

Verfahrensoptimierung der Gülleausbringung

Verwendung Neuronaler Netze zur Modellierung der NH₃-Emissionen

Es wird ein Modell vorgestellt, das basierend auf neuronalen Netzen die Ammoniakemission nach der Gülleausbringung berechnet. Mit Hilfe des Modells ist es möglich, die Gülleausbringung sowohl hinsichtlich der Termin- als auch der Verfahrensplanung zu optimieren. Die Ammoniakemission wird hierbei mit zwei Parametern beschrieben, die sich auf die Gesamtemission und auf die Dynamik der Emission beziehen. Diese Variablen und somit die Ammoniakemission werden in ihrer Abhängigkeit von güllespezifischen Parametern, Ausbringungsparametern und externen Parametern analysiert und modelliert.

Den N-Verlust durch Emission bei der Gülleanwendung zu beeinflussen hat einen zweifachen Umweltvorteil: einen direkten, weil Ammoniak zur Versauerung beiträgt, und einen indirekten, da Schadstoffemissionen aus der Düngersynthese vermieden werden. Die Vorteile für den Landwirt liegen in einer besseren Vorhersagbarkeit des Stickstoffeintrags bei Wirtschaftsdüngeranwendung und geringeren Kosten durch vermiedene zusätzliche Mineraldüngergaben.

Die Ammoniakemission wird durch güllespezifische Faktoren wie Trockensubstanzgehalt, pH-Wert und Ammoniumkonzentration sowie externen Faktoren (Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Niederschlag und Strahlung) beeinflusst [2 bis 6]. Generell gibt es zwei Methoden diese Abhängigkeiten zu modellieren. Ein guter Überblick der mechanistischen Ansätze wird in [7] gegeben. Diese Modelle eignen sich für große Volumina wie Güllelager oder Unterbodensysteme [8]. Der andere Modellansatz beruht auf der statistischen Regression der Emissionsdaten in Bezug auf eine oder mehrere Einflussgrößen [3 bis 6]. Bisher wurde aber keine Regressionsfunktion vorgestellt, die zufriedenstellend auf andere Experimente angewendet werden konnte.

Für die folgenden Betrachtungen wird auf ein Modell (*AEM* – Ammonia Emission from Manure) reflektiert, das auf Basis neuronaler Netze die Vielzahl der Eingabegrößen verknüpft, um die Ammoniakemissionen vorherzusagen. Eine ausführliche Darstellung der Methode findet sich in [9]. Im Weiteren werden Sensitivitätsanalysen des Modells genutzt, um die Einflussstärke der unterschiedlichen Parameter auf Gesamtemission und Dynamik der Emission einschätzen und daraus günstige Bedingungen für die Gülleausbringung ableiten zu können.

Modellbeschreibung

Es wird angenommen, dass der Zeitverlauf der akkumulierten Ammoniakemission $E(t)$ einer hyperbolischen Funktion folgt, die der Michaelis-Menten-Kinetik der Proteinkatalyse analog ist:

$$E(t) = E_{\max} \cdot t / (K_M + t)$$

wobei E_{\max} die akkumulierte Gesamtemission (analog der maximalen Reaktionsgeschwindigkeit), K_M das Zeitintervall, in dem die Hälfte der Gesamtemission emittiert ist, und t die Zeit seit der Ausbringung (analog zur Substratkonzentration) ist.

Die Analyse der Abhängigkeiten von E_{\max} und K_M führte zur Einführung zweier unab-

Dr. Matthias Plöchl ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik Bornim e.V. (ATB), Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe, Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. J. Zanke); e-mail: mploechl@atb-potsdam.de

Schlüsselwörter

Modell, Ammoniakemission, Gülleausbringung, Emissionsminderung

Keywords

Model, ammonia emission, slurry application, emission reduction

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 02513 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/local/fliteratur.htm> abrufbar.

Tab. 1: Eingabeparameter der neuronalen Netze mit ihren Extrem- und Medianwerten

Table 1: Input parameters of the neural networks with their extremes and median values

Parameter	Minimum	Maximum	Median
Trockensubstanz [% Gesamtsubstanz]	07	22	5.8
pH-Wert	6.4	8.6	7.7
Ammoniumkonzentration [kg N/m ³]	1.1	6.1	2.7
Ammonium ausgebracht [g N/m ²]	2.8	33.3	8.9
Pflanzenbestand	1=Boden 2=Grasland	3=Triebe 4=Stoppel	2 ¹
Minimum Lufttemperatur [°C]			
1.Tag / 2. Tag	-4.3 ² / -2.4 ²	15.5 / 13.9	5.1 / 10.8
Maximum Lufttemperatur [°C]			
1.Tag / 2. Tag	2.5 / -0.2 ²	21.9 / 25.9	5.4 / 11.5
Niederschlag [mm]			
1.Tag / 2. Tag	0 / 0	10 / 20	0 ³ / 0 ³
Windgeschwindigkeit [m/s]			
1.Tag / 2. Tag	0.5 / 0.5	6.3 / 6.3	4.3 / 4.3
Strahlung, Tagessumme [Wh/m ²]			
1.Tag / 2. Tag	592 / 549	6395 / 5782	2001 / 2073

1 Pflanzenbestand ist eher eine Klassifizierung als ein Kontinuum. Für die Analyse wurde diesen Klassen eine Zahl zugewiesen, wobei Grasland (2) die weitaus häufigste Klasse ist.

2 In vielen Ländern ist eine Gülleausbringung bei unter 0 °C verboten, aber in den zitierten Experimenten wurde dies aus wissenschaftlichen Gründen doch getan.

3 Die meisten Niederschlagswerte liegen bei 0 mm, einige Werte sind bei 1-2 mm und die Werte von 10 oder 20 mm sind die extreme Ausnahme.

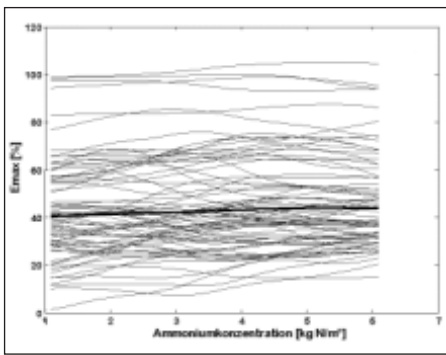


Bild 1: Beispiel einer insignifikanten Sensitivität

Fig. 1: Example for insignificant sensitivity

hängiger neuronaler Netze. Die Inputvektoren der beiden Netze sind gleich und bestehen aus 15 Parametern (Tab. 1). Sie werden einer Principal Component Analysis (PCA) unterzogen. Diese reduziert die 15 Inputvektoren zu 13 unabhängigen Variablen.

Sensitivität der neuronalen Netze

Die neuronalen Netze können zur Untersuchung der Sensitivität der Ammoniakemission gegenüber einzelnen treibenden Variablen genutzt werden.

In den Bildern 1 bis 3 sind drei typische Ergebnisse gezeigt:

- Es kann kein klarer Trend erkannt werden. Der mittlere Verlauf der Kurven ist insignifikant zur treibenden Variable (Bild 1)
- Die meisten Simulationen haben einen klaren, aber wenig signifikanten Trend, entweder abnehmend oder zunehmend mit der treibenden Variablen. Der mittlere Verlauf aller Kurven variiert um weniger als 20% (Bild 2)
- Fast alle Simulationen zeigen denselben, signifikanten Trend. Der mittlere Verlauf aller Kurven variiert um mehr als 20% (Bild 3)

In Tabelle 2 sind die Trends der Sensitivität jedes Parameters aufgeführt, der Klassifizierung der Bilder 1 bis 3 folgend.

Diskussion

Die technischen Optionen zur Ammoniakemissionsreduktion bei der Gülleausbringung sind der Einsatz anderer Ausbringungsgeräte (Schleppschlauch, -schuh, Gülledrill/injektion) sowie zusätzliche Maßnahmen wie Unterpflügen oder Eineggen.

Zwar kann mit Einsatz der Injektionstechnik in den meisten Fällen eine Emissionsreduktion von mehr als 90% erreicht werden [11, 12, 13], dies ist aber mit einem erheblichen Kosten- und Kraftaufwand verbunden, der mit zusätzlichen energieumsetzungsbedingten Emissionen klimarelevanter Gase verknüpft ist, die bei einer Gesamtbetrachtung, im Sinne eines Life-cycle-assessment, den Vorteil der Gülleinjektion deutlich verkleinern. Das Gleiche gilt auch für die Ausbringungstechniken Gülleschleppschlauch und Gülleschleppschuh, deren Reduktions-

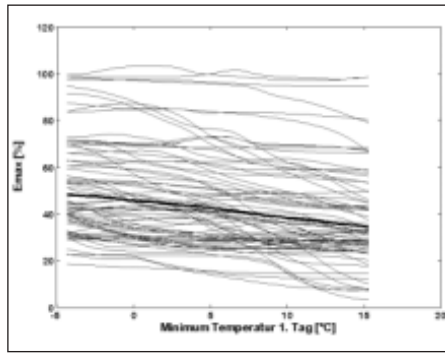


Bild 2: Beispiel eines leicht abnehmenden Trends

Fig. 2: Example for slightly decreasing trend

potenzial mit 40 bis 70% [13, 14] deutlich geringer ausfällt.

Mit der zusätzlichen Maßnahme, die Gülle zügig nach der Ausbringung in den Boden einzuarbeiten, kann unabhängig von der Technik eine Emissionsreduktion von 80 bis 90% erreicht werden [15, 16], es kann also das kraftsparendere Verfahren (Eggen) ohne Verluste im Reduktionspotenzial eingesetzt werden. Entscheidend für die Wirkung dieser Maßnahme ist die Zeit zwischen den Arbeitsschritten und somit wie viel Ammoniak bis zum Zeitpunkt der Einarbeitung bereits emittieren konnte. [16] sind in ihrem Modell von einem konstanten $K_M = 5.4$ h ausgegangen, die hier dargestellte Analyse zeigt aber, dass Werte zwischen 1 h und 118 h möglich sind und dies in Abhängigkeit von güllespezifischen Parametern (Trockensubstanz, pH-Wert, Ammoniumkonzentration), externen Parametern (Temperatur, Niederschlag, Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit), der ausgebrachten Güllemenge und Beschaffenheit der Ausbringungsfläche (Boden, Grasland, Stoppel oder Bewuchs).

Wird die hier vorgestellte Analyse in Form eines Entscheidungsunterstützungsmodells genutzt, lassen sich zwei Ziele damit verfolgen:

Tab. 2: Trends der Sensitivität der neuronalen Netze auf einzelne Parameter

Table 2: Trends in sensitivity of neural networks to individual parameters

Parameter	K_M	E_{max}
Trockensubstanz	-	++
pH-Wert	--	+
Ammoniumkonzentration	-	+
Ammonium ausgebracht	++	--
Pflanzenbestand	4,3,2,1 ¹	±
Minimum Temperatur		
1. Tag / 2. Tag	± / -	- / -
Maximum Temperatur		
1. Tag / 2. Tag	+ / --	+ / +
Niederschlag		
1. Tag / 2. Tag	+ / +	-- / --
Windgeschwindigkeit		
1. Tag / 2. Tag	+ / +	+ / +
Strahlung Tagessumme		
1. Tag / 2. Tag	± / -	++ / -

- leicht abfallend; -- signifikant abfallend; ± insignifikant; + leicht zunehmend; ++ signifikant zunehmend
1 Reihenfolge zunehmenden K_M

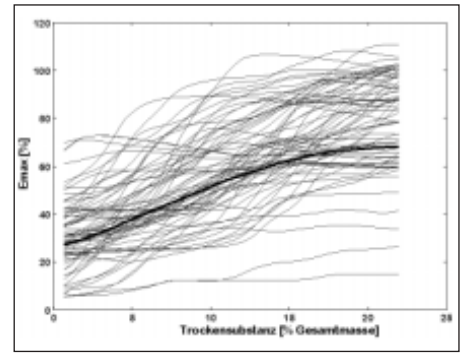


Bild 3: Beispiel eines signifikant zunehmenden Trends

Fig. 3: Example of significant increasing trend

- Es können die Bedingungen ausgewählt werden, unter denen die kleinstmögliche Gesamtemission zu erwarten ist und dies ohne Einarbeitung der Gülle in den Boden.
- Es können die Bedingungen ausgewählt werden, unter denen das größte K_M zu erwarten ist und somit möglichst viel Zeit für eine Einarbeitung der ausgebrachten Gülle zur Verfügung steht.

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse (Tab. 2) können jedoch bereits als eine grobe Orientierung dienen, um zu entscheiden, mit welchen einfachen Kombinationen von Bedingungsänderungen die intendierten Effekte erreicht werden können. Wenn also wenig Einfluss auf den Ausbringungstermin und somit die Witterung besteht, kann zumindest im Bereich der güllespezifischen Parameter etwas erreicht werden:

- Durch Verminderung des Trockensubstanzgehaltes reduzieren sich die Gesamtemission und K_M wodurch die Zeit zur Einarbeitung zunimmt.
- Ähnliche Effekte werden durch Verminderung des pH-Werts, also Ansäuerung der Gülle, erreicht. Wobei hier der Effekt auf die Dynamik größer ist als der auf die Gesamtemission.

Die deutlichsten Effekte auf Gesamtemission und Dynamik hat sicherlich der Niederschlag, wobei hier auch die sinnvolle Kombination von Reduktion der Gesamtemission und Verlangsamung der Emissionsdynamik zu beobachten ist. In den anderen Fällen, mit Ausnahme der Maximaltemperatur des zweiten Tages, lässt sich durch die Berücksichtigung des entsprechenden Parameters nur eine der beiden Größen sinnvoll beeinflussen. Nimmt man die Reduktion der Gesamtemission als Ziel, sollte man zumindest beachten, dass der Himmel bewölkt ist und es tagsüber nicht allzu warm werden sollte, so dass möglichst geringe Windgeschwindigkeiten vorherrschen. Genau umgekehrt verhält es sich, wenn die Dynamik der Emission im Blickwinkel steht. Neben der Windgeschwindigkeit sind hier noch positive Einflüsse durch hohe Temperaturen in der zweiten Nacht und des zweiten Tages zu erwarten, wobei dies mit einer hohen Sonneneinstrahlung verknüpft ist.