

Joachim Pertagnol, Eva Gallmann, Wilhelm Pflanz und Thomas Jungbluth

# Ressourceneffizienz verschiedener Kühlungssysteme für Mastschweine

Im Rahmen eines Entscheidungshilfedorhabens für das BMELV wurden an der Landesanstalt für Schweinezucht (LSZ) in Boxberg sowie auf drei Praxisbetrieben rund zwei Jahre lang die Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten Kühlpad, Hochdruckbefeuchtung, Unterflurzuluft und Rippenrohr-Erdwärmetauscher untersucht. Neben der Kühlwirkung wurde die Ressourceneffizienz der verschiedenen Alternativen betrachtet. Die Energieeffizienz der Lüftung war wegen des geringeren Strömungswiderstandes bei der Unterflurzuluftführung besser als bei den Varianten mit Oberflurzuluftführung; insbesondere im Vergleich zum Erdwärmetauscher. Die höchste Kühlleistung wies das Kühlpad auf. Der Wasser- und Pumpenstromverbrauch der Hochdruckbefeuchtung war geringer als der des Kühlpads, wobei diese Parameter auch stark von den Regelungseinstellungen beeinflusst wurden.

## Schlüsselwörter

Kühlungssysteme, Kühlpad, Hochdruckbefeuchtung, Unterflurzuluft

## Keywords

Cooling systems, cooling pad, high pressure humidifier, underfloor air inlet

## Abstract

Pertagnol, Joachim; Gallmann, Eva; Pflanz, Wilhelm and Jungbluth, Thomas

## Efficiency of resources of different cooling systems for fattening pigs

Landtechnik 68(5), 2013, pp. 353–358, 2 figures, 4 tables, 6 references

A decision support project for the German Ministry of Agriculture was established over the course of two years to investigate the air supply and cooling systems cooling pad, high-pressure evaporation, underfloor air inlet and earth tube heat exchanger on a research farm and under practical conditions on three commercial farms. The project focused on the cooling effect and cost effectiveness of the different systems.

The better energy efficiency of the ventilation of the underfloor air supply was due to a lower flow resistance compared

with the variants with over floor air supply and especially the earth tube heat exchanger. The cooling pad had the highest cooling efficiency. Water and power consumption for high-pressure evaporation were lower than for the cooling pad, though these parameters are also strongly influenced by the particular controller settings.

■ Die Wärmebelastung von Schweinen bei hohen Stalllufttemperaturen ist nach der Tierschutz-Nutztierhaltungsverordnung (TierSchNutzV 2009) durch geeignete Vorrichtungen zu vermindern. Dafür stehen wasserbasierte Systeme nach dem Wirkprinzip der Verdunstungskühlung und Wärmetauschsysteme durch Luftführung in Unterflurssystemen oder in Rohren, die im Erdreich verlegt sind, zur Verfügung. Im Rahmen eines Entscheidungsvorhabens für das BMELV wurde untersucht, wie Kühlwirkung und Ressourceneffizienz der Systeme Hochdruckbefeuchtung (HDB), Kühlpad, Unterflurzuluft und Erdwärmetauscher (EWT) zu bewerten sind.

## Material und Methode

Die Untersuchungen wurden zum einen als intensive Vergleichsmessungen an der LSZ Boxberg (**Tabelle 1**) für die Varianten Unterflurzuluft, Hochdruckbefeuchtung und Kühlpad im Vergleich zu einem Referenzabteil ohne zusätzliche Kühlung durchgeführt. Zum anderen wurden begleitende Messungen mit reduziertem Messumfang an drei Praxisbetrieben mit Unterflurzuluft, Rippenrohr-Erdwärmetauscher oder Hochdruckbefeuchtung durchgeführt (**Tabelle 2**).

Die Varianten unterschieden sich auch hinsichtlich der Zuluftführung (Unterflur, Porendecke oder Strahl Lüftung).

Tab. 1

Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten an der LSZ Boxberg  
 Table 1: Air supply and air cooling variants on the research farm

	Referenz (ohne Kühlung) <i>Reference (without cooling)</i>	Unterflurzuluft <i>Underfloor air inlet</i>	Hochdruckbefeuchtung <i>High pressure evaporation</i>	Kühlpad <i>Cooling pad</i>
Zuluft <i>Air supply</i>	von außen über Dachraum und Porendecke <i>from outside through the attic and porous ceiling</i>	von außen über zentralen Unterflurkanal mit Lufteintritt unterflur in Versorgungsgang des Abteiles und Überströmung der Buchtenabtrennungen <i>from outside through the underfloor channel to the compartment and over the box partitions</i>	von außen über Dachraum und Porendecke <i>from outside through the attic and porous ceiling</i>	an Stirnseite des Stallgebäudes über Kühlpad (Flächenkühler auf Wasserbasis), dann über Dachraum und Porendecke <i>from frontside of the pig houses through the cooling pad via attic and porous ceiling</i>
Abluft <i>Exhaust air</i>	1 dezentraler Messventilator <i>1 local measuring fan</i>	1 dezentraler Messventilator <i>1 local measuring fan</i>	1 dezentraler Messventilator <i>1 local measuring fan</i>	1 dezentraler Messventilator <i>1 local measuring fan</i>
Kühlung <i>Cooling</i>	ohne <i>without</i>	Wärmetausch an Unterflurkanalwänden <i>heat exchange at the walls of the underfloor channel</i>	Hochdruckbefeuchtung der Stallluft (ggf. auch zur Befeuchtung im Winter) <i>high pressure evaporative indoor air cooling (also for humidifying use in winter)</i>	Befeuchtung der Zuluft (nur bei Außentemperatur > 24 °C) <i>humidifying the inlet air (only at outdoor temperature &gt; 24 °C)</i>
Heizung <i>Heater</i>	Deltarohre unter der Porendecke <i>Delta tubes below porous ceiling</i>	Wärmetausch an Unterflurkanalwänden <i>heat exchange at the walls of the underfloor channel</i>	Deltarohre unter der Porendecke <i>Delta tubes below porous ceiling</i>	Deltarohre unter der Porendecke <i>Delta tubes below porous ceiling</i>

Der Schwerpunkt der Untersuchungen fand an der LSZ Boxberg statt. Dort wurden in einem zwangsbelüfteten Mastschweineinstall vier baugleiche Abteile mit je sechs Buchten mit der nötigen Messtechnik ausgestattet. Die Abteile verfügten über Vollspaltenböden und eine Sensorflüssigfütterung. In jedes Abteil wurden 125 Tiere eingestallt (20 bis 22 Tiere pro Bucht), mit einem Platzangebot von 1,0 bis 1,10 m<sup>2</sup> pro Tier.

Ausgestallt wurde ab einem Mastendgewicht von 115 kg. In den drei Untersuchungsabteilen wurden unterschiedliche Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten mit einem Referenzabteil ohne Kühlung verglichen (**Tabelle 1**).

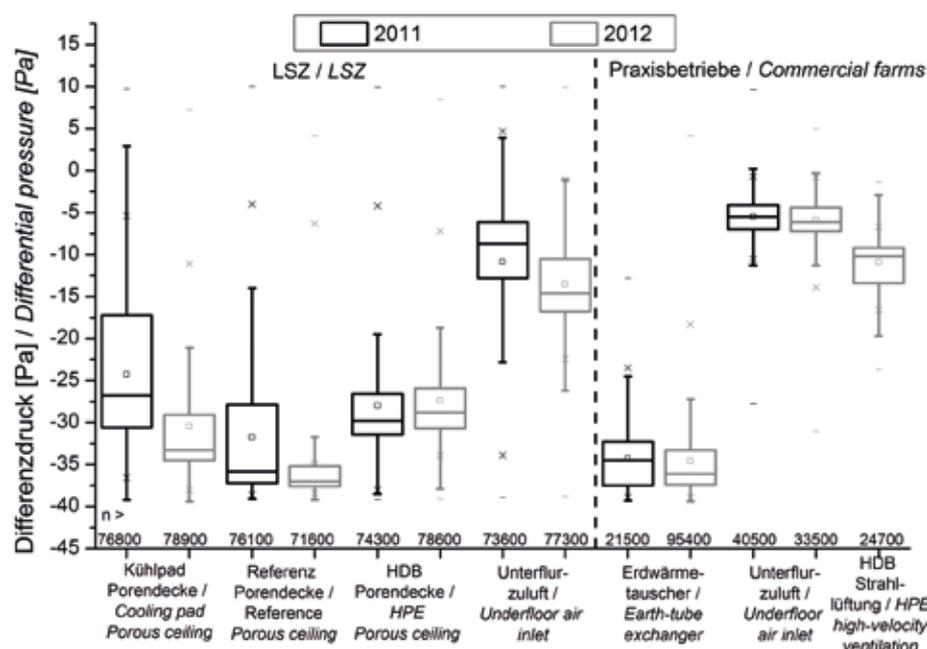
Bei den drei Praxisbetrieben handelte es sich ebenfalls um zwangsbelüftete Mastställe mit Spaltenboden (**Tabelle 2**). Die Betriebe mit der Hochdruckbefeuchtung (HDB) und der Unter-

Tab. 2

Zuluftführungs- und Kühlungsvarianten in den Praxisbetrieben  
 Table 2: Air supply and air cooling variants on the working farms

	Unterflurzuluft <i>Underfloor air inlet</i>	Hochdruckbefeuchtung <i>High pressure evaporation</i>	Erdwärmetauscher <i>Earth-tube heat exchanger</i>
Zuluft <i>Air supply</i>	von außen über zentralen Unterflurkanal mit Lufteintritt unterflur in Versorgungsgang des Abteils und Überströmung der Buchtenabtrennungen <i>from outside through the underfloor channel to the compartment and over the box partitions</i>	von außen über Dachraum und Zuluftventile (Strahlblüftung) <i>from outside through the attic and air inlets (high velocity ventilation)</i>	von außen über Rippenrohre zum Unterflurkanal mit Lufteintritt in Versorgungsgang des Abteils und Überströmung der Buchtenabtrennung <i>from outside through the ribbed pipes to the underfloor channel and then to the compartment and over the box partitions</i>
Abluft <i>Exhaust air</i>	2 dezentrale Messventilatoren <i>2 local measuring fans</i>	4 dezentrale Messventilatoren <i>4 local measuring fans</i>	1 dezentraler Messventilator <i>1 local measuring fan</i>
Kühlung <i>Cooling</i>	Wärmetausch an Unterflurkanalwänden <i>heat exchange at the walls of the underfloor channel</i>	Hochdruckbefeuchtung der Stallluft (ggf. auch zur Befeuchtung im Winter) <i>high pressure evaporative indoor air cooling (also for humidifying use in winter)</i>	Wärmetausch an Rippenrohren und Erdreich <i>heat exchange through ribbed pipes and soil</i>
Heizung <i>Heater</i>	Wärmetausch an Unterflurkanalwänden <i>heat exchange at the walls of the underfloor channel</i>	Gaskanone <i>gas heater (gas blower)</i>	Wärmetausch an Rippenrohren und Erdreich <i>heat exchange through ribbed pipes and soil</i>
Tierzahl pro Abteil <i>Animals per compartment</i>	90	306	74

Abb. 1



Differenzdruckwerte im Abteil bei einer Außentemperatur  $> 22^\circ\text{C}$  an der Landesanstalt für Schweinezucht Boxberg (LSZ) und auf den Praxisbetrieben im Jahr 2011 und 2012 (HDB = Hochdruckbefeuchtung)

Fig. 1: Differential room pressure at an outdoor temperature  $> 22^\circ\text{C}$  on the research farm Landesanstalt für Schweinezucht Boxberg (LSZ) and the working farms in the years 2011 and 2012 (HPE = high-pressure evaporation)

flurzuluftkühlung hatten einen Vollspaltenboden, der Betrieb mit dem Erdwärmetauscher (EWT) hatte einen teilperforierten Boden. Bei dem Betrieb mit Unterflurzuluft wurde eine Flüssigfütterung und bei den Betrieben mit HDB und EWT wurde jeweils eine Breifütterung eingesetzt. Die Tierzahl pro Abteil variierte zwischen 74 und 306 Tieren. Das Platzangebot lag zwischen 0,75 und 0,85  $\text{m}^2$  pro Tier.

Es wurden die Parameter Temperatur, Luftfeuchte, Differenzdruck und Luftvolumenstrom untersucht und der Energie- und Wasserverbrauch gemessen. Die Stallklimaparameter wurden mit der Messwerterfassung der Firma Ahlborn mindestens minütlich erfasst. Die Verbrauchsdaten wurden mit der Messwerterfassung der Firma Wago über Zählermodule (Strom- und Wasserzähler) aufgezeichnet. Diese zwei Messwerterfassungssysteme waren mit einem zentralen Computer vernetzt, auf dem alle Rohdaten zusammenfassen und gespeichert wurden.

Die Stallklimadaten wurden an der LSZ Boxberg von Januar 2011 bis September 2012 erfasst; die Verbrauchsdaten bis Dezember 2012 aufgezeichnet. Auf den Praxisbetrieben lag der Messzeitraum zwischen Juli 2011 und September 2012, es traten jedoch gehäuft Messausfälle der Verbrauchsdaten auf, so dass nur sehr bedingt eine vergleichende Datenauswertung der gewählten Parameter möglich war. Im Folgenden können deshalb die Ergebnisse zur Ressourceneffizienz und Kühlwirkung nur anhand der Vergleichsmessung an der LSZ Boxberg dargestellt werden.

### Ergebnisse Differenzdruck

Durch die Art der Zuluftführung (Tabelle 1 und 2) war ein systembedingter Unterschied gegeben, der nur indirekt mit der

Art des Kühlungssystems zusammenhängt. Durch den im Sommer benötigten hohen Luftvolumenstrom zeigten sich in dieser Zeit die größten Unterschiede hinsichtlich des Differenzdrucks im Abteil zwischen den Varianten mit Porendeckenlüftung, Unterflurzulufführung, Erdwärmetauscher und Strahl- und HPE Lüftung. Bei einer Außentemperatur über  $22^\circ\text{C}$  wurde in den Abteilen des Praxisbetriebs mit EWT und in den Abteilen an der LSZ mit Porendecken der größte Unterdruck gemessen (Abbildung 1). Bei der Zuluftführung mit Unterflurzuluft (LSZ und Praxisbetrieb) und Strahl- und HPE Lüftung (Praxisbetrieb HDB) war der Unterdruck geringer.

Der Unterschied im Differenzdruck zwischen den zwei Unterflurzuluftsystemen (LSZ und Praxisbetrieb) wiederum resultiert aus der unterschiedlichen Bauweise der Zuluftwege. Bei dem Praxisbetrieb mit Unterflurlüftung strömt die Zuluft von außen direkt und ohne Umlenkung in den Unterflurkanal ein. Bei der Unterflurzuluft an der LSZ Boxberg zeigten schon Adrion et al. [1], dass ein Rohr im Unterflurkanal ein Strömungshindernis für die Zuluft darstellte, was wiederum zu einem höheren Unterdruck im Abteil führte.

Weiterhin wurde festgestellt, dass im Vergleich der Abteile mit Porendecke an der LSZ Boxberg (Abbildung 1) die Durchströmung des Kühlpads selbst keinen nennenswerten zusätzlichen Luftwiderstand für die Zuluft darstellt. Die große Streuung der Messwerte im Kühlpad-Abteil ist auf das Einstellen von jungen Tieren im Sommer zurückzuführen. In diesem Zeitraum lag die Außentemperatur zwar ca. 1 bis 2 Kelvin über  $22^\circ\text{C}$ , die Abteil-Solltemperatur betrug jedoch bei den jungen Tieren  $25^\circ\text{C}$ . Dies führte dazu, dass die Luftvolumenströme sehr gering waren. Die Messergebnisse, größer 0 Pascal, entstanden

Tab. 3

Luftvolumenstrom und Stromverbrauch an der Landesanstalt für Schweinezucht (LSZ Boxberg)

Table 3: Airflow rate and cost of power at the research farm Landesanstalt für Schweinezucht (LSZ Boxberg)

LSZ Boxberg	Zeitraum Period	Referenz Reference	Unterflurzuluft Underfloor air inlet	Hochdruckbefeuchtung High pressure evaporation	Kühlpad Cooling pad
Ø Luftvolumenstrom [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ] Airflow rate [m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ]	2011	3 765	4 245	3 623	3 413
	Jan.-Sept. 2012	4 686	4 841	4 239	3 995
Stromverbrauch [kWh] Power consumption [kWh]	2011	1 193	871	1 375	1 210
	2012	1 699	923	1 742	1 527
Stromkosten <sup>1)</sup> je TP und Jahr [€ TP <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]/ Cost of power <sup>1)</sup> per animal place and year [€ AP <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ]	2011	1,81	1,33	2,09	1,84
	2012	2,53	1,40	2,65	2,32

TP: Tierplatz/AP: Animal place.

<sup>1)</sup> Annahme 0,19 € kWh<sup>-1</sup>/Assumption 0,19 € kWh<sup>-1</sup>.

speziell bei niedrigen Luftvolumenströmen durch vorbeiströmende Außenluft an den Differenzdruckschläuchen. Da diese Ereignisse an allen Messstellen vorkamen, wurden die Messwerte nicht bereinigt.

Die Zuluftrohre des EWT am Praxisbetrieb erzeugten den größten Luftwiderstand. So ergab der Mittelwert des Differenzdrucks (gemessen bei  $A_T > 22$  °C) am Ende der Rippenrohre beim Übergang in den zentralen Zuluftkanal ca. -34 Pa. Von dort zum Abteil wurde nur eine kleine Veränderung auf rund -36 Pa gemessen. Durch diesen geringen Druckunterschied konnte es zu einer Fehllüftung kommen: Wenn an warmen Tagen 10 bis 12 der 14 Ventilatoren (14 Abteile) mit 100 % Lüfterleistung betrieben wurden, konnte bei den restlichen 2 bis 4 Abteilen mit geringer Lüfterleistung Luft fälschlicherweise durch die Abluftkamine statt durch die Rippenrohre angesaugt werden. Um das zu verhindern, musste die Lüfterleistung mindestens auf 40 % eingestellt sein. Daher wählte der Betriebsleiter an warmen Tagen eine Mindest-Lüfterleistung von 60 % in den betroffenen Abteilen.

### Stromverbrauch der Lüftung

Die oben gezeigten Unterschiede der Zuluftführung wirken sich auch auf den Stromverbrauch der Ventilatoren aus. An der LSZ Boxberg sind in jedem Abteil baugleiche Abluftventilatoren installiert, sodass die Stromverbräuche direkt verglichen werden können (**Tabelle 3**). Im Jahr 2012 zeigte sich in der Vergleichsuntersuchung an der LSZ Boxberg ein höherer Strombedarf, der durch die höheren Temperaturen im Jahr 2012 und den dadurch bedingt höheren zeitlichen Anteil mit hohen Luftvolumenströmen verursacht wurde. Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurde im Abteil mit Unterflurzuluft weniger Strom zur Lüftung verbraucht. Dies ist auf den geringen Unterdruck in diesem Abteil zurückzuführen (**Abbildung 1**). Dabei ist der geförderte Luftvolumenstrom zeitgleich

höher als der in den Abteilen mit Porendecke (Referenz, HDB, Kühlpad). Van Caenegem und Didier [2] und Van Caenegem et al. [3] beschreiben einen hohen Stromverbrauch für die Lüftung bei Ställen mit einem EWT. Grund dafür sind die Rippenrohre, die einen höheren Luftwiderstand aufweisen.

### Strom- und Wasserverbrauch der Kühlungssysteme

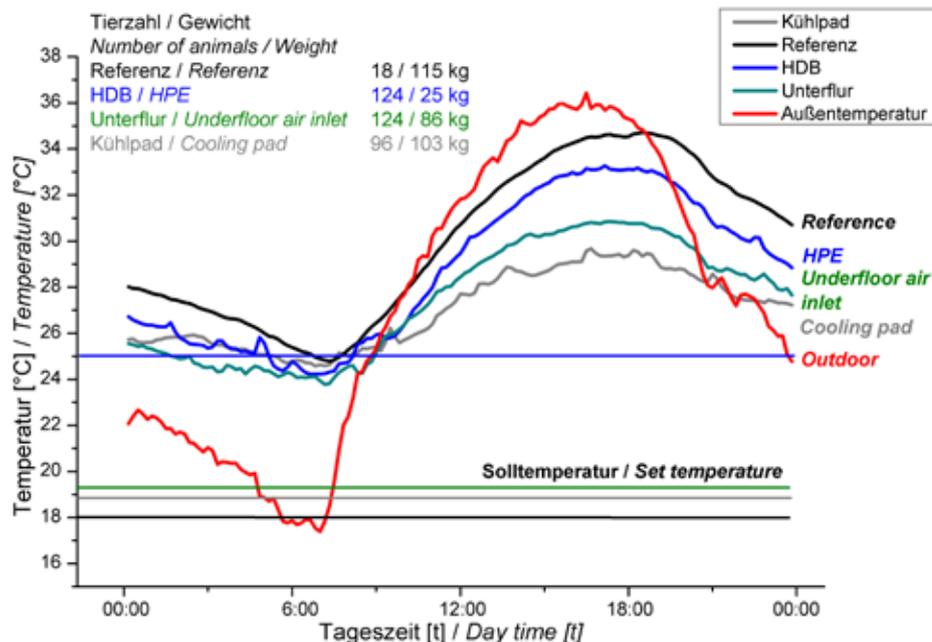
Mitentscheidend für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eines Kühlungssystems sind die Verbrauchswerte von Strom und Wasser. Diese sind in Bezug zur jeweiligen Kühlleistung zu bewerten.

An der LSZ Boxberg verbrauchte die HDB im Jahr 2011 10 034 l Wasser und 189,4 kWh Strom. Im Jahr darauf waren es 5 732 l Wasser und 159,3 kWh Strom. Der geringere Verbrauch von Wasser im Jahr 2012 war auf wiederholt verstopfte Düsen zurückzuführen. Diese setzten sich zu und verhinderten das Versprühen von Wasser, auch wenn die Pumpe mit entsprechendem Stromverbrauch lief. Die Düsenreinigung bzw. der Düsenwechsel erfolgte nicht immer rechtzeitig und stellte einen zusätzlichen Arbeitsaufwand dar. Das Kühlpad verbrauchte 22 941 l Wasser und 393,6 kWh Strom im Jahr 2011 und 16 233 l Wasser und 174,1 kWh Strom im Jahr 2012. Der Verbrauch von Strom und Wasser in 2012 konnte durch eine verbesserte Regelungseinstellung des Kühlpads deutlich gesenkt werden. Die Kühlung schaltete sich dann ab einer relativen Feuchte von 80 % im Abteil aus, was im Jahr zuvor nicht berücksichtigt wurde. Außerdem wurde das Kühlpad 2012 erst ab einer Außentemperatur von 24 statt 22 °C aktiviert.

### Kühlwirkung und Kühlleistung

Für die Varianten an der LSZ Boxberg wird im Folgenden die Kühlwirkung und Kühlleistung der wasserbasierten Systeme im Vergleich zur Unterflurzuluft näher beschrieben. Im Sommer 2012 wurde für die Temperaturklasse „Außentem-

Abb. 2



Temperaturverläufe an einem heißen Tag an der Landesanstalt für Schweinezucht Boxberg (LSZ)

Fig. 2: Temperature curves on the research farm Landesanstalt für Schweinezucht Boxberg (LSZ) on a hot day

peraturen über 22 °C“ über 74 Tage eine durchschnittliche Außentemperatur von 25,44 °C gemessen. Diese war somit um 0,71 K höher als im Jahr 2011 mit einer durchschnittlichen Außentemperatur von 24,73 °C über 82 Tage für dieselbe Auswertungsklasse. Über den gesamten Messzeitraum betrachtet lagen an den warmen Tagen sowohl Median, Mittelwert als auch die Maximalwerte der Abteilstemperatur der gekühlten Varianten unterhalb des Referenzabteils (ohne Kühlung). Die durchschnittliche Abkühlung durch die Unterflurzuluftführung betrug ca. 3,5 K, mithilfe des Kühlpads wurden im Mittel ca. 5 K Temperaturabsenkung erreicht. **Abbildung 2** zeigt für den wärmsten Tag des Untersuchungszeitraumes im August 2012 mit Tageshöchsttemperaturen von 36 °C, dass alle Kühlungsvarianten die Temperaturspitzen abmildern konnten: HDB um 3,2 K, Unterflurzuluft um 5,4 K und Kühlpad um 7 K. Zu berücksichtigen ist dabei zusätzlich die unterschiedliche Stallbelegung respektive die Solltemperatureinstellung.

Die Kühlleistung der einzelnen Systeme kann über die gemessenen Temperaturveränderungen der Zuluft von außen bis zum Abteil als Enthalpieänderung der Luft berechnet werden. Dies entspricht der von der Zuluft abgegebenen Energiemenge [kWh] und wurde mit der Gleichung 1 [4; 5] berechnet.

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 \cdot c_p \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1) \quad (\text{Gl. 1})$$

$\dot{Q}$	[kWh]	Wärmestrom
$\dot{m}_1$	[kg h <sup>-1</sup> ]	Zuluftstrom
$c_p$	[kWh (kg K) <sup>-1</sup> ]	spezifische Wärme der Luft
$\vartheta$	[°C]	Temperatur

Zur Ermittlung der theoretischen Kühlleistung der Hochdruckbefeuchtung wurde die Gleichung 2 verwendet [6], da sich die Hochdruckbefeuchtung im Abteil befindet und die Abteilstemperatur dadurch gleichzeitig von den Tieren mitbeeinflusst wurde. Dies kann nicht in der Gleichung 1 berücksichtigt werden. In der Gleichung 2 wird die Verdunstungsenergie von Wasser herangezogen, um die Kühlleistung der Hochdruckbefeuchtung zu errechnen. Das Ergebnis wird mit der verbrauchten Wassermenge multipliziert.

$$Q_v = 2500,8 - 2,372 \cdot t \quad (\text{Gl. 2})$$

$Q_v$	[kJ kg <sup>-1</sup> ]	Verdunstungswärme von Wasser
$t$	[°C]	Wassertemperatur
2500,8	[J kg <sup>-1</sup> ]	Verdunstungswärme von Wasser bei 0 °C

Der Berechnungszeitraum betraf nur die Monate April bis September der Jahre 2011 und 2012. Allen Berechnungen lag die Annahme zugrunde, dass die Wassertemperatur 15 °C betrug und 100% des verbrauchten Wassers verdampften. Die Berechnung der Verdunstungsenergie war sowohl bei der Hochdruckbefeuchtung als auch beim Kühlpad möglich. Weiterhin konnte beim Kühlpad auch die Temperaturdifferenz zwischen warmer Zuluft und gekühlter Luft ermittelt werden. Daraus ergaben sich zur Bestimmung der Kühlleistung zwei Ergebnisse. Bei der Unterflurzuluft konnte die Kühlleistung nur über die Temperaturdifferenzermittlung bestimmt werden. Aus **Tabelle 4** wird deutlich, dass zwischen den zwei Berechnungsarten große Unterschiede liegen. Dabei hebt sich die Leistung des Kühlpads unabhängig von der Berechnungsme-

Tab. 4

Energetische Angabe zur Kühlung der verschiedenen Kühlungssysteme

Table 4: Energy efficiency of the different cooling systems

Jahr Year	Verdunstungsenergie des verbrauchten Wassers [kWh] <i>Evaporation energy of the consumed water [kWh]</i>		Abgabe der Wärmemenge zum Erlangen der Temperaturdifferenz $\Delta T$ [kWh] <i>Heat emission to achieve the difference in temperature <math>\Delta T</math> [kWh]</i>	
	Hochdruckbefeuchtung <i>High pressure evaporation</i>	Kühlpad <i>Cooling pad</i>	Kühlpad <i>Cooling pad</i>	Unterflur <i>Underfloor air inlet</i>
2011	6 871	15 710	6 547	2 712
2012	3 925	11 116	8 040	3 234

thode jedoch von den anderen Systemen ab. Insbesondere im Jahr 2012 war die Kühlleistung mehr als doppelt bis dreimal so hoch wie die der Hochdruckbefeuchtung oder der Unterflurzuluft.

### Schlussfolgerungen

In der Untersuchung hat sich gezeigt, dass die Art der Luftführung und der Luftwiderstand, der je nach Zulufführung entsteht, einen erheblichen Einfluss auf den Differenzdruck im Abteil und somit auf den Stromverbrauch der Ventilatoren ausüben.

Bei den Kühlungssystemen sind auch die kontinuierlichen Kosten von Interesse. Dabei ist der Verbrauch von Wasser und Strom für die Pumpe bei dem Kühlpad höher als bei der HDB, allerdings weist das Kühlpad die bessere Kühlleistung auf. Bei der Unterflurzulufführung entstehen neben den zusätzlichen Baukosten keine weiteren Kosten über den Betrieb des Stalles. Verschiedene Szenarioanalysen einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Vergleichsuntersuchung an der LSZ Boxberg haben beispielsweise ergeben, dass die verschiedenen Kühlungsvarianten einen durch Hitzestress bedingten Rückgang der täglichen Zunahmen zwischen 25 und 40 g in einem Sommermastdurchgang abfangen müssten, damit die Mehrkosten der Kühlungssysteme gedeckt wären. Hierbei sind die Vorteile einer zusätzlichen Wärmenutzung der Unterflurzulufführung im Winter und die damit verbundene Einsparung an Heizkosten noch nicht mit berücksichtigt.

### Literatur

- [1] Adrion, F.; Threm, J.; Gallmann, E.; Pflanz, W.; Jungbluth, T. (2013): Simulation der Luftströmung in Mastschweineställen mit unterschiedlicher Zulufführung. *Landtechnik* 68(2), S. 89–94
- [2] van Caenegem, L.; Didier, D. (1998): Erdwärmetauscher für Mastschweineställe. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Nr. 48, Tänikon (Schweiz)
- [3] van Caenegem, L.; Johl, G.; Sax, M.; Soltermann, A. (2010): Energiebedarf bei Heizung und Lüftung mehr als halbieren. ART-Bericht 735, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, CH Tänikon
- [4] Kirschner, K.; Kosbab, H.; Langner, O.; Paulus, J.; Peterleit, H.-H.; Rasim, W.; Rump, W. (1976): Klimatechnik in der Tierproduktion. Reihe Luft- und Kältetechnik. VEB Verlag Technik, Berlin
- [5] von Böckh, P. (2006): Wärmeübertragung, Grundlagen und Praxis. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg
- [6] Kuttler, W. (2009): Klimatologie. Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn

### Autoren

**M. Sc. Joachim Pertagnol** (geb. Threm) war wissenschaftlicher Mitarbeiter, **PD Dr. sc. agr. Eva Gallmann** ist akademische Rätin am Fachgebiet Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme (Leiter: **Prof. Dr. Thomas Jungbluth**) des Instituts für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: eva.gallmann@uni-hohenheim.de

**Dr. sc. agr. Wilhelm Pflanz** ist Leiter des Referats Haltungssysteme, Stallbau, Stallklima, Biogas am Bildungs- und Wissenszentrum Boxberg – Schweinehaltung, Schweinezucht – (Landesanstalt für Schweinezucht – LSZ).

### Förderungshinweis

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE), FKZ 2808HS042.