

Optimales Stallklima dank Wärmerückgewinnungsanlagen auch im Sommer

Markus Sax, Ludo Van Caenegem und Matthias Schick
 Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen
 Auskünfte: Markus Sax, E-Mail: markus.sax@art.admin.ch, Tel. +41 52 368 32 81



Abb. 1 | Doppelter Wärmetauscher in einem Geflügelstall. (Foto: ART)

Einleitung

Hohe Aussentemperaturen belasten das Stallklima in vielen Schweine- und Geflügelställen. Mit zunehmender Klimaerwärmung verschärft sich dieses Problem. Hohe Stalltemperaturen verursachen bei den Tieren Stress, was mit Leistungseinbussen verbunden ist, und sie ziehen höhere Schadgasemissionen nach sich, was die Umwelt zusätzlich belastet. Es kann sich lohnen hitzebedingte Leistungseinbussen zu reduzieren, indem man die Stalllufttemperatur mittels Kühlungsanlagen senkt (Abb. 1). Verbreitete tech-

nische Verfahren hierfür sind die Raumlüftkühlung mit Hochdruckvernebelungsanlagen (evaporative Kühlung) im Stall oder die Zuluftkühlung mit Hilfe von Erdwärmetauschern. Mit Erdwärmetauschern können sowohl tiefe wie auch hohe Aussentemperaturen in der Zuluft ausgeglichen werden. Sie sind jedoch mit hohen Investitionen verbunden. Ihr Kühlpotenzial nimmt bei lang andauernden Hitzewellen stark ab, da das umliegende Erdreich die der Zuluft entzogene Wärme teilweise speichert. Die Wirkung der kostengünstigeren evaporativen Kühlung ist durch den Sättigungspunkt (100 % relative Feuchtigkeit)

der Stallluft begrenzt. Eine neue Möglichkeit zur Stallluftkühlung ist die Kombination von Befeuchtungs- und Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG). Herkömmliche Luft-Luft-Wärmerückgewinnungsanlagen sind nur bei tiefen Aussentemperaturen nützlich, wenn die fühlbare Wärmeabgabe der Tiere für eine ausgeglichene Wärme-Energiebilanz nicht ausreicht. Übersteigt die Stalltemperatur den Sollwert, wird der Wärmetauscher in der WRG über einen Bypass umgangen, um einen weiteren Anstieg der Stalltemperatur zu verhindern.

Die Luftbefeuchtung in WRG-Anlagen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Je nachdem, ob die Befeuchtung in der Ab- oder Zuluft stattfindet, erfolgt die Kühlung der Zuluft diabatisch oder kombiniert diabatisch/adiabatisch*. Im Gegensatz zur adiabatischen Kühlung der Zuluft erhöht sich der Wassergehalt der Stallluft beim diabatischen Vorgang nicht. Wie stark die Stallluft gekühlt oder erwärmt wird, hängt vom thermischen Wirkungsgrad und folglich von der Grösse des Wärmetauschers ab. Für eine Kosten-Nutzen-Rechnung ist die Stalltemperatur in Abhängigkeit des Anlagewirkungsgrads und der Gebäude-, Tier- und Klimaparameter zu quantifizieren. Hierzu wurde ein dynamisches Berechnungsmodell entwickelt. Die technische und wirtschaftliche Machbarkeit solcher Wärmerückgewinnungsanlagen soll später in einer Pilotanlage geprüft werden.

Material und Methode

Wirkungsprinzip

Je nachdem wo die Befeuchtung der Luft stattfindet, in der Abluft oder in der Zuluft, kann zwischen drei Varianten unterschieden werden. Bei der Befeuchtung der Abluft (Variante WRGA, Abb. 2, links) erfolgt die Zuluft-

Zusammenfassung Herkömmliche Luft-Luft-Wärmerückgewinnungsanlagen (WRG) sind nur bei tiefen Aussentemperaturen nützlich, solange Heizbedarf im Stall besteht. Durch den Einbau einer Hochdruckvernebelungsanlage in die WRG, kann mit dem Wärmetauscher auch die Zuluft gekühlt werden. Wird die Abluft, bevor sie durch den Wärmetauscher fliesst, bis zum Sättigungspunkt befeuchtet, kühlt sie bis zu zehn Kelvin ab. Im Wärmetauscher wird hierdurch der Zuluft Wärme entzogen. Je besser der thermische Wirkungsgrad des Wärmetauschers, desto grösser ist die Temperaturreduktion der Zuluft. Bei diesem diabatischen Vorgang erhöht sich der Wassergehalt der Stallluft nicht. Dies ist wohl der Fall, wenn die Zuluft, nachdem sie den Wärmetauscher durchquert hat, befeuchtet wird. Im Gegensatz zur Hochdruckvernebelung im Stall erfolgt beim Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage mit Ab- und Zuluftbefeuchtung nicht die gesamte Kühlung adiabatisch, sondern auch teilweise diabatisch durch Wärmeaustausch zwischen Abluft und Zuluft. Mit einem dynamischen Berechnungsmodell lässt sich die Stalltemperaturreduktion berechnen. Durch die integrierte Hochvernebelungsanlage und den grösseren Wärmetauscher, der auch für die Sommerluftrate ausreichen muss, entstehen Mehrkosten. Andererseits wird die Anlage auch einfacher, da Bypassklappen und -Kamine entfallen. Ausserdem kann dank der Kühlung auch die maximale Luftrate und folglich Lüfterleistung reduziert werden. Ob die Anlage die stallklimatischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Erwartungen erfüllen kann, soll in einer Pilotanlage geprüft werden.

*Adiabatische Zustandsänderung: thermodynamischer Prozeß, der ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung abläuft.
Diabatische Zustandsänderung: thermodynamischer Prozess, bei dem mit der Umgebung Wärme ausgetauscht wird.

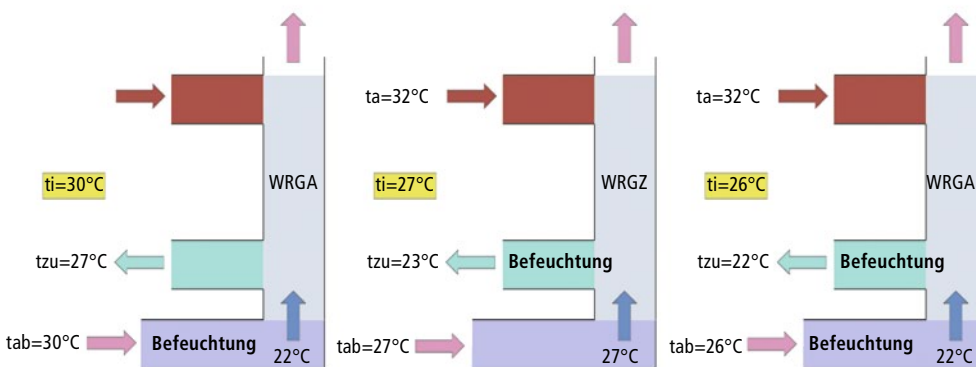


Abb. 2 | Schematische Darstellung der verschiedenen WRG-Varianten mit adiabatischer und/oder diabatischer Kühlung. (ti: Stalltemperatur, ta: Aussentemperatur, tzu: Zulufttemperatur, tab: Ablufttemperatur).

$$t_{i, \text{referenz}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot t_a}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i, \text{WRGA}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot [t_a - \eta_{\text{WRG}} \cdot (t_a - (t_i - \frac{W_{\text{ab}} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho}))] - \eta_{\text{WRG}} \cdot W_{\text{ab}} \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w)}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i, \text{WRGZ}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot [t_a - \eta_{\text{WRG}} \cdot (t_a - t_i) - \frac{W_{\text{zu}} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho}] - W_{\text{zu}} \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w)}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i, \text{WRGAZ}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot [t_a - \eta_{\text{WRG}} \cdot (t_a - (t_i - \frac{W_{\text{ab}} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho})) - \frac{W_{\text{zu}} \cdot 680}{V \cdot 0,28 \cdot \rho}] - (\eta_{\text{WRG}} \cdot W_{\text{ab}} + W_{\text{zu}}) \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w)}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i, \text{HDV}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot t_a - W_{\text{HDV}} \cdot 680 - W_{\text{HDV}} \cdot 1,16 \cdot (t_i - t_w)}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$$t_{i, \text{EWT}} = \frac{H_s + q_T \cdot t_a + V \cdot 0,28 \cdot \rho \cdot (t_a - \eta_{\text{EWT}} \cdot (t_a - t_b))}{q_T + V \cdot 0,28 \cdot \rho}$$

$t_{i, \text{referenz}}$:	Temperatur im Referenzstall (ohne Aufbereitung der Zuluft) °C	(abhängig von t_i) W
$t_{i, \text{WRGA}}$:	Temperatur im Stall mit WRGA (Befeuchtung der Abluft) °C	t_a : Aussentemperatur °C
$t_{i, \text{WRGZ}}$:	Temperatur im Stall mit WRGZ (Befeuchtung der Zuluft) °C	t_b : Temperatur im Erdmantel um die Rippenrohre °C
$t_{i, \text{WRGAZ}}$:	Temperatur im Stall mit WRGAZ (Befeuchtung der Ab- und Zuluft) °C	t_w : Wassertemperatur der Befeuchtungsanlage °C
$t_{i, \text{HDV}}$:	Temperatur im Stall mit HDV (Hochdruckvernebelung) °C	q_T : Transmissionsverluste W/°C
$t_{i, \text{EWT}}$:	Temperatur im Stall mit EWT (Erdwärmetauscher) °C	V: Luftfrate m ³ /h
H_s :	fühlbare Wärmeabgabe der Tiere	ρ : Luftdichte kg/m ³
		W_{ab} : zerstäubte Wassermenge in der Abluft kg/h
		W_{zu} : zerstäubte Wassermenge in der Zuluft kg/h
		W_{HDV} : zerstäubte Wassermenge in der Stallluft kg/h
		η_{WRG} : thermischer Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage %
		η_{EWT} : thermischer Wirkungsgrad des Erdwärmetauschers %

kühlung vollständig diabatisch durch den Wärmeaustausch im Wärmetauscher (Abb. 3). Voraussetzung ist, dass es sich um einen rekuperativen Wärmetauscher handelt. Bei diesem Wärmetauscher werden Zu- und Abluftstrom ohne Luft- und Feuchteausaustausch aneinander vorbeigeführt (z. B. Gegenstromwärmetauscher). Dadurch wird bei Befeuchtung der Abluft der Wassergehalt der Stallluft nicht erhöht. Die Abluft kann folglich bis zu ihrem Sättigungspunkt mit Wasser angereichert werden. Wie stark die Abluft abkühlt, hängt von der relativen Feuchtigkeit der Stall- und somit der Abluft ab. Diese ist vom Aussenklima, Tierbestand und der Luftfrate abhängig. Eine Reduktion der Ablufttemperatur von bis zu zehn Kelvin ist möglich.

Anstelle der Abluft kann auch die Zuluft befeuchtet werden (Variante WRGZ, Abb. 2, Mitte). Die Befeuchtung der Zuluft erhöht im Gegensatz zur Variante WRGA den Wassergehalt dieses Luftstromes und somit auch die relative Luftfeuchte der Stallluft. Damit die relative Luftfeuchte der Stallluft nicht über einen gewünschten Wert (beispielsweise 70 %) ansteigt, ist die zerstäubte Wassermenge in der Zuluft zu beschränken. Das Wasser kann auch breitflächig mittels Hochdruckdüsen im Stall vernebelt werden. Die Variante WRGZ unterscheidet sich von der üblichen Hochdruckvernebelung in der Stallluft dadurch, dass die Zuluft im Wärmetauscher diabatisch vorgekühlt wird, vorausgesetzt die Stalltemperatur liegt unter der Aussentemperatur.

Tab. 1 | Berechnungsgrundlagen für das Beispiel (Abbildungen 3 bis 6)

Aussentemperatur	32 °C
Rel. Feuchtigkeit aussen	40 %
Maximal zulässige relative Feuchtigkeit im Stall	70 %
Tierbestand	600 Mastschweine von 100 kg
Transmissionsverluste Stallgebäude	257 W/°C
Temperatur des zerstäubten Wassers	20 °C

In einer Anlage mit Befeuchtung der Ab- und Zuluft (WRGAZ, Abb. 2, rechts) wird die relative Feuchte der Abluft bis auf 100 % erhöht. Die relative Feuchte der Zuluft ist jedoch meistens nicht bis auf 100 % erhöhbar, da sonst die relative Feuchte der Stallluft zu stark ansteigt. Mit dieser Variante kann das maximale adiabatische und diabatische Kühlpotential der WRG ausgeschöpft werden.

Berechnungsgrundlagen

Im Simulationsmodell werden nachstehende Regelgrößen miteinander verknüpft:

- fühlbare und latente Wärmeabgabe der Tiere
- Aussen- und Innenklima
- Wärmeverluste durch Transmission (Gebäudehülle)
- Lüftung (Lüftungsverluste)
- thermischer Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage

Damit kann der Einfluss der Befeuchtung von der Ab- und Zuluft in der Wärmerückgewinnungsanlage auf das Stallklima untersucht werden. Die Temperatursenkung der Stallluft durch die WRG lässt sich mit der Stallluftkühlung durch andere Kühlverfahren wie zum Beispiel Erdwärmetauscher (EWT) und Hochdruckvernebelung (HDV) vergleichen.

Da die Stalltemperatur sowohl Zielgrösse wie auch Einflussgrösse ist, kommt bei der Berechnung ein Iterationsverfahren zur Anwendung. Als Rahmenbedingungen für die Kühlung gelten die maximal zulässige relative Luftfeuchte im Stall, der Sättigungspunkt der Luft und der thermische Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnungsanlage. Die Temperatur des zerstäubten Wassers hat im Bereich von 10 bis 20 °C nur einen sehr geringen Einfluss auf die Stalltemperatur ($< 0,1$ °C).

Berechnungsbeispiel

Das Beispiel bezieht sich auf einen Mastschweinestall (Tab. 1). Bei den Berechnungen wird die thermische Trägheit des Gebäudes nicht berücksichtigt (stationäre Wärmeströmung). Beim Referenzstall wird die Zuluft nicht aufbereitet.

Resultate und Diskussion

Befeuchtung der Ab- und Zuluft im Vergleich

Bei der Variante WRGA lässt sich die Ablufttemperatur bei einer Luftrate von 60 000 m³/h auf 21,8 °C senken, vorausgesetzt, die relative Feuchtigkeit der Abluft wird auf ➤

**Abb. 3 | Wärmetauscher im Geflügelstall.**

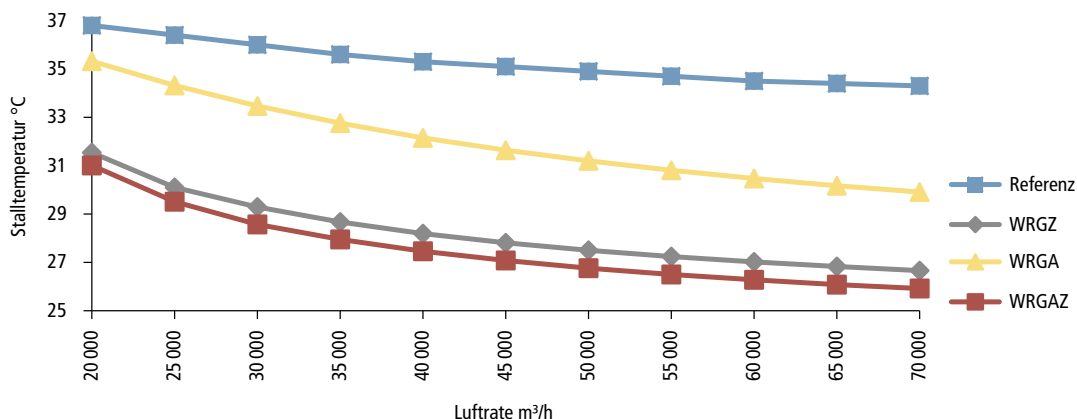


Abb. 4 | Stalltemperatur bei den drei WRG-Varianten im Vergleich zum Referenzstall. Thermischer Wirkungsgrad des Wärmetauschers 50 %.

100 % erhöht. Die Zulufttemperatur sinkt von 32 °C (Aus-
sentemperatur) auf 26,9 °C, wenn der Wirkungsgrad des
Wärmetauschers 50 % beträgt. Dank dieser Abkühlung
liegt die Stalltemperatur (30,5 °C) etwa 1,5 Kelvin unter
der Aussentemperatur (Abb. 4). Ohne WRGA würde die
Stalltemperatur 34,5 °C und die relative Feuchtigkeit der
Stallluft 48,3 % betragen (Abb. 5).
Die Befeuchtung der Zuluft (WRGZ) ist einerseits durch
die maximale Wasseraufnahmefähigkeit der Zuluft ande-
rerseits durch die maximal zulässige relative Feuchtigkeit
im Stall (70 %) begrenzt. Bei einer Luftrate von 60 000 m³/h
beträgt die Zulufttemperatur 22,8 °C, die Stalltemperatur

27,0 °C (Abb. 4). Die Stalltemperatur ist 3,5 Kelvin tiefer
im Vergleich zur WRGA, die relative Feuchtigkeit jedoch
21,7 % höher (Abb. 5). Damit die relative Feuchtigkeit der
Stallluft nicht über den Grenzwert (70 %) steigt, darf die
Zuluft am Ausgang des Wärmetauschers auf maximal
83,5 % relative Feuchtigkeit erhöht werden.

Wird sowohl die Abluft wie auch die Zuluft adiabatisch
gekühlt (WRGAZ), sinkt die Stalltemperatur bei einer
Luftrate von 60 000 m³/h auf 26,2 °C (Abb. 4). Auch bei
dieser Variante muss mit zunehmender Luftrate die rela-
tive Feuchtigkeit in der Zuluft begrenzt werden, damit
die Stallluft nicht zu feucht wird.

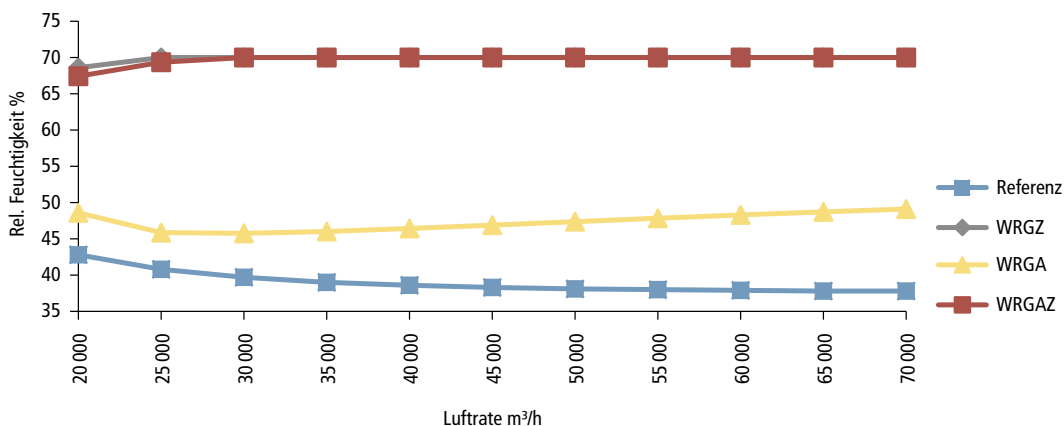


Abb. 5 | Die relative Feuchtigkeit des Referenzstalls und der Variante WRGA ist erheblich tiefer als bei beiden anderen Varianten (WRGZ, WRGAZ). Thermischer Wirkungsgrad des Wärmetauschers 50 %.

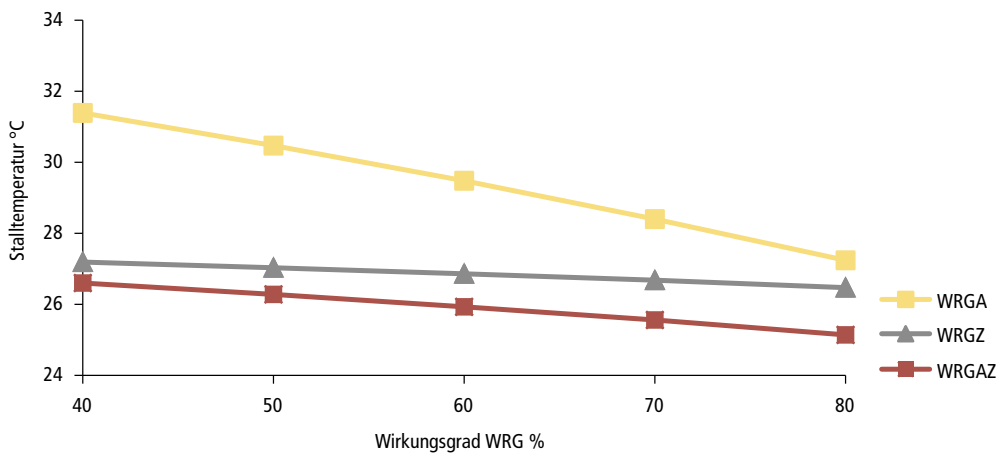


Abb. 6 | Einfluss des thermischen Wirkungsgrads des Wärmetauschers auf die Stalltemperatur bei den drei WRG Varianten. Luftrate 40 000 m³/h.

Einfluss des Wirkungsgrads

Der thermische Wirkungsgrad wirkt sich am stärksten bei der Variante WRGA auf die Stalltemperatur aus (Abb. 6). Bei der Variante WRGZ beträgt der Temperaturunterschied zwischen einem Wirkungsgrad von 40 % und 80 % nur etwa 0,7 Kelvin (Luftrate 40 000 m³/h), bei der Variante WRGA dagegen 4,2 Kelvin und bei der Variante WRGAZ 1,5 Kelvin.

Vergleich Hochdruckvernebelung Erdwärmetauscher

Für den Vergleich werden folgende Annahmen getroffen: die relative Feuchte (70 %) der Stallluft wirkt begrenzend auf die Hochdruckvernebelung (HDV) im Stall sowie auch auf die Befeuchtung der Zuluft in der WRGAZ. Der thermische Wirkungsgrad des Wärmetauschers ist 50 %. Die Zulufttemperatur bei der Variante Erdwärmetauscher (EWT) beträgt 24 °C bei einer Aussentemperatur von 32 °C.

Bei der Hochdruckvernebelung im Stall erfolgt die gesamte Zuluftkühlung adiabatisch. Im Falle einer WRGAZ wird ein Teil der Temperatursenkung diabatisch durch den Wärmeaustausch zwischen Abluft und Zuluft erzielt. Hierdurch ist eine 1,0 bis 1,5 Kelvin tiefere Stalltemperatur möglich (Abb. 7). Der Kühleffekt des Erdwärmetauschers ist bei einer Luftrate von 70 000 m³/h etwa gleich gross wie bei der Hochdruckvernebelung im Stall, allerdings bei einer relativen Feuchtigkeit, die um 15 % tiefer liegt.

Wirtschaftliche Aspekte

Bei den WRG-Varianten mit adiabatischer Kühlung entstehen gegenüber herkömmlichen Wärmerückgewinnungsanlagen Mehrkosten wegen der Befeuchtungsanlage und des grösseren Wärmetauschers, der auch für die Sommerluftrate ausreichen muss. Bei den Betriebskosten sind zusätzliche Kosten für den Wasser- und den Strombedarf der Pumpen zu berücksichtigen.

Andererseits sind gegenüber herkömmlichen Wärmerückgewinnungsanlagen auch Kosteneinsparungen möglich. Der Bypass auf der Zu- und Abluftseite (Klappen, Kamine) erübrigt sich und die Steuerung wird einfacher. Eine zusätzliche Kostenreduktion ist möglich, wenn dank der Kühlung im Sommer die Luftrate und folglich auch die maximale Lüfterleistung reduziert werden kann. Im Beispiel beträgt die Stalltemperatur mit WRGAZ 28,6 °C bei einer Luftrate von 30 000 m³/h gegenüber 34,5 °C bei einer Luftrate von 60 000 m³/h im Referenzstall.

Fliesst die Zuluft das ganze Jahr durch den Wärmetauscher, ist wegen des zusätzlichen Luftwiderstands mit höheren Stromkosten für die Lüfter zu rechnen. Andererseits verringert sich der Strombedarf, wenn bei hohen Aussentemperaturen dank der Kühlung die Luftrate reduziert werden kann. Je grösser die WRG dimensioniert wird (Fläche des Wärmetauschers), desto geringer dürfte bei gleicher Luftrate der Luftwiderstand und umso grösser der thermische Wirkungs-

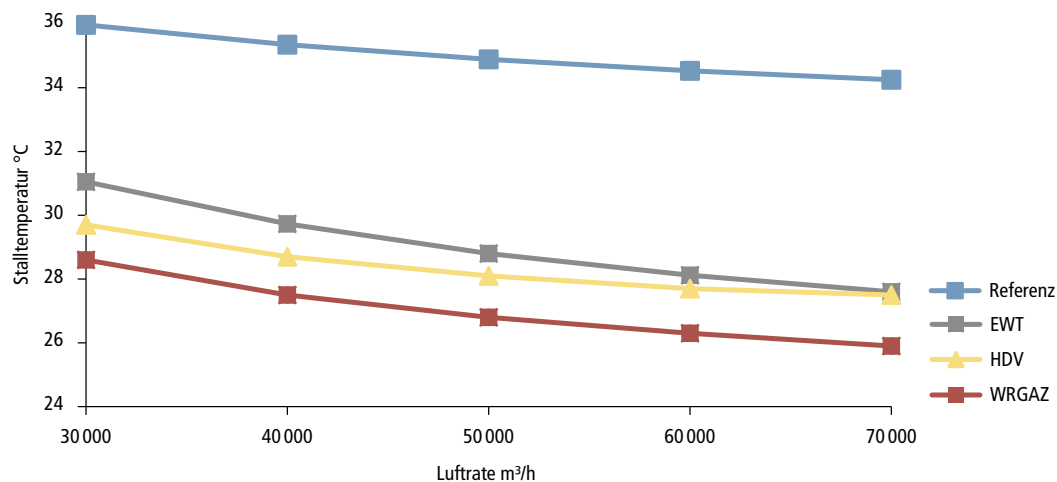


Abb. 7 | Mit zunehmender Luftrate erhöht sich der Stalltemperaturunterschied zwischen den Varianten WRGAZ und HDV (Hochdruckvernebelung im Stall).

grad sein. Andererseits steigen die Investitionskosten mit zunehmender Grösse der Anlage. Weitere Forschung und praktische Versuche sind notwendig, um das wirtschaftliche Optimum dieser Anlagen herauszufinden.

Ob Wärmetauscher mit integrierter Befeuchtungsanlage sich auch wirtschaftlich lohnen, hängt einerseits von den Mehrkosten und andererseits von der Tierleistung bei etwas tieferen Stalltemperaturen ab. Dies lässt sich nur durch praktische Versuche ermitteln. ■

Schlussfolgerungen

Durch Integration einer Befeuchtungsanlage auf der Ab- und/oder Zuluftseite trägt die Wärmerückgewinnungsanlage das ganze Jahr zur Stallklimaregelung bei.

Eine Befeuchtung der Abluft vor dem Wärmetauscher bis zum Sättigungspunkt und eine partielle Befeuchtung der Zuluft nach dem Wärmetauscher, bewirkt eine Stalltemperatursenkung, die mit jener eines Rippenrohr-Erdwärmetauschers vergleichbar ist. Der Wärmetauscher hat gegenüber dem Erdwärmetauscher bedeutende Vorteile. Die Investitionen sind geringer und der Wärmegewinn im Winter, vor allem bei hohen Stalltemperaturen, ist grösser. Zudem ist die Kühlwirkung unabhängig von der Dauer einer Hitzeperiode. Als Nachteil sind die komplexere Steuerung und der grössere Wartungsaufwand zu bezeichnen. Die Dimensionierung der Anlage hat einen sehr grossen Einfluss auf die Kühlleistung und den Strombedarf der Lüfter.

Riassunto**Clima ottimale nelle stalle anche in estate grazie a impianti di recupero di calore**

I tradizionali impianti di recupero di calore (IRC) ad aria sono utili solo in caso di temperature esterne basse, a condizione che sia necessario riscaldare la stalla. Con l'installazione di un impianto di nebulizzazione ad alta pressione nell'IRC anche l'aria d'alimentazione può essere raffreddata con lo scambiatore di calore. Se, prima di fluire attraverso lo scambiatore di calore, l'aria di scarico viene inumidita fino al punto di saturazione, la sua temperatura può essere ridotta anche di 10 gradi kelvin. In tal modo, nello scambiatore di calore è estratto il calore dall'aria d'alimentazione. Migliore risulta il grado di efficacia termica dello scambiatore di calore, maggiore sarà la riduzione di temperatura dell'aria d'alimentazione. In tale processo diabatico il tenore in acqua nell'aria della stalla non aumenta. Questo è il caso in cui l'aria d'alimentazione è inumidita dopo aver attraversato lo scambiatore di calore. Contrariamente all'impianto di nebulizzazione ad alta pressione in stalla, in caso di impiego di un impianto di recupero di calore con l'umidificazione dell'aria d'alimentazione e di scarico, il raffreddamento non è completamente adiabatico ma anche in parte diabatico attraverso lo scambio di calore tra aria d'alimentazione e di scarico. Con un modello di calcolo dinamico è possibile calcolare la riduzione della temperatura della stalla.

Con l'impianto di nebulizzazione integrato e uno scambiatore di calore di maggiori dimensioni, che deve essere sufficiente anche per la quota di aria in estate, risultano dei sovraccosti. Dall'altro lato l'impianto diventa più semplice perché vengono meno le valvole e i camini di bypass. Inoltre, grazie al raffreddamento, anche la quota d'aria massima, e di conseguenza la prestazione del ventilatore, può essere ridotta. In un impianto pilota si appurerà se l'impianto può soddisfare aspettative relative al clima della stalla, economiche e rilevanti dal profilo ambientale

Summary**Optimum animal house climatization even in summer, thanks to heat recovery systems**

Traditional air to air heat recovery systems (HRS) are only useful at low outside temperatures as long as heat is required in animal housing. The incoming air can also be cooled by the heat exchanger if a high pressure water atomizer is installed in the HRS. If the outgoing air is humidified to saturation point before it passes through the heat exchanger it cools to 10 Kelvin, which means that heat is extracted from the incoming air in the heat exchanger. The better the thermal efficiency of the heat exchanger, the greater the reduction in temperature of the incoming air. The water content of the air in the housing does not increase during this diabatic process. This is the case if the incoming air is humidified after passing through the heat exchanger. Unlike high pressure atomization in animal housing, not all the cooling is effected adiabatically when a heat recovery system with outgoing and incoming air humidification is used, but some of it also takes place diabatically due to heat exchange between outgoing air and incoming air. The reduction in housing temperature can be calculated with a dynamic calculation model.

Additional costs are incurred by the integrated high pressure atomizer and the larger heat exchanger, which must also be adequate for the summer airflow rate. On the other hand the system also becomes simpler, as bypass valves and flues are dispensed with. Thanks to the cooling, moreover, maximum air rate and consequently fan capacity can also be reduced. Pilot plant trials will be conducted to find out whether the system can meet expectations in respect of stall climatization, economic viability and environmental relevance.

Key words: heat recovery, adiabatic and diabatic cooling, climatization of animal houses, energy efficiency.

Literatur

- Van Caenegem L., Jöhl G., Sax M. & Soltermann A., 2010. Energiebedarf bei Heizung und Lüftung mehr als halbieren. ART-Berichte 735, Forschungsanstalt Agroscope, Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen, 8 S.
- Van Caenegem L., Sax M. & Schick M., 2012. Wärmerückgewinnungsanlagen auch zum Kühlen. *Landtechnik* 67 (3).