

# Emissionen von Ammoniak und PM10 aus der Schweinemast im Vergleich zwischen Haltungssystemen

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

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

<sup>2)</sup> Empa, CH-8600 Dübendorf

## Zusammenfassung

Die Emissionen von Ammoniak NH<sub>3</sub> und Feinstaub PM10 in der Schweinemast wurden zwischen traditionellen Stallsystemen wie Teilspalten- und Vollspaltenboden mit Trocken- bzw. Flüssigfütterung sowie einem Mehrflächensystem mit Auslauf verglichen. Bei Flüssigfütterung war die NH<sub>3</sub>-Emission tendenziell höher und die PM10-Emission tendenziell tiefer als bei Trockenfütterung. Signifikante Einflussgrößen auf die NH<sub>3</sub>-Emission in traditionellen Stallsystemen waren die Lebendmasse der Tiere sowie die Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Zuluft. Zu den Einflussgrößen auf die PM10-Emissionen zählten die Lebendmasse der Tiere, die Temperatur der Zuluft, der Ammonium-Stickstoff-Gehalt der Gülle, der Anteil der nassen Bodenfläche und die relative Luftfeuchtigkeit in der Abluft. Zur Quantifizierung der Emissionen vom Auslauf wurde eine Tracer-Ratio-Methode mit Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub> entwickelt. Im Mehrflächensystem mit eingestreutem Liegebereich, Auslauf und Flüssigfütterung resultierte eine Bandbreite zwischen hohen Emissionswerten im Sommer von 1391–2928 mg NH<sub>3</sub>/Tier·Stunde sowie 41–68 mg PM10/Tier·Stunde, und tiefen Emissionswerten im Winter von 134–600 g NH<sub>3</sub>/Tier·Stunde sowie 11–38 mg PM10/Tier·Stunde. Im Sommer dominierte der Auslauf gegenüber dem Liegebereich mit einem Anteil von mehr als 85 % an der gesamten NH<sub>3</sub>- und PM10-Emission. Durch die vermehrte Teilnahme im Ethoprogramm «Regelmässiger Auslauf im Freien» RAUS und bei Labelprogrammen nehmen die NH<sub>3</sub>- und PM10-Emissionen in der Schweiz in der Schweinehaltung zu.

## Summary

Ammonia (NH<sub>3</sub>) and particulate matter (PM10) emissions from traditional growing/finishing pig housing systems with e.g. partially and fully-slatted flooring and either dry-meal or liquid fodder were compared with emissions from a multi-surface system with an outdoor exercise yard. NH<sub>3</sub> emissions tended to be higher and PM10 emissions lower with liquid as opposed to dry feeding. The live weight of the animals as well as the temperature and relative humidity of the supply air were among the variables significantly influencing NH<sub>3</sub> emissions in traditional housing systems. PM10 emissions were influenced by the live weight of the animals, supply-air temperature, ammonium/nitrogen content of the liquid manure, proportion of damp floor area, and relative humidity of the exhaust air. ART and Empa developed a tracer ratio method with

SF<sub>6</sub> to quantify the emissions from the outdoor exercise yard. The multi-surface system with littered lying area, outdoor exercise yard and liquid feeding yielded a range between high emissions in the summer of 1391–2928 mg NH<sub>3</sub>/animal·hour and 41–68 mg PM10/animal·hour and low emissions in the winter of 134–600 g NH<sub>3</sub>/animal·hour and 11–38 mg PM10/animal·hour. In summer, emissions from the outdoor exercise yard far exceeded those of the lying area, accounting for more than 85 % of total NH<sub>3</sub> and PM10 emissions. Increased participation in the RAUS ('regular outdoor exercise') animal husbandry programme and the label programmes has brought about an increase in NH<sub>3</sub> and PM10 emissions in pig husbandry in Switzerland.

## Einleitung

Verstärkt finden in der Schweinehaltung in der Schweiz «Besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme» BTS und «Regelmässiger Auslauf im Freien» RAUS mit mittlerweile einem Anteil von 64 bzw. 61 % der Grossvieheinheiten Verbreitung (BLW 2008). Während früher geschlossene Stallsysteme mit Zwangslüftung dominierten, werden heute überwiegend Mehrflächensysteme mit Auslauf, sogenannte Labelställe, mit grösseren Flächen gebaut. Die grösseren mit Kot und Harn verschmutzten Flächen können zu höheren Ammoniakemissionen (NH<sub>3</sub>) führen.

Neben dem Verlust als Dünger tragen NH<sub>3</sub>-Emissionen zum unerwünschten Stickstoff-Eintrag in naturnahe Ökosysteme bei. In der Schweiz werden die NH<sub>3</sub>-Emissionen auf ca. 43 000 t pro Jahr geschätzt (Reidy und Menzi 2005). Um die Eintragswerte, sogenannte Critical Loads, einzuhalten, müssen die NH<sub>3</sub>-Emissionen um etwa die Hälfte reduziert werden (BAFU und BLW 2008). Weiter ist NH<sub>3</sub> ein Vorläufer bei der Entstehung von sekundären Partikeln. Diese Partikel können zu Atemwegs- und Herz-Kreislaufkrankungen führen. Zu den Staubquellen aus der Tierhaltung zählen: Futter, Einstreu, Haut- und Fellbestandteile sowie Ausscheidungen von Kot und Harn. Relevant sind dabei die jeweiligen Haltungs-, Fütterungs-, Einstreu-, Entmistungs-, Lüftungsverfahren, die Tierbetreuung und die Tieraktivität. Die Eindringtiefe in den menschlichen Atmungsapparat hängt stark von der Partikelgrösse ab. Dies widerspiegelt sich in verschiedenen Begriffen und analytischen Methoden. Das hier verwendete Particulate Matter PM10 (Feinstaub) soll das Abscheideverhalten der oberen Atemwege abbilden, was dadurch erreicht wird, dass durch Wägung jene Partikel bestimmt werden, die einen Einfluss

mit einer 50 % Abscheideeffizienz bei einem aerodynamischen Durchmesser von 10 µm passieren (BAFU 2006).

Die Emissionen von Ammoniak NH<sub>3</sub> und Feinstaub PM10 in der Schweinemast wurden zwischen traditionellen Stallsystemen wie Teil- und Vollspaltenboden mit Trocken- bzw. Flüssigfütterung sowie einem Mehrflächensystem mit Auslauf verglichen (Berry *et al.* 2005).

## Tiere, Material und Methoden

Zu den traditionellen Stallsystemen mit Zwangslüftung zählten ein Stall mit Vollspaltenboden und zwei Stallabteile mit Teilspaltenboden mit Flächen von 0,7 bzw. 1,0 m<sup>2</sup> pro Mastschwein (Tab. 1). Eine praxisübliche Futtermischung wurde zweimal täglich im Trog als Flüssigfutter vorgelegt. Bei Teilspaltenboden wurde zusätzlich und zeitgleich in einem angrenzenden, jedoch räumlich getrenn-

Bei dem neuen Stallsystem handelte es sich um einen Labelstall als Mehrflächensystem mit eingestreutem Liegebereich und Zwangslüftung sowie einem Auslauf mit Flächen von 1,7–1,8 m<sup>2</sup> pro Mastschwein (Tab. 1). Dem geschlossen ausgeführten, eingestreuten Liegebereich schloss sich ein gedeckter Auslauf mit Trögen für die Flüssigfütterung und ein nicht gedeckter Auslauf an. Der Auslauf war in einer Bucht planbefestigt, in einer zweiten Bucht zur Hälfte perforiert. Emissionsmessungen erfolgten in der Endmast während sechs bzw. sieben jeweils aufeinanderfolgenden Tagen, in einer sehr heißen Woche im Sommer und zwei sehr kalten Wochen im Winter. Im Auslauf variierten die Temperaturen zwischen 19 und 40 °C im Sommer und zwischen –11 und 14 °C im Winter.

Bei den zwangsbelüfteten Systemen kamen zur Quantifizierung des Luftvolumenstroms Messventilatoren zum Einsatz. Die Bestimmung von NH<sub>3</sub> erfolgte mittels anreichen-

**Tab. 1: Übersicht zu den untersuchten Haltungsverfahren, zum Tierbestand, zur Fütterung und zu Klimaparametern**

Stallsystem	Traditionell – Zwangslüftung			Labelstall
	Vollperforiert 0,7	Teilperforiert 1,0		Mehrflächensystem mit Auslauf 1,7–1,8
Fläche pro Tier [m <sup>2</sup> ]				
<b>Tiere Anzahl</b>	90/89	14	18	80/74
Ø Lebendmasse [kg]				
Sommer	65	35/61/98	34/59/92	78/84
Winter	80	25/48/84	26/50/86	92/101
<b>Fütterung</b>	Flüssig	Flüssig	Trocken	Flüssig
Energie [MJ/kg TS]	13,2	13,6	13,6	13,2
Rohprotein [g/kg TS]	207/194	194–205	194–205	201/227
<b>Temperatur [°C] Tagesmittelwert</b>				
Stunden-Mittel (Min.-Max.)				
Sommer	26,1 (22,8–31,2)	19,8–25,6 (15,7–30,2)	20,1–25,4 (15,2–30,6)	Liegebereich 26,5 (21,8–31,4) Auslauf 27,5 (19,4–40,1)
Winter	19,9 (19,2–21,0)	14,5–18,5 (12,9–20,5)	16,8–19,9 (15,2–22,6)	Liegebereich 14,4 (10,6–17,0) Auslauf -4,5 (-10,9–13,7)

ten Stallabteil mit Trockenfutterautomaten gefüttert. Der analysierte Rohproteingehalt der Ration variierte zwischen 207 g/kg TS in der Vormast und 194 g/kg TS in der Endmast, und war damit höher als die Deklaration des Futters von 175 g/kg TS. Zur Beschäftigung für die Schweine kamen beim Vollspaltenstall Strohpresswürfel und im Teilspaltenstall geschnittenes Stroh zum Einsatz. Die Emissionsmessungen erfolgten während jeweils vier aufeinanderfolgenden Tagen in der Sommer- und Winterzeit, bei Teilspaltenboden jeweils in der Vor-, Mittel- und Endmast. Die Zuluft strömte über einen Rieselkanal in den Stall, die Abluft wurde über eine Unterdrucklüftung oberflur abgesaugt. Die mittlere Ablufttemperatur variierte zwischen 19,8 und 26,1 °C im Sommer und zwischen 14,5 und 19,9 °C im Winter.

der Probenahme in Schwefelsäure (Impinger) und mittels kontinuierlicher Bestimmung mit einem Fourier-Transform-Infrarotspektrometer (FTIR). Für die anreichernde Emissionsmessung von PM10 wurden Impaktoren verwendet.

Zur Quantifizierung der Emissionen vom Auslauf wurde eine Tracer-Ratio-Methode mit Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub> entwickelt. Kontinuierlich wurde eine bekannte Menge des stark verdünnten Tracergases über einen Massenflussregler mit kritischen Kapillaren im Auslauf direkt an der emittierenden Oberfläche zudosiert. An jeweils sechs Punkten pro Bucht wurden in 1,3 m über Boden Luftproben während jeweils 24 Stunden in Tedlarbags gesammelt und anschließend mit einem Gaschromatographen mit ECD-Detektor analysiert.

## Ergebnisse bei traditionellen Stallsystemen

Zur statistischen Auswertung der Emissionen bei den beiden Fütterungsvarianten diente ein Modell mit gemischten Effekten. Fütterung, Mastabschnitte und Jahreszeiten waren fixe Effekte mit Interaktionen. Die  $\text{NH}_3$ - bzw.  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen waren beim Teilspaltenboden im Sommer signifikant höher als im Winter: Sommer 413 mg  $\text{NH}_3$ /Tier·Stunde gegenüber im Winter 109 mg; 19 mg  $\text{PM}_{10}$ /Tier·Stunde gegenüber 11 mg (Abb. 1 und Abb. 2). Die  $\text{NH}_3$ -Emissionen pro Tier stiegen von der Vor- und Mittelmast zur Endmast hin stark an. Bei  $\text{PM}_{10}$  ergab sich im Verlauf der Mastabschnitte ein linearer Anstieg. Bei Flüssigfütterung war die  $\text{NH}_3$ -Emission tendenziell höher, die  $\text{PM}_{10}$ -Emission tendenziell tiefer als bei Trockenfütterung. Der Verschmutzungsgrad der Tiere und die verschmutzte Bodenoberfläche waren bei Flüssigfütterung grösser. Diese Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant.

Mit Vollspaltenboden wurde nur eine Mittelmast im Sommer und eine Endmast im Winter untersucht (Abb. 1, Abb. 2). Der Anstieg zwischen diesen Situationen kann deshalb nicht klar dem Mastabschnitt zugeordnet werden.

Als relevante positive Einflussgrößen auf die  $\text{NH}_3$ -Emission in traditionellen Stallsystemen waren bei einer schrittweisen multiplen Regression die Lebendmasse der Tiere, die Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Zuluft signifikant (p-Wert 0,0002, Korrelation des Modells 0,89). Zu den relevanten Einflussgrößen auf die  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen zählten wiederum die Lebendmasse der Tiere und die Temperatur der Zuluft. Einen reduzierenden Einfluss auf die  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen hatten der Ammoniumstickstoff-Gehalt der Gülle, der Anteil der nassen Bodenfläche und die relative Luftfeuchtigkeit in der Abluft (p-Wert 0,0027, Korrelation 0,90).

## Ergebnisse im Mehrflächenstall mit Auslauf

Im Maststall mit eingestreutem Liegebereich, Auslauf und Flüssigfütterung resultierte eine Bandbreite zwischen hohen Emissionswerten im Sommer von 1391–2928 mg

$\text{NH}_3$ /Tier·Stunde sowie 41–68 mg  $\text{PM}_{10}$ /Tier·Stunde und tiefen Emissionswerten im Winter von 134–600 g  $\text{NH}_3$ /Tier·Stunde sowie 11–38 mg  $\text{PM}_{10}$ /Tier·Stunde (Abb. 3). Im Sommer dominierte der Auslauf gegenüber dem Liegebereich mit einem Anteil von mehr als 85 % an den gesamten  $\text{NH}_3$ - und  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen (Median). Im Winter machte der Auslauf etwa 18 bzw. 16 % der  $\text{NH}_3$ - bzw.  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen aus. Beim Vergleich mit dem traditionellen Stall mit

Abb. 1: Vergleich der  $\text{NH}_3$ -Emission in mg/Tier·Stunde zwischen Teil- (TS) und Vollspaltenboden (VS), Trocken- bzw. Flüssigfütterung in der Vor- (VM), Mittel- (MM) und Endmast (EM) während der Sommer- und Wintermessung als Tagesmittelwerte.

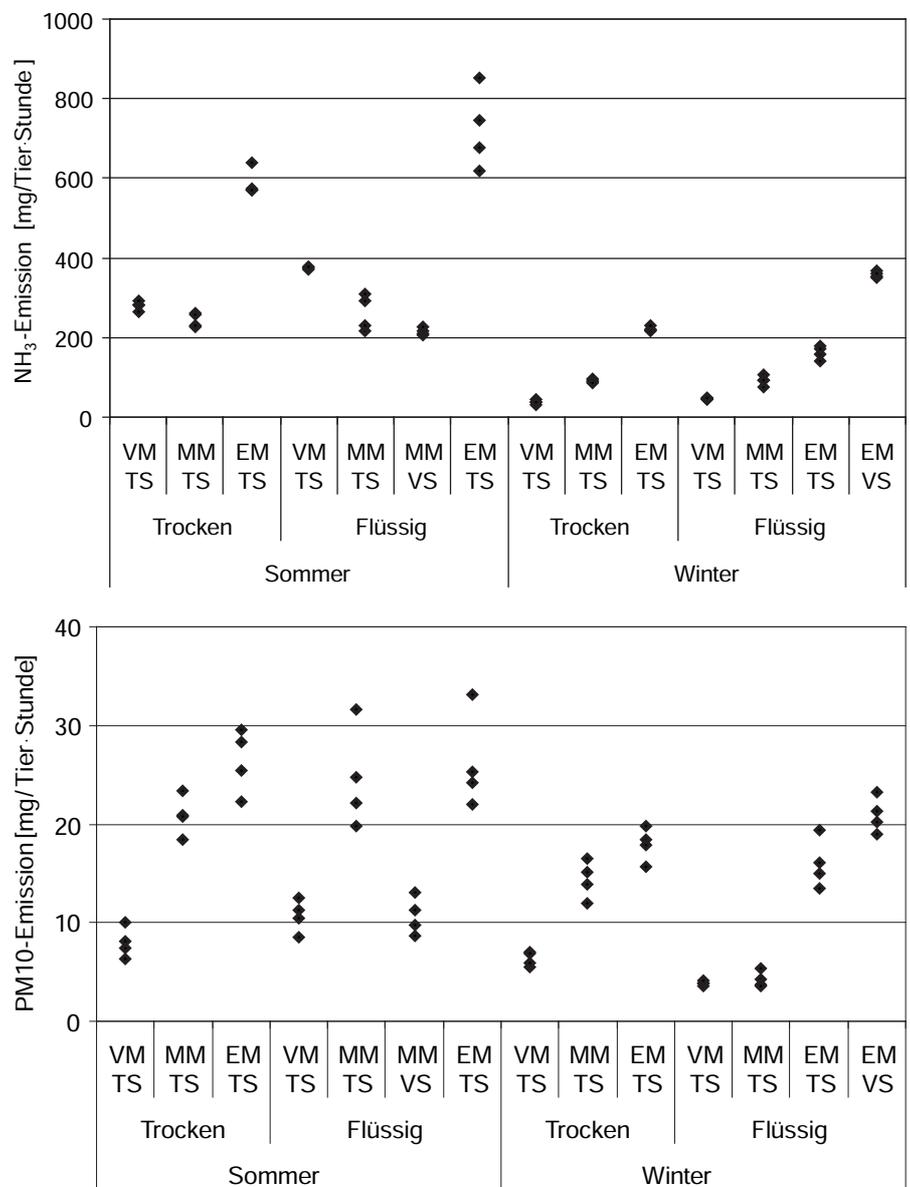


Abb. 2: Vergleich der  $\text{PM}_{10}$ -Emission in mg/Tier·Stunde zwischen Teil- (TS) und Vollspaltenboden (VS), Trocken- bzw. Flüssigfütterung in der Vor- (VM), Mittel- (MM) und Endmast (EM) während der Sommer- und Wintermessung als Tagesmittelwerte.

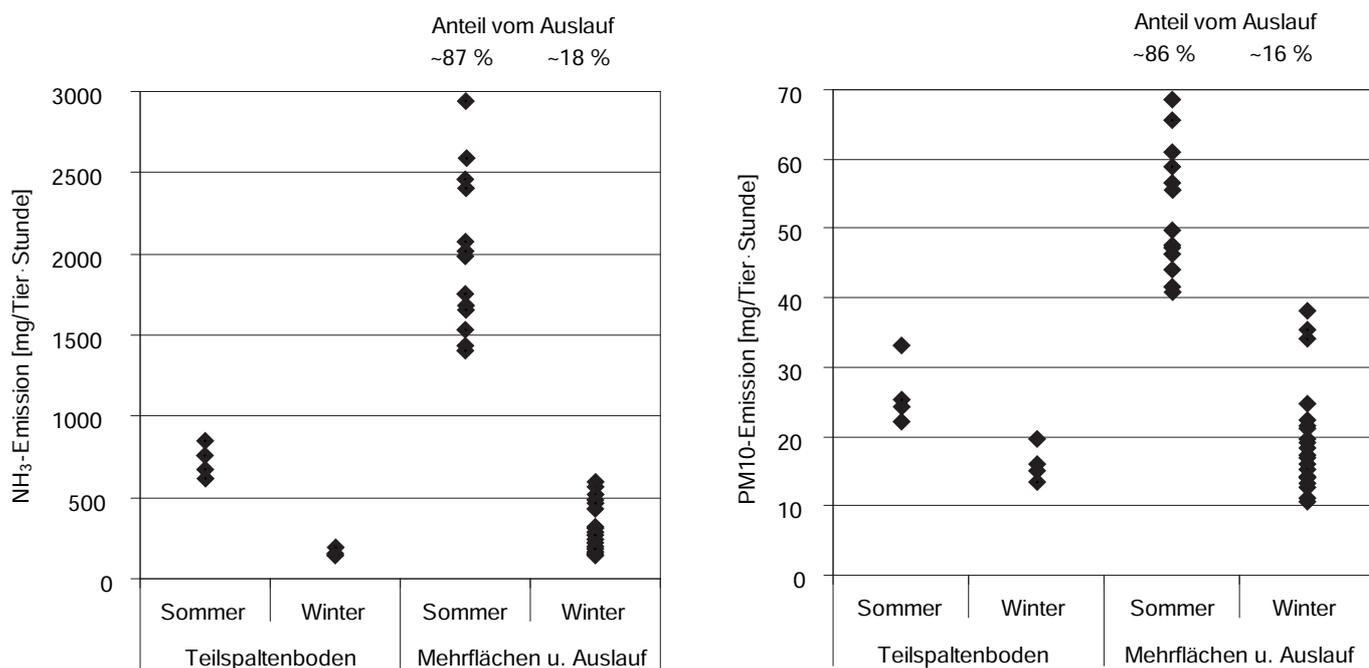


Abb. 3: Vergleich der NH<sub>3</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen in mg/Tier·Stunde zwischen dem Stall mit Teilspaltenboden und dem Mehrflächensystem mit Auslauf, jeweils in der Endmast bei

Flüssigfütterung während der Sommer- und Wintermessung als Tagesmittelwerte sowie der Anteil der Emission vom Auslauf in %

Teilspaltenboden und Flüssigfütterung in der Endmast war das Emissionsniveau von NH<sub>3</sub> im Mehrflächenstall mit Auslauf im Winter um das 1,8-fache, im Sommer um das 2,7-fache höher. Die Lufttemperatur und Luftfeuchte sowie die Windgeschwindigkeit korrelierten mit den NH<sub>3</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen im Auslauf.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Entwicklung der Tracer-Ratio-Methode und die Anwendung im Praxiseinsatz ist gelungen und ermöglichte Aussagen über offene Ställe. Aufgrund der besser reproduzierbaren Verhältnisse, dem grösseren Messumfang und der einfacheren Messeinrichtung sind die Ergebnisse bei Zwangslüftung besser abgesichert als im Stall mit Auslauf.

In einer Übersicht von Messergebnissen aus der internationalen Literatur variieren Vollspaltenställe um den Faktor 2,5 zwischen den tiefsten und höchsten NH<sub>3</sub>-Emissionswerten (Gallmann 2003). Bei Teilspaltenboden ist die Spannweite zwischen tiefen und hohen Messwerten wesentlich grösser. Einzelne Situationen mit Verschmutzung vor allem im Sommer, wenn die Tiere die Trennung von Kot- und Liegebereich nicht einhalten, können höhere NH<sub>3</sub>-Emissionen zur Folge haben. In unseren Untersuchungen bei Teilspaltenboden hatten die Schweine Einstreu zur Beschäftigung. Dadurch bildete sich eine Schwimmschicht im Güllekanal. Dies könnte eine Erklärung für das insgesamt niedrigere NH<sub>3</sub>-Emissionsniveau im Vergleich zur Literatur sein.

Durch die vermehrte Teilnahme im RAUS-Programm und bei den Labelprogrammen nehmen die NH<sub>3</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen in der schweizerischen Schweinehaltung zu. Zukünftig sind Stallsysteme zu fördern, die Tiergerechtigkeit und Umwelanforderungen gleichermaßen erfüllen. Neben bedarfsgerechter Fütterung tragen alle Massnahmen, die zu weniger emittierenden Oberflächen im Boden- und Flüssigmistbereich führen, zur Emissionsminderung bei. Die Entwicklung hin zu grösseren verschmutzten Flächen ist jedoch zu hinterfragen. Die Reinigung von verschmutzten Flächen bei Ausläufen in der Schweinehaltung ist bisher überwiegend Handarbeit. Dort braucht es Verbesserungen. Weiter gilt es, Harn von Oberflächen mit Gefälle möglichst rasch und auf kurzem Weg abzuführen, entsprechend angeordnete perforierte Elemente oder Sammelrinnen sind zu nutzen sowie Gülle in einem kühleren, gedeckten Bereich zu lagern. Aussenklimaställe sind mit Blick auf die Temperaturabhängigkeit der NH<sub>3</sub>-Emissionen geeigneter als Warmställe. Die geschickte Nutzung getrennter Klima- und Funktionsbereiche kann somit zur Emissionsminderung beitragen. Hierbei ist allerdings auf einen geeigneten Windschutz zu achten. Vordach und Beschattung im Auslauf sind sowohl mit Blick auf die NH<sub>3</sub>-Emissionen als auch hinsichtlich der Tiergerechtigkeit, um Sonnenbrand zu verhindern, positiv zu werten.

### Literatur

- Berry N.R., Zeyer K., Emmenegger L. und Keck M., 2005. Emissionen von Staub (PM10) und Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus traditionellen und neuen Stallsystemen mit Untersuchungen im Bereich der Mastschweinehaltung. Agroscope FAT Tänikon, Ettenhausen und Empa, Dübendorf, Schlussbericht, 108 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 2008. Agrarbericht, Bern.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2006. Feinstaub PM10 – Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen und Massnahmen. Bern, 47 S.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), 2008. Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen 0820, 221 S.
- Gallmann E., 2003. Vergleich von zwei Haltungssystemen für Mastschweine mit unterschiedlichen Lüftungsprinzipien – Stallklima und Emissionen. VDI-MEG Schrift 404, Dissertation Universität Hohenheim, 235 S.
- Reidy B. und Menzi H., 2006. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 bis 2000 mit Hochrechnungen bis 2003. Technischer Schlussbericht, SHL Zollikofen, Bern.