

# Simulationsmodell für Ammoniakemissionen

## Vergleich mit Messungen in einem frei belüfteten Milchviehstall

*Mit Hilfe eines mechanistischen Emissionsmodells kann die Ammoniakemission aus Stallanlagen abgeschätzt werden. Im Modell werden die Ammoniakfreisetzungen vom Spaltenboden und aus dem Flüssigmistkanal getrennt berechnet. Ein Vergleich mit Emissionsmessungen in einem frei belüfteten Milchviehstall zeigt eine gute Übereinstimmung. Die mittlere Höhe der Ammoniakemission wird hauptsächlich durch den pH-Wert bestimmt, die Dynamik wird von der Temperatur und einem variierenden Luftaustausch des Flüssigmistkanals durch die Spalten beeinflusst.*

Dipl.-Ing. Gregor Brose ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und landwirtschaftliches Bauwesen, Garbenstr. 9, 70599 Stuttgart, e-mail: gbrose@uni-hohenheim.de.  
Gert-Jan Monteny ist Leiter des Bereichs Emissionen und Stallklima des IMAG, Mansholtlaan 10-12, Wageningen, Niederlande, e-mail: g.j.monteny@imag.dlo.nl

### Schlüsselwörter

Ammoniakemission, Emissionsberechnung, Simulationsmodell

### Keywords

Ammonia emissions, emission calculation, simulation model

Die Messung der Ammoniakemission aus Stallanlagen ist mit einem hohen technischen Aufwand verbunden. Zu ihrer schnellen und einfachen Abschätzung wurde von [1] ein Modell entwickelt, das die Emission von Ammoniak aus einem Boxenlaufstall für Milchkühe durch mathematische Formulierung der physikalisch-chemischen Bildungs- und Freisetzungsvorgänge von Ammoniak berechnet.

### Das Simulationsmodell

Das Modell [1] besteht aus separaten Modulen für die Ammoniakproduktion vom Boden und von der Lagerung im Flüssigmistkanal. Das Bodenmodul beschreibt die Harndeposition auf den Spaltenboden, die enzymatische Harnstoffspaltung, das Dissoziationsgleichgewicht von Ammoniak und dessen konvektive Freisetzung von jeder Harnpfütze, die nach der Harndeposition auf dem Spaltenboden hinterbleibt. Das Lagermodul enthält neben der Dissoziation und konvektiven Freisetzung von Ammoniak von der gesamten Flüssigmistoberfläche die Produktionsmenge von Kot und Harn. In einer Weiterentwicklung des Modells wird auch der Luftaustausch durch den Spaltenboden in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Zu- und Stallluft berücksichtigt [2]. Hierdurch wird im Lagermodul die Ammoniakemission aus der Lagerung durch eine Massenbilanz für Ammoniak mit den Bilanztermen Ammoniakproduktion und -abfuhr durch Luftaustausch über den Spaltenboden berechnet.

*Tabelle 1: Stallspezifische Eingangsparameter für die Modellberechnungen*

*Table 1: Specific input parameters for model calculations*

### Vergleich mit Messergebnissen

Zur Validierung des Modells und zur Überprüfung der Anwendbarkeit auf frei belüftete Ställe wurden die Simulationsergebnisse mit Messergebnissen von einem frei belüfteten Milchviehstall verglichen. Der Milchviehstall und beispielhafte Emissionsergebnisse wurden bereits dargestellt [3, 4].

Generelle Eingangsparameter für die Modellberechnung wurden von [1] übernommen. Die stallspezifischen Eingangsparameter sind in *Tabelle 1* zusammengefasst. Als dynamische Eingabewerte wurden die 20-minütigen Mittelwerte der gemessenen Stallinnentemperatur, die sich auf das Dissoziationsgleichgewicht und die konvektive NH<sub>3</sub>-Freisetzung auswirkt, und die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  aus Stallinnen- und Zulufttemperatur verwendet, aus der die Stärke des Luftaustausches durch den Spaltenboden berechnet wurde.

### Ergebnisse

Für vier Januartage (*Bild 1*) zeigen die Simulationsergebnisse eine gute Übereinstimmung insbesondere mit der Höhe der gemessenen Ammoniakemission. Der tageszeitliche Rhythmus mit einer niedrigeren Emission in der ersten Tageshälfte und einer höheren Emission in der zweiten Tageshälfte wird vom Modell ebenfalls gut wiedergegeben. Die Simulationsergebnisse weisen überwiegend zwei Anstiege der NH<sub>3</sub>-Emission am Nachmittag und am Abend auf. Der erste ist auf den Temperatureinfluss auf die

Eingangsparameter Allgemeine Größe	Wert und Einheit	Herkunft
Tierzahl	175 Tiere	bekannt
Frequenz der Harnausscheidungen	10 d <sup>-1</sup>	geschätzt
Fläche des Spaltenbodens/Lagers	230 m <sup>2</sup>	bekannt
Luftvolumen unter den Spalten	230 m <sup>3</sup>	bekannt
Stallvolumen	2000 m <sup>3</sup>	bekannt
<b>Veränderliche Größe (gemittelt)</b>		
pH Flüssigmist im Flüssigmistkanal	8,6	gemessen
pH Flüssigmist auf Spaltenboden	7,7	gemessen
Ammoniakalischer N-Gehalt	April: 1,3 g/kg Januar: 1,4 g/kg	gemessen
Harnstoffgehalt im Harn	4,5 g/kg	gemessen
Luftgeschwindigkeit im Flüssigmistkanal	0,1 m/s	geschätzt
Luftgeschwindigkeit über Spaltenboden	0,1 m/s	geschätzt
Luftvolumenstrom durch Spaltenboden	500 + 20 $\Delta T$ m <sup>3</sup> /h, wenn $\Delta T > 0$ 500 m <sup>3</sup> /h, wenn $\Delta T < 0$	geschätzt

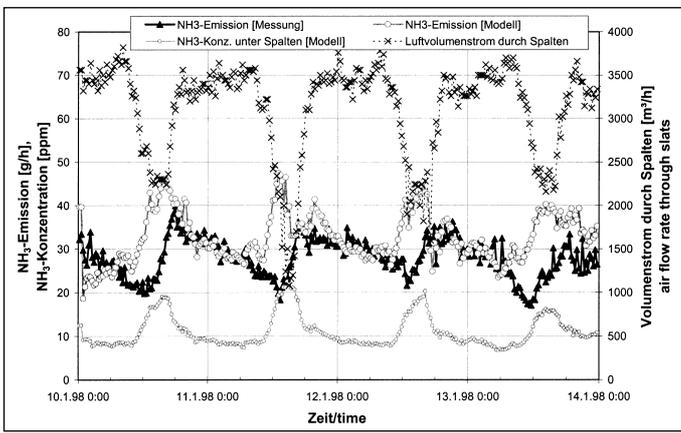


Bild 1: Gemessene und berechnete Ammoniakemission sowie berechnete Ammoniakkonzentration unter den Spalten und Luftvolumenstrom durch den Spaltenboden an vier Januartagen (10. bis 13. 1.1998)

Fig. 1: Measured and calculated ammonia emission as well as calculated ammonia concentration under the slats and air flow rate through the slatted floor at four days in January (10 till 13. 1.1998)

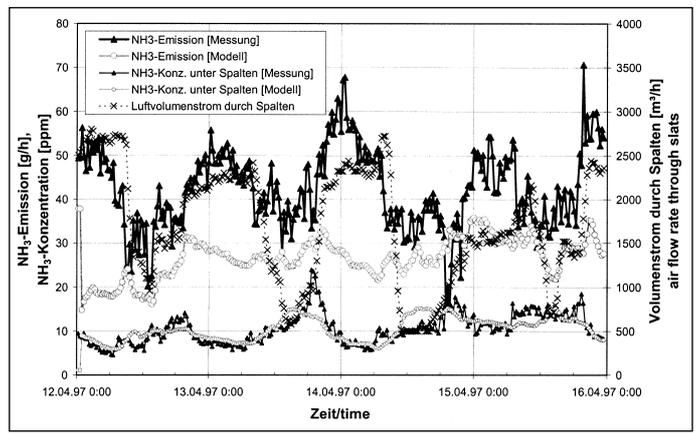


Bild 2: Gemessene und berechnete Ammoniakemission und Ammoniakkonzentration unter den Spalten sowie berechneter Luftvolumenstrom durch den Spaltenboden an vier Apriltagen (12. bis 15.4.1997)

Fig. 2: Measured and calculated ammonia emission and ammonia concentration under the slats as well as calculated air flow rate through the slatted floor at four days in April (12 till 15. 4.1997)

Ammoniakfreisetzung, der zweite auf den Luftaustausch durch den Spaltenboden zwischen Stallraum und Flüssigmistkanal zurückzuführen. Bei den Messergebnissen ist dagegen nur ein Anstieg der Ammoniakemission am Abend festzustellen. Es ist zu vermuten, dass die Zunahmen der Ammoniakemission infolge des Temperaturanstiegs sowie des Luftaustausches durch den Spaltenboden relativ gleichzeitig auftreten. Die Zunahme der Ammoniakemission am Nachmittag ist nur bei den Simulationsergebnissen festzustellen.

Eine mögliche Ursache für das zeitliche Vorauseilen des temperaturbedingten Anstiegs der Simulationsergebnisse könnte sein, dass im Modell die Dissoziation und Freisetzung von Ammoniak an die Stallinnentemperatur statt an die eigentlich relevante Flüssigmisttemperatur gekoppelt ist. Letztere verläuft jedoch infolge der hohen Wärmekapazität des Flüssigmistes und des Bodens gedämpft und gegenüber der Stallinnentemperatur verzögert, womit auch die temperaturbedingte Zunahme der  $\text{NH}_3$ -Emission verzögert einsetzt. Der variierende Luftaustausch durch den Spaltenboden zwi-

schen Stallraum und Flüssigmistkanal wird vom Modell zwar gut wiedergegeben, dessen Einfluss auf den zeitlichen Verlauf ist jedoch weniger ausgeprägt als der Einfluss der Stallinnentemperatur.

An den vier Apriltagen in Bild 2 wird die Höhe der Ammoniakemission unter Verwendung der gleichen Eingangsparameter deutlich unterschätzt. Die berechnete Ammoniakkonzentration unter den Spalten stimmt gut mit den Messergebnissen überein, der dynamische Verlauf mit einem Anstieg der  $\text{NH}_3$ -Emission am Abend und in der Nacht wird aber nur unzureichend wiedergegeben.

Aufgrund der Abweichung von den Messergebnissen wurde für diese Apriltage die Modellberechnung nicht mit den gemittelten Standardwerten, sondern mit an die tatsächlichen Bedingungen im Stall besser angepassten Eingangsparametern (pH Flüssigmist auf Spaltenboden: 8,1; Luftvolumenstrom durch Spaltenboden:  $250 + 300 \cdot \Delta T \text{ m}^3/\text{h}$ ) wiederholt. Die Simulationsergebnisse in Bild 3 zeigen, dass das Niveau der Ammoniakemission durch die pH-Werterhöhung nun mit den Messergebnissen gut übereinstimmt. Die Dynamik der Ammoniak-

emission wurde durch den verstärkten Luftaustausch durch den Spaltenboden zwar ebenfalls verbessert, jedoch wird die Amplitude der Tagesschwankungen der gemessenen Ammoniakemission nicht vollständig wiedergegeben. Vergleichbar mit den Januartagen in Bild 1 eilt die berechnete Ammoniakemission den Messwerten gleichfalls voraus. Die Simulationsergebnisse werden durch stärkere Berücksichtigung des Luftaustausches durch den Spaltenboden und der Flüssigmisttemperatur zu verbessern sein.

### Schlussfolgerung

Mit dem vorgestellten Simulationsmodell liegt ein geeignetes Instrument zur Abschätzung der Ammoniakemission aus einem Milchviehstall vor. Durch Verwendung gemessener Eingangsparameter oder sinnvoller Parameterwahl wird das Niveau der Ammoniakemission realistisch wiedergegeben. Bei einer freien Lüftung ist bei Betrachtung des dynamischen Verlaufs der Ammoniakemission ein besonderes Augenmerk auf den Luftaustausch durch den Spaltenboden zu richten, der zu einer verstärkten Ammoniakemission aus dem Flüssigmistkanal führt.

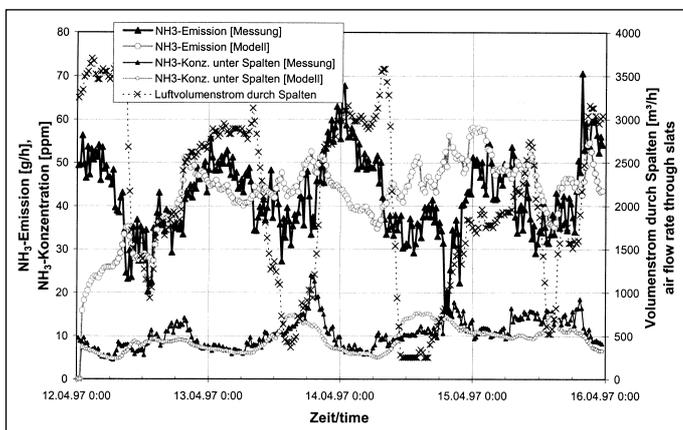


Fig. 3: Measured and calculated ammonia emission and ammonia concentration under the slats as well as calculated air flow rate through the slatted floor at four days in April (12 till 15. 04.1997) with adopted parameters

Bild 3: Gemessene und berechnete Ammoniakemission und Ammoniakkonzentration unter den Spalten sowie berechneter Luftvolumenstrom durch den Spaltenboden an vier Apriltagen (12. bis 15.4.1997) mit angepassten Eingangsparametern

### Literatur

- [1] Monteny, G.J., D.D. Schulte, A. Elzing and E.J.J. Lamaker: A Conceptual Mechanistic Model for the Ammonia Emissions from Free Stall Cubicle Dairy Cow Houses. Transactions of the ASAE 41 (1998), no.1, pp. 193-201
- [2] Monteny, G.J., G.P.A. Bot, J.H.W. Raaben and J.P.E. Overbeek: Air exchange through a slatted floor for dairy-cow housing. Eingereicht zur Veröffentlichung in: Journal of Agricultural Engineering Research (2000?)
- [3] Brose, G., E. Hartung und T. Jungbluth: Geruchs- und Spurengasemissionen eines Milchviehstalls. Landtechnik 53 (1998), H. 1, S. 32-33
- [4] Brose, G., E. Hartung und T. Jungbluth: Schadgasemissionen – Tageszeitliche Einflüsse bei einem frei belüfteten Milchviehstall. Landtechnik 54 (1999), H. 2, S. 110-111