

Karl-Heinz Krause, Torsten Hinz, Stefan Linke und Stefanie Retz

# Messung der Ammoniakemission und Bestimmung des Emissionsfaktors in der Tierproduktion

Teil 2: Geplanter Boxenlaufstall als Beispiel eines frei gelüfteten Systems

Ein geplanter Boxenlaufstall mit mehreren Schnittstellen – sprich Öffnungen – zur Umwelt wird hinsichtlich seines Emissionsverhaltens von Ammoniak simulationstechnisch untersucht. Emissionsangaben werden fast ausschließlich dazu benutzt, um Ausbreitungsrechnungen zum Verbleib stallmarkanter Luftbeimengungen in der Umwelt zu betreiben. Die hierfür von der Verwaltung eingeforderte Anwendung des Programmes AUSTAL2000G für Ausbreitungsrechnungen [2] bedingt die Vorgabe eines Emissionsmassenstromes. Dieser wird über einen Emissionsmassenstrom, der auf die Tiermasse oder den Tierplatz bezogen ist, in Tabellenwerken vorgegeben. Im konkreten Einzelfall wird dieser dann mit der relevanten Tiermasse oder den relevanten Tierplätzen multipliziert. Gerade bei Offenställen werden hiermit aber falsche Ausgangsbedingungen geschaffen. Der konstante Emissionsfaktor stellt einen Irrweg dar, der sich nicht unter dem Aspekt einer groben Näherung rechtfertigen lässt, wie nachfolgend dargelegt wird.

## Schlüsselwörter

Offenstall, Emissionsfaktor, Emissionssimulation

## Keywords

Open stable, emission factor, emission simulation

## Abstract

Krause, Karl-Heinz; Hinz, Torsten; Linke, Stefan and Retz, Stefanie

Measurement of ammonia emission and determination of the emission factor in animal production

Part 2: Planned box stable as an example of a free ventilated system

Landtechnik 6 (2011), pp. 473–476, 5 figures, 1 table, 4 references

A planned box stable with multiple interfaces – openings – is observed by simulation technique to analyse its ammonia emission behaviour. There emission data are used as starting point of distribution calculations. The use of the program AUSTAL2000G [2] is demanded from the administration. Its use requires a default emission mass flow. This emission mass

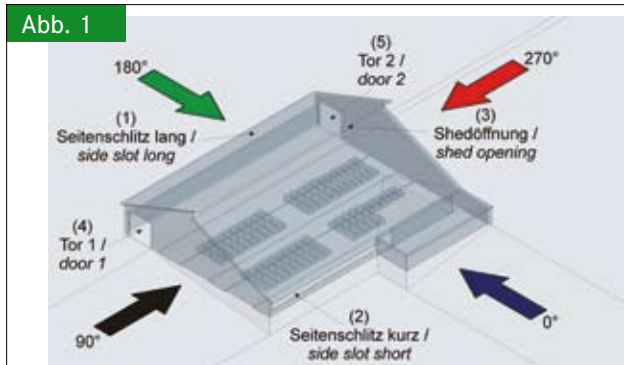
flow value is related to the animal mass or the animal place and listed in tables. In the particular case, these emission factors are multiplied with the relevant animal mass or animal place, respectively. Especially for open stables false starting conditions are created with this procedure. What we need is a transfer function of the stable without any relation to the meteorological parameters. Only then we have constant initial conditions, a fact known from forced ventilated systems.

## Übertragungsverhalten beim Boxenlaufstall

Die Suche nach Emissionsfaktoren ist gleichbedeutend mit der Suche nach systembeschreibenden Größen, die in keiner Weise an die meteorologischen Parameter anknüpfen. So kennt man es aus der Zwangslüftung von Ställen, so möchte man es auch in der freien Lüftung haben.

## Boxenlaufstall als Untersuchungsobjekt

Der geplante Liegeboxenlaufstall umfasst 75 Rinderplätze und weist 5 Öffnungen auf (**Abbildung 1**). Pauschalaussagen über die Emissionen finden sich in der RL VDI 3894 [1]. Danach beträgt der Ammoniakemissionsfaktor  $f_{e,NH_3} = 14,6$  kg je Jahr und Tierplatz (TP) – umgerechnet  $0,000463$  g/(s • TP). Für den geplanten Liegeboxenlaufstall beträgt somit der emittierte Emissionsmassenstrom  $M_{0,NH_3} = 0,0347$  g/s. Entsprechendes gilt für Geruch, Staub und Keime. Ohne auf die Stallbesonderheiten



Geplanter Boxenlaufstall mit Öffnungen (4), (5) am Ende des Futterganges, in den Seitenwänden (1), (2) und im Dach (3). Die Pfeile zeigen die Windanströmrichtungen an

Fig. 1: Planned box stable with openings at the end of the feed alley (4), (5), in the sidewalls (1), (2) and in the roof (3). The arrows show the direction of the incoming wind

einzufragen, kann man somit eine Ausbreitungsrechnung beginnen. Es ist völlig belanglos, wie die Tiere gehalten werden, mit dem Emissionsfaktor ist man festgelegt, wenn nicht in der RL VDI 3894 [3] in Anlehnung an die TA Luft 2002 [4] eine sogenannte Öffnungsklausel vorhanden wäre, mit eigenen Daten aufwarten zu können. Aus wissenschaftlicher Sicht interessieren Einschränkungen nicht, wohl aber unter dem verwaltungsrechtlichen Aspekt, dass nämlich nur anerkannte Regel- und Tabellenwerke greifen sollten. Das schafft Rechtssicherheit. Hier aber geht es um wissenschaftliche Einsichten, wobei es dahingestellt sein mag, ob sie gesellschaftspolitischen Konsens finden.

### Stofffreisetzungen aus dem geplanten Offenstall

Mithilfe der Simulationstechnik lassen sich Einsichten in Geschehensabläufe gewinnen, die nach Planungsrealisierung eintreten. Stallsimulationen stellen diesbezüglich ein probates Mittel dar, nicht erst bis zum Erlebensfall zu warten, sondern schon in der Planungsphase auf Entwicklungen hinzuweisen, die sich als we-

nig vorteilhaft erweisen oder gar bestimmten Einschätzungen zuwiderlaufen. Die gegenseitige Beeinflussung der Drücke sind bei den Stalldurchströmungen derart komplex, dass allgemeingültige Vorabaussagen zum Emissionsverhalten nur schwer möglich sind. Die DIN 18910 geht in ihren Aussagen über das Stallklima vom Stall als „homogener Rührkessel“ aus. Damit lassen sich aber keine Nuancierungen im Stallaufbau in die Aussagen einbinden. Die Simulationen zeigen nun bei den unterschiedlichen Windanströmungen (d. h. variable Windgeschwindigkeit und Windrichtung) ein sehr differenziertes Ausbreitungsverhalten. Mit den Simulationen geht zwangsläufig die Frage einher, wie denn eine Messtechnik bei der Stallbaurealisierung ausgelegt sein muss, um die Stallsimulationen zu überprüfen. Es geht nicht darum, ein messtechnisches Datum zu erhaschen, sondern wie solche Messungen in das Konzept von Emissionsfaktoren passen. Dass sich simulationstechnisch jede Information im Stallsystem abfragen lässt, heißt noch lange nicht, dass auch messtechnisch diese Information zu erlangen ist.

Es werden für 3 Windgeschwindigkeiten und 8 Windrichtungen Simulationen gefahren, die den Ammoniakoutput aus dem geplanten Boxenlaufstall erfassen. Der Spaltenboden im Stall fungiert als Ammoniakquelle in dem Sinne, als über ihn Ammoniakemissionen aus der Gülle in den Oberflurbereich gelangen. Die Bodenkonzentration ist im Bereich der Liegeflächen mit  $10 \text{ mg/m}^3$  angesetzt, bei den Fressständen mit  $20 \text{ mg/m}^3$ . In **Tabelle 1** sind die Simulationsergebnisse gelistet, die sich aus den einzelnen Simulationsabläufen ergeben und in **Abbildung 2** beispielhaft dargestellt sind. Hierzu muss man konstatieren: In der Simulationstechnik ist jedes Datum abgreifbar im Gegensatz zur Messmesstechnik.

### Boxenlaufstall im Hinblick auf Ammoniakoutput

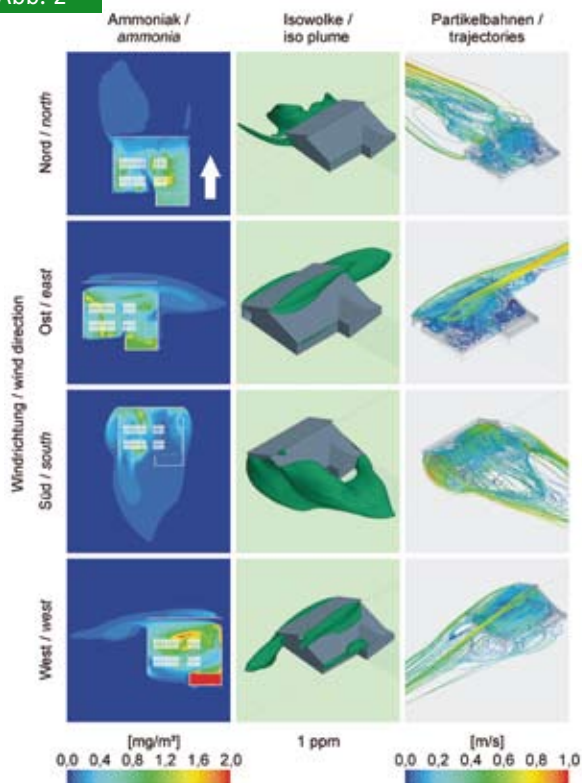
Die zahlreichen Öffnungen in der Stallaußenwand bewirken ein Übertragungsverhalten der Stallanlage, das in den Ergebnisdarstellungen der **Abbildungen 2, 3** und **4** einer Interpretation

**Tab. 1**

Emissionsmassenströme aus den verschiedenen Öffnungen bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten  $U$  und Windrichtungen  $\alpha$   
 Table 1: Emission streams out of the different openings at different wind velocities  $U$  and different wind directions  $\alpha$

Windrichtung $\alpha$ Wind direction $\alpha$ [°]	Windgeschwindigkeit $U$ / Wind velocity $U$ [m/s]	Massenstrom aus Öffnung / Mass flow out of opening [mg/h]				
		1	2	3	4	5
0	1	13 111	0	0	1 543	289
	2	19 898	0	0	1 820	731
	4,5	39 169	0	0	3 496	1 438
90	1	3 582	2	5 784	0	3 232
	2	6 875	3	10 753	0	5 834
	4,5	13 621	15	21 275	0	11 929
180	1	0	11 334	3 602	7 485	4 366
	2	0	20 727	6 341	11 971	7 851
	4,5	0	37 628	13 403	26 835	16 070
270	1	5 764	2 653	5 757	3 171	0
	2	9 339	6 436	8 984	5 992	0
	4,5	13 027	11 835	19 573	11 277	0

Abb. 2



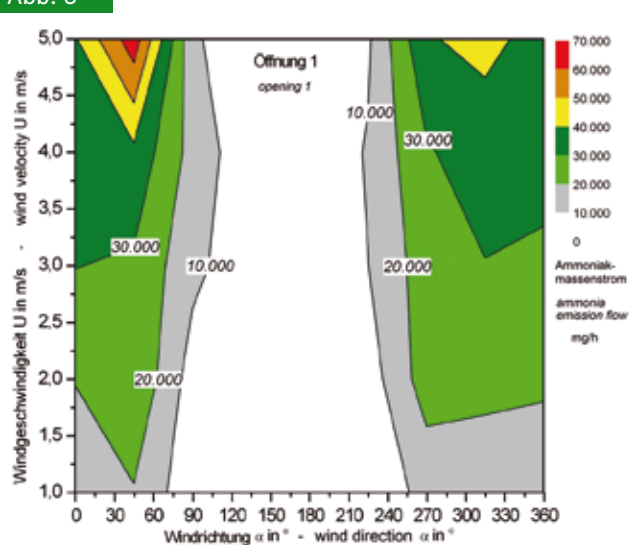
Die Zeilen zeigen die Ammoniakkonzentration im Horizontalschnitt 0,5 m über Boden, die Ammoniakwolke von 1 ppm beim Verlassen des Stalles und die Bahnlinien von Fluidballen der Luft jeweils bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s; die Spalten zeigen den Einfluss der verschiedenen Richtungen der Windanströmung

Fig. 2: The rows show the ammonia concentration in an horizontal cut 0.5 m above floor, the ammonia cloud of 1 ppm leaving the stable and the path lines of fluid parcels of air at a wind velocity of 1 m/s; the columns show the influence of different directions of incoming wind

bedarf. Der 100 %ige Ammoniakoutput ist so dargestellt, dass er sich bei jedem Windansatz entsprechend der Öffnungen verteilt. Diese Darstellung führt für jede Windrose in Deutschland zu einem anderen Emissionsverhalten. Würde man die Windgeschwindigkeits- und auch die Windrichtungsabhängigkeit bereits in dem Faktor einbezogen haben, dann würden die Ausbreitungsrechnungen eine nicht nachvollziehbare Überbetonung der Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten nach sich ziehen. Die Konstruktion eines solchen Faktors würde deutlich von der Eingangsforderung ab, einen konstanten Emissionsmassenstrom zu erhalten, der der Einflussnahme der meteorologischen Parameter unterliegt. In der hier entwickelten Form gewinnt das Konzept eines Emissionsfaktors eine ganz andere Bedeutung als bislang dargestellt. Zeitreihenmessungen werden genutzt, um eine Übertragungsfunktion zu ermitteln. Alle Emissionen verlassen die Stallanlage über die Schnittstellen des Stalles zur Umwelt.

Die stallinterne Verteilung über die Schnittstellen hat nichts mit einer Windhäufigkeitsverteilung zu tun, sondern ist eine Folge der stallinternen Umlenkungen. Nach der Dimensionsanalyse, wie sie in Teil I beschrieben worden ist, besteht ein

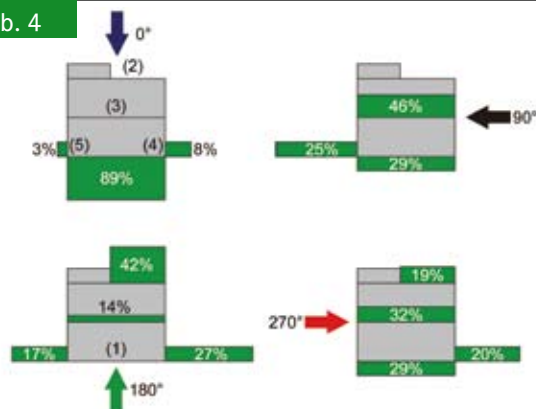
Abb. 3



Beispiel für das Emissionsverhalten für die Öffnung 1. Weiß gekennzeichnet sind die Bereiche ohne Emission, farblich abgestuft die Bereiche mit Emissionen

Fig. 3: Example for the emission behaviour of the opening 1. White marked are the areas without emission and in colour shades the areas of emissions

Abb. 4



Der einfallende Wind treibt in Abhängigkeit von der Windrichtung die mit Ammoniak befrachtete Stallluft mit unterschiedlichen Anteilen durch die Öffnungen, z.B. bei der Windanströmung aus 180° (Süd) tritt Luft über die Öffnung (5) mit 17% aus, über die Öffnung (4) mit 27%, über die Öffnung (2) mit 42% und über die Öffnung (3) mit 14%

Fig. 4: In dependency on the wind direction the incoming wind blows the stable air laden with ammonia through the openings with different rates, e.g. by the wind incidence from 180° (south) through the opening (5) with 17%, through the opening (4) with 27%, through the opening (2) with 42% and through the opening (3) with 14%

Zusammenhang zwischen der Raummasse (z.B. in Bezug auf die Tierplätze) in Abhängigkeit vom Konzentrationsverhältnis am Boden und in der Öffnung bzw. zum Produktionsverhältnis  $K$  am Boden und zum Lüftungsverhältnis  $N$  in der Öffnung.

$$\frac{N}{K} = \frac{C_B}{C_0} - 1 \quad (\text{Gl. 1})$$

$$\text{mit } N = \frac{\dot{V}_0}{V_R} \quad \text{und} \quad K = \frac{k}{V_R} \quad (\text{Gl. 2a, b})$$

$$f_e = \frac{C_o \dot{V}_o}{M_T} = N \exp(A + B X) \quad (\text{Gl. 4})$$

Danach ergibt sich für die Konzentration der über die Dimensionsanalyse gewonnene Zusammenhang

$$\frac{C_o \dot{V}_R}{M_T} = \exp(A + B X) \quad \text{mit} \quad X = \frac{C_B}{C_o} - 1 = \frac{N}{K} \quad (\text{Gl. 4})$$

Daraus folgt für den tiermassebezogenen Emissionsmassenstrom die Beziehung

$$\frac{C_o \dot{V}_o}{M_T} = N \exp(A + B X) \quad (\text{Gl. 5})$$

$$\text{mit} \quad X = \frac{N}{K} \quad (\text{Gl. 6})$$

und den Werten aus **Abbildung 5**

$$A = -16,39 \quad (\text{Gl. 7})$$

$$B = -0,03 \quad (\text{Gl. 8})$$

durch Integration der Gleichung (5) und Mittelung über die Spannweite  $\Delta N = N_{\max} - N_{\min}$  für den Emissionsmassenstrom über die Lüftungsrate  $N$ .  $N_{\max}$  ist zu  $500 \text{ s}^{-1}$ ,  $N_{\min}$  zu nahezu Null und  $K$  ist zu 30 angesetzt. Dieses sind Standardwerte, die sich bei den Simulationen hervorgehoben haben. Allein die Kombination der gleichzeitig wirkenden Öffnungsflächen bedingt eine gewisse Reduzierung in der Kombinatorik.

Der Emissionsfaktor für den untersuchten Boxenlaufstall ergibt sich aus der Gleichung (5) zu  $0,007817 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{GV})$ . Der gesamte mittlere Emissionsmassenstrom bedingt bei einem Stallbesatz von 90 GV einen Ammoniakoutput von  $0,70353 \text{ g/s}$  für die Ausbreitungsrechnungen mit dem Programm AUSTAL2000G. Dieser Wert unterscheidet sich von demjenigen, wie er sich

nach der Pauschalaussage der RL VDI 3498 ergibt: Der mittlere Emissionsmassenstrom ergibt sich als Emissionsfaktor zu  $0,0003858 \text{ g}/(\text{s} \cdot \text{GV})$ . Der Emissionsmassenstrom für 90 GV ist dann mit  $0,034722 \text{ g/s}$  bei Ammoniak anzusetzen. Die Emissionsdaten liegen bei den über die Simulation gewonnenen Erkenntnissen deutlich höher.

Die Daten in der RL 3894 Blatt 1 sind nicht auf dem kausal-analytischen Wege zustande gekommen, wie vorstehend aufgezeigt, sondern ranken um Erfahrungswerte und entziehen sich somit leider einer Einbindung in eine planerische Zukunft. Die vorgestellte Methode erlaubt vorab eine Entscheidung darüber, wie ein Stall in seiner Umweltbelastung einzustufen sein wird.

### Schlussfolgerungen

1. Die Vorgehensweise, über eine Übertragungsfunktion zu einer Aussage zu kommen, die von der lokalen Meteorologie unabhängig ist, hat sich auch unter dem Aspekt der Simulationstechnik bewährt. Sie gilt prinzipiell für zwangsgelüftete Stallanlagen, aber auch solche in freier Lüftung. Bei der hier praktizierten Vorgehensweise weht im Stall einerseits der „ventilatorische Wind“ und andererseits der „natürliche Wind“.
2. Eine solche Übertragungsfunktion ergibt sich über die Integration der Lüftungsrate. Dadurch werden Windrichtungseinflüsse in erster Näherung neutralisiert.
3. Hieraus lässt sich ein mittlerer Emissionsfaktor angeben und zwar nach einer eindeutigen Rechenvorschrift. Diese Rechenvorschrift gilt nicht nur für vorhandene Stallanlagen, sondern auch für geplante. In der Planungsphase liefern Simulationen in eindeutiger Form die benötigten Werte.
4. Messtechnische Ergebnisse, wie sie in Zeitreihen vorliegen, sollten stets zur Erstellung von Übertragungsfunktionen genutzt werden. Damit lassen sich auch Stallspezifika in die allgemeine Betrachtungsweise einbeziehen.

### Literatur

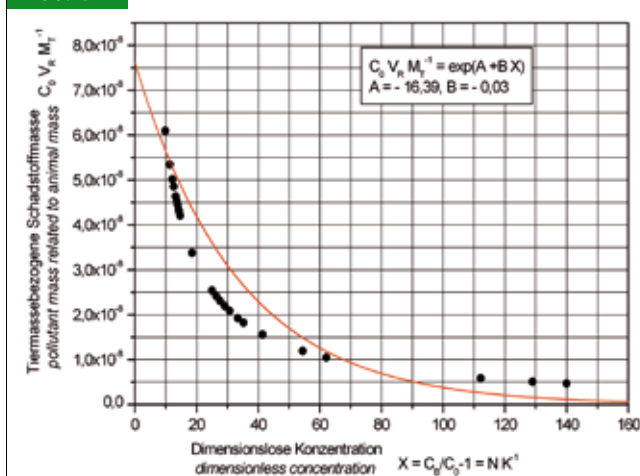
- [1] Krause, K.-H.; Linke, S. (2011): Emissions behaviour of open stables. XXXIV CIOSTA CIGR V Conference 2011, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Wien, pp. 342-345
- [2] Ing.-Büro Janicke: AUSTAL2000, Programmbeschreibung zu Version 2.4, Stand 2009-01-31. Stoffe nach TA Luft im Auftrag von: Umweltbundesamt Berlin, Geruchsausbreitung im Auftrag von Landesanstalt für Umweltschutz, Karlsruhe, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim, Landesumweltamt NRW, Essen
- [3] VDI 3894 (2009): Blatt 1: Emissionen und Immissionen aus Tierhaltungsanlagen. Haltungsverfahren und Emissionen. Schweine, Rinder, Geflügel, Pferde. Beuth Verlag, Berlin
- [4] TA Luft (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 24.07.2002

### Autoren

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

**Stefanie Retz** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Ökologischen Landbau, Trenthorst 32, 23847 Westerau, im von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig, E-Mail: stefanie.retz@vti.bund.de

Abb. 5



Der Graph der Ersatzfunktion enthält sämtlich Öffnungen für den Massenaustritt und kommt somit als gemittelte Funktion zum Tragen  
 Fig. 5: Graphical representation of the substitution function, which covers all stable openings for the mass outlet and is used as average function