

# Systèmes de détention et concept de mesure des émissions d'ammoniac en cas d'aération naturelle

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

<sup>1</sup>Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8356 Ettenhausen

<sup>2</sup>Empa, 8600 Dübendorf

Renseignements: Sabine Schrade, e-mail: sabine.schrade@art.admin.ch, tél. 052 368 33 33



Conditions les plus fréquentes de détention en stabulation libre des vaches laitières en Suisse: stabulation libre à logettes, avec aire d'exercice au sol non perforé et aire d'exercice extérieure en bordure. (Photo: ART)

## Introduction

Tant du point de vue de l'agriculture que de la politique environnementale, il est urgent de détenir des données actuelles sur les émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) provenant de l'élevage des vaches laitières. Ces données servent à comparer, évaluer et optimiser les systèmes de détention et à contribuer aux inventaires d'émissions. Pour en déduire des facteurs d'émissions et établir des calculs prévisionnels sur les émissions de  $\text{NH}_3$ , il est nécessaire de connaître la répartition actuelle des systèmes de détention ainsi que leurs émissions respectives. Afin d'améliorer la base de données sur les émissions de  $\text{NH}_3$ , il importe d'adapter le concept des mesure et les méthodes analytiques à de futurs systèmes de détention. En outre, pour assurer la qualité des données, le concept de mesure doit remplir les exigences qui permettront la déduction de facteurs d'émissions.

## Systèmes de détention des bovins

Les informations existantes sur la répartition des systèmes de détention sont insuffisantes. Diverses sources livrent des données ponctuelles certes, mais elles sont trop peu nuancées et parfois contradictoires, comme lorsque que le nombre d'animaux ne correspond pas au nombre de places dont ils disposent. Tout d'abord, une enquête externe a été réalisée auprès d'experts des Offices cantonaux, d'organisations de consultation, de différentes entreprises et associations. Ensuite, des experts de la Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART ont été interrogés et l'évolution de la stabulation entravée et de la stabulation libre a été déterminée pour chaque catégorie de bovins sur la base de ces résultats.

Bien que la détention entravée domine encore dans l'élevage des vaches laitières, la tendance est à la stabulation libre dans toutes les catégories de bovins (fig. 1). Des troupeaux de plus en plus grands, une meilleure organisation du travail, des avantages ergonomiques et la participation croissante aux deux programmes de garde des animaux «Systèmes de stabulation particulièrement respectueux des animaux» (SST) et «Sorties régulières des animaux de rente en plein air» (SRPA) renforcent cette évolution. En 2009, 34 % des unités de gros bétail participant au programme SST étaient des vaches laitières, ce chiffre atteignant 80 % pour le programme SRPA (Office fédéral de l'agriculture 2010). Toutefois, le nombre d'unités de gros bétail dans le programme SRPA ne permet pas de tirer des conclusions détaillées sur la répartition de chaque système de détention, ni sur la surface disponible, la réalisation ou la durée d'utilisation des aires d'exercice extérieures.

### Conditions les plus fréquentes de stabulation libre pour vaches laitières

La caractérisation suivante des systèmes de stabulation libre adéquats concerne la détention des vaches laitières, car ces systèmes ont dominé ces dernières années, avec 64 à 73 % des unités de gros bétail de l'effectif bovin.

Une estimation d'experts a fourni, en 2006, des données différenciées sur la répartition des détails liés à la construction et aux techniques utilisées ainsi que sur certains aspects de la gestion. Cette estimation a été réalisée en plusieurs étapes. Tout d'abord, des valeurs ont été estimées sommairement pour des paramètres importants. Puis elles ont été soumises à des experts de la Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART et de l'Office vétérinaire fédéral OVF. Dans une deuxième étape, des spécialistes en matière de construction d'étables et de consultation ont validé ces valeurs remaniées.

Selon l'estimation différenciée des experts, les stabulations libres sont principalement des étables à un seul bâtiment, non isolées thermiquement et aéré naturellement (fig. 2). Si l'aération entre la sablière et le faîte a dominé jusqu'à présent (60 %), les systèmes ouverts, avec ventilation faîtière, transversale ou longitudinale, gagneront en importance à l'avenir. D'où la tendance à installer une grande part de parois souples (filets brise-vent, bardages à claire-voies, rideaux) et de façades ouvertes. Quelque 85 % des vaches laitières en stabulation libre sont détenues dans les logettes, et quelque 90 % ont un accès permanent ou temporaire à une aire d'exercice extérieure. Les aires d'exercice intégrées disposées entre les cornadis et les logettes sont moins répandues que les aires d'exercice extérieures en bordure. Les aires d'exercice au sol non perforé dominent tant dans les aires d'affouragement et de repos que dans l'aire d'exercice extérieure. Dans les aires d'affouragement et de repos, les aires d'exercice au sol non perforé sont nettoyées plusieurs fois par jour à l'aide d'un racleur (respectivement 70 % et 60 %). Dans les aires d'exercice extérieures au sol non perforé situées en bor-

**Résumé** Afin d'améliorer la base de données concernant les émissions d'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) issues de la production bovine, il est nécessaire de définir des systèmes de détention et un concept de mesure d'émissions adéquats. Les statistiques et un sondage mené auprès d'experts montrent qu'en Suisse, les stabulations libres et les aires d'exercice extérieures ont passé de 5 % des systèmes de détention en 1990 à 40 % en 2010. Selon les experts, la stabulation libre des vaches laitières se présente le plus souvent sous la forme d'une étable à un seul bâtiment aéré naturellement, avec logettes, aires d'exercice au sol non perforé et une aire d'exercice extérieure en bordure. Un concept de mesure pour quantifier les émissions doit permettre de relever les émissions d'étables à aération naturelle et d'aires d'exercice extérieures sans influencer l'activité des animaux ou le climat de l'étable. La méthode Tracer-Ratio est établie pour effectuer des mesures dans les étables à aération naturelle. Elle permet de saisir des données en temps réel dans des conditions authentiques. Pour en déduire des facteurs d'émissions, il faut réaliser ces mesures dans plusieurs exploitations. La large variation climatique des étables ouvertes se définit en répartissant systématiquement les mesures sur l'année. Des mesures recouvrant chaque fois 24 heures, ainsi qu'une haute résolution temporelle, reflètent les variations au cours de la journée ou les occurrences de courte durée. Enfin, l'interprétation de ces données d'émissions nécessite le relevé de paramètres d'accompagnement adéquats contenant des informations sur les animaux, l'affouragement, la détention et la souillure des aires d'exercice, ainsi que sur la gestion et le climat.

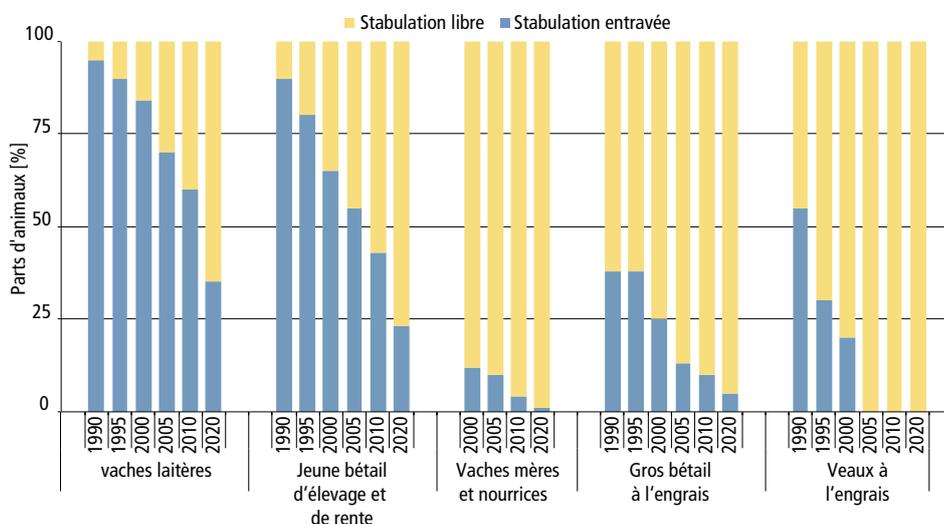


Figure 1 | Evolution de la proportion des bovins en stabulation entravée et en stabulation libre, sur la base des statistiques (Union Suisse des Paysans 1991–2008) et d'une estimation d'experts.

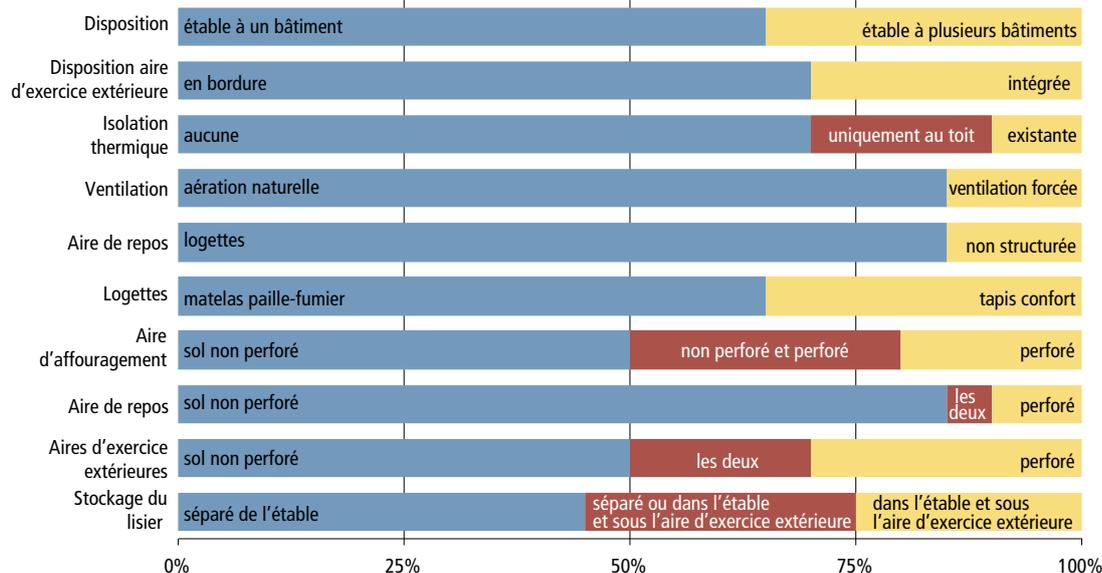


Figure 2 | Disposition et réalisation de stabulations libres pour vaches laitières en Suisse; résultats d'une estimation d'experts, indiqués en tant que médiane de la proportion relative de vaches laitières (%).

Le lisier est presque toujours évacué à l'aide de systèmes manuels ou mobiles. Comme les étables ne sont pas pleinement occupées, 60 % des vaches laitières disposent de plus d'une place. Dans 90 % des exploitations, la surface totale correspond tout au moins aux exigences du programme SRPA.

### Concept de mesure

#### Données sur les émissions de NH<sub>3</sub> pour l'élevage des vaches laitières

La littérature sur les émissions de NH<sub>3</sub> présente une large variabilité pour les stabulations libres sans aire d'exercice extérieure et elle ne couvre pas systématiquement les saisons. Les concepts et méthodes de mesure différents, ainsi que la description insuffisante des conditions de mesures réduisent la qualité des données et rendent les valeurs difficilement comparables. Les systèmes de détention avec aération naturelle et aire d'exercice extérieure n'ont pas encore été étudiés. Le manque de données sur les émissions en cas d'aération naturelle et sur des surfaces de sources diffuses est principalement dû aux difficultés de déterminer les taux de renouvellement d'air.

#### Aperçu des méthodes liées à l'aération naturelle

La quantification des émissions issues des étables passe par diverses approches citées dans la littérature. La méthode de différence de pression et la détermination du débit volumétrique d'air avec ventilateurs de mesure dans des cheminées d'aération ne conviennent que pour les étables à ventilation forcée (Mosquera et al. 2005).

Les méthodes de quantification des émissions ou du débit volumétrique d'air provenant des systèmes de détention avec aération naturelle se distinguent dans le principe de mesure et dans la délimitation du secteur de mesure (tabl. 1).

Les mesures par chambre à flux sont avantageuses, relativement faciles à appliquer et se prêtent aux mesures comparatives de courte durée (Hensen et al. 2006). Mais dans la pratique les valeurs ne sont pas nécessairement représentatives, car on ne peut tester que des surfaces partielles. En outre, la pose des chambres influence le système et interrompt l'activité des animaux (Greatorex 2000).

Dans les étables à aération naturelle, le calcul des taux d'air à l'aide de méthodes basées sur le bilan (chaleur, vapeur d'eau) n'est réalisable, selon Pedersen et al. (1998), que dans les étables isolées thermiquement avec

Concept de mesure		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mesures pour un système de détention dans plusieurs exploitations</li> <li>Analyses durant plusieurs saisons et dans différentes conditions climatiques</li> <li>Mesures effectuées sur 24 heures, haute résolution temporelle</li> <li>Relevé d'importants paramètres d'accompagnement adaptés aux paramètres-cibles</li> </ul>		
Disposition des mesures	Méthodes de mesure	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Echantillon représentatif: haute résolution spatiale, nombreuses tranches temporelles par lieu d'échantillonnage</li> <li>Concentration de gaz et débit volumétrique d'air relevés simultanément</li> <li>Distinction entre les étables et les aires d'exercice</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Méthode Tracer-Ratio</li> <li>Large plage dynamique de mesures (de 5 ppb à 20 ppm d'ammoniac)</li> <li>En ligne (presque constamment)</li> <li>Technique de mesure robuste et applicable dans l'étable</li> <li>Protection des installations de mesure contre les animaux, les intempéries et la saleté</li> </ul>	

Figure 3 | Exigences que doivent remplir le concept de mesure, la disposition des mesures et les méthodes pour les stabulations à aération naturelle avec aire d'exercice extérieure.

un large gradient thermique entre l'intérieur et l'extérieur. Pour les étables non isolées thermiquement, le bilan CO<sub>2</sub> peut éventuellement entrer en considération. Mais la principale difficulté réside dans le relevé des diverses sources (animaux, aires d'exercice souillées, aires de repos, fourrage, etc.) et puits (Scholtens et Van't Ooster 1994). Plus les ouvertures de l'étable sont grandes et donc aussi les taux d'échange d'air, plus l'imprécision est importante. Les méthodes basées sur le bilan ne conviennent pas pour les systèmes de détention avec aire d'exercice extérieure ni pour les étables inoccupées. Les méthodes micro-météorologiques (Eddy corrélation, Eddy accumulation, méthode de gradients), les méthodes *Fencing* et la rétro-modélisation permettent de déterminer les émissions d'un système global, comme une étable avec aire d'exercice extérieure, stockage du lisier et du fumier solide. Mais les émissions ne peuvent être différenciées par secteur. Dans une étude réalisée aux Pays-Bas, la différence entre les valeurs mesurées et les valeurs modélisées était énorme (jusqu'à un facteur trois), notamment dans les petites exploitations (Hensen et al. 2006). En outre, des conditions météorologiques ins-

tables, des vents faibles et une topographie irrégulière limitent sérieusement l'application de ces méthodes en Suisse (Flesch et al. 2005; Mosquera et al. 2005).

La méthode Tracer-Ratio est établie pour quantifier les émissions diffuses provenant des différentes surfaces d'étables à aération naturelle (Greatorex 2000; Berry et al. 2005). Un débit massique connu d'un gaz traceur est injecté dans le bâtiment ou à la source d'émission. Les émissions sont ensuite calculées indirectement à l'aide de la concentration du gaz traceur et de la loi de la conservation de masse. Il est indispensable que la source d'émission soit bien représentée par le gaz traceur et que sa répartition, de la source d'émission au lieu d'échantillonnage, soit comparable à celui du NH<sub>3</sub>.

### Concept et disposition des mesures

Afin d'obtenir des valeurs d'émissions significatives pour modéliser les facteurs d'émission dans les systèmes de détention à aération naturelle, le concept de mesure doit répondre aux exigences suivantes (modifié selon Schrade, 2009):

**Tableau 1 | Aperçu des méthodes de détermination des émissions et du débit volumétrique d'air pour aération naturelle et sources diffuses (modifié selon Schrade 2009)**

Méthode	Délimitation, principe	Evaluation
<b>Technique des chambres à flux</b> chambre statique <i>(closed chamber)</i>  Chambre dynamique (tunnel aérodynamique, <i>dynamic chamber</i> )	<b>Surfaces partielles</b> Chambre posée hermétiquement sur la surface émettrice; émission calculée basée sur l'augmentation de la concentration de gaz et mis en rapport à la surface  Air aspiré à travers la chambre avec un débit volumétrique défini. Calcul d'émission sur la base de la différence de concentration entre l'air entrant et sortant et du débit.	+ Technique peu coûteuse + Facile à appliquer – Atteinte au système – Influence de l'activité des animaux – Uniquement surfaces partielles ➔ Pas applicable dans la pratique et n'indique pas le niveau d'émission absolu ➔ Uniquement mesures comparatives de courte durée
<b>Bilan</b> Bilan de CO <sub>2</sub> Bilan de vapeur d'eau Bilan thermique	<b>Etables</b> Calcul du débit volumétrique d'air à l'aide du gradient de concentration de CO <sub>2</sub> , vapeur d'eau ou chaleur à l'intérieur et à l'extérieur de l'étable ainsi que leur dégagement théorique par les animaux, compte tenu des conditions climatiques	+ Rapidement utilisable + Peu coûteux – Bilan thermique uniquement réalisable lors de grandes différences de température entre l'intérieur et l'extérieur – Exige un relevé complet de toutes les sources et de tous les puits – Non fiable ➔ Non applicable pour les étables avec de grandes ouvertures ni pour les aires d'exercice extérieures
<b>Méthode Tracer-Ratio</b> Dosage d'affaiblissement Concentration constante Dosage constant	<b>Sources diffuses: étable, aire d'exercice extérieure, stock d'engrais de ferme</b> Source d'émission représentée à l'aide d'ajouts dosés de gaz traceurs; calcul des émissions provenant du débit massique de gaz traceurs soumis à des ajouts dosés et du rapport entre la concentration des gaz traceurs et des gaz émis	+ Conditions dans la pratique + Mesures en temps réel + Applicable + Établie par aération naturelle – Coûts et somme de travail élevés ➔ Se prête aux systèmes de stabulation à aération naturelle avec aire d'exercice extérieure
<b>Rétro-modélisation</b>  <i>Fencing</i>  <b>Micrométéorologie</b> (Eddy corrélation, Eddy accumulation, méthode de gradients)	<b>Système global: étable, aire d'exercice extérieure, stock d'engrais de ferme</b> Mesure des concentrations ou des gradients en aval de la source et détermination du niveau d'émissions en tenant compte des conditions météorologiques	+ Echelle utilisée dans la pratique + Rétro-modélisation: peu coûteuse – <i>Fencing</i> : méthode coûteuse – Non appropriée à une topographie irrégulière – Temps stable et vitesses de vent élevées nécessaires – La rétro-modélisation exige une validation – Pas de distinction entre l'étable, l'aire d'exercice extérieure et le lieu de stockage ➔ Seulement applicable pour des sources de forte intensité, des vitesses de vent élevées et une topographie claire

- Pour procéder à la déduction des facteurs d'émissions, il est nécessaire d'effectuer des mesures dans des exploitations. Les résultats d'essais en laboratoire, à l'échelle semi-industrielle, sur des surfaces partielles ou à partir de nouvelles étables propres ou d'étables-tests, ne sont pas applicables au niveau absolu d'émissions dans des conditions réelles.
- Les données d'émissions provenant de mesures réalisées dans une seule exploitation ne peuvent être appliquées à un système de stabulation global. Seules les mesures d'un tel système relevées dans plusieurs exploitations peuvent fournir des valeurs tolérables ou démontrer tout au moins l'effet de l'exploitation.
- Pour tenir compte des variations climatiques d'étables influencées par le climat extérieur, il est indispensable de répartir plusieurs mesures sur l'année.
- Etant donné qu'au cours du jour, les émissions varient en fonction du climat, de l'utilisation et des activités de management, les mesures doivent couvrir 24 heures au moins. Une haute résolution temporelle est souhaitable pour relever les variations durant la journée, ainsi que les importantes variables d'influence ou l'effet des occurrences de courte durée.
- Pour obtenir un échantillonnage représentatif des étables de grande superficie et de gros volume, une haute résolution spatiale est indispensable.
- Pour obtenir des données représentatives sur les émissions provenant d'étables à aération naturelle, avec un débit d'air dynamique, il s'agit de relever le plus grand nombre possible de tranches temporelles à chaque lieu d'échantillonnage en mesurant simultanément les concentrations de gaz et les débits volumétriques d'air.
- Une large plage dynamique de mesures est nécessaire pour relever les faibles concentrations de  $\text{NH}_3$ , par exemple en cas de basses températures ou de fortes dilutions, ainsi que les concentrations élevées, comme pendant l'évacuation du fumier.
- Comme l'utilisation, les salissures, les conditions climatiques et le potentiel d'émissions ne sont pas les mêmes dans l'étable que dans l'aire d'exercice extérieure, mais que ces facteurs s'influencent réciproquement, il est souhaitable de différencier les émissions de ces secteurs.
- Il faut en outre déterminer la concentration de fond des paramètres de mesure.
- Pour classer les valeurs d'émissions afin qu'elles servent de référence et de variable d'influence sur les émissions de  $\text{NH}_3$ , il est nécessaire de relever les paramètres d'accompagnement importants, comme le nombre d'animaux, l'affouragement, la gestion, la surface, le climat, ou les teneurs en éléments nutritifs des excréments.

## Conclusions

Le système de détention à examiner et l'utilisation des résultats des mesures, entre autres, sont des facteurs déterminants lors du choix des méthodes, du concept et de la disposition des mesures (fig. 3). La méthode Tracer-Ratio se prête à la quantification des émissions de  $\text{NH}_3$  provenant des systèmes de détention généralement construits actuellement, soit la stabulation libre à aération naturelle avec aire d'exercice extérieure. L'analytique en ligne permet de représenter, avec une haute résolution temporelle, les occurrences de courte durée et les variations au cours du jour. Les mesures dans des conditions de stabulation exigent des méthodes robustes et fiables. Les installations de mesure doivent être protégées contre les animaux et la saleté. Un recensement représentatif des émissions dans les étables ouvertes nécessite une résolution spatiale adéquate des lieux d'échantillonnage ainsi que des mesures de longue durée, en raison de la dynamique du débit d'air. Pour procéder à la déduction des facteurs d'émissions de  $\text{NH}_3$  pour un système de détention, il est nécessaire de répartir systématiquement sur l'année les mesures de plusieurs exploitations. La description et l'interprétation des conditions lors de la campagne de mesure impliquent la saisie de paramètres d'accompagnement adéquats. Afin d'améliorer la comparabilité et la validation des données d'émissions, les concepts et méthodes de mesure devraient être adaptés au niveau international. ■

### Remerciements

Ce projet a été cofinancé par l'Office fédéral de l'environnement OFEV.

### Bibliographie

- 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 Mast Schweinehaltung. *Agrroscope FAT Tänikon, Ettenhausen und Empa, Dübendorf*, 108 p.
- 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 p.
- 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.

## 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 sporczia delle superfici di camminamento nonché sulla gestione e sul clima.

- 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.
- Office fédéral de l'agriculture, 2010. Rapport agricole 2010.
- 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.

## 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, VDI-MEG 483.
- Schweizerischer Bauernverband 1991–2008: Statistische Erhebungen und Schätzungen über Landwirtschaft und Ernährung. Diverse Jahrgänge. Brugg.