

# Innovative Lüftungsregelung in der Mastschweinehaltung

## Teil II - Stallklima und NH<sub>3</sub>-Emissionen

*Getestet wurde die Regelung des Stallklimas über zusätzliche Sensoren der Tieraktivität und der CO<sub>2</sub>-Innenraumkonzentration in Kombination mit einer Befeuchtungskühlung. Die mittlere Schadgaskonzentration wurde vorwiegend von der Höhe des Volumenstroms beeinflusst, durch den Einsatz der CO<sub>2</sub>-Regelung ließ sich dabei ein häufigeres Überschreiten der maximalen Innenraumkonzentration von 3000 ppm vermeiden. Neben Volumenstrom und Innenraumtemperatur übte die Befeuchtung einen Einfluss auf die Höhe der NH<sub>3</sub>-Emissionen aus.*

Dipl.-Ing. Angelika Häußermann ist wissenschaftliche Mitarbeiterin, Prof. Dr. Thomas Jungbluth Leiter des Fachgebietes für Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme im Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [haeusser@uni-hohenheim.de](mailto:haeusser@uni-hohenheim.de)  
Prof. Dr. Eberhard Hartung ist Leiter des Institutes für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik der Christian-Albrechts-Universität, Kiel.  
Das Projekt wurde im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs "Strategien zur Vermeidung der Emission klimarelevanter Gase und umwelttoxischer Stoffe aus Landwirtschaft und Landschaftsnutzung" an der Universität Hohenheim durchgeführt.

### Schlüsselwörter

Stallklimaregelung, Befeuchtungskühlung, Emissionen

### Keywords

Ventilation control, evaporative cooling, emissions

### Literatur

- [1] Häußermann, A., E. Hartung und T. Jungbluth: Entwicklung innovativer Lüftungssysteme für Mastschweine, Teil I - Methode und erste Ergebnisse. ATF 10 (2004), H. 1, S. 7-15

Die entwickelten Stallklimaregelkonzepte wurden in Kooperation mit der Herstellerfirma (Möller GmbH Agrarklima-Steuerungen) in eine kommerzielle Stallklimasoftwaresoftware umgesetzt und im Hohenheimer Versuchsstall für Mastschweine, jahreszeitlich randomisiert verteilt, über insgesamt vier Versuchsdurchgänge von Februar 2003 bis Juli 2004 getestet [1]. Um jahreszeitliche Einflüsse auf die Auswirkung der Lüftungsregelung zu untersuchen, wurden die Untersuchungsergebnisse getrennt für die beiden Außentemperaturbereiche  $>T1<$  und  $>T2<$ , mit Tagesmitteltemperaturen außen unter oder über 14°C betrachtet.

### Material und Methode

Die Untersuchungen erfolgten in zwei getrennten Abteilen (jeweils 54 Tiere, 0,9 m<sup>2</sup> Tier<sup>-1</sup>). Zur Befeuchtung und Kühlung des Innenraums und der Zuluft waren je Abteil jeweils zwei Befeuchtungsstränge mit vier Düsen in der Zuluft und sechs Düsen im Innenraum angebracht (70 bar), die sowohl bei einer relativen Luftfeuchte unter 50 % als auch bei hohen Innenraumtemperaturen bis zu einer Maximalfeuchte von 80 % aktiviert wurden. Die Steuerung des Volumenstroms und der Befeuchtung erfolgte über die Innenraumtemperatur sowie die jeweils zusätzlichen Sensoren der Regelstrategien (Tab. 1). Bei Var. C erfolgte die Regelung des Volumenstroms grundsätzlich über die CO<sub>2</sub>-Innenraumkonzentration, für hohe Innenraumtemperaturen über die Temperatur und einen gedämpften Regelbereich. Bei Var. A erfolgte ein Anheben des Volumenstroms und ein zusätzlicher Start der Befeuchtung zu Zeiten vermehrter Tieraktivität [1].

Die in den Versuchsstall integrierte Datenerfassung erlaubte die kontinuierliche Aufzeichnung der Außen- und Innenraumtemperatur, der relativen Luftfeuchte, des Volumenstroms sowie der Innenraum-, Zuluft und Abluftkonzentrationen an CO<sub>2</sub> und NH<sub>3</sub> (NDIR Spektroskopie). Eine Korrektur der Wasserdampfquerempfindlichkeit der NH<sub>3</sub>-Konzentrationen erfolgte jeweils im Anschluss an die Messungen. Die Berechnung der Emissionen berücksichtigte die ge-

messenen Schadgaskonzentrationen in der Abluft und der Zuluft, die jeweilige Volumenstromhöhe sowie das Tiergewicht, umgerechnet in Großvieheinheiten (1 GV = 500 kg). Der Vergleich der Varianten erfolgte über Mittelwerte und den mittleren Perzentilbereich, eingegrenzt durch das 25 %- und das 75 %- Perzentil der Tagesmittelwerte.

### Ergebnisse

#### Stallklima

Innenraumtemperatur und Volumenstrom entsprachen in  $>T1<$  für Varianten R, B und A weitestgehend den Sollwerteneinstellungen des Reglers (Tab. 2; Tab. 3). Letzterer war für Var. C im Mittel um 20 % verringert, die mittlere Innenraumtemperatur dadurch um etwa 1°C erhöht. Die Befeuchtung diente bei Var. B und Var. A in erster Linie der Anhebung der relativen Luftfeuchte auf einen mittleren Perzentilbereich von etwa 51 % bis 61 % gegenüber 44 % bis 52 % der Referenzvariante (Var. R), bei Var. C unterstützend auch zur Temperaturkühlung.

In  $>T2<$  ergab sich über den Tagesverlauf eine mittlere Reduzierung des Volumenstroms um 22 % durch die Befeuchtungskühlung (Var. B und Var. A) und um insgesamt 33 % durch die Kombination aus Befeuchtungskühlung und CO<sub>2</sub>-Regelung (Tab. 2). Gegenüber  $>T1<$  war die Innenraumtemperatur, in Abhängigkeit der Regelstrategie im Mittel um 1,5°C bis 5,3°C erhöht (Tab. 3). Im Tagesverlauf auftretende Temperaturspitzen wurden durch die Befeuchtungskühlung in  $>T2<$  im Maximum um etwa 7 K, im Mittel um 4 K bis 5 K verringert. Durch die zusätzliche Befeuchtung erfolgte bei den Var. B, Var. A und Var. C in  $>T2<$  eine Anhebung des mittleren Perzentilbereichs der relativen Luftfeuchte auf etwa 64 % bis 82 %.

#### Schadgaskonzentrationen

Entsprechend der Volumenstromhöhe trat in  $>T1<$  für Var. C, in  $>T2<$  zusätzlich für Var. B und Var. A, jeweils eine höhere mittlere Schadgaskonzentration auf. Der mittlere Perzentilbereich der CO<sub>2</sub>-Innenraumkonzentration lag in  $>T1<$  bei 1660 ppm bis 2600 ppm, in  $>T2<$  bei 650 bis 1550 ppm,

Variante	Var. R Referenz	Var. B Befeuchtung	Var. C Befeuchtung	Var. A Befeuchtung
Regelparameter	Temperatur	Temperatur & Feuchte	CO <sub>2</sub> -Innenraumkonzentration, Temperatur & Feuchte	Temperatur Feuchte & Tieraktivität

Table 1: Overview on ventilation concepts and integrated control parameters

	Var. R	Var. B	Var. C	Var. A
Mittelwert >T1<	45 <sup>b</sup>	46 <sup>b</sup>	36 <sup>a</sup>	46 <sup>b</sup>
25 % - 75 % Perzentil	31 - 51	34 - 55	29 - 40	34 - 56
Mittelwert >T2<	119 <sup>c</sup>	93 <sup>b</sup>	80 <sup>a</sup>	92 <sup>b</sup>
25 % - 75 % Perzentil	120 - 131	65 - 127	57 - 100	67 - 117

a, b, c gleich gekennzeichnete Mittelwerte gehören jeweils der selben Untergruppe an (p < 0,05)

Table 2: Ventilation rate [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> pig<sup>-1</sup>] of control strategies at mean daily outside temperatures below >T1< and above 14°C >T2<

	Var. R	Var. B	Var. C	Var. A
Mittelwert >T1<	19,2 <sup>a</sup>	18,8 <sup>a</sup>	19,9 <sup>b</sup>	18,9 <sup>a</sup>
25 % - 75 % Perzentil	16,6 - 21,0	17,3 - 20,2	18,6 - 21,4	17,9 - 20,1
Mittelwert >T2<	24,5 <sup>c</sup>	20,4 <sup>a</sup>	21,8 <sup>b</sup>	20,4 <sup>a</sup>
25 % - 75 % Perzentil	21,3 - 27,5	18,4 - 22,2	19,4 - 23,2	18,6 - 21,9

a, b, c gleich gekennzeichnete Mittelwerte gehören jeweils der selben Untergruppe an (p < 0,05)

Table 3: Indoor temperature [°C] of control strategies at mean daily outside temperatures below >T1< and above 14°C >T2<

	Var. R	Var. B	Var. C	Var. A
Mittelwert >T1<	99 <sup>a</sup>	113 <sup>b</sup>	109 <sup>b</sup>	113 <sup>b</sup>
25 % - 75 % Perzentil	84 - 113	87 - 142	82 - 125	90 - 140
Mittelwert >T2<	114 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>	113 <sup>a</sup>	110 <sup>a</sup>
25 % - 75 % Perzentil	86 - 131	77 - 138	100 - 121	79 - 128

a, b gleich gekennzeichnete Mittelwerte gehören jeweils der selben Untergruppe an (p < 0,05)

Table 4: NH<sub>3</sub> emission rate [g d<sup>-1</sup> LU<sup>-1</sup>] of control strategies of at mean daily outside temperatures below >T1< and above 14°C >T2<

der der NH<sub>3</sub>-Innenraumkonzentration bei 8 bis 17 ppm in >T1< und bei 4 bis 7 ppm in >T2<.

Die Hauptwirkung der Variante A, der Abtransport durch Tieraktivität bedingter erhöhter Schadstoffbelastungen, wurde in erster Linie bei hohen Innenraumkonzentrationen über 2500 ppm erreicht, fiel entsprechend der kurzzeitigen Dynamik des aktivitätsgeregelten Volumenstroms prozentual jedoch eher gering aus.

Bedingt durch die Regelvorgaben erfolgte bei Var. C eine Verschiebung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf Werte zwischen 2000 ppm und 3000 ppm, also von 60 % der Referenzvariante auf etwa 80 %. Der Angelpunkt dieser Verschiebung, 2000 ppm, entsprach dabei dem eingestellten Sollwert, der Grenzwert von 3000 ppm wurde für alle Varianten gleichermaßen für nur etwa 1 % der Messwerte in >T1< überschritten und damit bei der CO<sub>2</sub>-geregelten Variante nicht häufiger als bei den temperaturgeregelten Varianten.

Der Grenzwert der NH<sub>3</sub>-Innenraumkonzentration von 20 ppm wurde dagegen für

Var. R, Var. B und Var. A in >T1< für etwa 1 bis 2 % der Messwerte überschritten. Bei Var. C lagen, bedingt durch die Kombination aus Volumenstromreduzierung und Befeuchtung, etwa 11 % der Messwerte in >T1< und 0,6 % der Messwerte in >T2< in einem Bereich von 20 ppm bis 27 ppm.

#### NH<sub>3</sub>-Emissionen

Die mittlere NH<sub>3</sub>-Emissionsrate der Versuchsdurchgänge war mit 130 g d<sup>-1</sup> GV<sup>-1</sup> und 120 g d<sup>-1</sup> GV<sup>-1</sup> am höchsten in den beiden Frühjahrsdurchgängen. Demgegenüber traten im Sommerdurchgang mit einer mittleren Emissionsrate von 97 g d<sup>-1</sup> GV<sup>-1</sup> und im Winterdurchgang mit 94 g d<sup>-1</sup> GV<sup>-1</sup> signifikant niedrigere Emissionen auf.

Der mittlere Perzentilbereich der NH<sub>3</sub>-Emissionsrate lag in >T1< über alle Regelstrategien bei 82 bis 142 g Tag<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup> und war für die Varianten mit Befeuchtung gegenüber der Referenzvariante signifikant erhöht, im Mittel um etwa 10 % bis 14 % (Tab. 4). Die erhöhte Emissionsrate kann dabei in erster Linie mit der höheren Innenraum-

Tab. 1: Übersicht der in die Stallklimaregelkonzepte integrierten Regelparameter

Tab. 2: Volumenstromhöhe [m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup> Tier<sup>-1</sup>] der Stallklimaregelstrategien für Tagesmitteltemperaturen außen unter >T1< und über 14°C >T2<

Tab. 3: Innenraumtemperatur [°C] der Stallklimaregelstrategien bei Tagesmitteltemperaturen außen unter >T1< und über 14°C >T2<

Tab. 4: NH<sub>3</sub>-Emissionsrate [g d<sup>-1</sup> GV<sup>-1</sup>] der Stallklimaregelstrategien für Tagesmitteltemperaturen außen unter >T1< und über 14°C >T2<

feuchte und bei unvollständiger Evaporation des vernebelten Wassers mit feuchten und im Anschluss verschmutzten Oberflächen in Verbindung gebracht werden.

Mit einem mittleren Perzentilbereich von 77 bis 138 g Tag<sup>-1</sup> GVE<sup>-1</sup> waren in >T2< dagegen keine signifikanten Unterschiede in der Emissionshöhe der getesteten Regelstrategien erkennbar (Tab. 4). Obwohl sowohl der Volumenstrom als auch die Innenraumtemperatur durch die Befeuchungskühlung und die Lüftungsregelung deutlich reduziert waren, ist anzunehmen, dass dieser Effekt zwar ausreichend war, die durch die erhöhte Innenraumfeuchte und Verschmutzung auftretende Erhöhung der NH<sub>3</sub>-Emissionsrate zu kompensieren, nicht jedoch, die NH<sub>3</sub>-Emission darüber hinaus zu vermindern.

## Schlussfolgerungen

Insbesondere warme Außentemperaturen über 14°C im Tagesmittel boten ein hohes Potenzial zum effektiven Einsatz der Befeuchungskühlung. Die verschiedenen Lüftungsstrategien übten sowohl über die Kühlung und die damit verbundene Senkung des Volumenstroms als auch über die direkte Regelung des Volumenstroms einen Einfluss auf das Stallklima aus.

Die Verwendung zusätzlicher Regelparameter ermöglichte zum einen eine gezielte Erhöhung des Volumenstroms zu Zeiten hoher Tieraktivität, zum anderen wurde durch die Regelung über die CO<sub>2</sub>-Innenraumkonzentration eine Minimierung des Volumenstroms ohne häufigeres Überschreiten maximaler CO<sub>2</sub>-Innenraumkonzentrationen erzielt. Die Kombination mehrerer Sensoren kann hier als Basis für eine intelligente, ereignisgesteuerte Stallklimaregelung auch in Verbindung mit der Ansteuerung zusätzlicher Aktoren eingesetzt werden.

Der Verlauf der NH<sub>3</sub>-Emission über den Tag wurde deutlich von Volumenstrom und Tieraktivität beeinflusst, über das Jahr traten erhöhte Emissionen in erster Linie im Frühjahr und Herbst auf. Für tagesmittlere Außentemperaturen unter 14°C mit nur geringen Effekten der Lüftungsregelung auf Innenraumtemperatur und Volumenstrom wurden insgesamt signifikant höhere Emissionen bei den Varianten mit Befeuchtung gemessen, im Mittel um etwa 10 % bis 14 %. Bei wärmeren Außentemperaturen wurde diese Erhöhung zwar durch die deutliche Temperatur- und Volumenstromreduzierung kompensiert, für eine Emissionsminderung durch adiabatische Innenraumkühlung müsste jedoch eine Optimierung der Befeuchtungsregelung in Hinblick auf vollständige Evaporation des Wassers erfolgen. Die mittlere gemessene Emissionsrate lag bei 5,1 kg NH<sub>3</sub> Tierplatz<sup>-1</sup> Jahr<sup>-1</sup> (330 Masttage).