

Wieland Krötz und Gerhard Englert, Freising-Weihenstephan

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

**Ausgangspunkte für verfahrenstechnische Maßnahmen zur Verringerung der NH<sub>3</sub>-Emission aus Festmist sind die für die Emission maßgebenden Einflußgrößen. Um diese ermitteln zu können, wurde als Forschungsansatz die Bildung eines System-Rechenmodells gewählt. Der vorliegende Beitrag stellt die Konzeption dieses Rechenmodells und erste Ergebnisse bei der Ermittlung von Stoffkennwerten des Festmistes vor.**

Für die Entwicklung des Systemmodells der NH<sub>3</sub>-Emission aus Festmist wurde ein systemtechnischer Ansatz gewählt [1]. Ausgangspunkt der Systemanalyse und -modellierung waren zwei in der Literatur angegebene Modelle für die NH<sub>3</sub>-Emission aus Flüssigmist [2, 3]. Diese wurden 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). In die Berechnungen eingehende Eigenschaftswerte des Festmistes werden durch Nachmodellierung von Messungen gewonnen.

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

Beide Modelle für die NH<sub>3</sub>-Emission aus Flüssigmist erfassen die an der Emission beteiligten Teilprozesse (siehe Prozeßmodell in Bild 1) soweit wie möglich analytisch. Quantitative Erklärungsmodelle für die Teilprozesse liegen zur Zeit nicht vor. Die beiden Flüssigmistmodelle verwenden deshalb zur mathematischen Beschreibung Meßergebnisse und Modellannahmen. ZHANG [3] berücksichtigt die Abhängigkeit des NH<sub>3</sub>-Massenstrom-

mes von der Temperatur, Lagerzeit und der Tiefe des Flüssigmistbehälters mit Meßergebnissen. ELLIOTT und COLLINS [2] gehen von einem täglichen NH<sub>3</sub>-Massenstrom von 20 % der Ausgangsstoffe bei optimalen Bedingungen (pH-Wert: 9; Temperatur: 35 °C) aus. Die Veränderung des NH<sub>3</sub>-Massenstromes mit der Temperatur wird durch Korrektur mit der ARRHENIUS-Gleichung, die Abhängigkeit vom pH-Wert nach [4] erfaßt.

druck in der angrenzenden Luft. Die zugehörige Proportionalitätskonstante ist der Stoffübergangskoeffizient für Ammoniak. Beide Modelle geben diesen Koeffizienten in Abhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit an. ZHANG geht von einem konstanten Partialdruck über der Grenzfläche aus. ELLIOTT und COLLINS [2] betrachten die NH<sub>3</sub>-Emission in einem Geflügelstall und berechnen den NH<sub>3</sub>-Partialdruck aus der Gas-Massenstrombilanz der Zwangsbelüftung.

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

*Einbeziehung der Prozesse des Flüssigmistmodells*

Für die sehr komplexen Prozesse der Ammoniakherzeugung in Festmist liegen zur Zeit nur qualitative Beschreibungen vor. Es ist deshalb vorgesehen, die biologi-

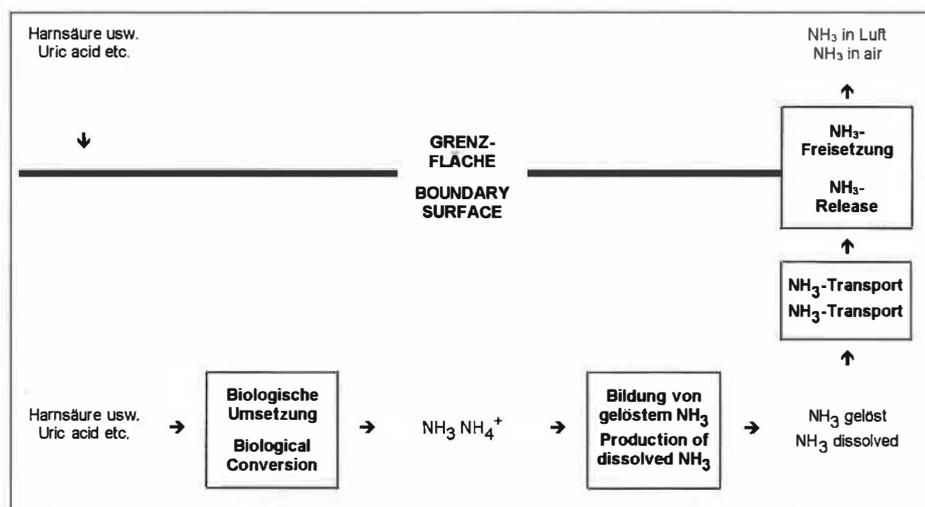


Bild 1: Prozeßmodell für die Bildung und Freisetzung von NH<sub>3</sub> bei Flüssigmist

Fig. 1: Process model for production and emission of NH<sub>3</sub> in solid manure [2, 3]

Die Bildung des gelösten NH<sub>3</sub> wird durch das Massenwirkungsgesetz beschrieben. Die Temperaturabhängigkeit der Dissoziationskonstanten ist in [5] angegeben. Dem im Flüssigmist gelösten NH<sub>3</sub> läßt sich ein Dampfdruck zuordnen, der in beiden Modellen mit dem HENRY-Gesetz berechnet wird. Die HENRY-Konstante für Ammoniak ist nach [5] exponentiell von der Temperatur abhängig.

In dem Modell von ZHANG [3] wird der Stofftransport im Flüssigmistvolumen hin zur Grenzschicht Luft-Flüssigmist berücksichtigt. ZHANG nimmt an, daß der Transport von NH<sub>3</sub> und NH<sub>4</sub><sup>+</sup> in Wasser durch Diffusion erfolgt und durch die Diffusionsgleichung beschrieben wird. Zur Lösung dieser partiellen Differentialgleichung verwendet ZHANG eine eindimensionale Finite-Differenzen-Methode.

Der freigesetzte NH<sub>3</sub>-Massenstrom ist proportional zur Differenz aus Dampfdruck im Flüssigmist und NH<sub>3</sub>-Partial-

druck. Die Temperaturabhängigkeit der Dissoziationskonstanten ist in [5] angegeben. Dem im Flüssigmist gelösten NH<sub>3</sub> läßt sich ein Dampfdruck zuordnen, der in beiden Modellen mit dem HENRY-Gesetz berechnet wird. Die HENRY-Konstante für Ammoniak ist nach [5] exponentiell von der Temperatur abhängig.

Bei der Bildung des gelösten NH<sub>3</sub> wird die Lage des Gleichgewichts nach dem Massenwirkungsgesetz durch den nicht löslichen Trockensubstanzgehalt des Festmistes nicht beeinflusst, jedoch erfolgt eine Verschiebung durch die höheren Ionenkonzentrationen infolge der fehlenden Verdünnung. Der pH-Wert geht als Eingabegröße in das Modell ein. Die Berechnung der NH<sub>3</sub>-Konzentration und des NH<sub>3</sub>-Dampfdruckes in Festmist erfolgt wie beim Flüssigmist.

Im Flüssigmistmodell nach ZHANG ist die NH<sub>3</sub>-Diffusion in Wasser der vorwie-

Dipl. Phys. Wieland Krötz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Landtechnik der TU München (Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Schön), PD Dr. Gerhard Englert vertritt dort das Lehrgebiet „Landtechnische Grundlagen“.

Die Verfasser danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Förderung des Forschungsvorhabens, in dessen Rahmen Herr Krötz an seiner Dissertation arbeitet.

Referierter Beitrag der Landtechnik

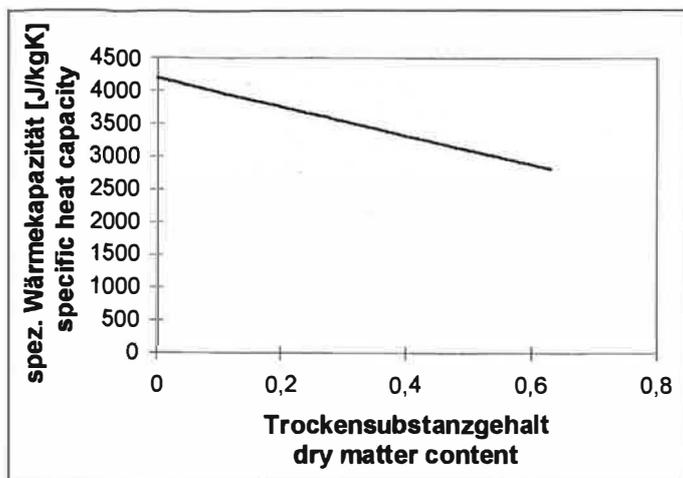


Bild 2: Veränderung der spezifischen Wärmekapazität von Festmist mit dem Trockensubstanzgehalt

Fig. 2: Variation of specific heat capacity of solid manure with the dry matter content

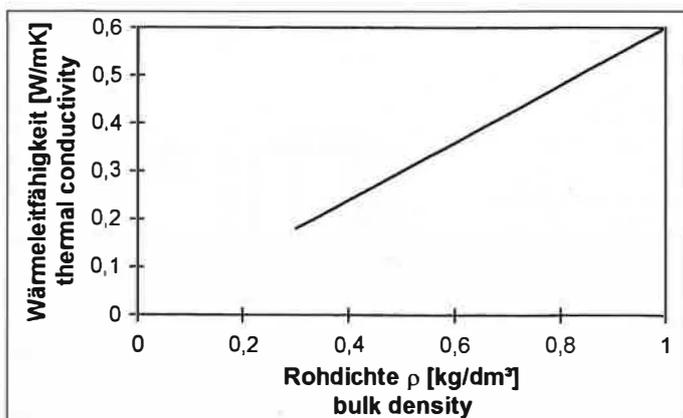


Bild 3: Veränderung der Wärmeleitfähigkeit von Festmist mit der Rohdichte

Fig. 3: Variation of thermal conductivity of solid manure with bulk density

gende  $\text{NH}_3$ -Transportmechanismus. Bei Festmist, einem Gemisch aus vorwiegend Wasser, Gas und Strukturmaterial wird davon ausgegangen, daß in der Flüssigphase des Festmistes der Stofftransport ebenfalls durch Diffusion erfolgt. Der hohe Strukturmaterialanteil verhindert die Konvektion in der Flüssigkeit. Der Diffusionskoeffizient von  $\text{NH}_3$  in Wasser ist mit einem Wert von  $3,2 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  sehr klein. Dagegen hat der Diffusionskoeffizient von  $\text{NH}_3$  in Luft mit  $5,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  einen um vier Größenordnungen höheren Wert. Der Diffusionskoeffizient von  $\text{NH}_3$  in Festmist liegt zwischen den beiden Grenzwerten. Je kleiner die Rohdichte, desto größer ist der Luftanteil und desto schneller erfolgt der  $\text{NH}_3$ -Transport. Wegen des großen Einflusses auf den Emissions-Massenstrom ist eine quantitative Erfassung des Diffusionskoeffizienten von  $\text{NH}_3$  in Festmist erforderlich. Dies soll durch Nachmodellierung von Messungen geschehen.

#### Modellerweiterung

In Festmist, in dem anaerobe und aerobe biologische Umsetzungen parallel ablaufen, beobachtet man in Gegensatz zu Flüssigmist eine starke Selbsterwärmung durch aerobe Prozesse. In Tiefmistställen wurden beispielsweise Temperaturen von bis zu  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  gemessen [6]. Für Festmist-Emissionsmodelle ist daher die Kenntnis

eines orts- und zeitabhängigen Temperaturfeldes notwendig. Für die Modellierung ergeben sich daraus zwei Aufgaben:

- Modellierung der Wärmeströme zur orts- und zeitabhängigen Temperaturfeldberechnung
- Kopplung der  $\text{NH}_3$ -Stoffströme mit den Wärmeströmen

Die Temperaturfeldberechnung erfolgt mit der Wärmeleitungsgleichung. Diese hat die gleiche mathematische Struktur wie die Diffusionsgleichung. Die numerische Lösung kann deshalb über das gleiche Rechenprogramm erfolgen. Zur Lösung werden für die Größen, die in die Wärmeleitungsgleichung eingehen, Rechenwerte benötigt:

- Festmist: Rohdichte, spezifische Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit
- Wärmesenke Untergrund und Umgebungsluft: Wärmeübergangskoeffizient, Umgebungstemperatur
- Wärmequelle durch biologische Umsetzung im Festmist: volumenbezogener Wärmestrom

Die entsprechenden Rechenwerte werden teils durch direkte Messung (etwa Rohdichte), teils über Nachmodellierung von Messungen bestimmt.

#### Finite-Element-Methode

Zur Lösung der partiellen Differentialgleichungen für die Diffusion und Wärmeleitung wird die Finite-Element-Methode [7]

in Form des Rechenprogramms MARC eingesetzt. Vorteil dieser Methode:

- Es lassen sich beliebige Geometrien behandeln. Rechenwerte oder Funktionen für die Startbedingungen sowie Quellen und Senken sind frei wählbar. Das heißt aber, daß unterschiedliche Meßanordnungen nachzumodellieren sind.
- Den Zellen lassen sich beliebige Werte für die Stoffkenngrößen zuordnen.

#### Kopplung des Wärmestrom- und Stoffstrommodells

Die Kopplung des Stoff- und Wärmestrommodells erfolgt bei der Simulation, indem zunächst der Beobachtungszeitraum in mehrere 100 Zeitschritte eingeteilt wird. Zu jedem Zeitschritt wird das orts- und zeitabhängige Temperaturfeld berechnet. Dieses bestimmt dann die Größe der Quellen und Senken des  $\text{NH}_3$ -Stoffstroms. Im zweiten Schritt werden die Konzentrationsverteilung und der freigesetzte  $\text{NH}_3$ -Massenstrom ermittelt.

#### Bestimmung der thermophysikalischen Kennwerte von Festmist

Die Ermittlung der thermophysikalischen Kennwerte des Festmistes in Abhängigkeit von den Strukturgrößen Rohdichte und Trockensubstanzgehalt erfolgte über die Modellierung von gemessenen Wärmeströmen, welche Tiere an Festmist abgeben [6]. Dazu wurden in einem FEM-Modell der Versuchsanlage zunächst lineare Funktionen für die Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit von der Rohdichte und der spezifischen Wärmekapazität vom Trockensubstanzgehalt entsprechend vorliegenden Kenntnissen angenommen. Der Vergleich der Ergebnisse aus Simulation und Experiment führt dann über eine schrittweise Anpassung der Modellfunktionen zu den in den *Bildern 2 und 3* dargestellten Funktionen.

Die Untersuchungen werden fortgeführt mit FEM-Modellierungen von Messungen in anderen Forschungsvorhaben zur Ermittlung des  $\text{NH}_3$ -Diffusionskoeffizienten in Festmist sowie zur Quantifizierung der Wärmestrom- und  $\text{NH}_3$ -Massenstromquellen bei der biologischen Umsetzung.

Literaturhinweise sind unter **LT 98207** vom Verlag erhältlich.

#### Schlüsselwörter

$\text{NH}_3$ -Emission, Festmist, Systemmodell, Finite-Element-Methode

#### Keywords

$\text{NH}_3$ -emission, solid manure, system model, finite element method