

Sabine Schrade, Margret Keck, Kerstin Zeyer und Lukas Emmenegger

# Ammoniakemissionen von einem Laufstall mit Laufhof im Sommer und Winter

In einem frei gelüfteten Liegeboxenlaufstall für Milchvieh mit planbefestigten Laufflächen und kombiniertem Liegegang/Laufhof am Rand wurden Emissionen von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) quantifiziert. Angewandt wurde eine Tracer-Ratio-Methode mit zwei Tracergasen ( $\text{SF}_6$ ,  $\text{SF}_5\text{CF}_3$ ). Um jahreszeitliche Effekte aufzuzeigen, wurde in zwei dreitägigen Perioden im Winter und im Sommer gemessen. Die Temperaturen variierten während der Wintermessung zwischen  $-8$  und  $+12$  °C und in der Sommermessung zwischen  $7$  und  $37$  °C. Die Tagesmittelwerte der  $\text{NH}_3$ -Emissionen lagen im Winter zwischen  $12,4$  und  $12,9$  g/GV • d und im Sommer zwischen  $46,2$  und  $67,4$  g/GV • d. Nur in der warmen Jahreszeit waren Tagesgänge erkennbar.

## Schlüsselwörter

Ammoniakemission, Tracer-Ratio-Methode, Milchvieh, Laufstall, freie Lüftung, Laufhof

$\text{NH}_3$ -emissions ranged from  $12.4$  to  $12.9$  g/LU • d in winter and from  $46.2$  to  $67.4$  g/LU • d in summer. Diurnal patterns were only recognisable during the warm season.

## Keywords

Ammonia emission, tracer ratio method, dairy cattle, loose housing, natural ventilation, outdoor exercise area

## Abstract

Schrade, Sabine; Keck, Margret; Zeyer, Kerstin and Emmenegger, Lukas

Ammonia emissions from loose housing with outdoor exercise area during summer and winter

Landtechnik 65 (2010), no. 2, pp. 120-123, 3 figures, 1 table, 4 references

Emissions of ammonia ( $\text{NH}_3$ ) in naturally ventilated cubicle loose housing for dairy cattle with solid floor exercise surfaces and a peripheral combined cubicle access area/outdoor exercise area were quantified using a tracer ratio method with two tracer gases ( $\text{SF}_6$ ,  $\text{SF}_5\text{CF}_3$ ). To account for seasonal effects, measurements were performed over a three day period in both winter and summer. Winter temperatures varied between  $-8$  and  $12$  °C, and those measured in summer between  $7$  and  $37$  °C. The average daily values for

■ Aktuelle Emissionsdaten für Ammoniak sind nötig zur vergleichenden Bewertung und Optimierung von Haltungssystemen für Milchvieh, als Beitrag für Emissionsinventare sowie als Basis für Minderungsmaßnahmen. Literaturdaten für Ammoniakemissionen bei Milchvieh sind für die in der Schweiz verbreiteten Laufstallsysteme mit Laufhof nicht aussagekräftig. Vorhandene Emissionsdaten weisen eine große Streubreite auf und decken die Jahreszeiten nicht systematisch ab. Zudem sind Stallsysteme mit freier Lüftung und Laufhof nicht untersucht worden. Dass Emissionsdaten von frei gelüfteten Haltungssystemen und von Flächenquellen wie Laufhöfen fehlen, ist im Wesentlichen auf Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Luftwechselrate zurückzuführen.

## Material und Methoden

Um die Datengrundlage für  $\text{NH}_3$ -Emissionen aus der Milchviehhaltung zu verbessern, wurde in sechs freigelüfteten Liegeboxenlaufställen mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof systematisch gemessen [1]. Auf Basis dieser Daten werden im Folgenden exemplarisch die  $\text{NH}_3$ -Emissionen sowie ausgewählte Begleitparameter einer Winter- und Sommermessung eines Stalles mit 46 Milchkühen verglichen. Der Stall ist an der Längsseite am Futtertisch teils mit Folie und der Laufhof an der anderen Längsseite mit einer Holzwand begrenzt. Die eine Giebelseite ist offen und die andere mit Spaceboards sowie einem Tor versehen. Der nicht überdachte Laufhof ist längs

zum Gebäude angeordnet und vom Liegegang nicht abgetrennt (**Abbildung 1**). Der Fressgang und der kombinierte Liegegang/Laufhof wurden während der Messungen 4-mal täglich mit einem Kombischieber entmistet. In beiden Jahreszeiten erhielten die Kühe eine Total-Misch-Ration.

Zur Bestimmung der Emissionen bei freier Lüftung und von Flächenquellen entwickelten die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART) und die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) eine Tracer-Ratio-Methode mit zwei Tracergasen. Um die Emissionen von den beiden Flächenquellen Stallbereich und Laufhof abzubilden, wurde das bereits etablierte Tracergas  $\text{SF}_6$  im Fressgang und ein zweites Tracergas  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  im kombinierten Liegegang/Laufhof eingesetzt. Die verdünnten Tracergase wurden über ein Rohrsystem mit 46 sogenannten kritischen Kapillaren direkt an den emittierenden Laufflächen kontinuierlich zudosiert (**Abbildung 1**) und bildeten so die Quelle der  $\text{NH}_3$ -Emission ab. Ein Luftsammlersystem in 3 m Höhe, bestehend aus einem Teflonschlauch und 39 kritischen Kapillaren aus Glas im Abstand von 3 m, ermöglichte eine repräsentative Probenahme der Tracergase und von  $\text{NH}_3$ . Die Analyse der beiden Tracergase erfolgte simultan mittels Gaschromatographie (GC-ECD).  $\text{NH}_3$  wurde mit einem photoakustischen Verfahren (PAS) quantifiziert. Zur Charakterisierung der jeweiligen Messsituation, zur Plausibilisierung von Messdaten, als Bezugsgrößen und zur Ableitung von wichtigen Einflussgrößen auf die Emissionen wurden neben beschreibenden Betriebsdaten folgende Parameter erfasst:

- Außenklima
- Klima in Stall und Laufhof
- Tieraufenthalt
- Laufflächenverschmutzung
- Stickstoffinput und -output
- Stickstoffverwertung

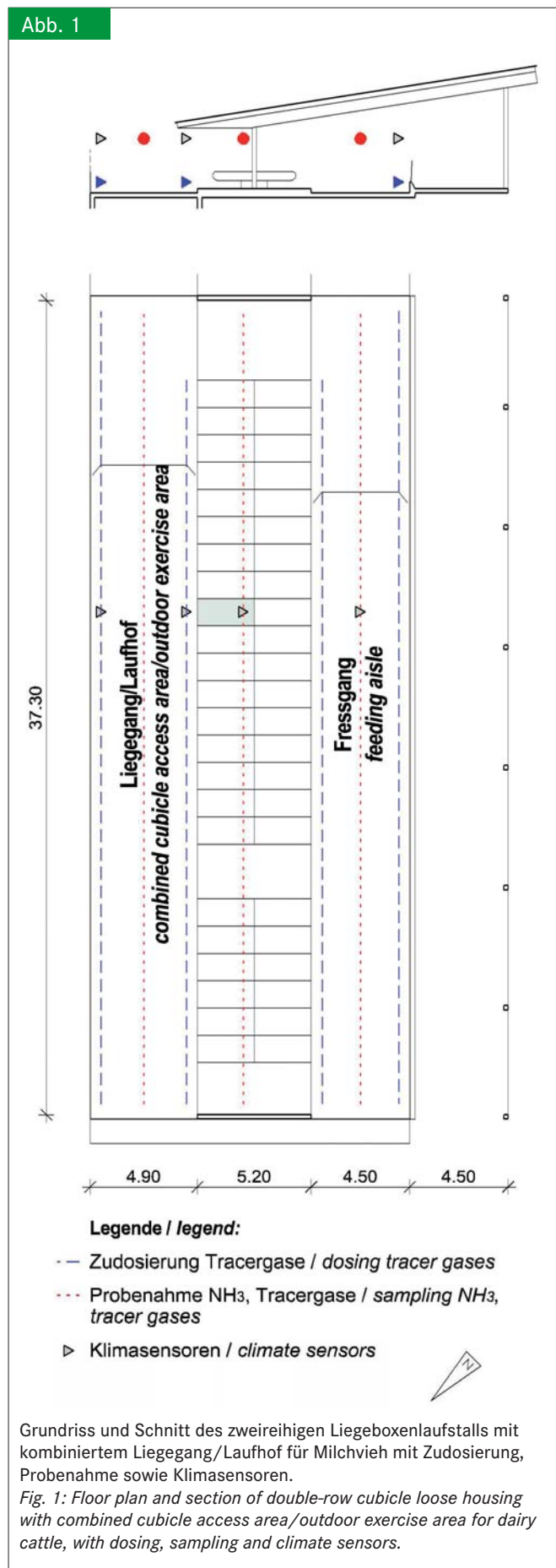
Die Messdauer pro Jahreszeit betrug jeweils drei Tage.

## Ergebnisse und Diskussion

Beschreibende Daten zu der Fütterung, den Tieren, dem Tieraufenthalt im Liegegang/Laufhof, der Laufflächenverschmutzung und zum Klima sind in **Tabelle 1** dargestellt. Bei der Milchleistung und Lebendmasse sowie beim N-Input im Futter und beim Harnstoffgehalt der Tankmilch bestanden nur geringe Unterschiede zwischen Sommer- und Wintermessung. Sowohl der Tieraufenthalt als auch die Verschmutzungshöhe waren in beiden Jahreszeiten im Fressgang höher als im kombinierten Liegegang/Laufhof. Der Anteil der trockenen Verschmutzung war im Sommer gegenüber der Wintermessung deutlich erhöht. Die abgetrocknete Fläche ist ein Indiz für die bereits erfolgte Emission.

**Abbildung 2** und **3** zeigen Tagesverläufe der  $\text{NH}_3$ -Emission, Außentemperatur und Windgeschwindigkeit im Stall in 3 m Höhe für die Winter- und Sommermessung. Tagsüber steigt die Temperatur an und die Windgeschwindigkeit nimmt in Zeiten mit erhöhter Temperatur zu. Vereinzelt kommen in den kälteren Nachtstunden Zeiträume mit höherer Windge-

Abb. 1



Tab. 1

Angaben zu Fütterung, Tierparametern, Tieraufenthalt im Liegegang/Laufhof, Flächen, Laufflächenverschmutzung und Klimadaten der Winter- und Sommermessung

Table 1: Data on feeding, animal parameters, animal use of the combined cubicle access area/outdoor exercise area, areas, exercise-area soiling and climate data of winter and summer measurements

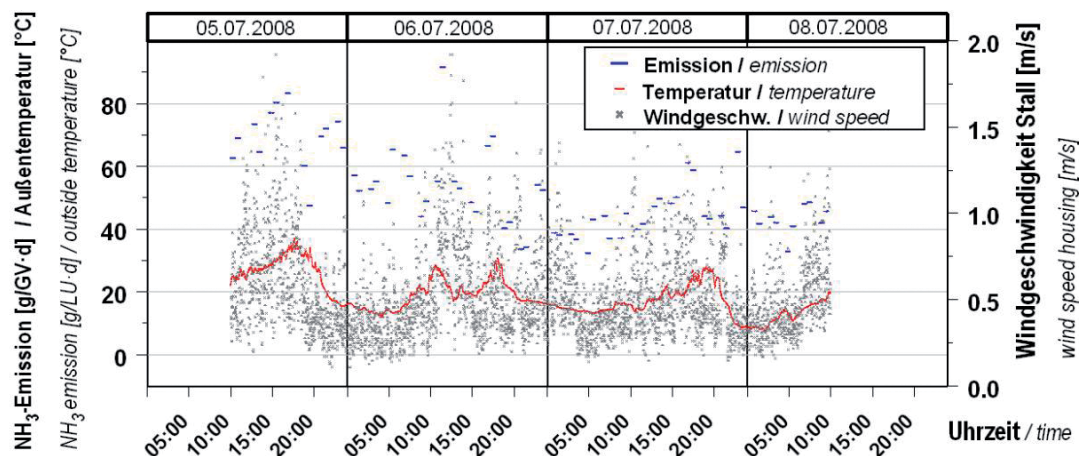
Messzeitraum/Parameter Measurement period/parameter	Winter/Winter 08.–10. Feb. 2008	Sommer/Summer 05.–08. Juli 2008
<b>Fütterung, Tierparameter (Mittelwert über Herde)</b> <i>Feed, animal parameters (mean value across herd)</i>		
N-Input Fütterung [g/GV·d] <i>N input feed [g/LU·d]</i>	220	210
Lebendmasse [kg] <i>Live weight [kg]</i>	849	824
Milchleistung [kg/Kuh·d] <i>Milk yield [kg/cow·d]</i>	28,1	30,6
Harnstoffgehalt Tankmilch [mg/dl] (Proteingehalt [%]) <i>Tank milk urea level [mg/dl] (protein content [%])</i>	24 (3,3); 31 (3,4)	27 (3,2); 23 (3,2)
<b>Tieraufenthalt im Liegegang/Laufhof [%]</b> <i>Use of the combined cubicle access area/outdoor exercise area by the animals [%]</i>		
(Mittelwert über Messperiode) <i>(Mean value across measurement period)</i>	28,4	34,4
<b>Fläche [m<sup>2</sup>/Tier]</b> <i>Area [m<sup>2</sup>/animal]</i>		
Gesamt <i>Total</i>	11,6	11,4
davon Lauffläche <i>of which aisle/exercise area</i>	8,2	8,1
davon Liegegang/Laufhof <i>of which combined cubicle access area/outdoor exercise area</i>	3,7	3,6
<b>Laufflächenverschmutzung (Mittelwert über Messperiode)</b> <i>Exercise area soiling (mean value across measurement period)</i>		
Höhe unmittelbar vor der Entmistung Fressgang [mm] <i>Level immediately prior to mucking out feeding aisle [mm]</i>	2,6	2,8
Höhe unmittelbar vor der Entmistung Liegegang/Laufhof [mm] <i>Level immediately prior to mucking out combined cubicle access area/outdoor exercise area [mm]</i>	1,4	1,7
Anteile feucht/trocken/sauber Fressgang [%] <i>Proportions of damp/dry/clean feeding aisle [%]</i>	82 / 0 / 17	77 / 19 / 4
Anteile feucht/trocken/sauber Liegegang/Laufhof [%] <i>Proportions of damp/dry/clean combined cubicle access area/outdoor exercise area [%]</i>	66 / 0 / 33	54 / 28 / 19
<b>Klima (Arithm. Mittel; Minimum bis Maximum)</b> <i>Climate (arithm. mean; minimum to maximum)</i>		
Außentemperatur [°C] <i>Outside temperature [°C]</i>	1; -8 bis +12	19; +7 bis +37
Windgeschwindigkeit im Stall in 3 m Höhe [m/s] <i>Wind speed in housing at 3 m height [m/s]</i>	0,3; 0,1–1,2	0,5; 0,1–2,8

schwindigkeit vor. Die Außentemperatur variierte während der Wintermessung von -8 bis 12 °C und in der Sommermessung von 7 bis 37 °C. Auch bei den NH<sub>3</sub>-Emissionen ist zwischen den Jahreszeiten ein deutlicher Gradient erkennbar. Im Winter lagen die NH<sub>3</sub>-Emissionen mit Tagesmittelwerten von 12,4 bis 12,9 g/GV · d in einem sehr engen Bereich. Literaturdaten von NH<sub>3</sub>-Emissionen eines Liegeboxenlaufstalls mit planbefestigten Laufflächen ohne Laufhof im Winter waren mit 40,3 g/GV · d deutlich höher [2]. Bei der Sommermessung variierten die Tagesmittelwerte der NH<sub>3</sub>-Emissionen von 46,2 bis 67,4 g/GV · d. Nach Angaben in der Literatur [3; 4] lagen bei Sommer-

temperaturen die NH<sub>3</sub>-Emissionen mit Werten zwischen 9 und 57 g/GV · d zum Teil etwas tiefer. Der Anteil der NH<sub>3</sub>-N-Emissionen am N-Input über die gesamte Messperiode war im Sommer mit 18 bis 26 % deutlich höher als im Winter mit rund 5 %.

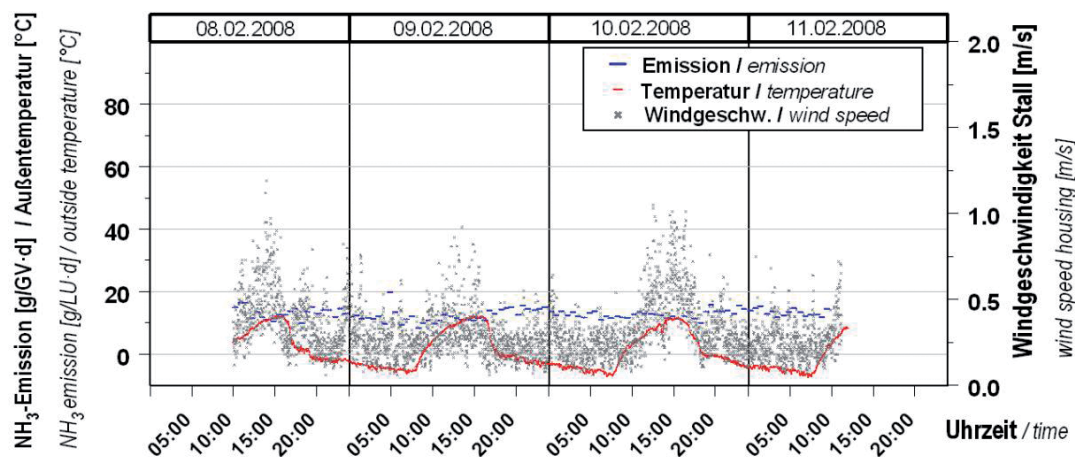
Tageszeitliche Unterschiede in den NH<sub>3</sub>-Emissionen zeigten sich lediglich bei der Sommermessung (**Abbildung 2**). Parallel zum Temperaturanstieg nahmen auch die Emissionen zu. Im Gegensatz dazu blieb die NH<sub>3</sub>-Emission in der Wintermessung trotz einer Erhöhung der Temperatur nahezu auf demselben Niveau (**Abbildung 3**). Daraus lässt sich schließen, dass bei sehr tiefen Temperaturen ein Temperaturanstieg nicht unbedingt

Abb. 2



Tagesverläufe der  $\text{NH}_3$ -Emission [g/GV · d], der Windgeschwindigkeit im Stall in 3 m Höhe [m/s] und der Außentemperatur in der Sommermessung.  
 Fig. 2: Diurnal  $\text{NH}_3$  emission patterns [g/LU · d], wind speed in housing 3 m high [m/s] and outside temperature of the summer measurement.

Abb. 3



Tagesverläufe der  $\text{NH}_3$ -Emission [g/GV · d], der Windgeschwindigkeit im Stall in 3 m Höhe [m/s] und der Außentemperatur in der Wintermessung  
 Fig. 3: Diurnal  $\text{NH}_3$  emission patterns [g/LU · d], wind speed in housing 3 m high [m/s] and outside temperature of the winter measurement

eine Erhöhung der  $\text{NH}_3$ -Emission zur Folge hat. Hingegen führt bei einem höheren Ausgangsniveau der Temperatur deren weitere Zunahme zu einem deutlichen Anstieg der  $\text{NH}_3$ -Emission. Vereinzelt hohe Emissionswerte lassen sich mit großer Tieraktivität während der Hauptfresszeiten (ab 6 bzw. 18 Uhr) und während der Entmistungszeiten in der Nacht (ca. 22 Uhr) erklären.

### Schlussfolgerungen

Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen zeigten deutliche jahreszeitliche Effekte. Die Tagesmittelwerte der Emissionen variierten im Winter von 12,4 bis 12,9 g/GV · d und im Sommer von 46,2 bis 67,4 g/GV · d. In der Sommermessung war der Anteil der  $\text{NH}_3$ -N-Emissionen am N-Input mit 18 bis 26 % deutlich höher als im Winter. Nur in der warmen Jahreszeit waren Tagesgänge im Niveau der  $\text{NH}_3$ -Emissionen erkennbar. Zum Teil spiegelten sich Ereignisse wie Fresszeiten und Entmistungsvorgänge in den Emissionen wider.

Baulich-technische und organisatorische Maßnahmen zur Minderung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen sind vor allem für die warme Jahreszeit zu entwickeln und umzusetzen.

### Literatur

- [1] Schrade, S.: Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Verfahren. VDI-MEG-Schrift 483. Dissertation. Christian-Albrechts-Universität Kiel, 2009
- [2] Seipelt, F.: Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First-Lüftung. VDI-MEG-Schrift 339. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen, 1999
- [3] Rom, H. B.; Zhang, G. Q. and Wang, C.: Survey of ammonia emission from naturally ventilated housing facilities for cattle. In: European Society of Agricultural Engineers. International Conference on Agricultural Engineering, 12-16 Sept. 2004, Leuven, 2004
- [4] Zhang, G.; Strom, J. S.; Li, B.; Rom, H. B.; Morsing, S.; Dahl, P. and Wang, C.: Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle buildings. Biosystems Engineering 92 (2005), no. 3, pp. 355-364

### Autoren

**Dr. Sabine Schrade** und **Dr. Margret Keck** sind wissenschaftliche Mitarbeiterinnen an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Gruppe Bau, Tier und Arbeit, Tänikon, CH-8356 Ettenhausen, E-Mail: sabine.schrade@art.admin.ch

**Dipl. Chem. (FH) Kerstin Zeyer** und **Dr. Lukas Emmenegger** sind wissenschaftliche Mitarbeitende der Empa Dübendorf, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik, Überlandstrasse 129, CH-8600 Dübendorf.

### Danksagung

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Umwelt BAFU, Schweiz, finanziell unterstützt.