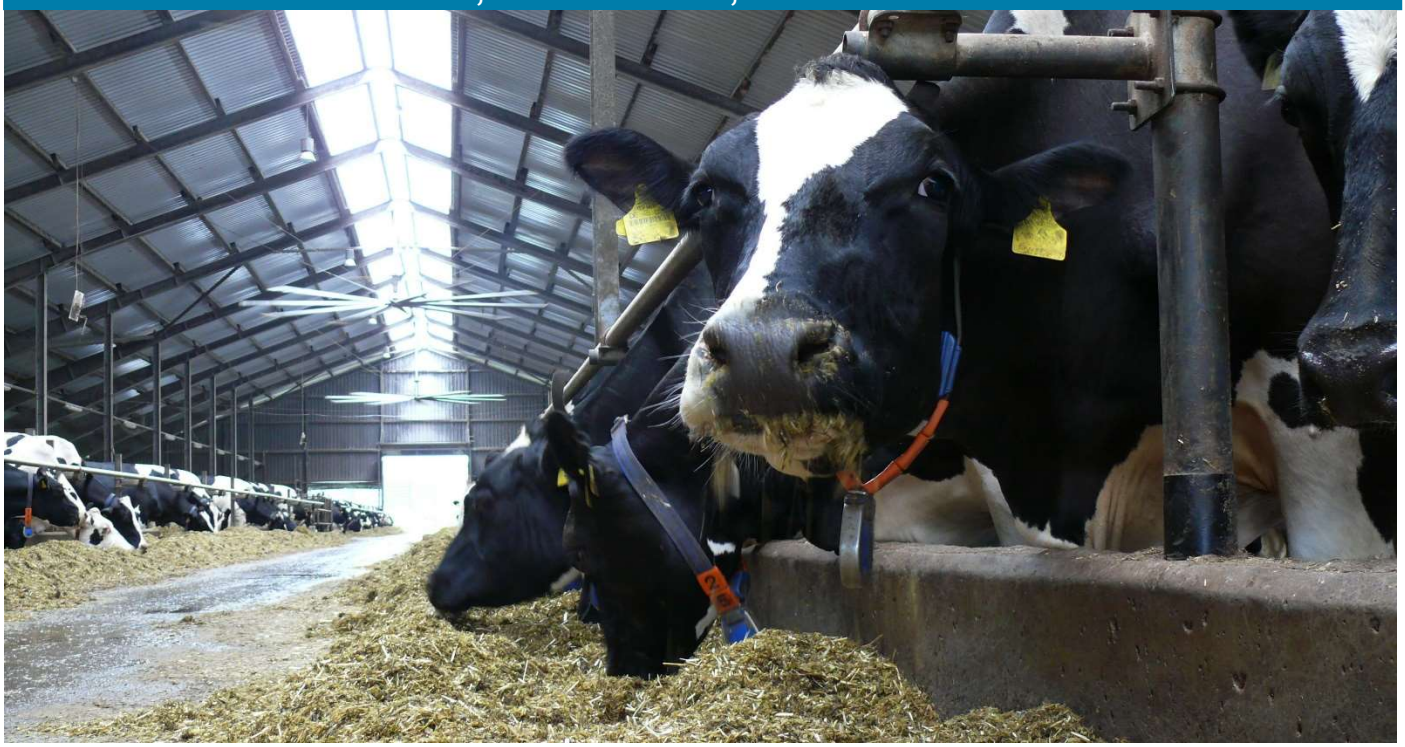
Mecklenburg Vorpommern

Landesforschungsanstalt
für Landwirtschaft und Fischerei

ABSCHLUSSBERICHT

Schaffung von Managementhilfen zur Optimierung von Tierumwelt und Tierwohl in der Milchviehhaltung im freigelüfteten Laufstall unter Berücksichtigung ausgewählter Stallklimaparameter (2/72)

Christiane Hansen, Olaf Tober, Dr. Peter Sanftleben







IMPRESSUM

Titel
Schaffung von Managementhilfen zur Optimierung von Tierumwelt und Tierwohl in der Milchviehhaltung im freigelüfteten Laufstall unter Berücksichtigung ausgewählter Stallklimaparameter (2/72)

Berichtzeitraum
2015-2019

Herausgeber
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen
Telefon: 03843/789-0
Fax: 03843/789-111
poststelle@lfa.mvnet.de
www.lfamv.de

Autoren
Christiane Hansen • Telefon: 038208/630-320
Olaf Tober • Telefon: 038208/630-323
Dr. Peter Sanftleben • 03843/789-100

Titelfoto
Hansen, Christiane

Dummerstorf, 03.08.2020

INHALT

1 Entwicklung der Stallklimadaten in einem freigelüfteten Milchviehstall 6
1.1 Einleitung 6
1.2 Material und Methode 6
1.3 Optimaler Temperaturbereich für Milchrinder 7
1.4 Temperaturgeschehen im freigelüfteten Milchviehstall 7
1.5 Fazit 11

2 Untersuchungen zum Einfluss des Außenwindes auf das Windgeschehen in einem freigelüfteten Milchviehstall 12
2.1 Problemstellung 12
2.2 Literaturbetrachtung 12
2.3 Material und Methode 14
2.4 Ergebnisse 17
2.4.1 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von der Lüfterdrehzahl 17
2.4.2 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von Lüfterdrehzahl und Außenwindgeschwindigkeit 19
2.4.3 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von Lüfterdrehzahl und Außenwindrichtung 19
2.4.4 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von Lüfterdrehzahl, Außenwindgeschwindigkeit und Außenwindrichtung 20
2.5 Fazit 22
2.6 Empfehlungen zur Minderung von Hitzestress 23

3 Untersuchungen zum Temperaturgeschehen in Kälberiglus im Freien und unter Dach 25
3.1 Problemstellung 25
3.2 Material und Methode 25
3.3 Einfluss der Außentemperatur 26
3.4 Einfluss der Sonneneinstrahlung 27
3.5 Empfehlungen zur Aufstellung von Iglus 30
3.6 Fazit 31

4 Literatur 32

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Anteil der Stunden mit Temperaturen oberhalb von 12 °C in den Monaten Mai bis September in den Jahren 2003 bis 2019 8
Abbildung 2: Anzahl Hitzetage (≥30°C) und Sommertage (≥25°C) in den Jahren 2003 bis 2019 8
Abbildung 3: Anzahl Tage mit minimalen Stalltemperaturen > 12 °C in den Monaten Mai bis September in den Jahren 2003 bis 2019 9
Abbildung 4: Temperaturverteilung Sommer 2016 10
Abbildung 5: Anteil 3-Tagestemperatursumme ≤ 1.000 °C und > 1.000 °C für den Zeitraum 1.5.-30.9. für die Jahre 2003 bis 2019 11
Abbildung 6: Ansicht Deckenventilator Big Ass 14
Abbildung 7: Stallansicht mit Toren in der Giebelwand 15
Abbildung 8: Ultraschallanemometer im Stall 15
Abbildung 9: Schematische Anordnung der USA im Stall 16
Abbildung 10: WG in Abhängigkeit von der LDZ (R^2 = 0,64) 18
Abbildung 11: AWG in Abhängigkeit von der LDZ 18
Abbildung 12: WG in Abhängigkeit von LDZ und AWG (R^2 = 0,56) 19
Abbildung 13: WG in Abhängigkeit von LDZ und AWR (R^2 = 0,55) 20
Abbildung 14: WG in Abhängigkeit von LDZ, AWG und AWR (R^2 = 0,58) 21
Abbildung 15: WG in Abhängigkeit von LDZ, AWG und AWR für die einzelnen Messpunkte im Stall (R^2 = 0,66) 22
Abbildung 16: Laufleistung von Ventilatoren bei manueller und temperaturabhängiger automatischer Steuerung für die Monate Mai bis September 24
Abbildung 17: Iglus im Freien an bzw. zwischen Gebäuden 26
Abbildung 18: Leichtbaustall mit innenliegenden Iglus 26
Abbildung 19: Mittelwert der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Iglutemperatur in Abhängigkeit von den einzelnen Außentemperaturbereichen 27
Abbildung 20: Mittelwerte der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Iglutemperatur in den einzelnen Globalstrahlungsklassen 28
Abbildung 21: Mittelwert der Temperaturdifferenzen für unterschiedliche Globalstrahlungswerte in den einzelnen Temperaturbereichen 29
Abbildung 22: Einfluss der Dauer der Globalstrahlung auf die Temperaturdifferenz zwischen Iglu und außen für verschiedene Globalstrahlungsbereiche 30
Abbildung 23: Temperaturverläufe und Globalstrahlung für Iglu im Freien und Iglu unter Dach 30
Abbildung 24: Wärmebild von Iglus in der Sonne und im Schatten 31

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

ATB	Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. Potsdam
AWG	Außenwindgeschwindigkeit in m/s
AWR	Außenwindrichtung
DWD	Deutscher Wetterdienst
HD	Hochdruck
LDZ	Lüfterdrehzahl in %
LSMeans	least square means
WG	Windgeschwindigkeit im Stall m/s
USA	dreidimensionales Ultraschallanemometer, Messpunkt
UV	ultraviolett

1 Entwicklung der Stallklimadaten in einem freigelüfteten Milchviehstall

1.1 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.

1.2 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.

1.3 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. (Tober, 2020) 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.

1.4 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 (Abbildung 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.

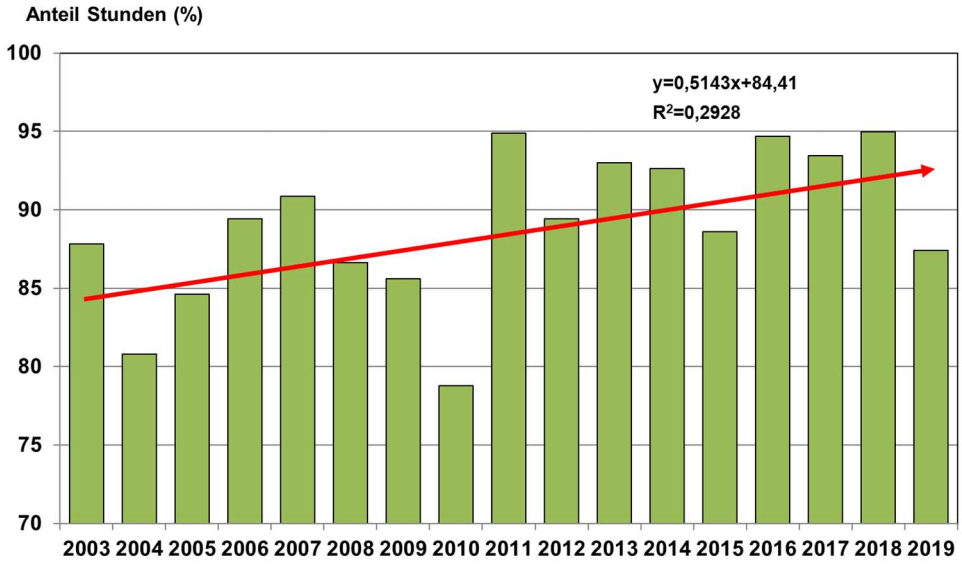


Abbildung 1: Anteil der Stunden mit Temperaturen oberhalb von 12 °C in den Monaten Mai bis September in den Jahren 2003 bis 2019

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 (Abbildung 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 %.

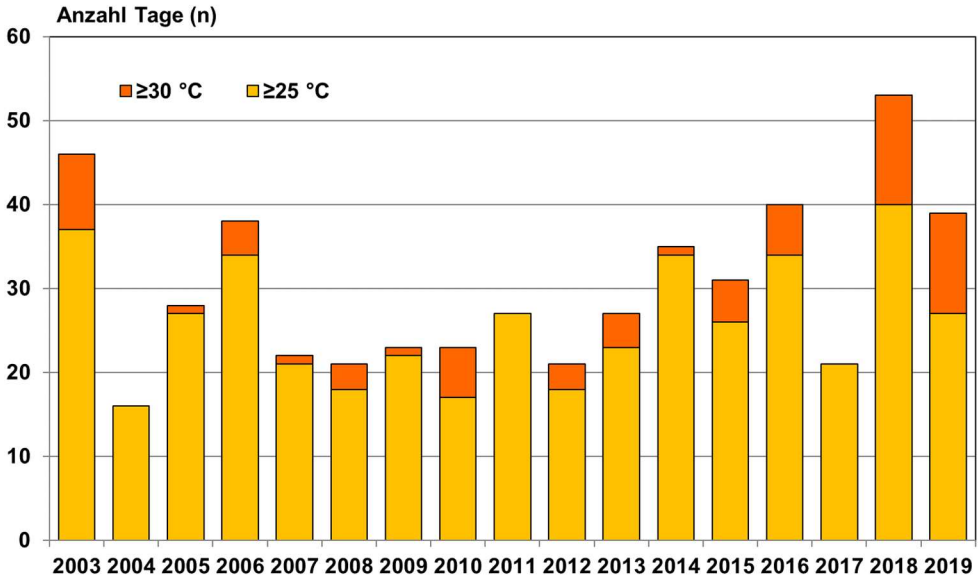


Abbildung 2: Anzahl Hitzetage (≥30°C) und Sommertage (≥25°C) in den Jahren 2003 bis 2019

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 ≥ 20 °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.

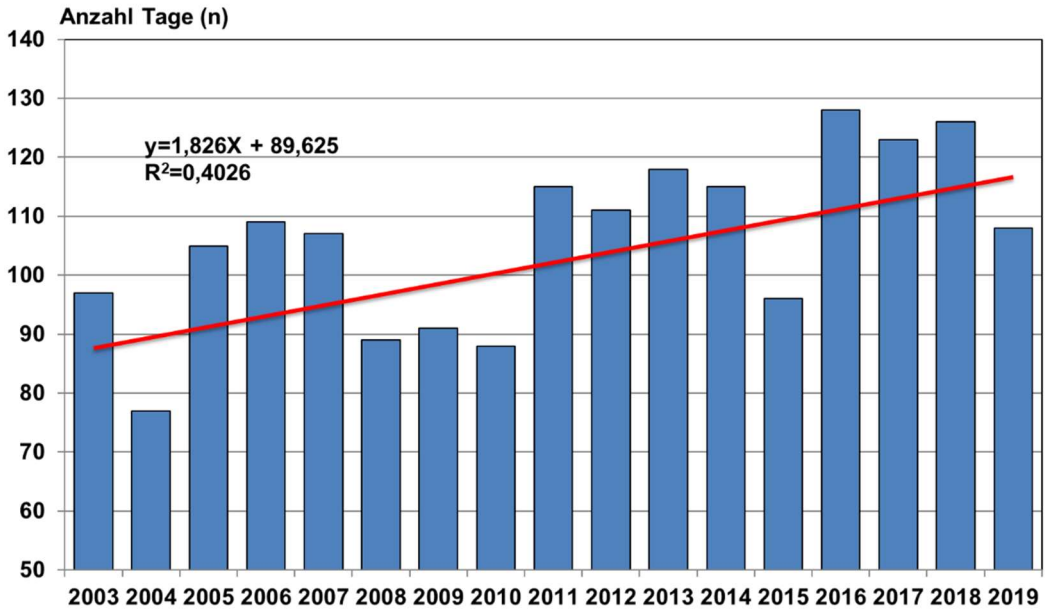


Abbildung 3: Anzahl Tage mit minimalen Stalltemperaturen > 12 °C in den Monaten Mai bis September in den Jahren 2003 bis 2019

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 (≥22 °C) von bis zu 13 Tagen am Stück. Dies zeigt einmal mehr, unter welchem „Druck“ hochleistende Milchrinder stehen.

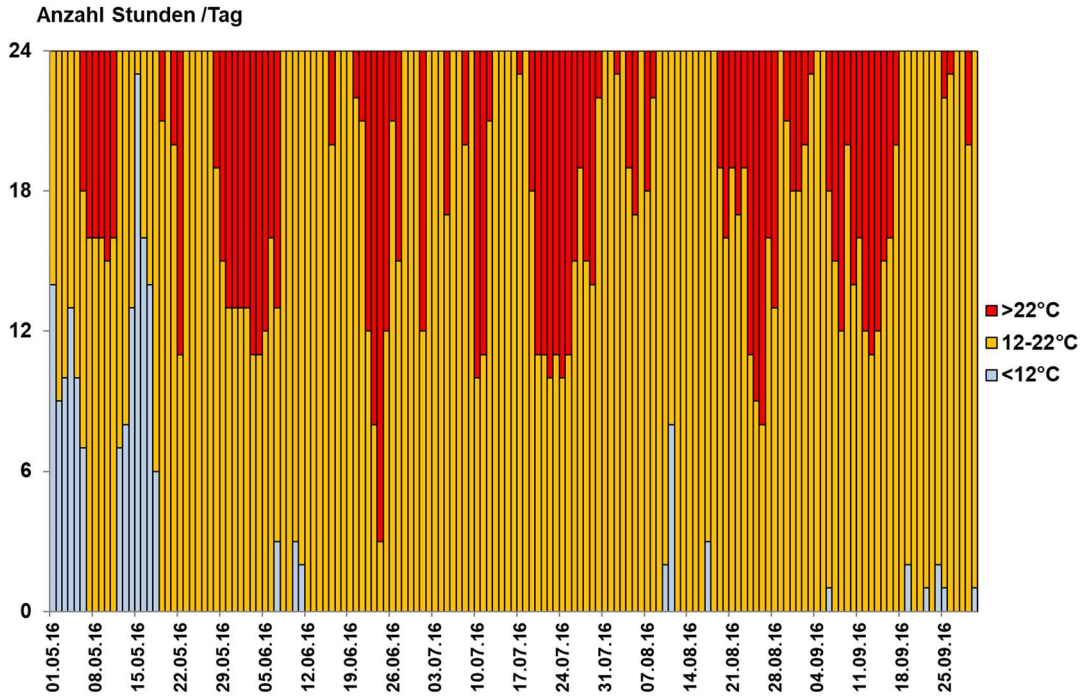


Abbildung 4: Temperaturverteilung Sommer 2016

Eine weitere Möglichkeit der Einschätzung eines Temperaturgeschehens ist die Bildung von Temperatursummen. Ursprünglich wird dieser Paramater 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 (Abbildung 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.

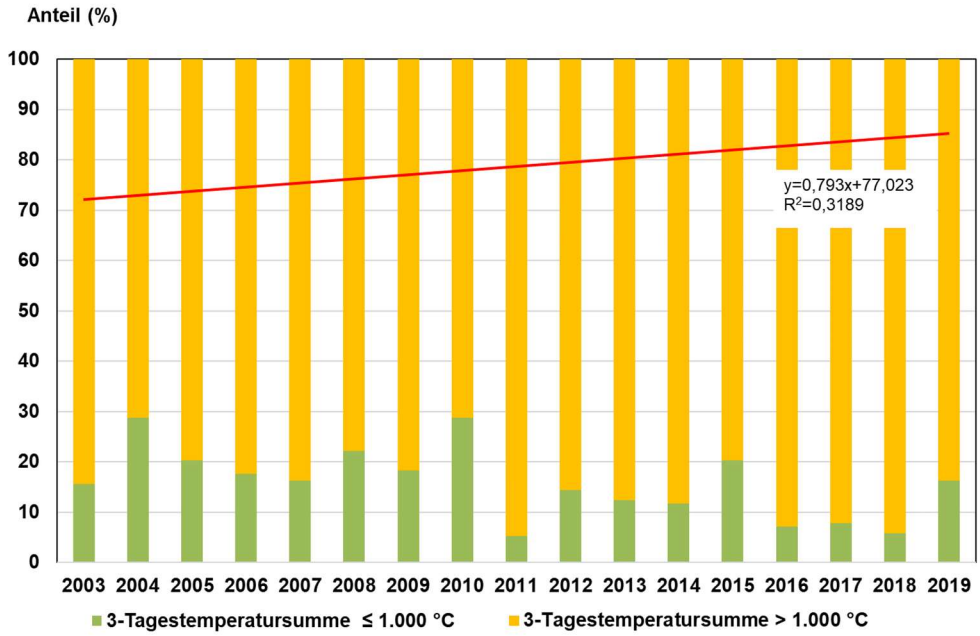


Abbildung 5: Anteil 3-Tagestemperatursumme ≤ 1.000 °C und > 1.000 °C für den Zeitraum 1.5.-30.9. für die Jahre 2003 bis 2019

1.5 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.

2 Untersuchungen zum Einfluss des Außenwindes auf das Windgeschehen in einem freigelüfteten Milchviehstall

2.1 Problemstellung

Hohe Temperaturen stellen für hochleistende Milchrinder ein Problem dar. Auf Grund ihres enormen Stoffwechsels fällt es den Tieren schwer, die großen Mengen überschüssiger Wärme an die Umgebung abzugeben. Wann die Tiere ihren thermischen Wohlfühlbereich verlassen, ist sehr tierindividuell und hängt von vielen Faktoren ab wie z.B. dem Laktationsstadium und der damit verbundenen Milchleistung als auch der Rasse, dem Gesundheitsstatus, dem Alter und der Futteraufnahme.

Die Tiere befinden sich in Anbetracht steigender Temperaturen und länger währender Hitzeperioden insbesondere in der warmen Jahreszeit immer häufiger außerhalb ihres Wohlfühlbereiches, womit sich die Gefahr von Hitzestress erhöht. Bis zu einem gewissen Maß ist es den Tieren möglich, durch ihre eigenen Mechanismen der Thermoregulation die überschüssige Wärme an die Umgebung abzugeben. Dazu gehören die Evaporation (Feuchtigkeitsverdunstung), die Konduktion (Wärmeleitung), die Radiation (Wärmestrahlung) und die Konvektion (Wärmeübergang). Um die Tiere gesund und leistungsfähig zu halten, ist es notwendig, ihre Thermoregulation durch geeignete Maßnahmen zielgerichtet zu unterstützen. Als hilfreich hat sich der Einsatz von Ventilatoren im Stall erwiesen. Durch die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit im Stall ist es den Tieren möglich, den Wärmetransfer an die Umgebung zu steigern.

In eigenen vorherigen Untersuchungen wurde festgestellt, dass der Einfluss des Außenwindes nicht unerheblich ist (Tober et al., 2011). Allerdings konnten die zugrunde gelegten Messungen nur über einen relativ kurzen Zeitraum von 15 Minuten im Tierbereich während der Abwesenheit der Kühe zur Melkzeit durchgeführt werden. Diese Messungen waren mit einem hohen personellen und technischen Aufwand verbunden und somit war es nicht möglich, viele unterschiedliche Außenwindkonstellationen hinsichtlich Windrichtung und Windgeschwindigkeit einzubeziehen. Als ein weiteres Manko stellte sich heraus, dass nur ein Teil der Messpunkte zeitgleich bedient werden konnten und sich nach Umbau der Messtechnik im ungünstigen Fall die Außenbedingungen verändert hatten. Resultierend daraus wurde in dem Untersuchungsstall stationäre Windmesstechnik installiert, die kontinuierlich und zeitgleich die Windparameter im Stall speichert. Der Anbau der Messtechnik erfolgte im Liegebereich über den Tieren in einem sicheren Abstand.

Mit diesen gewonnenen Messdaten ist eine umfassendere Auswertung für verschiedenste Außenwindkonstellationen möglich.

2.2 Literaturbetrachtung

Das Wirkprinzip der freien Lüftung zeichnet sich dadurch aus, dass der Winddruck und die Temperaturdifferenzen und damit die Dichteunterschiede in der Luft die Antriebskraft für die freie Lüftung sind. Die Außenluft wird ohne künstliche Nachbehandlung in den Stall geführt (Georges, 2009). Das Windgeschehen in einem freigelüfteten Stall selbst wird durch eine Vielzahl Faktoren beeinflusst, die ihren Ursprung innerhalb und außerhalb des Stalles haben.

Fiedler et al. (2012) haben in umfangreichen Messungen in einem freigelüfteten Milchviehstall ohne den Einsatz von Zusatzlüftern festgestellt, dass die Windgeschwindigkeit im Stall sich sehr heterogen verhält und es zu umfangreichen Turbulenzen kommt. Dabei kristallisierten sich bei einer räumlichen Betrachtung der gemessenen Windgeschwindigkeiten Stallbereiche heraus, die trotz der

offenen Gestaltung des Stallgebäudes und unabhängig von der Außenwindrichtung und Außenwindgeschwindigkeit nur geringe Windgeschwindigkeiten aufwiesen.

Mačuhová et al. (2008) verglichen das Windgeschehen in zwei freigelüfteten Ställen miteinander, wobei einerseits die Windrichtung quer zur Längsachse der Stallgebäude (in beiden Betrieben war dies auch die Hauptwindrichtung) als auch die Windrichtung parallel zur Längsachse der Stallgebäude (seitlicher Wind) bei jedem Betrieb dargestellt wurde. Die Autoren konnten nicht in allen Bereichen des Stalles einen eindeutigen Nachweis des Einflusses der Außenwindrichtung auf die Luftströmung im Stall feststellen. In beiden Ställen lagen die Windgeschwindigkeiten im Liegebereich während des gesamten Untersuchungszeitraumes unter 1 m/s.

Welchen Einfluss das Vorhandensein von Windbrechnetzen auf die Veränderung der einströmenden Windgeschwindigkeit hat, konnten Fiedler et al. (2012) nachweisen. Sie konstatierten, dass das Verhältnis von innerer zu äußerer Windgeschwindigkeit 1/4 bis 1/3 beträgt und somit eine recht hohe abbremsende Wirkung der einströmenden Luft erreicht wird. Neben der Maschengröße spielt dabei auch der Anströmungswinkel sprich Windrichtung eine Rolle (Biering, 2014).

In Untersuchungen in einem Windkanal zum Einfluss der Seitenwandöffnungen auf die inneren Strömungsverhältnisse im Stall stellten Yi et al. (2018) fest, dass unter definierten Bedingungen durch Modifikation des Anteils der Seitenwandöffnungen sich ebenfalls Änderungen bei der Windgeschwindigkeit und dem Luftströmungsmuster im Stall ergeben. Mit zunehmender Öffnungsgröße der Seitenwand erhöhten sich die Windgeschwindigkeiten und die turbulente kinetische Energie im Stall.

Hempel et al. (2014) bezeichnete das Windgeschehen im Stall als hoch komplexe und turbulente Strömungsvorgänge, die räumlich und zeitlich sehr variabel sind. In Laborexperimenten im Windkanal konnten Fiedler et al. (2013) unter kontrollierten Bedingungen statistisch repräsentative Daten erzeugen und Praxismessungen damit ergänzen. Anhand der Messungen konnte herausgefunden werden, dass sowohl Einbauten als auch der Futtertisch die gemessenen Strömungsgrößen verändern können. Zudem beeinflusst die Stallgeometrie zusätzlich die Durchströmungscharakteristik im Stall. Daher ist es wichtig beim Einsatz von Zusatzlüftung, dass eine genaue Kenntnis über die natürlichen Strömungsfelder im Stall besteht, um gezielt Bereiche mit unzureichender Belüftung zu unterstützen (Fiedler et al., 2012). Durch den Einsatz von Ventilatoren wird das Strömungsverhalten der natürlichen Luftströmung zusätzlich verändert. Außerdem können die Windgeschwindigkeiten zwischen den Tieren viel niedriger sein als die Geschwindigkeiten, die etwa ein Meter über den Tieren gemessen werden (Berman, 2005). Die Tiere selbst beeinflussen somit das Strömungsverhalten mit. Geischeder (2017) stellte nach Untersuchungen mit und ohne Einsatz von Ventilatoren fest, dass sich der optimale Einbau von Ventilatoren an den örtlichen Gegebenheiten wie Windrichtung, Stallöffnungen oder Einbauten im Stall orientieren sollte.

Nach Barnwell (1997) wird die höchste Kühlwirkung für die Tiere bei einer Windgeschwindigkeit von 2,5 m/s erreicht. In eigenen umfangreichen Untersuchungen konnten unter Nichtbeachtung der Außenklimaverhältnisse nur in unmittelbarer Nähe der Ventilatoren Windgeschwindigkeiten in dieser Höhe ermittelt werden (Loebsin et al., 2012). Richtung Tierbereich nahmen die Windgeschwindigkeiten deutlich ab. Inwieweit das Außenwindgeschehen Einfluss auf die Windgeschwindigkeit im Stall hat, soll durch die folgenden Untersuchungen ermittelt werden.

2.3 Material und Methode

Die Untersuchungen wurden in einem freigelüfteten ungedämmten Milchviehstall durchgeführt. Der Stall wurde in den Grundzügen bereits unter Punkt 1.2. beschrieben. Ergänzend zu den Angaben muss noch folgendes erwähnt werden.

Der Stall verfügt über vier Deckenventilatoren, die temperaturabhängig automatisch gesteuert werden. Drei Ventilatoren haben einen Durchmesser von 7,32 m (Big Ass, Firma Arntjen) (Abbildung 6). Bei einer Lüfterleistung von 100 % können maximal 42 Umdrehung/min erreicht werden. Ein Deckenventilator mit einem Durchmesser von 7,00 (Fresh Air Fan, Firma Arntjen) wurde nachgerüstet. Dieser Ventilator kann bei maximaler Leistung 75 Umdrehungen/min erreichen, hat aber auf Grund seiner Anordnung im Stall in den Untersuchungen keinen Einfluss auf das Windgeschehen an den Messpunkten.



Abbildung 6: Ansicht Deckenventilator Big Ass

Die Lage des Stalles im Gelände erlaubt ein südliches und westliches freies Anströmen. Diese Hauptwindrichtungen konnten auch für den Versuchszeitraum ermittelt werden. In nördlicher und insbesondere in östlicher Richtung befinden sich in unmittelbarer Nähe landwirtschaftliche Bauten, die ein ungehindertes Anströmen des Stalles be- bzw. verhindern.

Die Längsseiten des Stalles sind mit Windbrechnetzen versehen. Des Weiteren befinden sich dort Jalousien, die bei extremen Wetterlagen geschlossen werden. Bei der Versuchsauswertung wurden nur Zeiträume berücksichtigt, an denen die Jalousien geöffnet waren. Ebenso verhielt es sich mit den Toren an den Giebelseiten (Abbildung 7).

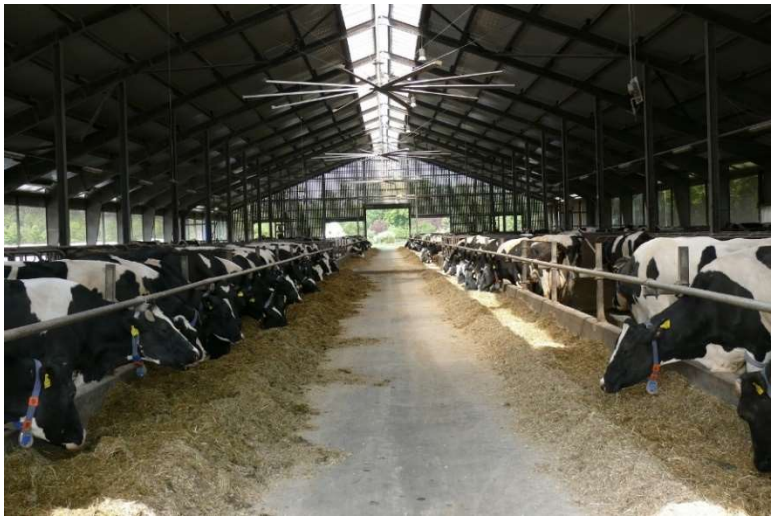


Abbildung 7: Stallansicht mit Toren in der Giebelwand

Grundlage für die folgenden Auswertungen stellen die Windgeschwindigkeiten im Stall (WG) dar. Diese wurden an insgesamt acht Messpunkten mit dreidimensionalen Ultraschallanemometern (USA) (Gill, Firma Wittich-Fisser) erfasst (Abbildung 8). Durch eine jahrelange sehr gute und sehr intensive Zusammenarbeit mit dem Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e. V. (ATB) Potsdam war es möglich, die eigene kostenintensive Messtechnik durch einige Geräte des ATB zu ergänzen und somit den gewünschten Umfang für diese Messungen zum Einsatz zu bringen. Die USA befanden sich in einer Höhe von 2,7 m über dem Liegebereich (Abbildung 8), um einerseits so dicht wie möglich das Windgeschehen in der Nähe der Tiere zu betrachten. Andererseits musste ein Sicherheitsabstand eingehalten werden, um die Tiere von der Technik und möglichen Beschädigungen fern zu halten. Die USA erfassten im 1-Sekunden-Intervall drei Windkoordinaten, aus denen die horizontale Windgeschwindigkeit und die Windrichtung ermittelt werden konnten. Im Anschluss erfolgte eine Mittelwertbildung auf 1-Minuten-Werte, die dann in die weiteren Auswertungen einbezogen wurden. Die Mittelwertbildung war notwendig, da für die Windparameter die dazugehörige Lüfterleistung in Ansatz gebracht werden sollte und diese, gemessen mit einem Drehzahlmesser, nur im 1-Minuten-Intervall zur Verfügung stand.



Abbildung 8: Ultraschallanemometer im Stall

Die Verteilung der Messpunkte konzentrierte sich auf den westlichen Teil des Stalles (Abbildung 9). Dabei stand im Vordergrund, dass sich die Messpunkte sowohl in der Nähe eines Ventilators als auch in einem vom Außenwind gut durchlüfteten Bereich befanden. Ein Messpunkt befand sich auf dem Dach des Stalles und stellte die Grundlage für die Beschreibung der Außenwindparameter dar.

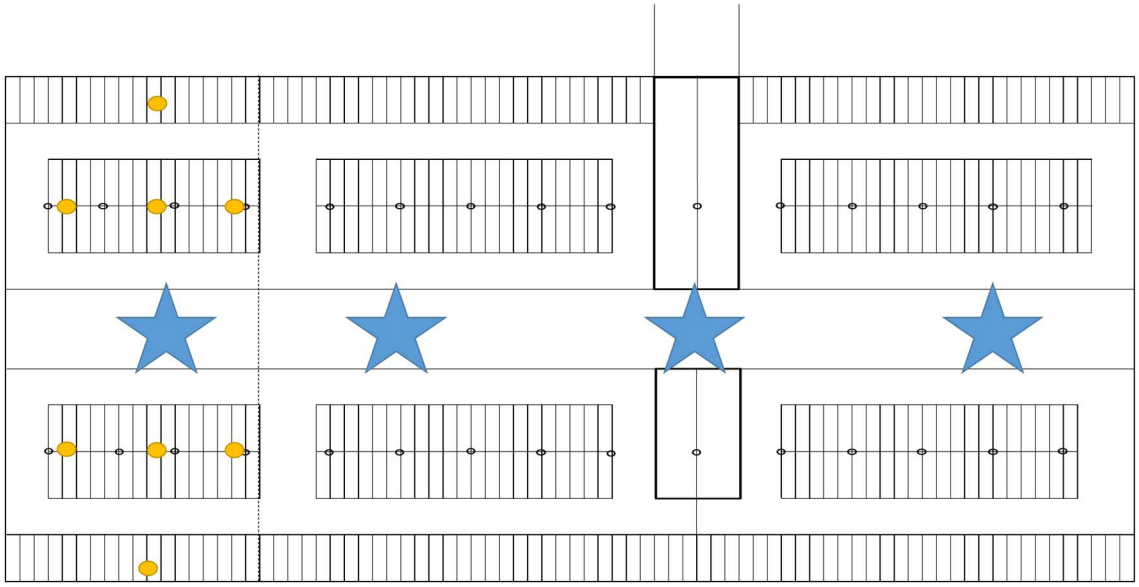


Abbildung 9: Schematische Anordnung der USA im Stall

Von jedem USA wurden zeitgleich die Windparameter erfasst. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 02.07.2018 bis zum 31.10.2018. Verrechnet wurden insgesamt 1.024.640 Datensätze. In die Auswertung wurden ausschließlich Datensätze einbezogen, an denen von allen USA die Windparameter und die dazugehörige Lüfterleistung lückenlos vorhanden waren. Außerdem mussten die Jalousien und die Tore der Giebelwand geöffnet sein, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen.

Die Aufteilung der ermittelten Windparameter erfolgte in die vier Himmelsrichtungen Nord (AWR 1), Ost (AWR 2), Süd (AWR 3) und West (AWR 4). Dabei wurden für die AWR 1 die Bereiche 0,1°-45 ° und 315,1°-360°, für die AWR 2 45,1°-135°, für die AWR 3 135,1°-225° und für die AWR 4 225,1°-315° zugrunde gelegt. Der besseren Verständlichkeit wegen werden im weiteren Verlauf der Arbeit die Windrichtungen beim Namen benannt und auf die Formulierung AWR 1 bis 4 weitestgehend verzichtet. Auf der anderen Seite wurden ebenfalls die Windgeschwindigkeiten einer Klassifizierung unterzogen und in die Klassen AWG 1 (< 3 m/s) und AWG 2 (≥ 3 m/s) eingeordnet. Für die Umdrehungen der Ventilatoren wurden als Äquivalent die Lüfterdrehzahl (LDZ) prozentual in die Bereiche LDZ 10 (0…10 %), LDZ 90 (11…90 %) und LDZ 100 (91…100 %) eingeteilt. Dabei stellt LDZ 10 den Bereich dar, wo die Ventilatoren praktisch aus sind, LDZ 90 den Bereich, wo die Ventilatoren in Teilbetrieb sind und LDZ 100 den Bereich, wo die Ventilatoren auf Volllast laufen.

Statistik

Die aufbereiteten Daten wurden mit dem Programmpaket SAS 9.4 mit einem gemischten Modell (proc mix) statistisch verrechnet. Dabei wurden folgende Modelle verwendet:

$Y_{ijk} = AWR_i + LDZ_k + AWG + e_{ik}$

$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (AWG \times LDZ)_{jk} + e_{ijk}$

$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (AWR \times LDZ)_{ik} + e_{ijk}$

$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (AWR_i \times AWG_j \times LDZ_k)_{ijk} + e_{ijk}$

$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (USA \times AWR_i \times AWG_j \times LDZ_k)_{ijk} + e_{ijk}$

Dabei bedeutet:

Y_{ijk} = Beobachtungswert des Merkmals

AWR_i = Außenwindrichtung (i = 1; 2; 3; 4)

AWG_j= Außenwindgeschwindigkeit in m/s (j = 1; 2)

LDZ_k = Lüfterdrehzahl in % (k = 10; 90; 100)

USA = Messpunkt (Ultraschallanemometer)

e_{ijk} = zufälliger Restfehler

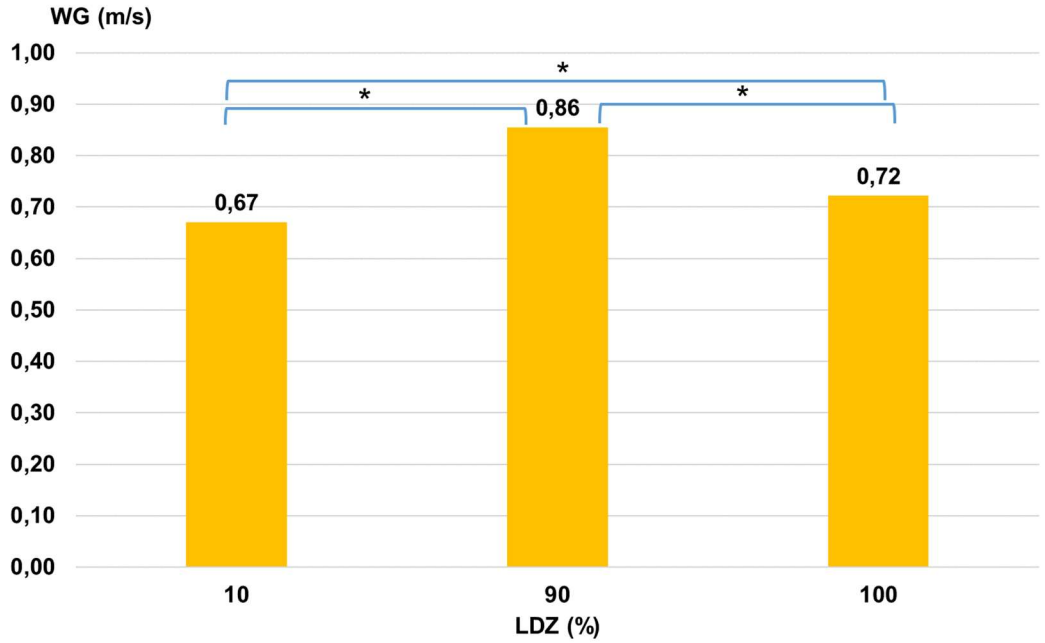
Das Signifikanzniveau wurde mit $p \leq 0,05$ festgelegt.

2.4 Ergebnisse

In der folgenden Ergebniszusammenstellung werden die jeweiligen LSMeans für die Windgeschwindigkeit in m/s dargestellt. Ziel der Untersuchungen war es, das Windgeschehen im Stall in Abhängigkeit von den Außenwindbedingungen und dem Einsatz der Ventilatoren zu beschreiben.

2.4.1 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von der Lüfterdrehzahl

Einführend wurde die Windgeschwindigkeit im Stall (WG) ohne Berücksichtigung des Außenwindes, sondern lediglich in Abhängigkeit des Einsatzes der Ventilatoren berechnet (Abbildung 10). Es konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen WG ermittelt werden. Die WG erhöht sich mit dem Anschalten der Ventilatoren (LDZ 10 zu LDZ 90) von 0,67 auf 0,86 m/s. Bei der höchsten LDZ (LDZ 100) wurde eine geringere WG (0,72 m/s) als bei LDZ 90 ermittelt. Das lässt darauf schließen, dass weitere Faktoren das Windgeschehen im Stall beeinflussen. Abbildung 11 zeigt, dass bei der Einstellung LDZ 100 die geringsten AWG gemessen wurden. Demzufolge scheint der Einfluss des Außenwindes auf das Windgeschehen im Stall recht hoch zu sein.



$Y_{ijk} = AWR_i + LDZ_k + AWG + e_{ik}$ (* bedeutet Signifikanz)

Abbildung 10: WG in Abhängigkeit von der LDZ (R^2 = 0,64)

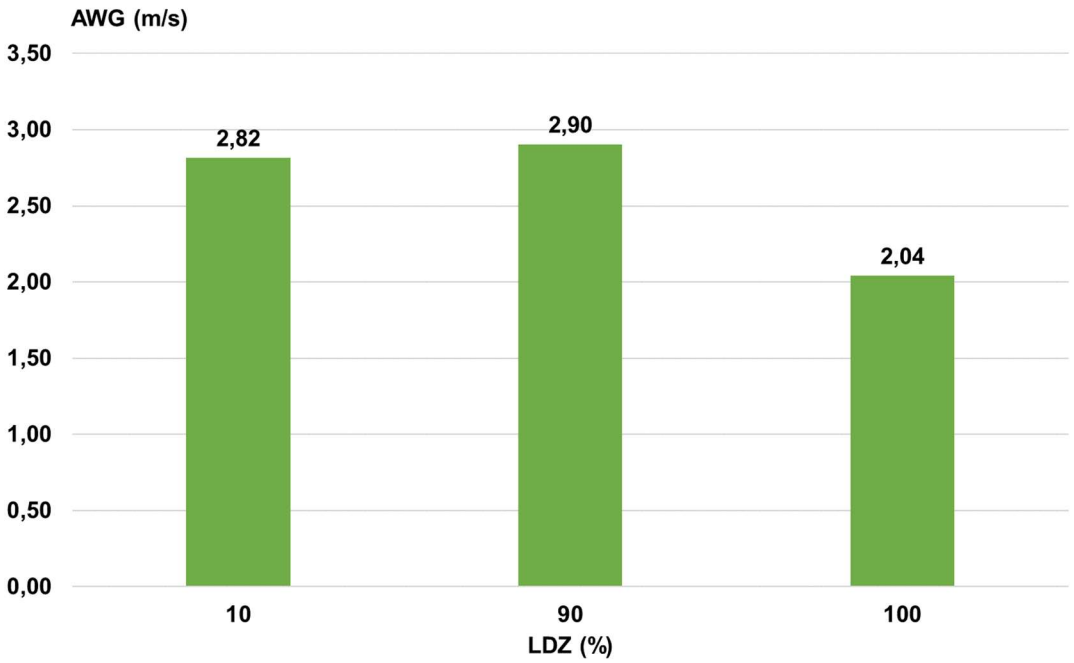
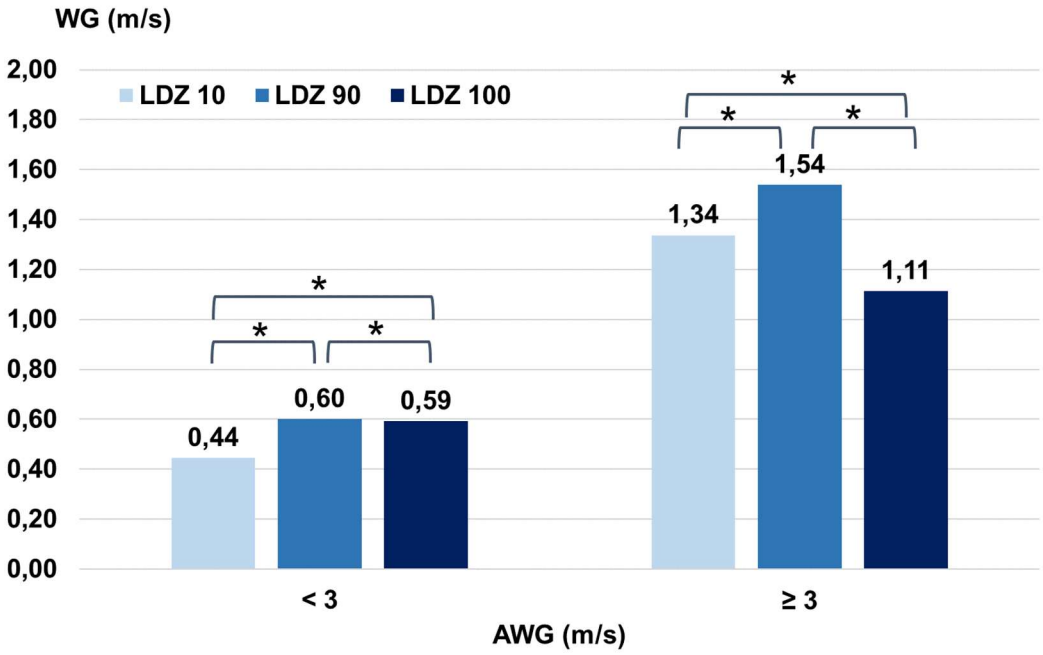


Abbildung 11: AWG in Abhängigkeit von der LDZ

2.4.2 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von Lüfterdrehzahl und Außenwindgeschwindigkeit

Zur weiteren Betrachtung der WG wurde die Außenwindgeschwindigkeit (AWG) hinzugezogen. Grundsätzlich muss an dieser Stelle die Feststellung gemacht werden, dass bei hohen AWG die WG höher ist als bei niedrigen AWG (Abbildung 12). Das zeigt den Einfluss des Außenwindes sehr deutlich. Das Anschalten der Ventilatoren (LDZ 10 zu LDZ 90) erzeugt bei beiden AWG-Klassen einen Anstieg der WG um 0,16 m/s (AWG < 3 m/s) bzw. 0,20 m/s (AWG ≥ 3 m/s). Werden die Ventilatoren auf Höchstleistung gefahren (LDZ 100), ändert sich die WG bei der Variante AWG < 3 m/s kaum, während bei der Variante AWG ≥ 3 m/s ein deutlicher Rückgang der WG zu verzeichnen ist, der sogar einen niedrigeren Wert gegenüber der Variante LDZ 10 aufweist. Das Einwirken hoher AWG führt zu höheren WG im Stall. Werden die Ventilatoren aber mit hoher Leistung LDZ 100 gefahren, arbeitet der einströmende Außenwind gegen die vom Ventilator erzeugte Luftströmung und führt zu einer Absenkung der WG im Stall. Gleiche Beobachtungen konnten Tober et al. (2011) in Untersuchungen in einem freigelüfteten Milchviehstall machen.

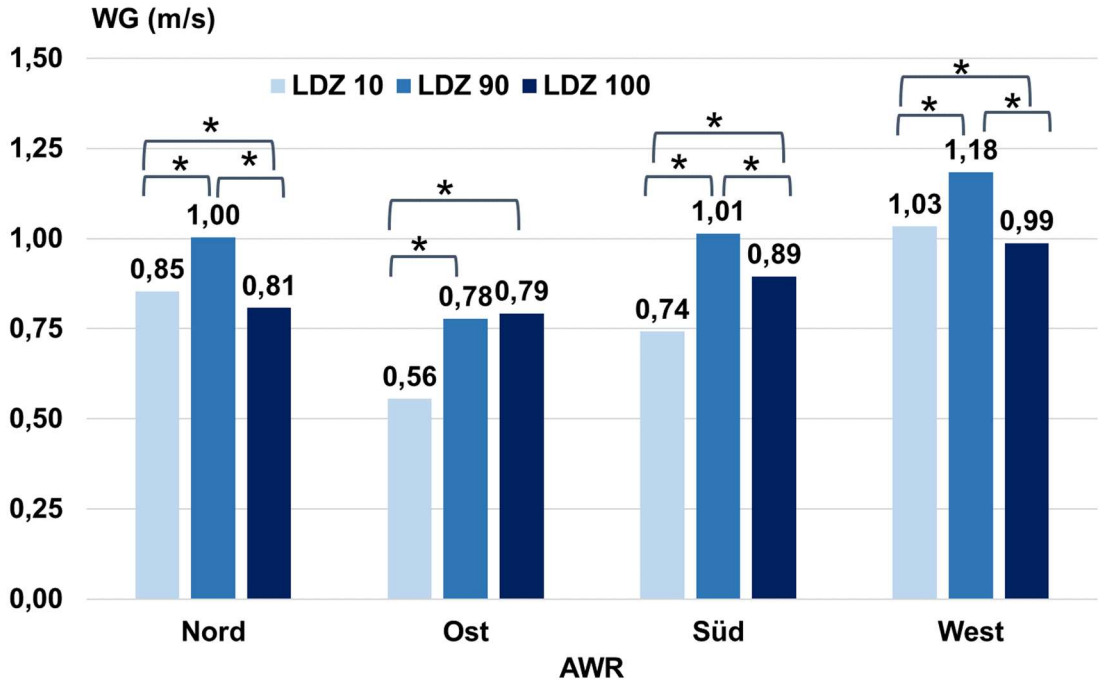


$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (AWG \times LDZ)_{jk} + e_{ijk}$ (* bedeutet Signifikanz)

Abbildung 12: WG in Abhängigkeit von LDZ und AWG (R^2 = 0,56)

2.4.3 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von Lüfterdrehzahl und Außenwindrichtung

Für die WG im Stall ist es von Bedeutung, aus welcher Richtung der Wind kommt. Je nach Lage im Stall werden die Messpunkte unterschiedlich von der AWR beeinflusst. Über alle Windrichtungen hinweg kann festgestellt werden, dass ein Anschalten der Ventilatoren und eine Erhöhung der LDZ auf bis zu 90 % (LDZ 10 zu LDZ 90) einen Anstieg der WG bedeutet (Abbildung 13). Ein weiteres Hochfahren der Ventilatoren auf eine Leistung > 90 % (LDZ 100) bewirkt allerdings bei fast allen AWR eine Reduzierung der WG um 0,12 bis zu 0,20 m/s. Bei den Varianten AWR Nord und West wurden sogar geringere WG bei LDZ 100 ermittelt als bei LDZ 10. Eine Erscheinung, die sich bereits in Abbildung 12 bei hoher AWG ≥ 3 m/s abzeichnete.

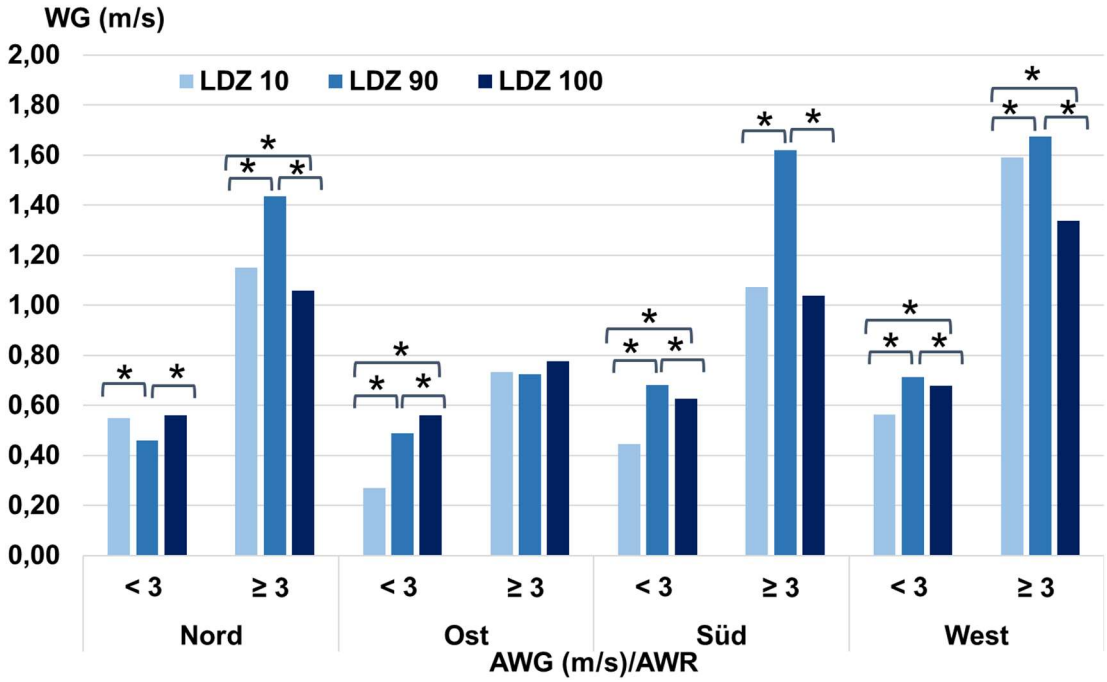


$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (AWR \times LDZ)_{ik} + e_{ijk}$ (* bedeutet Signifikanz)

Abbildung 13: WG in Abhängigkeit von LDZ und AWR (R^2 = 0,55)

2.4.4 Windgeschwindigkeit im Stall in Abhängigkeit von Lüfterdrehzahl, Außenwindgeschwindigkeit und Außenwindrichtung

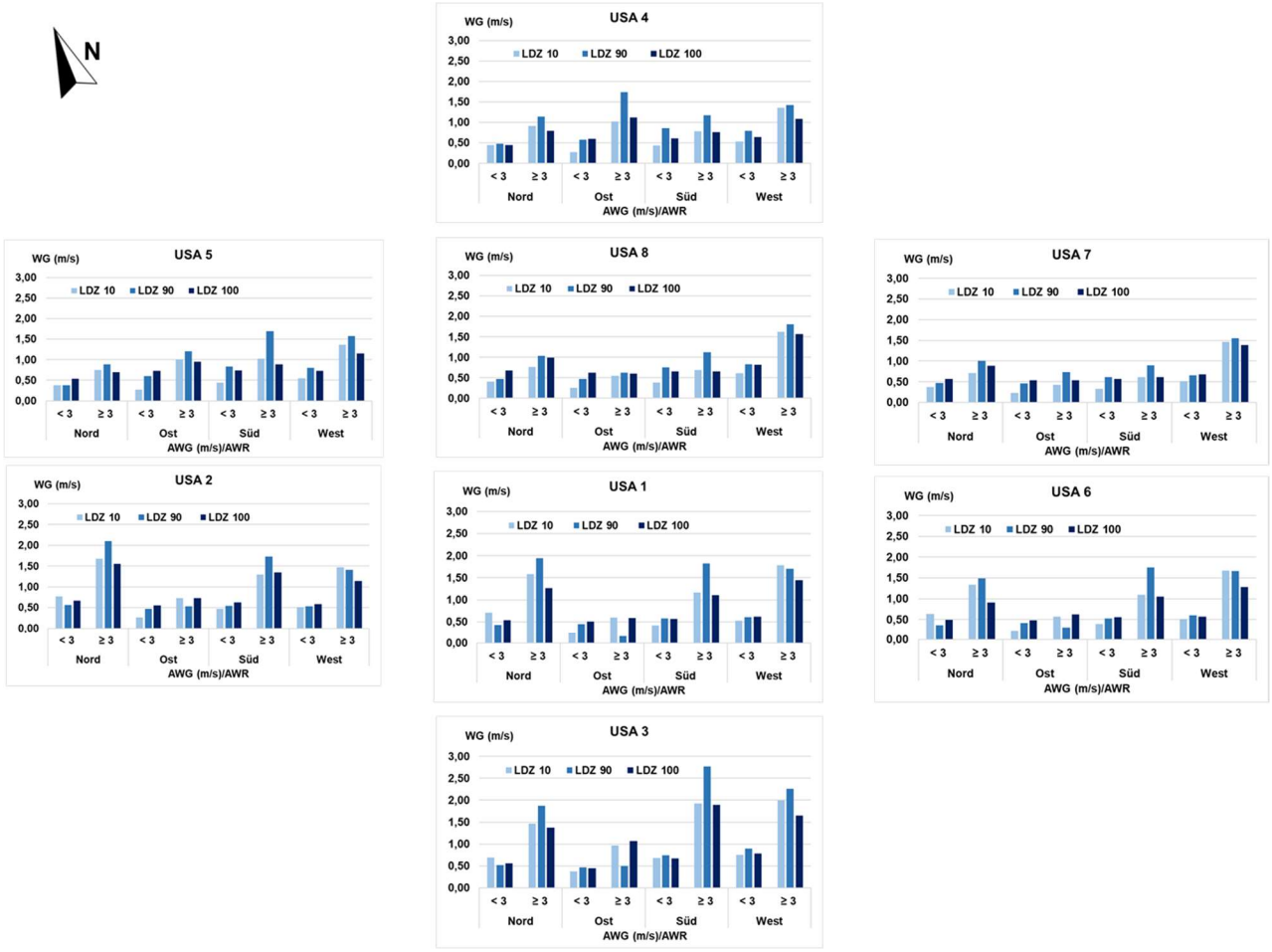
Etwas diffus und nicht einheitlich stellt sich die WG in Abbildung 14 dar. Festgestellt werden kann aber, dass bei allen AWR und hohen AWG (AWG ≥ 3 m/s) die WG höher sind als bei niedrigeren AWG (AWG < 3 m/s). Einzig bei der Variante AWR Ost zeigt sich, dass die WG bei hohen AWG (AWG ≥ 3 m/s) im Vergleich zur AWG < 3 m/s nur geringfügig höher ausfallen. Grund ist die Lage des Stalles im Territorium. Von der östlichen Seite behindern Bauten ein freies Anströmen des Stalles, so dass der Ostwind auch bei hohen AWG nur wenig wirksam werden kann. Ein Anstieg der WR durch das Erhöhen der LDZ (LDZ 10 zu LDZ 90) kann in fast allen Varianten allerdings in unterschiedlicher Intensität festgestellt werden. Das Erreichen der maximalen LDZ 100 führt bei den niedrigen AWG (AWG < 3 m/s) bei der AWR Nord und AWR Ost zu einem weiteren Ansteigen der WG. In der gleichen AWG-Klasse (AWG < 3 m/s) ist bei den Varianten AWR Süd und AWR West hingegen ein leichtes Absenken der WG zu erkennen. Der deutliche Abfall der WG bei der AWG ≥ 3 m/s bei allen AWR außer AWR Ost kann nur auf eine Beeinflussung der WG durch den starken einströmenden Außenwind erklärt werden.



$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (AWR_i \times AWG_j \times LDZ_k)_{ijk} + e_{ijk}$ (* bedeutet Signifikanz)

Abbildung 14: WG in Abhängigkeit von LDZ, AWG und AWR (R^2 = 0,58)

Die Abbildung 15 zeigt die WG kombiniert für die einzelnen Varianten der LDZ, AWG und AWR detailliert für jeden Messpunkt im Stall. Bezüglich der Variante AWG < 3 m/s konnten an allen Messpunkten gegenüber der Variante AWG ≥ 3 m/s die geringsten WG ermittelt werden. Dabei macht es keinen Unterschied, aus welcher Richtung der Stall angeströmt wird. Das Niveau der WG für die Messpunkte ist vergleichbar und bewegt sich zwischen 0,23 und 0,89 m/s. Deutlich höhere Werte treten bei der Variante AWG ≥ 3 m/s auf. Unabhängig vom Einsatz der Ventilatoren werden Werte von 0,16 bis 2,77 m/s erreicht. Allerdings gibt es hier signifikante Unterschiede zwischen den Messpunkten, die insbesondere bei der Variante AWG ≥ 3 m/s und dann vorrangig bei einer LDZ 100 nachweisbar sind. Die Variante AWR Ost konnte bei hohen AWG (AWG ≥ 3 m/s) am Messpunkt 4, dem östlichsten Messpunkt, die höchsten WG verzeichnen, während an allen anderen Messpunkten bei dieser Variante die geringsten WG gemessen wurden und ein Einfluss der Außenbedingungen kaum erkennbar ist. Die Wirksamkeit des Außenwindes bei hohen AWG (AWG ≥ 3 m/s) wird hingegen an den Messpunkten 1, 2, 3 bei der Variante AWR Nord, an den Messpunkten 1, 2, 3 und 6 bei der Variante AWR Süd und an den Messpunkten 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 bei der Variante AWR West deutlich. Es handelt sich um Messpunkte, die sich in Randlagen und der jeweiligen Windrichtung zugewandt befinden. An vielen Messpunkten kann außerdem festgestellt werden, dass sich insbesondere bei den Varianten AWG ≥ 3 m/s und dort vorzugsweise bei der Variante AWR Nord, Süd und West ein Abfall der WG beim Übergang von LDZ 90 zu LDZ 100 einstellt. Vorzugsweise und besonders deutlich tritt dieser Effekt bei Messpunkten auf, die von einer bestimmten Windrichtung relativ ungehindert bzw. mit hoher Windgeschwindigkeit angeströmt werden können. Dabei spielen die großen Tore am Giebel des Stalles sowie der unverbaute Futtergang in Längsrichtung, der ungehindert durchströmt werden kann, eine nicht unbedeutende Rolle.



$$Y_{ijk} = AWR_i + AWG_j + LDZ_k + (USA \times AWR_i \times AWG_j \times LDZ_k)_{ijk} + e_{ijk}$$

Abbildung 15: WG in Abhängigkeit von LDZ, AWG und AWR für die einzelnen Messpunkte im Stall (R^2 = 0,66)

2.5 Fazit

Das Windgeschehen in einem freigelüfteten Stall ist ein chaotisches und komplexes System. Beeinflusst durch die Lage des Gebäudes im Territorium und durch vorhandene Bauten und Vegetation werden diese Ställe demzufolge auch sehr unterschiedlich durch den Außenwind angeströmt. Ebenso spielt die Stallgeometrie wie die Anordnung von Säulen, Trennwänden, gegebenenfalls Melkroboter, aber auch das Vorhandensein von offenen Toren und Windbrechnetzen eine entscheidende Rolle für die Luftbewegung im Stall. Der zusätzliche Einsatz von Ventilatoren in Zusammenhang mit den genannten Faktoren kann unterschiedliche Windgeschwindigkeiten im Stall hervorrufen. Jeder Stall ist mit seinen individuellen Gegebenheiten in seiner Art einzigartig. Allgemeingültige Aussagen können deshalb nur eingeschränkt gemacht werden. Am aufgezeigten Beispiel eines freigelüfteten Milchviehstalles soll exemplarisch auf einige Sachverhalte aufmerksam gemacht werden.

Anhand der Auswertungen der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass es neben einigen Gemeinsamkeiten auch ebenso Unterschiede zwischen den einzelnen Messpunkten gibt. Jeder Messpunkt wird von den Einflussfaktoren in unterschiedlicher Intensität getroffen.

Hohe LDZ führen zu einer Erhöhung der WG im Stall (Tober et al., 2011), aber nicht immer und grundsätzlich. Das Anschalten und Hochfahren der Ventilatoren (LDZ 10 → LDZ 90) bewirkt bei den meisten ausgewerteten Varianten eine Erhöhung der WG. Eine weitere Steigerung der Lüfterleistung auf > 90 % (LDZ 100) zeigt in vielen Fällen ein Abfallen der WG an den untersuchten Messpunkten. Es muss festgehalten werden, dass bei dieser Variante aber auch die geringsten AWG zu verzeichnen waren. Im Inneren des Stalles, wo der Außenwind weniger wirksam werden kann, ist dieser Effekt in deutlich geringerem Umfang zu erkennen. Die Messpunkte befinden sich über den Liegeboxen und so stellten Tober et al. (2011) und Löffler et al. (2017) in ähnlichen Untersuchungen ebenfalls fest, dass die WG vom Ventilator in Richtung Außenwand sehr schnell abnimmt, da allein die Futtergangbegrenzung schon zur Reduzierung der WG beiträgt. Selbst die im Stall befindlichen Tiere stellen in gewisser Weise Hindernisse dar und können eine Bremswirkung auf die WG hervorrufen.

Hohe AWG führen eindeutig zu höheren WG im Stall. Je nach AWR und AWG können aber die einströmende Außenluft und die vom Ventilator erzeugte Luftströmung im Stall gegeneinander arbeiten und zur Reduzierung der WG an einigen Messpunkten führen. Dass der Einfluss des Außenwindes so konsequent auftritt, ist allerdings erstaunlich.

Der Abfall der WG vollzieht sich auf einem recht hohen Niveau. Einige Stallbereiche wie der Fressgang, die sich in der Nähe der Ventilatoren befinden, profitieren stark von deren Einfluss. Eine Reduzierung der LDZ auf < 90 % wird daher nicht empfohlen, sondern entsprechend der Temperaturbedingungen ein Hochfahren auf Volllast nahegelegt.

2.6 Empfehlungen zur Minderung von Hitzestress

Eine Erhöhung der WG im Stall ist durch den Einsatz von Deckenventilatoren möglich, allerdings müssen gewisse Einschränkungen gemacht werden. Die WG im Stall ist stark durch den Außenwind geprägt. Entsprechend der AWG und der AWR werden die einzelnen Bereiche im Stall unterschiedlich beeinflusst. Somit führt der Einsatz von Deckenventilatoren zwar zu einer Erhöhung der WG im Stall, aber nicht zwingend in allen Stallarealen in gleicher Weise. Es gibt Bereiche im Stall, die durch den Außenwind und/oder den Einsatz der Deckenventilatoren besser bedacht werden. Um die Tiere bei ihrer Thermoregulation zu unterstützen, ist es in diesem Zusammenhang notwendig, die Ventilatoren rechtzeitig anzuschalten. Eine automatische temperaturabhängige Steuerung ist deshalb unbedingt zu empfehlen. Manuelle Steuerungen bergen die Gefahr, dass die Ventilatoren häufig zu spät angeschaltet werden, da die subjektive Wahrnehmung des Stallklimas durch das Betreuungspersonal und das wirkliche Empfinden der Tiere nie konform gehen. Eigene Auswertungen von Lüfterdaten über mehrere Jahre zeigen, dass sich durch die Umstellung von manueller auf automatische temperaturgesteuerte Schaltung die Laufleistungen der Ventilatoren mehr als verdoppeln (Abbildung 16). Ein wichtiger Fakt, der dem Wohlbefinden der Tiere zu Gute kommt.

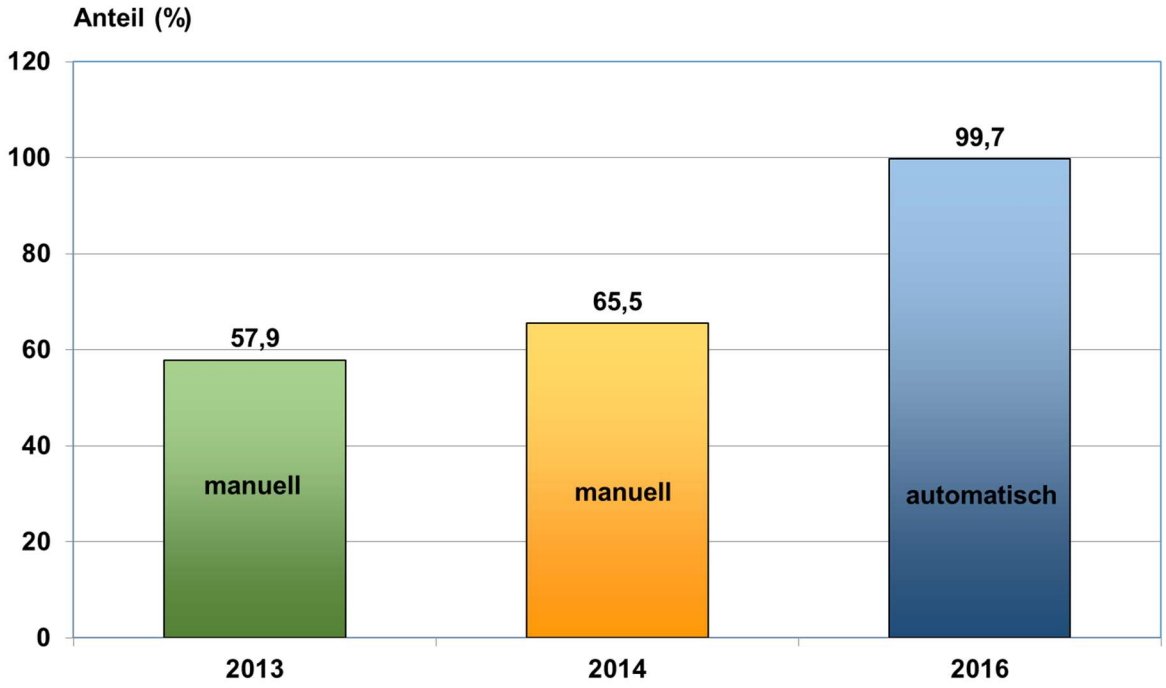


Abbildung 16: Laufleistung von Ventilatoren bei manueller und temperaturabhängiger automatischer Steuerung für die Monate Mai bis September

Abschließend soll an dieser Stelle auf einige grundlegende Punkte bezüglich des Luftaustausches in freigelüfteten Ställen verwiesen werden, die eine entscheidende Rolle bei der Minimierung von Hitzestress spielen können:

- Realisierung eines hohen Luftaustausches zur Unterstützung der Verdunstung (Evaporation) und Frischluftversorgung bei den Tieren (freie Anströmung, geringe Stallbreiten, große traufseitige Fassadenflächen)
- Erhöhung der Windgeschwindigkeit im Stall (Konvektion) durch Einsatz von automatisch gesteuerten Ventilatoren
- Einschalten der Lüftungstechnik ab einer Temperatur von 10 °C (Tober, 2020) und langsames Hochfahren der Ventilatoren
- Einsatz von Ventilatoren optional in Verbindung mit Verdunstungskühlung (Hochdruckvernebelung)
- Bereiche mit höherer Tierdichte (Melkstand, Vorwartehof, vor Melkrobotern) besonders mit Ventilatoren zur Abkühlung bedenken
- Sinnvolle Einordnung der Leistungsgruppen entsprechend der Durchlüftungsqualität der einzelnen Stallbereiche.

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.

3 Untersuchungen zum Temperaturgeschehen in Kälberiglus im Freien und unter Dach

3.1 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).

3.2 Material und Methode

In Untersuchungen der Landesforschungsanstalt MV zu verschiedenen Aufstallungsformen 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 (Abbildung 17) und zum anderen Iglus, die sich in einem Leichtbaustall mit Wänden aus Trapezlochblech und einem ungedämmten Dach aus Faserzementplatten befanden (Abbildung 18).

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 auf dem Betriebsgelände vom Typ Dalos (F&C, Gülzow) verwendet werden. Für die Variante Iglus unter Dach musste hingegen auf Daten der nächstgelegenen Wetterstation 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




Abbildung 17: Iglus im Freien an bzw. zwischen Gebäuden




Abbildung 18: Leichtbaustall mit innenliegenden Iglus

Kälbern im Stall befanden. Waren die Iglus zwecks Reinigung und Desinfektion bzw. Lagerung außerhalb des Stalles, so wurden diese Zeiträume von der Auswertung ausgeschlossen.

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 °C in 5 °C-Schritten bis zur Klasse > 30 °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 W/m^2.

3.3 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 (Abbildung 19). 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 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 Strohs einen wärmenden Platz schaffen. Mit einem so entstehenden angenehmen Mikroklima im Iglu überstehen die meisten Kälber auch frostige Temperaturen unbeschadet.

Problematischer stellen sich bei den im Freien stehenden Iglus die höheren Temperaturen im Sommer dar. Bereits ab Außentemperaturen von 10 °C steigen die Differenzen zwischen den beiden Temperaturen wieder an und im Außentemperaturbereich über 20 °C wurden im Durchschnitt schon mehr als 2 K höhere Temperaturen im Iglu als außen ermittelt. Es handelt sich hier um Mittelwerte. Einflussfaktoren wie Tierverhalten, Sonne und Schatten wurden nicht berücksichtigt.

Deutlich anders verhält sich das Temperaturgeschehen bei den Iglus unter Dach. Bis zu einer Außentemperatur von 20 °C ist es im Iglu wärmer als außen, wobei festgestellt werden kann, je kälter die Außentemperatur desto höher die Differenz. Das ist ein wünschenswerter Effekt, der bis zu einem gewissen Maß mit den Iglus im Freien vergleichbar ist. Mit steigender Außentemperatur verringern sich allerdings die Differenzen in der Variante Iglus unter Dach und ab einer Außentemperatur von 20 °C werden die Differenzwerte negativ, was bedeutet, dass es in den Iglus kühler ist als außen.

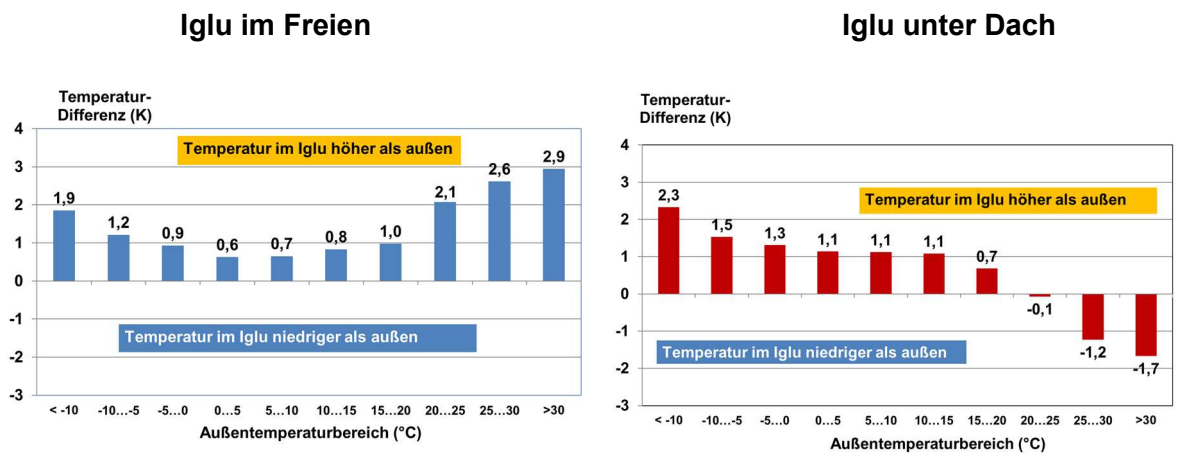


Abbildung 19: Mittelwert der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Iglutemperatur in Abhängigkeit von den einzelnen Außentemperaturbereichen

3.4 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 bis 600 W/m^2 und im Winter bereits ab 150 bis 300 W/m^2 von Sonnenschein bei leichter bis mittlerer Bewölkung gesprochen. In der Literatur wird auch ein Wert von 120 W/m^2 als Schwellenwert für Sonnenschein angegeben (Sonntag und Behrens, 1992). In der Abbildung 20 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/m^2, 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/m^2) in den Iglus wärmer ist als außen. Bei höherer Globalstrahlung (ab 400 W/m^2) ändern sich die Verhältnisse derart, dass es in den Iglus dann kühler ist als außen. Erst bei Globalstrahlungswerten ab 700 W/m^2 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.

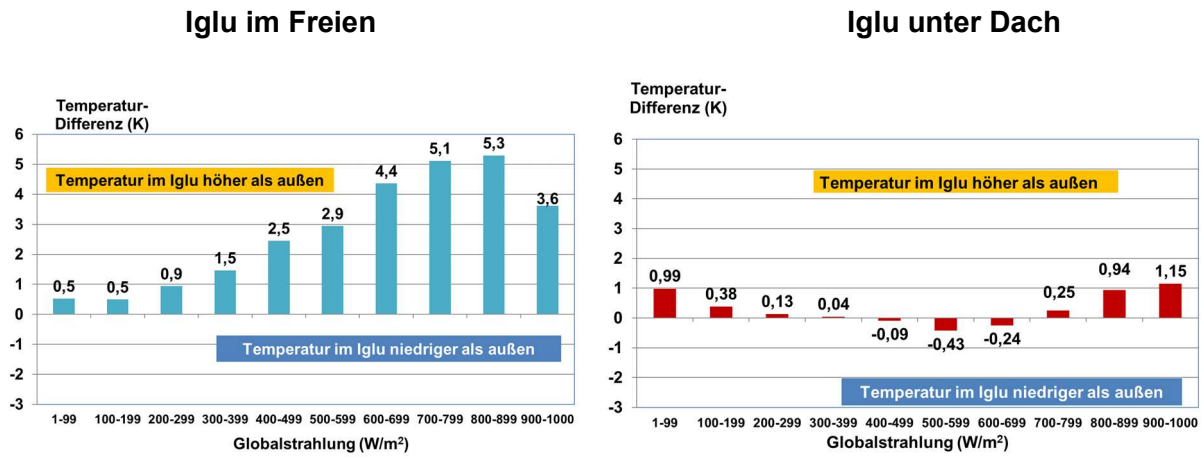


Abbildung 20: Mittelwerte der Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Iglutemperatur in den einzelnen Globalstrahlungsklassen

Ein Vergleich der Temperaturdifferenzen für beide Varianten gegliedert nach einer Globalstrahlung < 600 W/m^2 und > 600 W/m^2 unterstreicht deutlich die Unterschiede zwischen beiden Aufstallungsformen (Abbildung 21). Bei den im Freien stehenden Iglus ist es in den Iglus demzufolge ab Außentemperaturen von 5 °C bei einer Globalstrahlung > 600 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

Iglu im Freien **Iglu unter Dach**

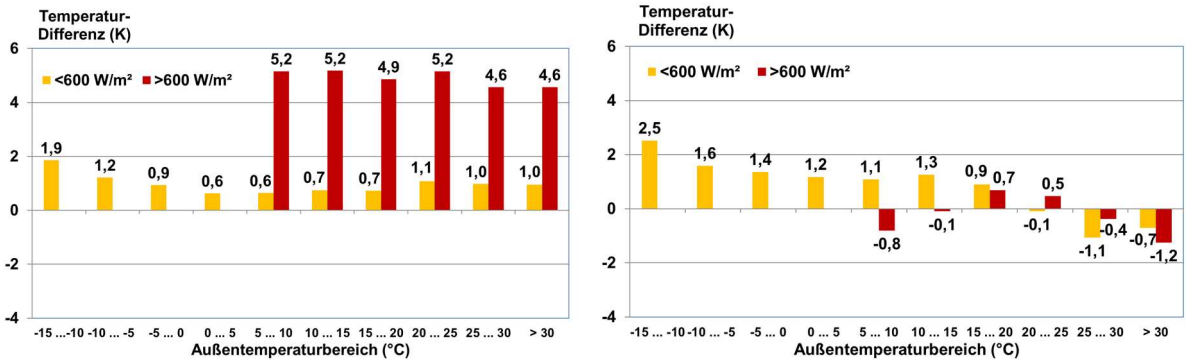


Abbildung 21: Mittelwert der Temperaturdifferenzen für unterschiedliche Globalstrahlungswerte in den einzelnen Temperaturbereichen

Temperaturerhöhung im Iglu führt. Das schließt allerdings eine allmähliche Erwärmung mit der ansteigenden Außentemperatur im Tagesverlauf nicht aus.

Wie sich die Intensität der Globalstrahlung (sprich Sonneneinstrahlung) und deren Dauer auf die Igluinnentemperaturen auswirken, zeigt Abbildung 22. Es werden die Temperaturdifferenzen zwischen Iglu- und Außentemperatur in Abhängigkeit ihrer Dauer und für die Globalstrahlungsbereiche > 120 W/m^2 und > 600 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 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.

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 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.

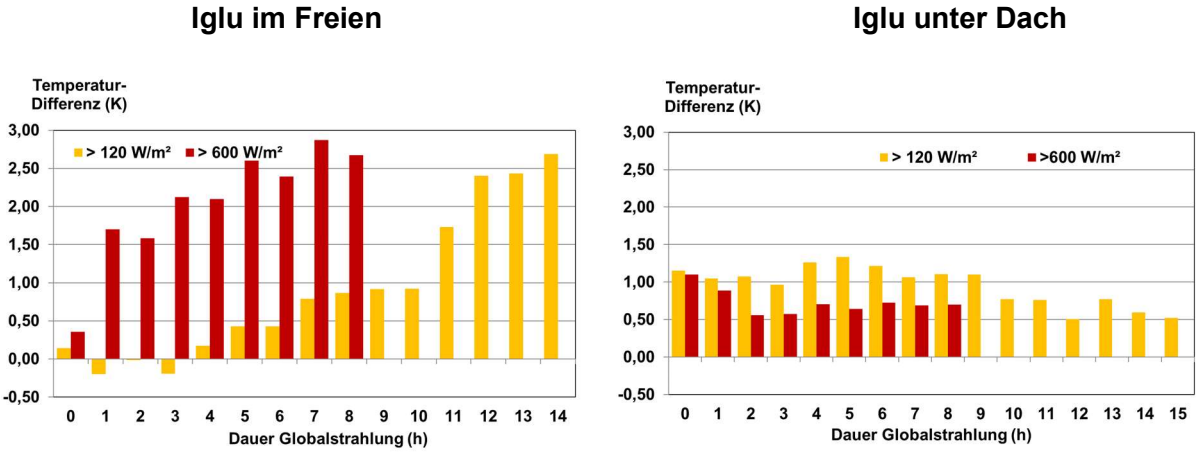


Abbildung 22: Einfluss der Dauer der Globalstrahlung auf die Temperaturdifferenz zwischen Iglu und außen für verschiedene Globalstrahlungsbereiche

In der Abbildung 23 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 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.

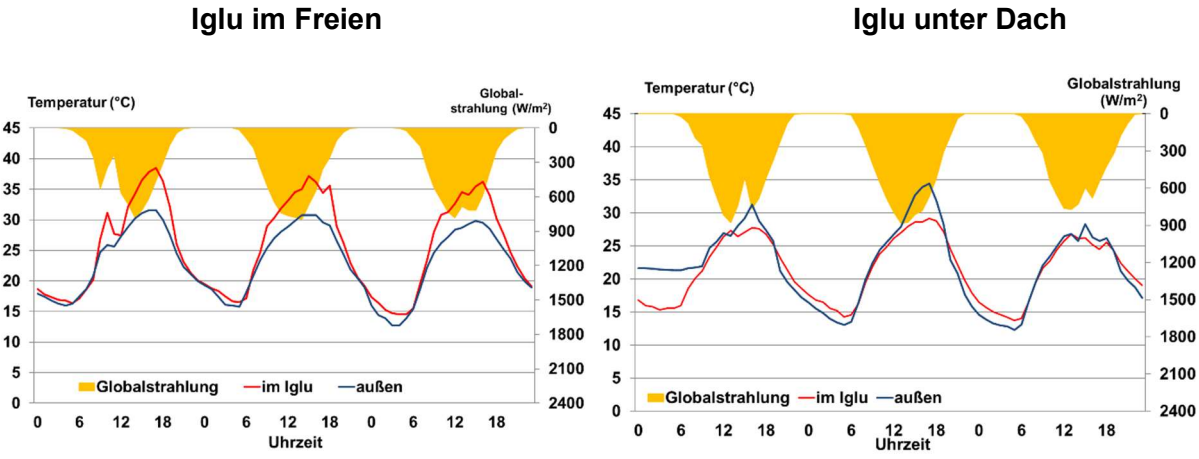


Abbildung 23: Temperaturverläufe und Globalstrahlung für Iglu im Freien und Iglu unter Dach

3.5 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 Aufstallung 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 (Abbildung 24). 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 Aufstallung von Iglus unter Dach hat außerdem den Vorteil, dass in Schlechtwetterphasen das Einstreumaterial nicht durchnässt.

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.

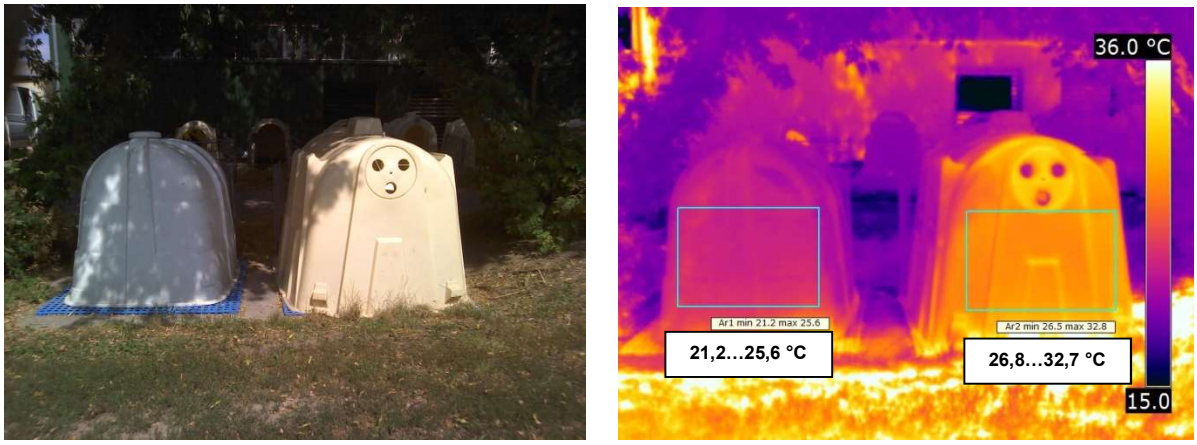


Abbildung 24: Wärmebild von Iglus in der Sonne und im Schatten

3.6 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.

4 Literatur

Anonym (2012): Städtebauliche Klimafibel 2012, Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, Stuttgart

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

Barnwell, R. (1997): Evaporative Cooling Systems, Understanding and Maximizing Summer Ventilation. Technical News, Quarterly Publication of Coob-Vantrees, Vol. 5, No. 2

Berman, A. (2005): Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. Journal of Animal Science 83; S. 1377 – 1384.

Biering, X. (2014): Aerodynamische Eigenschaften an einem Windschutznetz in einem Milchviehstall. Bachelorarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät

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

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

Fiedler, M.; Hoffmann, G.; Loebsin, C.; Berg, W.; von Bobrutzki, K.; Ammon, C.; Amon, T. (2012): Luftgeschwindigkeit und Hitzebelastung im Milchviehstall – Auswirkungen auf das Tierwohl. Landtechnik 67 (6), S. 421 – 424

Fiedler, M.; Schröter, K.; Reinhardt, A.; Saha, C.; Loebsin, C.; Berg, W.; Amon, T. (2013): Windkanaluntersuchungen an einem frei gelüfteten Milchviehstall. Landtechnik, 68(4), S. 265-268

Georges, M. (2009): Entwicklung von Stallgebäuden zur Milchviehhaltung unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen in ariden und semiariden Gebieten. Dissertation, Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig, Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Umweltwissenschaften

Geischeder, S. (2017): Auswirkungen von Hitzestress auf Milchkühe der Rasse Fleckvieh unter bayerischen Klimabedingungen und Einfluss einer Unterstützungslüftung durch Ventilatoren. Dissertation, Veterinärwissenschaftliches Department der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung, München

Hempel, S.; Wiedemann, L.; Ammon, C.; Fiedler, M.; Saha, C.; Janke, D.; Loebsin, C.; Fischer, J.; Amon, B.; Hoffmann, G.; Menz, C.; Zhang, G.; Halachmi, I.; del Prado, A.; Estelles, F.; Berg, W.; Brunsch, R.; Amon, T. (2015): Bestimmung der Durchströmungscharakteristik frei gelüfteter

Milchviehställe zur Optimierung des Stallklimas. In: Tagungsband 12. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 8.-10.9.2015, Freisingen, Hrsg.: KTBL, Darmstadt, 346-351

Häusler, J. (2009): Erhebung tiergesundheitlicher Parameter von Kälbern in unterschiedlichen Kälberiglus (Vergleichstest). Abschlussbericht, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Köhler, C. (2011): Nicht ins Schwitzen kommen. dlz primus Rind, Heft 7

Kunz, P. und Montandon, G. (1985): Vergleichende Untersuchungen zur Haltung von Kälbern im Warm- und Kaltstall während der ersten 100 Lebenstage. Schriftenreihe der Eidgenössenschaftlichen Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik, FAT, Tänikon

Loebsin, C.; Tober, O.; Fiedler, M. und Schröter, K. (2012): Hitzestress bei Milchrindern und Möglichkeiten der Minderung. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 49, S. 64 – 72.

Löffler, P.; Sträussnigg, B. (2017): Hitzestress in der Rinderhaltung und Mindestpotenzial durch horizontale Grossraumventilatoren. Diplomarbeit, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Mačuhová, J.; Enders, S.; Peis, R.; Gutermann, S.; Freiberger, M. und Haidn, B. (2008): Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Außenklimaställen für Milchvieh. Einfluss des Außenklimas auf das Stallklima und das Liegeverhalten von Milchkühen. Schriftenreihe 8, Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), ISSN 1611-4159

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.; Behrens, K. (1992): Bericht des Deutschen Wetterdienstes 181: Ermittlung der Sonnenscheindauer aus pyranometrisch gemessenen Bestrahlungsstärken der Global- und Himmelsstrahlung. Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, Offenbach

Tober, O.; Loebsin, 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, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Tober, O.; Hansen, C. (2019): Untersuchungen zur Abhängigkeit der Vormagentemperatur von der Stalltemperatur bei laktierenden Kühen in einem frei gelüfteten Stall. In: Tagungsband 14. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, 24.-26.9.2019, Bonn, Hrsg.: KTBL, Darmstadt

Tober, O. (2020): Abhängigkeit der Vormagentemperatur von der Stalltemperatur bei laktierenden Kühen in einem freigelüfteten Stall. In: Beiträge zum Thema Stallklima in der Tierhaltung 2020, Dummerstorf

Yi, Q.; König, M.; Janke, D.; Hempel, S.; Zhang, G.; Amon, B.; Amon, T. (2018): Wind tunnel investigations of sidewall opening effects on indoor airflows of a cross-ventilated dairy building. Energy and Buildings, Nr. 175, 163-172