen unter Berücksichtigung der gesamten Produktionskette

Ulrich Dämmgen, Johann Heinrich von Thünen-Institut (TI); Wilfried Brade, Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo); Heinrich Kleine Klausing, EW Nutrition GmbH; Andreas Berk, Friedrich-Loeffler-Institut (FLI); Hans-Dieter Haenel, TI; Jürgen Müller, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL); Simone Müller, TLL; Claus Rösemann, TI; (Projektnehmer)

Thomas Bauer (TLL); (Projektleiter)

Über dieses in den Jahren 2017 und 2018 durchgeführte Projekt der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) informiert der folgende Kurzbericht:

Randbedingungen und Ziel der Arbeit

Angesichts einer menschlichen Lebensweise, die Umwelt und Klima in einem zum Teil unerwünschten Maß beeinträchtigt, sind nationale und internationale Zielvorgaben formuliert worden, die gewährleisten sollen, dass Belastungen zukünftig auf ein erträgliches Maß zurückgeführt werden. Hierzu zählt auch die Verringerung der Emissionen von Treibhausgasen und luftverschmutzenden Gasen.

Im Gegensatz zu manchen anderen Wirtschaftszweigen ist eine funktionierende Landwirtschaft im Sinne des Wortes lebensnotwendig. Ihre Primärproduktion findet „unter freiem Himmel“ statt. Sie ist deshalb von Klimawandel und Schadgasen betroffen, setzt aber gleichzeitig klima- und umweltschädigende Gase frei, die sie zu einem bedeutenden Luftverschmutzer in Deutschland machen. Hierbei kommt den Ammoniak-Emissionen eine besondere Rolle zu: Etwa 95 % der deutschen Ammoniak-Emissionen stammen aus landwirtschaftlichen Quellen, insbesondere aus der Nutztierhaltung. Will man Emissionen mindern, ohne die Produktion zurück zu fahren, müssen in den zugehörigen Prozessen einzelne emissionsmindernde Maßnahmen identifiziert, bewertet und eingesetzt werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung derjenigen möglichen Maßnahmen, die in der Schweinefleischproduktion von der Betriebsleitung (Management) vorgenommen werden können. Dabei wird nicht nur die Mast als Endglied der Produktionskette untersucht, sondern die gesamten Glieder der Schweineproduktion (einschl. Ferkelerzeugung, Basis- und Reinzucht) ebenso wie der Einfluss der Futter- und Mineraldüngerproduktion sowie die Bereitstellung von Energie und Wasser.

Methoden

Das mehrstufige Betriebsmodell

Das Werkzeug ist eine umfassende Stoffflussanalyse eines fiktiven Modellbetriebes, in dem möglichst viele Produktionsschritte der Thüringer Schweinefleischproduktion abgebildet werden können. Dieses so genannte „Referenzunternehmen“ verfügt über 1.000 Mastplätze und die notwendigen Sauen- und Ferkelaufzuchtplätze; einschließlich einer Basiszucht zur Erzeugung notwendiger Zuchttiere (z. B. KB-Eber und deren Haltung). Es fördert seinen Bedarf an Erdgas und Erdöl, deckt seinen eigenen Wasserbedarf, erzeugt seine eigene elektrische Energie und den nötigen Mineraldünger, baut sein Futter an, hat sein eigenes Mischfutterwerk und eine kleine Zuckerfabrik.

Die Analyse der Stoffflüsse umfasst dagegen nicht die Erstellung der notwendigen Bauten und Maschinen und bildet den Transport von Gütern nur sehr unvollständig ab.

Modellierung der Ausscheidungen und Emissionen

Die Rechnungen folgen den internationalen Regelwerken, die zur Inventarisierung von Emissionen von Klimagasen und luftverschmutzenden Gasen im Rahmen der Berichterstattung für die Klimakonvention (IPCC) bzw. dem Übereinkommen der Europäischen Union zur Reduzierung der Luftschadstoffemissionen (Regelwerk der UNECE) eingesetzt werden. Dabei mussten für die Beschreibung der zusätzlich erforderlichen Schweinekategorien (Jungsauen und -eber sowie von Ebern zur Zucht) Methoden aus den in der Emissionsberichterstattung verwendeten neu abgeleitet werden. So musste für die Beschreibung von Sauen in der Ferkelproduktion ein detailliertes Verfahren erarbeitet werden, das die Leistungsunterschiede als Funktion der Nutzungsdauer beschreibt.

Bei Mastschweinen sind die Ammoniak-Emissionen (neben Leistung und Futter) zusätzlich abhängig von der Art des Stallbodens (Teilspalten, Vollspalten) und der Fläche, die je Tier zur Verfügung steht. Die Regelwerke berücksichtigen diese Abhängigkeiten nicht. Eine Literaturrecherche sollte die Lücke schließen. Sie war nur bedingt erfolgreich.

Eingangsdaten

Referenzjahr 2015

Für das Jahr 2015, für das viele statistische Daten vorliegen, wird eine detaillierte Berechnung der Stoffströme durchgeführt, aus der ersichtlich wird, aus welchen Quellen wie viel emittiert wird. Erkennbar sind die Schwerpunkte Wirtschaftsdünger-Management und Mineraldüngeranwendung als bestimmende Quellen für Ammoniak und die Lagerung von Wirtschaftsdüngern bei den Treibhausgasen. Bei Letzteren wird jedoch deutlich, dass eine Vielzahl von Quellen gleichzeitig betrachtet werden muss.

Systematische Variation von Eingangsdaten

In einem weiteren Schritt werden die Wirkungen der Maßnahmen untersucht, die die Betriebsleitung in einem Mastbetrieb und der Ferkelerzeugung beeinflussen kann: tierische Leistung, Tiergesundheit (Tierverluste), Fütterung, Stall, Lager und Ausbringung von Wirtschaftsdüngern. Große Effekte sind bei der Umstellung von Standardfutter auf N-P-reduziertes Futter bzw. Gesundfutter, durch Abluftreinigung und durch Biogasanlagen erzielbar.

Szenarien für 2020 und 2025

In einem Expertengremium wurden die zu erwartenden Trends bezüglich der Produktionsbedingungen für die Jahre 2020 und 2025 geschätzt. Als Folge dieser Veränderungen weisen die Rechnungen eine mögliche Minderung der Emissionen um 7 % bzw. 20 % bei Ammoniak und um 3 bzw. 5 % bei Treibhausgasen für 2020 und 2025 im Vergleich zu 2015 aus, obwohl eine - wenn auch geringe - Steigerung der Produktion erwartet wird.

Expertenrunde

Die für die thüringische Schweineproduktion erhältlichen statistischen Daten sowie die Veröffentlichungen von Forschungsergebnissen waren nicht hinreichend. Die Schließung von Datenlücken sowie die Daten für die Szenarien für 2020 und 2025 wurden in einer Expertengruppe erarbeitet (Dr. Thomas Bauer, TLL; Dr. Simone Müller, TLL; Dr. Jürgen Müller, TLL; Dr. Michael Mußlick, Thüringer Ministerium für Infrastruktur und Landwirtschaft; Brigitte Neues, Qnetics GmbH; Dr. Gerd Reinhold, TLL; Hubert Schröter, TLL; Dr. Wilfried Zorn, TLL).

Ergebnisse

Systematische Variationen

Untersucht wurden die Einflüsse von

- tierischer Leistung
- Tiergesundheit, Tierverlusten

- Futterzusammensetzung
- Stall (Stalltyp, Stallboden, Abluftreinigung)
- Lager (Abdeckung, Biogasanlage)
- Ausbringung (Technik, Einarbeitungsart und -zeit)

Kombiniert man die bisher beschriebenen einzelnen Möglichkeiten zur Emissionsminderung, so ergeben sich aus den zahlreichen (kleinen) Beiträgen für NH_3 und THG ansehnliche Gesamtminderungen von etwa 26 % (relativ). Verminderter Protein-Einsatz im Futter und zunehmende Abluftreinigung sind die wesentlichen Faktoren. Die entsprechenden Minderungen bei THG betragen etwa 6 %. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 (Abb. 28 im Bericht) zusammengefasst.

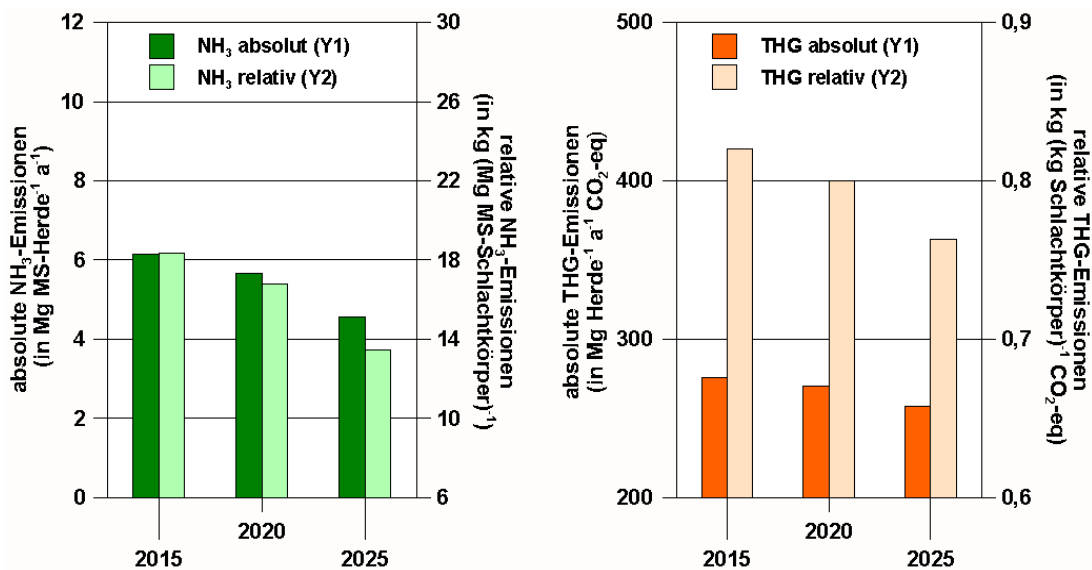


Abbildung 1: Mögliche NH_3 - und THG-Emissionen bei der Schweinemast bei Kombination aller zuvor aufgeführten Maßnahmen (Häufigkeitsverteilungen der variierten Größen nach Angaben des Expertengremiums)

Ammoniak- und Treibhausgas-Emissionen für 2015

Die Ergebnisse der Rechnungen für jede einzelne Kombination von Ausgangsdaten sind beispielhaft in Tabelle 1 (Tab. 46 im Bericht) zusammengefasst.

Die bei weitem bedeutendste NH_3 -Quelle ist der Stall (Tierhaltung im engeren Sinn), gefolgt von Ausbringung und Lager. Vor der Ausbringung ist von der ursprünglichen Menge an Ammoniak-Stickstoff (total ammoniacal nitrogen, TAN) nur noch ein Drittel vorhanden. Insgesamt wird fast die Hälfte des ausgeschiedenen N emittiert.

Etwa je ein Drittel der THG entfällt auf N_2O , CH_4 und CO_2 . Bei Festmist fällt N_2O (sowie NO und N_2) aus dem Lager an. Die Mengen sind gering im Vergleich zu den Emissionen, die nach der Düngung und beim Verrotten von Pflanzenresten auftreten.

Die Aufschlüsselung der Emissionen für eine Tierkategorie nach Quellen veranschaulicht Tabelle 2 (im Bericht Tab. 29).

Tabelle 1: Beispielhafte Zusammenstellung der Emissionen 2015 (gerundete Werte)

Emissionen von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG *	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq
Mast						
Mastschweine	6.157	338	3.813	34.317	45,5	275,4
Aufzuchtferkel	656	52	794	5.930	17,9	59,1
<i>Zwischensumme</i>	<i>6.812</i>	<i>390</i>	<i>4.608</i>	<i>40.247</i>	<i>63,4</i>	<i>334,4</i>
Ferkelproduktion						
Zuchtsauen	977	141	680	3.668	32,9	95,6
Jungsauen zur Zucht	141	12	33	930	3,1	8,6
Jungsauen zur Mast	31	2	4	126	0,7	1,6
Börge zur Mast	131	6	77	681	3,3	7,6
Aufzuchtferkel	32	4	8	212	6,0	7,6
<i>Zwischensumme</i>	<i>1.312</i>	<i>166</i>	<i>802</i>	<i>5.618</i>	<i>45,9</i>	<i>120,9</i>
Bereitstellung von KB-Ebern						
KB-Eber	3	0	0	16	0,0	0,1
Sucheber	5	0	1	26	0,0	0,2
Jungeber	6	1	1	48	0,1	0,3
Sauen zur Mast	5	0	2	27	0,1	0,2
Aufzuchtferkel	1	0	0	5	0,0	0,1
<i>Zwischensumme</i>	<i>19</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	<i>121</i>	<i>0,2</i>	<i>0,9</i>
Reinzucht						
Aufzuchtferkel	42	10	7	179	4,2	7,5
Jungeber	14	2	2	129	0,1	0,7
Zuchteber	20	1	2	92	0,1	0,7
Börge zur Mast	84	4	58	516	0,3	3,4
Jungsauen	187	16	26	818	2,4	8,6
Zuchtsauen	64	10	148	816	5,8	13,2
Sauen zur Mast	24	1	6	53	0,0	0,6
<i>Zwischensumme</i>	<i>434</i>	<i>43</i>	<i>250</i>	<i>2.603</i>	<i>12,9</i>	<i>34,7</i>

* Diese Spalte enthält diejenigen Emissionen, die als THG berichtet werden, wohingegen die folgende Spalte die gewichteten Summen der THG-Emissionen (aus CO₂, CH₄, N₂O) enthält. Verwendet wurden die Wichtungsfaktoren (Global warming potentials, GWP) für CO₂: GWP 1 kg kg⁻¹), CH₄: 25 kg kg⁻¹), N₂O: 298 kg kg⁻¹) und THG: 1 kg kg⁻¹)

Tabelle 2: Aufgliederung der Emissionen aus der Mastschweinehaltung 2015

Emission von	NH ₃	N ₂ O	CH ₄	CO ₂	THG	Summe THG
Einheit	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	kg Herde ⁻¹ a ⁻¹	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq	Mg Herde ⁻¹ a ⁻¹ CO ₂ -eq
Verdauung			911	2.259		25,0
Wirtschaftsdüngermanagement						
Stall	3.977					
Lager	231	15	2.895			76,8
Ausbringung	1146					
Management insgesamt	5.353					
Pflanzenbau						
N-Dünger	446	124				36,8
Kalk- und KAS-Anwendung				12.860		12,9
verrottende Pflanzenreste		118				35,1
Diesel im Pflanzenbau		7	7	19.091		21,4
Düngemittelherstellung						
N-Dünger	358				18,0	18,0
P-Dünger und Futterphosphat					6,4	6,4
Kalk insgesamt		0	0	108		0,1
Bereitstellung elektrische Energie						
Stallklima und -beleuchtung					14,6	14,6
Mischfutterwerk					1,8	1,8
Kalkbruch					1,3	1,3
Bereitstellung Wasser					0,9	0,9
Bereitstellung Diesel					2,6	2,6
Bereitstellung Erdgas					0,0	0,0
indirekte Emissionen						0,0
aus Landwirtschaft		69				20,7
aus Düngemittelherstellung		5				0,9
Summen	6.157	338	3.813	34.317	45,5	275,4

Stickstoff-Bilanz der thüringischen Schweinefleischerzeugung

Die Produktion von tierischem Eiweiß ist mit erheblichen Verlusten (gasförmige Emissionen von N-Verbindungen: NH₃, NO, N₂O, N₂; N-Austräge in Grund- und Oberflächenwasser) verbunden. Nur wenig mehr als die Hälfte des ursprünglich eingesetzten N ist im Nahrungsmittel verfügbar (Abb. 2, im Bericht Abb. 13).

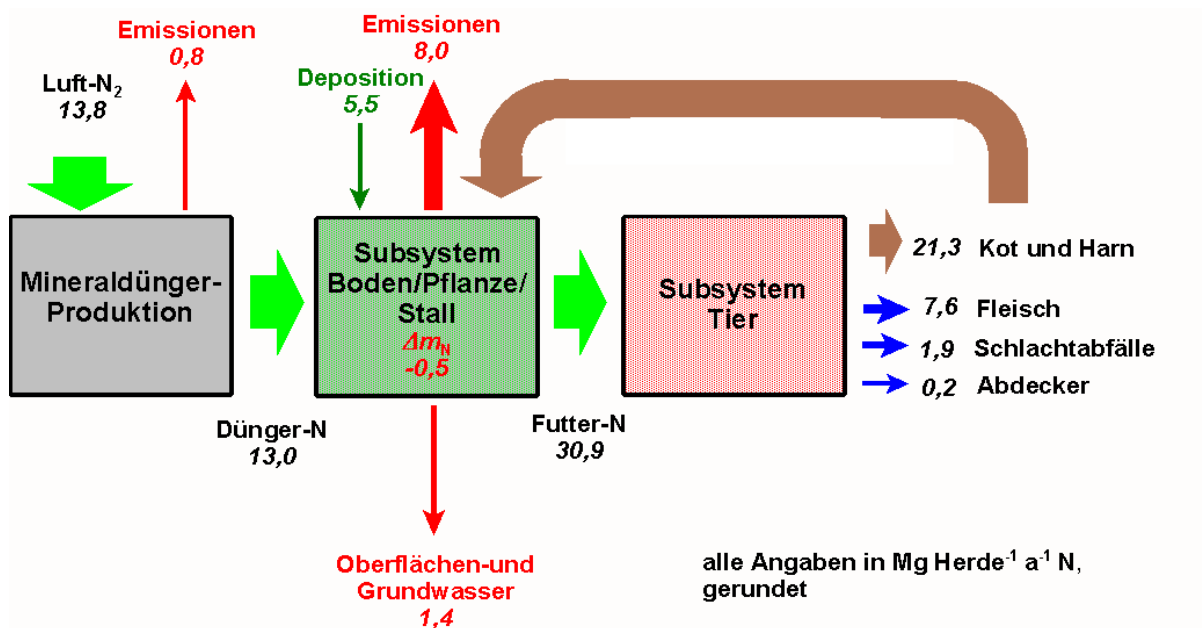


Abbildung 2: N-Bilanz der Schweinefleischproduktion im Referenzunternehmen

Handlungsbedarf und -möglichkeiten

Die international eingegangenen Verpflichtungen zur Minderung der Emissionen von Ammoniak und Treibhausgasen lassen sich nur erreichen, wenn alle Wirtschaftszweige ihren Beitrag leisten. Nahezu die gesamten Ammoniak-Emissionen rühren aus landwirtschaftlichen Quellen her. Etwa ein Viertel stammt aus der Schweinefleischproduktion.

Die Arbeit veranschaulicht, dass eine Vielzahl kleiner Minderungen im gesamten Produktionsablauf möglich ist, die sich zu nennenswerten Minderungen summieren.

Die vorgelegte Arbeit berücksichtigt allerdings die wirtschaftlichen Konsequenzen nicht.

Der **Bericht zu Projekt Nr. 25.10** ist unter

https://www.db-thueringen.de/receive/dbt_mods_00039553 zu finden.

11 Emissionen aus diffusen Quellen der Rinderhaltung

Jennifer Deichmann, Thomas Heidenreich, Jens Lippmann, Horst-Günter Kath, Marc Fröhlich, Frank Rothe, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Einleitung

Im Gegensatz zur Relevanz der Emissionen steht der wissenschaftliche Kenntnisstand speziell zu den diffusen Quellen der Tierhaltung, wie Ausläufen, Festmistlagern, Güllelagern und Rinderställen. Speziell die im Rahmen der Forderung nach mehr Tierwohl vermehrt geplanten Ausläufe bereiten den Genehmigungsbehörden Schwierigkeiten in der Bewertung, da hierfür keine bzw. keine validen Emissionsfaktoren für Geruch und Ammoniak zur Verfügung stehen. Um die Datengrundlage zur Ableitung von Emissionsfaktoren zu verbessern, hat das Referat 74 des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie das Projekt „Diffuse Quellen der Rinderhaltung“ geschaffen. Es wurden von 07/2016 bis 11/2017 Messungen an einem Milchviehstall, 2 Gärrestlagern sowie einem Auslauf durchgeführt und die Emissionsfaktoren für Ammoniak, Methan, Lachgas, Staub und Geruch berechnet.

Material und Methoden

Messobjekte

Milchviehstall

Der Außenklimastall mit freier Lüftung ist als Liegeboxenlaufstall (94 m x 36 m) mit 300 Milchkuhplätzen ausgeführt und wurde während des Versuchszeitraums mit durchschnittlich 250 Milchkühen (laktierend + trockengestellt) mit einer durchschnittlichen Milchleistung von 31 l je Kuh und Tag bewirtschaftet. Mehrere über den Liegeboxen angebrachte Ventilatoren unterstützen bei Bedarf die Luftströmung entlang der Längsachse des Stalls. Für separierte und abkalbende Kühe beträgt die Liege- und Lauffläche ca. 360 m² und ist mit Stroh eingestreut. Für die laktierenden Kühe beträgt die Lauffläche ca. 1.350 m² (4,5 m²/TP bzw. 5,4 m²/Tier) und die Liegefläche ca. 1.140 m².

Die Stallkonstruktion besteht aus Stahlständern. Die Giebelwände sind aus Blech mit jeweils 5 Toröffnungen. Die Stalllängsseiten und der First sind offen und können mit Curtains manuell geschlossen werden. Die Entmistung der planbefestigten Laufgänge erfolgt stündlich durch Faltschieber. Die Liegeboxen werden im Rhythmus von 3 bis 4 Wochen mit einem Kalk-Stroh-Gemisch (ca. 16 kg/Kuhplatz) nachgestreut.

Das Melksystem besteht aus 4 Melkrobotern. Hierdurch ergibt sich eine Teilung der Herde in 4 Gruppen. Der Luftwechsel im Stall wird durch das Management von Toren und Curtains individuell beeinflusst. Die Tore an den Giebeln sind geschlossen und werden nur bei hohen Temperaturen geöffnet. Die Curtains sind im Winter zu und im Sommer geöffnet. Während der Übergangsphasen (Herbst und Frühling) werden sie individuell nach Bedarf bedient. Die Curtains an der Firstöffnung sind überwiegend geöffnet und werden bei Regen mit ungünstiger Windrichtung (Vernässung des Futtertisches) individuell geschlossen.

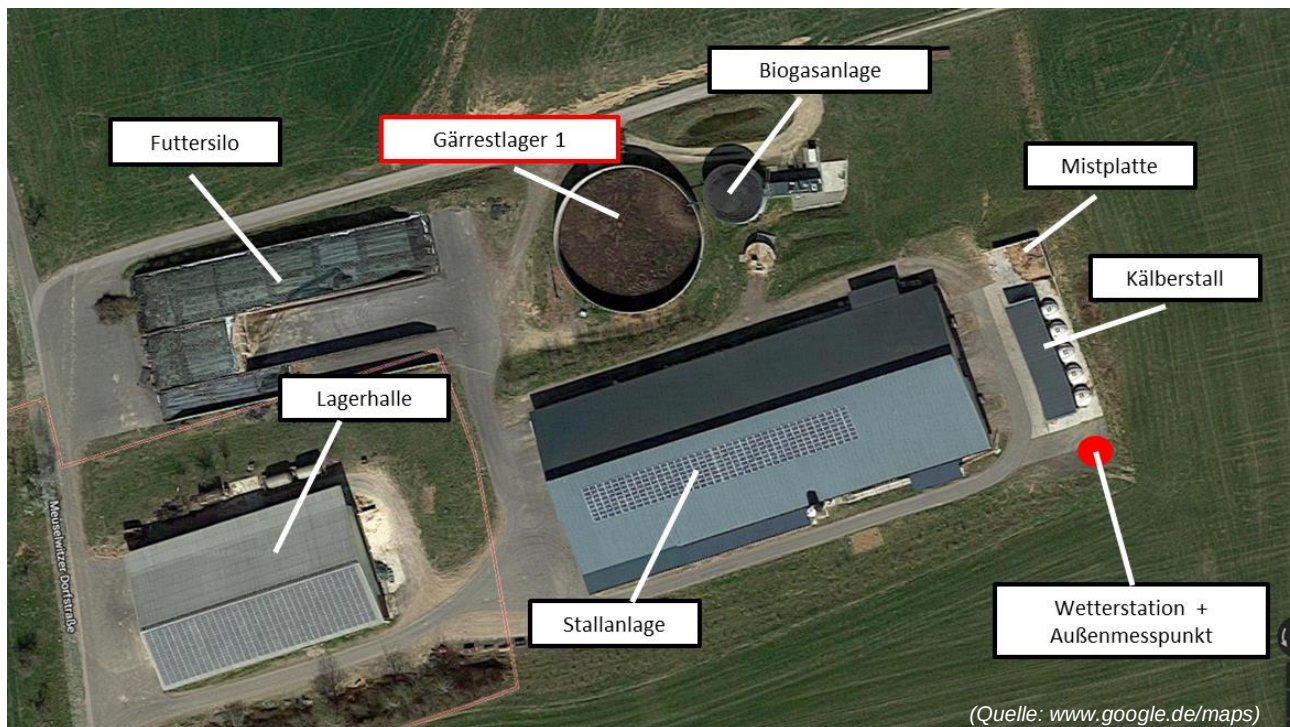


Abbildung 1: Beschriftetes Luftbild vom Milchviehstall

Gärrestlager 1

Das Gärrestlagerbecken befindet sich auf dem Betriebsgelände des ebenfalls in diesem Projekt untersuchten Milchviehstalls (Abb. 1). Es liegt nördlich der Stallanlage. Die Biogasanlage wird zu 100 % mit Gülle aus dem Stall beschickt. Die Verweildauer in der Biogasanlage beträgt ca. 40 Tage. Die Befüllung erfolgt oberhalb des Gärrestspiegels. Mit einem Durchmesser von 33 m und einer Wandhöhe von 6 m (Lagerhöhe ca. 5,5 m) hat es ein Volumen von ca. 5.700 m³ und eine Oberfläche von 855 m².

Gärrestlager 2

Das Gärrestlagerbecken befindet sich nordöstlich des dazugehörigen Milchviehstalls. Ein zweites vergleichbares Becken schließt sich nördlich an. Die Becken werden wechselnd aus der Biogasanlage befüllt. Die Verweildauer in der Biogasanlage beträgt ca. 40 Tage. Die Befüllung erfolgt unterhalb des Gärrestspiegels. Die Wandhöhe beträgt 6 m, davon sind 4,50 m oberirdisch. Der Durchmesser beträgt 28,00 m und die Oberfläche 616 m². Bei einer möglichen Füllhöhe von 5,50 m hat das Becken ein Fassungsvermögen von ca. 3.400 m³.

Auslauf

Der Auslauf befindet sich zwischen zwei Rinderställen und wird auf einer Seite von der Stallwand, auf der anderen Seite von überdachten Hochliegeboxen begrenzt. Der Auslauf ist über 3 Zugänge mit dem angrenzenden Stall verbunden und kann von den Tieren jederzeit genutzt werden. Die Fläche ist 65 m lang und 5 m breit. Hiervon sind 2,5 m nicht überdachte Lauffläche und 2,5 m überdachte Liegefläche. Die Lauffläche ist planbefestigt, besteht aus Beton und ist mit Gummimatten belegt. Sie wird stündlich durch einen Faltschieber gereinigt.

Messaufbau und -ablauf

Die Messungen der Parameter Ammoniak, Kohlenstoffdioxid, Methan, Lachgas, Wasserdampf, Meteorologie und Staub sowie die Messung zur Qualitätssicherung wurden von der staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft Fachbereich 24 (BfUL) durchgeführt.

Die Probenahme für die Geruchsanalyse, die Erfassung der betriebsspezifischen Randbedingungen sowie die Berichterstattung wurden von Dr. Jens Lippmann vom Albrecht-Daniel-Thaer-Institut für Agrar- und Veterinärwissenschaften e.V. Leipzig durchgeführt.

Stallmessungen

Gasmessung

Die Konzentrationen von Ammoniak (NH_3), Kohlenstoffdioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und Wasserdampf (H_2O) wurden in der Stallluft sowie der Umgebungsluft gemessen. Hierfür wurde jeweils mindestens eine 14-tägige Messkampagne innerhalb der Außentemperaturbereiche $< 5^\circ\text{C}$ (Winter), $5\text{--}15^\circ\text{C}$ (Übergang) und $> 15^\circ\text{C}$ (Sommer) durchgeführt. Die Analyseluft wurde dabei im Stall über 2 Messleitungen, die über die gesamte Stalllänge über den Liegeboxenreihen in einer Höhe von etwa 3 m angebracht wurden, zu den Messgeräten geführt. Jede Messleitung verfügt über 4 Öffnungen gleichmäßig verteilt auf die gesamte Länge der Leitung (Abb. 2). Diese 4 Lufteinlässe wurden mit kritischen Kapillaren versehen, um einen gleichmäßigen Volumenstrom an jeder Öffnung zu gewährleisten. Um die Verschmutzung der Analyseluft zu verhindern, war jede Öffnung mit einem Glasfaserfilter des Typ K versehen. Für die Gaskonzentrationsmessungen wurden 3 Multigasmonitore (MGM) eingesetzt. An jeder der beiden Messleitungen war ein MGM angeschlossen. Der dritte MGM analysierte die Umgebungsluft des Außenmesspunkts.

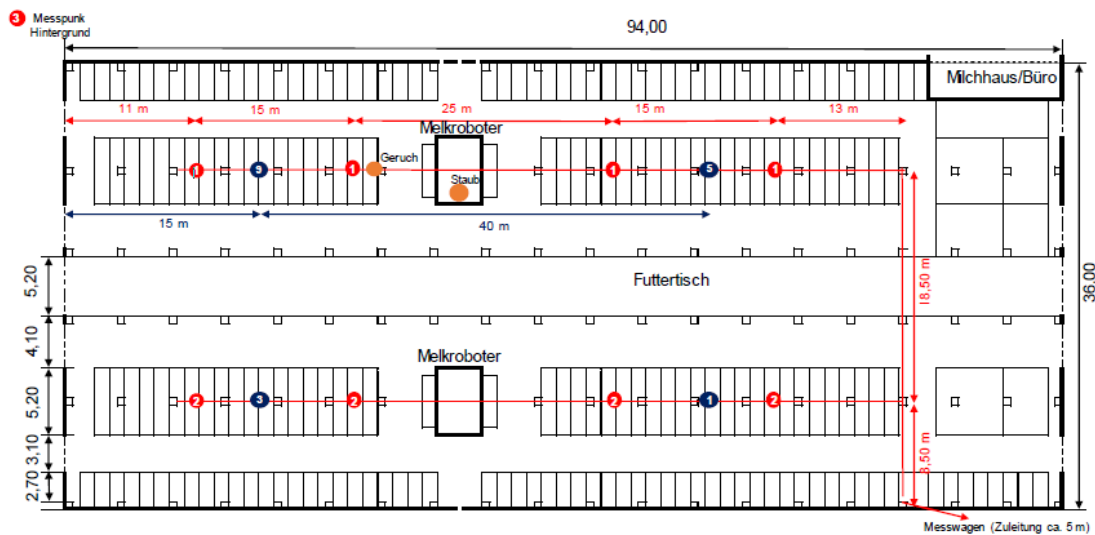


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Messaufbaus der Stallmessungen (rot= die Messleitungen mit den einzelnen Öffnungen, blau= die Standorte der Temperatur- und Feuchtemessung, gelb= die Probenahmestellen für Staub und Geruch)

Staubmessung und Geruchsprouahme

Die Staub- und Geruchsprouahmen wurden je Messkampagne an zwei Tagen durchgeführt. Die Stellen der Prouahme sind in der Abbildung 2 gelb markiert. Zur Bestimmung der Staubkonzentration in der Stallluft wurden Luftprouben über 24 Stunden mittels Impaktoren für die Bestimmung von Gesamtstaub sowie für die Staubklassen PM_{10} und $\text{PM}_{2.5}$ entnommen und die Staubmasse im Labor gravimetrisch bestimmt. Der Sammelort befand sich stallmittig in ca. 4 m Höhe. Die Entnahme von Geruchsprouben erfolgte parallel zur Staubmessung über jeweils dreimal eine Stunde in einer Höhe von 2,50 m. Die Geruchsprouben wurden innerhalb von 6 Stunden im Labor ERGO Umweltinstitut GmbH nach DIN EN 13725 2003-07 analysiert. Die Prouahmezeit der Geruchsprouben lag zwischen 8 und 12 Uhr.

Randbedingungen

Die Lufttemperatur und –feuchte wurden in den untersuchten Ställen kontinuierlich gemessen (Messgerät: TinyTag Plus). Es wurden 4 Messstellen in ca. 3 m Höhe über dem Stallboden eingerichtet.

Mittels einer Wetterstation im Umfeld des Emittenten (Abb. 1) wurden Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit und –richtung, Luftdruck sowie Globalstrahlung erfasst.

Ausgewählte Kenndaten der Herde bzw. des Stalles wurden mehrmals innerhalb jeder Messkampagne erhoben. Auf dieser Basis wurden mittlere Kenndaten für den untersuchten Zeitraum berechnet. Es wurden die mittleren Kennwerte Laktationstag, tägliche Milchleistung je Kuh sowie die Anzahl der Kühe im Stall und hiervon trockengestellte Kühe für den Datenpool bereitgestellt. Zur Beurteilung des Verschmutzungsgrades der Flächen wurden repräsentative Teilareale fotodokumentiert. Zu jedem Stallbesuch wurden die Stellungen der Curtains erfasst.

Gärrestlager- und Auslaufmessungen

Gasmessung

Der Messaufbau bestand aus einer Messhaube aus PVC mit einem Durchmesser von 295 mm und einer Höhe von 110 mm, welche auf die emittierende Oberfläche aufgesetzt wurde. Die Messhaube verfügte über zwei Öffnungen, über die die Luft mit einem Volumenstrom von 3 l/min im Kreislauf geführt wurde (Abb. 2). Die dafür verwendeten Schläuche waren aus PTFE mit einem Innendurchmesser von 2 mm und einer Länge von 25 m (beide zusammen 50 m). Der Konzentrationsanstieg der Komponenten NH_3 , N_2O , CO_2 , H_2O und CH_4 der umlaufenden Luft wurde mittels FTIR-Messgerät Ansyco DX4000 (Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer) in einem Messzyklus von 10 Sekunden und einer Integrationszeit von 8 Sekunden analysiert.

Nach einer Messdauer von ca. 20-120 Sekunden wurde die Haube angehoben und mit Umgebungsluft gespült, bis die Konzentrationen wieder ein konstant niedriges Niveau erreicht hatten, bevor mit der neuen Messung begonnen wurde.

An einem Messtag wurden sowohl im Auslauf wie im Gärrestlager 3 Messpunkte mit je drei Wiederholungen gemessen, sodass an einem Messtag in der Regel 9 Einzelmessungen durchgeführt wurden. Im Auslauf wurden die 3 Messpunkte so ausgewählt, dass die verschiedenen Zustände der Fläche wiederspiegelt wurden.

Die Messpunkte der Gärrestbehälter befanden sich in folgenden Abständen zum Behälterrand:

- MP1 = 1-3 m
- MP2 = 3-7 m
- MP3 = 8-20 m

Zur Beprobung der Messpunkte wurde eine Messtrasse aus Drahtseil mit Hilfe von 2 Seilwinden quer über den Behälter gespannt. Die Messhaube wurde mit 2 Schwimmhilfen aus Styropor versehen und mit den Seilwinden über den Behälter bewegt. Ein zusätzliches Seil wurde zum Absenken und Heben der Messhaube verwendet.

Geruchsproubenahme

Es wurde für jeden der Messpunkte jeweils vor oder nach der Gasmessung eine Geruchsproube entnommen. Dafür wurde das Kreislaufverfahren unterbrochen. Die Luft in der Messhaube wurde durch ein Probenahmegerät in einen 10 Liter Nalophanbeutel überführt. Die Probenahmedauer betrug ca. 15 Minuten. Zudem wurde eine Geruchsproube der Umgebungsluft etwa 5 m neben dem Gärrestbehälter bzw. dem Auslauf über den gesamten Messzeitraum genommen. Die Geruchsprouben wurden innerhalb von 6 Stunden im Labor ERGO Umweltinstitut GmbH nach DIN EN 13725 2003-07 analysiert.

Randbedingungen

Das Wetter wurde mit einer mobilen Wetterstation erfasst. Die Oberflächentemperatur des Auslaufes sowie der Schwimmschicht wurden an einem repräsentativen Messpunkt mit einem Infrarotthermometer gemessen. Die Gärresttemperatur wurde 1 m unterhalb der Schwimmschicht an einem Punkt nahe dem Beckenrand mit einem Thermoelement Typ K gemessen.

Die Oberflächenbeschaffenheit der Messpunkte wurde mit folgenden Schlüsseln erfasst (Tab. 1 und Tab. 2):

Tabelle 1: Schlüssel zur Erfassung der Oberflächenbeschaffenheit der Gärrestlager

A - Zustand Schwimmschicht	B - Stabilität der Schwimmschicht	C - Feuchte der Schwimmschicht
1 - keine (offene Gärrestoberfläche)	1 - stabil - Messhaube hinterlässt kaum Spuren	1 - feucht
2 - undicht (Risse vorhanden)	2 - instabil - Messhaube hinterlässt deutliche Spuren	2 - trocken
3 - geschlossen (keinerlei Risse)		3 - nass

Tabelle 2: Schlüssel zur Erfassung der Oberflächenbeschaffenheit des Auslaufs

A - Grad der Verschmutzung	B - Art der Verschmutzung	C - Feuchte der Messstelle
1 - leicht	1 - vorrangig Kot	1 - trocken
2 - mittel	2 - vorrangig Urin	2 - feucht
3 - stark	3 - Kot/Urin	3 - nass

Qualitätssicherung

Stallmessungen

Zur Sicherung der Datenqualität wurde im Anschluss an das Projekt eine Qualitätssicherungsmessung durchgeführt, bei der im Stall über 7 Tage parallel zum Multigasmonitor (MGM) ein FTIR-Gerät (Bruker Matrix MG5) betrieben wurde. Dabei wurden Abweichungen der Messwerthöhe zwischen den Geräten festgestellt. Die Messwerte des MGM lagen für NH_3 und CH_4 über denen des FTIR, wobei die Tagesprofile beinahe identisch verliefen. Eine Regressionsanalyse der Werte ergab eine statistisch gesicherte Äquivalenz der beiden Geräte für CO_2 ($R^2=0,995$) und CH_4 ($R^2=0,991$) mit einer relativen Unsicherheit von 1,3 % und 8 %. Für NH_3 konnte durch die relative Unsicherheit von 34 % trotz eines R^2 von 0,905 keine Äquivalenz angenommen werden. Dies macht eine Korrektur der MGM-Werte für NH_3 nötig, die mit Hilfe der Regressionsfunktion erfolgte. Da die Konstante der Funktion mit -0,016 zu vernachlässigen ist, erfolgte die Umrechnung mithilfe des ermittelten Anstieges, welcher in einem Konversionsfaktor von 0,73 für die NH_3 -Werte des MGM resultierte. Für N_2O konnte keinerlei Zusammenhang der MGM- und FTIR-Werte festgestellt werden. Damit war eine Auswertung der N_2O -Werte für die Stallmessungen nicht möglich.

Gärrest- und Auslaufmessungen

Da die Auswertung auf der subjektiven Festlegung des linearen Kurvenbereichs beruht, wurde am Beispiel der NH_3 -Kurvenanstiege der Auslaufmessungen eine Wiederholbarkeitsanalyse durchgeführt. Dafür wurde die Auswertung der Kurven zu drei unterschiedlichen Zeitpunkten wiederholt. Die längste Zeitspanne zwischen zwei Auswertungen betrug dabei ein halbes Jahr. Anschließend wurden die Korrelationskoeffizienten nach Pearson zwischen allen Auswertungen gebildet und gemittelt. Es ergab sich ein mittlerer Korrelationskoeffizient von 0,89 und damit ein starker Zusammenhang und eine gute Wiederholbarkeit. Es ist jedoch zu bemerken, dass sich die NH_3 -Kurven durch gleichmäßige Anstiege auszeichneten, was bei CH_4 nicht der Fall war. Daher ist davon auszugehen, dass die Wiederholbarkeit für CH_4 deutlich geringer ausfällt.

Berechnung der Emissionen

Stallmessungen

Die Daten aller Messgeräte sowie der Wetterstation wurden in Excel übertragen und zeitlich synchronisiert sowie auf Stundenwerte gemittelt. Anschließend wurden alle Datensätze mit der Windrichtung 50-230° für die Analyse ausgewählt. Es folgte die Berechnung des Mittelwertes der Schadgaskonzentrationen aus beiden Messleitungen sowie für Stalltemperatur und –feuchte aus allen Messpunkten. Anschließend wurde mit Hilfe der CO₂-Bilanz der mittlere Volumenstrom [m³/(hpu h)] (hpu = heat-production-unit) für jede Stunde berechnet (PEDERSEN et al. 2008).

Hierbei wurde eine CO₂-Produktion von 0,2 m³/h*hpu (PEDERSEN et al. 2008) zugrunde gelegt, die sowohl die CO₂-Produktion der Tiere als auch die der Exkremente berücksichtigt.

Um den Volumenstrom des gesamten Stalles zu berechnen, wurde die durchschnittliche Wärmeleistung der laktierenden sowie der trockenstehenden Kühe berechnet (CIGR 1984). Der mittlere Trächtigkeitstag für laktierende Tiere wurde dabei mit 76, der von trockengestellten Tieren mit 250 und das mittlere Tiergewicht mit 650 kg angenommen. Die Wärmeproduktion wurde über einen Temperaturkorrekturfaktor (CIGR 1984) für die Umgebungsluft der Tiere korrigiert. Addiert man nun die Wärmeleistung aller laktierenden und aller trockenstehenden Tiere, erhält man die Gesamtwärmeleistung des Stalles, mit deren Hilfe sich der Volumenstrom des gesamten Stalles berechnen lässt.

Mit Hilfe des Volumenstroms des gesamten Stalles und der Gaskonzentrationen wurde der Emissionsmassenstrom der einzelnen Gase nach Formel (1) berechnet.

$$E = \frac{V_{ges} \cdot (K_{innen} - K_{außen})}{TP} \quad (1)$$

Dabei ist:

<i>E</i>	<i>Emissionsmassenstrom [mg h⁻¹ TP⁻¹]</i>
<i>V_{ges}</i>	<i>Volumenstrom des gesamten Stalles [m³ h⁻¹]</i>
<i>K_{innen}</i>	<i>Gaskonzentration im Stall [mg m⁻³]</i>
<i>K_{außen}</i>	<i>Gaskonzentration am Außenmesspunkt (Vorbelastung) [mg m⁻³]</i>
<i>TP</i>	<i>Anzahl Tierplätze</i>

Die Vorbelastung (*K_{außen}*) wurde dabei für die ersten beiden Messkampagnen an beiden Standorten durch Ersatzwerte ersetzt, da hier noch keine Erfassung aller Parameter am Außenmesspunkt erfolgte. Für NH₃ erfolgte ein Ersatz der Außenluftwerte über alle Messkampagnen, da in diesem niedrigen Konzentrationsbereich eine Korrektur der Messwerte wie für die Innenkonzentration zu fehlerbehaftet wäre.

Der Jahresemissionsfaktor wurde anschließend berechnet, indem die Anzahl der Jahresstunden der Klimabereiche „Sommer“, „Winter“ und „Übergang“ mit dem mittleren Emissionsmassenstrom des jeweiligen Klimabereichs multipliziert und die erhaltenen Massenströme addiert und durch die Tierplätze geteilt wurden. Dabei wurden für den Klimabereich Sommer 2.208 für den Übergang 4.392 und für den Winter 2.160 Stunden angesetzt (HEIDENREICH et al. 2008).

Gärrestlager- und Auslaufmessungen

Für jede Messung wurde die Quellstärke berechnet, indem zuerst die Messwerte als Liniendiagramm dargestellt und der lineare Bereich der Kurve bestimmt wurde. Start- und Endpunkt dieses Bereiches wurden zur Berechnung der Quellstärke nach VDI 4285-1 (VDI, 2005) verwendet. Da die angewendete Formel nur auf den linearen Kurvenbereich anzuwenden ist, wurde die Linearität des ausgewählten Kurvenbereichs mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes überprüft ($R^2 \geq 0,9$).

War kein Anstieg erkennbar, wurde der Wert 0 für die Quellstärke eingesetzt. War ein Anstieg erkennbar, aber kein eindeutiger, linearer Bereich feststellbar, wurde die Messung als nicht

auswertbar gewertet. Dies betraf beim Auslauf 10 Messungen für CH₄. Beim Gärrestlager betraf dies für NH₃ 24, für N₂O 3 und für CH₄ einen Wert.

Zur Berechnung des Geruchsemissionsfaktors wurde zunächst die ermittelte Vorbelastung von der Geruchskonzentration abgezogen. Anschließend wurde die Geruchskonzentration [GE/m³] mit dem Volumenstrom unter der Haube [m³/s] multipliziert. Der gewonnene Wert [GE/s] bezieht sich auf die von der Haube abgedeckte Fläche (0,068 m²) und wird auf einen Quadratmeter bezogen, indem mit 1/0,068 multipliziert wird.

Ergebnisse

Stallmessungen

Gasmessungen

Es wurden fünf (2 Sommer, 2 Übergang, 1 Winter) Messkampagnen durchgeführt. Die über alle Messkampagnen gemittelte Konzentration von NH₃ sowie von CH₄ betrug 1,30 mg NH₃/m³ und 12,91 mg CH₄/m³. Die jahreszeitliche Variation der Gaskonzentration ist in Tabelle 3 ersichtlich. Die höchsten Konzentrationen werden im Winter erreicht, wobei für NH₃ etwa das Doppelte und für CH₄ das Dreifache der Sommerkonzentration erreicht wird.

Tabelle 3: Gaskonzentrationen im Stall aufgeschlüsselt nach Jahreszeiten

Standort Jahreszeit			NH ₃ [mg/m ³]	CH ₄ [mg/m ³]	CO ₂ [mg/m ³]
Stall	Sommer	N	701	701	701
		Mittelwert	1,15	8,90	991,69
		Standardabweichung	0,62	3,67	94,03
	Übergang	N	1.009	1.009	1.009
		Mittelwert	0,97	9,40	1.051,89
		Standardabweichung	0,67	3,48	88,53
	Winter	N	470	470	470
		Mittelwert	2,22	26,41	1.487,86
		Standardabweichung	1,28	15,74	397,33
	Insgesamt	N	2.180	2.180	2.180
		Mittelwert	1,30	12,91	1.126,53
		Standardabweichung	0,96	10,65	277,55

Die Gaskonzentration von NH₃ und CH₄ unterscheidet sich signifikant zwischen den beiden Messleitungen und damit zwischen den beiden Stallseiten. Dabei ist die Gaskonzentration in Hauptwindrichtung bei der zuluftseitigen Messleitung deutlich geringer als die der abluftseitigen Messleitung.

Nach dem Datenausschluss wurden insgesamt 1.488 Messstunden in die Berechnung der Emissionsfaktoren einbezogen.

Tabelle 4: Mittlere Wetterbedingungen der Stallmessungen

Standort	Windgeschwindigkeit [m/s]	Lufttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Luftdruck [hPa]	Globalstrahlung [W/m²]	Stalltemp. [°C]	Stallluftfeuchte [%]
Stall N	1.069	1.069	1.061	1.069	1.069	1.109	1.109
Mittelwert	2,64	6,94	82,59	989,06	93,92	9,61	81,72
Standardabweichung	1,46	7,89	13,61	8,36	176,80	6,22	10,34

Im Mittel hatten laktierende Kühe eine Wärmeproduktion von rund 1.600 W und trockenstehende Tiere von 1.100 W. Die mittleren Volumenströme je Klimabereich sind in Tabelle 5 ersichtlich. Der Volumenstrom wird in erster Linie durch das Zusammenspiel von Windgeschwindigkeit und Öffnungsgrad der Curtains beeinflusst. Es zeigt sich die typische Veränderung des Volumenstroms mit den Jahreszeiten: Die höchsten Volumenströme werden im Sommer bei offenen Curtains erzielt. Mit dem abnehmenden Öffnungsgrad der Curtains im Übergang und Winter fallen auch die Volumenströme trotz höherer Windgeschwindigkeit ab.

Für den Stall wurden die in Tabelle 6 dargestellten Emissionsfaktoren berechnet. Unter der Berücksichtigung der Stundenanteile der einzelnen Jahreszeiten ergeben sich Jahresemissionsfaktoren von 18,7 kg NH₃/(TP a) und 133,0 kg CH₄/(TP a).

Die Geruchsmessungen wurden an insgesamt 10 Messtagen durchgeführt mit je 3 Proben pro Tag. Das geometrische Mittel der Geruchskonzentration lag bei 170 GE/m³. Nach Ausschluss von Konzentrationswerten, für die aufgrund falscher Windrichtung kein gültiger Volumenstrom berechnet werden konnte, blieben 17 Konzentrationsmesswerte übrig (Tabelle 7). Der berechnete Emissionsfaktor für Geruch beträgt 87 GE/m³.

Tabelle 5: Mittlere Volumenströme und Windgeschwindigkeit aufgeschlüsselt nach Jahreszeit

Standort	Jahreszeit	Volumenstrom [m³/(TP h)]	Windgeschwindigkeit [m/s]
Stall	Sommer	N	247
		Mittelwert	3.030,88
		Standardabweichung	1.252,45
	Übergang	N	468
		Mittelwert	2.328,81
		Standardabweichung	974,68
	Winter	N	394
		Mittelwert	1.146,21
		Standardabweichung	585,20
	Insgesamt	N	1109
		Mittelwert	2.065,03
		Standardabweichung	1.186,46

Tabelle 6: Emissionsfaktoren der Stallmessungen aufgeschlüsselt nach Jahreszeit

Standort	Jahreszeit		NH ₃ [kg/(TP a)]	CH ₄ [kg/(TP a)]
Stall	Sommer	N	247	247
		Mittelwert	20,56	99,26
		Standardabweichung	9,67	42,21
	Übergang	N	468	468
		Mittelwert	19,07	134,47
		Standardabweichung	10,94	29,00
	Winter	N	394	394
		Mittelwert	16,08	164,57
		Standardabweichung	5,85	36,49
	Insgesamt	N	1.109	1.109
		Mittelwert	18,34	137,32
		Standardabweichung	9,30	42,57

Tabelle 7: Mittlerer Geruchsemissionsfaktor der Stallmessungen aufgeschlüsselt nach Jahreszeit

Standort	Jahreszeit		Geruchsemissionsfaktor [GE/(GV s)]
Stall	Sommer	N	6
		Mittelwert	113,60
		Standardabweichung	70,50
	Übergang	N	6
		Mittelwert	105,53
		Standardabweichung	51,08
	Winter	N	5
		Mittelwert	33,57
		Standardabweichung	12,69
	Insgesamt	N	17
		Mittelwert	87,22
		Standardabweichung	60,79

Staub

Die Staubkonzentration wurde an 10 Messtagen erfasst. Die mittleren Staubkonzentrationen sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Mittlere Staubkonzentrationen der Stallmessungen

Standort		Konzentration [mg/m³]		
		Gesamtstaub	PM10	PM2,5
Stall	N	10	10	10
	Mittelwert	0,18	0,03	0,02
	Standardabweichung	0,09	0,02	0,02

Für Gesamtstaub, PM₁₀-Staub und PM_{2,5}-Staub ergaben sich folgende Jahresemissionsfaktoren: 2,5; 0,4 und 0,2 [kg/(TP a)].

Gärrestlagermessungen

Insgesamt wurden an den Gärrestbehältern an 11 Messtagen 102 Einzelmessungen (45 an Gärrestlager 1, 57 an Gärrestlager 2) vorgenommen. Es wurden alle Klimabereiche (Winter, Sommer, Übergang) mit je mindestens einem Messtag abgedeckt. Eine Übersicht zu den durchschnittlich während der Messungen vorherrschenden Wetterbedingungen gibt Tabelle 9.

Tabelle 9: Durchschnittliche Wetterbedingungen während der Gärrestlagermessungen

Standort		Wind- geschwin- digkeit [m/s]	Luft- temp. [°C]	rel. Feuchte [%]	Luft- druck [hPa]	Global- strah- lung [W/m²]	Gülle- volumen [m³]	Ober- flächen- temp. [°C]	Gärrest- temp. 1m [°C]
Gärrest- lager 1	N	5	5	5	5	5	5	5	5
	Mittelwert	4,3	14,3	67,9	979,3	477,9	2172	16,0	17,1
	STD	2,6	9,4	14,5	9,0	258,1	937	11,7	5,1
	Minimum	1,7	1,8	48,3	968,0	187,9	1283	0,8	9,2
	Maximum	8,1	23,5	84,5	991,8	847,3	3763	28,0	21,3
Gärrest- lager 2	N	6	6	6	6	5	6	6	6
	Mittelwert	2,1	10,8	74,7	987,7	224,3	1307	13,7	22,2
	STD	1,9	6,7	16,2	5,9	209,3	736	8,1	3,8
	Minimum	0,7	3,8	56,0	977,5	40,0	800	6,1	19,0
	Maximum	5,7	20,8	95,4	994,1	559,4	2709	28,0	29,0

Die mittlere Windgeschwindigkeit an Gärrestlager 1 ist doppelt so hoch im Vergleich zu der an Gärrestlager 2. Dies spielt für die Messungen allerdings eine untergeordnete Rolle, da durch das Aufsetzen der Haube während der Messung der Einfluss des Windes auf die Messstelle ausgeschlossen wird. Weiterhin sind die mittlere Lufttemperatur sowie die Globalstrahlung an Gärrestlager 1 höher, da lediglich ein Wintermesstag in die Statistik eingegangen ist. Die emissionsrelevanten Parameter Gärresttemperatur und Gärrestvolumen weisen ebenfalls Unterschiede zwischen den beiden Standorten auf. An Gärrestlager 2 ist das Gärrestvolumen deutlich geringer bei gleichzeitig höherer Durchschnittstemperatur.

Es wurden zu gleichen Teilen Messungen auf geschlossener bzw. undichter/offener Schwimmschicht (N= ca. 40) durchgeführt. Lediglich bei Gärrestlager 2 gelang es an einem Tag, Messungen ohne Schwimmschicht durchzuführen, weshalb die Anzahl an Werten mit 9 hier sehr gering ist. An beiden Standorten wurden etwa 70 % der Messungen auf feuchter und 30 % auf trockener Schwimmschicht durchgeführt. An Gärrestlager 2 wurden öfter Stellen mit einer stabilen Schwimmschicht gemessen, während das Verhältnis zwischen Messstellen mit stabiler und instabiler Schwimmschicht an Gärrestlager 1 gleich war.

Betrachtet man die Geruchskonzentrationswerte der beiden Standorte in Abbildung 3 und Abbildung 4, erkennt man in Gärrestlager 1 eine relativ gleichmäßige Geruchskonzentration des Gärrestes über das Jahr hinweg, wobei in Gärrestlager 2 signifikante Unterschiede innerhalb des Jahres auftreten. Die Geruchskonzentrationen im Sommer und Übergang unterscheiden sich hier signifikant von denen im Winter ($p < 0,01$). Die Entwicklung der Geruchskonzentrationshöhe in den Jahreszeiten verläuft an den beiden Standorten genau gegensätzlich. Das geometrische Mittel der Geruchskonzentration in Gärrestlager 1 liegt bei 73 GE/m^3 , das in Gärrestlager 2 bei 681 GE/m^3 .

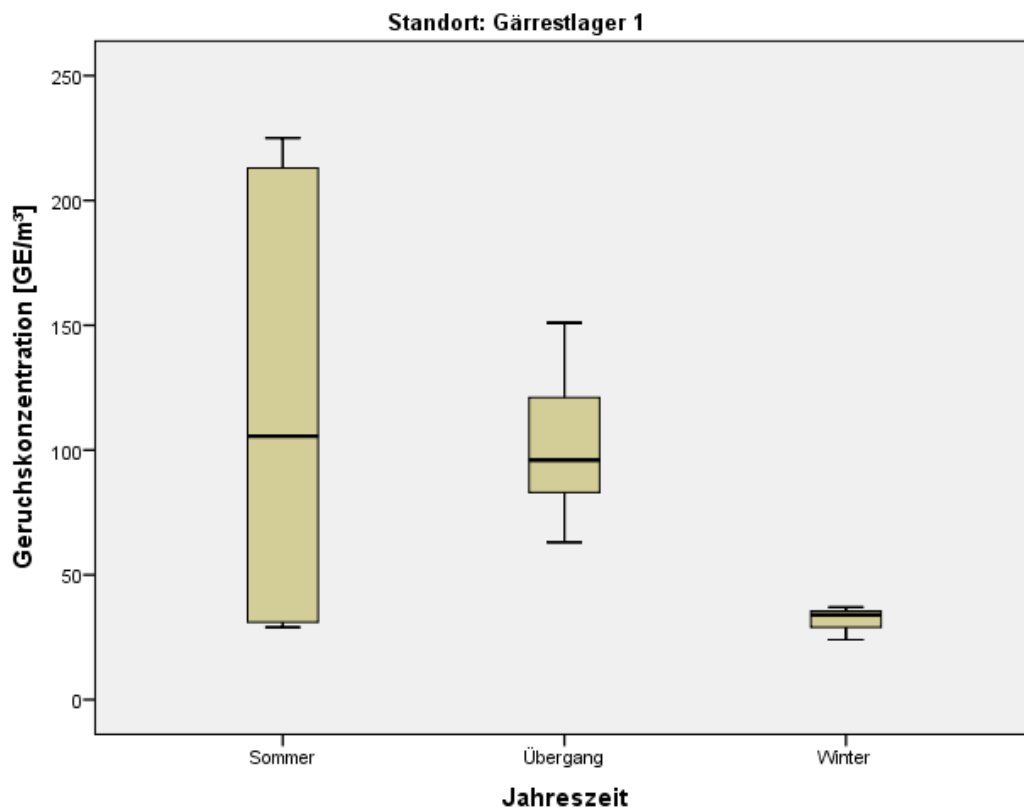


Abbildung 3: Boxplots der Geruchskonzentration der Jahreszeiten an Gärrestlager 1

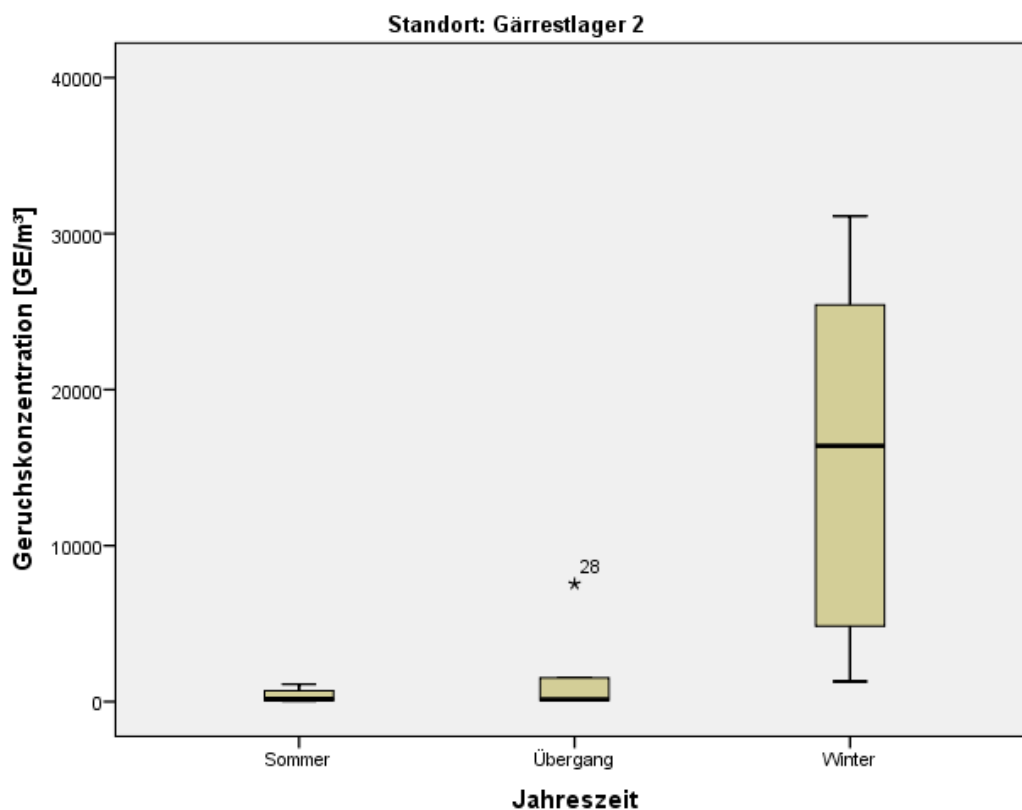


Abbildung 4: Boxplots der Geruchskonzentration der Jahreszeiten an Gärrestlager 2

Tabelle 10: Mittlere Emissionsfaktoren der Gärrestlagermessungen

Standort		NH ₃ [g/(m ² d)]	CH ₄ [g/(m ² d)]	N ₂ O [g/(m ² d)]	Geruch [GE/(m ² s)]
Gärrestlager 1	N	42	35	33	15
	Mittelwert	0,83*	231,22	0,29*	0,05
	Standardabweichung	0,94	213,14	0,41	0,05
Gärrestlager 2	N	35	56	55	17
	Mittelwert	0,33*	205,11	0,08*	3,18
	Standardabweichung	0,59	178,32	0,11	5,95
Insgesamt	N	77	91	88	32
	Mittelwert	0,60	215,15	0,16	1,72
	Standardabweichung	0,83	191,72	0,28	4,56

* markiert Werte, die sich innerhalb der Spalte signifikant unterscheiden ($p < 0,05$)

Das Ergebnis der Emissionsfaktorenberechnung ist Tabelle 10 zu entnehmen.

Insgesamt wurde ein Emissionsfaktor für NH₃ von 0,60 g/(m² d), für CH₄ von 215,15 g/(m² d), für N₂O von 0,16 g/(m² d) sowie für Geruch von 1,72 GE/(m² s) ermittelt.

Die Korrelationsanalyse nach Spearman ergab positive Zusammenhänge zwischen der NH₃- und N₂O-Emissionsrate und der Lufttemperatur von 0,37 bzw. 0,56.

Um Effekte der Oberflächenbeschaffenheit der Gärrestoberfläche zu untersuchen, wurde mit der SPSS® Funktion ONEWAY ein Mittelwertvergleich der einzelnen Oberflächenkategorien (Tabelle

1) mit anschließendem Tukey-Test durchgeführt. Es zeigen sich signifikante Unterschiede der CH_4 - und N_2O -Emission innerhalb der Kategorie „Zustand der Schwimmschicht“. Dabei unterscheiden sich die Emissionen der undichten und der geschlossenen Schwimmschicht signifikant. Für N_2O sind die Emissionen auf geschlossener Schwimmschicht signifikant höher als auf undichter Schwimmschicht. Für CH_4 verhält es sich anders herum, hier sind die Emissionen auf undichter Schwimmschicht höher als auf geschlossener Schwimmschicht (Abb. 5). Dies ist dadurch zu erklären, dass Lachgas direkt in der Schwimmschicht entsteht, während Methan unterhalb der Schwimmschicht im Gärrest entsteht.

Die Stabilität der Schwimmschicht hat lediglich auf die NH_3 -Emission einen signifikanten Einfluss. Eine instabile Schwimmschicht geht dabei mit höheren Emissionen einher als eine stabile Schwimmschicht.

Es traten keine signifikanten Effekte in Abhängigkeit zur Schwimmschichtfeuchte auf.

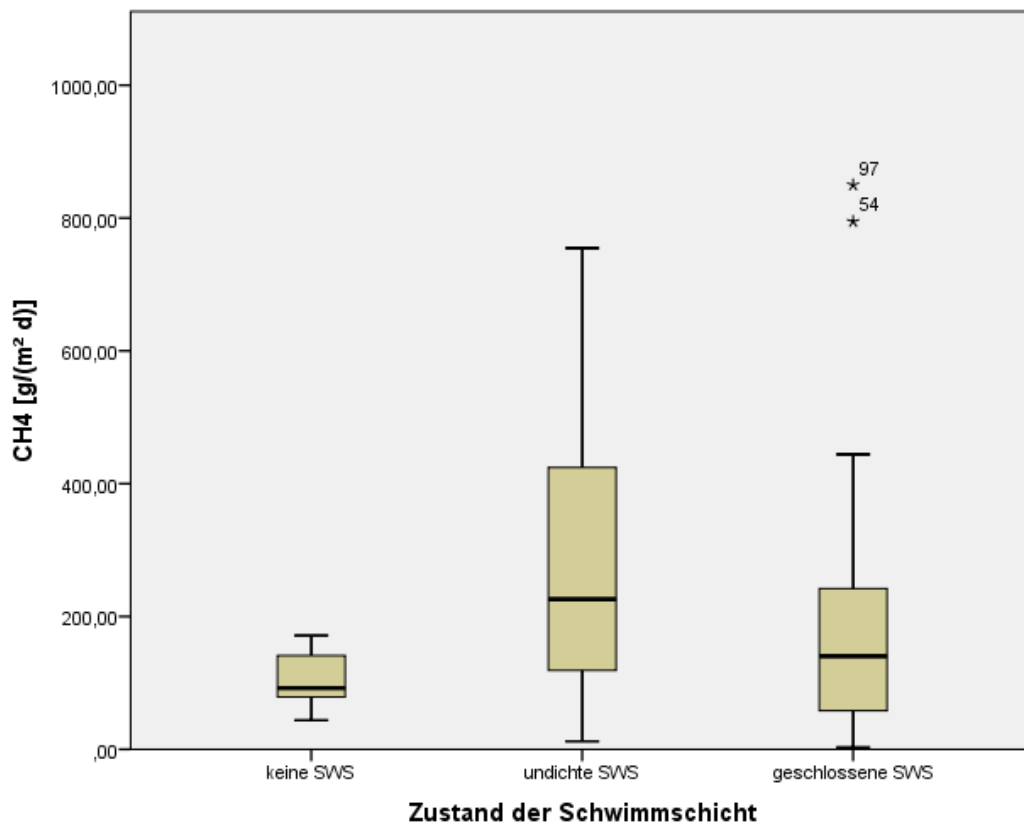


Abbildung 5: Boxplots der Methanemissionen in Abhängigkeit des Schwimmschichtzustandes

Auslaufmessungen

Innerhalb von 10 Monaten wurden am Auslauf 1 an 6 Messtagen insgesamt 54 Gasmessungen sowie 18 Geruchsmessungen durchgeführt. Es wurden alle Klimabereiche (Winter, Sommer, Übergang) mit je 2 Messtagen abgedeckt. Eine Übersicht zu den durchschnittlich während der Messungen vorherrschenden Wetterbedingungen gibt Tabelle 11.

Tabelle 11: Durchschnittliche Wetterbedingungen während der Auslaufmessungen

	Oberflächen- temp. [°C]	Windgesch- windigkeit [m/s]	Lufttemp. [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Luftdruck [hPa]	Global- strahlung [W/m²]
N	18	18	18	18	18	18
Mittelwert	13,7	2,0	12,1	68,1	1.007	354,0
Standard- abweichung	6,5	0,6	7,3	15,9	12	299,2
Minimum	4,4	1,0	1,7	33,8	983	48,9
Maximum	22,1	2,8	22,7	87,0	1.021	873,6

Beim Verschmutzungsgrad wurden am häufigsten leicht und stark verschmutzte Flächen beprobt. Bei der Verschmutzungsart wurden vor allem Messstellen, die sowohl mit Kot als auch Urin verschmutzt sind, ausgewählt. Die Feuchte der Messstellen ist von trocken bis nass gleichmäßig verteilt.

Das geometrische Mittel der Geruchskonzentration lag bei 1.000 GE/m³ (Tabelle 12). Die Korrelationsanalyse nach Spearman ergab einen hoch signifikanten Zusammenhang der Geruchskonzentration zur Oberflächentemperatur von 0,67. Die Geruchsemission lag im Mittel bei 1,29 GE/(m² s).

Die ermittelten Emissionsfaktoren der Gase sowie für Geruch sind in Tabelle 13 abgebildet. Die mittlere Quellstärke liegt für NH₃ bei 0,6 g/(m² d) und für CH₄ bei 0,11 g/(m² d). Es konnte keine nennenswerte N₂O-Emission des Auslaufes festgestellt werden. Die NH₃- und CH₄-Emissionen weisen Korrelationskoeffizienten nach Spearman bezüglich der Oberflächentemperatur von 0,4 bzw. 0,5 auf. CH₄ weist zudem noch Korrelationen zur Lufttemperatur und zur Globalstrahlung mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,5 auf.

Tabelle 12: Deskriptive Statistik der Geruchskonzentration der Auslaufmessungen

Geruchskonzentration [GE/m ³]				
Datum	N	Geometrisches Mittel*	Minimum	Maximum
23.5.2017	3	5.000	3.758	6.675
22.8.2017	3	1.700	870	2.686
26.9.2017	3	850	523	1.714
10.10.2017	3	680	372	1.224
19.12.2017	3	2.100	1.092	3.003
6.3.2018	3	130	62	237
Insgesamt	18	1.000	62	6.675

*dreistellige Zahlen: gerundet auf Zehnerstelle, vierstellige Zahlen: gerundet auf Hunderterstelle

Tabelle 13: Emissionsfaktoren der Auslaufmessungen

	NH₃ [g/(m ² d)]	CH₄ [g/(m ² d)]	N₂O [g/(m ² d)]	Geruch [GE/(m ² s)]
N	54	42	54	18
Mittelwert	0,60	0,11	0,00	1,29
Standardabweichung	1,39	0,24	0,00	1,35

Um Effekte der Oberflächenbeschaffenheit des Auslaufs zu untersuchen, wurde mit der SPSS® Funktion ONEWAY ein Mittelwertvergleich der einzelnen Oberflächenkategorien (Tabelle 2) mit anschließendem Tukey-Test durchgeführt. Für NH₃ besteht ein signifikanter Unterschied innerhalb der Kategorie „Art der Verschmutzung“ (Abb. 6). Dabei unterscheiden sich alle Kategorien signifikant voneinander. Es besteht zwischen den Kategorien „vorrangig Kot“ und „vorrangig Urin“ ein hoch signifikanter Unterschied ($p < 0,01$). Zu erwähnen ist, dass hinter der Kategorie „vorrangig Urin“ nur eine Messung mit 3 Messwerten liegt.

Betrachtet man die Geruchskonzentration im Hinblick auf die Messstellenfeuchte in Abbildung 7, scheint die Geruchskonzentration mit der Feuchte zuzunehmen. Dieser Effekt lässt sich jedoch nicht statistisch sichern. Auch die Art der Verschmutzung sowie der Verschmutzungsgrad haben keinen signifikanten Effekt auf die Geruchskonzentration.

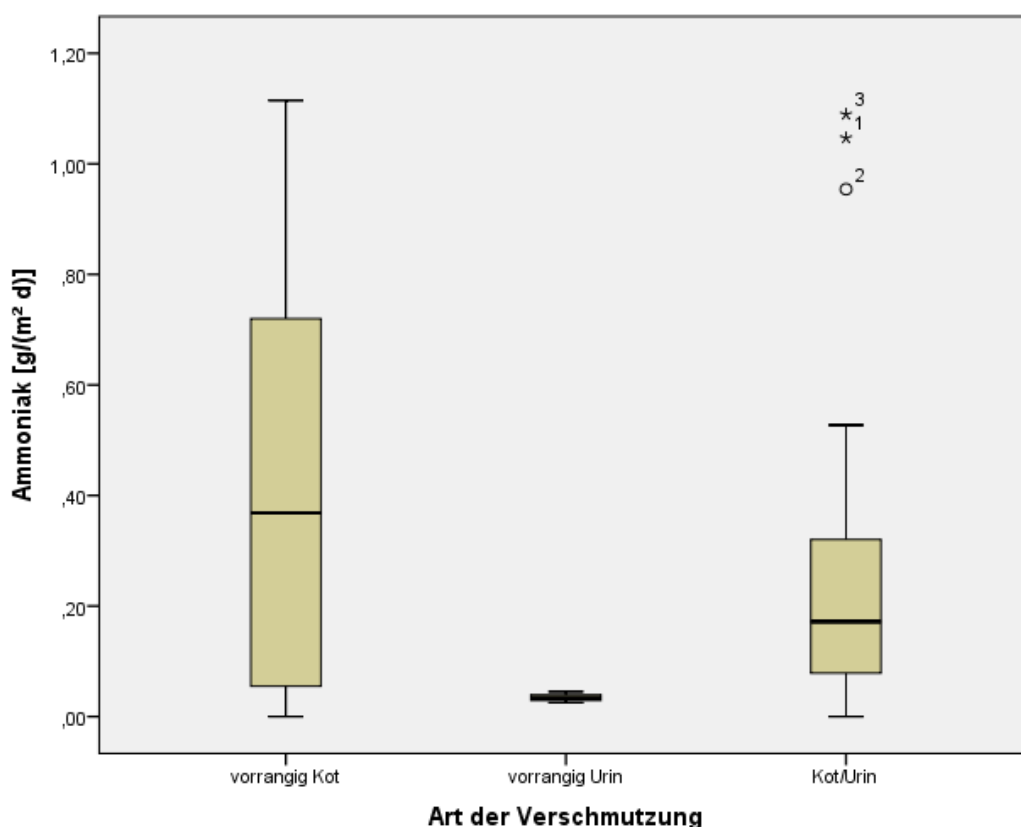


Abbildung 6: Boxplots der Ammoniakemission in Abhängigkeit der Art der Verschmutzung des Auslaufs

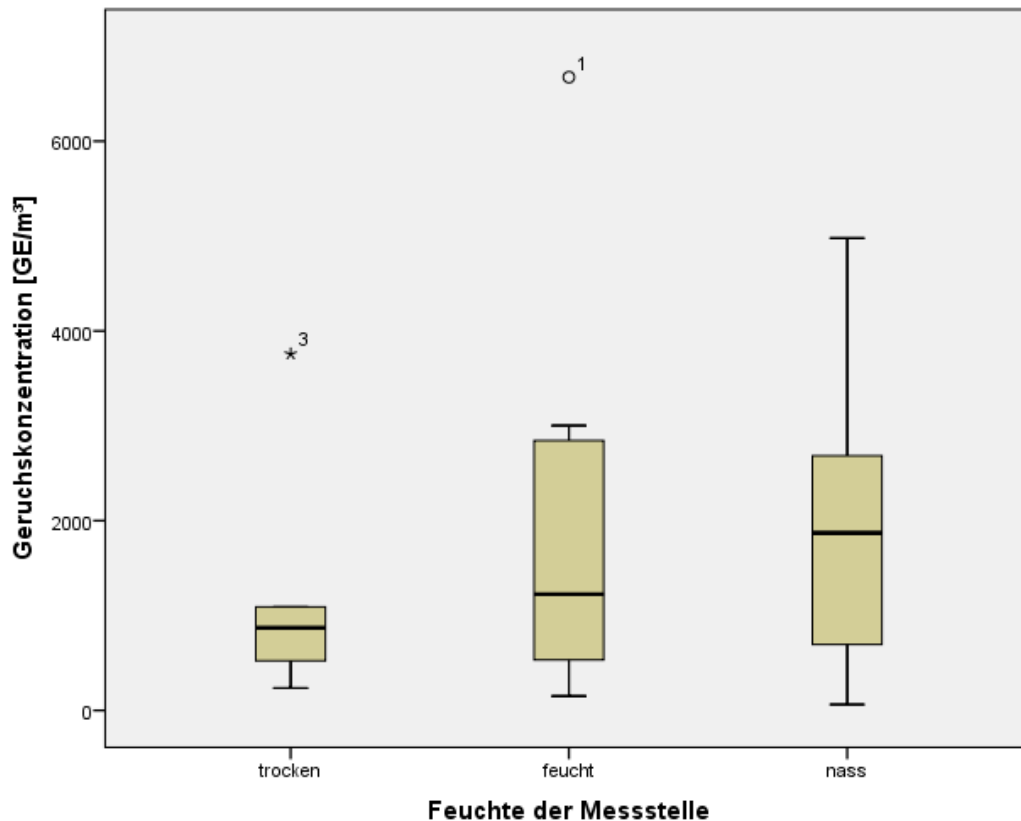


Abbildung 7: Geruchskonzentration in Abhängigkeit der Messstellenfeuchte

Diskussion

Stallmessungen

Der ermittelte Emissionsfaktor für NH_3 von 18,7 kg/(TP a) übersteigt den bestehenden Wert von 12,0 kg/(TP a) für Liegeboxenlaufställe mit Flüssigmistverfahren aus dem Nationalen Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren (KTBL). Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass durch die Unsicherheit der Regression von 34 % ein Vertrauensbereich von 12,3 bis 25,1 kg NH_3 /(TP a) besteht.

Der CH_4 -Emissionsfaktor von 133,0 kg/(TP a) befindet sich innerhalb der im Nationalen Bewertungsrahmen aufgeführten Spanne von 87,6-170,8 kg/(TP a).

Der Konventionswert für den Geruchsemissionsfaktor für Milchviehhaltung der VDI 3894-1 beträgt 12 GE/(GV s). Der im Projekt ermittelte Wert beträgt 87 GE/(GV s) und liegt damit um den Faktor 7 über dem Konventionswert. Da der Volumenstrom zu den Messtagen eher unterdurchschnittlich war, ist die Ursache hierfür in den hohen Geruchskonzentrationen zu sehen. Im Projekt „Quantifizierung von Emissionen in der Rinderhaltung“ (HEIDENREICH et al. 2008) wurden bereits Geruchsanalysen durchgeführt, wobei Werte zwischen ca. 20 und 150 GE ermittelt wurden. Hierbei ist zu bedenken, dass die Probenahme an den Stalllängsseiten am Übergang zur Umgebungsluft durchgeführt wurde. In diesem Projekt wurden die Proben in der Stallmitte jeweils an einem Übertrieb zwischen Futter- und Laufgang genommen. Die Übertriebe werden maximal einmal am Tag gereinigt, sodass hier den ganzen Tag Kot und Urin vorhanden sind. Zudem sind die Abwurfschächte der Schieber in der Nähe der Probenahmestellen, sodass die Probenahme direkt am Ort der Geruchsentstehung durchgeführt wurde.

Im Vergleich mit dem Konventionswert von 0,6 kg/(TP a) liegt der hier ermittelte Emissionsfaktor für Gesamtstaub mit 2,5 kg/(TP a) um das 4-fache darüber. Auch der Emissionsfaktor für PM_{10} Staub von 0,4 kg/(TP a) liegt über dem Wert der VDI 3894-1 mit 0,18 kg/(TP a) (30 % des

Gesamtstaubwertes), hier allerdings nur um das 2-fache. Die Werte der VDI sind allerdings nicht validiert und aus den Messungen zum LfULG-Projekt „Quantifizierung von Emissionen in der Rinderhaltung“ (HEIDENREICH et al. 2008) entnommen. Die Werte beziehen sich auf einen Stall mit Hochboxen. Für den Stall mit Fressliegeboxen mit Festmistverfahren wurde 1,3 kg/(TP a) Gesamtstaub ermittelt. Dieser Wert ist eher mit dem in diesem Projekt ermittelten Wert von 2,5 kg/(TP a) vergleichbar.

Gärrestlagermessungen

Für den Vergleich der gewonnenen Werte stehen außer für Geruch keine validierten Daten zur Verfügung. Dies spiegelt die allgemein schlechte Datenlage solcher Messungen wieder. Die Vergleichbarkeit der vorhandenen Werte ist zudem schwierig, da vielfältige Messmethoden (Probenahmeorte, Probenahmedauer, Messgerät usw.) zum Einsatz kommen und die Rahmenbedingungen (Temperatur usw.) sehr unterschiedlich sein können. Es soll hier dennoch versucht werden, die ermittelten Werte einzuordnen.

Der Emissionsfaktor für NH_3 der VDI 3894-1 liegt bei 6 g/(m² d) für eine offene Gülleoberfläche. Man geht von einer Reduzierung der Emissionen durch die Bildung einer Schwimmschicht von 80 % aus, woraus ein Emissionsfaktor von 1,2 g/(m² d) resultiert. MINATO et al. (2013) fanden geringe Werte von 0,46 – 0,73 g/(m² d). Der im Projekt ermittelte Emissionsfaktor von 0,6 g/(m² d) passt sehr gut zu den Werten von MINATO et al. (2013), ist jedoch im Vergleich zur VDI recht niedrig.

Für CH_4 konnte eine Untersuchung von KAHARABATA et al. (1998) gefunden werden, in der im Mittel 202,7 g/(m² d) (49.000 m³/a bei 452 m² Behälteroberfläche) angegeben wird. Dieser Wert korrespondiert gut mit dem hier gewonnenen Mittel von 215,15 g/(m² d). Jedoch ist die Messmethodik eine ganz andere (Sammlung von Luftproben 1 m unter und 0,5 m über Behälterrand, Analyse im Gaschromatograph). Die Werte von MINATO et al. (2013) von 34,3 – 54,8 g/(m² d) sind trotz der hohen Ähnlichkeit in der Messmethodik sehr viel niedriger. Auch andere Autoren weisen niedrigere Emissionsfaktoren von 4,0 - 33,7 g/(m² d) für CH_4 aus (JAYASUNDARA et al. 2016). In diesem Licht erscheint der Emissionsfaktor von 215,15 g/(m² d) als deutlich zu hoch. Jedoch handelt es sich bei allen diesen Literaturwerten um reine Rindergülle, die nicht vergoren wurde. Dabei ist zu bedenken, dass die CH_4 -Emissionen von vergorener Gülle durch die Nachgärung deutlich höher ausfallen. Dies könnte eine Erklärung für die vergleichsweise hohen Werte sein. Bei der Plausibilitätsprüfung der berechneten Quellstärken der Gärrestlager fiel zudem auf, dass bei einigen Messstellen innerhalb der drei Messwiederholungen stark abfallende Kurvenanstiege auftraten. Dabei ist der Anstieg der 1. Messung deutlich höher als der der beiden darauf folgenden Messungen an der gleichen Messstelle. Dies lässt darauf schließen, dass hier durch das Aufsetzen der Messhaube auf die Gärrestoberfläche Gasblasen, die sich unter der Schwimmschicht angesammelt haben, auf einmal freigesetzt wurden. Da diese durch die Messung hervorgerufene Beschleunigung der Gasfreisetzung nicht dem natürlichen Emissionsverhalten des Gärrestlagers entspricht, wurden diese Messwerte für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt und nicht in den Emissionsfaktor einberechnet. Dies betraf 2 Werte für N_2O und 12 Werte für CH_4 . Trotz des Datenausschlusses kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch die verwendeten Messwerte durch die Erschütterung der Schwimmschicht höher ausfallen als unter ungestörten Bedingungen. Insgesamt ist der Emissionsfaktor für CH_4 als unsicher zu betrachten.

Der Emissionsfaktor für N_2O von 0,16 g/(m² d) passt gut zu den Werten von MINATO et al. (2013) (0 – 0,0682 g/(m² d)) oder JAYASUNDARA et al. (2016) (<0,1 g/(m² d)).

Für Geruch existiert ein Konventionswert von 3 GE/(m² s) bei offener Gülleoberfläche in der VDI 3984-1. Setzt man wieder eine 80%ige Minderung durch die Schwimmschicht voraus, ergibt das einen Emissionsfaktor von 0,6 GE/(m² s). Der hier ermittelte Wert von 1,72 GE/(m² s) liegt deutlich darüber, beinhaltet jedoch auch Messungen ohne Schwimmschicht.

Auslaufmessungen

Bei der Auswertung der Kurven fiel auf, dass die NH_3 -Konzentrationen sehr gleichmäßig und mit wenig Rauschen anstiegen. Nach dem Aufsetzen der Haube dauerte es 30-40 Sekunden, bis ein Anstieg der Gaskonzentrationen sichtbar war. Bei CH_4 war eine deutlich höhere Schwankungsbreite innerhalb der Messungen, aber auch während der Spülung der Haube mit Umgebungsluft zu erkennen. Oftmals stieg die CH_4 -Konzentration stark an, wenn die Haube von der Fläche abgenommen oder aufgesetzt wurde. Hier scheint die Bewegung der Haube durch die methanhaltige Umgebungsluft zu einem extremen Anstieg der Konzentration zu führen. Der Anstieg vor dem Aufsetzen der Haube darf dabei nicht mit dem Anstieg unter der Haube verwechselt werden, was zu einer Berechnung zu hoher Methanemissionen führen würde. Ein Vergleich der in dieser Untersuchung ermittelten Quellstärke für NH_3 von $0,6 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ mit vorhandenen Werten aus der Literatur zeigt, dass der hier ermittelte Wert deutlich unter dem Konventionswert von $8,0 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ (VDI 2011) liegt. Dieser Wert ist jedoch aus der Literatur abgeleitet und nicht validiert. Die Analyse der Oberflächenkategorien zeigte, dass leicht verschmutzte Flächen über- und Urinstellen unterrepräsentiert sind. Dies könnte zu der geringen NH_3 -Quellstärke beigetragen haben, kann aber nicht die alleinige Ursache sein. Die Architektur der Haube mit kleinem Volumen und die Abschirmung der Messstelle von der Umwelt können ebenfalls zu der geringen NH_3 -Quellstärke geführt haben. Bei einem Methodenvergleich fanden SMITH et al. (2007) auf gedüngten Ackerflächen mit einer geschlossenen Haube und Passivsammlung nur 1-5 % des NH_3 -Verlustes im Vergleich zur Messung mit Windtunnel. Zurückgeführt wird dies auf eine geringere Diffusionsrate durch den Ausschluss des Windeinflusses. Unter der Annahme, dass die ermittelten $0,6 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ NH_3 lediglich 5 % der Quellstärke entsprechen, ergäbe sich eine Quellstärke von insgesamt $12 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$, welche besser zum bestehenden Konventionswert von $8 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ passen würde.

Ein Vergleich der ermittelten CH_4 -Quellstärke von $0,11 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ mit der von MISSELBROOK et al. (2001) von $0,36 - 0,43 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ h})$ [entspricht $0,0086 - 0,01 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$], die ebenfalls mit Hilfe einer Haube gemessen wurde, zeigt den gegenteiligen Trend zu NH_3 . Hier liegt der ermittelte Wert über dem Literaturwert.

Der ermittelte Wert für N_2O von $0,0 \text{ g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ stimmt mit den Werten von MISSELBROOK et al. (2001) und JAYASUNDARA et al. (2016) überein.

Für die Geruchsemission von Ausläufen gibt es bisher keinen VDI-Konventionswert. Allerdings ist in der sächsischen Emissionsdatenbank ein berechneter Wert von $2,7 \text{ GE}/(\text{m}^2 \text{ s})$ zu finden, der in derselben Größenordnung liegt, wie der hier ermittelte Wert von $1,29 \text{ GE}/(\text{m}^2 \text{ s})$.

Fazit

Stallmessungen

- Der Multigasmonitor ist nur bedingt für Messungen im Rinderstall geeignet. Die Tagesprofile der Gaskonzentration lassen sich damit gut darstellen, die absoluten Messwerte weichen jedoch je nach Gas deutlich von den Werten des FTIR ab.
- Die CO_2 -Bilanz liefert grundsätzlich plausible Volumenströme. Die Genauigkeit dieser Volumenströme ist jedoch nur so gut wie die Qualität der eingehenden Berechnungsdaten. Der Standort des Außenmesspunktes ist dabei von besonderer Bedeutung und sollte sorgfältig ausgewählt werden. Beeinflussungen des Stalles oder anderer CO_2 -Quellen sind dabei soweit wie möglich auszuschließen.
- Es konnten Jahresemissionsfaktoren abgeleitet werden, die für Ammoniak $18,7 \text{ kg}/(\text{TP a})$, Methan $133,0 \text{ kg}/(\text{TP a})$, Gesamtstaub $2,5 \text{ kg}/(\text{TP a})$, PM_{10} -Staub $0,4 \text{ kg}/(\text{TP a})$, und $\text{PM}_{2,5}$ -Staub $0,2 \text{ kg}/(\text{TP a})$ betragen. Die Emissionsfaktoren liegen damit teils über den bestehenden Konventionswerten.

- Die Geruchsemissionen waren mit rund 87 GE/(GV s) sehr hoch, was wahrscheinlich auf die Probenahmestelle mitten im Stall zurückzuführen ist. Zukünftig sollte die Geruchskonzentration an den Stallwänden am Übergangsbereich zur Außenluft wenn möglich abluftseitig bestimmt werden, um hieraus einen realistischen Geruchsemissionsfaktor abzuleiten.

Gärrestlager und Auslauf

- Die Herangehensweise mit der Messhaube hat grundsätzlich funktioniert. Es waren Konzentrationsanstiege von Ammoniak sowie Methan sichtbar.
- Problematisch bei der gewählten Herangehensweise ist die Erschütterung beim Aufsetzen der Messhaube auf die Gärrestoberfläche. Sie könnte ein Grund für die hohen Methanemissionen sein.
- Gärrestlager: Für Ammoniak wurden im Mittel 0,6 g/(m² d), für Methan 215,15 g/(m² d), für Lachgas 0,16 g/(m² d) und für Geruch 1,72 GE/(m² s) als Emissionsfaktoren berechnet. Die beiden untersuchten Gärrestlager wiesen einzig bei der Methanemission keine signifikanten Unterschiede auf.
- Sowohl der Zustand als auch die Stabilität der Schwimmschicht hatten einen signifikanten Einfluss auf die Emissionen einzelner Gase.
- Auslauf: Für Ammoniak wurden im Mittel 0,60 g/(m² d), für Methan 0,11 g/(m² d), für Lachgas 0,0 g/(m² d) und für Geruch 1,29 GE/(m² s) als Emissionsfaktoren berechnet.
- Die Ammoniakemissionen weisen signifikante Unterschiede innerhalb der Kategorie „Art der Verschmutzung“ auf.
- Der Vergleich der gewonnenen Ergebnisse mit Literaturwerten ist aufgrund der Heterogenität der Herangehensweise jeder einzelnen Untersuchung sehr schwierig und lässt keine Aussage zu, ob die hier gewonnenen Ergebnisse der Gärrest- und Auslaufmessungen tendenziell hoch oder niedrig einzuordnen sind.

Literatur

CIGR. „Climatization of Animal Houses“. Scottish Farm Building Investigation Unit, 1984.

Heidenreich, Thomas, Jens Lippmann, Carsten Höferth, und Ute Wanka. „Quantifizierung von Emissionen in der Rinderhaltung“. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Heft 33/2008, 2008.

Jayasundara, Susantha, J.A.D. Ranga Niroshan Appuhamy, Ermias Kebreab, und Claudia Wagner-Riddle. „Methane and Nitrous Oxide Emissions from Canadian Dairy Farms and Mitigation Options: An Updated Review“. Herausgegeben von J. Plaizier. *Canadian Journal of Animal Science* 96, Nr. 3 (September 2016): 306–31.

Kaharabata, S. K., P. H. Schuepp, und R. L. Desjardins. „Methane Emissions from above Ground Open Manure Slurry Tanks“. *Global Biogeochemical Cycles* 12, Nr. 3 (September 1998): 545–54.

KTBL „Nationaler Bewertungsrahmen Tierhaltungsverfahren“, o. J.

<https://daten.ktbl.de/nbr/postHv.html?sessionId=D39B1EABE63A343154829AEDFB22DA33#start>.

Minato, Keiko, Yasuyuki Kouda, Masaaki Yamakawa, Satoshi Hara, Tadashi Tamura, und Takashi Osada. „Determination of GHG and Ammonia Emissions from Stored Dairy Cattle Slurry by Using a Floating Dynamic Chamber“. *Animal Science Journal = Nihon Chikusan Gakkaiho* 84, Nr. 2 (Februar 2013): 165–77.

- Misselbrook, T. H, J Webb, D. R Chadwick, S Ellis, und B. F Pain. „Gaseous emissions from outdoor concrete yards used by livestock“. *Atmospheric Environment* 35, Nr. 31 (1. November 2001): 5331–38.
- Pedersen, S., V. Blanes-Vidal, H. Joergensen, A. Chwalibog, A. Haeussermann, M. J. W. Heetkamp, und A. J. A. Aarnink. „Carbon Dioxide Production in Animal Houses: A Literature Review“. *Agricultural Engineering International* X, Nr. BC 08 008 (2008).
- Smith, E.; Gordon, R.; Bourque, C.; Campbell, A. „Comparison of three simple field methods for ammonia volatilization from manure“. *Canadian Journal of Soil Science* 87(4) (August 2007):469-477
- SPSS® IBM® SPSS Statistics 19
- VDI „VDI 4285-1: Messtechnische Bestimmung der Emissionen diffuser Quellen Grundlagen“, Juni 2005.
- VDI „VDI 3894-1: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen“, 2011.