

Ammoniakemissionen aus Milchviehställen und Maßnahmen zur Minderung

Sabine Schrade^{1*}, Beat Steiner¹ und Margret Keck¹

Zusammenfassung

Laufställe sind bedeutende Quellen von Ammoniak-Emissionen (NH₃). Bisher fehlten Emissionsdaten für Liegeboxenlaufställe mit Laufhof. Die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART und die Empa bestimmten die NH₃-Emissionen des Haltungssystems Liegeboxenlaufstall mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof für Milchvieh. Die Messungen auf sechs Praxisbetrieben waren übers Jahr verteilt und deckten somit jahreszeitliche und betriebliche Unterschiede ab. Als relevante Einflussgrößen auf die NH₃-Emission resultierten die Temperatur, die Windgeschwindigkeit im Stall und der Harnstoffgehalt der Tankmilch. Lösungen zur Minderung setzen bei bedarfsgerechter Fütterung, verbessertem Stallklima, weniger verschmutzter Fläche, raschem Harnabfluss von den Laufflächen und optimierter Entmistung an. Planbefestigte Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne ermöglichen rasches Abfließen von Harn ins gedeckte Güllelager. Eindrücke von sechs Praxisbetrieben in Deutschland und Österreich zeigen, dass eine präzise Ausführung des Gefälles und häufiges Entmisten für einen ungehinderten Harnabfluss wichtig sind.

Schlagwörter: Emissionen, Ammoniak, Minderungsmaßnahmen, Milchvieh, Harnabfluss

Summary

Loose-housing systems are major sources of ammonia emissions (NH₃). To date, emission data for cubicle loose-housing systems with outdoor exercise area have been lacking. Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART and Empa have determined the NH₃ emissions of dairy-cattle cubicle loose-housing systems with solid-concrete flooring and an outdoor exercise area. Taken on six commercial farms, the measurements were spread out over the year, thus covering seasonal and operational differences. Temperature, wind speed in the housing, and urea content of tank milk proved to be important influencing variables for NH₃ emissions. Abatement solutions begin with needs-based feeding, an improved housing climate, reduction of soiled surface area, rapid urine drainage from the exercise areas, and optimised dung removal. Solid-concrete floor surfaces with a 3% transverse slope and a urine collection gutter enable rapid drainage of urine into the covered slurry store. Impressions from six commercial farms in Germany and Austria show that precise construction of the slope and frequent dung removal are important for unimpeded urine drainage.

Keywords: Emissions, ammonia, abatement measures, dairy cattle, urine drainage

1. Einleitung

Bei Hochleistungskühen gelangen knapp 20 % des zugeführten Stickstoffs in die Milch, rund 30 % werden im Kot und etwa 50 % im Harn ausgeschieden (TAMMINGA, 1992). NH₃ entsteht überwiegend aus Harnstoff im Harn mit Hilfe des Enzyms Urease. Die NH₃-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. Die mit Kot und Harn verschmutzten Laufflächen sind also die wesentlichen Quellen der NH₃-Emissionen. In Form von NH₃ geht der Landwirtschaft wertvoller Stickstoffdünger verloren. NH₃ in der Atmosphäre wird schliesslich als saurer Regen ausgewaschen und belastet als Stickstoffdünger empfindliche Ökosysteme.

Aktuelle Emissionsdaten für NH₃ aus der Milchviehhaltung sind zur vergleichenden Bewertung von Haltungssystemen nötig, als Beitrag für Emissionsinventare sowie als Referenz für Minderungsmaßnahmen. Gemäß den Umweltzielen Landwirtschaft (BUNDESAMT FÜR UMWELT und

BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2008), müssen die NH₃-Emissionen um rund 40 % vermindert werden. Angesichts dieses hohen Handlungsbedarfs gilt es, die vorhandenen Möglichkeiten zur Emissionsminderung von Ammoniak konsequent auszuschöpfen und neue Lösungen aufzuzeigen.

In diesem Beitrag sind systematische Messungen von NH₃-Emissionen bei sechs Milchviehlaufställen mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof dargestellt. Weiter wird ein Überblick über NH₃-Minderungsmaßnahmen sowie Untersuchungen zu planbefestigten Laufflächen mit Gefälle für raschen Harnabfluss aufgezeigt.

2. NH₃-Messungen auf Milchviehbetrieben

Literaturdaten für NH₃-Emissionen bei Milchvieh waren für die in der Schweiz verbreiteten freigelüfteten Laufstallsysteme mit Laufhof nicht aussagekräftig. Bisher wurden Messungen überwiegend in zwangsgelüfteten oder weitgehend geschlossenen Ställen ohne Laufhof durchgeführt. Die fehlenden Emissionsdaten bei freier Lüftung und von

¹ Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Tänikon 1, CH-8356 ETTENHAUSEN

* Ansprechperson: Dr. Sabine Schrade, E-mail: sabine.schrade@agroscope.admin.ch



Flächenquellen sind im Wesentlichen auf Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Luftwechselrate zurückzuführen.

Ziel dieser Untersuchung war es, die NH_3 -Emissionen für die in der Schweiz häufige Situation der Milchviehhaltung im Laufstall mit Laufhof zu bestimmen.

2.1 Material und Methoden

Die Messungen erfolgten in zwölf Messperioden auf sechs Praxisbetrieben mit freigelüfteten Liegeboxenlaufställen mit planbefestigten Laufflächen und Laufhof. Messungen in je zwei von drei Jahreszeiten (Sommer, Übergangszeit, Winter) pro Betrieb deckten die klimatische Variation im Jahresverlauf ab. Um die Emissionen von zwei Bereichen mit unterschiedlicher Quellstärke abzubilden, wurde eine Tracer-Ratio-Methode mit zwei Tracergasen (SF_6 , SF_5CF_3) entwickelt und erfolgreich eingesetzt. Zur Charakterisierung der jeweiligen Messsituation, zur Plausibilisierung von Messdaten als Bezugsgrößen und zur Ableitung von wichtigen Einflussgrößen auf die Emissionen, dienten neben beschreibenden Betriebsdaten folgende Parameter: Außenklima, Klima in Stall und Laufhof, Tieraufenthalt, Laufflächenverschmutzung sowie Stickstoff-Input, -Output und -Verwertung.

Für die Messungen wurde das in der Schweiz weit verbreitete Haltungssystem für Milchvieh im Laufstall mit Laufhof ausgewählt. Dabei handelte es sich um freigelüftete Eingebäudelaufställe mit Liegeboxen, planbefestigte Laufflächen und längs zum Stallgebäude angeordnetem Laufhof. Auf drei Betrieben war der Laufhof räumlich vom Stallgebäude getrennt und auf drei Betrieben als kombinierter Liegegang/Laufhof ausgeführt (Abbildung 1). 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 Bestandesgrößen variierten zwischen 20 und 74 Tieren.

2.2 Ergebnisse und Diskussion

Mit dem systematischen Messansatz auf sechs Praxisbetrieben konnten betriebliche und jahreszeitliche Effekte aufgezeigt werden. Die Tracer-Ratio-Methode hat sich im Praxiseinsatz bewährt. Die Vielfalt der erhobenen Begleitparameter ermöglichte die jeweilige Messsituation detailliert zu beschreiben und einzuordnen sowie Einflussgrößen auf die NH_3 -Emission aufzuzeigen. Im Stickstoff-Niveau unterschieden sich die einzelnen Betriebe und Messperioden zum Teil deutlich. So variierte beispielsweise der mittlere Harnstoffgehalt der Tankmilch zwischen den Betrieben und Messperioden von 13 bis 31 mg pro 100 ml.

Die Tagesmittelwerte der NH_3 -Emissionen variierten im Sommer über alle Messperioden hinweg von 31 bis 67 g/GV·d und lagen damit etwas höher als punktuelle Literaturwerte mit 9 bis

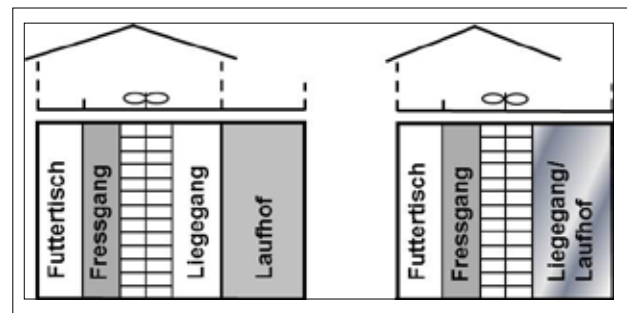


Abbildung 1: Schematische Skizzen für die beiden Stallkonzepte: Laufhof getrennt vom Stallgebäude (links); kombinierter Liegegang/Laufhof (rechts)

57 g/GV·d (ROM et al., 2004; ZHANG et al., 2005). In der Übergangszeit reichten die NH_3 -Emissionen von 16 bis 44 g/GV·d. Im Winter lagen die Tagesmittelwerte mit 6 bis 23 g/GV·d deutlich tiefer als die von SEIPELT (1999) im Winter gemessene Emission mit 40 g/GV·d. Die mittleren NH_3 -Emissionen der jeweils drei Messtage auf einem Betrieb innerhalb einer Messperiode waren sehr konsistent.

Tagesgänge waren nur in der warmen Jahreszeit erkennbar. Bis zu einer Temperatur von etwa 7 °C veränderte sich das NH_3 -Niveau bei Erhöhung der Temperatur kaum. Dagegen stiegen die NH_3 -Emissionen bei einem höheren Temperaturniveau mit zunehmender Temperatur deutlich an (Abbildung 2).

Als relevante Einflussgrößen auf die NH_3 -Emission resultierten in einem linearen Gemischte-Effekte-Modell, welches die hierarchische Datenstruktur von Betrieb, Messperiode und Messtag berücksichtigt, die Windgeschwindigkeit im Stall ($F_{1,1053} = 99,49$; $p < 0,001$) sowie eine Interaktion der Außentemperatur ($F_{1,1053} = 100,78$; $p < 0,001$) und des Harnstoffgehalts der Tankmilch ($F_{1,5} = 6,91$; $p = 0,047$). Diese Einflussgrößen geben Hinweise auf die Minderungsansätze bedarfsgerechte und

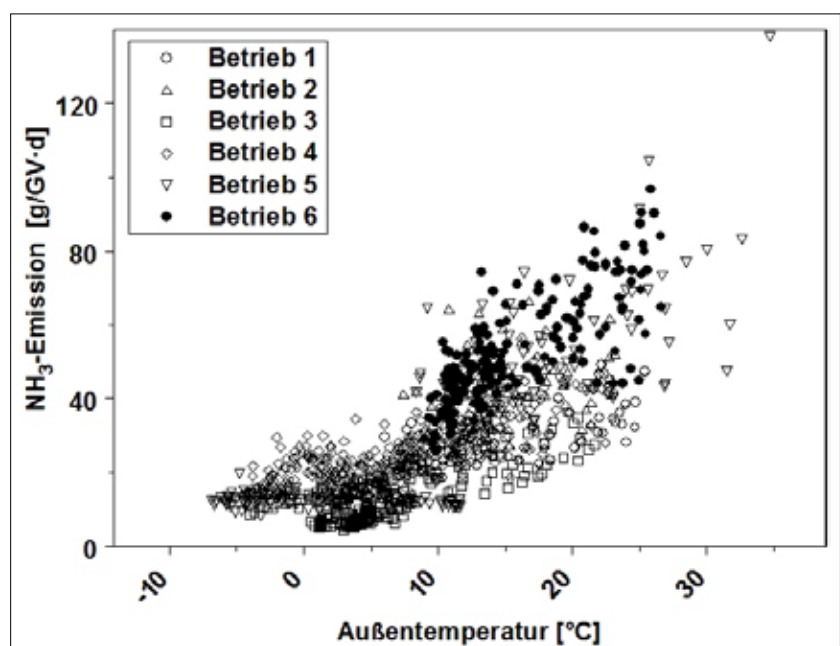


Abbildung 2: NH_3 -Emission [g/GV·d] als Funktion der Außentemperatur [°C], dargestellt als einzelne Messzyklen differenziert nach Betrieben.

Tabelle 1: Beispiele aus der Literatur für baulich-verfahrenstechnische und organisatorische Maßnahmen zur Minderung von NH₃-Emissionen aus der Haltung von Rindvieh (verändert nach KECK et al. 2006)

Maßnahme, Prinzip	Beschreibung, Varianten	Ort	Quelle
Reduktion der emissionsaktiven Fläche	Verringerung der Lauffläche	Praxis	SOMMER et al. (2006)
	Abdeckung der Gülleoberfläche in Güllekanälen unterflur	Praxis, Labor	VAN DOOREN u. MOSQUERA (2010)
Schneller Harnabfluss von Laufflächen	Größere Schlitzbreite bei Spaltenboden	Labor	SVENNERSTEDT (1996,1999)
	Planbefestigte Laufflächen: 3 % Gefälle, Rinne mittig bzw. seitlich	Praxis	BRAAM et al. (1997a; 1997b) SWIERSTRA et al. (1995)
	Rillenboden mit Ablauföffnungen	Praxis	SWIERSTRA u. BRAAM (1999)
	Rillenboden mit/ohne Ablauföffnungen; Schlitze zwischen Flächenelementen	Praxis, Labor	VAN DOOREN u. MOSQUERA (2010)
Schnelles Entfernen der Exkremente von Laufflächen	Reinigung von Spaltenböden	Praxis	ANDERSSON et al. (1994) KROODSMA et al. (1993)
	Erhöhte Reinigungsfrequenz von planbefestigten Laufflächen	Praxis, Labor	GEORG u. RETZ (2011)
		Labor	KECK (1997)
Binden von Harn an Einstreu	Stroheinstreumenge variiert	Praxis	BRAAM et al. (1997b)
		Labor, Praxis	GILHESPY et al. (2009)
Harnanfall im Stall reduziert durch Weidehaltung	Weidedauer variiert: 0, 10, 20 h/d	Praxis, Modell	MONTENY et al. (2001)
	Weidedauer variiert: 0, 12, 18, 22 h/d	Labor, Praxis	GILHESPY et al. (2006) WEBB et al. (2003)

ausgeglichene Fütterung sowie Stallklimaaspekte. Bei SCHRADE et al. (2012) sind die Untersuchungen detaillierter beschrieben.

3. Übersicht über NH₃-Minderungsmaßnahmen

Zur Erreichung der Umweltziele sind NH₃-Minderungsmaßnahmen bei der Haltung von Rindvieh umzusetzen. *Tabelle 1* gibt einen Überblick über Labor- und Praxisuntersuchungen zur Minderung von NH₃-Emissionen aus der Rindviehhaltung. Der direkte Vergleich von Minderungsangaben verschiedener Untersuchungen ist nicht zulässig, da diese sich sowohl im Referenzniveau als auch im gewählten Versuchsansatz sowie bei den Randbedingungen unterscheiden.

Als Grundlage für Empfehlungen, Förderprogramme sowie für das Emissionsinventar sind wissenschaftlich gesicherte Minderungsdaten nötig. Daher sind systematische Emissionsmessungen mit Versuchsansätzen erforderlich, die eine Übertragung der Ergebnisse auf die Praxis sowie einen Vergleich zwischen verschiedenen Maßnahmen und Studien ermöglichen. Weitere Minderungsansätze müssen gezielt bis zur Praxisreife weiterentwickelt und deren Minderungspotenzial quantifiziert werden. Für erfolgversprechende Minderungsmaßnahmen gelten folgende Anforderungen (nach KECK und SCHRADE 2011):

- Deutliches Minderungspotenzial
- Keine oder geringe unerwünschte Effekte (z.B. hoher Energieverbrauch)
- Realisierbarkeit und Funktionalität
- Möglichst keine Verlagerung auf andere Verlustpfade (z.B. N₂O, CH₄)
- Akzeptanz in der Praxis
- Wirtschaftliche Tragbarkeit
- Synergien zum Tierschutz
- Umsetzbarkeit nicht nur bei Neubauten, sondern möglichst auch bei bestehenden Stallgebäuden und Umbauten

- Kontrollmöglichkeit
- Kombinierbarkeit mit weiteren Maßnahmen

Bei der Auswahl von Minderungsmaßnahmen sind neben Erkenntnissen zum Wirkungsprinzip und Minderungspotenzial eine Einschätzung zur Verbreitung in der Ausgangssituation, zum Veränderungspotenzial und Umsetzungsspielraum erforderlich. Organisatorische Maßnahmen können durch ihre enorme Breitenwirkung ein quantitativ bedeutendes Minderungspotenzial erschließen.

4. Untersuchungen zu Laufflächen mit raschem Harnabfluss

4.1 Literaturübersicht

Auf planbefestigten Laufflächen ohne Gefälle verbleibt bis zum nächsten Entmistungszeitpunkt stehende Nässe. Stehende Nässe (Harnpfützen) in Senken und Mulden stellen ein großes NH₃-Bildungs- und -Freisetzungspotenzial dar (*Abbildung 3*). Auf dem kürzesten Weg soll Harn mit einem Quergefälle zu einer Sammelrinne geführt werden.

In den Niederlanden wurden in den 90er Jahren NH₃-Emissionen von Laufflächen mit Gefälle in der Rindviehhaltung untersucht. Eine planbefestigte Lauffläche mit einem Quergefälle von 3 % zur Mitte hin und einer mittigen Harnrinne zeigte im Vergleich zur Referenz mit herkömmlichen Spaltenboden eine Minderung der NH₃-Emissionen um rund 50 % (SWIERSTRA et al., 1995). Die Entmistung erfolgte dabei stündlich. Bei Versuchen von BRAAM et al. (1997a) reduzierten sich die NH₃-Emissionen bei einem einseitigen Gefälle von 3 % mit Harnrinne an den Liegeboxen im Vergleich zu planbefestigten Laufflächen ohne Gefälle und einem Spaltenboden (Referenz) um rund 20 %. Bei einem Quergefälle mit 3 % zur Mitte hin und einer mittigen Harnrinne (Entmistung alle 2 Stunden) waren die NH₃-Emissionen im Vergleich zur perforierten Referenzlauffläche um rund 50 % vermindert (BRAAM et al., 1997b). In der Praxis erfolgt das Ableiten



Abbildung 3: Stehende Nässe auf planbefestigter Lauffläche ohne Gefälle (links); rasches Abfließen von Harn durch Quergefälle (rechts).

des Harns in den Querkanal häufig über die Führungsrinne der Schieberentmistinganlage. Doch dieses Volumen ist begrenzt und es kann zum Überlaufen und so zu stehendem Harn kommen. Daher sind ausreichend gross konzipierte Harnsammelrinnen mit minimalem Gefälle für ein gezieltes Abführen der Flüssigkeiten erforderlich. Die Funktion von solchen Rinnen muss zusätzlich durch mechanische Räumer am Mistschieber unterstützt werden (Abbildung 4).

Im Folgenden sind Untersuchungen zum Harnabflussverhalten im halbtechnischen Massstab sowie Erhebungen auf Praxisbetrieben zu Laufflächen mit Gefälle, Harnsammelrinne und Entmistungsschieber dargestellt.

4.2 Versuche zum Harnabfluss im halbtechnischen Massstab

Systematische Untersuchungen zum Harnabfluss von sieben Bodenoberflächen bei variiertem Gefälle (0 – 5 %) im halbtechnischen Massstab an der ART haben STEINER et al. (2011) in Tänikon durchgeführt. Die Laufflächen waren mit einem Kot-Harn-Gemisch standardisiert vorbefeuchtet und verschmutzt. Appliziert wurden jeweils 2 l Wasser, was dem Volumen eines durchschnittlichen Harnvorgangs einer Kuh entspricht (RUTZMOSER, 2009). Gemessen wurde die Zeitdauer des Abflusses sowie die Masse und die Ausbreitungsfläche der zurückbleibenden Flüssigkeit. Bei den untersuchten Laufflächen zeigte das Gefälle einen deutlich stärkeren Effekt auf das Abflussverhalten als die Oberflächenstruktur (Abbildung 5). Bis zu 3 % Gefälle resultierte insbesondere bei der Abflussdauer und der zurückbleibenden Masse bei allen Laufflächenbelägen ein starker Rückgang. Aus den Versuchen leitet sich demnach ein Gefälle von rund 3 % bei der Ausführung von planbefestigten Laufflächen als empfehlenswert ab (STEINER et al., 2011).

4.3 Erhebungen auf Praxisbetrieben

Auf sechs Praxisbetrieben in Deutschland und Österreich wurden Erfahrungen von Betriebsleitenden zu planbefestigten Laufflächen mit Quergefälle und Harnsammelrinne erfragt und verfahrenstechnische Details erhoben. Bei den Ställen handelt es sich mit Ausnahme von einem geschlossenen, nicht wärmedämmten Stall um Aussenklimaställe

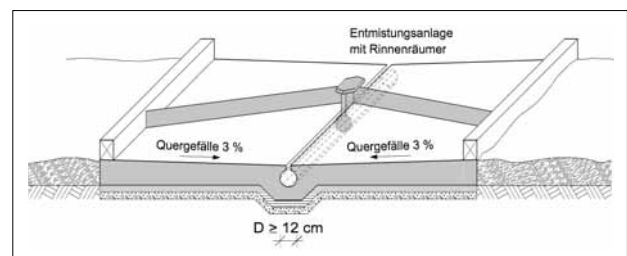


Abbildung 4: Lauffläche mit Gefälle und Harnsammelrinne ausgeführt mit Kunststoffrohr sowie Entmistungsschieber mit Rinnenräumer (Quelle: BUNDESAMT FÜR UMWELT und BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2011)

(Tabelle 2). Die Liegeboxen sind als Hoch- bzw. Tiefboxen ausgeführt und alle Betriebe setzen Stroh als Einstreu ein. Gründe für den Einbau der planbefestigten Laufflächen mit Gefälle und Harnsammelrinne sind in erster Linie saubere und trockene Klauen und somit Verbesserung der Klauengesundheit. Als weiteren Grund führten Landwirte saubere Kühe an, was die Euterreinigung erleichtert. Der Landwirt von Betrieb 4 gab an, dass das Gefälle und die Harnsammelrinne auch zum raschen Abfluss des Regenwassers vom integrierten Laufhof dienen.

Auf jedem Betrieb wurde eine einzelne Lauffläche (Fressgang oder Laufhof) detaillierter betrachtet und unter anderem auch das Gefälle ausgemessen. Bei vier der untersuchten Laufflächenmaterialien handelt es sich um Gummibeläge, bei zwei um Beton. Das Quergefälle wurde von allen Betriebsleitern mit 2 % angegeben. Die an sechs bis zehn Positionen gemessenen Werte waren jedoch vielerorts deutlich tiefer und variierten bei den meisten Betrieben über die Längsachse stark. Aufgrund der nicht zufriedenstellenden Ausführung des Gefälles bilden sich zum Teil Harnpfützen und nach der Entmistung bleibt Restverschmutzung zurück. Bei Betrieb 6 ist in der Längsachse zusätzlich ein Gefälle von knapp 1 % eingebaut. Dies führt dazu, dass Harn in der Harnsammelrinne sofort in den Querkanal abfließen kann. Dieser Effekt war in diesem Stall deutlich erkennbar.

Die besuchten Betriebe entmisten mit Klappschiebern der Firmen Prinzing bzw. Schauer. Diese sind zusätzlich mit einer Räumerklappe aus Stahl bzw. Hartkunststoff zur Reinigung der Harnsammelrinnen ausgestattet (Abbildung 4).

Alle besuchten Betriebe hatten bereits Erfahrungen mit mindestens einer Winterperiode und waren im Grossen und Ganzen mit dem System zufrieden. Wie herkömmliche Schieber kommen auch diese bei Frost an ihre Grenzen. Empfohlen wird daher, den Schieberbahnhof im Stall vorzusehen bzw. den Schieber im Winter im Stall zu parken. Bei Laufflächen mit Gefälle müssen sich zudem die Schieberarme der Bodenneigung anpassen können. Um eine bessere Reinigungsqualität bei abgetrockneter Verschmutzung zu erzielen, befeuchten zwei Betriebe die Lauffläche im Sommer zum Teil zusätzlich mit Wasser von der Melkstandreinigung.

Die Entmistungshäufigkeit variiert zwischen den Betrieben von zwei Mal täglich (bei Weidegang) bis zu zwölf Mal täglich. Zum Teil startet die Entmistung automatisch mittels Zeitschaltuhr. Zwei Betriebe verfügen über Sicherheitsvorkehrungen des Schiebers wie eine Notausleiste vor dem Abwurf und eine Überlastsicherung.

4.4 Fazit zu Laufflächen mit raschem Harnabfluss

Zur Minderung von NH₃-Emissionen sind alle drei Elemente Quergefälle, Harnabflussrinne und häufiges Entmisten

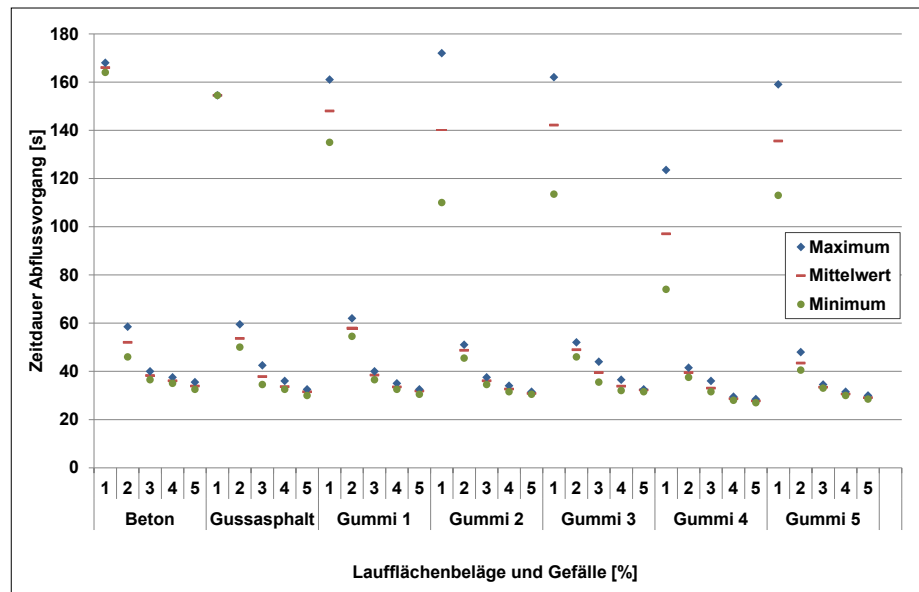


Abbildung 5: Zeitdauer des Abflussvorgangs bei unterschiedlichen Laufflächenbelägen und Gefällestufen (Quelle: STEINER et al., 2011)

wichtig. Neben einem präzise ausgeführten Quergefälle mit 3 % ist zudem für ein gezieltes Abführen der Flüssigkeiten eine ausreichend gross konzipierte Harnsammelrinne mit Längsgefälle erforderlich. Die Funktion von solchen Rinnen muss durch mechanische Harnrinnenräumer am Entmistungsschieber unterstützt werden. Weiter kann Harn nur bei einer sauberen Lauffläche ungehindert abfliessen. Häufiges Entmisten ist demnach in Stallbereichen mit hohem Tieraufenthalt und entsprechend grossem Kot- und Harnanfall besonders relevant. Voraussetzung für häufiges Entmisten sind tiergerechte Schieber, die sich durch

Tabelle 2: Übersicht über die untersuchten Betriebe mit planbefestigten Laufflächen mit Quergefälle, Harnsammelrinne und Entmistungsschieber mit Räumerklappe zum Reinigen der Harnsammelrinne.

Betrieb Nr.	1	2	3	4	5	6
Stall	Aussenklima Umbau	Aussenklima Neubau	Aussenklima Umbau	Aussenklima Umbau	Geschlossen, keine Wärmedämmung Umbau	Aussenklima Neubau
Anzahl Milchkühe/-Plätze [n]	30	33	30	28	40	80
Baujahr	2011	2006	2010	2010	2008	2007
Ausführung Liegefläche	Tiefboxen mit Langstroh	Hochboxen mit Matratze und Kurzstroh	Tiefboxen mit Langstroh	Tiefboxen mit Langstroh	Hochboxen mit Matratze und Kurzstroh	Tiefboxen mit Langstroh
Untersuchte Lauffläche	Fressgang	Fressgang	Fressgang	Integrierter Laufhof	Fressgang	Fressgang
Bodenbelag	Gummi	Beton mit Besenstrich	Gummi	Gummi	Beton mit Granitsteinen	Gummi
Breite [m]	3,7	3,7	3,5	4,5	2,8	4,0
Quergefälle Minimum-Maximum [%]	0,3 – 1,9	1,1 – 2,6	0,6 – 1,9	0,5 – 1,7	keine Angabe	0,8 – 2,2
Tiefe Harnsammelrinne [cm]	17	30	17	17	30	30 Längsgefälle von 1%
Entmistungsschieber						
Reinigungswerkzeug	Metallklappe	Metallklappe	Metallklappe	Metallklappe	Metallklappe	Hartkunststoffklappe
Material Harnrinnen-Räumerklappe	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Stahl	Hartkunststoff
Häufigkeit Entmisten [n/Tag]	6	5 bzw. 2 (bei Weide)	mindestens 5	4	keine Angabe	12
Start Schieber	manuell	manuell	automatisch und manuell	manuell	keine Angabe	automatisch

geringe Baumasse, tiefe Arbeitsgeschwindigkeit und entsprechende Sicherheitsvorkehrungen auszeichnen. Weiter sind Ausweichmöglichkeiten für die Tiere vorzusehen und Sackgassen zu vermeiden. Die Entmistungszeitpunkte sind zeitlich auf die Melk- und Fütterungszeiten und den Umtrieb der Tiere im Tagesablauf abzustimmen. Saubere und trockene Laufflächen verringern nicht nur die Entstehung und Freisetzung von Ammoniak, sondern fördern auch die Stallhygiene und die Klauengesundheit.

5. Ausblick

Zur Verbesserung der Datengrundlage für NH_3 -Emissionen von der Stallhaltung von Milchvieh und zur vergleichenden Bewertung von Haltungssystemen sind weitere Emissionsmessungen bei Liegeboxenlaufställen mit unterschiedlich ausgeführten Laufflächen und Mehrgebäudeställen mit integriertem Laufhof erforderlich. Dabei gilt es, die Minderungsprinzipien optimiertes Flächenangebot, rascher Harnabfluss und schnelles Entfernen der Exkremente bestmöglich aufeinander abzustimmen.

Um die Umweltziele im Bereich NH_3 -Minderung zu erreichen, sind praxistaugliche Maßnahmen für die Stallhaltung von Rindvieh nötig.

6. Literatur

- ANDERSSON, M., JEPPSSON, K. H. und E. VON WACHENFELT, 1994: Ammonia emission from different surfaces in livestock buildings. In: European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng). International Conference on Agricultural Engineering, 29.8.-1.9.1994, Milano, 185–186.
- BRAAM, C.R., KETELAARSK, J.J.M.H. und M.C.J. SMITS, 1997a: Effects of floor design and floor cleaning on ammonia emission from cubicle houses for dairy cows. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 45, 49–64.
- BRAAM, C.R., SMITS, M.C.J., GUNNINK H. und D. SWIERSTRA, 1997b: Ammonia Emission from a Double-Sloped Solid Floor in a Cubicle House for Dairy Cows. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68, 375–386.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT und BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2008: Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen, Umwelt-Wissen, Bern.
- BUNDESAMT FÜR UMWELT und BUNDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2011: Baulicher Umweltschutz in der Landwirtschaft - Ein Modul der Vollzugshilfe Umweltschutz in der Landwirtschaft, Bern.
- GEORG, H. und S. RETZ, 2011: Emissionsreduktion bei Haltung auf Spaltenböden - Bewertung eines neuartigen Reinigungsverfahrens. In: Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (ed.) *Bautagung Raumberg-Gumpenstein*. 25–28.
- GILHESPY, S. L., WEBB, J., RETTER, A. und D. CHADWICK, 2006: Dependence of ammonia emissions from housing on the time cattle spent inside. *Journal of Environmental Quality*, 35, 1659–1667.
- GILHESPY, S. L., WEBB, J., CHADWICK, D., MISSELBROOK, T., KAY, R., CAMP, V., RETTER, A. L. und A. BASON, 2009: Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *Biosystems Engineering*, 102, 180–189.
- 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. Proceedings of a International Symposium in Vinkeloord, Netherlands*, 349–355.
- KECK, M., SCHRADE, S. und M. ZÄHNER, 2006: Minderungsmaßnahmen in der Milchviehhaltung. In: KTBL (Ed.) *Emissionen der Tierhaltung. Messung, Beurteilung und Minderung von Gasen, Stäuben und Keimen.*, KTBL-Schrift 449. 211–227.
- KECK, M. und S. SCHRADE, 2011: Anforderungen an Massnahmen zur Minderung von Ammoniakemissionen in der Rindviehhaltung. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (ed.) *Emissionen der Tierhaltung - Treibhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik.* Kloster Banz, Bad Staffelstein. 360364
- KROODSMA, W., HUIS IN'T VELD, J.W.H. und R. SCHOLTENS, 1993: Ammonia emission and its reduction from cubicle houses by flushing. *Livestock Production Science*, 35, 293–302.
- MONTENY, G.J., HUIS IN'T VELD, J.W.H., VAN DUINKERKEN, G., ANDREE, G. und F. VAN DER SCHANS, 2001: Naar een jaarrondemissie van ammoniak uit melkveestallen. *IMAG, Praktijkonderzoek Veehouderij, Centrum voor Landbouw en Milieu, Wageningen*.
- ROM, H.B., ZHANG, G.Q. und C. WANG, 2004: Survey of ammonia emission from naturally ventilated housing facilities for cattle. In: European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng). *International Conference on Agricultural Engineering*, 12 to 16 September 2004, Leuven., *Book of Abstracts*, 668–669.
- RUTZMOSER, K., 2009: Schriftliche Mitteilung. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft - Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft Grub, 11.05.2009.
- SCHRADE, S., ZEYER, K., GYGAX, L., EMMENEGGER, L., HARTUNG, E. und M. KECK, 2012: Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmospheric Environment*, 183–194.
- SEIPELT, F., 1999: Quantifizierung und Bewertung gasförmiger Emissionen aus frei gelüfteten Milchviehställen mit Trauf-First-Lüftung. Georg-August-Universität Göttingen, VDI-MEG 339, 188 S.
- SOMMER, S. G., ZHANG, G.Q., BANNINK, A., CHADWICK, D., HARRISON, J. H., HUTCHINGS, N. J., MENZI, H., MONTENY, G.J., NI, J.Q., OENEMA, J. und J. WEBB, 2006: Algorithms determining ammonia emissions from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy*, 89, 261–335.
- STEINER, B., KECK, M., KELLER, M. und K. WEBER, 2011: Bewertung von Abflussverhalten auf planbefestigten Laufflächenbelägen in Rinderställen. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (Ed.), 10. Tagung: Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Kiel, 350–357.
- SVENNERSTEDT, B., 1996: Drainage properties and ammonia emissions of slatted floor systems for animal buildings. In: European Society of Agricultural Engineers (EurAgEng). *International Conference on Agricultural Engineering*, 23 to 26 September 1996, Madrid., 479–480.
- SVENNERSTEDT, B., 1999: Drainage properties and ammonia emissions in slatted floor systems for animal buildings. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 19–25.
- SWIERSTRA, D., SMITS, M.C.J. und W. KROODSMA, 1995: Ammonia emission from cubicle houses for cattle with slatted and solid floors. *Journal of Agricultural Engineering Research* 62, 127–132.
- SWIERSTRA, D. und C.R. BRAAM, 1999: Grooved floor system to reduce ammonia emission and to prevent slipperiness in loose houses for cows. In: *Conference of Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming*, TU München-Weihenstephan.
- TAMMINGA S., 1992: Nutrition management of dairy cows as a contribution to pollution control. *Journal of Dairy Science* 75, 345–357.

- VAN DOOREN, H.J. und J. MOSQUERA, 2010: Measurement of ammonia emissions from three ammonia emission reduction systems for dairy cattle using a dynamic flux chamber. CIGR World Congress. Québec Canada.
- WEBB, J., BALSDON, S. und D. CHADWICK, 2003: Investigation of how ammonia emissions from buildings housing cattle vary with the time cattle spend inside those buildings. Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung - Beiträge zur 6. Internationalen Tagung 25.- 27. März 2003 in Vechta, 303–310.
- ZHANG, G., STRØM, J.S., LI, B., ROM, H.B., MORSING, S., DAHL, P. und C. WANG, 2005: Emission of ammonia and other contaminant gases from naturally ventilated dairy cattle Buildings. Biosystems Engineering 92, 355–364.