

Karl-Heinz Krause, Hans-Joachim Müller, Michael Mußlick und Stefan Linke

# Mit intelligenter Lüftung gehen Tiergesundheit, Umweltschutz und Energieeinsparung zusammen

Staub- und Schadgasfilter für Tierhaltungsanlagen sind teuer in Anschaffung und Gebrauch. Es wird ein kostensparendes Konzept vorgestellt, das in eine große Tierhaltungsanlage nachträglich eingebaut worden war und auch in mehreren Neubauten realisiert wurde. Die gedrängte Stallbauweise erforderte eine platzsparende Lösung. Ein Teil der Stallluft wird unterhalb des Spaltenbodens abgesaugt und einem Filter zugeführt, der deutlich kleiner bemessen ist als einer für den Gesamtvolumenstrom. Getrennt davon werden durch eine spezielle Luftführung oberhalb des Spaltenbodens die Strömungsverhältnisse so verändert, dass weniger Ammoniak mitgenommen wird. Messungen in der Praxis zeigen: Die Filterung des kontinuierlich unter der Flur abgesaugten Volumenstroms, der maximal 25 % des Gesamtvolumenstromes ausmacht, ermöglicht bezüglich Ammoniak einen Gesamtwirkungsgrad der Anlage von 70 %. Außerdem sinken die stallinternen Schadgas-Konzentrationen erheblich.

## Schlüsselwörter

Emissionsminderung, Umweltschutz, Tierschutz, Energieeinsparung, Filtertechnik, Simulationen

## Keywords

Reduction of emission, environmental protection, animal protection, energy saving, filter technique, simulation

## Abstract

Krause, Karl-Heinz; Müller, Hans-Joachim; Mußlick, Michael and Linke, Stefan

Animal welfare, environmental protection and energy saving going together by intelligent ventilation

Landtechnik 65 (2010), no. 1 pp. 15-19, 7 figures, 1 table, 6 references

Filter plants against emission of dust and harmful gases of husbandries are expensive in initial costs and use. In the following a cost saving concept is presented that started in great existing animal plants and has been realized in

several new buildings. The narrow kind of stable construction requires a space-saving solution. A part of the stable air is sucked beneath the slatted floor and transported to filter that is lower dimensioned than such one for the whole volume stream. Apart from this the flow behavior is altered above the slatted floor by a special guidance of the air so that much less ammonia is taken away. Measurements in practice show: The filtering of the continuously sucked volume stream, which amounts to 25 % of the whole volume stream, allows a whole efficiency degree of 70 %. As well the concentrations of harmful gases go down considerably.

■ Die Erhaltungssätze von Masse und Energie sind in der DIN 18910-1 [1] berücksichtigt. Sie gilt allerdings gemeinhin nur als Baunorm und nicht als Richtlinie, die auch dem Tierschutz angemessen Rechnung trägt. Dazu bedarf es u. a. der Nutzung des dritten Erhaltungssatzes, nämlich des Erhaltungssatzes vom Impuls. Beschreiben die beiden erstgenannten Sätze den Stall als sogenannte homogenen Rührkessel, so wird erst der dritte Erhaltungssatz den lokalen Gegebenheiten im Stall gerecht. Die in einem Stall auftretenden Konzentrationen an Ammoniak, Geruchsstoffen, Kohlendioxid, Staub und Wasserdampf ergeben sich stets aus der Differenz der ab- und zufließenden Stoffströme  $\dot{M}$  [2], die die zeitliche Veränderung der Massen im Stall bewirken:

$$\frac{d}{dt}M = \dot{M}_{zu} - \dot{M}_{ab} \quad (Gl. 1)$$

Die Masse M ergibt sich allgemein aus dem Produkt von der Konzentration C und dem Volumen V:

$$M = CV \quad (Gl. 2)$$

Die abfließende Masse bestimmt sich aus dem abfließenden Volumenstrom  $\dot{V}$ , der mit der Konzentration C beladen ist

$$\dot{M}_{ab} = C\dot{V} \quad (Gl. 3)$$

und dem im Stall im Bodenbereich zufließenden Massenstrom aus der Quellenkonzentration  $C_q$  und dem Produktionsstrom  $\dot{k}$

$$\dot{M}_{zu} = C_q \dot{k} \quad (Gl. 4)$$

So erhält man die Differenzialgleichung

$$\frac{d}{dt}C = C_q K - CN \quad (Gl. 5)$$

mit der Luftrate N und der Produktionsrate K

$$N = \frac{\dot{V}}{V}, \quad K = \frac{\dot{k}}{V} \quad (Gl. 6)$$

Die lineare inhomogene Differenzialgleichung führt im stationären Fall ( $t \rightarrow \infty$ ) zu der Lösung

$$\frac{C}{C_q} = \frac{K}{N} \quad (Gl. 7)$$

Wegen der ansatzbedingten homogenen Verteilung der Konzentration C im Stall ist damit auch die Konzentration gegeben, mit der der Abluftvolumenstrom den Stall verlässt. Präzisierungen zur Quellenkonzentration  $C_q$  und der Produktionsrate K stehen aus.

Diese erfolgen über die im Zusammenhang mit Forschungsvorhaben [3] gewonnenen Daten zur Entwicklung eines einfachen Emissionsmodells, in dem Offenställe und solche mit Zwangslüftung berücksichtigt sind. Unter Anwendung der Dimensionsanalyse [4] hat sich als Ergebnis folgender Zusammenhang herausgestellt, der sich von dem nach der Massenerhaltung unterscheidet,

$$\frac{C}{C_q} = e^{B \frac{K}{N}} \quad \text{mit} \quad C_q = \frac{M_T}{V} e^{-A} \quad (Gl. 8)$$

wie die Definition von  $C_q$  zeigt.  $M_T$  steht für die Tiermasse in GV (1 GV = 500 kg Tierlebensmasse). Die Koeffizienten A und B hängen von der Tierart und der freigesetzten Stoffart ab, siehe **Tabelle 1**.

Die Gleichungen (8) besagen, dass die Reduzierung des Exponenten im Sinne von  $(B K/N) \rightarrow 0$  ein probates Mittel zur Senkung der Stallkonzentration darstellt. Der Faktor B nimmt mit zunehmendem Anteil der freien Lüftung ab, so die Tendenz in **Tabelle 1**. Der Faktor B kann im Idealfall den Wert 0 annehmen, d. h. man erhält dann  $C/C_q = 1$  (**Abbildung 1**). Im extremsten Fall wird also  $C = C_q$ . Eine sogenannte Quellenkonzentration wird immer vorhanden sein. Diese Aussage liefert die Kontinuitätsgleichung mit dem hypothetischen Ansatz nach Gleichung (4) nicht. Nach Gleichung (8) könnte  $C = 0$  werden, was sich als realitätsfremd erweist. Wie die physikalische Aufspaltung zwischen B und  $K/N$  wirklich anzusetzen ist, bedarf

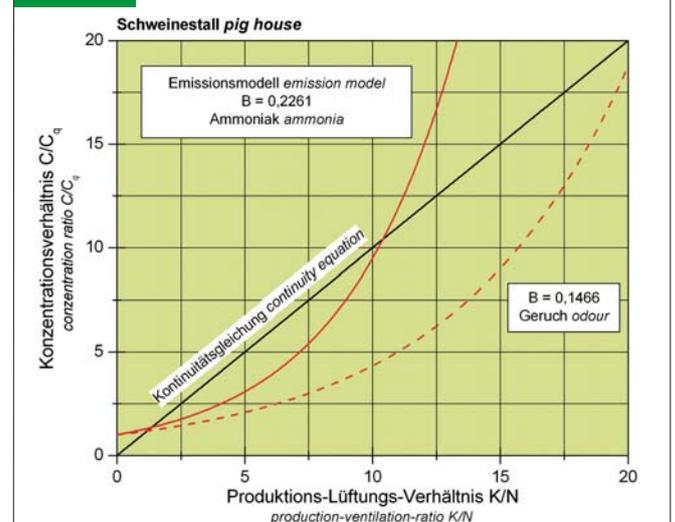
Tab. 1

Die Konstanten A und B des Emissionsmodells für Stallungen mit Puten-, Rinder- und Schweinehaltung

Table 1: The constants A and B of the emission model for animal houses with turkey, cattle and pig

	Konstante A Constant A	Konstante B Constant B
<b>Putenstall/Turkey house</b>		
Ammonia/Ammonia	13,6533	0,1133
Geruch/Odour	11,7474	0,0164
<b>Rinderstall/Cattle house</b>		
Ammonia/Ammonia	14,3096	0,1344
Geruch/Odour	12,2386	0,0323
<b>Schweinestall/Pig house</b>		
Ammonia/Ammonia	14,0766	0,2261
Geruch/Odour	10,4369	0,1466

Abb. 1



Das Konzentrationsverhältnis  $C/C_q$  ist gegenüber dem Produktions-Lüftungs-Verhältnis  $K/N$  aufgetragen. Mit zunehmendem  $K/N$  steigt im Schweinestall  $C/C_q$  bei Ammoniak bis  $K/N = 10$  weniger stark an als nach der Kontinuitätsgleichung, beim Geruch bis  $K/N = 20$ . Fig. 1: The concentration ratio  $C/C_q$  is plotted versus the production-ventilation ratio  $K/N$ . In the piggery  $C/C_q$  amounts lower than by the continuity equation up to  $K/N = 10$  for ammonia and  $K/N$  for odour

noch eingehender Untersuchungen. Es steht aber fest, dass ein Nichtwirksamwerden des Exponenten anzustreben ist, indem das Eindringen der Stofffreisetzungen, z. B. von Ammoniak und Geruchsstoffen in den Stallraum durch Absaugen minimiert und obendrein durch eine intelligente Strömungsführung der Stallluft über dem Spaltenboden der Aufbau eines Druckgradienten verhindert wird, der den Abtransport der Stofffreisetzungen in den Stallraum oberhalb des Spaltenbodens fördert.

### Geruchsreduzierung aus gegebenem Anlass

In dieser Untersuchung sollten die Möglichkeiten eruiert werden, Geruchsbelastungen durch eine große Tierhaltungsanlage (**Abbildung 2**) auf das Umfeld zu reduzieren. Von den Autoren ist eine partielle Unterflurabsaugung ins Spiel gebracht worden, da eine Filteranlage für die Gesamtanlage aus Platz- und auch aus Kostengründen ausschied. In der Tat wurden vor Ort



Abb. 2

Beispiel einer großen Tierhaltungsanlage. Sie besteht aus zahlreichen Einzelställen, die unter einem gemeinsamen Dach in langen Reihen zusammengefasst sind und über Dach durch zahlreiche „Schornsteine“ gekennzeichnet sind. Geruchsstoffe werden auf atmosphärischem Wege zu den Randbezirken einer großen Stadt im Hintergrund transportiert und führen zu massiven Beschwerden  
*Fig. 2: Example of a great animal plant with several units of stables connected to long rows and characterized by a lot of "chimneys" above the roofs. By atmospheric transport odorous substances are carried to the outskirts of a great town in the background and cause massive complaints*



Abb. 3

Versuchsaufbau bei gleichzeitiger Über- und Unterflurabsaugung. Die Luft wird unterhalb des Spaltenbodens und im Stallraum in einem gewissen Abstand von der Decke abgesaugt.  
*Fig. 3: Overfloor and underfloor suction at the same time for experimental investigations. The air is sucked under the floor and over floor in a certain distance from the ceiling*

in einem einmonatigen Versuch (**Abbildung 3**) während des laufenden Betriebes Geruchsreduzierungen festgestellt, so dass weitergehende und systematische Versuche eingeleitet wurden, und zwar über physikalische und numerische Modelle.

### Physikalische und numerische Modelle

Physikalische Modelle zur Erfassung des Betriebsablaufes tragen sehr effektiv dazu bei, Tendenzen aufzudecken und ein Modellvorhaben als fortführungswürdig einzustufen. Die Messungen am Modell bestätigten, dass die Oberflurkonzentrationen bei gleichzeitiger Unterflurabsaugung geringer sind als im Fall ohne Unterflurabsaugung, und zwar schon bei geringen Luftabzweigungen. Diesen Zusammenhang galt es zu optimieren. Hier greifen im Detail numerische Modelle zur Erfassung des Strömungsablaufes im Bereich des Spaltenbodens (**Abbildung 4**) [5].

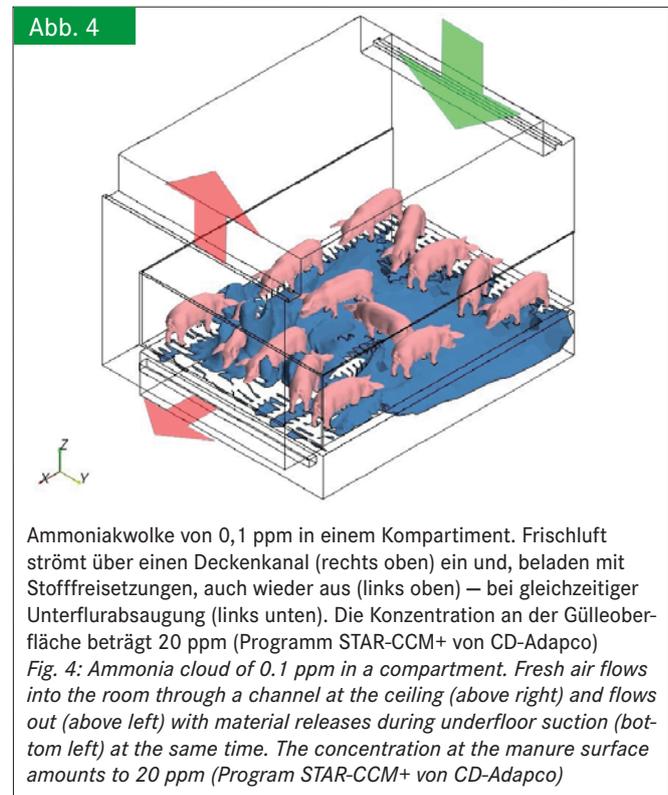


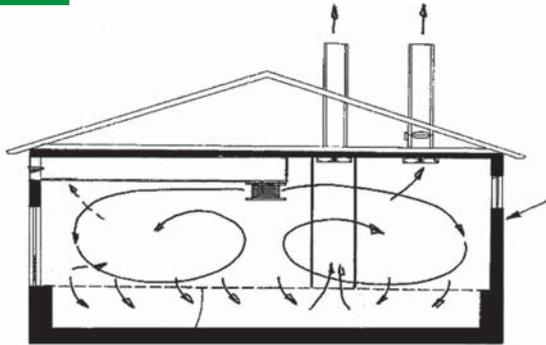
Abb. 4

Ammoniakwolke von 0,1 ppm in einem Kompartiment. Frischluft strömt über einen Deckenkanal (rechts oben) ein und beladen mit Stofffreisetzungen, auch wieder aus (links oben) – bei gleichzeitiger Unterflurabsaugung (links unten). Die Konzentration an der Gülleoberfläche beträgt 20 ppm (Programm STAR-CCM+ von CD-Adapco)  
*Fig. 4: Ammonia cloud of 0.1 ppm in a compartment. Fresh air flows into the room through a channel at the ceiling (above right) and flows out (above left) with material releases during underfloor suction (bottom left) at the same time. The concentration at the manure surface amounts to 20 ppm (Program STAR-CCM+ von CD-Adapco)*

### Bekannte ähnliche Ansätze

Lüftungskonzepte mit Unterflurabsaugungen gibt es vielfach, viele Ansätze haben Vorläufer in der Tierhaltung der ehemaligen DDR. Unterflur sind Absaugrohre bzw. Druckrohre implementiert, wie z. B. in der Rinderhaltung [6]. Nachfolgend ist ein Beispiel für die Schweinemast aufgeführt. Die **Abbildung 5** zeigt den Vertikalschnitt angedachter Strömungen im Stallraum. In der Horizontalebene machen sich die Strahlwirkungen, besonders bei Punktquellen (sprich Radialgebläsen) bemerkbar, da der Übergang von der radialen Anfangsverteilung zu dem quaderförmigen Stallraum nur unter Bildung von Zirkulationsströmungen erfolgen kann. Räumlich gesehen ist man von homogenen Strömungsmustern, wie man sie sich bisweilen zur

Abb. 5



P. Rieth: Gebrauchsmuster DE 296 14928 U1. Bekanntmachung im Patentblatt: 19.02.2006

Fig. 5: P. Rieth: Registered Design DE 296 14928 U1. Announcement in patent paper: 19.02.2006

Positionierung von Temperatursensoren zur Klimasteuerung wünscht, weit entfernt. Das von den Autoren vertretene Konzept (**Abbildung 6**), ist von der Vorstellung getragen, „geordnete“ Strömungsverhältnisse über den gesamten Längsbereich des Stalles zu erreichen.

### Konkrete Ergebnisse von Stallrealisierungen

Gemessen wurde in einem Stall mit 1 400 Mastschweinen, d.h.  $M_T = 182$  GV. Die Stalllüftung war dadurch geprägt, dass eine Unterflurabsaugung ständig stattfindet. Sie läuft in der Größenordnung der Winterlüftung. Die Winterlüftung liegt bei 25 % ( $\alpha_{UF} = 0,25$ ) bei der Unterflurabsaugung des Gesamtvolumenstroms, d.h. auf Höhe des maximalen Volumenstroms bei der Sommerlüftung. Die Oberflurabsaugung beträgt 75 % ( $\alpha = 0,75$ ) des Gesamtvolumenstroms. In der kälteren Jahreszeit wird nur die Unterflurabsaugung betrieben. Ziel der Un-

tersuchung war es, die Massenströme bei der Unterflur- und Oberflurabsaugung getrennt zu erfassen und mit der konventionellen Stallabsaugung (nur Oberflurabsaugung) zu vergleichen. Es wurden im Neuabteil 106 die Konzentrationen von Ammoniak im Abluftschacht der Oberflurabsaugung und im Abluftschacht der Unterflurabsaugung gemessen (**Abbildung 7**). Im Bezugsabteil 104, bei dem die Unterflurabsaugung stillgelegt und verschlossen wurde, erfolgte die Messung der Ammoniakkonzentration im Abluftschacht der Oberflurabsaugung.

Als Messgerät diente ein Innova Multi-Gas-Monitor 1302, das über einen Messstellenumschalter auf den jeweiligen Messort umgeschaltet wurde.

Für den Gesamtwirkungsgrad  $\eta_{Anlage}$  der Anlage im Hinblick auf den Austrag von Ammoniak gilt im Vergleich

$$\eta_{Anlage} = 1 - \frac{\dot{M}_{Neuabteil}}{\dot{M}_{Bezugsabteil}} \quad (\text{Gl. 9})$$

Die emittierten Massenströme bestimmen sich dabei oberflur zu

$$\dot{M}_{Neuabteil,oF} = C_{Neuabteil,oF} \dot{V}_{Neuabteil,oF} \quad (\text{Gl. 10})$$

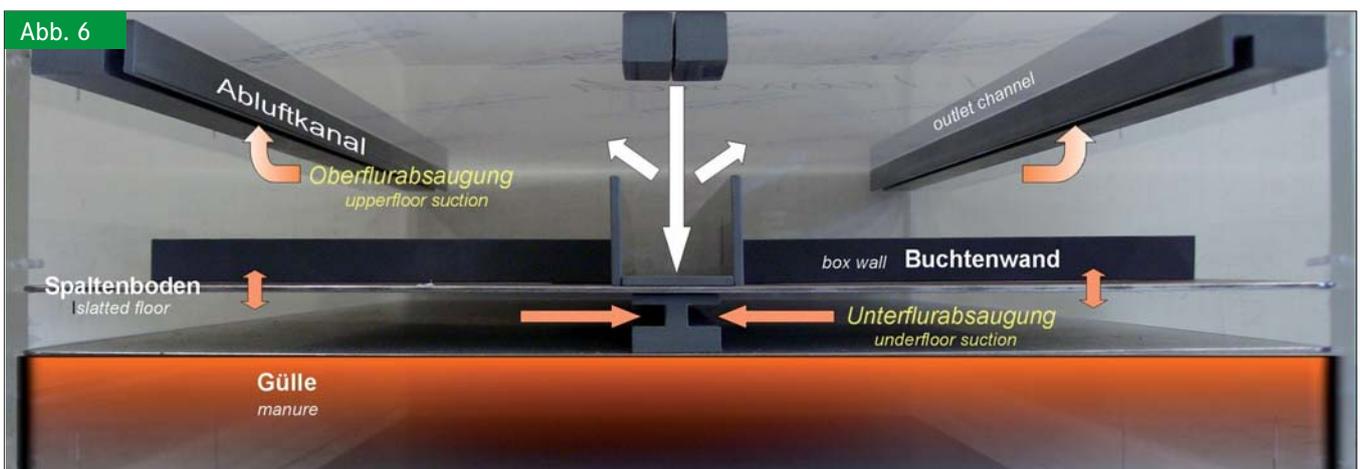
$$\text{mit } \dot{V}_{Neuabteil,oF} = \alpha \dot{V}_{Neuabteil,max} \text{ und } 0 \leq \alpha \leq 1 - \alpha_{UF}$$

und unterflur unter Beachtung des eingesetzten Filters zu

$$\dot{M}_{Neuabteil,uF} = \varepsilon C_{Neuabteil,uF} \dot{V}_{Neuabteil,uF} \quad (\text{Gl. 11})$$

$$\text{mit } \dot{V}_{Neuabteil,uF} = \alpha_{uF} \dot{V}_{Neuabteil,max} \quad \varepsilon = 1 - \eta_{Filter}$$

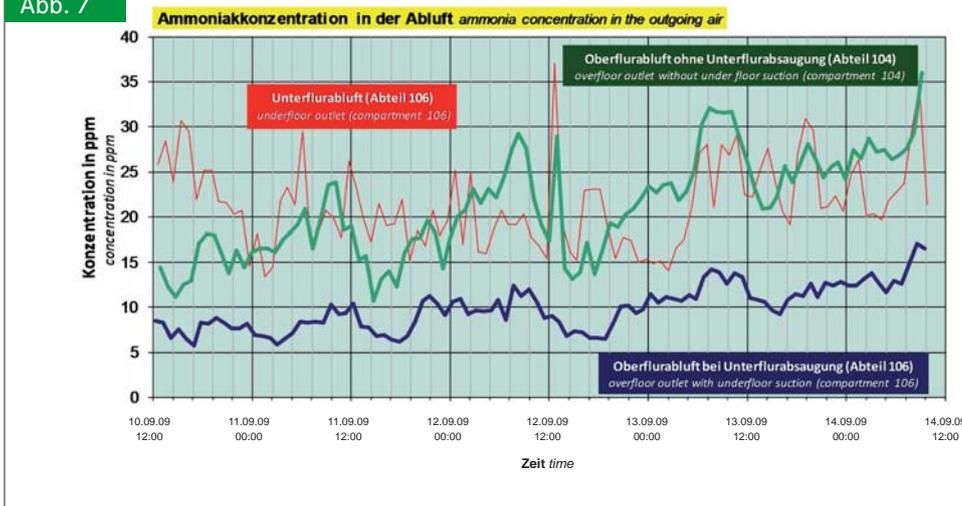
Abb. 6



Die Stallluft wird über Kanäle an den Stallseitenwänden abgesaugt. Frischluft strömt deckenmittig über den Einlasskanal zu. Unterhalb des Spaltenbodens wird stallmittig die Luft über der Gülle abgesaugt und einem Filter zugeführt. Es bleibt bei der Breite des Spaltenbodens nicht aus, dass oberhalb des Spaltenbodens auch Luft aus dem Bereich unterhalb des Spaltenbodens angesaugt wird

Fig. 6: The stable air is sucked into channels at the sidewalls. Fresh air flows in by an inlet channel in the middle of the ceiling. Beneath the slatted floor the air over the manure is sucked at the middle of the stable and transported to a filter. Because of the width of the slatted floor it is inevitable that some air is sucked from the area beneath the slatted floor into the room above the floor

Abb. 7



Konzentrationszeitreihen, markiert durch die entsprechenden Schriftzüge. Die Oberflurkonzentration ist bei den Systemen, die keine Unterflurabsaugung aufweisen, deutlich höher als bei denen mit Unterflurabsaugung Fig. 7: Concentration time series marked by the corresponding lettering. The concentration over floor is much higher in those systems with no underfloor suction in comparison with under-floor-suction-systems

so dass durch Einsetzen von Gl. 10 und Gl. 11 in Gl. 9 folgt:

$$\eta_{Anlage} = 1 - \frac{\tau_{oF} \alpha C_{Neuabteil,oF} + \tau_{uF} \varepsilon \alpha_{uF} C_{Neuabteil,uF}}{C_{Bezugsabteil}} \beta$$

mit  $\beta = \frac{\dot{V}_{Neuabteil,max}}{\dot{V}_{Bezugsabteil}}$  (Gl. 12)

Zur Beurteilung im Jahresgeschehen muss man die Wirkzeiten  $\tau$  beachten. Die Unterflurabsaugung läuft das ganze Jahr über, d.h.  $\tau_{uF} = 1$ . Die Oberflurabsaugung wird dann dazugeschaltet, wenn der erforderliche Volumenstrom über der Winterluftrate liegt, d.h.  $\tau_{oF} = 8/12$  bei einer Wirkzeit von 8 Monaten. Die bei den Versuchen unterschiedlichen Volumenströme finden Berücksichtigung, wobei der Volumenstrom im Bezugsabteil etwas kleiner ist als der im Neuabteil,  $\beta = 1,1$ . Auch fällt der Wirkungsgrad des Filters mit  $\eta_{Filter} = 0,8$  bescheiden aus. Diese Bedingungen schmälern den Wirkungsgrad der Anlage. Unterstellt man, um die Auswirkungen aufzuzeigen, die Versuchsdaten im Hochsommer als ganzjährig gültig, dann kann man von  $C_{Neuabteil,oF} = 10$  ppm,  $C_{Neuabteil,uF} = 24$  ppm und  $C_{Bezugsabteil} = 22$  ppm ausgehen.

### Zur Erläuterung

Beim Zustand der alleinigen Unterflurabsaugung gilt für  $\tau_{uF} = 1$ :  $\alpha = 0$ ,  $\alpha_{uF} = 0,25$ . Daraus folgt:  $\eta_{Anlage} = 0,95$ .

Beim Zustand der Kombinationsabsaugung gilt für  $\tau_{uF} = 1$  und  $\tau_{oF} = 0,7$ :  $\alpha = 0,75$ ,  $\alpha_{uF} = 0,25$ . Daraus folgt:  $\eta_{Anlage} = 0,68$ . Bei einem Wirkungsgrad von  $\eta_{Filter} = 0,9$  erhöht sich der Anlagenwirkungsgrad auf  $\eta_{Anlage} = 0,71$ . Würde man das Neuabteil über 4 Monate mit einem Anlagenwirkungsgrad von  $\eta_{Anlage} = 0,9$  und über 8 Monate mit einem Wirkungsgrad von  $\eta_{Anlage} = 0,4$  betreiben, kommt man insgesamt noch auf  $\eta_{Anlage} = 0,6$ .

### Schlussfolgerungen

Durch eine partielle Unterflurabsaugung mit 25 % des Gesamtvolumenstromes in Kombination mit einer an die Absaugverhältnisse angepassten Luftführung kommt man auf Emissions-

mindierungen mit einem Wirkungsgrad um 70 %. Ein solches Verfahren ist von den Anschaffungskosten und den laufenden Kosten her günstiger als die Gesamtfilterung der Stallabluft und kommt dabei dem Umweltschutz zugute. Außerdem werden die Konzentrationen an Ammoniak im Stall fast um die Hälfte gesenkt. Der Energieverbrauch wird durch die erhebliche Widerstandsminderung in der kleineren Filtereinheit deutlich reduziert.

### Literatur

- [1] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN 18910-1 - Wärmeschutz geschlossener Ställe. Wärmedämmung und Lüftung, Teil 1: Planungs- und Berechnungsgrundlagen für geschlossene zwangsbelüftete Ställe, 2004
- [2] Krause, K.-H.: Strömungsvorgänge in Tierhaltungssystemen. Bauen und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Wissenschaftlicher Fachverlag Dr. Fleck, 35428 Niederkleen, 1993, S. 143-152
- [3] Müller, H.-J. und K.-H. Krause: Geruchsemissionen und -immissionen aus der Tierhaltung (Beurteilungsgrundlagen und Ableitung von Emissionsminderungsmaßnahmen), Forschungsbericht, Vorläufiger Endbericht, 2002
- [4] Weihs, C: Modell- und Praxisuntersuchungen zum Emissionsverhalten von zwei Schweinemastställen. Diplomarbeit. Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, 2006
- [5] Krause, K. and S. Linke: How to describe animal welfare in stable design? Proceedings of the XIV ISAH Congress 2009, International Society for Animal Hygiene, Germany, vol. I, pp. 529-532
- [6] Anton, W: Tierhygiene. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1984

### Autoren

**Dr.-Ing. Karl-Heinz Krause** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik im Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: karlheinz.krause@vti.bund.de

**Dr.-Ing. Hans-Joachim Müller** war bis Juni 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Institut für Agrartechnik Bornim (ATB), Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, E-Mail: hmueller@atb-potsdam.de

**Dr. Michael Mußlick** ist Referent für landwirtschaftliches Bauen, Tierhaltung, Standortsicherung und Agrartechnik im Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz, Beethovenstraße 3, 99096 Erfurt, E-Mail: michael.musslick@tmlfun.thueringen.de

**Stefan Linke** ist Techniker im Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik im Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: stefan.linke@vti.bund.de