

# Einflussgrößen der NH<sub>3</sub>-Emission aus Festmist

## Feststellung mit Hilfe eines Systemmodells für die Entwicklung verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung

*Ausgangspunkte für die Entwicklung von verfahrenstechnischen Maßnahmen zur Verringerung der NH<sub>3</sub>-Emission aus Festmist sind die maßgebenden Einflussgrößen. Um diese ermitteln zu können, wurde als Forschungsansatz die Bildung und Simulation eines System-Rechenmodells gewählt. Der vorliegende Beitrag gibt einen Überblick über die Modellannahmen und Modellüberprüfung und stellt die Ergebnisse von Sensitivitätsanalysen sowie daraus abgeleitete Überlegungen zu verfahrenstechnischen Maßnahmen der Emissionsminderung vor.*

Dr. Wieland Krötz war wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der TU München Vöttinger Straße 36, 85350 Freising (Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Schön), apl. Prof. Dr. Dr. Gerhard Englert vertritt dort das Lehrgebiet „Landtechnische Grundlagen“; e-mail: englert@tec.agrar.tu-muenchen.de.

Das Systemmodell Tretmiststall ist auch als Java-Applet mit der Finite-Differenzen-Methode realisiert.

### Schlüsselwörter

NH<sub>3</sub>-Emission, Festmist, Systemmodell, Finite-Element-Methode, Sensitivitäten

### Keywords

NH<sub>3</sub>-emission, solid dung, system model, finite-element method, sensitivities

Literaturhinweise sind vom Verlag unter LT 99418 erhältlich oder über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Für die Entwicklung des Systemmodells der NH<sub>3</sub>-Emission aus Festmist wird ein systemtechnischer Ansatz gewählt [1]. Ausgangspunkt der Systemanalyse und -modellierung sind zwei in der Literatur angegebene Modelle für die NH<sub>3</sub>-Emission aus Flüssigmist [2, 3]. Diese werden zunächst in ein EDV-Rechenmodell zusammengeführt. Die Lösung der Bilanzierungsgleichungen für den NH<sub>3</sub>-Stoffstrom (Diffusionsgleichung) und die bei Festmist zu beachtenden Wärmeströme (Wärmeleitungsgleichung), welche das Modell bilden, erfolgt mit der Finite-Element-Methode (FEM). Nähere Einzelheiten finden sich in [4].

Modellannahmen ermöglichen es, das System so zu vereinfachen, daß ein Systemmodell für Festmist entwickelt werden kann. In einer Sensitivitätsanalyse werden die Modellparameter unabhängig voneinander variiert. Haupteinflussgrößen der Emission sind dabei der pH-Wert und der Stoffübergangskoeffizient. Diese Systemgrößen werden auf Möglichkeiten einer Umsetzung in verfahrenstechnische Maßnahmen diskutiert.

### EDV-Rechenmodell für die NH<sub>3</sub>-Emission aus Festmist

#### Modellkonzept

Bei der Systemmodellentwicklung wird die Modellierung der Prozesse Bildung von gelöstem NH<sub>3</sub>, Gleichgewichtseinstellung in Lösung, Stofftransport und Verdampfung entsprechend der Literatur vorgenommen, wobei eine Anpassung an die Gegebenheiten in Festmist erfolgt. Die Selbsterwärmung des Festmistes erfordert die Einbeziehung der Wärmeströme in das Modell. Über die Art der Kopplung zwischen den Stoff- und Wärmeströmen wurde bereits berichtet [5]. Die Finite-Element-Methode dient zur Lösung der Differentialgleichungen.

#### Modellannahmen

Das Systemmodell enthält folgende Modellannahmen:

- Die Inputströme von Einstreu und Exkrementen sind zeitlich und örtlich konstant.

Es treten zum Beispiel keine Häufungen an Fressplätzen oder Liegeplätzen auf.

- Die mikrobiellen Umsetzungen laufen in allen Schichten nach den gleichen Gesetzen ab. pH-Wert, Sauerstoff-, Kohlenstoff- und Wasserverfügbarkeit haben keinen Einfluss auf die mikrobielle Aktivität.
- Es findet keine Stickstofffixierung durch Assimilation statt.
- Der NH<sub>3</sub>-Stoffübergang ist an der gesamten Oberfläche gleich groß.
- Der Wärmeübergang in den Boden und in die Luft ist gleichmäßig.
- Es findet keine Wasserverdampfung statt. Es treten deshalb keine latente Wärme und keine Massenverluste auf.
- Das Haufwerk ist homogen. Die thermophysikalischen Werte und der Diffusionskoeffizient sind örtlich konstant, ebenso der Trockensubstanzgehalt und pH-Wert.
- Im Tretmiststall bewegt sich das Haufwerk gleichförmig nach unten.

#### Modellüberprüfung

Das Systemmodell eignet sich zur Berechnung der Emissionsvorgänge in Tretmist- und Tieflaufställen.

Zur Überprüfung der inneren Konsistenz des Modells (Verifizierung) wird das Massenerhaltungsgesetz verwendet. Die Stickstoffmasse wird vor der biologischen Umwandlung, in der Lösung und nach der Emission bilanziert.

Die Validierung des Modells erfolgt durch Vergleich der Ergebnisse von Simulationsrechnungen und Praxismessungen. Die Ergebnisse für den Emissionsmassenstrom, für Kennwerte von Zwischenprodukten der Stickstoffumwandlung sowie für Systemparameter liegen dabei im Bereich der Messwerte, wie in *Tabelle 1* für einen Tretmiststall beispielhaft gezeigt wird. Abweichungen lassen sich durch verwendete Modellannahmen erklären. So kann der Unterschied im Nitratgehalt nach *Tabelle 1* zwei Ursachen haben, zum einen die Unsicherheit über die Rechenwerte für die Nitrifikation, zum anderen die Nichtberücksichtigung der Folgeprozesse Nitratverluste und Denitrifikation.

Einflussgröße	Praxis-messwerte	Modell-werte
NH <sub>3</sub> -N-Konzentration [mg/l]	180 - 680	240
NO <sub>x</sub> -N-Konzentration [mg/l]	<100	640
pH-Wert	7,4 - 9,1	8,5
Dichte [kgm <sup>-3</sup> ]	740	650
Haufwerkshöhe [m]	0,5	0,6
Trockensubstanzgehalt	0,18 - 0,26	0,25

Tab. 1: Vergleich der Ergebnisse von Simulationsrechnungen für einen Tretmiststall mit Messwerten aus Mutterkuhställen [7]

Table 1: Comparing simulation results for sloped floor housing system with results from beef cow housing system [7]

Die gesamten Untersuchungen zur Verifizierung und Validierung [4] zeigen, dass sich das Systemmodell für eine Sensitivitätsanalyse zur Feststellung maßgeblicher Einflussgrößen auf die NH<sub>3</sub>-Emission eignet.

#### Sensitivitätsanalysen

Für die Entwicklung verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung eignen sich in erster Linie Systemgrößen, die in einer Sensitivitätsanalyse ein hohes Emissionsminderungspotential zeigen. In Tabelle 2 sind die relativen NH<sub>3</sub>-Emissionsänderungen für die einzelnen Systemgrößen zusammengestellt. Die Schwankungsbreite ist in Richtung einer Emissionsminderung gewählt und geht bis zur Realisierungsgrenze. Die Tabelle enthält auch die Ergebnisse des Modells Tiefstreustall.

#### Konzeption verfahrenstechnischer Maßnahmen zur Emissionsminderung

Für verfahrenstechnische Maßnahmen zur Emissionsminderung sind grundsätzlich alle Einflussgrößen und Systemparameter in Betracht zu ziehen, deren Veränderung eine größere Verringerung der NH<sub>3</sub>-Emission bewirkt. Nach Tabelle 2 kommt dafür eine Reihe von Größen in Frage. Verfahrenstechnisch einfach realisierbar sind Veränderungen des pH-Wertes und des Stoffübergangskoeffizienten.

#### Senkung des pH-Wertes

Eine kontrollierte pH-Wert-Senkung stellt ein effektives Emissionsminderungspotential dar. Bei pH-Werten unter 6 findet keine Emission mehr statt. Wegen der starken Nichtlinearität zwischen pH-Wert und Emissionsänderung ist eine örtlich und zeitlich konstante pH-Wert-Kontrolle Voraussetzung für eine effektive Minderung. Abweichungen würden die Effizienz der Emissionsminderung stark herabsetzen.

Zur Realisierung dieser pH-Wert-Absenkung ist eine Ansäuerung notwendig. Zu beachten ist dabei, dass der pH-Wert durch die Säurezugabe nicht zu tief fällt, da es sonst zu Verätzungen am Tierbestand und am Stallgebäude kommen kann. Die kontrollierte Absenkung wird durch die Pufferkapazität des

Festmistsystems erschwert. So sind bei einer pH-Wert-Absenkung von 8,5 auf 6 der Kohlensäure-, Ammonium- und der Carbonsäurepuffer betroffen [4]. Um eine exakte Absenkung durch Säurezugabe durchzuführen, müssen die Pufferkonzentrationen bekannt sein. Es sind deshalb Konzentrationsbestimmungen vor der Säurezugabe notwendig. Die Inhomogenitäten im Festmist erfordern mehrere Messungen. Es ist aber dennoch nicht auszuschließen, dass die Emission an Orten hoher Pufferkapazitäten nach der Säurezugabe nicht unterbunden wird, und an Stellen niedriger Pufferkapazität eine Übersäuerung auftritt. Da beim pH-Wert von 6 schon Kalkbestandteile angegriffen werden, ist die Ansäuerung bei kalkhaltigen Baustoffen wie Beton nicht ohne Schädigungen an der Bausubstanz durchführbar. Es ist deshalb grundsätzlich von einer verfahrenstechnischen Emissionsregulierung durch Ansäuerung im Stallgebäude abzusehen.

Bei der Lagerung von Festmist in säurebeständigen Lagerstätten könnte die Ansäuerung eine geeignete Maßnahme zur Emissionsminderung darstellen.

Vergleichbare Schwierigkeiten treten auch bei Flüssigmistverfahren auf, jedoch ist dort der Tierbestand nicht von der Säurezugabe betroffen. BERG und HÖRNIG [6] untersuchten diese Problematik für verschiedene Güllearten und Säuren.

#### Verminderung des Stoffübergangskoeffizienten

Die Verminderung des Stoffübergangskoeffizienten stellt eine weitere wirkungsvolle verfahrenstechnische Maßnahme zur Emissionsminderung dar. Die hohe Sensibilität des Stoffübergangskoeffizienten bei Werten im Bereich unter 100 kg d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> (10<sup>5</sup> Pa)<sup>-1</sup> begünstigt verfahrenstechnische Eingriffe. Eine Herabsetzung des Stoffübergangskoeffizienten ist durch Verkleinerung der Luftgeschwindigkeit an der Festmistoberfläche und Bedeckung des Festmists mit lockerem Einstreu möglich.

Tab. 2: Sensitivitäten der Einflussgrößen auf die NH<sub>3</sub>-Emission für die Modelle „Tretmiststall“ und „Tiefstreustall“.

Table 2: Sensitivities of parameters influencing NH<sub>3</sub>-emission for the models "sloped floor housing system" and "deep litter housing system".

Einflussgröße	Ausgangswert	Veränderung ±Δx	Relative NH <sub>3</sub> -Emissionsänderung [%]	
			Tretmiststall	Tiefstreustall
Stoffübergangskoeffizient [kgd <sup>-1</sup> m <sup>-2</sup> (10 <sup>5</sup> Pa) <sup>-1</sup> ]	60	-35	-51	-31
pH-Wert [1]	8,5	-2,5	-100	-100
Diffusionskoeffizient [m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> ]	1•10 <sup>-6</sup>	-9•10 <sup>-7</sup>	-8	-11
Halbwertszeit der Nitrifikation [s]	1•10 <sup>6</sup>	-5•10 <sup>7</sup>	-33	-19
NH <sub>3</sub> -Partialdruck [Pa]	0,2	+0,8	-5	-1
Halbwertszeit der Inputstoffe [s]	10800	+10000	-6	-5
volumenbezogener Wärmestrom bei 35 °C [Wm <sup>-3</sup> ]	350	-350	-55	-41
Rohdichte [kgm <sup>-3</sup> ]	650	+350	-11	-17
Trockensubstanzgehalt [1]	0,25	-0,1	-10	-4
flächenbezogener Zuflussstrom der Inputstoffe [kgm <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]	0,015	-0,008	-2	-0,3
spezifische Wärmekapazität der Trockensubstanz [JK <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> ]	2000	-1000	0,1	0,1

#### Weitere Möglichkeiten

##### zur NH<sub>3</sub>-Emissionsminderung

Weitere in Betracht zu ziehende, aber nicht mehr so wirkungsvolle oder verfahrenstechnisch zumindest zurzeit nicht umsetzbare Möglichkeiten der NH<sub>3</sub>-Emissionsminderung wären nach Tabelle 2:

- Senkung der Halbwertszeit der Nitrifikation

Eine verfahrenstechnische Kontrolle der Halbwertszeit der Nitrifikation wäre eine günstige Möglichkeit, die NH<sub>3</sub>-Emission zu mindern. Eine Herabsetzung der Halbwertszeit erfordert hohe Werte für die Sauerstoffverfügbarkeit im Festmistsystem und das C/N-Verhältnis. Quantitatives Wissen über diese Zusammenhänge existiert derzeit nicht.

- Senkung der Wärmequellichte des Substrats

Eine Kontrolle des volumenbezogenen Wärmestroms würde ein hohes Emissionsminderungspotential darstellen. Es ist jedoch nicht bekannt, mit welchen verfahrenstechnischen Parametern sich der Wärmestrom senken ließe.

- Erhöhung der Rohdichte

Eine kontrollierte Verdichtung des Substrats eignet sich zwar zur Minderung der NH<sub>3</sub>-Emission, hat aber nur einen nachrangigen Effekt. Die Modellannahme, dass die Sauerstoffverfügbarkeit keinen Einfluss auf die mikrobielle Aktivität hat, ist dabei zu berücksichtigen. Denn es ist zu erwarten, dass durch die Verdichtung die Sauerstoffverfügbarkeit abnimmt und die Nitrifikation vermindert wird. Folge wäre ein Anstieg der NH<sub>3</sub>-Emission. Da dieser Vorgang derzeit im Modell nicht quantifiziert ist, wäre eine wissenschaftliche Untersuchung des Verdichtungsprozesses sinnvoll.