

Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen

Minderung beim Bau und Management

Michael Zähler, Margret Keck und Richard Hilty, Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, CH-8356 Ettenhausen
E-Mail: michael.zaehner@fat.admin.ch.

Die Ammoniak-Emissionen (NH_3) im Stallbereich werden hauptsächlich von der Menge ausgeschiedenen Harnstoffs, von der Grösse der verschmutzten Fläche sowie von der Temperatur und Luftgeschwindigkeit im Stall beeinflusst. Die vermehrte Haltung der Milchkühe in Laufställen mit Auslauf hat das Flächenangebot im Vergleich zum Anbindestall verdoppelt und den Anteil an verschmutzter Fläche vervielfacht. Die grösseren verschmutzten Flächen, speziell auch bei Ausläufen, haben deutlich höhere NH_3 -Emissionen zur Folge.

Minderungsmaßnahmen lassen sich in Fütterungsstrategien, Güllebehandlung, organisatorische und bauliche Massnahmen einteilen. Die Datengrundlage von Emissionsmessungen aus der Rindviehhaltung ist sehr gering, da es sich bei

den betroffenen Ställen überwiegend um solche mit freier Lüftung handelt. Einige Empfehlungen zu ammoniakreduzierenden Massnahmen lassen sich dennoch ableiten.

Eine ausgeglichene Fütterung nach Energie und Protein ist angezeigt und lässt sich anhand von Fütterungsplänen errechnen. Vermehrte Weidehaltung oder die nur zeitweise Nutzung von Ausläufen können je nach Stallkonzept ohne grossen zusätzlichen Aufwand umgesetzt werden. Die Sauberkeit der Laufbereiche kann durch eine erhöhte Reinigungsfrequenz verbessert werden. Schutz vor hohen Temperaturen und hohen Luftgeschwindigkeiten können genügend Vordach und Schatten durch angrenzende Gebäude, Bäume, Sträucher oder Windschutznetze bieten. Emissionsarme Laufflächen als bauliche

Massnahme wie Rillenbodenelemente, erhöhte Standplätze mit Abtrennungen im Fressbereich und optimierte Schieber-systeme eignen sich nur bei Neubauten zur Reduktion von NH_3 -Emissionen.

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) finanziell unterstützt.



Abb. 1: Laufställe haben aus Sicht des Tieres Vorteile, aus Sicht der Umwelt mit höheren Ammoniak-Emissionen (NH_3) aber auch Nachteile.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Umfang der NH_3 -Emissionen	2
Haltungssysteme von Milchkühen	2
NH_3 -Emissionen verschiedener Haltungssysteme	2
Fütterung und NH_3 -Umsetzungsvorgänge	3
Minderungsmaßnahmen	3
Umsetzbarkeit	7
NH_3 -Emissionen von heutigen Stallkonzepten	8
Empfehlungen	10
Forschungsbedarf	10
Literatur	10
Massnahmenkatalog	12

Problemstellung

Gemäss Luftreinhalte-Verordnung (LRV) sind Emissionsminderungs-massnahmen bei diffusen Emissionsquellen dann vorzusehen, wenn sie technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar sind. Steigende Bestandesgrössen, arbeitswirtschaftliche, vor allem ergonomische Vorteile und die vermehrte Teilnahme an Tierhaltungsprogrammen (BTS/ RAUS) fördern den Trend zu Laufstallsystemen und Ausläufen. Diese Systeme haben gegenüber der traditionellen Anbindehaltung Vorteile für das Tierwohl und die Rationalisierung der Arbeitsabläufe. Dieser Entwicklung steht als Nachteil eine wesentliche Erhöhung der verschmutzten Flächen gegenüber, was zu höheren NH₃-Emissionen führt. Funktionelle und betrieblich sinnvolle bauliche Emissionsminderungs-massnahmen sind schon bekannt. Es fehlt jedoch eine übersichtliche Zusammenstellung praxistauglicher Massnahmen. Der bauwillige Landwirt muss seine Bauinvestitionen auch auf zukünftige Anforderungen der Emissionsminderung ausrichten können. Er hat Interesse an der Optimierung der Stickstoff-Effizienz auf seinem Betrieb. Heute begangene Fehler beim Bau lassen sich nur in den üblicherweise langen Amortisationszyklen korrigieren.

Umfang der NH₃-Emissionen

Die gesamten NH₃-Emissionen der Schweiz betragen im Jahr 2000 45500 Tonnen Stickstoff. Die Landwirtschaft trägt mit einem Anteil von mehr als 90 % am meisten dazu bei (Reidy und Menzi 2005). Rindvieh macht aufgrund seines hohen Anteils an der gesamten Tierhaltung in Grossvieheinheiten (GVE) mit 74 % den grössten Teil der NH₃-Emissionen aus (Abb. 2, Reidy und Menzi 2005). NH₃-Emissionen von der Tierhaltung stammen in erster Linie von der Ausbringung von Hofdüngern mit 58 % sowie der Stallhaltung mit 28 % (Abb. 2, Reidy und Menzi 2005).

Haltungssysteme von Milchkühen

In den letzten 15 Jahren veränderten sich die Haltungssysteme für Milchvieh deutlich. 1990 wurden noch 97 % der Milchkühe in einem Anbindestall und nur 3 % im Laufstall gehalten. Im Jahr 1996 war das Verhältnis 93 % zu 7 % und 2001 82 % zu 18 %. In den letzten Jahren wurden nahezu nur noch Laufställe gebaut. So wird für das Jahr 2010 ein Verhältnis von Kühen in Anbindeställen zu Laufställen mit 60 % zu 40 % angenommen (BLW 2003).

Die Haltung von Milchkühen in Laufställen mit Ausläufen, vermehrt auch in Aus-senklimeställen, gewinnt in der Schweiz an Bedeutung. Gründe dafür sind ein arbeits-wirtschaftlich verbessertes, tiergerechtes Stallsystem, eine kostengünstige und flexible Baulösung sowie die Möglichkeit zur Teilnahme an Tierhaltungs- und Labelpro-grammen. Die Beteiligung an den beiden Tierhaltungsprogrammen «Regelmässiger Auslauf von Nutztieren im Freien» (RAUS) und «Besonders Tierfreundliche Stallhal-tungssysteme» (BTS) nimmt seit ihrer Ein-führung im Jahre 1993 bzw. 1996 stetig zu. 2003 nahmen 64,5 % der Milchvieh-betriebe mit einem Anteil von 70,5 % der GVE am RAUS-Programm und 14,2 % der Milchviehbetriebe mit einem Anteil von 21,3 % am BTS-Programm teil (Abb. 3, BLW 2004).

NH₃-Emissionen verschie-dener Haltungssysteme

Die NH₃-Emissionen bei Milchvieh in Anbindehaltung schwanken zwischen zirka 4 und 21 g pro GVE und Tag. Im Vergleich dazu liegen die Werte bei Laufstallhaltung ohne Auslauf mit zirka 5 bis 86 g pro GVE und Tag wesentlich höher (verschiedene Autoren, siehe Zähler 2005). Im Mittel sind bei Laufstallhaltung die NH₃-Emis-sionen gegenüber der Anbindehaltung um mehr als das Dreifache höher.

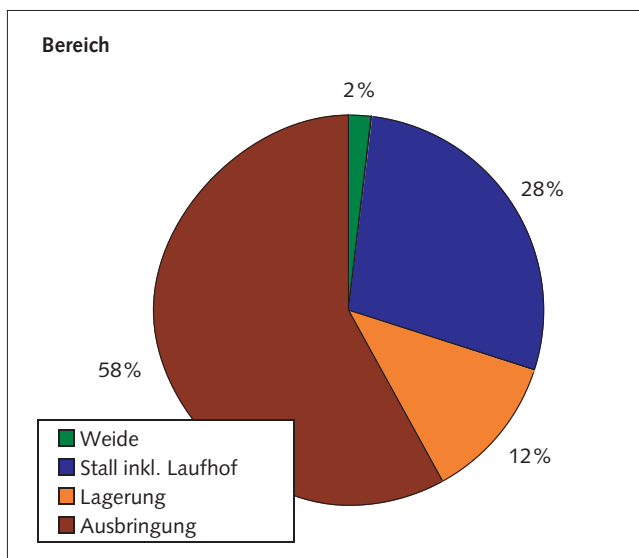
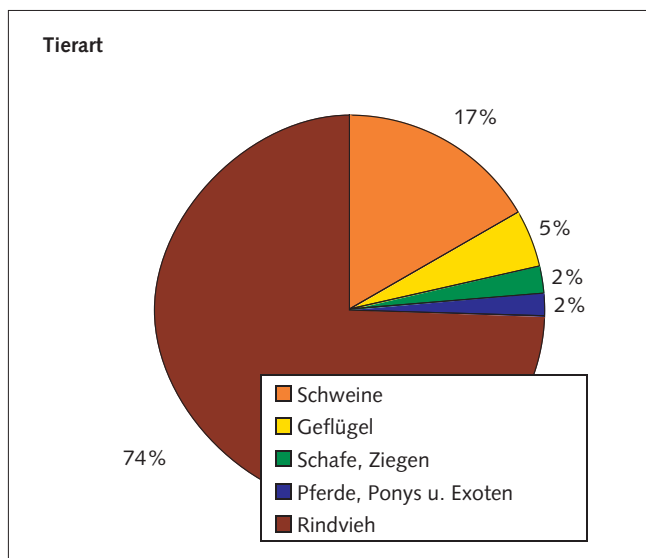


Abb. 2: Die Ammoniak-Emissionen (NH₃) der Tierhaltung im Jahr 2000 stammen zu drei Viertel vom Rindvieh und entstehen in über der Hälfte bei der Ausbringung (Reidy und Menzi 2005).

Die NH₃-Emissionen im Stallbereich werden hauptsächlich von der Menge Harnstoff im Harn, von der Grösse der verschmutzten Fläche im Stall und Auslauf bzw. vom Stallkonzept, vom pH-Wert der Gülle sowie von der Temperatur und Luftgeschwindigkeit im Stall beeinflusst.

Die vermehrte Haltung der Milchkühe in Laufställen mit Auslauf hat das Flächenangebot im Vergleich zum Anbindestall verdoppelt, dies vor allem infolge erhöhter Anforderungen von Seiten der Tierhaltungs- und Labelprogramme (Tab. 1). Die Programme mit Auslauf (RAUS, Bio Suisse und Kagfreiland) führen zu einer verschmutzten Lauffläche von 6,6 m² pro Tier und vor allem zu einer nicht überdachten Fläche von 2,5 m² pro Tier, verglichen mit 3,4 bis 4,2 m² pro Tier verschmutzter Lauffläche bei den Programmen ohne Auslauf (IP-Suisse und BTS). Diese grösseren Flächen haben deutlich höhere NH₃-Emissionen zur Folge, auch höhere NH₃-Emissionen als jene, die in der Literatur angegeben sind.

Bei Rindviehhaltung dominieren Stallsysteme mit freier Lüftung. In geschlossenen Laufställen (Kaltställe) wird das Aussenklima im Winter noch etwas abgepuffert, in Offen- und Offenfrontställen entspricht das Stallklima im ganzen Jahr dem Aussenklima (Keck et al. 2004). Die NH₃-Emissionen im Stall sind bei hohen Temperaturen im Sommer deutlich höher als im Winter bei tiefen Temperaturen.

Fütterung und NH₃-Umsetzungsvorgänge

Nach Empfehlungen der RAP (1999) ist für ein optimales Mikroorganismenwachstum im Pansen und somit auch für eine optimale Verdauung der Nährstoffe ein minimaler Rohproteininhalt von 20 g pro MJ NEL (Netto Energie Laktation) notwendig. Zugeführtes, nicht abgebautes Futtereiweiss (Rohprotein) kann nur in kleinen Mengen vom Tier gespeichert werden. Mehr als drei Viertel des zugeführten Rohprotein-Stickstoffs werden im Kot und Harn wieder ausgeschieden.

An der Bildung und Freisetzung von NH₃ sind die folgenden Prozesse beteiligt (Brose 2000):

- Aus Harnstoff im Harn entsteht NH₃. Mikroorganismen im Kot unterstützen die Bildung von NH₃ mit dem Enzym Urease.

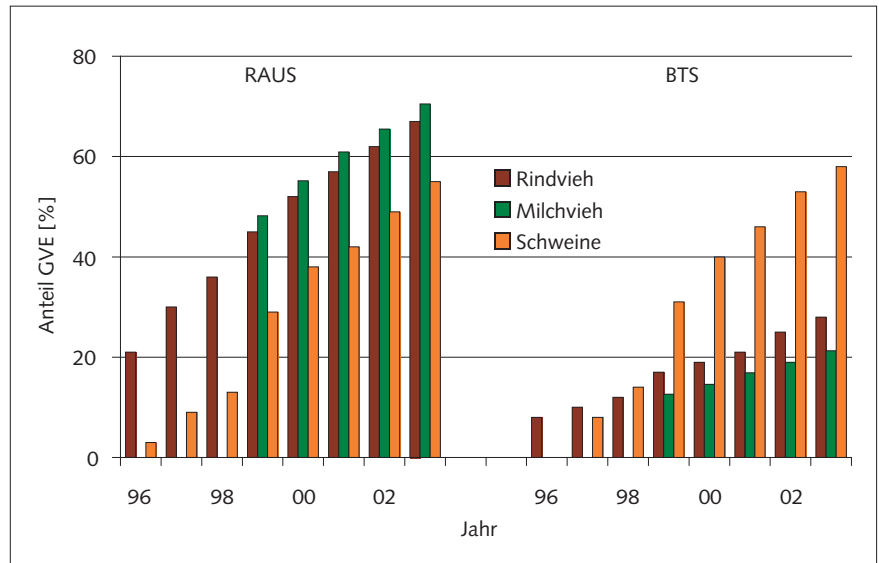


Abb. 3: Die Beteiligung an den beiden Tierhaltungsprogrammen BTS und RAUS nahm bei Rindvieh und Schweinen seit 1996 stetig zu (BLW 2004).

Tab. 1: Flächenvorgaben für Liegeboxenlaufställe von Milchvieh gemäss der Schweizer Tierschutzverordnung (TSchV, EVD 1981) mit den Richtlinien für die Haltung von Rindvieh (BVET 2003), den Tierhaltungsprogrammen RAUS (BLW 1998a) und BTS (BLW 1998b) sowie den Labelprogrammen IP-Suisse (2004), Bio-Suisse (2004) und Kagfreiland (2001).

Fläche [m ²]	Laufstall	
	ohne Auslauf (TSchV / IP-Suisse / BTS)	mit Auslauf (RAUS / Bio-Suisse / Kagfreiland)
Pro Tier Total	6,8–7,6 (je nach Tier-Fressplatz-Verhältnis)	10
davon verschmutzte Lauffläche	3,4–4,2 (je nach Tier-Fressplatz-Verhältnis)	6,6
davon nicht überdachte Lauffläche	-	2,5

- In der flüssigen Phase herrscht ein Gleichgewicht zwischen NH₃ und Ammonium NH₄⁺. Der Anteil von NH₃ hängt positiv von der Temperatur und vom pH-Wert ab.
- Die Freisetzung von NH₃ hängt von den Konzentrationen an NH₃ in der flüssigen Phase und der Luft ab. Dieses Gleichgewicht wird von der Luftgeschwindigkeit und der Temperatur über der verschmutzten Oberfläche beeinflusst. Verschiedene Autoren haben anhand von Laborversuchen Modelle entwickelt, welche die NH₃-Emission als Funktion des Gehaltes an ammoniakalischem Stickstoff, der Temperatur, des pH-Wertes in der Gülle sowie des Luftdurchsatzes pro m² emittierender Oberfläche beschreibt (Borka 1998, Monteny 2000). Diese Modelle stimmen gut für den geschlossenen, zwangsbelüfteten Anbindestall und den geschlossenen,

zwangsbelüfteten Liegeboxenlaufstall. Die Übertragung der Modelle auf die heutigen Stallkonzepte mit freier Lüftung ist nicht zulässig, da

- die Fläche pro Tier bei Stallkonzepten mit Auslauf viel grösser ist,
- die Temperatur in einem viel grösseren Bereich variiert (Aussenklima) und
- die Luftgeschwindigkeit in einem viel grösseren Bereich variiert.

Praxismessungen bei solchen Stallkonzepten fehlen.

Minderungsmaßnahmen

Massnahmen zur Emissionsminderung aus dem Stallbereich lassen sich entsprechend den massgeblichen Bildungs- und Freisetzungsschritten einteilen (verändert nach Monteny 2000):

Fütterungsmassnahmen

- bedarfsangepasste Stickstoff-Gehalte im Futter durch eine balancierte oder stickstoffreduzierte Ration,
- reduzierte Harnstoffkonzentration in Kot und Harn durch Fütterungszusätze, Güllebehandlung
- Verdünnung des Harns auf den verschmutzten Laufflächen durch Spülen mit Wasser,
- Verminderung der Harnstoffspaltung auf den Laufflächen mit Güllezusätzen oder Urease-Inhibitoren,
- Senkung des pH-Wertes der Gülle mit Säuren,

Organisatorische Massnahmen

- Verminderung der Freisetzung von NH₃ aus Kot und Harn durch eine vermehrte Weidehaltung oder zeitweise keine Auslaufnutzung,
- schnelle Entfernung des Harns auf den verschmutzten Laufflächen mit automatischen Schiebersystemen,

Bauliche Massnahmen

- Verminderung der Freisetzung von NH₃ aus Kot und Harn mit geeigneten Bodensystemen, perforierten Laufflächen, Windschutz am oder um den Stall und ein wärmegeprägtes Dach,
- Reduktion der verschmutzten Fläche durch erhöhte Standplätze mit Abtrennungen im Fressbereich.

Literaturangaben zu den Zahlen in den folgenden Kapiteln finden sich bei Zähler (2005).

Fütterung

Eine Reduktion des Rohproteingehaltes im Futter verminderte in Laborversuchen die NH₃-Emissionen um 32 bis 68 %, in Praxisversuchen um 21 bis 39 %.

Küling (2000) variierte den Rohproteingehalt zwischen 175 g/kg, 150 g/kg und 125 g/kg TS jeweils angereichert mit der pansengeschützten Aminosäure Methionin und 125 g/kg TS ohne Methionin als Kontrollgruppe. Mit abnehmendem Rohproteingehalt im Futter nahm der Anteil Stickstoff im Harn sowohl absolut als auch relativ ab und der Anteil Stickstoff in der Milch zu (Abb. 4). Die Zufütterung von Methionin verbesserte die Proteinverwertung. Die Harnstoffgehalte in Blut, Milch und Harn waren bei der Variante 125 g/kg TS mit Methionin niedriger als bei der Variante ohne Methionin. Ein weiterer Versuch mit verschiedenen für die Schweiz typischen Sommer- und Winterrationen

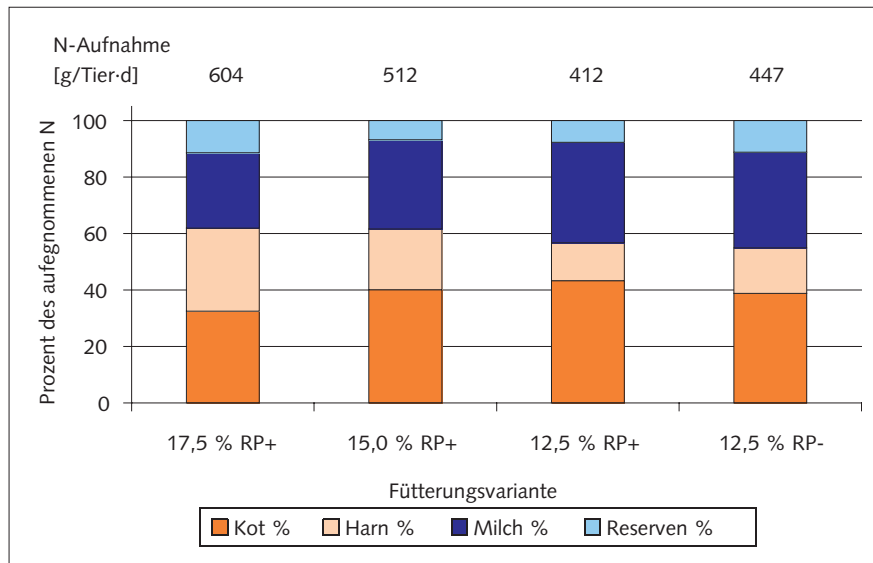


Abb. 4: Der Anteil des Stickstoffes im Harn reduziert sich mit sinkendem Rohproteingehalt im Futter und ist bei Zufütterung von pansengeschützter Aminosäure Methionin tiefer als ohne Methionin (Küling 2000), (N = Stickstoff, RP = Rohprotein, + = mit Methionin angereichert, - = ohne Methionin).

Tab. 2: Nährwert von verschiedenen Futterarten: frisch, siliert und getrocknet, intensiv und mittelintensiv je kg TS (RAP 1999), (TS = Trockensubstanz, NEL = Netto Energie Laktation, MJ = Megajoule, APDE = Absorbierbares Protein Darm, synthetisiert aus der im Pansen verfügbaren Energie, APDN = Absorbierbares Protein Darm, synthetisiert aus dem im Pansen abgebauten Rohprotein, RP = Rohprotein).

Futter		TS %	NEL [MJ]	APDE [g]	APDN [g]	RP [g]	RP/NEL
Gräserreiches Grünfutter	intensiv, Stadium 1	10-20	6,6	111	131	197	29,8
	mittel, Stadium 5	10-20	5,7	85	62	94	16,5
Ausgewogenes Grünfutter	intensiv, Stadium 1	10-20	6,8	115	141	212	31,2
	mittel, Stadium 5	10-20	6,0	92	75	114	19,0
Leguminosenreiches Grünfutter	intensiv, Stadium 1	10-20	6,7	118	158	237	35,4
	mittel, Stadium 5	10-20	5,8	96	96	145	25,0
Gräserreiche Silage	intensiv, Stadium 1	30-40	6,4	85	125	209	32,7
	mittel, Stadium 5	30-40	5,5	65	55	98	17,8
Leguminosenreiche Silage	intensiv, Stadium 1	30-40	6,7	88	148	246	36,7
	mittel, Stadium 5	30-40	5,6	73	88	150	26,8
Gräserreiches Dürrfutter	intensiv, Stadium 1	88	6,0	100	109	173	28,8
	mittel, Stadium 5	88	5,3	76	51	85	16,0
Leguminosenreiches Dürrfutter	intensiv, Stadium 1	88	6,1	107	130	204	33,4
	mittel, Stadium 5	88	5,2	85	79	128	24,6
Maissilage	Teigreife	30	6,4	72	52	85	13,3
	Gelbreife	33	6,5	72	52	84	12,9
Zuckerrübenschnittsilage		19	7,1	101	70	106	14,9
Gerste	Körner mittel	87	7,7	100	77	116	15,1

mit Gras und Heu ergab bei Gras mit tiefem Rohproteingehalt im Vergleich zu Gras mit hohem Rohproteingehalt signifikant tiefere NH₃-Emissionen.

Nährwerttabellen (RAP 1999) geben Auskunft über den Energie- und Proteingehalt verschiedener Futterarten (Tab. 2). Dabei unterscheiden sich diese Gehalte bei Grünfutter zwischen einzelnen Beständen (gräserreich, ausgewogen, leguminosenreich) und vor allem zwischen den

Nutzungsintensitäten bzw. zwischen den Entwicklungsstadien (Stadium 1 = intensiv, sehr früh, Hauptgras Beginn Schossen, Löwenzahn Beginn Blüte; Stadium 5 = mittelspät, Hauptgras Ende Rispschieben, Löwenzahn Blütenstängel verdorrt). Junges, intensiv genutztes Gras hat ein hohes Rohprotein-Energie-Verhältnis (RP/NEL), altes, mittel intensiv genutztes Gras sowie Maissilage, Zuckerrübenschnittsilage und Gerste haben ein tiefes RP/NEL.

Eine Kombination von verschiedenen Futterkomponenten ermöglicht eine nach Rohprotein und Energie ausgeglichene Ration. Für ein optimales Mikroorganismenwachstum im Pansen ist ein minimales Verhältnis RP/NEL von 20g notwendig. Aus Sicht der NH₃-Emissionen sollte dieses Verhältnis nicht wesentlich und längerfristig überschritten werden. Futterzusätze auf der Basis von Tonmineralien brachten bisher in Laborversuchen nur eine geringe Reduktion der NH₃-Emissionen von 0 bis 20 %.

Güllebehandlung

In Frage kommen die Behandlung der Gülle mit Urease-Inhibitoren, Säuren und anderen Zusätzen sowie das Verdünnen der Gülle mit Wasser. Diese Behandlungen wirken sowohl auf die NH₃-Emissionen im Stall (beim Entmisten und Spülen der Laufgänge oder bei der Lagerung der Gülle unter den Laufgängen) als auch auf die NH₃-Emissionen bei der Lagerung.

Urease-Inhibitoren verhindern die Umwandlung des Harnstoffes in NH₃ und NH₄⁺. In Laborversuchen konnte eine Reduktion der NH₃-Emissionen von bis zu 80 % erreicht werden. Dabei hatte die Häufigkeit der Applikation und die eingesetzte Menge (1,5 bis 3 g pro Tier und Tag) einen grossen Einfluss (Abb. 5, Parker et al. 2005). Nachteile sind das erhöhte Güllevolumen, ein allfälliges Sicherheitsrisiko während der Arbeit sowie die zusätzlichen Kosten für die Einrichtung und den Betrieb einer automatischen Spüleinrichtung.

Das Ansäuern von Gülle mit Säuren brachte eine Reduktion der NH₃-Emissionen im Labor von bis zu 90 %, in der Praxis bis 61 %. Dabei wird der pH-Wert von zirka 7,5 auf 4 bis 5 gesenkt und damit die Umwandlung von Harnstoff zu NH₃ und NH₄⁺ verlangsamt. Nachteile von Salpetersäure waren erhöhte Emissionen von Lachgas und Methan. Milchsäure führte dagegen zu keinen Lachgas-Emissionen und zu stark reduzierten Methan-Emissionen. Nachteile aller Säuren sind die Risiken bei der Lagerung der Säure, bei der Arbeitssicherheit und eine Korrosion der Güllebehälter.

Versuche mit stärkehaltigen Produkten als Nahrungsquelle für Mikroorganismen in der Gülle zur Produktion von organischen Säuren führten zu einer Reduktion von 45 % der NH₃-Emissionen. Weniger Erfolg zeigten verschiedene Versuche mit Zusätzen bzw. Produkten auf der Basis von Mineralien (Gestein, Kalk, Sand), Enzy-

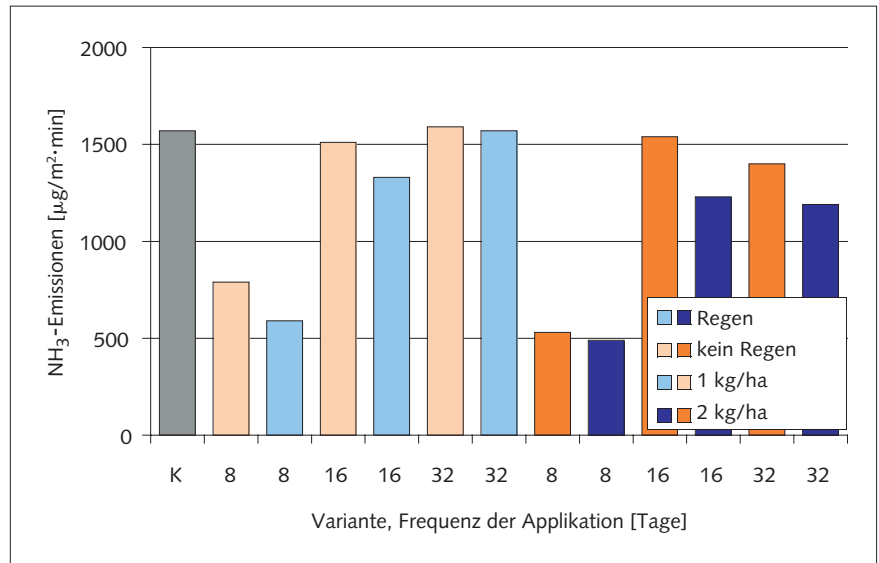


Abb. 5: Die Menge (Nullvariante K, 1 kg/ha, 2 kg/ha) und Häufigkeit der Applikation (8, 16, 32 Tage) von Urease-Inhibitoren, mit und ohne Simulation von Regen, wirkt sich auf die Ammoniak-Emissionen (NH₃) [µg/m²·min] aus (Parker et al. 2005).



Abb. 6: Eine saubere Lauffläche sorgt für eine trockene Oberfläche und somit für geringe Ammoniak-Emissionen (NH₃).

men, Bakterien und Pilzen, die heute im Handel angeboten werden.

Organisatorische Massnahmen

Bei den organisatorischen Massnahmen stehen die Reinigung von Laufflächen (Abb. 6) und die Weidedauer im Vordergrund.

Im Vergleich von nicht gereinigten zu gereinigten Laufflächen reduzierte dies die NH₃-Emissionen um 6 bis 9 %.

Mehr Weidehaltung verringerte unter laborähnlichen Bedingungen die NH₃-Emissionen. Im Vergleich zu 24 Stunden Stallhaltung waren die Emissionen bei 12 Stunden Stallhaltung um 20 %, bei 18 Stunden Weidehaltung um 57 % und bei 22 Stunden um 79 % reduziert (Abb. 7, Webb et al. 2003). Die Reduktion der NH₃-Emissionen verlief nicht proportional zur Aufenthaltsdauer auf der Weide. Eine Erklärung könnte sein, dass die verschmutzte Fläche auch ohne Tiere im Stall je nach Tageszeit unterschiedlich weiter emittiert.

Bauliche Massnahmen

Neben organisatorischen Massnahmen kann auch die Gestaltung der Lauffläche die NH_3 -Emissionen beeinflussen. Dazu zählen das Gefälle sowie Rinnen zur Sammlung und zum Ableiten von Flüssigkeit.

Monteny (2000) und Keck (1997) konnten in Modellrechnungen und Laboruntersuchungen einen grossen Einfluss von Harn auf der Lauffläche auf die NH_3 -Emissionen aufzeigen. Ein schnelles Ableiten von Harn von der Lauffläche ist demnach wichtig. Verschiedene perforierte, ebene planbefestigte und geneigte planbefestigte Bodenvarianten wurden in Holland untersucht (Abb. 8, Swierstra et al. 1995, 2001). Die NH_3 -Emissionen konnten mit geneigten, rillierten Bodenelementen mit Ablauföffnungen in den Güllekanal um 46 bis 50 % reduziert werden.

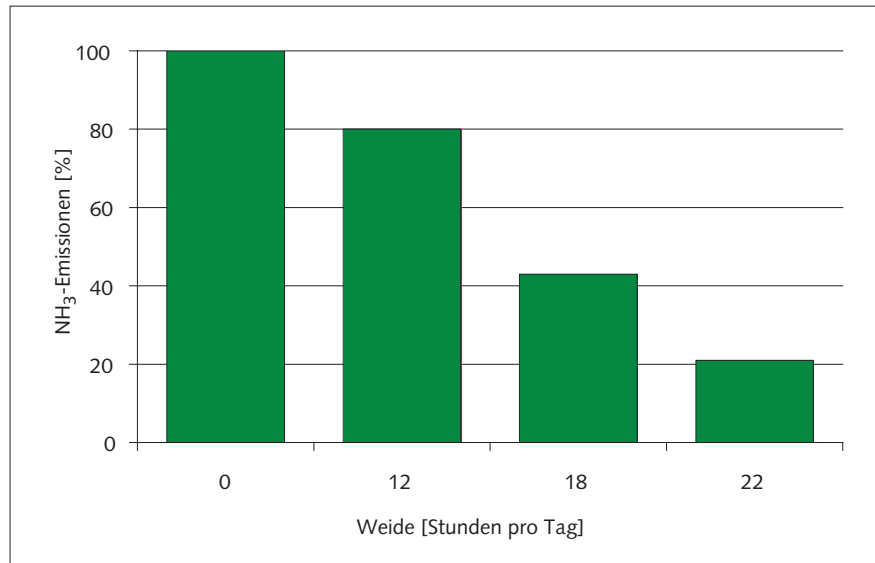


Abb. 7: Bei der Weidehaltung versickert Harn schnell. Dies ist eine effiziente Massnahme zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen (NH_3) (Webb et al. 2003).

Weitere mögliche Minderungsansätze

Weitere Ansätze zur Minderung der NH_3 -Emissionen, die jedoch bisher nicht wissenschaftlich untersucht wurden, liegen vor allem im organisatorischen und baulichen Bereich:

- Gestaffelte Nutzung des Auslaufes für verschiedene Tiergruppen (Kühe, Rinder, Kälber) bei Laufställen zur Reduktion der verschmutzten Fläche.
 - Verzicht auf den Auslauf bei offenen, frei gelüfteten Laufställen mit Klimareizen zur Reduktion der verschmutzten Fläche.
 - Kleinerer Anteil nicht überdachter Fläche im Auslauf zur besseren Beschattung und damit zur Reduktion der Temperatur.
- Diese ersten drei Punkte würden einen Verzicht auf die RAUS-Beiträge oder eine Änderung der RAUS-Verordnung bedingen (BLW 1998a).
- Nichtnutzung des gereinigten Auslaufes während der Vegetationsperiode (Weidehaltung) zur Reduktion der verschmutzten Fläche.
 - Offene Stallgebäude (Aussenklimaställe) mit wärmedämmtem Dach zur Reduktion der Temperatur und Einstrahlung.
 - Windschutz am oder um den Stall zur Reduktion der Luftgeschwindigkeit bei offenen, frei gelüfteten Ställen (Abb.9).
 - Erhöhte Standplätze mit Abtrennungen zwischen den Fressplätzen im Fressbereich zur Reduktion der verschmutzten Fläche (Abb. 10).

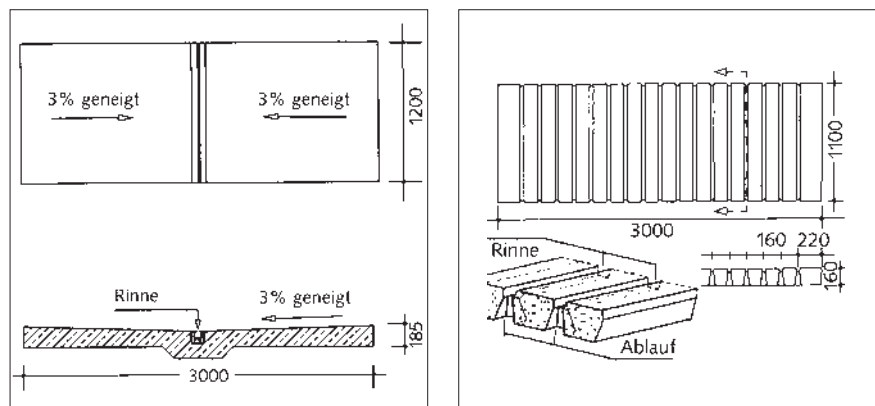


Abb. 8: Geneigte planbefestigte Böden mit einer zentralen Abflussrinne und Schieberentmischung oder Rillenbodenelemente mit Schieberentmischung (Einheit in mm) sind wirksame bauliche Massnahmen zur schnellen Ableitung von Harn und somit zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen (NH_3) (Swierstra et al. 1995, 2001).



Abb. 9: Bei einem offenem Stallgebäude reduziert ein Windschutznetz im Auslauf die Luftgeschwindigkeit.



Abb. 10: Die Erhöhung des Standplatzes der Kuh mit Abtrennungen am Fressplatz reduziert die Grösse der verschmutzten Fläche.



Abb. 11: Die Sprühkühlung reduziert die Temperatur im Stall bei heissen Temperaturen.

- V-förmige Kanäle zur Reduktion der Gülleoberfläche. Das bedingt bei gleichem Anfall an Gülle ein grösseres Lavervolumen ausserhalb des Stalles. Die Funktion solcher Kanäle bei Milchvieh ist nicht untersucht.
- Schieber in Kanälen unter dem Spaltenboden zur Reduktion der Kontaktfläche zwischen Gülleoberfläche und Luft. Die Gülle wird mehrmals täglich aus dem Kanal entfernt.
- Optimierte Entmistungstechnik für eine verbesserte Sauberkeit der Laufbereiche (z.B. Zeitschaltuhr, Schieber mit Sprühgerät).
- Sprühkühlung bei hohen Temperaturen in Laufgängen oder im Auslauf zur Reduktion der Temperatur (Abb. 11).

Umsetzbarkeit

Die in Tabelle 3 aufgeführten Minderungs-massnahmen sind mit einer Beurteilung des geschätzten Reduktionspotenzials, der Umsetzbarkeit und der zusätzlichen Kosten dargestellt. Eine bedarfsangepasste Fütterung hat ein gutes Reduktionspotenzial, lässt sich bei bestehenden Gebäuden und Neubauten anhand von Fütterungsplänen einfach umsetzen und erfordert keine bis wenig zusätzliche Kosten. Bei den Zusätzen er-geben nur Säure und Urease-Inhibitoren ein gutes Reduktionspotenzial, lassen sich aber bisher noch nicht befriedigend umsetzen. Diese erfordern zusätzliche Kosten

Tab. 3: Verschiedene Massnahmen zur Minderung von Ammoniak-Emissionen (NH₃) bei Laufställen für Milchvieh mit einer Beurteilung des Reduktionspotenzials, der Umsetzbarkeit in der Praxis bei bestehenden Gebäuden und Neubauten sowie der zusätzlichen Kosten (+ gut, o mittel, – schlecht, ↓ tief, ⇔ mittel, ↑ hoch).

	Reduk-tions-potenzial	Umsetzbarkeit		Kosten
		Bestehende Gebäude	Neubauten	
Minderungs-massnahmen in der Literatur				
Bedarfsangepasste N-Gehalte im Futter	+	+	+	↓
Zusätze im Futter	-	+	+	⇔
Zusätze in der Gülle (Säure)	+	o	o	↑
Zusätze in der Gülle (Mineral, Bakterien, Pilze, Mikroorganismen)	o/-	o	o	⇔
Zusätze in der Gülle (Spülen mit Urease-Inhibitor)	+	-	+	↑
Zusätze in der Gülle (Spülen mit Wasser)	o	-	+	↑
Reinigungsfrequenz von Laufflächen ¹⁾	o	+	+	⇔
Weidegang ²⁾	+	+	+	↓
Emissionsarme Laufflächen (geneigt, rilliert)	+	-	+	↑
Weitere, noch zu prüfende Minderungs-massnahmen				
Nichtbenützung des Auslaufes im Sommer		+	+	↓
Gestaffelte Benützung des Auslaufes ³⁾		+	+	↓/⇔
Kein Auslauf ^{3), 4)}		+	+	↓/⇔
Kleinerer Anteil nicht überdachte Fläche ³⁾		+	+	↓/⇔
Offene Stallgebäude mit wärmedämmtem Dach		-	+	⇔
Windschutz am Stall oder um den Stall		+	+	⇔
Erhöhte Standplätze mit Abtrennungen im Fressbereich		-	+	↑
V-förmige Kanäle		-	+	↑
Zwischenboden im Güllekeller		-	+	↑

¹⁾ Bei mobiler Reinigung keine Automatisierung möglich

²⁾ Futterration weniger bedarfsgerecht, Nährstoffeffizienz schlechter

³⁾ Verzicht auf RAUS-Beiträge oder Änderung der RAUS-Verordnung

⁴⁾ Nach TSchV bei Laufställen möglich

für Säure oder Urease-Inhibitor und für Einrichtungen (Kompressor, Pumpe, Leitungen, Düsen). Vermehrte Weidehaltung oder die nur zeitweise Nutzung von Aus-läufen lassen sich je nach Stallkonzept gut umsetzen. Das Reduktionspotenzial bei

der Nutzung von Ausläufen ist noch nicht quantifiziert. Emissionsarme Laufflächen als bauliche Massnahme eignen sich nur bei Neubauten zur Reduktion von NH₃-Emissionen und verursachen zusätzliche Kosten. Einen Schutz vor hohen Tempe-

raturen und hohen Luftgeschwindigkeiten im Stall und Auslauf können genügend Vordach und Schatten durch angrenzende Gebäude, Bäume, Sträucher oder Windschutznetze bieten.

NH₃-Emissionen von heutigen Stallkonzepten

Die Haltung von Milchkühen in Kalt- oder Aussenklimaställen gewinnt in der Schweiz an Bedeutung. Zwei heute häufig gebaute Stallkonzepte sind Mehrgebäudeställe mit offener Liegehalle, Fressplatzüberdachung und integriertem Auslauf (Abb. 12) und geschlossene Eingebäudeställe mit angebautem Auslauf (Abb. 13, weitere Stallkonzepte siehe Zähler 2005). Die beiden Stallkonzepte verursachen unterschiedlich hohe NH₃-Emissionen. Diese wurden bisher nicht quantifiziert und können somit nur qualitativ angegeben werden.

- Grösse der verschmutzten Fläche (Lauffläche):

Die grössere verschmutzte Fläche bei angebautem Auslauf verursacht höhere NH₃-Emissionen. Durch die Vorgaben der Flächen im Tierhaltungsprogramm RAUS sowie die Abmessungen von Liegeboxen und Laufgängen in den Richtlinien für die Haltung von Rindvieh (BVET 2003) ist es bei Eingebäudeställen mit angebautem Auslauf nicht möglich, nur die für RAUS notwendige Mindestfläche von 10 m² pro Tier zu bauen.

- Anfall an Kot und Harn auf der nicht überdachten Auslaufläche:

Die Tiere verbringen einen grossen Teil der Zeit mit Liegen und beim Fressen. Somit fällt der grösste Teil an Kot und Harn im Laufbereich der Liegeboxen und an der Fressachse an. Bei integriertem Auslauf ist ein Teil der nicht überdachten Auslaufläche gleichzeitig Fressbereich. Der Anfall an Kot und Harn auf der nicht überdachten Auslaufläche ist bei diesem Stallkonzept grösser als beim Stallkonzept mit angebautem Auslauf.

- Häufigkeit der Reinigung der Auslaufläche bei planbefestigter Ausführung:

Betriebe mit integriertem Auslauf installieren meist eine stationäre Entmistinganlage und reinigen täglich mehrmals oder entmisten mobil mindestens einmal täglich. Ein angebaute Auslauf mit geringerem Anfall an Kot und Harn wird eher seltener gereinigt.



Abb. 12: Konzept eines Mehrgebäudestalles mit Liegehalle, Fressplatzüberdachung und integriertem Auslauf.



Abb. 13: Konzept eines Eingebäudestalles mit angebautem Auslauf.

Bei neuen Ställen wird häufig die Güllegrube mit der Auslaufläche darüber kombiniert. Die Lauffläche wird bei solchen Systemen meist als perforierte Fläche erstellt. Bei diesen Systemen spielt die Häufigkeit der Reinigung weniger eine Rolle.

- Temperatur im Winterhalbjahr im Stall und Auslauf:

Das Klima in offenen Mehrgebäudeställen entspricht dem Aussenklima. Im Winterhalbjahr sind dort etwas tiefere NH₃-Emissionen als in geschlossenen Eingebäudeställen zu erwarten.

– Temperatur im Sommerhalbjahr im Stall und Auslauf:

Bei geschlossenen Eingebüdeställen sind im Sommer eine höhere Temperatur und somit höhere NH₃-Emissionen als in den offenen Mehrgebüdeställen zu erwarten. Die Wärmedämmung zum Beispiel des Daches schützt vor hohen Temperaturen im Stall, eine offene Bauweise erhöht den Luftaustausch und somit den Wärmeabtransport.

Hohe Temperaturen im Sommer und direkte Sonneneinstrahlung, das heisst nicht überdachte Auslaufflächen, sind für einen grossen Teil der NH₃-Emissionen verantwortlich.

In Tabelle 4 werden die beiden Stallkonzepte mit Blick auf zu erwartende NH₃-Emissionen rangiert. Dies ist als grober Ansatz zu verstehen und soll Diskussionen auslösen, um zukünftig geeignete Lösungswege zu finden. Die beiden Stallkonzepte wurden für die fünf oben diskutierten Kriterien mit Punkten bewertet und zusammengefasst. In dieser zusammenfassenden Rangierung ist die heutige Situation ohne Einbezug von Massnahmen bei Bau und Management zur Minderung der NH₃-Emissionen mit den bestehenden Tierhaltungsprogrammen dargestellt. Die beiden Stallkonzepte erreichen weder das Maximum von zehn Punkten, noch das Minimum von fünf Punkten. Die Stallkonzepte liegen mit sieben bzw. acht Punkten dazwischen, haben also Vor- und Nachteile in Bezug auf die NH₃-Emissionen. Bei den heutigen Tierhaltungsprogrammen sind mit Blick auf die NH₃-Emissionen die Stallkonzepte mit angebautem Auslauf schlechter zu bewerten (Grösse der verschmutzten Fläche, Häufigkeit der Reinigung der verschmutzten Fläche bei planbefestigter Ausführung) als die Stallkonzepte mit integriertem Auslauf.

Die beiden Stallkonzepte unterscheiden sich in der Eignung für die Umsetzung der diskutierten Minderungsansätze.

- Fütterungsmassnahmen lassen sich bei beiden Stallkonzepten gleichermassen umsetzen. Wichtig für eine ausgeglichene Ration sind die Auswahl und das Erntestadium der Raufutterkomponenten sowie geeignete Komponenten der Ergänzungsfütterung.
- Eine Lauffläche mit Rillenbodenelementen und optimierter Entmistungstechnik ist am besten bei wenigen, geraden Laufgangachsen mit einer darunter liegenden Güllegrube möglich.
- Erhöhte Standplätze mit Abtrennungen

Tab. 4: Beurteilung der beiden Stallkonzepte anhand emissionsrelevanter Kriterien. Rangierung der Situation ohne Potenzial sowie mit dem geschätzten Potenzial von Massnahmen bei Bau und Management zur Minderung der Ammoniak-Emissionen (NH₃) (tiefe Punktzahl entspricht niedrigen Emissionen, hohe Punktzahl hohen Emissionen).

Kriterien	Punkte bei zwei Situationen und zwei Stallkonzepten	
	OHNE Reduktionspotenzial	
	Mehrgebäude Auslauf integriert	Eingebäude Auslauf angebaut
Grösse der verschmutzten Fläche (Lauffläche)	1	2
Anfall an Kot und Harn auf der nicht überdachten Fläche	2	1
Häufigkeit der Reinigung der planbefestigten Auslauffläche	1	2
Temperatur im Winterhalbjahr im Stall und Auslauf	1	1
Temperatur im Sommerhalbjahr im Stall und Auslauf	2	2
Summe	7	8

Kriterien	Punkte bei zwei Situationen und zwei Stallkonzepten	
	MIT Reduktionspotenzial	
	Mehrgebäude Auslauf integriert	Eingebäude Auslauf angebaut
Grösse der verschmutzten Fläche (Lauffläche)	1	1 ¹⁾
Anfall an Kot und Harn auf der nicht überdachten Fläche	2	1
Häufigkeit der Reinigung der planbefestigten Auslauffläche	1	1 ²⁾
Temperatur im Winterhalbjahr im Stall und Auslauf	1	1
Temperatur im Sommerhalbjahr im Stall und Auslauf	2 ³⁾	1 ⁴⁾
Summe	7	5

¹⁾ Zeitweises Schliessen, gestaffelte Nutzung des Auslaufes (Änderung der RAUS-Verordnung)

²⁾ Zeitweises Schliessen des Auslaufes im Sommer

³⁾ Temperatur im Fress- und Auslaufbereich nicht beeinflussbar

⁴⁾ Wärme gedämmtes Dach

im Fressbereich lassen sich bei beiden Stallkonzepten beim Neubau einbauen. Bei den Stallkonzepten mit angebautem Auslauf könnte ein breiterer Laufgang beim Fressplatz erforderlich werden und somit eine grössere Gesamtfläche resultieren.

- Als Windschutz können bei offenen Mehrgebüdeställen in der unteren Wandhälfte eine Holzwand, ein Windschutznetz oder auch angrenzende Gebäude, Sträucher und Büsche dienen.
- Für tiefere Temperaturen im Stall im Sommer können bei geschlossenen Eingebüdeställen ein wärme gedämmtes Dach, das Öffnen von Wänden und First sowie zusätzlich bei heissen Temperaturen eine Sprühkühlung eingeplant werden.
- Managementmassnahmen im Bereich des Auslaufes (zeitweises Schliessen im Sommer, gestaffelte Nutzung) lassen sich nur bei angebautem Auslauf umsetzen. Bei den Stallkonzepten mit integriertem Auslauf benötigen die Tiere diese Fläche zur Zirkulation zwischen Liege- und Fressbereich.
- Vermehrte Weidehaltung im Sommer ist unabhängig vom Stallkonzept mög-

lich. Hindernisse für eine vermehrte Weidehaltung können eine ungünstige Futterzusammensetzung, höhere Gesamt-Stickstoff-Verluste, höhere Anforderungen an das Management sowie der Standort des Betriebes und keine hofnahen Weideflächen sein.

- Eine Erhöhung der Reinigungsfrequenz ist bei Ställen mit integriertem Auslauf und stationärer Entmistung einfach möglich. Bei den Stallkonzepten mit angebautem Auslauf ist ein häufiges Reinigen des Auslaufes schwieriger zu realisieren. Der Anteil von dort anfallendem Kot und Harn ist klein, doch die Fläche gross. Bei häufigem Entmisten des Auslaufes mit bisher vorhandener Entmistungstechnik wird Kot und Harn meist nur auf der Fläche verteilt und verschmiert.

Eine Änderung des RAUS-Programmes könnte dazu beitragen, dass in Zukunft Ställe gebaut werden, die emissionsärmer sind. Möglichkeiten zu Änderungen sind

- Kein Auslauf bei Laufstallhaltung in Kombination mit Weidehaltung im Sommer,
- Kleinerer Anteil nicht überdachte Fläche,

sodass eine Gesamtfläche von 10m² pro Tier bei angebautem Auslauf ausreicht,

- Gleiche Fläche bei nicht permanent zugänglichem Auslauf bei Laufställen wie bei permanent zugänglichem Auslauf.

Das Potenzial der diskutierten Minderungsmaßnahmen ist bei den beiden Stallkonzepten unterschiedlich gross (Tabelle 4). Änderungen der Rangierung erfolgten durch die Grösse der verschmutzten Fläche, die Häufigkeit der Reinigung der Auslauffläche sowie die Temperatur im Sommer. Die verschmutzte Fläche bei den Laufstallkonzepten mit angebautem Auslauf lässt sich durch zeitweises Schliessen des Auslaufes im Sommer bei Weidehaltung sowie durch eine gestaffelte Nutzung des Auslaufes in Kombination mit einer Änderung der Vorschriften im RAUS-Programm reduzieren. Die Häufigkeit der Reinigung bei den Stallkonzepten mit integriertem Auslauf lässt sich mit einer Zeitschaltuhr erhöhen, bei den Stallkonzepten mit angebautem Auslauf ist der Auslauf im Sommer geschlossen und sauber gereinigt. Das Klima im Sommer (tiefere Temperaturen) kann bei den Eingebäudeställen durch ein wärmegeämmtes Dach verbessert werden. Schwierig ist es, die Temperatur im Fressbereich bei den Ställen mit integriertem Auslauf zu reduzieren. Insgesamt ist das Potenzial für Minderungsmaßnahmen bei den Stallkonzepten mit angebautem Auslauf wesentlich grösser als bei den Stallkonzepten mit integriertem Auslauf unter der Voraussetzung, dass die RAUS-Verordnung geändert wird (Reduktion der Punktzahl um drei).

Empfehlungen

Die Milchviehhaltung in der Schweiz ist durch den hohen Anteil Raufutter in der Ration, durch eher kleine Betriebsstrukturen sowie durch verschiedene Programme im Bereich der Tierhaltung gekennzeichnet.

Der hohe Anteil Raufutter in der Ration bringt häufig einen Rohproteinüberschuss. Folgende Massnahmen können den Rohproteinüberschuss vermindern oder sogar verhindern:

- regelmässige Kontrolle der Inhaltsstoffe im Futter und Berechnung der Ration anhand der Fütterungsempfehlungen,
- Ersetzen von Raufutterkomponenten

mit hohem Rohproteingehalt (junges Gras) durch Raufutterkomponenten mit tieferem Rohproteingehalt und

- gezielte Ergänzungsfütterung mit älterem Gras, Heu und energiereichen Futtermitteln.

Die vermehrte Laufstallhaltung sowie die Tierhaltungsprogramme des Bundes und der verschiedenen Labelorganisationen haben die Gesamtfläche, den Anteil verschmutzter Fläche sowie den Anteil verschmutzter nicht überdachter Fläche im Vergleich zu Vorgaben der Tierschutzverordnung stark erhöht. Folgende Massnahmen können die Nachteile der grösseren verschmutzten Fläche vermindern:

- zeitweises Schliessen des Auslaufes im Sommer,
- häufigere Reinigung der Laufbereiche,
- vermehrte Weidehaltung im Sommer.

Bei der Planung eines Stallbaus sollten folgende Punkte zur Reduktion der NH₃-Emissionen diskutiert werden:

- Wichtig ist, nicht mehr Lauffläche als nötig zu bauen. Es sollten die minimalen Vorschriften der Tierschutzverordnung und die Vorgaben der gewünschten Tierhaltungsprogramme nicht überschritten werden.
- Bei einem angebauten Auslauf sind verschiedene Nutzungsvarianten möglich, bei einem integrierten Auslauf nicht.
- Der Einbau von optimierter Entmistungstechnik ist nur bei wenigen, geraden Laufgangachsen sinnvoll.
- Erhöhte Standplätze mit Abtrennungen im Fressbereich reduzieren den Anteil an verschmutzter Fläche. Die Laufgänge werden in diesem Fall insgesamt breiter, der verschmutzte Teil jedoch schmaler.
- Möglichst tiefe Temperaturen im Sommer können durch ein wärmegeämmtes Dach und offene Seitenwände erreicht werden. Als Windschutz reichen eine Holzwand in der unteren Wandhälfte, ein Windschutznetz oder auch angrenzende Gebäude, Sträucher und Büsche. Aus Sicht der NH₃-Emissionen sind die heute im Stall montierten grossen Ventilatoren kritisch zu beurteilen, um den Tieren im Sommer eine erhöhte Wärmeabgabe zu ermöglichen.

NH₃-Emissionen können durch geeignete Massnahmen bei Bau und Management im Stallbereich reduziert, aber durch eine ungeeignete Ausbringung wieder erhöht werden, so dass insgesamt keine Verbesserung erreicht wird. Daher ist auf geeignete Massnahmen in der gesamten

Verfahrenskette zur Minderung von NH₃-Emissionen zu achten.

Forschungsbedarf

Emissionsmessungen fehlen bei frei belüfteten Laufställen für Milchvieh weitgehend. Untersuchungen zu NH₃-Emissionen wurden bisher entweder im Labor oder in geschlossenen zwangsbelüfteten Ställen durchgeführt. Die Ergebnisse sind nur beschränkt auf freibelüftete Ställe übertragbar. Auch Untersuchungen zu Minderungsmaßnahmen in frei belüfteten Ställen liegen kaum vor. In den folgenden Bereichen ist Forschungsbedarf vorhanden:

- Planbefestigte Laufflächen und perforierte Laufflächen mit darunter liegender Güllegrube sind bisher nicht vergleichend untersucht.
- Neuere Entwicklungen bei Laufflächen gehen in Richtung weich und verformbar. Wie sich diese Laufflächen auf die NH₃-Emissionen auswirken, ist nicht geklärt.
- Erst in einem Versuch wurde die Wirkung der Weidehaltung auf die NH₃-Emissionen aus dem Stall untersucht. Vergleiche zwischen verschiedenen Weidestrategien (Vollweide, Ganztagesweide, Halbtagesweide) fehlen.
- Die tiergerechte Haltung wird mit vielen Vorgaben und Programmen gefördert. Für eine ökologische Landwirtschaft ist zukünftig der Umweltschutz gleichermaßen zu gewichten. Bei der Weiterentwicklung von Stallkonzepten ist in Zukunft verstärkt darauf zu achten, dass Tiergerechtigkeit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit im Einklang sind. Aufgrund von Zielkonflikten ergeben sich auch Konsequenzen für die Anforderungen von Tierhaltungsprogrammen.

Literatur

Bio-Suisse, 2004. Richtlinien für die Erzeugung, Verarbeitung und den Handel von Knospe-Produkten. Bio-Suisse, Basel.

BLW, 1998a. Verordnung des EVD über den regelmässigen Auslauf von Nutztieren im Freien (RAUS-Verordnung). Stand 28.

- Dezember 2004. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- BLW, 1998b. Verordnung des EVD über besonders tierfreundliche Stallhaltungssysteme (BTS-Verordnung). Stand 28. Dezember 2004. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- BLW, 2003. Agrarbericht 2003. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- BLW, 2004. Agrarbericht 2004. Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- Borka G., 1998. Modelluntersuchungen zur Bestimmung der Ammoniakemissionen aus Rinderexkrementen im Stallbereich. Dissertation Nr. 12830, ETH Zürich.
- Brose G., 2000. Emission von klimarelevanten Gasen, Ammoniak und Geruch aus einem Milchviehstall mit Schwerkraftlüftung. Dissertation, Universität Hohenheim.
- BVET, 2003. Richtlinien für die Haltung von Rindvieh. Bundesamt für Veterinärwesen (BVET), Bern.
- EVD, 1981. Tierschutzverordnung (TSchV). Stand 4. September 2001. Eidgenössisches Volkdepartement (EVD), Bern.
- IP-Suisse, 2004. Richtlinien für Milch. Schweizerische Vereinigung integriert produzierender Bauern und Bäuerinnen Rütli, Zollikofen.
- Kagfreiland, 2001. Anforderungen Rindvieh. Kagfreiland, St. Gallen.
- Keck M., 1997. Ammonia emission and odour thresholds of cattle houses with exercise yards. In: Ammonia and odour control from animal production facilities, Ag Eng International Symposium, Vinke-loord, 349-354.
- Keck M., Zähler M. und Hauser R., 2004. Minimalställe für Milchkühe bewähren sich – Empfehlungen für die Planung und den Betrieb. FAT-Berichte 620, Agroscope FAT Tänikon.
- Külling D.R., 2000. Influence of feed composition and manure type on trace gas emissions from stored dairy manure. Dissertation Nr. 13872, ETH Zürich.
- Monteny G.J., 2000. Modelling of ammonia emissions from dairy cow houses. Ph. Thesis, University of Wageningen.
- Parker D.B., Pandrangi S., Greene L.W., Almas L.K., Cole N.A., Rhoades M.B. and Koziel J., 2005. Rate and frequency of urease inhibitor application for minimizing ammonia emissions from beef cattle feedyards. Transaction of the ASAE 48, 787–793.
- RAP, 1999. Fütterungsempfehlungen und Nährwerttabellen für Wiederkäuer. 4. überarbeitete Auflage. Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, Zollikofen.
- Reidy B. und Menzi H., 2005. Ammoniakemissionen in der Schweiz: Neues Emissionsinventar 1990 und 2000 mit Hochrechnungen bis 2003. Schlussbericht. Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL), Zollikofen (in Bearbeitung).
- Swierstra D., Smits M.C.J. and Kroodsma W., 1995. Ammonia emission from cubicle houses for cattle with slatted and solid floors. Journal of Agricultural Engineering Research 62, 127–132.
- Swierstra D., Braam C.R. and Smits M.C., 2001. Grooved floor system for cattle housing: ammonia emission reduction and good slip resistance. Applied Engineering in Agriculture 17, 85–90.
- Webb J., Balsdon S. and Chadwick D., 2003. Investigation of how ammonia emissions from buildings housing cattle vary with the time cattle spend inside those buildings. Proceedings of the sixth Conference of Construction, Engineering and Environment in Livestock Farming, Vechta, 303–310.
- Zähler M., 2005. EMIBAU – Vorsorgliche Emissionsminderungsmaßnahmen bei Bauinvestitionen in der Landwirtschaft. Schlussbericht, Agroscope FAT Tänikon.

Möglichkeiten zur Reduktion der Ammoniak-Emissionen von Rindviehställen
Massnahme
Fütterung
– Ausgeglichene Rationenplanung nach Protein und Energie
– Ausgleich des Rohproteinüberschusses im Raufutter mit einem Energiekonzentrat
– Regelmässige Analyse oder Schätzung der Gehalte der Raufutter
– Regelmässige Rationenkontrolle
– Anpassung der Fütterung an die Leistung
– Separate Fütterung der Galkühe (trockenstehende Kühe)
– Auswahl von verschiedenen geeigneten Raufutterkomponenten
Organisatorische Massnahmen
– Schliessen des Auslaufes im Sommer
– Hohe Reinigungsfrequenz der Laufbereiche
– Saubere, trockene Laufbereiche
– Hoher Anteil der Weidehaltung
Bauliche Massnahmen
– Minimale, nach Gesetzen und Programmen vorgegebene Gesamt- und nicht überdachte Fläche
– Möglichkeit zum Schliessen des Auslaufes im Sommer (angebauter oder integrierter Auslauf)
– Automatische Entmistung mit Zeitschaltuhr
– Geneigter Boden mit zentraler Ablaufrinne in den Laufbereichen
– Wärmedämmtes Dach
– Optimale Lüftung im Stall ohne hohe Luftgeschwindigkeiten im Bodenbereich (Wand- und Firstöffnungen)
– Windschutz am oder um den Stall bzw. Auslauf
– Sprühkühlung in den Laufbereichen in Kombination mit geneigtem Boden und Ablaufrinne

Aufgrund hoher Kosten oder notwendiger Änderung der RAUS-Verordnung sind nicht aufgeführt:

- zusätzliche bauliche Massnahmen wie Rillenboden im Laufbereich mit darunter liegendem Güllekanal oder erhöhter Standplatz mit Abtrennungen im Fressbereich,
- organisatorische und bauliche Massnahmen beim Auslauf.

Impressum

Herausgeber: Agroscope FAT Tänikon, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Ettenhausen

Die FAT-Berichte erscheinen in rund 20 Nummern pro Jahr. – Jahresabonnement Fr. 60.–. Bestellung von Abonnements und Einzelnummern: Agroscope FAT Tänikon, Bibliothek, CH-8356 Ettenhausen. Tel. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90, E-Mail: doku@fat.admin.ch, Internet: <http://www.fat.ch>

Die FAT-Berichte sind auch in französischer Sprache als «Rapports FAT» erhältlich.
ISSN 1018-502X.