

Merike Fiedler, Gundula Hoffmann, Christiane Loebstin, Werner Berg, Kristina von Bobrutzki, Christian Ammon und Thomas Amon

# Luftgeschwindigkeit und Hitzebelastung im Milchviehstall – Auswirkungen auf das Tierwohl

Das Stallklima hat einen wesentlichen Einfluss auf das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit von Milchkühen. In der vorliegenden Untersuchung wurden Stallklimamessungen innerhalb und außerhalb eines frei gelüfteten Milchviehstalls, mit dem Fokus auf der Luftgeschwindigkeit im Fress- und Liegebereich, durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass die untersuchten Stallbereiche aufgrund der heterogen auftretenden Luftgeschwindigkeiten unterschiedlich belüftet wurden. Des Weiteren wurden die Stallklimamessungen mit physiologischen Tierparametern korreliert, um sie in Bezug auf das thermische Wohlbefinden der Tiere interpretieren zu können. An heißen Tagen wichen die analysierten Parameter deutlich von den übrigen Tagen ab.

## Schlüsselwörter

Stallklima, Luftgeschwindigkeit, physiologische Tierparameter

interpret the barn conditions in respect of thermal comfort of the animals. On hot days, the parameters analyzed showed clear differences from the other days.

## Keywords

Barn climate, air speed, physiological animal parameters

## Abstract

Fiedler, Merike; Hoffmann, Gundula; Loebstin, Christiane; Berg, Werner; von Bobrutzki, Kristina; Ammon, Christian and Amon, Thomas

## Air speed and heat load in a dairy cow barn – effects on animal welfare

Landtechnik 67 (2012), no. 6, pp. 421–424, 2 figures, 1 table, 9 references

The investigation of barn climate and heat stress is important with regard to both welfare of dairy cows and performance. For this reason climate measurements in- and outside of a natural cross ventilated dairy barn have been conducted. Special emphasis was devoted to measurements on air speed within the animal occupied zone of the stable. The air speed was heterogeneously distributed and the results showed areas which were permanently less ventilated than others. However, climate measurements should be correlated to physiological animal parameters in order to

Die meisten Milchkühe verbringen heutzutage ihre gesamte Lebenszeit im Stall. Das Wohlbefinden der Tiere hängt dabei entscheidend vom Stallklima ab. Milchkühe fühlen sich bei Temperaturen zwischen 0 und 15 °C am wohlsten [1]. Die heutigen Anforderungen an die Milchproduktion verlangen dem Stoffwechsel der Milchkühe Leistungen vergleichbar den Höchstleistungen von Spitzensportlern ab. Dabei wird ein großer Anteil an metabolischer Wärme freigesetzt. Kann diese Wärme nicht ausreichend abgegeben werden, z.B. bei zu hohen Umgebungstemperaturen, kommt es zu einer Hitzebelastung bzw. Hitzestress der Tiere. Die Folgen einer nicht kompensierten Hitzebelastung sind vielfältig. So wird z.B. ein Anstieg der Körpertemperatur und eine Abnahme der Futteraufnahme beobachtet, was wiederum eine verminderte Milchleistung und -qualität zur Folge hat [2].

Zur Vermeidung von Hitzestress muss das Stallgebäude ausreichend belüftet werden, um Temperatur und Feuchtigkeit im optimalen Bereich zu halten. Bei saisonalen Hitzewellen oder wenn die Tiere dicht gedrängt im Vorwarteof des Melkstandes stehen, kann es zu einer Hitzebelastung kommen. In solchen Situationen sollten zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, die die natürliche Thermoregulation der Tiere unterstützen: Die Erhöhung der Luftgeschwindigkeit bewirkt, dass die Wärme an der Hautoberfläche der Tiere besser abtransportiert und so eine Kühlwirkung erzielt wird [3]. Der effektive

Einsatz einer solchen Zusatzlüftung ist jedoch nur möglich, wenn die natürlichen Strömungsfelder bekannt sind, um gezielt Bereiche mit unzureichender Belüftung zu unterstützen. Um den richtigen Zeitpunkt für den Einsatz einer Zusatzbelüftung zu ermitteln, ist eine Einschätzung der Hitzestressbelastung durch den Tierbetreuer erforderlich.

Um die Hitzebelastung der Tiere objektiv zu messen, ist der meistverwendete Parameter der Temperature-Humidity-Index (THI), der aus Lufttemperatur und -feuchte berechnet wird. Dieser berücksichtigt jedoch keine zusätzlichen Kühleffekte durch Windgeschwindigkeit und vernachlässigt auch andere Effekte wie z. B. die Wärmestrahlung. Diese werden jedoch in weniger bekannten Parametern wie z. B. dem Temperature-Humidity-Index mit Windgeschwindigkeit  $V$  (THIV) [4] oder dem Heat-Load-Index (HLI) [5] berücksichtigt.

Ein Nachteil dieser Bewertungsparameter ist die singuläre Betrachtung von klimatischen Bedingungen; es fehlen nach wie vor Kriterien, die eine Belastung am Tier berücksichtigen. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen zur Unterstützung der Thermoregulation von Hochleistungskühen durchgeführt, die sowohl die Stallklima-Parameter als auch deren Auswirkungen auf die Tiere erfassen.

### Material und Methoden

In einem Milchviehstall wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Tierproduktion der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern Stallklimamessungen durchgeführt. In dem ungedämmten, freigelüfteten Laufstall werden 380 Milchkühe gehalten. Die Seitenwände des Stallgebäudes sind jeweils mit Windschutznetzen versehen. Beide Giebelseiten haben 4 große Toröffnungen, die während der durchgeführten Untersuchungen offen waren. Eine Giebelseite ist mit einer Holzverschalung als Spaceboard, die andere mit Stahltrapezprofilen verkleidet.

Das Stallgebäude ist auf dem Grundstück nach Südwesten orientiert, sodass die Belüftung über die Längsseite erfolgt, die der vorherrschenden Hauptwindrichtung (SW) zugewandt ist. Zusätzlich ist das Stallgebäude mit drei zentral angebrachten Deckenventilatoren ausgestattet.

### Durchgeführte Messungen

Im Sommer 2010 und 2011 wurden insgesamt drei Messkampagnen durchgeführt und die Klimagrößen Lufttemperatur und Luftfeuchte über einen längeren Zeitraum an vier gleichmäßig über den Stall verteilten Stellen erfasst. In einzelnen Kampagnen wurden diese Größen mit Messungen der Black-Globe-Temperatur zur Erfassung der Strahlungstemperatur ergänzt. Des Weiteren wurden Messungen der Luftgeschwindigkeit im Tierbereich durchgeführt (**Abbildung 1**). Diese Messungen erfolgten immer während der Melkzeiten im Liegebereich, wenn die Tiere wegen des Melkens abwesend waren. Die Tiere im Stall waren in 4 Melkgruppen unterteilt. Mit sechs Ultraschall-Anemometern wurden zeitgleich an sechs Messorten alle drei Komponenten des Windgeschwindigkeitsvektors ( $u$ ,  $v$  und  $w$ )



Windmessungen im Stall (Foto: Stollberg)  
Fig. 1 Wind measurements within the barn

aufgezeichnet. Die Daten wurden mit dem Programm Reader of Ultrasonic Anemometer (RUSA, ATB Potsdam) aufgezeichnet (Details dazu in [6]). Die zeitliche Auflösung betrug 1 Hz und es wurden Zeitserien mit einer Länge von jeweils 180 s aufgenommen. In zwei der vier Gruppen wurden während der Melkzeit zwölf Messungen erfasst, indem zwei aufeinanderfolgende Messungen an je sechs Messorten durchgeführt wurden. Insgesamt wurden an 36 Messorten, über die gesamte Stallfläche verteilt, Zeitserien aufgenommen. Die Anemometer waren in einer Höhe von ca. 1,5 m angebracht, was ungefähr der Schulterhöhe der Kühe entsprach.

Alle Messungen der Luftgeschwindigkeit wurden während der Abwesenheit der Tiere durchgeführt, um eine Beschädigung der empfindlichen Instrumente durch die Tiere auszuschließen. Eine Schutzvorrichtung um die Messinstrumente, z. B. als Käfig, hätte die Messungen erheblich verfälscht; van Wagenberg et al. zeigten, dass die Turbulenzintensität durch einen Schutzkäfig für ein Anemometer um 20 % erhöht wurde [7]. Aus diesem Grund wurden die Messungen im Tierbereich ohne Tiere durchgeführt.

Zeitgleich wurden die Windverhältnisse außerhalb des Stallgebäudes mit einem weiteren Ultraschallanemometer erfasst. Die Datenaufzeichnung erfolgte in der gleichen zeitlichen Auflösung wie bei den Messungen im Stallgebäude.

Die äußeren klimatischen Bedingungen wurden von einer Wetterstation in der Nähe des Stallgebäudes aufgezeichnet. Zusätzlich wurden Temperatur und relative Luftfeuchte in der unmittelbaren Umgebung an zwei Seiten des Stallgebäudes gemessen.

Ergänzend wurden Messungen der physiologischen Tierparameter und Tierbeobachtungen durchgeführt, deren Auswahl auf einer Vorstudie beruht. Die Ergebnisse aus der Hauptstudie liegen noch nicht vor, daher werden die Ergebnisse der Vorstudie stellvertretend dargestellt. Die Vorstudie fand mit 6 Milchkühen (Holstein Friesian) in einem anderen Liegeboxen-Laufstall statt. In dieser Vorstudie lag der Fokus auf Messungen der tierphysiologischen Parameter und der Verhaltensbeobach-

Tab. 1

Übersicht der Messergebnisse der Luftgeschwindigkeit im Stall von allen Messorten für zwei Windrichtungen (WD). Die Werte repräsentieren Mittelwerte aus 180-s-Zeitreihen.

Table 1: Overview of the measured air velocity data for two wind directions (WD) at all locations. Values represent a mean value of a 180 s time series.

WD		u [m/s]	v [m/s]	w [m/s]	$\sigma_u$ [m/s]	$\sigma_v$ [m/s]	$\sigma_w$ [m/s]	V <sub>3D</sub> [m/s]	V <sub>3D</sub> /V <sub>out</sub> [-]	T <sub>i</sub> [-]
N	95 % Quantile	0,10	-0,17	0,05	0,44	0,63	0,32	0,92	0,35	1,15
	Median	-0,15	-0,31	-0,01	0,26	0,27	0,12	0,48	0,23	0,57
	5 % Quantile	-0,47	-0,63	-0,08	0,13	0,13	0,08	0,29	0,14	0,30
SW	95 % Quantile	0,93	0,44	0,04	0,87	0,92	0,39	1,32	0,53	1,55
	Median	0,33	0,08	-0,02	0,30	0,30	0,15	0,57	0,28	0,58
	5 % Quantile	0,17	-0,23	-0,14	0,14	0,14	0,06	0,31	0,18	0,38

tung, nämlich der Analyse der Herz- und Atemfrequenz, der Haut- und Rektaltemperatur sowie dem Verhalten der Kühe sowohl an Tagen mit gemäßigten als auch mit hohen Temperaturen. Die Herzfrequenz wurde kontinuierlich mit dem System Polar Equine RS800CX (Polar Electro, Kempele, Finnland) erfasst, das mit einem Bauchgurt am Tier befestigt war. Die Hauttemperatur wurde durch einen Temperatursensor, der am Bauchgurt integriert war, und zusätzlich mit einem Handpyrometer (RAYMX4PTDG, Raytek, Berlin) erfasst. Die Messung der Rektaltemperatur erfolgte stündlich (Digitalthermometer Aponorm sensitive, ApoNorm, Hillscheid) ebenso wie die Erfassung der Atemfrequenz (visuell) und die Erfassung der Verhaltensparameter. Dabei wurde die Tätigkeit der Tiere (Laufen, Stehen, Liegen, Fressen, Trinken), der Aufenthaltsort der Tiere sowie Auffälligkeiten (z. B. Unruhe, Apathie) erfasst.

## Ergebnisse

Zur Beurteilung der auftretenden Windgeschwindigkeiten wurden die Winddaten ausgewertet. Die aufgezeichneten Zeitserien der Windkomponenten wurden mit SAS 9.2 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) statistisch ausgewertet, und für jede einzelne Zeitserie, die jeweils 180 s umfasste, wurden Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Anschließend wurde aus den Windgeschwindigkeitskomponenten der Betrag und die Richtung des dreidimensionalen Windgeschwindigkeitsvektors berechnet. Des Weiteren wurde der Turbulenzgrad  $T_i$  berechnet, um einen Überblick über turbulente Luftströmungen zu erlangen. Anschließend wurden die Daten nach den äußeren Anströmverhältnissen bzw. nach Windrichtung sortiert. Die Ergebnisse aller 36 Messorte sind in **Tabelle 1** für zwei Windrichtungen zusammengefasst.

Die Ergebnisse zeigen, dass innerhalb des Stallgebäudes große Schwankungen der Luftgeschwindigkeit auftraten. Die Vertikalkomponente  $w$  des Geschwindigkeitsvektors war nahe Null und in den meisten Fällen negativ, was mit einer Abwärtsbewegung assoziiert war. Die Standardabweichung war jedoch für sehr kleine Mittelwerte nahe Null deutlich höher als der ermittelte Mittelwert, sodass nicht eindeutig auf eine Auf- oder Abwärtsbewegung geschlossen werden konnte. Die Vertikal-

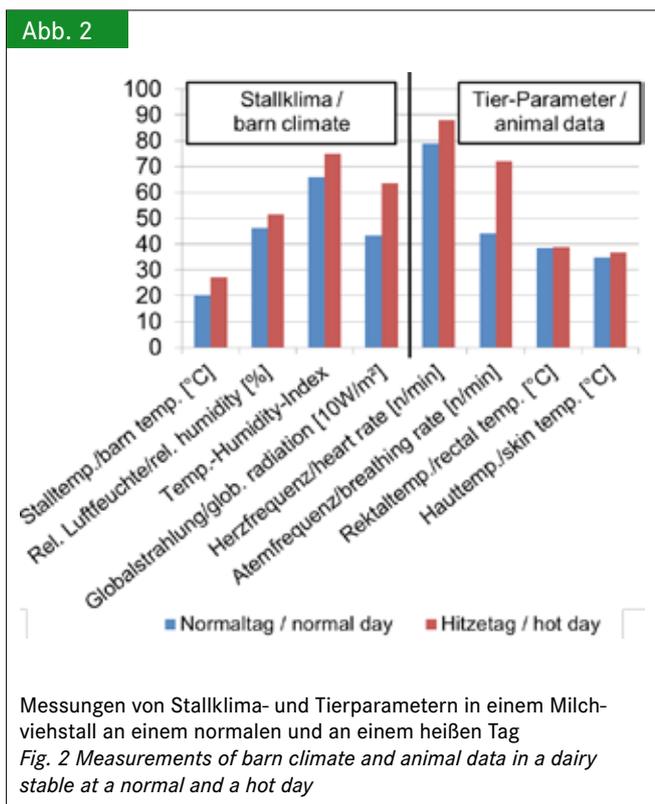
komponente war vernachlässigbar klein, wenn die Tiere abwesend waren. Bei einer Anwesenheit der Tiere könnten jedoch vertikale Temperaturgradienten (warme Körperoberfläche der Tiere und Temperatur der Umgebungsluft) auftreten, die zu einer auftriebsbehafteten Strömung führen könnten. In diesem Fall wären größere Werte der Vertikalkomponente der Luftgeschwindigkeit zu erwarten. Die vernachlässigbar kleine Vertikalkomponente der Luftgeschwindigkeit führte zu einer Dominanz der Horizontalwindgeschwindigkeit, die sich kaum von der dreidimensionalen Luftgeschwindigkeit  $V_{3D}$  unterschied. Das Verhältnis der gemessenen Luftgeschwindigkeit innen ( $V_{3D}$ ) zu der Windgeschwindigkeit außen ( $V_{out}$ ) beträgt ca.  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{3}$  und zeigt die abbremsende Wirkung des Windschutznetzes. Die Luftströmung im Gebäude war sehr turbulent, was der berechnete Turbulenzgrad im Stallgebäude von  $> 0,3$  belegte. Die Schwankungsgeschwindigkeit der Luftströmung betrug mehr als 30 % der mittleren Geschwindigkeit der Luftströmung. Somit war die Luftströmung im Stall nicht gleichmäßig, sondern wies einen eher böigen Charakter auf.

Eine räumliche Betrachtung der gemessenen Luftgeschwindigkeit ( $V_{3D}$ ) ergab, dass es trotz der offenen Gestaltung des Stallgebäudes Bereiche gab, in denen, unabhängig von der anströmenden äußeren Windgeschwindigkeit und -richtung, nur geringe Luftgeschwindigkeiten auftraten. Tiere, die sich in diesen Bereichen aufhalten, könnten unter ungünstigen klimatischen Bedingungen vermehrt Hitzebelastungen ausgesetzt sein. In diesen Bereichen könnten gezielte Gegenmaßnahmen, wie z. B. Ventilatoren für eine zusätzliche Belüftung, effektiv eingesetzt werden.

Bei der ausschließlichen Betrachtung der Temperatur- und Feuchtedaten konnten dagegen keine unterschiedlichen Komfortzonen nachgewiesen werden.

Die alleinige Messung der stallklimatischen Parameter lässt allerdings keine eindeutige Aussage über die Stressbelastung der Tiere zu, und das Empfinden des Stallklimas ist wahrscheinlich auch von tierindividuellen Faktoren (Milchleistung, Trächtigkeit, Body Condition Score) abhängig und somit von Tier zu Tier verschieden. Aus diesem Grund wurden physiologische und ethologische Tierparameter an einem Hitzetag

Abb. 2



(hohe Außentemperatur) und einem Normaltag (gemäßigte Außentemperatur) erfasst. Durch die Beobachtung der Tiere konnte bereits die Wirkung von Bereichen mit unterschiedlichen Luftgeschwindigkeiten festgestellt werden. Während der gemäßigten Temperaturen nutzten die Kühe den gesamten Stallbereich; hingegen hielten sie sich an den warmen Tagen vermehrt an der Tränke und in Bereichen mit höheren Windgeschwindigkeiten auf und weniger in den Liegeboxen. Die Bewegungsaktivität war an den warmen Tagen reduziert und die Wasseraufnahme gesteigert.

Ergänzend zu den gemessenen tierbezogenen Parametern wurde aus Temperatur- und Feuchtedaten der THI als Bewertungsparameter zur Beurteilung von Hitzestress-Situationen berechnet. Dabei wurde die Berechnungsformel nach CIGR [8, 9] verwendet. Die THI-Werte sind in **Abbildung 2** im Vergleich zu den physiologischen Parametern dargestellt. An dem warmen Tag wurde für den THI ein Wert > 74 erreicht, der nach den Vorgaben der Commission Internationale du Genie Rural (CIGR) [9] der Stufe „alert“ (leichte Hitzestress-Situation) zugordnet ist. Trotzdem zeigten die Messungen der tierphysiologischen Parameter deutliche Unterschiede an den beiden Tagen (**Abbildung 2**). Insbesondere die Atem- und Herzfrequenz sowie die Analyse der Herzfrequenzvariabilität erwiesen sich als gute Indikatoren zur frühzeitigen Erkennung von Stressbelastungen, da es sich um kurzfristige Anpassungsmechanismen des Organismus bei Stressreaktionen handelt. Die Haut- und Rektaltemperatur waren dagegen weniger geeignet, da der Körper bestrebt ist, den Sollwert der Körpertemperatur möglichst gut einzuhalten und gegenreguliert.

## Schlussfolgerungen

Die Luftgeschwindigkeit im Tierbereich ist ein wichtiger Parameter bei der Bewertung des Stallklimas hinsichtlich des Wohlbefindens von Milchkühen. Die Luftgeschwindigkeit ist bei frei gelüfteten Ställen sehr heterogen verteilt und es treten Turbulenzen auf. In einem frei gelüfteten Stall können daher Bereiche mit unterschiedlichem Klimakomfort entstehen, die bei der Bewertung des Stallklimas beachtet werden sollten, um möglichst effektive Zusatzmaßnahmen bei Hitzestress anwenden zu können.

Zukünftig sollten weitere Messungen über längere Perioden erfolgen und die Korrelation von Stallklimadaten mit tierphysiologischen Daten intensiviert werden, um ein Wohlbefinden und/oder Stress-Situationen der Tiere erkennen zu können und effektive Maßnahmen zu entwickeln.

## Literatur

- [1] Bianca, W. (1976): The significance of meteorology in animal production. Int. J. Biometeor. 20(2), pp. 139-156
- [2] West, J.W. (2003): Effects of heat-stress on production in dairy cattle. J. Dairy Sci. 86, pp. 2131-2144
- [3] Loebstin, C.; Samer, M.; Fiedler, M.; Schröter, K. (2011): Hitzestress bei Milchrindern – Möglichkeiten der Minderung. 10. Tagung: Bau, Technik und Umwelt, 28./29.9.2011, Kiel, S. 292-299
- [4] Mader, T. L.; Davis, M. S.; Brown-Brandl, T. (2006): Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. J. Anim. Sci. 84, pp. 712-719
- [5] Gaughan, J. B.; Mader, T. L.; Holt, S. M. and Lisle, A. (2008): A new heat load index for feedlot cattle. J. Anim. Sci. 86, pp. 226-234
- [6] Samer, M.; Loebstin, C.; von Bobrutzki, K.; Fiedler, M.; Ammon, C.; Berg, W.; Sanftleben, P.; Brunsch, R. (2011): A computer program for monitoring and controlling ultrasonic anemometers for aerodynamic measurements in animal buildings. Computers and Electronics in Agriculture 79(1), pp. 1-12
- [7] van Wagenberg, A. V.; de Leeuw, M. T. J. (2003): Measurement of air velocity in animal occupied zones using an ultrasonic anemometer. Applied Engineering in Agriculture 19, pp. 499-508
- [8] CIGR Report (2002): Climatization of Animal Houses. Working Group Report on: Heat and Moisture Production at Animal and House Level. Editors: Pedersen, S.; Sällvik, published by DIAS, Denmark
- [9] CIGR Report (2006): Animal Housing in Hot Climates: A multidisciplinary view. Working Group Report, Editors: Nääs, I. A.; Moura, D. J., published by DIAS, Denmark

## Autoren

**Dr. rer. nat. Merike Fiedler, Dr. med. vet. Gundula Hoffmann, Dr.-Ing. Werner Berg und Dr.-Ing. Kristina von Bobrutzki** sind Wissenschaftler, **Dr. agr. Christian Ammon** ist technisch-wissenschaftlicher Mitarbeiter und **Prof. Dr. Thomas Amon** ist Abteilungsleiter der Abteilung Technik in der Tierhaltung am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: mfiedler@atb-potsdam.de

**Christiane Loebstin** ist Mitarbeiterin der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion, Dummerstorf, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf, E-Mail: c.loebstin@lfa.mvnet.de