

# Haltungssysteme und Messkonzept für Ammoniakemissionen bei freier Lüftung

Sabine Schrade<sup>1</sup>, Margret Keck<sup>1</sup>, Kerstin Zeyer<sup>2</sup> und Lukas Emmenegger<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen

<sup>2</sup>Empa, 8600 Dübendorf

Auskünfte: Sabine Schrade, E-Mail: sabine.schrade@art.admin.ch, Tel. +41 52 368 33 33



Die häufigste Situation der Laufstallhaltung von Milchvieh in der Schweiz: Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof am Rand. (Foto: ART)

## Einleitung

Sowohl aus landwirtschaftlicher als auch aus umweltpolitischer Sicht besteht ein vordringlicher Bedarf an aktuellen Emissionsdaten von Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) aus der Milchviehhaltung. Diese dienen für den Vergleich, die Bewertung und die Optimierung von Haltungssystemen sowie als Beitrag für Emissionsinventare. Zur Ableitung von Emissionsfaktoren und zur Hochrechnung der  $\text{NH}_3$ -Emissionen sind einerseits aktuelle Angaben zur Verbreitung der Haltungssysteme und andererseits aussagekräftige Emissionswerte notwendig. Um die Datengrundlage für  $\text{NH}_3$ -Emissionen zu verbessern, sind Messanordnung und Messmethoden auf künftig in der Schweiz relevante Haltungssysteme abzustimmen. Weiter muss für eine belastbare Datenqualität das Messkonzept die Anforderungen zur Ableitung von Emissionsfaktoren erfüllen.

## Haltungssysteme für Rindvieh

Die bestehenden Informationen zur Verbreitung von Haltungssystemen sind ungenügend. Verschiedene Quellen liefern zwar punktuelle Angaben, welche jedoch zu wenig differenziert und teilweise widersprüchlich sind. Solche Widersprüche entstehen zum Beispiel, weil die Tierzahlen nicht den gebauten Tierplätzen entsprechen. Zunächst wurde eine externe Expertenbefragung bei kantonalen Ämtern, Beratungsorganisationen, Firmen und Verbänden durchgeführt. Ergänzend dazu wurden Expertinnen und Experten der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART befragt und darauf basierend die Entwicklung von Anbinde- und Laufstallhaltung bei den einzelnen Rindviehkategorien bestimmt.

In der Milchviehhaltung dominieren bisher noch Anbindeställe. Der Trend geht jedoch bei allen Rindviehkategorien hin zu Laufställen (Abb. 1). Steigende Bestandesgrössen, arbeitswirtschaftliche und ergonomische Vorteile sowie die vermehrte Teilnahme an den beiden Tierhaltungsprogrammen «Besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme (BTS)» und «Regelmässiger Auslauf von Nutztieren im Freien (RAUS)» verstärken diese Entwicklung. Bei Milchvieh betrug 2009 die Beteiligung am BTS-Programm rund 34 %, und am RAUS-Programm rund 80 % der Grossvieheinheiten (Bundesamt für Landwirtschaft 2010). Ausgehend von der Anzahl Grossvieheinheiten im RAUS-Programm sind jedoch keine detaillierten Rückschlüsse auf die Verbreitung einzelner Haltungssysteme, das Flächenangebot, die Ausführung oder die zeitliche Nutzung von Laufhöfen möglich.

### Häufigste Situation Laufstall für Milchvieh

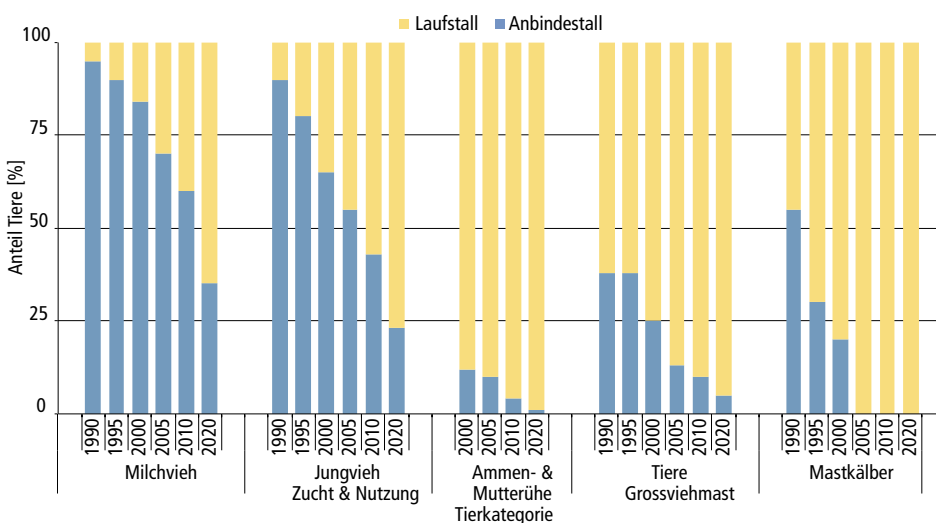
Die folgende Charakterisierung relevanter Laufstallsysteme betrifft die Haltung von Milchkühen, da diese in den letzten Jahren mit 64 bis 73 % der Grossvieheinheiten den Rindviehbestand dominierten. Differenzierte Angaben zur Verbreitung von baulichen und verfahrenstechnischen Details sowie von Managementaspekten lie-

ferte eine Expertenschätzung im Jahr 2006. Diese wurde in mehreren Schritten durchgeführt. Zunächst wurden für wichtige Parameter grobe Schätzwerte bestimmt. Diese Werte wurden dann Expertinnen und Experten der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART und des Bundesamtes für Veterinärwesen (BVET) zur Bestätigung oder Korrektur vorgelegt. In einem weiteren Schritt validierten Fachpersonen aus Stallbaufirmen und Beratungsorganisationen diese überarbeiteten Schätzwerte.

Gemäss der differenzierten Schätzung von Expertinnen und Experten sind Laufställe überwiegend als Eingebäudeställe konzipiert, nicht wärmegeklämt und freigelüftet (Abb. 2). Während bisher die Trauf-First-Lüftung (60 %) dominierte, gewinnen in Zukunft offenere Systeme mit First-, Quer- und Längslüftung an Bedeutung. Damit einher geht der Trend zu einem höheren Anteil von durchlässigen Wandausführungen (Windschutznetze, Spaceboards, Curtains) sowie offenen Fassaden. Etwa 85 % der Milchkühe im Laufstall werden in Liegeboxen gehalten, und etwa 90 % haben ständig oder zeitweise Zugang zu einem Laufhof. Integrierte Laufhöfe, angeordnet zwischen Liege- und Fressbereich, kommen seltener vor als Laufhöfe am Rand. Planbefestigte Laufflächen dominieren sowohl im Fress- und Liegebereich als auch im Laufhof. Die planbefestigten Laufflächen im Fress- respektive Liegebereich werden vorwiegend mit Schieberentmistungsanlagen (70 bzw. 60 %) mehrmals täglich entmistet. Wesentlich seltener erfolgt die Entmistung von planbefestigten Laufhöfen am Rand, meist mit manuellen oder mobilen Verfahren. Da die Ställe häufig nicht voll belegt sind, stehen 60 % aller Milch-

**Zusammenfassung**

Um die Datengrundlage für Ammoniakemissionen ( $\text{NH}_3$ ) aus der Rindviehhaltung zu verbessern, müssen die relevanten Haltungssysteme und ein geeignetes Messkonzept definiert werden. Statistiken und eine Expertenumfrage zeigten, dass der Anteil von Laufställen und Laufhöfen in der Schweiz von 5 % im Jahr 1990 auf rund 40 % im Jahr gestiegen ist. Als häufigste Situation bei Laufstallhaltung für Milchvieh benannten Expertinnen und Experten einen freigelüfteten Eingebäudestall mit Liegeboxen, planbefestigten Laufflächen und einem am Rand angeordneten Laufhof. Ein Messkonzept zur Quantifizierung von Emissionen muss so gestaltet sein, dass Emissionen von freibelüfteten Ställen und Laufhöfen erfasst werden, ohne die Tieraktivität oder das Stallklima zu beeinflussen. Die Tracer-Ratio-Methode ist für Messungen in freigelüfteten Ställen etabliert. Sie ermöglicht Echt-Zeit-Messungen unter Praxisbedingungen. Zur Ableitung von Emissionsfaktoren sind Messungen auf mehreren Praxisbetrieben notwendig. Die grosse klimatische Variation von Aussenklimaställen im Jahresverlauf kann durch systematisch übers Jahr verteilte Messungen erfasst werden. Messungen über jeweils 24 Stunden sowie eine hohe zeitliche Auflösung bilden Tagesverläufe oder kurzzeitige Ereignisse ab. Die Interpretation dieser Emissionsdaten bedingt schliesslich die Erfassung relevanter Begleitparameter mit Informationen zu den Tieren, zur Fütterung, Haltung und Laufflächenverschmutzung sowie zu Management und Klima.



**Abb. 1** | Verlauf der Anteile von Rindvieh in Anbinde- und Laufställen basierend auf Statistiken (Schweizerischer Bauernverband 1991–2008) und einer Expertenschätzung.

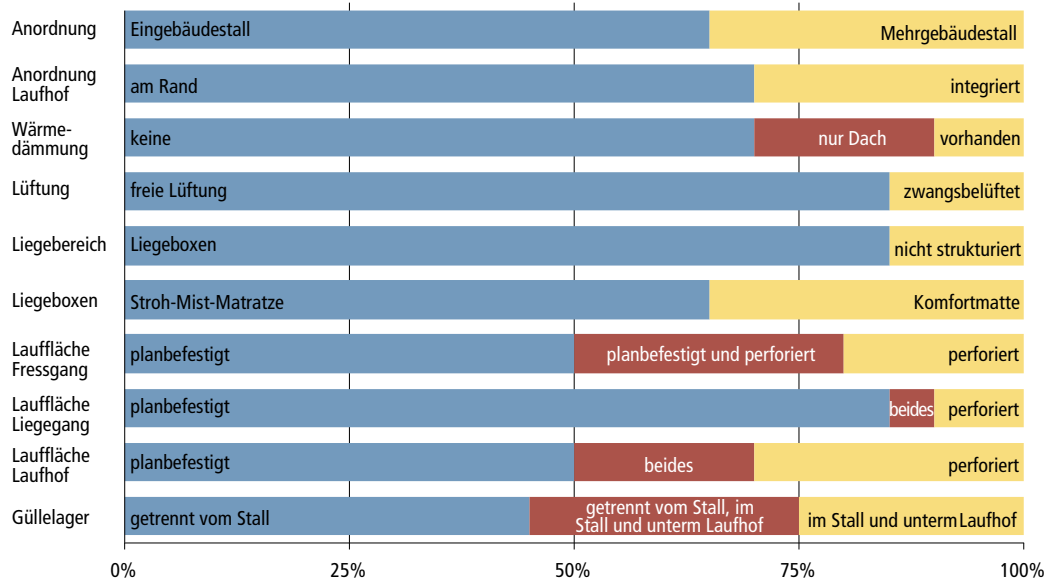


Abb. 2 | Verbreitung und Ausführung von Laufställen für Milchvieh in der Schweiz; Ergebnisse einer Expertenschätzung, angegeben als Median des relativen Anteils der Milchkühe [%].

kühe mehr als ein Kuhplatz zur Verfügung. Die Gesamtfläche entspricht bei 90 % der Betriebe mindestens den Anforderungen des RAUS-Programms.

### Messkonzept

#### NH<sub>3</sub>-Emissionsdaten für Milchviehhaltung

Die Literatur für NH<sub>3</sub>-Emissionen weist bei Laufställen ohne Laufhof eine grosse Streubreite auf und deckt die Jahreszeiten nicht systematisch ab. Häufig schmalern unterschiedliche Messkonzepte und Messmethoden sowie eine unzureichende Beschreibung der Messsituation die Datenqualität und erschweren die Vergleichbarkeit der Werte. Stallsysteme mit freier Lüftung und Laufhof waren bisher nicht untersucht. Die fehlenden Emissionsdaten bei freier Lüftung und von Flächenquellen sind im Wesentlichen auf Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Luftwechselrate zurückzuführen.

#### Methodenübersicht für freie Lüftung

Für die Quantifizierung von Emissionen aus Ställen sind verschiedene Ansätze aus der Literatur bekannt. Die Druckdifferenz-Methode und die Bestimmung des Luftvolumenstroms mit Messventilatoren in Abluftschächten eignen sich nur für Ställe mit Zwangslüftung (Mosquera et al. 2005). Methoden zur Quantifizierung von Emissionen oder des Luftvolumenstroms aus Haltungssystemen mit freier Lüftung unterscheiden sich im Messprinzip sowie in der Abgrenzung des erfassten Bereichs (Tab. 1). Kammertechniken sind kostengünstig, relativ einfach zu

handhaben und eignen sich für vergleichende Kurzzeitmessungen (Hensen et al. 2006). Eine direkte Übertragbarkeit der Werte auf den Praxismasstab ist nicht möglich, da lediglich Teilflächen beprobt werden können und mit dem Aufsetzen der Kammer in das System eingegriffen sowie die Tieraktivität ausgeschaltet wird (Greatorex 2000).

Die Kalkulation der Luftrate in freigelüfteten Ställen mit Bilanzmethoden (Wärme, Wasserdampf) ist nach Pedersen et al. (1998) lediglich bei wärmegeprägten Ställen in Situationen mit grossen Temperaturgradienten zwischen innen und aussen möglich. Für nicht wärmegeprägte Ställe kommt allenfalls die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung in Frage. Hauptschwierigkeit dabei ist jedoch, die vielfältigen Quellen (Tiere, verschmutzte Laufflächen, Liegeflächen, Futter usw.) und Senken zuverlässig zu erfassen (Scholtens und Van't Ooster 1994). Mit der Grösse der

Messkonzept	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Messungen für ein Haltungssystem auf mehreren Praxisbetrieben</li> <li>Untersuchungen in mehreren Jahreszeiten bzw. klimatischen Situationen</li> <li>Einzelmessungen über 24 Stunden, zeitlich hoch aufgelöst</li> <li>Erhebung relevanter Begleitparameter zeitlich abgestimmt auf Zielparameter</li> </ul>	
Messanordnung	Messmethoden
<ul style="list-style-type: none"> <li>Repräsentative Probenahme: hohe räumliche Auflösung, hohe Zeitanteile pro Messort</li> <li>Gaskonzentration und Luftvolumenstrom gleichzeitig erfassen</li> <li>Differenzierung von Stallbereich und Laufhof</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tracer-Ratio-Methode</li> <li>Grosser dynamischer Messbereich (5 ppb bis 20 ppm Ammoniak)</li> <li>Online (Quasi-kontinuierlich)</li> <li>Robuste Messtechnik, stalltauglich</li> <li>Schutz der Messeinrichtungen vor Tieren, Witterung und Schmutz</li> </ul>

Abb. 3 | Anforderungen an das Messkonzept, die Messanordnung und Messmethoden bei freigelüfteten Ställen mit Laufhof.

Stallöffnungen und somit der Luftaustauschrate nimmt auch die Ungenauigkeit zu. Für Haltungssysteme mit Laufhof sowie für Situationen ohne Tierbelegung eignen sich Bilanzmethoden nicht.

Mit mikrometeorologischen Methoden (Eddy-Korrelation, Eddy-Akkumulation, Gradientenmethode), Fencing und Rückwärtsmodellierung können Emissionen eines Gesamtsystems wie Stall mit Laufhof, Gülle- und Festmistlager bestimmt werden. Eine Differenzierung der Emissionen nach den einzelnen Bereichen ist jedoch nicht möglich. Bei einer Studie in den Niederlanden war insbesondere bei kleineren Betrieben zwischen modellierten und gemessenen Werten die Differenz mit bis zu einem Faktor drei enorm hoch (Hensen *et al.* 2006). Weiter schränken instabile Wetterlagen, geringe Windgeschwindigkeiten sowie die gegliederte Topographie die Anwendung dieser Methoden in der Schweiz stark ein (Flesch *et al.* 2005; Mosquera *et al.* 2005).

Die Tracer-Ratio-Methode ist ein etabliertes Verfahren zur Quantifizierung von Emissionen aus freigelüfteten Ställen sowie von Flächenquellen (Greatorex 2000;

Berry *et al.* 2005). Ein bekannter Massenstrom eines Tracergases wird im Gebäude bzw. an der emittierenden Quelle injiziert. Die Emission wird indirekt über den bekannten Massenstrom des zudosierten Tracergases und mit dem Konzentrationsverhältnis der Tracergase zum emittierenden Gas  $\text{NH}_3$  über das Massenerhaltungsgesetz berechnet. Grundvoraussetzung ist eine gute Abbildung der Emissionsquelle durch das Tracergas und ein vergleichbarer Transport von Tracergas und  $\text{NH}_3$  von der Emissionsquelle bis zum Probenahmeort.

### Messkonzept und Messanordnung

Für aussagekräftige Emissionswerte bei Haltungssystemen mit freier Lüftung zur Modellierung von Emissionsfaktoren gelten folgende konzeptionelle Anforderungen (verändert nach Schrade, 2009):

- Zur Ableitung von Emissionsfaktoren sind Messungen auf Praxisbetrieben notwendig. Ergebnisse aus Versuchen im Labor, im halbtechnischen Massstab, von Teilflächen sowie aus sauberen neuen Ställen oder Versuchsställen sind nicht auf das absolute Emissionsniveau unter Praxisbedingungen übertragbar. ➤

**Tab. 1 | Methodenübersicht zur Bestimmung der Emissionen bzw. des Luftvolumenstroms bei freier Lüftung und von Flächenquellen (verändert nach Schrade (2009))**

Methode	Abgrenzung, Prinzip	Bewertung
<b>Kammertechnik</b> Statische Kammer (Haube, <i>Closed Chamber</i> )  Dynamische Kammer (Windtunnel, <i>Flux Chamber</i> , <i>Open Dynamic Chamber</i> )	<b>Teilflächen</b> Kammer steht luftdicht auf emittierender Fläche; berechnen der Emission über Anstieg der Gaskonzentration bezogen auf Fläche  Luft wird mit definiertem Volumenstrom durch Kammer gesaugt; Emissionsberechnung aus Konzentrationsdifferenz zwischen eintretender und austretender Luft in Verbindung mit dem Luftdurchsatz	+ Kostengünstig + Einfache Handhabung - Eingriff in System - Beeinflussung der Tieraktivität - Nur Teilflächen ➔ Keine Übertragung auf Praxis und absolutes Emissionsniveau ➔ Nur kurzzeitige Vergleichsmessungen
<b>Bilanzierung</b> CO <sub>2</sub> -Bilanz Wasserdampfbilanz Wärmebilanz	<b>Stallgebäude</b> Berechnung des Luftvolumenstroms anhand des Konzentrationsgradienten von CO <sub>2</sub> , Wasserdampf oder Wärme in und ausserhalb des Stalls sowie deren theoretische Abgabe durch die Tiere unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen	+ Schnell einsetzbar + Kostengünstig - Wärmebilanz nur bei grosser Temperaturdifferenz zwischen innen und aussen möglich - Vollständige Erfassung aller Quellen und Senken erforderlich - Unzuverlässig ➔ Für Ställe mit grossen Öffnungen und Laufhof nicht geeignet
<b>Tracer-Ratio-Methode</b> Abklingmethode Konstante Konzentration Konstante Zudosierung	<b>Flächenquellen: Stall, Laufhof, Hofdüngerlager</b> Abbildung der Emissionsquelle anhand eines zudosierten Tracergases; Berechnung der Emission aus dem zudosierten Tracergas-Massenstrom und dem Konzentrationsverhältnis von Tracergas zu emittierendem Gas	+ Praxisbedingungen + Echt-Zeit-Messung + Nachvollziehbarkeit + Etabliert bei freier Lüftung - Kosten und Arbeitsaufwand hoch ➔ Geeignet für freigelüftete Stallssysteme mit Laufhof
<b>Rückwärtsmodellierung</b>  <b>Fencing</b>  <b>Mikrometeorologie</b> (Eddy-Korrelation, Eddy-Akkumulation, Gradientenmethode)	<b>Gesamtsystem: Stall, Laufhof, Hofdüngerlager</b> Messung der Konzentrationen bzw. Gradienten in definierten Distanzen bzw. der Abluftfahne; Berechnung der Quellstärke unter Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen	+ Praxismassstab + Rückwärtsmodellierung: kostengünstig - <i>Fencing</i> : teuer - Für gegliederte Topographie nicht geeignet - Stabile Wetterlagen und hohe Windgeschwindigkeiten nötig - Rückwärtsmodellierung erfordert Validierung - Keine Differenzierung der Bereiche Stall, Laufhof und Lagerung ➔ Nur bei hoher Quellstärke, stabiler Wetterlage, hohen Windgeschwindigkeiten und klarer Topographie möglich

- Von Messungen nur auf einem einzelnen Betrieb ist keine Übertragung der Emissionsdaten auf ein gesamtes Stallsystem möglich. Erst Messungen eines Stallsystems auf mehreren Betrieben ermöglichen belastbare Werte. Damit kann der Betriebseffekt zumindest aufgezeigt werden.
- Um die klimatische Variation in vom Aussenklima beeinflussten Ställen zu berücksichtigen, sind mehrere Messungen übers Jahr verteilt zwingend.
- Aufgrund tageszeitlicher Schwankungen der Emissionen durch Klima, Nutzung und Managementaktivitäten sollten Einzelmessungen stets mindestens 24 Stunden abdecken. Um Tagesverläufe, relevante Einflussgrößen oder die Wirkung von kurzzeitigen Ereignissen zu erfassen, ist eine hohe zeitliche Auflösung erwünscht.
- Für eine repräsentative Probenahme in Praxisställen mit grossen Flächen und Volumina ist eine hohe räumliche Auflösung der Probenahme erforderlich.
- Um Emissionen aus freigelüfteten Ställen mit dynamischer Luftströmung repräsentativ abzubilden, sind an jedem Probenahmeort möglichst hohe Zeitanteile zu erfassen. Dabei müssen Gaskonzentration und Luftvolumenstrom zeitgleich erfasst werden.
- Um einerseits tiefe  $\text{NH}_3$ -Konzentrationen bei beispielsweise tiefen Temperaturen oder starker Verdünnung und andererseits Ereignisse mit hohen Konzentrationen wie Entmistungsvorgänge zu erfassen, ist ein grosser dynamischer Messbereich notwendig.
- Da sich die Stallbereiche Stall und Laufhof deutlich hinsichtlich der Nutzung, der Verschmutzung, der klimatischen Bedingungen sowie des Emissionspotenzials unterscheiden, sich jedoch auch gegenseitig beeinflussen, ist eine Zuordnung der Emissionen zu Stallbereichen erwünscht.
- Weiter muss die Hintergrundkonzentration der Messparameter bestimmt werden.
- Zur Einordnung der Emissionswerte, als Bezugsgrößen und mit Blick auf Einflussgrößen auf die  $\text{NH}_3$ -Emission müssen relevante Begleitparameter wie Tierzahl, Fütterung, Management, Fläche, Klima, Nährstoffgehalte der Exkremate etc. erfasst werden.

## Schlussfolgerungen

Ausschlaggebend bei der Wahl der Messmethoden, des Messkonzepts und der Messanordnung ist unter anderem das zu untersuchende Haltungssystem sowie die Verwendung der Messergebnisse (Abb. 3). Zur Quantifizierung von  $\text{NH}_3$ -Emissionen beim derzeit meist gebauten Haltungssystem Laufstall mit freier Lüftung und Laufhof eignet sich die Tracer-Ratio-Methode. Mit Online-Analytik können zeitlich hochaufgelöst kurzzeitige Ereignisse und Tagesverläufe abgebildet werden. Messungen unter Stallbedingungen erfordern robuste und zuverlässige Messmethoden. Die Messeinrichtungen müssen vor Tieren und Schmutz geschützt werden. Eine repräsentative Erfassung der Emissionen in offenen Ställen erfordert aufgrund der Dynamik der Luftströmung eine geeignete räumliche Auflösung der Probenahmeorte mit jeweils hoher Messdauer. Zur Ableitung von  $\text{NH}_3$ -Emissionsfaktoren für ein Haltungssystem sind Untersuchungen auf mehreren Praxisbetrieben systematisch übers Jahr verteilt nötig. Zur Beschreibung und Interpretation der jeweiligen Messsituation müssen relevante Begleitparameter erhoben werden. Für eine bessere Vergleichbarkeit und Absicherung von Emissionsdaten ist es zudem wünschenswert, Messkonzepte und Messmethoden international abzustimmen. ■

Dieses Projekt wurde finanziell vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) unterstützt.

### Literatur

- Berry N. R., Zeyer K., Emmenegger L. & Keck M., 2005. Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung. Agroscope FAT Tänikon, Ettenhausen und Empa, Dübendorf, 108.
- Bundesamt für Landwirtschaft, 2010. Agrarbericht.
- Flesch T. K., Wilson J. D., Harper L. A. & Crenna B. P., 2005. Estimating gas emissions from a farm with an inverse-dispersion technique. *Atmospheric Environment* 39 (27), 4863–4874.
- Greatorex J. M., 2000. A review of methods for measuring methane, nitrous oxide and odour emissions from animal production activities. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, JTI-rapport Lantbruk & Industri 274, Uppsala, 30 S.
- Hensen A., Groot T. T., van den Bulk W. C. M., Vermeulen A. T., Oelsen J. E. & Schelde K., 2006. Dairy farm  $\text{CH}_4$  and  $\text{N}_2\text{O}$  emissions, from one square metre to the full farm scale. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112, 146–152.
- Mosquera J., Monteny G. J. & Erisman J. W., 2005. Overview and assessment of techniques to measure ammonia emissions from animal houses: the case of the Netherlands. *Environmental Pollution* 135, 381–388.
- Pedersen S., Takai H., Johnsen J. O., Metz J. H. M., Groot Koerkamp P. W. G., Uenk G. H., Phillips V. R., Holden M. R., Sneath R. W., Short J. L., White R. P., Hartung J., Seedorf J., Schröder M., Linkert K. H. & Wathes C. M., 1998. A comparison of three balance methods for calculating ventilation rates in livestock buildings. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70 (1), 25–37.

**Riassunto****Sistemi di detenzione e concetto di misurazione delle emissioni di ammoniaca in caso di ventilazione naturale**

Per migliorare i dati di base sulle emissioni di ammoniaca ( $\text{NH}_3$ ) riconducibili alla detenzione di bovini, è necessario definire i sistemi di detenzione rilevanti e un adeguato concetto di misurazione. Le statistiche e un sondaggio condotto tra gli esperti hanno dimostrato che in Svizzera la quota di aree di camminamento e di stalle a stabulazione libera è aumentata, dal 1990 ad oggi, dal 5 al 40 per cento. Quale situazione più frequente di detenzione a stabulazione libera per bestiame da latte, gli esperti hanno indicato la stalla, costituita da un unico edificio con ventilazione naturale, dotata di lettiera, di superfici di camminamento con rivestimento e di una corte limitrofa. Un concetto di misurazione per quantificare le emissioni va impostato in maniera da registrare le emissioni delle aree di camminamento e delle stalle a ventilazione naturale, senza interferire sull'attività degli animali o sul clima della stalla. Il tracer-ratio è il metodo che si è affermato per le misurazioni nelle stalle a ventilazione naturale. Esso consente di effettuare misurazioni in tempo reale e in condizioni analoghe a quelle che si riscontrano nella pratica. Per la definizione di coefficienti di emissione sono necessarie misurazioni in diverse aziende. La grande variazione climatica delle stalle con clima esterno nel corso dell'anno può essere rilevata attraverso misurazioni sistematiche. Delle misurazioni 24 ore su 24, nonché un'alta risoluzione temporale permettono di rappresentare sia l'andamento giornaliero, sia gli avvenimenti di breve durata. L'interpretazione di questi dati sulle emissioni richiede, in definitiva, la registrazione di parametri secondari rilevanti, con informazioni sugli animali, sul foraggiamento, sulla detenzione, sul grado di sporcizia delle superfici di camminamento nonché sulla gestione e sul clima.

**Summary****Housing systems and a concept to measure ammonia emissions in case of natural ventilation**

The relevant housing systems and a suitable measuring concept have to be defined in order to improve the data base for ammonia emissions ( $\text{NH}_3$ ) from cattle farming. Statistics and an expert survey show that the proportion of loose housing facilities and outdoor exercise areas in Switzerland increased from 5 % in 1990 to around 40 % in 2010. Experts identified the most common situation in dairy cattle loose housing as a naturally ventilated single-building stable with cubicles, solid floors and an outdoor exercise yard alongside. The design of a measuring concept to quantify emissions should represent emissions from naturally ventilated stables and outdoor exercise areas without influencing livestock activity or the stable climate. The tracer ratio method is established for measurements in naturally ventilated stables. This enables real-time measurements under practical conditions. To derive emission factors, measurements on several commercial farms are required. The great climatic variation in outdoor climate housing systems over the course of the year can be recorded by means of measurements spread systematically throughout the year. Measurements were taken over 24 hour periods as well as high temporal resolution map daily patterns and short-term events. The interpretation of these emission data requires to record relevant accompanying parameters with information on the animals, feeding, housing and traffic area soiling as well as on management and climate.

**Key words:** ammonia emissions, dairy cattle, natural ventilation, measuring concept, measuring methods.

- Scholtens R. & Van't Ooster A., 1994. Performance and accuracy of methods for measuring natural ventilation rates and ammonia emissions from naturally ventilated livestock houses. In: European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng). International Conference on Agricultural Engineering, 29 August to 01 September 1994.

- Schrade S., 2009. Ammoniak- und PM10-Emissionen im Laufstall für Milchvieh mit freier Lüftung und Laufhof anhand einer Tracer-Ratio-Methode. Dissertation, Christian-Albrechts-Universität, Kiel, 131 S.
- Schweizerischer Bauernverband 1991–2008: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Diverse Jahrgänge. Brugg.