

Ammoniak-Emissionen von Milchviehlaufställen mit Laufhof: Im Winter weniger Verluste

Mai 2011



Autorinnen und Autoren

Sabine Schrade, Margret Keck, ART
Kerstin Zeyer, Lukas Emmenegger,
Empa.
sabine.schrade@art.admin.ch

Impressum

Herausgeber:
Forschungsanstalt Agroscope
Reckenholz-Tänikon ART
Tänikon, CH-8356 Ettenhausen,
Redaktion: Etel Keller, ART

Die ART-Berichte/Rapports ART
erscheinen in rund 20 Nummern
pro Jahr. Jahresabonnement
Fr. 60.–. Bestellung von Abonne-
ments und Einzelnummern:
ART, Bibliothek, 8356 Ettenhausen
T +41 (0)52 368 31 31
F +41 (0)52 365 11 90
doku@art.admin.ch
Downloads: www.agroscope.ch

ISSN 1661-7568

Für die in der Schweiz verbreiteten frei gelüfteten Milchviehlaufställe mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof wurden die Emissionen von Ammoniak (NH₃) bestimmt. (Foto: ART)

Laufställe sind bedeutende Quellen von Ammoniak-Emissionen. Bisher fehlten Emissionsdaten für Liegeboxenlaufställe mit Laufhof, wie sie in der Schweiz weit verbreitet sind. Die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART und die Empa bestimmten die Ammoniak-Emissionen des Haltungssystems Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen und angrenzendem Laufhof für Milchvieh. Die Messungen auf sechs Praxisbetrieben waren übers Jahr verteilt und deckten somit jahreszeitliche und betriebliche Unterschiede ab. Zur Beschreibung der jeweiligen Messsituation wurden Betriebs- und Klimadaten, Laufflächenverschmutzung, Tieraufenthalt sowie Stickstoff-Input, -Output und -Verwertung erhoben. Die Tagesmittelwerte der Ammoniak-Emissionen variierten im Sommer von 31 bis 67g pro Grossvieheinheit (1 GV = 500kg

Lebendmasse) und Tag (d), in der Übergangszeit von 16 bis 44 g/GV·d und im Winter von 6 bis 23 g/GV·d. Die Ammoniak-Emission lässt sich mit der Aussentemperatur, der Windgeschwindigkeit und dem Harnstoffgehalt der Tankmilch erklären: Bei höheren Temperaturen und Windgeschwindigkeiten entstehen deutlich mehr Ammoniak-Emissionen. Entscheidend ist auch die Menge des ausgeschiedenen Stickstoffs. Dazu gibt der Milchharnstoffgehalt Hinweise. Von diesen Einflussgrössen ergeben sich die Minderungsansätze für bedarfsgerechte und ausgeglichene Fütterung sowie Stallklima-Aspekte. Mit Vordach, Sonnenschutz und Windschutz können Temperatur und Windgeschwindigkeit und somit die Ammoniak-Emissionen reduziert werden. Weitere Massnahmen setzen bei der Grösse der verschmutzten Laufflächen sowie der Reinigungshäufigkeit und -qualität an.



Problemstellung

Die Haltungssysteme für Milchvieh veränderten sich in den letzten 20 Jahren deutlich: 1990 wurden in der Schweiz noch 97 % der Milchkühe in Anbindeställen und nur 3 % in Laufställen gehalten. Für das Jahr 2010 wurde ein Verhältnis von Anbinde- zu Laufstall von 60 zu 40 % angenommen (BLW 2003). Die Tierhaltungsprogramme BTS und RAUS (Ethoprogrammverordnung 2008) verstärken den Trend hin zu Laufställen und Laufhöfen. Mit Laufställen und Laufhöfen sind grössere verschmutzte Flächen verbunden, was zu vergleichsweise höheren Emissionen von Ammoniak (NH_3) führt.

Aus landwirtschaftlicher und aus umweltpolitischer Sicht sind aktuelle Daten zur NH_3 -Emission aus der Milchviehhaltung notwendig. Die vorhandenen internationalen Literaturdaten für NH_3 -Emissionen bei Milchvieh sind für die in der Schweiz verbreiteten frei gelüfteten Laufstallssysteme mit Laufhof nicht aussagekräftig, denn früher wurden Messungen überwiegend in zwangsgelüfteten oder weitgehend geschlossenen Ställen ohne Laufhof durchgeführt. Zudem decken diese Emissionsdaten die Jahreszeiten nicht systematisch ab.

NH_3 -Emissionen der Schweiz

Die NH_3 -Emissionen der Schweiz im Jahr 2007 stammten nach Modellrechnungen zu etwa 94 % aus der Landwirtschaft und davon rund 34 % aus der Stallhaltung von Nutztieren. Rindvieh machte mit zirka 79 % den grössten Teil der NH_3 -Emissionen aus (Achermann et al. 2009).

Bei Hochleistungskühen gelangen knapp 20 % des zugeführten Stickstoffs in die Milch, rund 30 % werden im Kot und etwa 50 % im Harn ausgeschieden (Tamminga 1992). NH_3 entsteht mit Hilfe des Enzyms Urease überwiegend aus Harnstoff im Harn. Die NH_3 -Bildung erfolgt, wenn Harnstoff mit Flächen in Kontakt kommt, die mit Kot oder Kot-Harn-Gemisch verschmutzt sind oder waren und somit ureaseaktive Mikroorganismen aufweisen. Neben der Temperatur wird die Bildung von NH_3 durch die Substrat- und Urease-Verfügbarkeit sowie durch den pH-Wert beeinflusst. Die NH_3 -Freisetzung an die Luft hängt hauptsächlich von der Temperatur und der Luftgeschwindigkeit ab (Arogo et al. 1999, Cortus et al. 2008, Hartung 1995, Monteny 2000). Die mit Kot und Harn verschmutzten Laufflächen sind die wesentlichen Quellen der NH_3 -Emissionen (Abb. 1). In Form von NH_3 geht der Landwirtschaft wertvoller Stickstoffdünger verloren. NH_3 in der Atmosphäre wird schliesslich als saurer Regen ausgewaschen und belastet als Stickstoffdünger empfindliche Ökosysteme.



Abb. 1: Auf den mit Kot und Harn verschmutzten Laufflächen wird Ammoniak (NH_3) gebildet und an die Luft freigesetzt. NH_3 belastet als Stickstoffdünger empfindliche Ökosysteme.

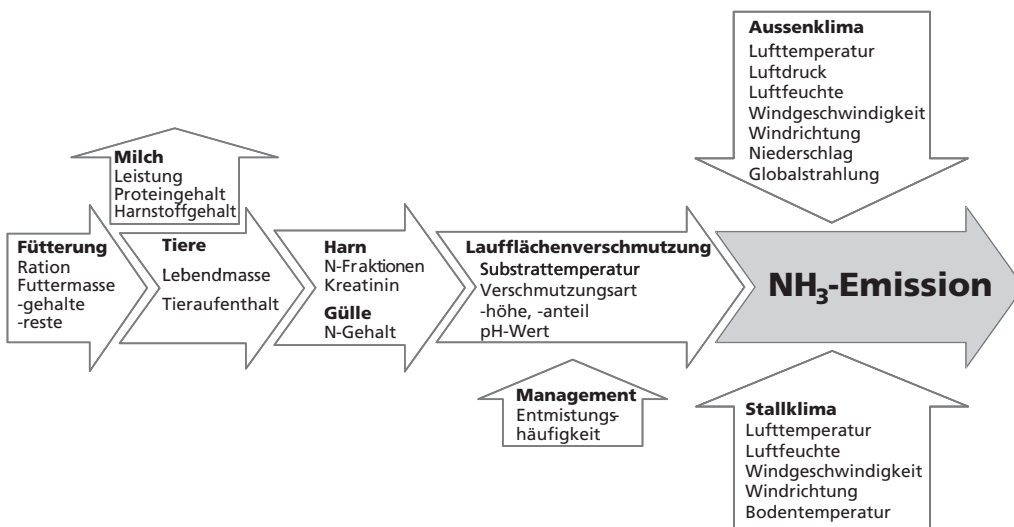


Abb. 2: Es ist wichtig, relevante Begleitparameter entlang des NH_3 -Emissionsprozesses zu erheben, um die Vielfalt der Einflussgrössen auf die Bildung und Freisetzung von NH_3 aus der Laufstallhaltung von Milchvieh abzudecken.



Abb. 3: Die Messanordnung im Stall bestand aus der Zudosierung von Tracergasen über ein Rohrsystem mit Kapillaren an den emittierenden Laufflächen und einem Luftsammlersystem mit Kapillaren in drei Meter Höhe jeweils an vielen Orten.

Messungen auf sechs Praxisbetrieben

Ziel

Ziel dieser Untersuchung war es, die NH_3 -Emissionen der Haltung von Milchvieh im Laufstall mit zugehörigem Laufhof zu bestimmen und damit einen Beitrag für Emissionsinventare zu leisten. Weiter sollten Minderungsansätze abgeleitet werden.

Messkonzept und Methoden

Dazu erfolgten Emissionsmessungen für ein Milchvieh-Haltungssystem auf sechs Praxisbetrieben in zwölf Messperioden. Die Messperioden verteilten sich systematisch übers Jahr und deckten so die Jahreszeiten Sommer, Übergangszeit und Winter ab. Eine Messperiode dauerte jeweils mindestens drei Tage. Zur Charakterisierung der jeweiligen Messsituation, als Bezugsgrößen und zur Ableitung von wichtigen Einflussgrößen auf die Emissionen wurden neben beschreibenden Betriebsdaten folgende Parameter erfasst: Aussenklima, Klima im Stall und im Laufhof, Tieraufenthalt, Laufflächen-Verschmutzung sowie Stickstoff-Input, -Output und -Verwertung (Abb. 2).

Um die Emissionen von freibelüfteten Laufställen mit Laufhöfen zu bestimmen, setzten ART und Empa eine eigens entwickelte Tracer-Ratio-Methode ein (Schrade 2009). Dabei wurden direkt an den verschmutzten Laufflächen über ein Rohrsystem mit Kapillaren zwei Tracergase kontinuierlich in geringen Konzentrationen zudosiert. Die Tracergase (auch Indikator-gase genannt) reagieren in der Luft nicht mit anderen Stoffen, breiten sich nahezu gleich aus wie die umgebende Luft und bilden so die Quelle der NH_3 -Emission im Stall bzw. Laufhof repräsentativ ab. In weiträumigen Ställen und Laufhöfen ermöglichte ein Luftsammlersystem mit Kapillaren an vielen Orten eine repräsentative Probenahme (Abb. 3). Aus dem zudosierten Tracergas-Massenstrom und dem Konzentrationsverhältnis von Tracergas und NH_3 lässt sich die NH_3 -Emission berechnen. In einem klimatisierten Messanhänger waren die Tracergase zur Zudosierung sowie Geräte zur Analyse der Gase untergebracht.

Betriebe

Für die Messungen wurde das in der Schweiz weit verbreitete Milchvieh-Haltungssystem im Laufstall mit Laufhof ausgewählt. Dabei handelte es sich um frei gelüftete Eingebäude-Laufställe mit Liegeboxen, planbefestigten Laufflächen und längs zum Stallgebäude angeordnetem Laufhof. Berücksichtigt wurden zwei Laufhofkonzepte: Auf drei Betrieben war der Laufhof räumlich vom Stallgebäude getrennt, auf drei Betrieben als kombinierter Liegegang/Laufhof ausgeführt (Tab. 1). Fressgang, Liegegang bzw. Liegegang/Laufhof wurden mit stationären Entmistungsschiebern drei bis vier Mal pro Tag, der Laufhof alle drei Tage mobil oder manuell abgeschoben. Die sechs Praxisbetriebe unterschieden sich bezüglich Fütterung, Management, Bewirtschaftungsweise, Herdenleistung, Grösse sowie bei baulichen und verfahrenstechnischen Aspekten. Damit konnte für dieses Haltungssystem die Praxisvielfalt abgedeckt werden. Die Bestandesgrösse variierte zwischen 20 und 74 Tieren. Während der Messungen und der jeweils dreitägigen Eingewöhnungszeit hatten die Tiere keinen Weidegang. Auf drei Betrieben setzte sich die Futterration im Wesentlichen aus Silage(n), Heu und Kraftfutter zusammen. Zwei Betriebe verfütterten eine Totalmisch-Ration. Betrieb 4 produzierte silofreie Milch. Gemolken wurde zwei Mal täglich.

Ergebnisse und Diskussion

Ammoniak-Emissionen

Bei den NH_3 -Emissionen zeigten sich sowohl jahreszeitliche als auch betriebliche Effekte (Abb. 4). Jahreszeitliche Unterschiede waren besonders deutlich bei den Betrieben 2 und 5 mit Messungen im Sommer und im Winter. Die jeweils drei aufeinanderfolgenden Messtage innerhalb einer Messperiode unterschieden sich im NH_3 -Niveau meist nicht wesentlich. Tagesgänge waren nur in der warmen Jahreszeit erkennbar. Zum Teil spiegelten sich Ereignisse wie Fresszeiten und Entmistungsvorgänge in den NH_3 -Emissionen wider.

Die Tagesmittelwerte der NH_3 -Emissionen variierten im Sommer über alle Betriebe hinweg von 31 bis 67 g pro Grossvieheinheit (1 GV = 500 kg Lebendmasse) und Tag (d) und lagen damit etwas höher als Literaturwerte gemessen im Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen mit 15 bis 57 g/GV·d (Rom et al. 2004, Zhang et al. 2005). In der Übergangszeit erstreckten sich die eigenen Werte im Tagesmittel zwischen 16 und 44 g/GV·d. Messungen von Rom et al. (2004) und Zhang et al. (2005) in der Übergangszeit waren mit 9 bis 20 g NH_3 pro GV und Tag deutlich tiefer. Im Winter lagen die Tagesmittelwerte der eigenen Messungen mit 6 und 23 g/GV·d deutlich tiefer als die von Seipelt (1999) im Winter gemessene NH_3 -Emission mit 40,3 g/GV·d in einem Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen (Abb. 5). Daten aus unterschiedlichen Untersuchungen sind aufgrund von verschiedenen Rahmenbedingungen und Messansätzen nur bedingt vergleichbar. Es handelt es sich um Kurzzeitmessungen von 32 Sekunden bis zu Messkampagnen über mehrere Monate. Während einige Untersuchungen nur in einem sehr begrenzten Temperaturbereich durchgeführt wur-

Tab 1: Übersicht über die Praxisbetriebe mit Angaben zum Tierbestand, zur Fütterung, zum Haltungssystem und zur Verfahrenstechnik.



Stallkonzept	Laufhof räumlich getrennt				Kombinierter Liegegang/Laufhof					
	Betrieb 1	Betrieb 2		Betrieb 4		Betrieb 3		Betrieb 5		Betrieb 6
Messperiode	Sommer	Übergang	Sommer	Winter	Übergang	Winter	Übergang	Winter	Sommer	Übergang
Tierbestand	Milchkühe		Milchkühe, 2 Stiere		Milchkühe, 1 Stier		Milchkühe, Jungvieh		Milchkühe	
Rasse	Holstein		Braunvieh		Braunvieh, Fleckvieh		Braunvieh		Holstein, Fleckvieh	
Anzahl Tiere (Anzahl GV) [n]	20 (28)	20 (28)	40 (58)	40 (70)	27/28 (39/40)	28 (41)	74 (94)	71 (97)	46 (78)	50 (83)
Mittlere Lebendmasse Kühe [kg]	693	690	724	871	713 (39/40)	730	669	709	824	825 (85/90)
Mittlere Milchleistung [kg/Kuh-d]	26	26	22	19	29	26	20	19	31	30
Fütterung	Grassilage, Heu, Kraftfutter		Mais-, Grassilage, Heu, Kraftfutter, Grünfütter (Sommer)		Heu, Kraftfutter		Mais-, Grassilage, Heu, Kraftfutter		Total-Misch-Ration	
Fassadenausführung zum Laufhof	Mauer und offene Fenster		Holzwand, oben offen		Mauer, oben offen		offen		offen	
Laufflächenausführung										
Fressgang	Gummi		Gussasphalt		Gummi		Gummi		Beton	
Liegegang	Beton		Gussasphalt		Beton		-		-	
Laufhof, Liegegang/Laufhof	Beton		Beton		Beton		Beton		Beton	
Fläche [m²] gesamt	289		575		412		858		529	
davon Lauffläche	215		440		295		624		377	
davon Laufhof, Liegegang/Laufhof	82		197		99		360		168	
Entmistungsverfahren (Häufigkeit)										
Fressgang, Liegegang, Liegegang/Laufhof	stationär (4 x täglich)		stationär (4 x täglich)		stationär (4 x täglich)		stationär (3 x täglich)		stationär (4 x täglich)	
Laufhof räumlich getrennt	manuell (alle 3 Tage)		mobil (Messbeginn)		manuell (alle 3 Tage)		-		-	
Einstreu (Tiefboxen)	Stroh, Sägemehl		Langstroh		Häckselstroh		Langstroh		Langstroh	
									Total-Misch-Ration, Kraftfutter	
									Beton, Merostep	
									Beton, Merostep	
									568	
									388	
									180	

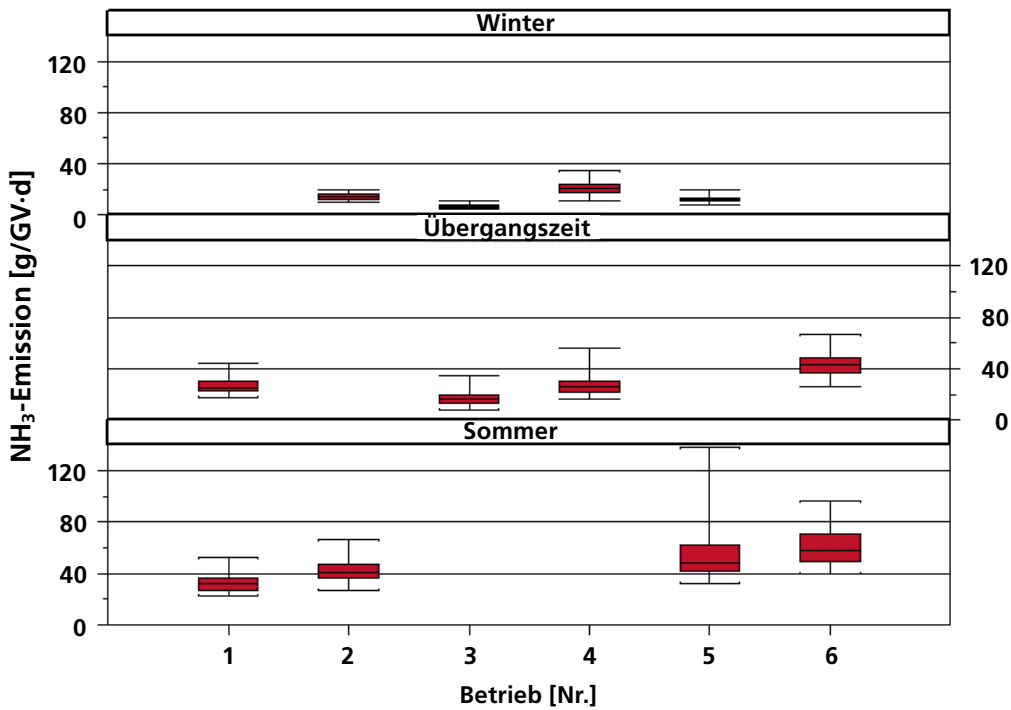


Abb. 4: Die NH₃-Emissionen lagen im Sommer um mehr als das Dreifache höher als im Winter.

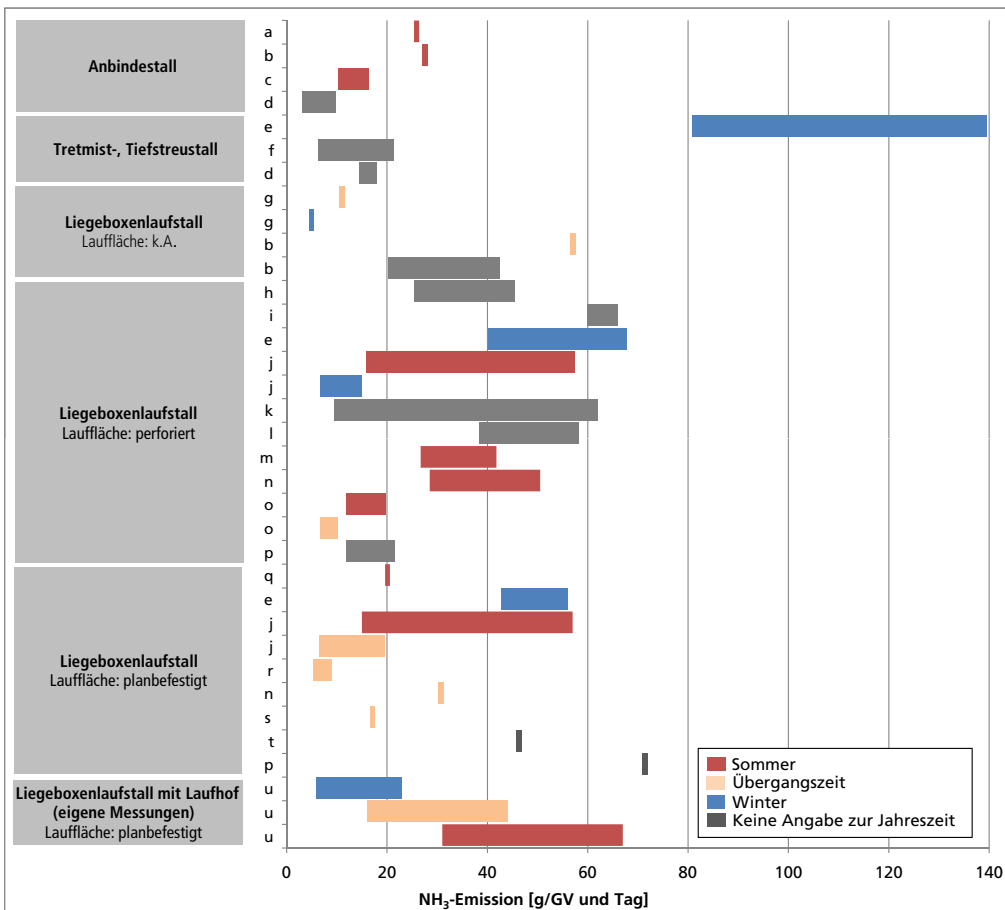


Abb. 5: NH₃-Emissionswerte aus den eigenen Untersuchungen im Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof verglichen mit Emissionsdaten für Anbindestall, Tiefstreu- oder Tretmiststall und Liegeboxenlaufstall aus der Literatur (a Gustafsson et al. 2001; b Groot Koerkamp und Uenk 1997; c Groenestein 1993; d Amon et al. 1998; e Seipelt 1999; f Groot Koerkamp et al. 1998; g Schmidt et al. 2002; h Van't Ooster et al. 1994; i Swierstra et al. 2001; j Rom et al. 2004, Zhang et al. 2005; k Pollet et al. 1998; l Oosthoek et al. 1990; m Kroodsma et al. 1998; n Huis in't Veld et al. 2003; o Brose 2000; p Brehme 2001; q Smits et al. 1997; r Phillips et al. 1998; s Dore et al. 2004; t Demmers et al. 2001; u Schrade 2009).

den, deckten andere unterschiedliche Jahreszeiten ab. Eine unzureichende Beschreibung der Messsituation schmälert zum Teil die Datenqualität.

Bei den Messungen aus der Literatur handelt es sich ausschließlich um Laufställe ohne Laufhof. Die Lauffläche bei allen sechs Betrieben der vorliegenden Untersuchung ging deutlich über die geforderten Flächen des RAUS-Pro-

gramms hinaus und war somit um mehr als das Doppelte höher als die Lauffläche der Messungen aus der Literatur. Aus der Vielfalt der beschreibenden Parameter konnte bei den eigenen Untersuchungen die NH₃-Emission mit der Aussentemperatur, der Windgeschwindigkeit im Stall und dem Harnstoffgehalt der Tankmilch erklärt werden (Abb. 6).

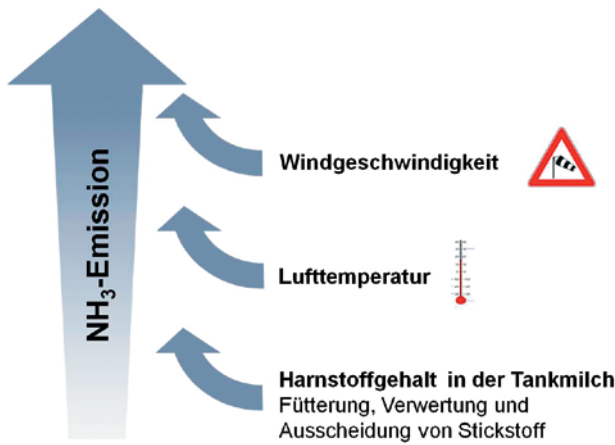


Abb. 6: Die NH_3 -Emission steigt mit zunehmender Aussentemperatur und Windgeschwindigkeit im Stall sowie erhöhtem Harnstoffgehalt der Tankmilch.

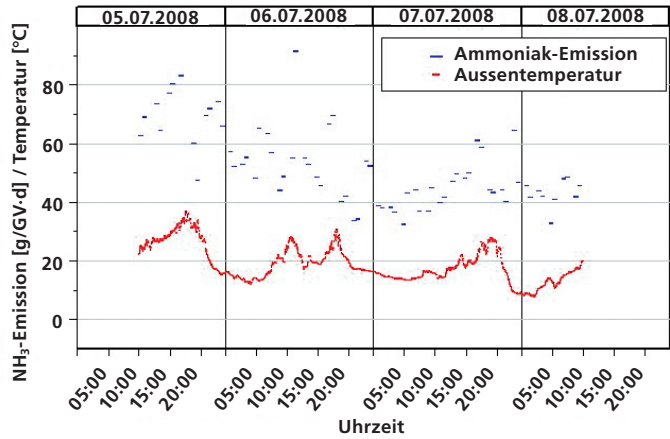


Abb. 7: In der Sommermessung folgte das Niveau der NH_3 -Emissionen der Temperatur im Tagesverlauf.

Temperatur

Der Temperaturbereich über alle Messperioden erstreckte sich zwischen -5 und 37°C . Zwischen dem Aussenbereich und dem Stall gab es nur geringe Temperaturunterschiede. Lediglich im Winter war die mittlere Lufttemperatur im Stall um etwa 2°C höher als im Aussenbereich. Dies stimmt mit den Aussagen von Müller und Sanftleben (2008) überein, wonach sich in Aussenklimaställen mit grossen Luftaustauschflächen aufgrund des hohen Luftwechsels die Temperaturen im Stall an verschiedenen Orten sowie im Aussenbereich nahezu entsprechen.

Die Temperatur beeinflusst die Bildung und Freisetzung von NH_3 . In der Sommermessung von Betrieb 5 nahmen im Tagesverlauf analog zum Temperaturanstieg auch die NH_3 -Emissionen zu (Abb. 7). Im Gegensatz dazu blieb die NH_3 -Emission in der Wintermessung trotz einer Erhöhung der Temperatur im Laufe des Tages nahezu auf demselben

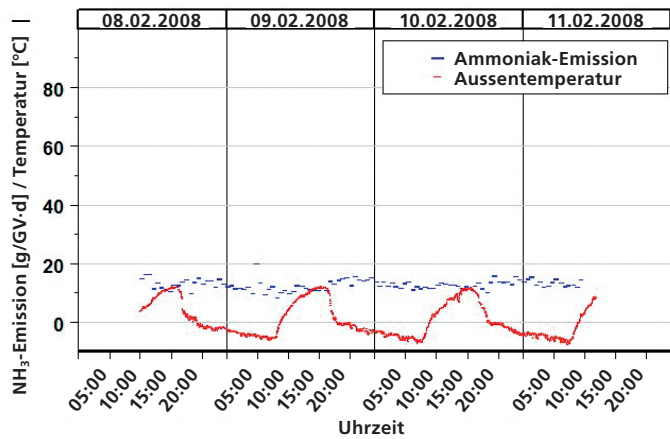


Abb. 8: In der Wintermessung blieb die NH_3 -Emission trotz Temperaturunterschieden auf demselben Niveau.

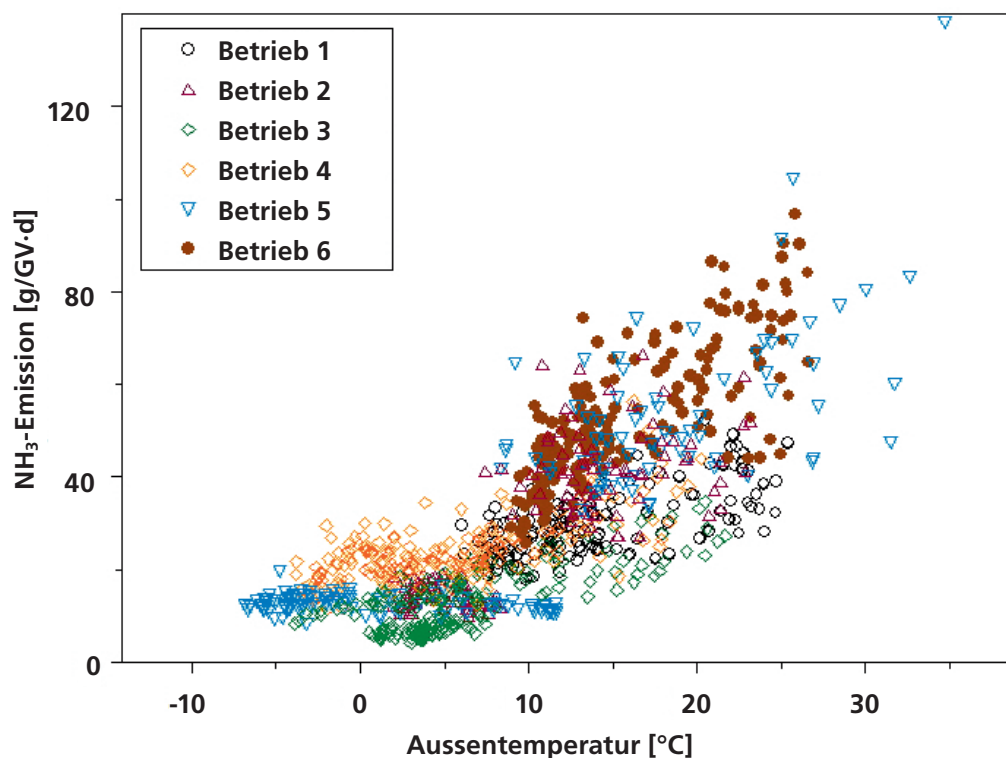


Abb. 9: Auf allen Betrieben stiegen die NH_3 -Emissionen bei einem höheren Temperaturniveau ($> 7^\circ\text{C}$) mit zunehmender Temperatur deutlich an.

Niveau (Abb. 8). Daraus lässt sich schliessen, dass bei tiefen Temperaturen ein Temperaturanstieg über den Tagesverlauf keine wesentliche Erhöhung der NH₃-Emission bewirkt (Abb. 8 und 9). Über alle Betriebe veränderte sich das NH₃-Niveau bei einem Temperaturanstieg bis etwa 7°C nicht oder kaum (Abb. 9). Dagegen stiegen die NH₃-Emissionen bei einem höheren Temperaturniveau mit zunehmender Temperatur deutlich an. Demzufolge sollten Minderungsmaßnahmen, die bei der Temperatur ansetzen, vor allem auf Situationen mit einem Temperaturniveau über 7°C fokussieren. In Aussenklimaställen sind die NH₃-Verluste in der kalten Jahreszeit aufgrund der niedrigen Temperaturen tief. In der warmen Jahreszeit ist auf Sonnenschutz, möglichst überdachte Flächen sowie ausreichend grosse Vordächer zu achten. Je nach Stallkonzept (z. B. geringe

Traufhöhe, mangelnde Querlüftung) kann auch ein wärmeisoliertes Dach eine hohe Wärmestrahlung und damit hohe Temperaturen vermeiden. Tiefe Temperaturen im Sommer kommen auch den Bedürfnissen der Tiere entgegen.

Windgeschwindigkeit

In den untersuchten Ställen war die mittlere Windgeschwindigkeit in 50cm Höhe über der Lauffläche im Laufhof bzw. Liegegang/Laufhof im Aussenbereich mit 0,6m/s doppelt so hoch wie jene mit 0,3m/s im überdachten Stallbereich. Dies entspricht Untersuchungen von Mačuhová et al. (2008), welche in Aussenklimaställen deutliche Unterschiede zwischen der Windgeschwindigkeit aussen und im Stall festgestellt haben. Die Windgeschwindigkeit nahm

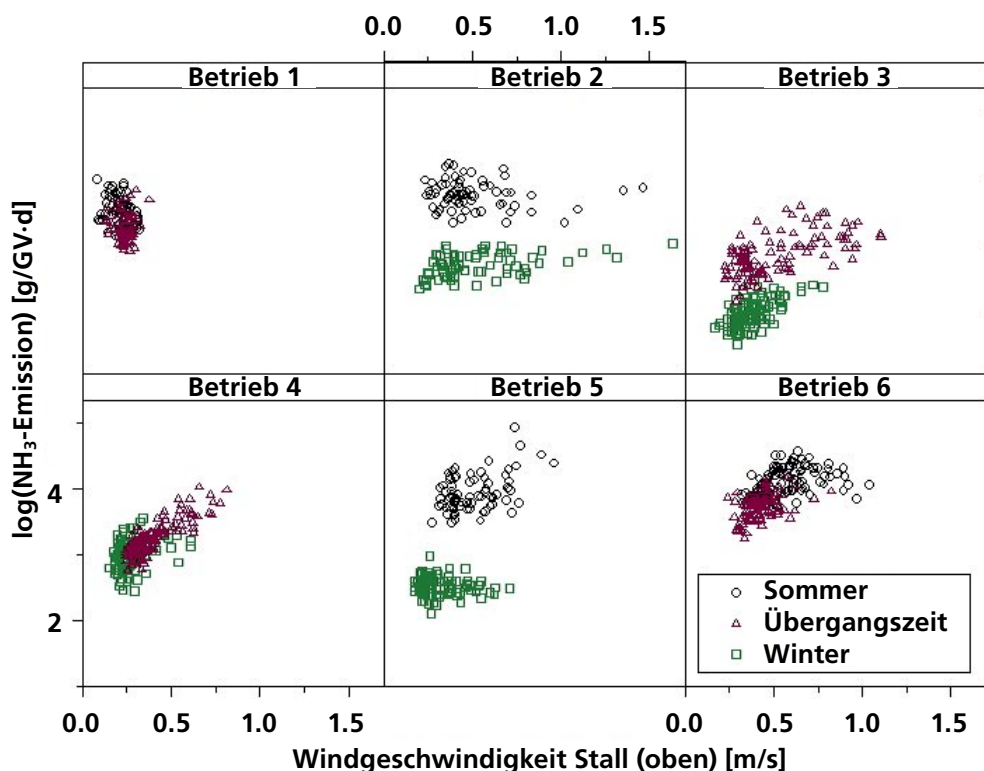


Abb. 10: Bei den Betrieben 3, 4 und 6 ist der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die NH₃-Emission ersichtlich, dargestellt als logarithmierte NH₃-Emission.

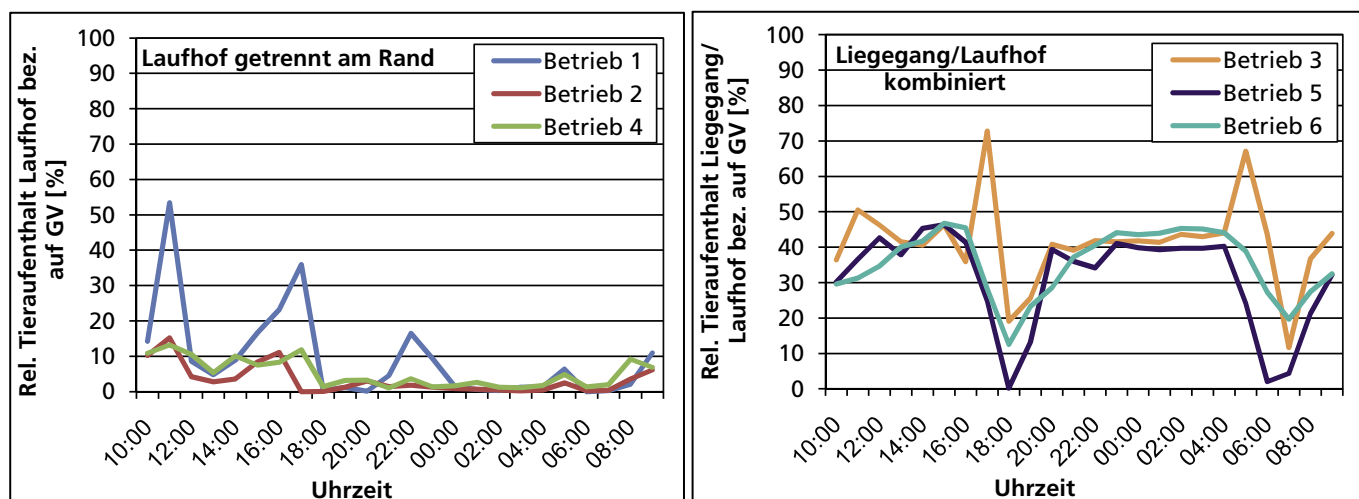


Abb. 11: Der Tieraufenthalt war im räumlich getrennten Laufhof deutlich niedriger (links) als im kombinierten Liegegang/Laufhof (rechts). Dabei zählte der Aufenthalt in den Liegeboxen zusätzlich dazu (GV = Grossvieheinheit).

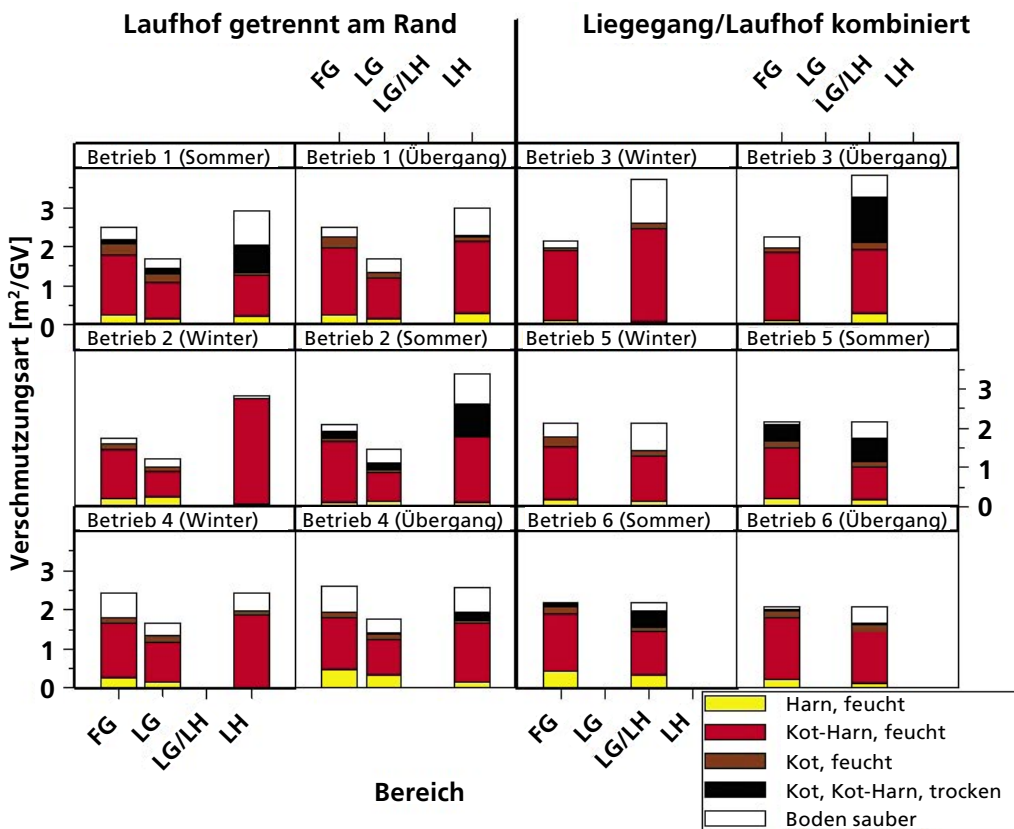


Abb. 12: Die Kategorie feuchtes Kot-Harn-Gemisch nimmt den grössten Anteil der Verschmutzung über alle Laufbereiche ein (FG = Fressgang, LG = Liegegang, LG/LH = kombinierter Liegegang/Laufhof, LH = Laufhof). Die Anteile der Verschmutzungskategorien sind auf die Lauffläche [m²] pro Grossvieheinheit bezogen.



Abb. 13: Laufgänge im Fressbereich sind meist gleichmässig mit feuchtem Kot-Harn-Gemisch verschmutzt (links). Bei Laufhöfen, die am Rand des Stalles angeordnet sind, ist die Verschmutzung heterogener. Im Sommer trocknet die Verschmutzung häufig ab (rechts).

vor allem tagsüber zu Zeiten mit erhöhter Temperatur zu. Vereinzelt kamen auch in den kälteren Nachtstunden Zeiträume mit höherer Windgeschwindigkeit vor. Die Freisetzung von NH₃ hängt neben der Temperatur von der Luftgeschwindigkeit über der emissionsaktiven Oberfläche ab, wie mehrere Autoren in Laborversuchen nachgewiesen haben (Arogo et al. 1999, Cortus et al. 2008, Hartung 1995). Bei den Praxismessungen ist der Effekt der Windgeschwindigkeit auf die NH₃-Emission bei den Betrieben 3, 4 und 6 gut sichtbar (Abb. 10). In der Wintermessung von Betrieb 5 sowie in den beiden Messperioden von Betrieb 2 ist hingegen kein Zusammenhang der Emission mit der Windgeschwindigkeit erkennbar. Bei diesen Betrieben zeigte sich zwischen den Jahreszeiten eine deutliche Abstufung im NH₃-Niveau. Sowohl die Emission von NH₃ als auch die Windgeschwindigkeit lagen bei Betrieb 1 in einem sehr engen Bereich, sodass keine Effekte sichtbar sind. An und über emissionsaktiven Flächen soll die Luftgeschwindigkeit möglichst gering sein, was durch einen geeigneten Windschutz erreicht werden kann.

Milchharnstoffgehalt

Der Harnstoffgehalt der Milch ist zuverlässiger Indikator für Stickstoff-Verwertung und -Ausscheidung und über die Milchkontrolle breit verfügbar. Über alle Betriebe und Messperioden lag der Harnstoffgehalt der Tankmilch zwischen 13 bis 31 mg/dl. Daraus lässt sich folgern, dass bezogen auf die gesamte Herde kein Rohproteinüberschuss vorlag. In der Hälfte der Messperioden war tendenziell eher ein Rohproteinmangel feststellbar. Obwohl die Milchharnstoffgehalte der untersuchten Betriebe in einem engen Bereich lagen, resultierte ein signifikanter Einfluss auf die NH₃-Emission. Van Duinkerken et al. (2005) leiten von einer Reduktion des Harnstoffgehalts um 1 mg/dl Milch eine Minderung der NH₃-Emission im Stall um 2,5 % ab. Demnach ist mit Blick auf NH₃-Emissionen auf eine bedarfsgerechte und ausgeglichene Fütterung mit Rationsplan, gezielter Komponentenwahl und gegebenenfalls Ergänzungsfütterung zu achten. Insbesondere bei Weidefütterung kann es zu erhöhten Milchharnstoffgehalten kommen. Auswertungen des Milchprüfrings und Landeskontrollverbands Bayern zeigen,

dass im Harnstoffgehalt der Milch grosse Unterschiede zwischen einzelnen Betrieben bestehen (Spiekers und Obermaier 2007). Demnach besteht auf einzelbetrieblicher Ebene Handlungsspielraum.

Tieraufenthalt im Laufhof oder im Liegegang/Laufhof

Der Kot- und Harnanfall in den einzelnen Stallbereichen hängt im Wesentlichen von der Aufenthaltsdauer der Tiere im jeweiligen Stallbereich ab. Der getrennt angeordnete Laufhof ist eine zusätzliche Fläche, auf der sich die Tiere mit durchschnittlich 4 bis 10 % ihres Zeitbudgets nur wenig aufhielten. Der mittlere Tieraufenthalt im kombinierten Liegegang/Laufhof lag mit rund 32 bis 35 % deutlich darüber. Der Aufenthalt der Tiere in den angrenzenden Liegeboxen zählte dabei ebenfalls zum Tieraufenthalt im Liegegang/Laufhof. Weiter dient der kombinierte Liegegang/Laufhof auch als notwendiger Zugang zu den angrenzenden Liegeboxen. Bei den Betrieben 1, 3, 5 und 6 waren deutliche Tagesgänge im Tieraufenthalt erkennbar (Abb. 11). Während Fütterungszeiten oder unmittelbar nach dem Melken hielten sich kaum Tiere auf dem Laufhof bzw. im Liegegang/Laufhof auf. Der Liegegang/Laufhof von Betrieb 3 diente als Warteraum und wies somit vor und zu Beginn der Melkzeiten einen sehr hohen Tieraufenthalt aus. Nachts wurden die getrennt angeordneten Laufhöfe nur vereinzelt genutzt. Die punktuell hohe Laufhofnutzung bei Betrieb 1 ist dadurch zu erklären, dass die Tiere dem Entmistungsschieber ausweichen.

Verschmutzung von Laufflächen

Die Verschmutzung der Laufflächen mit Kot und Harn liefert Anhaltspunkte für das NH_3 -Emissionspotenzial. Dabei spielen Art, Anteil und Höhe der Laufflächenverschmutzung eine Rolle. Unmittelbar vor der Schieberentmistung variierte die mittlere Verschmutzungshöhe zwischen 0,1 und 0,7 cm. Bei Betrieben mit getrenntem Laufhof wurde der Laufhof höchstens alle drei Tage entmistet. Somit zeigte die Verschmutzungshöhe des Laufhofs jeweils über drei Messtage eine grössere Variabilität. Trotz des deutlich kürzeren Tieraufenthalts war die Verschmutzungshöhe im Laufhof oft grösser als bei den häufiger entmisteten Laufgängen im Stall. Über alle Betriebe hinweg nahm das feuchte Kot-Harn-Gemisch den grössten Anteil ein (Abb. 12). Die Verschmutzung in Bereichen des Laufhofs, der räumlich vom Stallgebäude getrennt war und weniger Tieraufenthalt aufwies, war heterogener als die Verschmutzung in den Laufgängen mit höherem Aufenthalt (Abb. 13). Der grössere Anteil an sauberer Fläche im Laufhof bzw. im kombinierten Liegegang/Laufhof der Betriebe 1, 5 sowie von Betrieb 3 im Winter resultiert aus der geringeren Nutzung. Der höhere Anteil trockener Flächen lässt sich in der wärmeren Jahreszeit bei den Betrieben 2, 3, 5 und 6 auf Austrocknung durch höhere Temperaturen sowie Strahlung zurückführen. Die abgetrocknete Fläche ist ein Indiz für eine bereits erfolgte Emission.

Monteny (2000) und Keck (1997) konnten in Modellrechnungen bzw. Untersuchungen im halbertechnischen Massstab einen Zusammenhang von Harn auf der Lauffläche und den NH_3 -Emissionen aufzeigen. Emissionsrelevant sind demnach feuchte Verschmutzungen wie beispielsweise Harn und feuchtes Kot-Harn-Gemisch. Zur Minderung der NH_3 -Bildung und Freisetzung ist daher ein rascher Harnab-

Minderungsansätze und Empfehlungen

Die gesamtschweizerischen NH_3 -Emissionen von Ammoniak müssen gemäss den Umweltzielen Landwirtschaft um rund 40 % von schätzungsweise 44 000 Tonnen im Jahr 2000 auf etwa 25 000 Tonnen NH_3 -Stickstoff pro Jahr gesenkt werden (BAFU und BLW 2008).

Aus den vorgestellten Ergebnissen sowie aus Eindrücken während der Messungen leiten sich folgende Empfehlungen zur Minderung von NH_3 ab:

- Eine starke Erwärmung kann durch helle Dach- und Fassadenfarben, je nach Stallkonzept durch ein wärmegeämmtes Dach sowie durch Sonnenschutz wie beispielsweise überdachte Flächen oder ausreichend dimensionierte Vordächer vermieden werden. Mit Blick auf die Temperatureffekte bestehen klare Synergien zum Tierwohl: Auch für die Tiere ist Hitzebelastung und Hitzestress zu vermeiden.
- Die Luftgeschwindigkeit an und über emissionsaktiven Laufflächen sollte möglichst niedrig sein. Dies kann mit einer geeigneten Ausführung der Stallgebäude insbesondere der Fassaden erreicht werden. Längswände sind flexibel zum Beispiel mit sensorgesteuerten Curtains auszuführen, damit einerseits im Sommer ein ausreichender Luftwechsel und andererseits bei höheren Windgeschwindigkeiten Windschutz möglich ist.
- Für eine bedarfsgerechte und ausgeglichene Fütterung sind regelmässig Rationsplan, Komponentenwahl und Ergänzungsfütterung zu kontrollieren und entsprechend anzupassen. Wertvolle Hinweise zur Beurteilung der Stickstoffversorgung gibt der Harnstoffgehalt der Tankmilch.
- Bei der Stallplanung, beim Bau und der Nutzung ist darauf zu achten, dass nicht unnötig viel Fläche verschmutzt wird. Mit der Wahl von Haltungssystem und Stallkonzept kann die Grösse der emittierenden Fläche begrenzt werden. Eine geeignete Anordnung und Strukturierung der Funktionsbereiche unterstützen dies. Entscheidend für die Verschmutzung und NH_3 -Emission ist nicht allein die Grösse der zur Verfügung gestellten Lauffläche, sondern auch deren Anordnung, Ausführung, Attraktivität (Tränken, Kuhbürsten, Lecksteine etc.) und Nutzung durch die Tiere.
- Auf Laufflächen ohne Gefälle verbleibt bis zum nächsten Entmistungszeitpunkt stehende Nässe. Zur Minderung von NH_3 -Verlusten sollte Harn möglichst schnell mit Gefälle von den Laufflächen abgeleitet und in Sammelrinnen abgeführt werden.
- Zum Entfernen von Kot und Harn insbesondere in Stallbereichen mit hohem Tieraufenthalt und entsprechend grossem Anfall, ist häufiges Entmisten notwendig. Dies erfordert verschleissarme und funktionssichere Entmistungsschieber. Diese müssen zudem tiergerecht sein (geringe Höhe, tiefe Geschwindigkeit). Weiter sind Ausweichmöglichkeiten für die Tiere wichtig. Für eine bessere Reinigungsqualität müssen Schieber und Laufflächenausführung aufeinander abgestimmt sein. Saubere und trockene Laufflächen verringern das Bildungs- und Freisetzungspotenzial von NH_3 und fördern somit auch die Stallhygiene und die Klauengesundheit.

fluss von planbefestigten Laufflächen durch Gefälle und Harnsammelrinnen anzustreben. Demzufolge können NH_3 -Verluste durch Entmisten in kurzen Zeitintervallen reduziert werden, was insbesondere in Stallbereichen mit hohem Tieraufenthalt und entsprechend grossem Kot- und Harnanfall von Bedeutung ist.

Das Wichtigste in Kürze

In der vorliegenden Untersuchung wurden die NH_3 -Emissionen für Milchviehhaltung im Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof mittels Messungen auf sechs Praxisbetrieben bestimmt. Damit liegen verlässliche NH_3 -Emissionsdaten für das in der Schweiz am häufigsten vorkommende Haltungssystem für Milchvieh vor. Die neu entwickelte Tracer-Ratio-Methode hat sich im Praxiseinsatz bewährt. Mit systematischen übers Jahr verteilten Messungen konnten jahreszeitliche Effekte der NH_3 -Emission abgebildet werden. Im Sommer lagen die NH_3 -Emissionen mit 31 bis 67 g/GV-d um mehr als das Dreifache höher als im Winter mit 6 bis 23 g/GV-d. Lediglich in der warmen Jahreszeit waren Tagesgänge der NH_3 -Emissionen erkennbar. Bis zu einer Aussentemperatur von etwa 7°C bewirkte ein Temperaturanstieg keine Erhöhung der NH_3 -Emissionen, erst darüber stiegen die Werte an. Die Vielfalt der erhobenen Begleitparameter ermöglichte die Rahmenbedingungen der einzelnen Messsituationen detailliert zu beschreiben und einzuordnen sowie relevante Einflussgrössen auf die NH_3 -Emission zu bestimmen. Die Messungen zeigten, dass die NH_3 -Emission wesentlich von der Aussentemperatur, der Windgeschwindigkeit im Stall und dem Harnstoffgehalt der Tankmilch abhängt.

Literatur

- Achermann B., Bonjour C., Kupper T., Leuenberger C., Menzi H., Nyfeler-Brunner A., Rihm B. u. Zaucker F. 2009: Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neuberechnung 1990–2007. In: Umwelt B. f. [Hrsg.]: Fachtagung Ammoniak- und Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft: Inventare und Programme zu deren Minderung, 10. September 2009, Zollikofen, Bern, 70 S.
- Amon B., Amon T. u. Boxberger J. 1998: Untersuchung der Ammoniakemission in der Landwirtschaft Österreichs zur Ermittlung der Reduktionspotentiale und Reduktionsmöglichkeiten. Universität für Bodenkultur, Forschungsprojekt L883/94, Wien, 311 S.
- Arogo J., Zhang R. H., Riskowski G. L., Christianson L. L. u. Day D. L. 1999: Mass transfer coefficient of ammonia in liquid swine manure and aqueous solutions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 73, S. 77–86.
- Brehme G. 2000: Quantifizierung des Luftvolumenstroms in frei gelüfteten Rinderställen mit Hilfe der Kompartimentalisierungsmethode zur Bestimmung umweltrelevanter Emissionsmassenströme. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen, 136 S.
- Brose G. 2000: Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit

- Schwerkraftlüftung. Dissertation, Universität Hohenheim, VDI-MEG-Schrift 362, 136 S.
- Bundesamt für Landwirtschaft 2003: Agrarbericht. Bern.
- Bundesamt für Umwelt BAFU u. Bundesamt für Landwirtschaft BLW 2008: Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820, Bern, 221 S.
- Cortus E. L., Lemay S. P., Barber E. M., Hill G. A. u. Godbout S. 2008: A dynamic model of ammonia emission from urine puddles. *Biosystems Engineering*, 99, S. 390–402.
- Demmers T. G. M., Phillips V. R., Short L. S., Burgess L. R., Hoxey R. P. u. Wathes C. M. 2001: Validation of ventilation rate measurement methods and the ammonia emission from naturally ventilated dairy and beef buildings in the U.K. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79, S. 107–116.
- Dore C. J., Jones B. M. R., Scholtens R., Huis in 't Veld J. W. H., Burgess L. R. u. Phillips V. R. 2004: Measuring ammonia emission rates from livestock buildings and manure stores – part 2: Comparative demonstrations of three methods on the farm. *Atmospheric Environment*, 38, S. 3017–3024.
- Ethoprogrammverordnung 2008: Verordnung des EVD über Ethoprogramme. EVD, AS 2008 3785 vom 25.06.2008.
- Groenestein C. M. 1993: Animal-waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. *Livestock Environment IV: Fourth International Symposium University of Warwick Coventry, England*, S. 1169–1175.
- Groot Koerkamp P. W. G., Metz J. H. M., 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., Pedersen S., Takai H., Johnsen J. O. u. Wathes C. M. 1998: Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 70, S. 79–95.
- Groot Koerkamp P. W. G. u. Uenk G. H. 1997: Climatic conditions and aerial pollutants in and emissions from commercial animal production systems in the Netherlands. In: Voermans J.A.M. and Monteny G.J. *Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities. Proceedings of an International Symposium in Vinkeloord, Netherlands*, S. 139–144.
- Gustafsson G., Hultgren J. u. Jeppsson K.-H. 2001: Ammonia emissions from the cowshed, and animal cleanliness, reproductive performance and health – reference measurements. In: *Life Ammonia*, 5, Februar 2001.
- Hartung E. 1995: Entwicklung einer Messmethode und Grundlagenuntersuchung zur Ammoniakfreisetzung aus Flüssigmist. Dissertation, Universität Hohenheim, VDI-MEG-Schrift 275, 168 S.
- Huis in 't Veld J. W. H., Smits M. C. J. u. Monteny G. J. 2003: Ammoniakemission uit melkveestallen van Koeien & Kansen-bedrijven. *Koeienenkansen rapport 17*.
- Keck M. 1997: Ammonia emission and odour thresholds of cattle houses with exercise yards. In: Voermans J.A.M. and Monteny G.J. *Ammonia and Odour Emissions From Animal Production Facilities, Vinkeloord, Netherlands*, S. 349–355.

- Kroodsma W., Huis in 't Veld J. W. H. u. Scholtens R. 1993: Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science*, 35, S. 293–302.
- Mačuhová J., Enders S., Peis R., Gutermann S., Freiberger M. u. Haidn B. 2008: Untersuchungen zur Optimierung des Stallklimas in Aussenklimaställen für Milchvieh. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8, Freising-Weißenstephan, 97 S.
- Monteny G. J. 2000: Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Thesis, Wageningen University, Wageningen, 156 S.
- Müller H. J. u. Sanftleben P. 2008: Hitzestress in der Milchviehhaltung. *Landtechnik*, 63, S. 172–173.
- Oosthoek J., Kroodsma W. u. Hoeksma P. 1990: Ammonia emission from dairy and pig housing systems. In: Nielsen V.C., Voorburg J.H. and l'Hermite P. *Odour and ammonia emissions from livestock farming*, Silsoe, United Kingdom 26.–28. März 1990, S. 31–41.
- Phillips V. R., Bishop S. J., Price J. S. u. You S. 1998: Summer emissions of ammonia from a slurry-based, UK, dairy cow house. *Bioresource Technology*, 98, S. 213–219.
- Pollet I., Christiaens J. u. Van Langenhove H. 1998: Determination of the ammonia emission from cubicle houses for dairy cows based on a mass balance. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 71, S. 239–248.
- Rom H. B., Zhang G. Q. u. Wang C. 2004: Survey of ammonia emission from naturally ventilated housing facilities for cattle. In: *International Conference on Agricultural Engineering*, 12 to 16 September 2004, Leuven, S. 668–669.
- Schmidt D. R., Jacobson L. D. u. Janni K. A. 2002: Continuous monitoring of ammonia, hydrogen sulfide and dust emissions from swine, dairy and poultry barns. In: *ASAE Annual International Meeting, CIGR XVth World Congress Chicago, Illinois, USA*, 28.–31. Juli 2002, S. 14.
- 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-Schrift 483, 131 S.
- Seipelt F. 1999: Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First-Lüftung. Dissertation Georg-August-Universität Göttingen, VDI-MEG-Schrift 339, 188 S.
- Smits M. C. J., Valk H., Monteny G. J. u. van Vuuren A. M. 1997: Effect of protein nutrition on ammonia emission from cow houses. In: Jarvis S.C. and Pain B.F., *Gaseous nitrogen emissions from grassland*, S. 101–107.
- Spiekers H. u. Obermaier A. 2007: Milchwahnharnstoffgehalt und N-Ausscheidung. *Schule und Beratung*, 4–5, S. III-4 – III-9.
- Swierstra D., Braam C. R. u. Smits M. C. 2001: Grooved floor system for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. *Applied Engineering in Agriculture*, 17, S. 85–90.
- Tamminga S. 1992: Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science*, 75, S. 345–357.
- Van Duinkerken G., André G., Smits M. C. J., Monteny G. J. u. Šebek L. B. J. 2005: Effect of rumen-degradable protein balance and forage type on bulk milk urea concentration and emission of ammonia from dairy cow houses. *Journal of Dairy Science*, 88, S. 1099–1112.
- Van't Ooster A., Scholtens R. u. van der Heiden-de Vos J. J. C. 1994: Emissie uit de rundveestal – Ammoniakemissie uit natuurlijk geventileerde stallen is nu mogelijk. *Landbouwmecanisatie*, 7, S. 12–14.
- Zhang G., Strøm J. S., Li B., Rom H. B., Morsing S., Dahl P. u. Wang C. 2005: Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle Buildings. *Biosystems Engineering*, 92, S. 355–364.

Die Autoren/innen bedanken sich

- beim Bundesamt für Umwelt BAFU für den Auftrag und die Teilfinanzierung.
- bei den sechs Praxisbetrieben für die kooperative Zusammenarbeit.

Anfragen über andere landtechnische Probleme sind an die unten aufgeführte Beratung für Landtechnik zu richten. Weitere Publikationen und Prüfberichte beziehen Sie direkt bei ART:
Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, doku@art.admin.ch, www.agroscope.ch

- ZH** Berger Stephan, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 99 52
Blum Walter, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 98 24
Mayer Gerd, Strickhof,
8315 Lindau, Telefon 052 354 99 16
- BE** Marti Fritz, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 52 10
Hofmann Hans Ueli, Inforama Rütli und Waldhof,
3052 Zollikofen, Telefon 031 910 51 54
- LU** Moser Anton, BBZN Schüpfheim,
6170 Schüpfheim, Telefon 041 485 88 00
Walthert Lukas, BBZN Hohenrain, Sennweidstrasse,
6276 Hohenrain, Telefon 041 914 30 77
- UR** Hörler Cyrill, LBBZ Seedorf,
6462 Seedorf, Telefon 041 871 05 66
- SZ** Landolt Hugo, Landw. Beratung und Weiterbildung,
8808 Pfäffikon, Telefon 055 415 79 22
- OW** Amgarten Martin, Amt für Landwirtschaft und
Umwelt, 6061 Sarnen, Telefon 041 666 63 15
Müller Erwin, BWZ Obwalden,
6074 Giswil, Telefon 041 675 16 16
- NW** Schlegel Sabrina, Amt für Landwirtschaft,
Kreuzstr. 2, 6371 Stans, Telefon 041 618 40 01
- GL** Amt für Landwirtschaft, Postgasse 29,
8750 Glarus, Telefon 055 646 66 40
- ZG** Gut Willi, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 54
Villiger Albert, LBBZ Schluechthof,
6330 Cham, Telefon 041 784 50 59
- FR** Zwahlen Fabian, Landw. Schule Grangeneuve
1725 Posieux, Telefon 026 305 58 50
- SO** Ziörjen Fritz, Landw. Bildungszentrum Wallierhof,
4533 Riedholz, Telefon 061 552 21 40
- BL** Ziörjen Fritz, Landw. Zentrum Ebenrain,
4450 Sissach, Telefon 061 552 21 40
- SH** Hauser Peter, LBZ Charlottenfels,
8212 Neuhausen, Telefon 052 674 05 20
- AI** Landw. Beratungsdienst AI, Gaiserstrasse 8,
9050 Appenzell, Telefon 071 788 95 76
- AR** Vuilleumier Marc, Landwirtschaftsamt AR,
9102 Herisau, Telefon 071 353 67 56
- SG** Lehmann Ueli, Landw. Zentrum SG,
9465 Salez, Telefon 058 228 24 19
Steiner Gallus, Landw. Zentrum SG,
9230 Flawil, Telefon 058 228 24 88
- GR** Merk Konrad, LBBZ Plantahof,
7302 Landquart, Telefon 081 307 45 35
- AG** Böll Astrid, LBBZ Liebegg,
5722 Gränichen, Telefon 062 855 86 27
- TG** Baumgartner Christof, BBZ Arenenberg,
8268 Salenstein, Telefon 071 663 33 06
Christian Eggenberger, BBZ Arenenberg,
8570 Weinfelden, Telefon 071 626 10 58
- TI** Müller Antonio, Ufficio consulenza agricola,
6501 Bellinzona, Telefon 091 814 35 53
- AGRIDEA**
Abteilung Landtechnik,
8315 Lindau, Telefon 052 354 97 00

