

Wolfgang Büscher, Christoph Nannen und Till Schneider, Bonn

Wärmetechnische Zusammenhänge in einem Modulstall

Im Bereich der Schweinehaltung wird von der Firma Aco Funki ein Stallkonzept angeboten, in dem während einer eintägigen Messung unter Winterbedingungen die Stallklimaparameter Temperatur und Luftvolumenstrom untersucht werden konnten. Die Besonderheit liegt in der Art der Zuluftführung. Sie wird durch einen Kanal unterhalb des Flüssigmistkellers über den Kontrollgang in den isolierten Dachraum geleitet und strömt von dort durch Lochplatten in das Stallabteil. Dabei sind nur sehr geringe Wärmeverluste zu berücksichtigen, da eine Erwärmung des Zuluftstroms durch die Aufnahme der Transmissionswärmeverluste festgestellt wurde, so dass eine nahezu ausgeglichene Wärmebilanz ohne zusätzliche Heizung vorlag.

Prof. Dr. Wolfgang Büscher ist Leiter der Abteilung „Verfahrenstechnik der Tierischen Erzeugung“ am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn. Dipl.-Ing. agr. Christoph Nannen (e-mail: c.nannen@uni-bonn.de) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, Dr. Till Schneider war wissenschaftlicher Assistent.

Schlüsselwörter

Wärmebilanz, Luftvolumenstrom, Schweinemast

Keywords

Heat balance, volume flow rate, pig fattening

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07502 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Sparsamer Umgang mit Energie ist in Zeiten steigender Heizkosten eine häufig geäußerte Forderung an neue Stallbaukonzepte. Mit einer eintägigen Stallklimauntersuchung sollten an einem neuen Stallkonzept der Firma Aco Funki zwei Fragestellungen untersucht werden:

- Liefern die Bilanzierungen der Wärmeströme bei einer Kurzzeitbetrachtung realistische Werte, mit der die wärmetechnischen Eigenschaften eines Stallgebäudes charakterisiert werden können?
- Kann durch die Art der Zuluftführung Transmissionswärme (im Sinne einer Wärmerückgewinnung) in den Stall zurückgeführt werden?

Um zu prüfen, ob die gewünschte Temperatur im Winter gehalten werden kann, ist die Bilanzierung der Wärmeströme notwendig. Die Baunorm „DIN 18910-1“ macht Vorgaben, wie diese Wärmebilanz für Ställe durchzuführen ist (Bild 1) [1].

$$\dot{Q}_{\text{Heizung}} = \dot{Q}_{\text{Tiere}} - (\dot{Q}_{\text{Bauteile}} + \dot{Q}_{\text{Lüftung}}) \quad (1)$$

Im Normalfall sind die Tiere die einzige Wärmequelle im Stall [2]. Zusatzheizungen oder Wärmerückgewinnungsanlagen sind in Jungtierställen und in Ställen, die in Rein-Raus-Verfahren betrieben werden, Standard. Die Auslegung der Heizung erfolgt nach Gleichung 1, wobei physikalisch für die Wärmeströme das Formelzeichen „Q“ benutzt wird.

Das Maß für die Wärmedurchlässigkeit einer gesamten Wand oder eines einzelnen Bauteils (etwa einer Tür) ist dessen u-Wert (früher k-Wert). Der u-Wert geht als Faktor in die Berechnung der Wärmeverluste ein (Gleichung 2). Niedrige u-Werte sind als günstig anzusehen, hohe Werte kennzeichnen eine schlechte Wärmedämmung. Die Erfahrungen zeigen, dass die Wände und besonders die Stalldecke die größten Wärmeverluste aufweisen; deren u-Werte sollten daher besonders niedrig sein.

$$\dot{Q}_{\text{Bauteile}} = \text{Fläche}_{\text{Bauteil}} \cdot u_{\text{Bauteile}} \cdot (\vartheta_{\text{Innenseite}} - \vartheta_{\text{Außenseite}}) \quad (2)$$

Die Besonderheit des Modulstall-Konzeptes ist die wärmerückgewinnende Wirkung durch die Art der Frischluft-Führung bis hin



Bild 1: Wärmebilanz-Waage mit Ausgleichsmöglichkeiten

Fig. 1: Heat balance principle

zur Zuluftdecke (Bild 2). Nahezu alle Transmissionswärmeverluste der raumschließenden Bauteile Boden, Wand zum Zentralgang und Stalldecke sollen auf diese Weise zurück gewonnen werden.

Der untersuchte Stall

In Bild 2 ist der Querschnitt des untersuchten Stalles dargestellt. Die Nummerierungen zeigen die Positionen der Temperaturlogger vom Lufteintritt in den Stall bis zum Einströmen der Luft über die Porendecke in das Stallabteil.

Der Temperaturverlauf (Bild 3) der Außenluft (1) am 7. März 2007 und der Zuluft im Gang (2) zeigen deutlich die abpuffernde Wirkung des Erdwärmetauschers. Bei Außentemperaturen unter ~ 11°C wirkt das Zuluftsystem wärmend, während es bei Außentemperaturen über 11°C kühlend wirkt. So werden Tag-Nacht-Schwankungen abgeschwächt. Vom Versorgungsgang zum Dachraum ist noch einmal eine Temperaturerhöhung von bis zu 0,5 K zu beobachten.

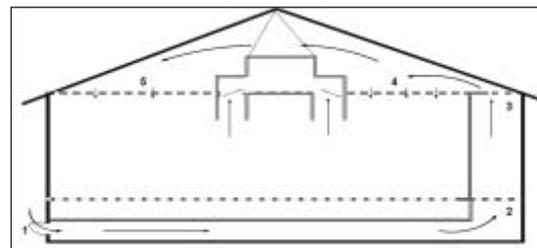


Bild 2: Querschnitt Stall; Nummern zeigen die Temperaturloggerpositionen

Fig. 2: Profile of the barn; numbers show the positions of the temperature data recording

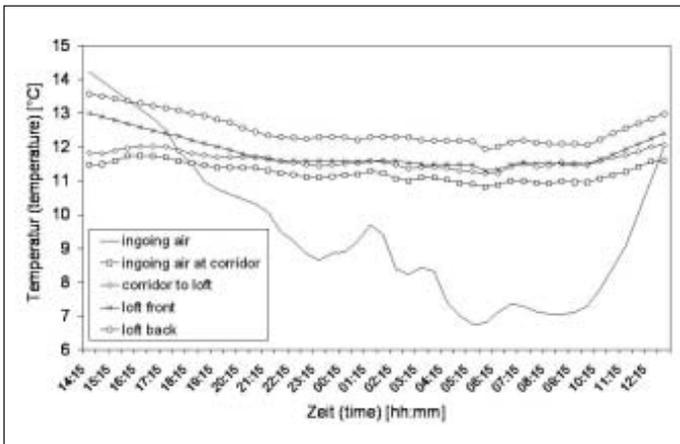


Bild 3: Temperaturverlauf an den einzelnen Messpunkten

Fig. 3: Temperature profile at specific measuring points

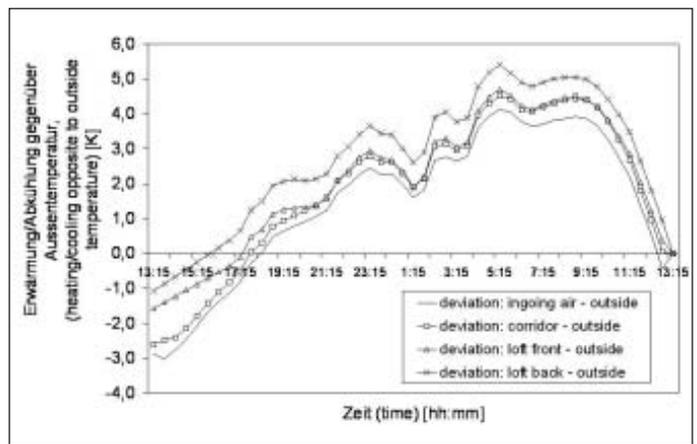


Bild 4: Erwärmung und Abkühlung der Luft an verschiedenen Messpunkten gegenüber der Außentemperatur

Fig. 4: Heating and cooling of air at different measuring points in relation to outside temperature

Bei Sonneneinstrahlung auf das Dach ist diese Differenz höher als bei Bewölkung oder in der Nacht. Zwischen den Temperatursensoren im Dachraum vorne (4) und hinten (5) zeigte sich eine Temperaturdifferenz von konstant 0,5 K. Die höhere Temperatur im hinteren Bereich des Dachraums ist auf die längere Verweilzeit der Luft im Dachraum zurückzuführen. So kann sich die Luft vor allem beim Vorbeiziehen am Abluftschacht erwärmen. Um die Daten aus Bild 3 zu unterstreichen, sind in Bild 4 die Temperaturdifferenzen ausgehend von der Zulufttemperatur im Aussenbereich dargestellt.

Die Volumenstrommessung (mit der SF₆-Abklingmethode ermittelt) [3] ergab schlüssige Ergebnisse. Bei niedrigen Außentemperaturen war der Luftvolumenstrom nahezu konstant ($\bar{x} = 3700 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ mit $\sigma = 860 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Die kurzzeitigen Erhöhungen der Lufrate sind auf Fütterungszeiten zurückzuführen, in denen durch die erhöhte Tieraktivität die Innentemperatur anstieg. Auch die Luftqualität war typisch für Winterbedingungen. Im Durchschnitt lag die Kohlendioxidkonzentration bei etwa 2300 ppm und die Ammoniakkonzentration bei 18,5 ppm.

Wärmebilanz

Zur Überprüfung der Wärmeströme wurde eine Wärmebilanz des Abteils nach DIN 18910-1 (2004) erstellt. Als Zeitpunkt wurde 6 Uhr morgens am 7. März 2007 festgelegt, da hier die größte Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Umgebung vorherrschte. Darüber hinaus waren die Luftvolumenströme vor diesem Zeitpunkt über mehrere Stunden konstant, so dass sich stabile Randbedingungen einstellten. Die Temperatur- und Luftfeuchtedaten dieses Zeitpunktes wurden zur Kalkulation der Wärmeströme verwendet. In Tabelle 1 sind die Parameter und die Berechnung der Wärmebilanz dargestellt.

Da das Abteil bis auf eine Stirnseite keine Außenwand hat, wurde nur diese in die bauseitigen Wärmeverluste einbezogen. Die Transmissionsverluste in den Boden, Zentralgang und die Decke bleiben vorerst unberücksichtigt, da aus physikalischen Gründen zu erwarten ist, dass diese - aufgrund der besonderen Luftführung - durch die Zulufterwärmung dem Abteil direkt wieder zugute kommen.

Das Ergebnis der Wärmebilanz beweist, dass diese Annahme richtig ist. Die Wärmebilanz ergibt einen Wärmeüberschuss von lediglich 903 W für das Abteil. Dieser Wert ist sehr gering und als durchaus realistisch einzuschätzen, da folgende minimalen Wärmeverluste nicht berücksichtigt werden konnten:

- Transmissionswärmeverluste ins Erdreich durch die Punktfundamente
- Transmissionswärmeverluste in Nachbarabteile bei sehr geringen Temperaturunterschieden

Fazit

Durch die durchgeführten Kurzzeituntersuchungen konnten beide Fragestellungen beantwortet werden. Einerseits konnte gezeigt werden, dass eine Wärmebilanzierung auch im laufenden Stallbetrieb unter Winterbedingungen durchgeführt werden kann, wenn die Randbedingungen nahezu konstant sind.

Darüber hinaus konnte bestätigt werden, dass bei derart hinterlüfteten raumschließenden Bauteilen keine Wärmeverluste zu berücksichtigen sind, weil die Transmissionswärmeverluste weitestgehend wieder konvektiv an den Zuluftstrom übergeben werden.

Insgesamt decken sich die eigenen Ergebnisse mit denen aus Langzeitmessungen der Landesanstalt für Landwirtschaft Baden Württemberg. Auch dort wurde die Frischluft erwärmung bei niedrigen Außentemperaturen durch die Art der Luftführung und

das verwendete Deckenmaterial bestätigt. Der Wärmerückgewinnungseffekt der luftüberströmten Flächen (Boden, Wand zum Zentralgang und Lüftungsdecke) wurde durch Langzeitmessungen im gleichen Stall ebenfalls unter Winterbedingungen nachgewiesen.

Tab. 1: Berechnung der Wärmebilanz

Table 1: Calculation of heat balance

Parameter	Wert
Wärmeproduktion der Tiere	
Tierzahl (mit 40 kg LM) ¹ :	256
Strom sensibler Wärme/Tier (24°C) ² :	76
Summe [W]	19456
Lüftungswärmeverluste	
Ansaugtemperatur [°C]:	6,0
Ablufttemperatur [°C]:	24,0
Luftvolumenstrom [m ³ /h]	3000
Dichte der Luft (24°C) [kg/m ³]	1,21
Luftmassenstrom [kg/h]	3630
spez. Wärmekapazität [W/kg K ⁻¹]	0,28
Summe [W]	18.295
Wärmeverluste durch Bauteile (Stirnwand)	
Wandhöhe [m]	3,0
Wandbreite [m]	10,4
U-Wert [W/(K m ²)]	0,4
Nettofläche (ohne Fenster) [m ²]	26,7
Verluste Wand [W]	181,6
Fensteranzahl	3,0
Fensterbreite [m]	1,5
Fensterhöhe [m]	1,0
U-Wert [W/(K m ²)]	1,0
Verluste Fenster [W]	76,5
Temperaturdifferenz [K]	17,0
Innentemperatur [°C]	24,0
Außentemperatur [°C]	7,0
Summe [W]	258
Gesamt-Bilanz:	
Wärmeproduktion der Tiere [W]	+19.456
Lüftungswärmeverluste [W]	-18.295
Wärmeverluste d. Bauteile (Stirnwand) [W]	-258
Wärmeüberschuss [W]	+903

¹Stallbesatz am 7. 3. 2007

²nach CIGR- Berechnung 1984