

Hans-Joachim Müller, Potsdam, und Karl-Heinz Krause, Braunschweig

# Emissionsfaktoren für Ammoniak bei frei gelüfteten Milchviehställen

## Hinweise zur mess- und rechentechnischen Erfassung von Ammoniak

Wenn es um Stallbauten geht, ist neben der artgerechten Gestaltung des Stallklimas auf geringe Emissionen der Stallsysteme zu achten. Regelwerke wie etwa die TA Luft sollen im Rahmen von Genehmigungsverfahren die bevorzugte Anwendung emissionsarmer Systeme bewirken. Da die Landwirtschaft zu den größten Emittenten an Ammoniak gerechnet wird, richtet sich das besondere Augenmerk auf dieses Gas. Es werden Vorschläge zur Ermittlung von Emissionsraten unter den schwierigen Bedingungen frei gelüfteter Milchviehställe gemacht. Diese Raten müssen ganzjährig bekannt sein, um Ställe in Bezug auf die Umweltwirkungen beurteilen zu können.

Dr.-Ing. Hans-Joachim Müller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB, Leiter: Prof. Dr. habil. R. Brunsch) in 14469 Potsdam, Max-Eyth-Allee 100; e-mail: [hmueller@atb-potsdam.de](mailto:hmueller@atb-potsdam.de)  
 Dr.-Ing. Karl-Heinz Krause ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Agrartechnologie und Biosystemtechnik (Leiter: Prof. Dr.-Ing. A. Munack und Prof. Dr. K.-D. Vorlop) in 38116 Braunschweig, Bundesallee 50; e-mail: [karlheinz.krause@vti.bund.de](mailto:karlheinz.krause@vti.bund.de)

### Schlüsselwörter

Freie Lüftung, Tierhaltung, Ammoniak, Ausbreitungssimulation

### Keywords

Natural ventilation, animal husbandry, ammonia, simulation of dispersion

### Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08223 über Internet <http://www.landtechnik-net/literatur.htm>.

Bild 1: Außenansicht des Stalles aus südlicher Richtung



Fig. 1: Exterior view of the cow barn from the south

Der durch den Stall geförderte Luftstrom führt Gase, Gerüche, Stäube, Keime und Bioaerosole nach draußen. Dort breiten sie sich aus und bewirken Immissionseinträge, die die Umwelt unter bestimmten Bedingungen negativ beeinträchtigen können. Zur Vermeidung oder zumindest zur Minderung negativer Wirkungen müssen die emittierten Massenströme bekannt sein. Nicht nur zur Durchführung von Ausbreitungsrechnungen werden solche Daten benötigt, sondern auch zur Konzipierung emissionsmindernder Maßnahmen.

### Sachstand bei Ammoniakemissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen

In der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft 2002) werden konstante Emissionsfaktoren  $e_{NH_3}$  für Milchkuhe in bestimmten Haltungsverfahren angegeben: 4,86 kg/Jahr für die Anbindehaltung mit Fest- und Flüssigmistverfahren und 15,79 kg/Jahr für den Laufstall mit Tretmistverfahren. Derartige Jahresmittelwerte sind verschiedenen wissenschaftlichen Arbeiten zu entnehmen, wobei der Vergleich einzelner Schriftumsquellen drastische Unterschiede in den Einzelwerten [1, 2] zeigt. Insbesondere bei frei gelüfteten Ställen sind

die windinduzierten Emissionen durch den stochastischen Charakter des Windes mit großen Schwankungen verbunden; zudem ist das Zustandekommen derartiger Emissionsfaktoren nicht immer nachzuvollziehen.

Während Haltung, Entmistung und Fütterung die Ammoniakemission bei Zwangslüftung und freier Lüftung gleichermaßen beeinflussen, sind bei frei gelüfteten Ställen die Gebäudehülle einschließlich der Lüftungsöffnungen (Gestaltung und Steuerung) und die Außenklimabedingungen die dominanten Einflussgrößen. Im Schrifttum wird immer wieder auf die Probleme der Ermittlung von Emissionen bei frei gelüfteten Ställen hingewiesen [1, 2, 3, 4]. Insbesondere die Bestimmung des Volumenstroms bereitet Probleme. Mit hochgradiger messtechnischer Akribie werden die Konzentrationen ermittelt, während die Volumenstrombestimmung enorme Fehler aufweist. Jedoch werden die Methoden ständig weiterentwickelt. In [5] findet sich eine „Kompartimentalisierungsmethode“, die bei zahlreichen Messungen in Rinderställen angewendet worden ist. Sie verknüpft als Tracergasmethode (Abklingmethode) Konzentrationsmessungen mit den sich während einer Luftwechsellmessung ständig ändernden Volumenströmen über einen Ausbrei-

Tab. 1: Mittlerer Emissionsmassenstrom für Ammoniak in vier Messkampagnen, angegeben in g pro Tag und Tierplatz. Die Messintervalle reichen nicht aus, einen Jahresdurchschnittswert anzugeben.

Messkampagne	Zeitintervall	Ammoniakemissionsfaktor g/Tag je Tierplatz
I	16.03.2004 – 24.03.2004	82,2
II	24.04.2006 – 05.05.2006	42,2
III	14.02.2007 – 27.07.2007	30,1
IV	27.06.2007 – 20.08.2007	104,7

tungsmechanismus. Ziel solcher Untersuchungen ist es, aus Praxis- und Modellversuchen verallgemeinerungsfähige Abhängigkeiten des Ammoniakemissionsmassenstroms abzuleiten.

Im Schrifttum findet man Ansätze, das Emissionsverhalten von Ställen zu berechnen – so von Monteny [3] und Wang et al. [6]. Das ATB hat gemeinsam mit dem vTI (ehemals FAL) und mit dem Ingenieur-Büro Dr. Eckhof das reale Emissionsverhalten in zahlreichen Praxisanlagen untersucht. In [7] und [8] ist basierend auf einer Dimensionsanalyse ein Gleichungssystem abgeleitet worden, welches einen Ansatz für ein Prognosemodell darstellt. Danach gilt

$$e_{NH_3} = N e_{spez} \quad (1)$$

$$e_{spez} = u_f e^{A+B \frac{C_B}{C_0}} \quad (2)$$

$$u_f = u_{NH_3} = 5,0 \cdot 10^5 \frac{g}{GV} \quad (3)$$

$e_{NH_3}$  charakterisiert den Emissionsfaktor (also das auf die Tiermasse bezogene Produkt aus Abluftkonzentration und Abluftvolumenstrom),  $N$  den Luftwechsel des Stalles.  $e_{spez}$  stellt die stallspezifische Emissionsgröße dar, die das Emissionsverhalten über die Größen  $A$  und  $B$  sowie das Verhältnis aus Konzentration an der Quellenoberfläche  $C_B$  und Konzentration in der Abluft  $C_0$  beschreibt. Das Konzentrationsverhältnis kann auch als Verhältnis der Produktionsrate an luftfremden Stoffen zur Luftwechselrate im Stall interpretiert werden.  $e_{spez}$  lässt sich versuchsstechnisch und mit Hilfe numerischer Strömungssimulationen bestimmen. Die Konstante  $u_f$  stellt einen Massenumrechnungsfaktor dar. 1 GV steht für 500 kg Tierlebensmasse. Gl.(1) stellt in Verbindung mit Gl.(2) eine transzendente Beziehung zur Bestimmung von  $C_0$  dar.

### Beschreibung des untersuchten Stalles, Untersuchungsmethoden und Ergebnisse

Es handelt es sich um einen Kaltstall (Bild 1). Das Metalldach besitzt keine Wärmedämmung. Der Stall hat folgende Hauptabmessungen: Stalllänge 96,15 m, Stallbreite 34,2 m, Seitenwandhöhe 4,2 m, Giebelhöhe 10,73 m, Raumvolumen 25 499 m<sup>3</sup>. Der Liegeboxen-Laufstall bietet Platz für 364 Tiere und wird mit Schlepplaufbänken entmistet. Die Lüftung erfolgt über verstellbare Öffnungen in den Seitenwänden, durch geöffnete Tore in den Giebelwänden oder Spaceboard und durch einen ständig geöffneten Firstschlitz.

Neben den Konzentrations- und Volumenstrommessungen werden die Klimaparamete-

ter im Stall und außerhalb registriert. Als besonders wichtige Einflussgröße werden die Windrichtung und -geschwindigkeit festgehalten. Die Geschwindigkeitsmessung erfolgt in 10 m Höhe mit einem Ultraschallanemometer [4, 5]. Die seit 2004 durchgeführten vier Messkampagnen umfassen Klimabedingungen des Winters, der Übergangszeit und des Sommers. Ein Beispiel für die Ermittlung des Volumenstroms nach unterschiedlichen Methoden für einen kurzen Zeitabschnitt der Messperiode im Sommer 2007 ist in Bild 2 dargestellt und lässt die messtechnisch bekannten Probleme bei der Volumenstrombestimmung deutlich werden. Problematisch bei der CO<sub>2</sub>-Bilanzmethode ist, dass man einerseits die CO<sub>2</sub>-Abgabe der Tiere nicht genau genug kennt und andererseits die Konzentrationsmessung der Abluft aufgrund komplizierter Strömungsverhältnisse nicht in einer idealen Luftmischung im Stall durchführen kann.

Der Volumenstrom kann auch mit Hilfe der Außenwindgeschwindigkeit [7] gemäß Gl.(4) ermittelt werden:

$$\dot{V}_0 = \eta_{Durch} U_{10} A C_q \quad (4)$$

Darin steht  $\dot{V}_0$  für den Volumenstrom durch den Stall,  $\eta_{Durch}$  für die Durchlässigkeit der Öffnungen (etwa Einfluss von Windnetzen),  $U_{10}$  für die Windgeschwindigkeit, in 10 m Höhe in der Nähe des Stalles gemessen,  $A$  stellt die halbe Querschnittsfläche aller Öffnungen in den Seiten und Giebelwänden dar und  $C_q$  berücksichtigt den Windanströmwinkel.  $C_q$  nimmt im Allgemeinen Werte zwischen 0,2 und 0,6 an und liegt hier mit Blick auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz bei 0,2.

Das Produkt aus Volumenstrom und Ammoniakkonzentration ergibt den Ammoniakmassenstrom. Dessen zeitlicher Verlauf ist über vier Messkampagnen berechnet worden und zeigt starke Schwankungen. In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der einzelnen Kam-

pagnen zusammengestellt. Einen dominierenden Einfluss hat die Windgeschwindigkeit. Hohe Werte bedeuten hohe Emissionen (falls nicht durch Variation der Lüftungsquerschnitte Einfluss genommen wird).

Mit den präjudizierenden Gleichungen (1) und (2) wurde ebenfalls der Emissionsmassenstrom für die untersuchte Sommerperiode 2007 berechnet. Aus den Messungen wurden  $A = -14,30961$  und  $B = -0,13444$  ermittelt. Mit dem realistischen Verhältnis  $C_B/C_0 = 6$  ergibt sich mit  $e_{spez} = 136,165$  mg/GV und  $N = 700\,000/25\,499 = 27,45$  h<sup>-1</sup> ein mittlerer Emissionsmassenstrom für Ammoniak von  $e_{NH_3} = 3,74$  g/(h GV). Der aus den Messwerten direkt bestimmte mittlere Emissionsmassenstrom beträgt  $e_{NH_3} = 3,07$  g/(h GV). Dies bestätigt – wie auch in vielen anderen Fällen – die dargestellten Modellvorstellungen. Damit ist die Möglichkeit gegeben, das Emissionsgeschehen von frei gelüfteten Rinderställen zu prognostizieren. Es bleiben jedoch die hohen Anforderungen, die Konstanten  $A$  und  $B$  zu bestimmen, sowie genauere Kenntnisse über das stallinterne Emissionsgeschehen (Analyse  $C_B/C_0$ ) zu erlangen.

### Fazit

Die Emissionsfaktoren frei gelüfteter Milchviehställe lassen sich berechnen. Die standortspezifischen meteorologischen Bedingungen – insbesondere des Windes – sind zu berücksichtigen. Emissionsprognosen für frei gelüftete Milchviehställe können erstellt werden. Damit können Abschätzungen auch mit Blick auf die Auswirkungen des Klimawandels in diesem Bereich getroffen werden. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der freien Lüftung und der Analyse der stallinternen Emissionen, wobei angesichts der Energieeinsparungsmöglichkeiten der freien Lüftung besondere Bedeutung zukommt.

Bild 2: Zeitreihen von Luftvolumenstrom und Windgeschwindigkeit, erhoben nach verschiedenen Methoden

Fig. 2: Time series of air flow rate and wind velocity, determined by different methods

