

Probleme einer umweltverträglichen Nährstoffversorgung am Beispiel der Stickstoffdüngung

346

- Ammoniak-Emission

Prof. Dr. N. Claassen, Institut für Pflanzenernährung

Einleitung

In den letzten Jahrzehnten ist mit der Intensivierung der Landwirtschaft auch die N-Düngung stark erhöht worden. Diese erhöhte N-Düngung ist oft über den N-Bedarf der Pflanzen hinausgegangen, je nach Betriebssystem in unterschiedlichem Ausmaß (Tab. 1).

Tabelle 1. Stickstoff-Bilanzen für verschiedene Betriebssysteme - kg N/ha landw. genutzte Fläche - (Bach, 1987)

Bilanzgröße	- Betriebssystem -		
	Marktfrucht	Futterbau	Veredelung
N-Zufuhr			
• Mineraldünger	135	100	114
• wirtschaftseig. Dünger	-	115	192
• Niederschlag	20	20	20
Summe Zufuhr	155	235	326
N-Entzug			
• Erntesubstanz	114	135	119
N-Überschuß	+41	+100	+207

Die Ergebnisse zeigen, daß mit zunehmendem Einsatz von wirtschaftseigenen Düngern der N-Überschuß nahezu in gleicher Größenordnung von 40 auf 200 kg/ha zunimmt. Dieser N-Überschuß kann drei Wege gehen: 1) im Boden als organischer N verbleiben, was langfristig aber nur begrenzt möglich ist, 2) durch Auswaschung im wesentlichen als Nitrat, in tiefere Schichten und zuletzt in das Grundwasser eingetragen werden und 3) gasförmig in die Atmosphäre abgegeben werden. Letzteres entweder

nach Denitrifikation von Nitrat zu N_2 oder NO_x oder als Ammoniak (NH_3) aus NH_4 -haltigen Düngemitteln. Die NH_3 -Emission erfolgt größtenteils bei der Ausbringung dieser Düngemittel und dies verstärkt bei den wirtschaftseigenen Düngern Fest- oder Flüssigmist.

Isermann (1990) errechnet für die BRD bei einem mittleren N-Einsatz von 218 kg/ha einen Überschuß von 167 kg/ha, der zu 26 %, also 44 kg/ha als NH_3 emittiert wird. Die NH_3 -Emission bedeutet nicht nur einen ökonomischen Verlust für den Landwirt, sondern stellt gleichzeitig eine Belastung der Umwelt dar, insbesondere für Naturstandorte und Waldökosysteme, wo es zu bedenklich hohen N-Einträgen kommen kann.

Im Folgenden werde ich mich auf die NH_3 -Verluste bei der Ausbringung von Flüssigmist konzentrieren, die Ursachen aufzeigen und einen Schätzrahmen vorstellen, mit dem die NH_3 -Verluste abgeschätzt werden können.

Ausmaß der NH_3 -Verluste bei Flüssigmistausbringung

Die NH_3 -Emission von einer begüllten Fläche kann man aus dem Produkt von NH_3 -Konzentration der Luft und Windgeschwindigkeit ermitteln. Hierzu wird im Zentrum der Fläche ein Mast aufgestellt an dem in verschiedenen Höhen die NH_3 -Konzentration der Luft und die Windgeschwindigkeit gemessen werden. So ist es möglich, den zeitlichen Ablauf der NH_3 -Emission zu verfolgen wie in Abb. 1 und 2 dargestellt.

Abbildung 1A zeigt, daß die NH_3 -Freisetzungsrate (kg N/ha*h) anfänglich sehr hoch ist. In der ersten Stunde verflüchtigen sich bereits 12 kg von den insgesamt applizierten 72 kg NH_4 -N. Danach geht die NH_3 -Verflüchtigung rasch zurück. Nach 5 Stunden erfolgte eine Einarbeitung der Gülle, womit die NH_3 -Emission unterbunden wurde. Bis zu diesem Zeitpunkt waren aber bereits nahezu 50 % des applizierten NH_4 -N verloren gegangen (Abb. 1B).

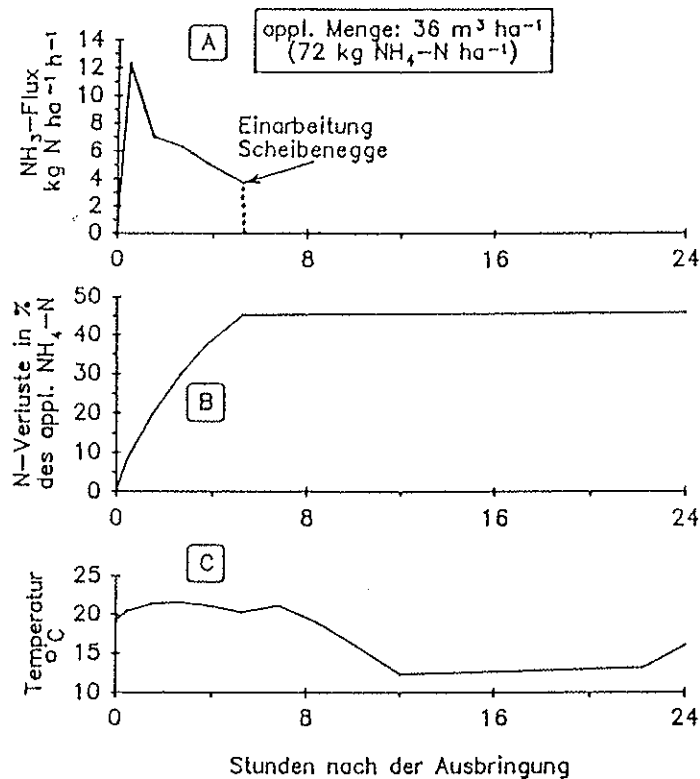


Abbildung 1A: NH_3 -Fluxrate ($\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) nach Ausbringung von Rinderflüssigmist auf Sommergerstenstoppel (Stroh abgefahren); 24.8.-28.8.1988 (Versuch I).
1B: Kumulative NH_3 -Verlustkurve (in Prozent des ausgebrachten $\text{NH}_4\text{-N}$).
1C: Temperaturverlauf in °C.

Auch Abb. 2A zeigt, daß die höchsten Verlustraten am Anfang auftreten. Der erneute Anstieg nach vier Stunden ist wahrscheinlich auf einen Temperaturanstieg zurückzuführen. Durch ein Regenereignis nach neun Stunden kommt die NH_3 -Emission zum Erliegen, aber bis zu diesem Zeitpunkt waren bereits 60 % des applizierten $\text{NH}_4\text{-N}$ verloren gegangen. Wenn keine Einarbeitung erfolgt oder kein Regen fällt, kann sich die NH_3 -Emission über Tage hinziehen, insbesondere bei niedrigen Temperaturen, bei denen der absolute NH_3 -Flux zwar gering ist, dann aber kumulativ auch hohe Werte erreichen kann (Horlacher und Marschner, 1990).

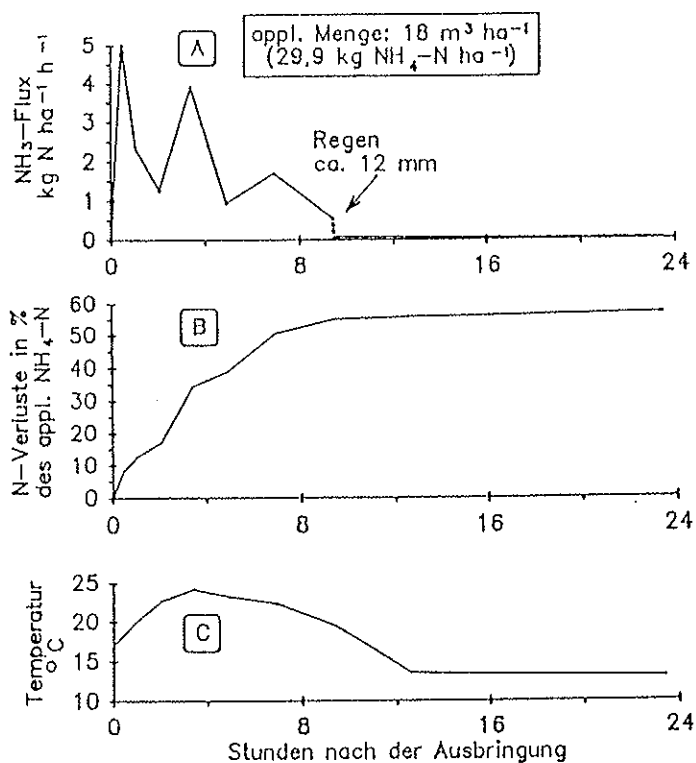


Abbildung 2A: NH_3 -Fluxrate ($\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) nach Ausbringung von Rinderflüssigmist auf Sommergerste (Höhe ca. 10 cm); 9.5.-10.5.1989 (Versuch 2).

2B: Kumulative NH_3 -Verlustkurve (in Prozent des ausgebrachten $\text{NH}_4\text{-N}$).

2C: Temperaturverlauf in $^{\circ}\text{C}$.

Den Einfluß der Temperatur auf die NH_3 -Emission von einer Rinder- und einer Schweinegülle im Modellversuch zeigt Abb. 3. Daraus geht hervor, daß mit steigender Temperatur die NH_3 -Emission stark zunimmt. Die wesentlich geringeren NH_3 -Verluste der Schweinegülle sind wahrscheinlich auf deren besseres Fließverhalten zurückzuführen. Der geringere Trockensubstanzgehalt erhöht die Fließfähigkeit und Schweinegülle hat gegenüber Rindergülle ohnehin ein besseres Fließverhalten (s. Tab. 3).

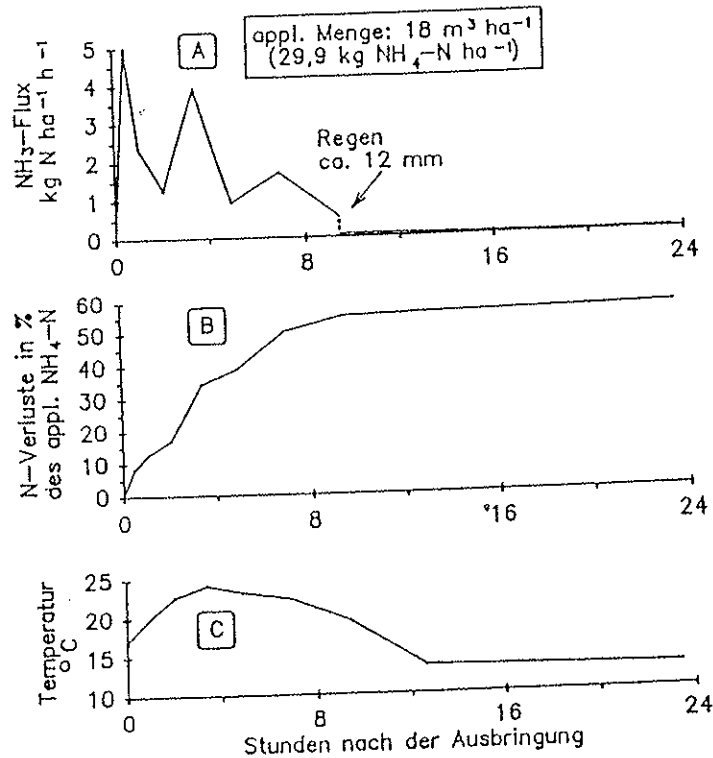


Abbildung 2A: NH_3 -Fluxrate ($\text{kg ha}^{-1} \text{h}^{-1}$) nach Ausbringung von Rinderflüssigmist auf Sommergerste (Höhe ca. 10 cm); 9.5.-10.5.1989 (Versuch 2).

2B: Kumulative NH_3 -Verlustkurve (in Prozent des ausgebrachten $\text{NH}_4\text{-N}$).

2C: Temperaturverlauf in $^{\circ}\text{C}$.

Den Einfluß der Temperatur auf die NH_3 -Emission von einer Rinder- und einer Schweinegülle im Modellversuch zeigt Abb. 3. Daraus geht hervor, daß mit steigender Temperatur die NH_3 -Emission stark zunimmt. Die wesentlich geringeren NH_3 -Verluste der Schweinegülle sind wahrscheinlich auf deren besseres Fließverhalten zurückzuführen. Der geringere Trockensubstanzgehalt erhöht die Fließfähigkeit und Schweinegülle hat gegenüber Rindergülle ohnehin ein besseres Fließverhalten (s. Tab. 3).

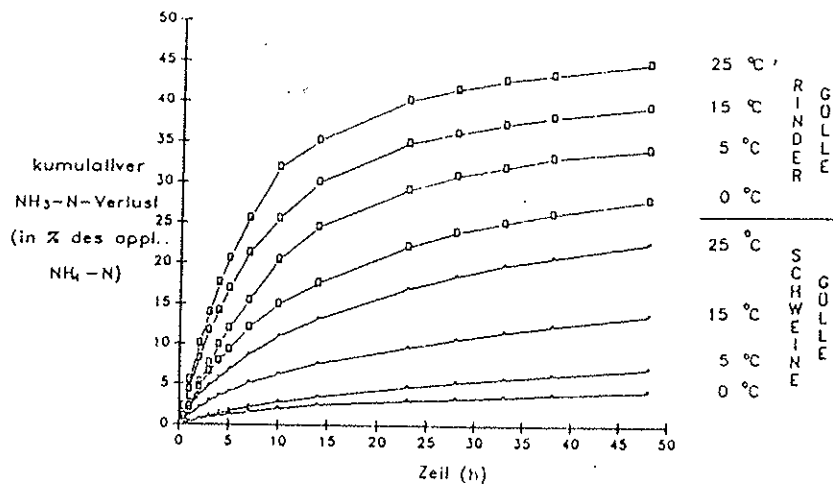


Abbildung 3: Einfluß der Temperatur auf die NH_3 -Verluste von Rindergülle (pH 8,1, TS. 8%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 2,2 kg/m^3) und Schweinegülle (pH 7,5, TS. 3,9%, $\text{NH}_4\text{-N}$ 3,5 kg/m^3). Die applizierte Güllemenge entsprach 35 m^3/ha . Lehmboden, pH (CaCl_2) 7,5. Döhler, 1990.

In Tabelle 2 sind Ergebnisse aus 6 Untersuchungen zusammengestellt, die unter sehr unterschiedlichen Bedingungen durchgeführt wurden. Daraus wird deutlich, daß die NH_3 -Verluste bei Einarbeitung sehr gering, aber bei ungünstigen Bedingungen nahezu 100%ig sind.

Tabelle 2. Ammoniak-Verluste nach Gülleausbringung im Freiland.
RG = Rindergülle, SG = Schweingülle (aus Aldag, 1989)

Variante Termin	NH ₃ -Verluste nach 48 h (in % des appliz.NH ₄ -N)	Temperatur - Wetter Boden
RG, Strohstoppel mit Strohhäcksel. September 86	95 (nach 24 h)	10-20°C, heiter bis wolkenlos, Stroh- decke behindert Gülleinfiltration
SG, Strohstoppel und Strohhäcksel September 87	57	12-25°C, heiter bis wolkig wechselnd, starker Wind, Stroh- decke behindert Gülleinfiltration
RG, gepflügter Boden April 87	23 (nach 36 h)	3-16°C, wechselnd wolkig, feuchter, fast nasser Boden
RG, gepflügter Boden, mit Egge eingearbeitet April 87	6	7-14°C (1.Tag) 0-20°C (2.Tag) bedeckt, am 2. Tag heiter, feuchter, fast nasser Boden
SG (7.4 % TS) Grünland September 87	52	11-21°C, bedeckt, Re- gen 10 h nach der Aus- bringung Boden feucht, Grünlandvegetation be- hindert Gülleinfiltra- tion.
RG (6.3 % TS) Grünland November 87	33	-3 bis +5°C, bedeckt, nachts klar und kalt, starker Wind, Boden wassergesättigt

Ursachen der NH₃-Verluste

pH-Wert der Gülle. Der N-Gehalt von Gülle (2-15 kg/m³) besteht im Mittel zu 50 % aus NH₄-N (Schwankungsbreite 30 bis 90 %) (Vetter und Steffens, 1986). Dieser NH₄-N steht im Gleichgewicht mit NH₃-N, der jeweilige Anteil ist pH-abhängig (Abb. 4) und verschiebt sich zum NH₃ mit steigender Temperatur.

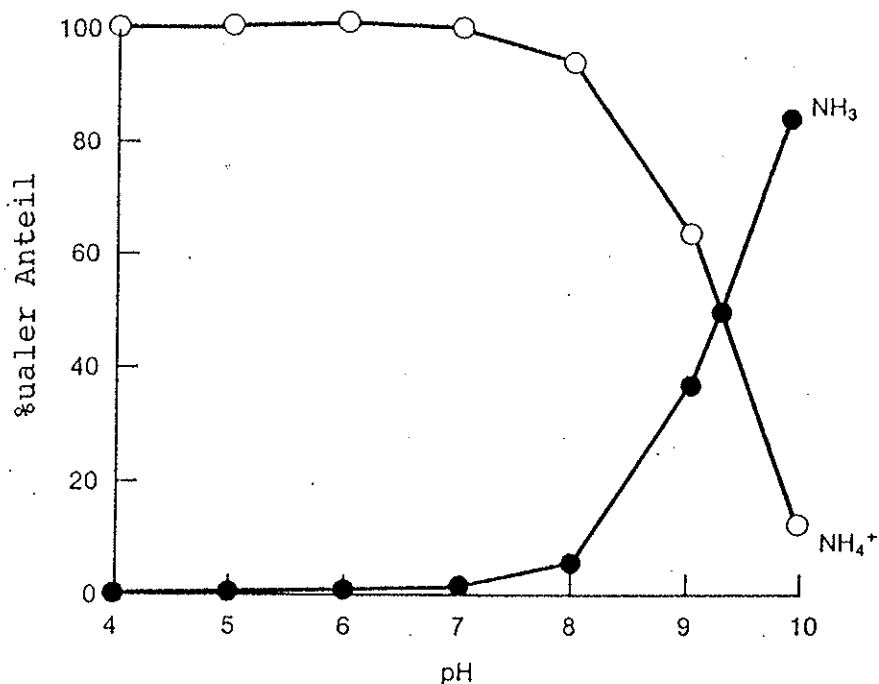


Abbildung 4: Der Einfluß des pH-Wertes auf die Verteilung von Ammoniak zu Ammonium in der Lösung (aus Aldag, 1989).

Oberhalb pH 7 aber insbesondere oberhalb pH 8 steigt der NH_3 -Anteil stark an und damit die Fraktion, die gasförmig entweichen kann. Der pH-Wert der Gülle liegt meist zwischen 7 und 8, kann aber bei der Ausbringung durch Freisetzung des angereicherten CO_2 deutlich ansteigen. Aldag (1989) berichtet von einem Anstieg des pH-Wertes von 7,5 auf 8,2 bis 8,5. Durch die Verdunstung des Wassers steigt die NH_3 -Konzentration weiter an bis die Löslichkeit überschritten ist und das NH_3 ausgast. Hier spielt die Temperatur eine wichtige Rolle.

Infiltration in den Boden. Der Kontakt der Gülle mit dem Boden ist maßgeblich für die Höhe der NH_3 -Verluste. Sobald die Gülle in engen Kontakt mit den Bodenteilchen tritt, sei es durch Einarbeitung oder Infiltration, wird der NH_4 -N gebunden und eine NH_3 -Emission nahezu ausgeschlossen wie Abb. 5 veranschaulicht.

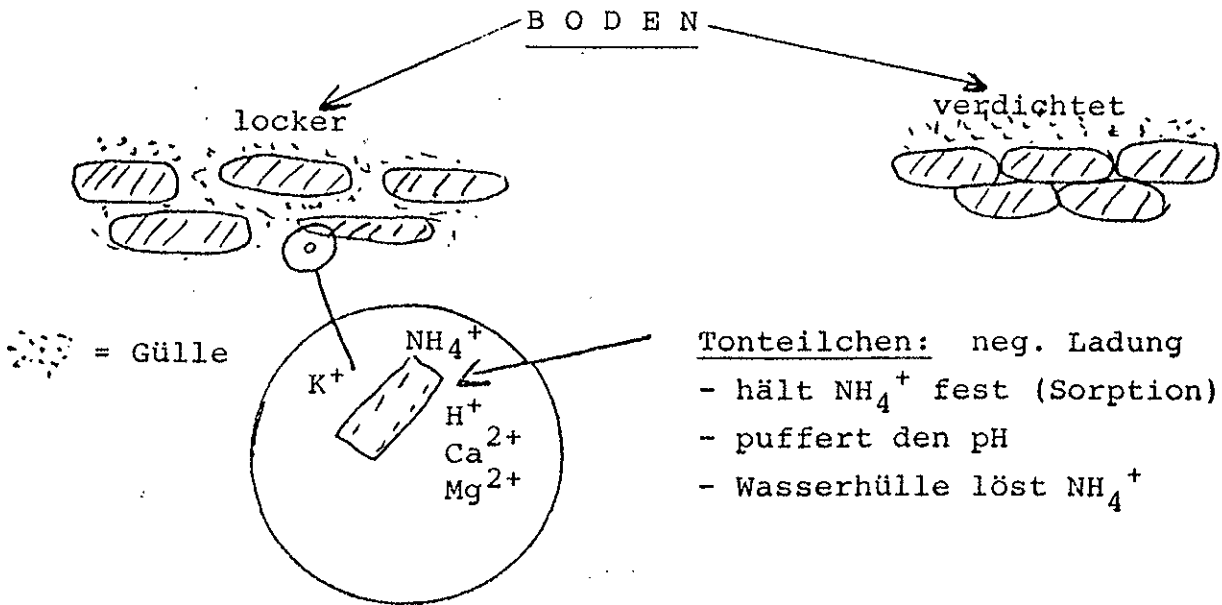


Abbildung 5: Infiltration von Gülle in den Boden.

Die Infiltration ist abhängig von den Fließeigenschaften der Gülle und der Beschaffenheit des Bodens (Verdichtung, Rauigkeit, sowie Bodenbedeckung durch Pflanzen oder Ernterückstände).

Die Fließeigenschaften sind sehr stark von dem Trockensubstanzgehalt und der Tierart abhängig (Tab. 3).

Tabelle 3. Fließgrenzen bei unterschiedlichen Rinder- und Schweinegülle sowie Hühnerkot (aus Vetter und Steffens, 1986)

Tierart	Trockensubstanzgehalt %	Fließgrenze kp/m ²
Rinder	13,8	6,40
	8,2	0,40
	4,3	0,03
Schweine	17,4	6,80
	10,7	0,14
	7,4	0,02
Hühner	18,5	7,60
	15,6	2,80
	13,8	1,30

Ein geringer Trockensubstanzgehalt führt zu besseren Fließei-
genschaften und damit zu einer höheren Infiltration. So können
die NH_3 -Verluste durch Beimischung von Wasser effektiv ver-
ringert werden (Bendert et al., 1988).

Rindergülle hat bei gleichem Trockensubstanzgehalt höhere
Fließgrenzen als Schweine- oder Hühnergülle, was zu einer
geringeren Infiltration und, wie bereits gezeigt, zu deutlich
höheren NH_3 -Verlusten führt.

Tabelle 4 faßt die Größen und Eigenschaften zusammen, die die
Infiltration beeinflussen. Es sei besonders darauf hingewiesen,
daß ein Pflanzenbestand oder Ernterückstände den Kontakt der
Gülle mit der Bodenoberfläche behindern und dadurch die Infil-
tration stark einschränkt. Bei in Reihen angebauten Kulturen
kann man dieses Problem oder Behinderung umgehen

Tabelle 4. Schätzskala für die Infiltration von Flüssigmist

Infiltration	Beispiel (Ausbringung von Flüssigmist)
gering	auf Getreidestoppel (trockener, verdichteter Boden und/oder Strohhäcksel); Flüssigmist mit sehr hohem Trockensubstanzge- halt; auf stark verdichteten, wassergesättigtem Boden.
mittel	nicht verdichteter Boden und Flüssigmist mit mittleren Trockensubstanzgehalt
hoch	bearbeiteter Boden mit viel Grobporen, z.B. gepflügt; lockerer Boden und Flüssigmist mit geringem Trockensubstanzgehalt

indem Gülle mit Schleppschläuchen ausgebracht wird. Die effektivste Art, die Gülle mit den Bodenteilchen in Kontakt zu bringen, ist die Einarbeitung oder die Anwendung des Gülledrills.

Schätzrahmen zur Beurteilung der NH_3 -Verluste

Aus den oben aufgeführten im allgemeinen bekannten Zusammenhängen und einer größeren Anzahl von Flüssigmist-Versuchen im Feld haben Horlacher und Marschner (1990) einen Schätzrahmen entwickelt, mit dem die Ammoniakverluste nach Ausbringung von Rinderflüssigmist geschätzt werden können

In diesen Schätzrahmen (Tab.5) gehen die wichtigsten Faktoren: Infiltration, Temperatur, Zeit, Niederschlag und Einarbeitung ein. Er wurde auf lehmigen Böden mit betriebsüblichen Aufwandmengen von 10-50 m^3/ha entwickelt und geht von folgenden Annahmen aus:

1. Jedem Bereich der Tagesdurchschnittstemperaturen nach der Ausbringung wird in Abhängigkeit von der Infiltrationsrate ein maximal möglicher Gesamtverlust an NH_3 zugeordnet.
2. Der Verlauf der NH_3 -Gesamtverluste als Funktion der Zeit ist für jeden Temperaturbereich unterschiedlich, jedoch unabhängig von der Infiltrationsrate.
3. Eventuell auftretende Niederschläge nach der Ausbringung werden mit einem von der Höhe der Niederschläge und dem Temperaturniveau abhängigen Korrekturfaktor bewertet. Der Korrekturfaktor bezieht sich nur auf den bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht freigesetzten NH_4 -Stickstoff.
4. Eine Einarbeitung wird mit der Beendigung der NH_3 -Freisetzung gleichgesetzt und es erfolgt keine weitere Bewertung. Dies gilt jedoch nur für solche Maßnahmen, die einen ausreichenden Einarbeitungserfolg gewährleisten.

Tabelle 5 Schätzrahmen für die NH₃-Verluste bei Rinderflüssigmistausbringung und Beispiele zur Berechnung der Verluste.

Potentieller Gesamtverlust in %			
°C	Infiltration		
	gering	mittel	hoch
0- 5	30	22	15
5-10	45	35	25
10-15	70	55	40
15-20	90	75	55

°C	Zeitfaktor											
	1h	2h	4h	8h	12h	1d	2d	3d	4d	5d	8d	12d
0- 5	.04	.07	.10	.15	.19	.25	.35	.45	.54	.60	.80	1.00
5-10	.06	.10	.14	.20	.25	.35	.50	.65	.73	.85	1.00	
10-15	.15	.25	.35	.50	.60	.73	.83	.92	1.00			
15-20	.20	.30	.45	.65	.75	.85	.95	1.00				

°C	Regenfaktor			
	Niederschlag (mm)			
	0-2	2-5	5-10	>10
0- 5	.30	.15	.05	0
5-10	.40	.20	.10	0
10-15	.60	.40	.20	0
15-20	.80	.50	.30	0

Gesamtverlust

Beispiel 1: Ausbringung von Flüssigmist auf Getreidestoppel (Infiltration = gering),
 Durchschnittstemperatur nach Ausbringung 10-15 °C,
 Niederschlag ca. 12 h nach Ausbringung (4 mm)

potentieller Gesamtverlust: 70 %
 Verlust bis zum Beginn des Niederschlags : potent. Gesamtverlust * Zeitfaktor 70 * 0,6 = 42,0 %
 weiterer Verlust nach dem Regen (nach 12 h) : verbleibendes Verlustpotential * Regenfaktor 28 * 0,4 = 11,2 %
 * verbl. Verlustpotential = (pot. Gesamtverlust - Verlust bis zum Regen) 70 % - 42 % = 28 %

I 53,2 %

Der wahrscheinlich zu erwartende NH₃-Verlust in Prozent des ausgebrachten NH₄-N beträgt 53 %.

Beispiel 2: Ausbringung von Flüssigmist auf Getreidestoppel (Infiltration = gering),
 Durchschnittstemperatur nach Ausbringung 15-20 °C,
 Einarbeitung ca. 2 h nach Ausbringung (z.B. Scheibenegge)

potentieller Gesamtverlust: 90 %
 Verlust bis zum Beginn der Einarbeitung : potent. Gesamtverlust * Zeitfaktor 90 * 0,3 = 27,0 %
 nach Einarbeitung Verlust vernachlässigbar : 0

I 27,0 %

Der wahrscheinlich zu erwartende NH₃-Verlust in Prozent des ausgebrachten NH₄-N beträgt 27 %.

Der Schätzrahmen soll dazu dienen, die möglichen NH_3 -Verluste zu bewerten aber nicht mit dem Ziel, wenn diese sehr hoch sind, wie im Beispiel 1, die auszubringende Güllemenge zu erhöhen um damit eine vorgegebene N-Menge in den Boden zu bekommen. In solchen Situationen soll der Schätzrahmen eine Entscheidungshilfe liefern um erstens zu erkennen, daß die Bedingungen für eine Flüssigmistausbringung ungeeignet sind und zweitens mit welchen Maßnahmen die NH_3 -Verluste minimiert werden können.

Die vorgestellten Ergebnisse haben deutlich gemacht, daß die NH_3 -Verluste bei der Ausbringung von Flüssigmist ein Ausmaß erreichen können, das weder ökonomisch noch ökologisch vertretbar ist. Die Bedingungen, die zu solchen NH_3 -Verlusten führen, sind aber ausreichend bekannt, und vom Landwirt beeinflussbar, so daß die NH_3 -Emission auf ein vertretbares Maß erniedrigt werden kann.

Literaturverzeichnis

- Aldag, R. (1989): Stickstoffbilanz und -bewirtschaftung, - Ammoniakverluste nach der Gülleausbringung. In Stickstoff-Bilanz, Ein Baustein guter landwirtschaftlicher Praxis. Industrieverband Agrar e.V., Hrsg. Frankfurt (M).
- Bach, M. (1987): Die potentielle Nitrat-Belastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Göttinger Bodenkundl. Berichte 93
- Bendert, H., Döhler, H., Aldag, R. (1988): Ammoniak-Freisetzung aus mit Wasser verdünnter Rindergülle im Modellversuch. VDLUFA-Schriftenreihe 28, 1355-1364, Kongreßband
- Döhler, H. (1990): Ammoniakverluste nach der Flüssigmistausbringung - Erfassung und Minderungsmöglichkeiten. In Ammoniak in der Umwelt. Hrsg. KTBL, Darmstadt-Kranichstein
- Horlacher, D., Marschner, H. (1990). Schätzrahmen zur Beurteilung von Ammoniakverlusten nach Ausbringung von Rinder-

flüssigmist. Z. Pflanzenernähr.Bodenk. 153, 107-115

Isermann, K. (1990): Ammoniakemissionen der Landwirtschaft als Bestandteil ihrer Stoffbilanz und Lösungsansätze zur Minderung. In Ammoniak in der Umwelt. Hrsg.: KTBL, Darmstadt-Kranichstein

Vetter, H., Steffens, G. (1986): Wirtschaftseigene Düngung: umweltschonend-bodenpflegend-wirtschaftlich. DLG-Verlag, Frankfurt (M), München