

# Laufflächengestaltung: Emissionsminderung und verfahrenstechnische Aspekte - erste Ergebnisse aus dem Emissionsversuchsstall Tänikon

Michael Zähler<sup>1\*</sup>, Jernej Poteko<sup>1</sup>, Kerstin Zeyer<sup>2</sup> und Sabine Schrade<sup>1</sup>

## Zusammenfassung

Rasches Abfließen des Harns von den Laufflächen vermindert die Entstehung und Freisetzung von Ammoniak (NH<sub>3</sub>). Im Emissionsversuchsstall für Milchvieh von Agroscope Tänikon (Schweiz) wurden Emissionsmessungen im Praxismaßstab durchgeführt. Zwei räumlich getrennte Stallabteile ermöglichten vergleichbare Messbedingungen (z.B. Klima). Messungen in drei Jahreszeiten bildeten die klimatische Variation im Jahresverlauf ab. Erste Ergebnisse der Wintermessungen 2015 zeigten für planbefestigte Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne eine NH<sub>3</sub>-Minderung von rund 20 % gegenüber der Referenz ohne Gefälle. Der Anteil von Harn auf der Lauffläche war in der Minderungsvariante mit Quergefälle im Vergleich zur Referenz ohne Gefälle deutlich reduziert. Ergebnisse zum Tierverhalten zeigten zwischen den Varianten Laufflächen mit 3 % Gefälle und ohne Gefälle und zwischen den Varianten drei und zwölf Entmistungsvorgänge nur geringe Unterschiede bei der Anzahl von Ausrutsch-Ereignissen.

*Schlagwörter:* Emissionen, Ammoniak-Minderung, Tierverhalten, Milchvieh, Harnabfluss

## Summary

Rapid urine drainage from floor surfaces reduces ammonia (NH<sub>3</sub>) formation and release. Emissions were measured on a practical scale in experimental dairy housing at Agroscope Tänikon (Switzerland). The two spatially separated housing compartments enabled comparable measurement conditions (e.g. climate). Measurements over three seasons covered climatic variations throughout the year. The initial results of a four-day measuring period in winter 2015 showed an NH<sub>3</sub> emission reduction of around 20% in the compartment with solid floors with slope and urine-collecting gutter compared to the reference without slope. The amount of urine on the floor surface in the reduced-emissions variant with slope was also significantly lower than for the reference without slope. Results for animal behaviour differed only slightly in terms of the number of slipping events between the 'floor surfaces with 3% slope' and 'no slope' variants, as well as between the variants with three and twelve dung-removal processes, respectively.

*Keywords:* emissions, ammonia abatement, animal behaviour, dairy cattle, urine drainage

## 1. Einleitung

Einen großen Einfluss von Harn auf der Lauffläche auf die Ammoniak-Emissionen (NH<sub>3</sub>) zeigten KECK (1997), MONTENY (2000) und SNOEK et al. (2014) in Untersuchungen im halbertechnischen Massstab beziehungsweise in Modellrechnungen auf. Die Harnstoffhydrolyse beginnt etwa eine halbe bis eine Stunde nach Kontakt des Harns mit den Exkrementen bzw. der verschmutzten Lauffläche und ist meist nach wenigen Stunden abgeschlossen (MONTENY 2000). Ein schnelles Ableiten von Harn von der ureaseaktiven Lauffläche ins gedeckte Güllelager ist demnach mit Blick auf NH<sub>3</sub>-Minderung wichtig. In Schweizer Laufställen ist ein Großteil der Laufflächen planbefestigt (SCHRADER et al. 2011), weshalb Lösungen für planbefestigte Laufflächen gefragt sind. In den Niederlanden wurden in den 90er Jahren NH<sub>3</sub>-Emissionen von planbefestigten Laufflächen mit Gefälle und Harnsammelrinne(n) in einem einreihigen Liegeboxenlaufstall für Milchvieh untersucht. Planbefestigte Laufflächen mit 3 % Quergefälle und unterschiedlicher Anzahl bzw. Position der Harnsammelrinne(n) zeigten mit 20 bis 50 % NH<sub>3</sub>-Minderung einen deutlichen Effekt im Vergleich zu den Referenzvarianten planbefestigte Lauffläche ohne Gefälle bzw. perforierte Lauffläche (BRAAM et al.

1997a; BRAAM et al. 1997b; SWIESTRA und BRAAM 1995). Diese Untersuchungen lassen sich nur bedingt auf die Schweizer Haltungssysteme übertragen, da es sich um geschlossene Ställe mit vergleichsweise geringerem Laufflächenangebot handelt.

Trockene und saubere Laufflächen verbessern die Stallhygiene und die Klauengesundheit. Diese Synergieeffekte gaben Landwirte in einer Untersuchung von SCHRADER et al. (2013) auf Milchviehbetrieben in Deutschland und Österreich als Hauptgründe für den Einbau von planbefestigten Laufflächen mit Gefälle und Harnsammelrinne an. Das Abfließen des Harns von der Lauffläche kann jedoch insbesondere bei warmen und windigen Witterungsbedingungen die Bildung von Schmierschichten fördern. Die kann zu vermehrtem Ausrutschen der Tiere führen.

Ziel dieser Untersuchung ist eine Bewertung der NH<sub>3</sub>-Minderungsmaßnahme - planbefestigte Laufflächen mit 3 % Quergefälle, Harnsammelrinne und automatisiertem Entmistungsschieber - im Vergleich zur Referenz - planbefestigte Laufflächen ohne Gefälle - unter Schweizer Haltungsbedingungen. In diesem Beitrag werden erste Ergebnisse zu NH<sub>3</sub>-Emissionen, zum Tierverhalten, zur Laufflächenverschmutzung aus Messungen im Emissions-

<sup>1</sup> Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, Tänikon 1, CH-8356 ETTENHAUSEN;

<sup>2</sup> Empa, Forschungsgruppe Emissionen und Isotope, Überlandstrasse 129, CH-8600 DÜBENDORF

\* Ansprechperson: Dr. Michael ZÄHNER, E-Mail: michael.zaehner@agroscope.admin.ch

versuchsstall von Agroscope und zu Mehr-Investitionen vorgestellt.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Emissionsversuchsstall

Der Emissionsversuchsstall von Agroscope am Standort Tänikon besteht aus zwei Stallabteilen mit Liegeboxen für je 20 laktierende Kühe sowie einem Zwischenbereich für Melken, Technik, Büro und Analytik (Abbildung 1). Die beiden räumlich getrennten Stallabteile ermöglichen vergleichbare Versuchsbedingungen (z.B. Klima) im Praxismaßstab (SCHRADER et al. 2015). Bei der vorliegenden Untersuchung waren die Laufflächen im Stallabteil 1 planbefestigt mit 3 % Quergefälle und einer Harnsammelrinne (Minderungsmaßnahme) und im Stallabteil 2 mit planbefestigten Laufflächen ohne Gefälle (Referenz) ausgeführt. In beiden Stallabteilen waren die Laufflächen mit denselben handelsüblichen Gummimatten belegt.

### 2.2 Quantifizierung der $\text{NH}_3$ -Emissionen

Um Emissionen bei freier Lüftung zu bestimmen, kam eine Tracer-Ratio-Methode mit den beiden Tracergasen Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) und Trifluormethylschwefel-pentafluorid ( $\text{SF}_5\text{CF}_3$ ) zum Einsatz (SCHRADER et al. 2012). Dabei wurde  $\text{SF}_6$  im einen,  $\text{SF}_5\text{CF}_3$  im anderen Stallabteil kontinuierlich zudosiert, dies ermöglichte, die Emissionen der zwei Stallbereiche separat voneinander zu bestimmen. Die Zudosierung der verdünnten Tracergase (ppm-Bereich) erfolgte mittels eines Rohrsystems mit kritischen Kapil-

laren aus Stahl, das unmittelbar neben den emittierenden Laufflächen z.B. an den Boxenkanten installiert war. Ein Luftsammelproben-System in 2,5 m Höhe bestehend aus Teflonschläuchen und kritischen Kapillaren aus Glas ermöglichte eine repräsentative Probenahme. Die Tracergase wurden mit einem Gaschromatographen (GC-ECD, Agilent 7890A, Agilent Technologies, Santa Clara, USA) und  $\text{NH}_3$  mit einem Laserspektrometer (Picarro G2103, Picarro Inc., Santa Clara, USA) analysiert. Neben den Emissionsdaten wurden relevante Begleitparameter zur Beschreibung der Messsituation und als Einflussgrößen auf die Emission erhoben: z.B. Stall- und Außenklima, Tierparameter, Futterdaten etc.

### 2.3 Dokumentation der Laufflächenverschmutzung

Die Laufflächenverschmutzung dient als Anhaltspunkt hinsichtlich des  $\text{NH}_3$ -Emissionspotenzials der Lauffläche und der Rutschfestigkeit. Zur Dokumentation der Laufflächenverschmutzung wurde das Bonitierungschema von KORTH (2008) adaptiert. Art, Anteil und Höhe sowie pH-Wert und Temperatur der Laufflächenverschmutzung wurde zu drei Tageszeiten (Morgen: 3:45-5:15 Uhr; Mittag: 12:00-13:30 Uhr; Abend: 20:20-21:50 Uhr) jeweils unmittelbar vor dem jeweiligen Entmistungsvorgang erhoben. Dazu waren die Laufflächen in ein Raster eingeteilt. Der Flächenanteil der Verschmutzungskategorien (Harn feucht, Kot-Harn-Gemisch feucht, Kot feucht, Kot-Harn-Gemisch trocken, Kot trocken, Sauber feucht, Sauber trocken) wurde visuell pro Feld geschätzt.

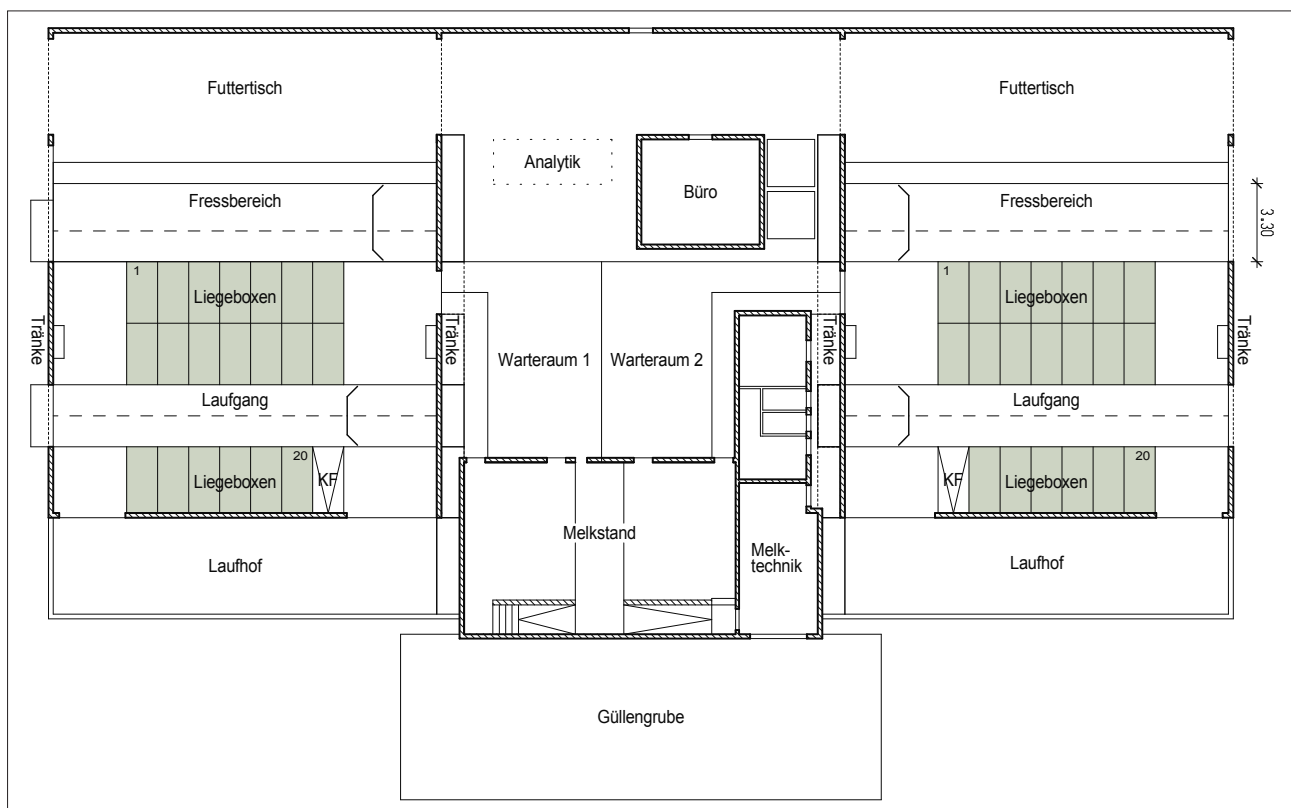


Abbildung 1: Schematischer Grundriss des Emissionsversuchsstalls mit den Stallabteilen 1 (links) und 2 (rechts) sowie dem Zwischenbereich.

### 2.4 Erhebungen des Tierverhaltens

Die Rutschfestigkeit hat einen grossen Einfluss auf das Tierverhalten, wie z.B. Ausrutschen (STEINER et al. 2009). An insgesamt 30 Tagen im Sommer und Herbst wurde das Verhalten der beiden Herden zu je 20 Kühe von jeweils eine Stunde lang erfasst. Mit Direktbeobachtungen (kontinuierliche Aufnahmen) wurden Stürze und das Ausrutschen (mindestens eine Klauenbreite) im Zusammenhang mit bestimmten Verhaltensweisen aufgenommen. Darüber hinaus wurde die Häufigkeit bzw. das Vorkommen bestimmter Verhaltensweisen (z.B. schnelles Fortbewegen, Schieber übersteigen etc.) dokumentiert.

### 2.5 Berechnung der Investitionen

Der Einbau von Laufflächen mit Gefälle und Harnsammelrinne führt zu Mehr-Investitionen. Diese wurden mit aktuellen Preisen von Stallbauern sowie dem Planungshilfsmittel Preisbaukasten von Agroscope, aktualisiert auf den Schweizer Baupreisindex 2016, berechnet.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

### 3.1 NH<sub>3</sub>-Emissionen

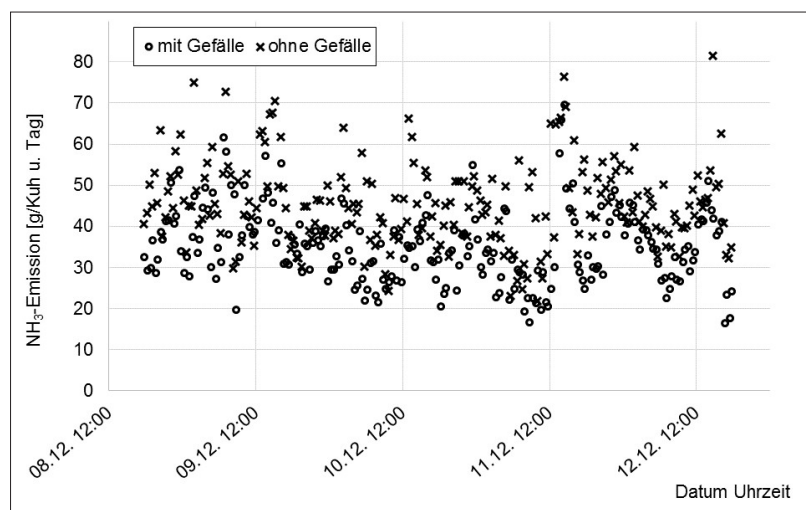
Die Verläufe der NH<sub>3</sub>-Emissionen des Stallabteils mit Quergefälle und Harnsammelrinne verglichen mit dem Referenzabteil ohne Gefälle an vier aufeinanderfolgenden Tagen im Winter 2015 sind in *Abbildung 2* dargestellt. Die Tagesgänge der NH<sub>3</sub>-Emissionen der beiden Stallabteile liefen weitestgehend parallel. Bei Erhöhung der Temperatur nahmen auch die NH<sub>3</sub>-Emissionen zu. Die Verläufe der Lufttemperaturen in den beiden Stallabteilen waren nahezu identisch und lagen in diesem Zeitraum zwischen -2 und 12°C (nicht dargestellt). Die NH<sub>3</sub>-Emissionen aus dem Stallabteil mit Gefälle und Harnsammelrinne zeigten deutlich tiefere Werte als die aus dem Referenzabteil. Die mittlere NH<sub>3</sub>-Reduktion der Minderungsmaßnahme gegenüber der Referenz lag im betrachteten Zeitraum bei rund 20 %. Bezüglich Lebendmasse, Futteraufnahme, Milchleistung und Milchwahnharnstoffgehalt unterschieden sich die Kuhgruppen beider Stallabteile nur wenig.

Die eigenen Messungen bestätigen den deutlichen NH<sub>3</sub>-Minderungseffekt von Laufflächen mit Gefälle aus vorhergehenden Untersuchungen. Bei vergleichenden Versuchen von BRAAM et al. (1997a) lag das NH<sub>3</sub>-Minderungspotenzial bei einem einseitigen Gefälle von 3 % mit Harnrinne an den Liegeboxen im Vergleich zu planbefestigten Laufflächen ohne Gefälle sowie zu perforierten Laufflächen (jeweils 12 Entmistungsvorgänge pro Tag) mit rund 20 % im Bereich der eigenen Untersuchun-

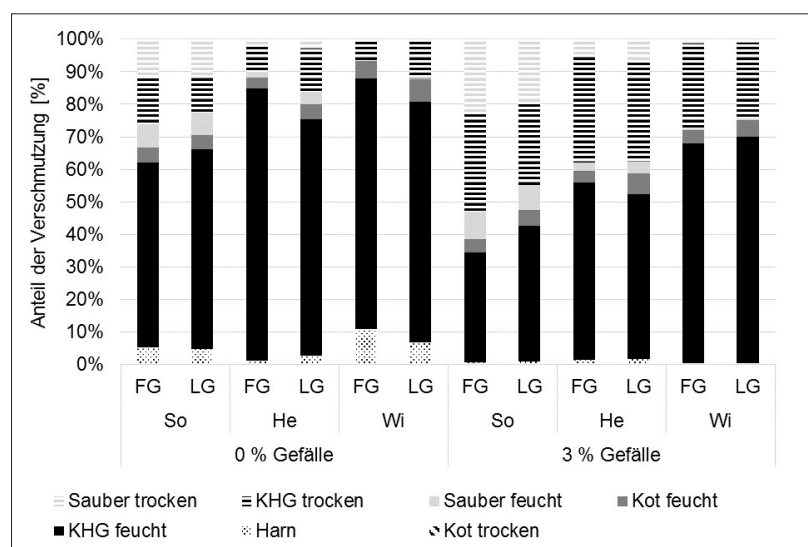
gen. Bei einem Quergefälle mit 3 % zur Mitte hin und einer mittigen Harnrinne (Entmistung alle 2 Stunden) waren die NH<sub>3</sub>-Emissionen im Vergleich zur perforierten Referenzlauffläche um rund 50 % vermindert (BRAAM et al. 1997b). Da diese Messungen in einem einreihigem Liegeboxenlaufstall für Milchvieh mit Zwangslüftung und vergleichsweise geringem Flächenangebot durchgeführt wurden, sind die Ergebnisse nur bedingt auf aktuelle Haltungsbedingungen in der Milchviehhaltung der Schweiz übertragbar.

### 3.2 Laufflächenverschmutzung

Die relativen Anteile der Laufflächenverschmutzung nach Kategorien differenziert nach baulicher Variante (0 % Gefälle vs. 3 % Gefälle) Jahreszeiten und Laufgängen zeigt *Abbildung 3*. Dargestellt sind Ergebnisse von je vier Erhebungstagen im Sommer, Herbst und Winter der Variante



*Abbildung 2:* Verläufe der NH<sub>3</sub>-Emissionen [g/Kuh u. Tag] vom Stallabteil mit Quergefälle und vom Stallabteil ohne Gefälle (Referenz) vom 8.12.2015 bis 13.12.2015.



*Abbildung 3:* Relativer Anteil der Laufflächenverschmutzung nach Kategorien (in %) vom Stallabteil mit Quergefälle (3 % Gefälle) und vom Stallabteil ohne Gefälle (0 % Gefälle) der Variante ohne Laufhof bei 12 Entmistungen pro Tag während der Sommer-, Herbst- und Winter-Messungen; dargestellt als Mittelwerte über je drei Erhebungszeitpunkten an je vier Messtagen; FG = Fressgang, LG = Liegegang, So = Sommer, He = Herbst, Wi = Winter, KHG = Kot-Harn-Gemisch

ohne Laufhof kombiniert mit zwölf Entmistungsvorgängen pro Tag. Die Unterschiede in der Verschmutzung zwischen Fressgang und Liegegang waren nicht systematisch. Deutliche Unterschiede resultierten zwischen den Laufflächen mit und ohne Gefälle: Bei planbefestigten Laufflächen ohne Gefälle war der Anteil des feuchten Kot-Harn-Gemischs über alle Jahreszeiten hinweg höher als bei Laufflächen mit Gefälle. Während feuchter Harn bei Laufflächen mit Gefälle kaum vorkam, nahm diese Kategorie bei Laufflächen ohne Gefälle insbesondere im Sommer und Winter einen erkennbar höheren Anteil an. Demnach bewirkte das Gefälle eine deutliche Reduktion der feuchten Verschmutzungsanteile. Bei beiden Gefällevarianten waren Unterschiede zwischen den Jahreszeiten erkennbar: Die Kategorie „Sauber trocken“ zeigte vom Winter über Herbst zum Sommer hin eine deutliche Zunahme. Je wärmer die Jahreszeit, desto höher war auch der Anteil an trockenen Verschmutzungskategorien. Das Abtrocknen der Laufflächenverschmutzung unter warmen Bedingungen lässt eine vermehrte Schmierschichtenbildung und somit eine verminderte Rutschfestigkeit der Laufflächen erwarten. Dies kann durch das Abfließen von Harn noch verstärkt werden.

### 3.3 Tierverhalten

Die Tiere rutschten beim Gehen im Sommer bei warmen Temperaturen mit im Durchschnitt 1,1 Mal bei 20 Tieren pro Stunde mehr aus als im Herbst mit im Durchschnitt 0,2 Mal (Abbildung 4). Die Einzelwerte zeigten aber auch deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Tagen (Ausreißer). Bei gewissen Bedingungen wie Unruhe im Stall z.B. durch ein brünstiges Tier resultierten deutlich mehr Ausrutsch-Ereignisse. Im Vergleich zu Erhebungen im Milchviehstall des Versuchsbetriebs Tänikon sind die Anzahl Ausrutschen beim Gehen jedoch um mindestens Faktor 4 tiefer (nicht dargestellt). Die geringe Anzahl an Ausrutschen insgesamt im Emissionsversuchsstall lässt sich durch das Haltungssystem mit genügend und großen Ausweichmöglichkeiten erklären.

Zwischen den Varianten Laufflächen mit 3 % Quergefälle und ohne Gefälle und zwischen den Varianten drei und zwölf Entmistungsvorgänge waren nur kleine Unterschiede bei der Anzahl an Ausrutschen beim Gehen zu erkennen. Das Ausrutschen lässt sich vor allem durch eine mangelnde Reinigungsqualität und so durch die Bildung einer Schmierschicht erklären. Diese entsteht hauptsächlich bei trockenen Laufflächen, wenn der Schieber den Kot nicht mehr vor sich herschieben kann. Das Abtrocknen der Laufflächen ist dabei einerseits abhängig von der Witterung (Temperatur und Wind). Das erklärt die höheren Werte im Sommer. Andererseits ist das Abtrocknen auch abhängig von der Menge an vorhandener Flüssigkeit (z.B. Harn). Sowohl bei Gefälle durch das Abfließen von Harn als

auch durch häufige Entmistungsvorgänge ist weniger Harn auf den Laufflächen vorhanden. Das könnte die etwas tieferen Werte von Ausrutschen bei der Variante ohne Gefälle und drei Entmistungsvorgängen im Sommer erklären. Der Nachteil dieser Variante ist die sehr starke Verschmutzung der Laufflächen mit weiteren negativen Effekten wie Verschlechterung bei Tiersauberkeit, Klauengesundheit, Emissionen etc. Das Ziel muss sein, die Reinigungsqualität bei warmen Bedingungen zu verbessern bzw. die Bildung dieser Schmierschicht zu verhindern. Eine Variante könnte das gezielte Befeuern der Laufflächen vor Entmistungsvorgängen mit Wasser sein. Erste Tests diesbezüglich zeigten erfolgsversprechende Ergebnisse.

### 3.4 Investitionen

Mehr-Investitionen für den Einbau von Laufflächen mit Gefälle und Harnsammelrinne entstehen einerseits bei der

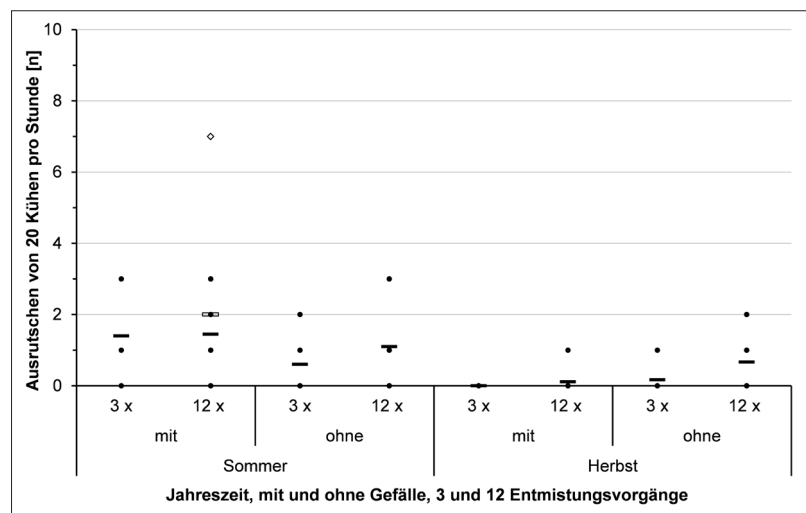


Abbildung 4: Anzahl Ausrutschen von 20 Kühen pro Stunde beim Gehen in den Jahreszeiten Sommer und Herbst, in den Stallabteilen mit Quergefälle (3 % Gefälle) und ohne Gefälle (0 % Gefälle) und bei 3 und 12 Entmistungsvorgänge pro Tag; dargestellt als Einzelwerte (Punkte) sowie Mittelwerte (Striche), ausgefüllt ohne Ausreißer, leer mit Ausreißer.



Abbildung 5: Nachträglicher Einbau einer Harnsammelrinne in bestehendem Stall (Bild: Agroscope)

Stalleinrichtungsfirma und andererseits beim Baumeister. Bei der Stalleinrichtung umfasst dies die Harnsammelrinne, der Endanschlag Harnsammelrinne, allenfalls die Anpassung der Schieber an das Gefälle (Pendelaufhängung der Schieberarme), die Schieberergänzung mit Rinnenräumen für Harnsammelrinne und die Steuerung mit Zeitschaltuhr. Letztere gehört aber nicht direkt zur Lauffläche mit Gefälle und Harnsammelrinne, kann auch bei anderen Systemen eingebaut werden und ist heute teilweise Standard. Die Mehr-Investitionen beim Baumeister umfassen das Versetzen der Harnsammelrinne, das Einbetonieren der Harnsammelrinne (hier ist die Statik zu beachten, *Abbildung 5*), den Wartungsschacht für die Räumungsklappe sowie das Einbauen des Wartungsschachtes. Das Einbauen von Gefälle bis 5 % wird ohne Mehr-Investitionen vom Baumeister berechnet. Je nach Stallgrundriss (Anzahl Laufgänge, Anzahl Liegeboxenreihen, ...) variierten die Mehr-Investitionen sehr stark. Insgesamt entstanden in Modellrechnungen für einen Stall von 60 Kühe Mehr-Investitionen von CHF 330.- pro Kuhplatz (kürzerer Stall mit dreireihige Anordnung) bis CHF 470.- pro Kuhplatz (längerer Stall mit zweireihiger Anordnung). Pro Meter Laufgang waren die Unterschiede der Mehr-Investitionen sehr klein mit CHF 280.- bis 290.- pro Meter.

#### 4. Folgerungen und Ausblick

Rasches Abfließen des Harn von planbefestigten Laufflächen reduziert die  $\text{NH}_3$ -Emission. Bei einer viertägigen Messperiode im Winter 2015 im Emissionsversuchsstall konnte für planbefestigte Laufflächen mit 3 % Quergefälle und Harnsammelrinne eine  $\text{NH}_3$ -Minderung von rund 20 % gegenüber der Referenz ohne Gefälle nachgewiesen werden. Die Messungen in beiden Stallabteilen erfolgten zeitgleich und daher unter denselben klimatischen Bedingungen. Mit der Auswertung der Emissionsdaten der weiteren Messperioden Sommer und Herbst sowie der statistischen Analyse, können die Ergebnisse breiter abgestützt und das im Jahresmittel erreichbare Minderungspotenzial aufgezeigt werden. Gefälle und Häufigkeit der Reinigung haben keinen direkten Zusammenhang mit der Häufigkeit des Ausrutschens. Indirekt steht das Ausrutschen aber in Zusammenhang mit der Reinigungsqualität bzw. Sauberkeit der Laufflächen (Bildung einer Schmierschicht). Die Reinigungsqualität könnte durch z.B. gezieltes Befeuchten der Laufflächen optimiert werden.

#### 5. Danksagungen

Die Autoren/innen bedanken sich:

Beim Bundesamt für Umwelt (BAFU), Schweiz, für die finanzielle Unterstützung beim Bau des Emissionsstalls und bei den Messungen,

beim Schweizerischen Nationalfonds (SNF) für die Teilfinanzierung des Projekts,  
beim Versuchsbetrieb Tänikon für die Tierbetreuung und bei M. Keller, H. Lüthi, H. Ott und M. Schlatter für die Unterstützung bei der Versuchsdurchführung.

#### 6. Literatur

- 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.
- 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.
- KORTH, F. 2008: Tieraufenthalt und Verschmutzung im Stallbereich und auf dem Laufhof in der Milchviehhaltung. Bachelorarbeit, Christian-Albrechts-Universität Kiel.
- MONTENY, G. J., 2000: Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Thesis, Wageningen University, 156 pp.
- SCHRADE, S., KECK, M., ZEYER, K. und L. EMMENEGGER, 2011: Haltungssysteme und Messkonzept für Ammoniakemissionen bei freier Lüftung. *Agrarforschung Schweiz*, 2, 170-175.
- SCHRADE, S., STEINER, B. und M. KECK, 2013: Ammoniakemissionen aus Milchviehställen und Massnahmen zur Minderung. *Bautagung Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein*, 33-40.
- SCHRADE, S., ZÄHNER, M., POTEKO, J., STEINER, B., KECK, M., SAX, M., HERZOG, D. und M. SCHICK, 2015: Versuchsstall zur Entwicklung und Quantifizierung von Massnahmen zur Minderung von Emissionen. *Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft*, 450-455.
- SNOEK, D., STIGTER, H., OGINK, N. und P. GROOT KOERKAMP, 2014: Sensitivity analysis of mechanistic models for estimating ammonia emissions from dairy cow urine puddles. *Biosystems Engineering*, 121, 12-24.
- STEINER, B., KECK, M., THALMANN, C. und M. ZÄHNER, 2009: Bodensanierung in Rinderstallungen - Entwicklung und Bewertung von neuen Verfahren. *Bautagung Raumberg-Gumpenstein, Raumberg-Gumpenstein*, 45-49.
- SWIERSTRA, D. und C.R. BRAAM, 1995: Investitionen und Kosten emissionsmindernder Massnahmen in Boxenlaufställen für Rindvieh. *Bau und Technik in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung - Beiträge zur 2. Internationalen Tagung von 14.-15. März 1995 in Potsdam*, 279-287.

