

# Ammoniakverluste nach der Anwendung von Mist

von Harald Menzi, Martin Keller, Peter Katz, Matthias Fahrni, Albrecht Neftel und Rainer Frick

**Ein Viertel der von schweizerischen Nutztieren ausgeschiedenen Nährstoffe wird als Mist gesammelt und verwertet. Über die Ammoniakverluste bei der Mistanwendung lagen bisher kaum zuverlässige Angaben vor. In unserem Versuchsprogramm wurden deshalb sowohl in Feld- wie Windtunnelversuchen Messungen nach der Anwendung von Mist durchgeführt. Die Versuche zeigen, daß die Verluste bei Mist hauptsächlich durch die ausgebrachte Ammoniummenge bestimmt werden.**

Überall wo tierische Exkreme mit der Luft in Kontakt kommen, entweicht Ammoniak. Diese Ammoniakverluste sind ein bedeutender Stickstoffverlust für die Landwirtschaft, erschweren wegen ihres sehr unterschiedlichen Ausmaßes die Düngungsplanung und belasten die Umwelt. Das Ausmaß der Verluste voraussagen und gezielt verringern zu können, liegt deshalb im Interesse der Landwirtschaft. Bisher war dies für Mist besonders schwierig, da noch kaum entsprechende Versuche durchgeführt wurden. In einem gemeinsamen Projekt verschiedener Forschungsanstalten und der ETH-Zürich versuchten wir diese Lücken zu schließen. Hier die Ergebnisse der Versuche im Zusammenhang mit der Mistanwendung.

## Durchgeführte Untersuchungen

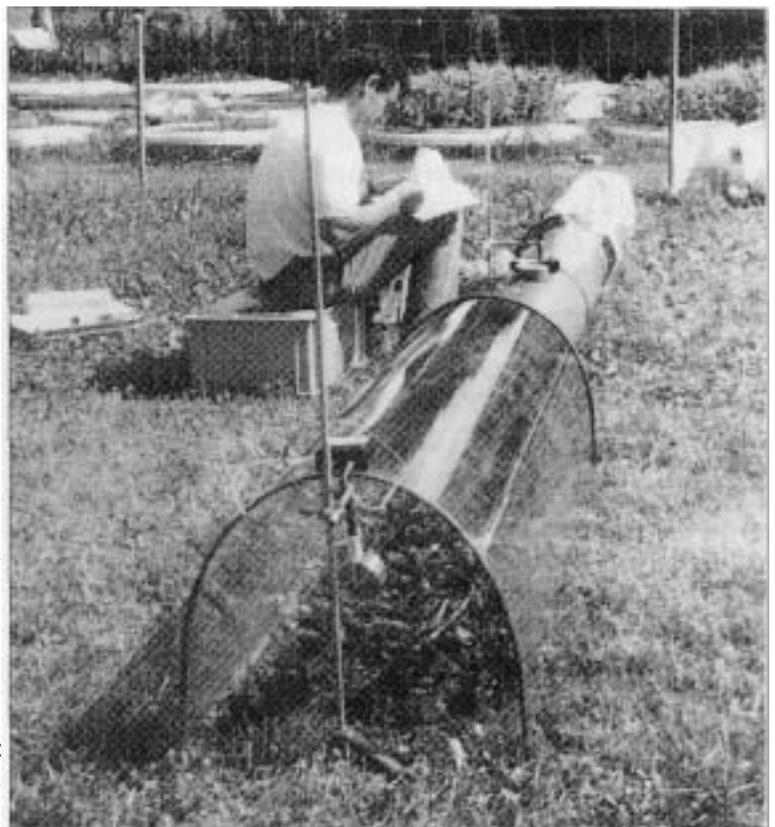
**Feldversuche:** In Feldversuchen wurde Gülle oder Mist auf kreisförmige Flächen mit einem Durchmesser vom 40 m angebracht. Nach der ZINST-Methode von Wilson et al. (1982) und Wilson und Shum

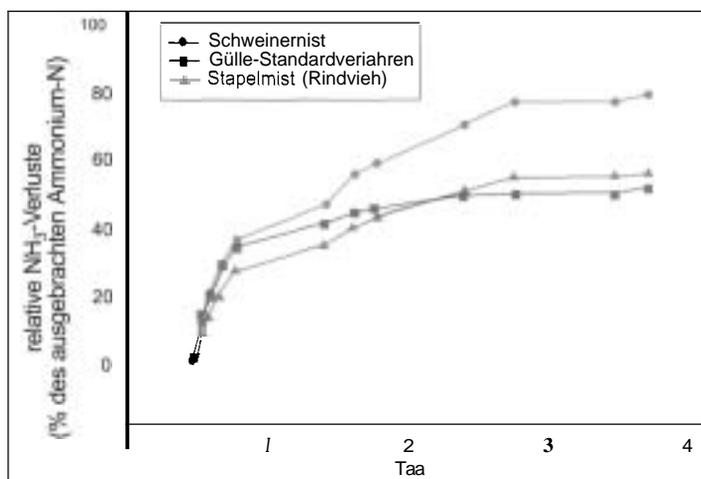
(1992) maßen wir im Zentrum dieser Flächen auf einer bestimmten Höhe über dem Boden kontinuierlich die Ammoniakkonzentration und die Windgeschwindigkeit (Katz 1996). Daraus konnten die Ammoniakverluste berechnet werden. In jedem Versuch verglichen wir drei Verfahren. Die Messungen dauerten zwei bis vier Tage. Danach waren die Emissionen meist so gering, daß sie kaum mehr bestimmt werden konnten.

Um die bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen durchgeführten Versuche besser vergleichen zu können, gab es ein Standardverfahren mit Ca. 30 m<sup>3</sup>/ha' Rindvieh-Vollgülle aus dem gleichen Stall (Ca. 1 : 1 verdünnt [Teile Wasser : Teile Gülle] ), die breitflächig ausge-

bracht wurde (Prallteller). Insgesamt wurden vierzehn Mistverfahren untersucht; elf davon auf Grünland (Kunstpflanze), zwei auf Weizenstopfeln und eines auf Maisstopfeln. Variiert wurde hauptsächlich die Art beziehungsweise die Zusammensetzung des Mistes. In sieben Verfahren wurde verrotteter Stapelmist von Milchviehbetrieben eingesetzt. Die weiteren Verfahren umfaßten frischen und besonders stark verrotteten Stapelmist, locker gelagerten Mist von einem Kettenentmistungssystem, Schweinemist (Offenfrontstall) und zwei verschiedene Geflügelmist. In einem Versuch untersuchten wir die Ver-

*Abb. 1. Windtunnelanlage zur Messung der Ammoniakverluste nach der Hofdüngereanwendung*





**Abb. 2. Kumulierte Ammoniakverluste in % des ausgebrachten Ammoniumstickstoffes in einem Versuch im November 1993 (Die Grafiken 2-7 sind nachgezeichnet)**

luste bei drei Anwendungsmengen (15, 35 und 55 t/ha).

**Windtunnelversuche:** Die Bedeutung einzelner Variablen wie Herkunft und Menge des eingesetzten Mistes untersuchten wir mittels Windtunnels, vergleichbar mit jenen von Lockyer (1984; Abb. 1). Die Hofdünger wurden dabei auf einer Fläche von 1 m<sup>2</sup> ausgebracht. Danach deckten wir diese Fläche mit einer gewölbten Polycarbonatplatte ab und sogen mittels eines Ventilators Luft mit konstanter Geschwindigkeit darüber. Die Luftmenge und der Ammoniakgehalt dieser Luft wurde gemessen (Katz 1996; Keller 1995). Vorversuche zeigten, daß die Windgeschwindigkeit über der Mistfläche im Bereich von 1,1

bis 2,7 m/s die Verluste kaum beeinflusste (Keller 1995). Die weiteren Versuche wurden deshalb alle mit einer konstanten Windgeschwindigkeit von 1,9 m/s durchgeführt. Ein Vergleichsversuch mit sieben identischen Verfahren zeigte, daß die angewandte Methodik gut reproduzierbare Ergebnisse liefert (Verluste 4,34 ± 0,28 g N/m<sup>2</sup>; Standardabweichung). Insgesamt wurden sechs Windtunnelversuche mit Mist durchgeführt. In drei Versuchen wurde Rindviehmist unterschiedlicher Herkunft, das heißt mit unterschiedlichem Ammoniumgehalt verglichen (Anwendungsmenge 5 kg/m<sup>2</sup>, pro Versuch drei Verfahren mit je zwei Wiederholungen), in zwei Versuchen variierten wir die Anwendungsmenge (1, 3, 5, 7, 9 und 11 kg Mist pro m<sup>2</sup>) und in einem Versuch wurden zwei Geflügelmiste (gelagerter Hennenkot vom Kotbandsystem, Geflügelmist aus Pouletmast) mit Rindvieh-Stapelmist

verglichen. Die ersten fünf Versuche dauerten sechs Tage, der Versuch mit Geflügelmist 15 Tage. Pro Versuch standen sechs bis sieben Windtunnels zur Verfügung.

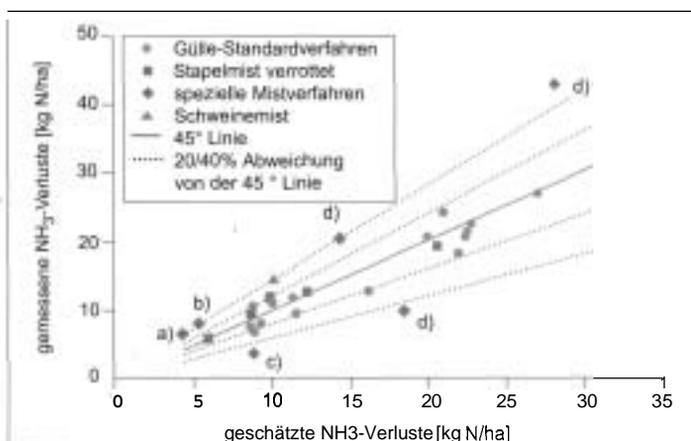
### Ammoniakverluste in Feldversuchen

Der Verlauf der Ammoniakverluste war bei Mist grundsätzlich ähnlich wie bei Gülle (Abb. 2). Etwa 50 % der Verluste verzeichneten wir in den ersten vier Stunden nach dem Ausbringen. Bereits am zweiten Tag waren die Verluste deutlich geringer.

Innerhalb der ersten zwei Tage nach dem Ausbringen (ca. 30 Stunden) gingen bei Mist durchschnittlich 59 % des ausgebrachten Ammonium/Ammoniakstickstoffes (TAN) beziehungsweise etwa 10 % des ausgebrachten Gesamtstickstoffes (N<sub>total</sub>) verloren. Im Vergleich dazu betragen die Verluste bei Rindvieh-Vollgülle durchschnittlich 52 % des ausgebrachten TAN und bei kotarmer Gülle 60 %. In fast allen Versuchen waren die Verluste am dritten und vierten Tag nur noch gering. Die Verluste während der ersten zwei Tage können deshalb (außer bei Geflügelmist) als gutes Maß für die Gesamtverluste angesehen werden.

Im Durchschnitt lagen die Verluste bei vergleichbarer Ausbringmenge mit Rindvieh- und Schweinemist um 15 % höher als jene des jeweiligen Gülle-Standardverfahrens. Bezogen auf die ausgebrachte

**Abb. 3. Vergleich der gemessenen Ammoniakverluste mit den anhand des Güllemodells von Katz (1996) geschätzten Verlusten. Spezielle Mistverfahren: a) frischer Mist, b) lockerer Mist von Kettenentmischung, c) stark verrotteter Mist, d) auf Stoppeln**



TAN-Menge lagen die durchschnittlichen Verluste bei Mist etwa 30 % höher als bei den Gülle-Standardverfahren.

Für den weiteren Vergleich der Ammoniakverluste von Gülle und Mist wurde das empirische Modell von Katz (1996) herangezogen. Es basiert auf den Ergebnissen der Gülle-Standardverfahren und schätzt die Ammoniakverluste in Abhängigkeit vom Ammoniumgehalt der Gülle (TAN, kg N/t), vom Sättigungsdefizit der Luft während der ersten zwei Tage nach der Gülleanwendung (SD, mbar) und von der ausgebrachten Güllemenge (M; t/ha bzw. m<sup>3</sup>/ha):

$$\text{Verluste (kg N/ha)} = (19,408 \text{ TAN} + 1,102 \text{ SD} - 9,506) * (0,021 \text{ M} + 0,358) \quad (1)$$

Das Sättigungsdefizit der Luft ist abhängig von der Temperatur (T, °C) und der relativen Luftfeuchtigkeit (rLF, ohne Einheit):

$$\text{SD} = (1 - \text{rLF}) * 6,112 * e^{((17,67 * T)/(243,5 + T))} \quad (2)$$

Dieses Modell ist gültig für folgende Bedingungen: Rindvieh-Vollgülle breitflächig ausgebracht auf Grünland; TAN 0,7 bis 5 kg N/t; Durchschnittstemperaturen 0 bis 25°C; relative Luftfeuchtigkeit 0,5 bis 0,9 (ohne Einheit); keine Niederschläge. Die Verluste in den meisten Mistverfahren wurden mit dem Güllemodell leicht unterschätzt. Für die fünf Verfahren mit verrottetem Stapelmist war die Übereinstimmung zwischen

gemessenen und geschätzten Werten allerdings gut (Abb. 3). Die Verfahren mit frischem Mist, Mist von Kettenentmistung und Schweinernist hatten deutlich höhere Verluste als geschätzt, das Verfahren mit stark verrottetem Mist geringere. Für die Verfahren auf Weizen- und Maisstoppeln lassen sich angesichts der großen Streuung und der kleinen Zahl von Beobachtungen keine direkten Schlüsse ziehen. Die im Vergleich zu den Gülle-Standardverfahren wesentlich größere Streuung der Mistverfahren kann mit den großen Unterschieden bei der Zusammensetzung des Mistes erklärt werden, welche auf die unterschiedlichen Stallsysteme, Entmistungsgewohnheiten, Einstreumengen und -gehalte und die unterschiedliche Lagerdauer zurückzuführen ist.

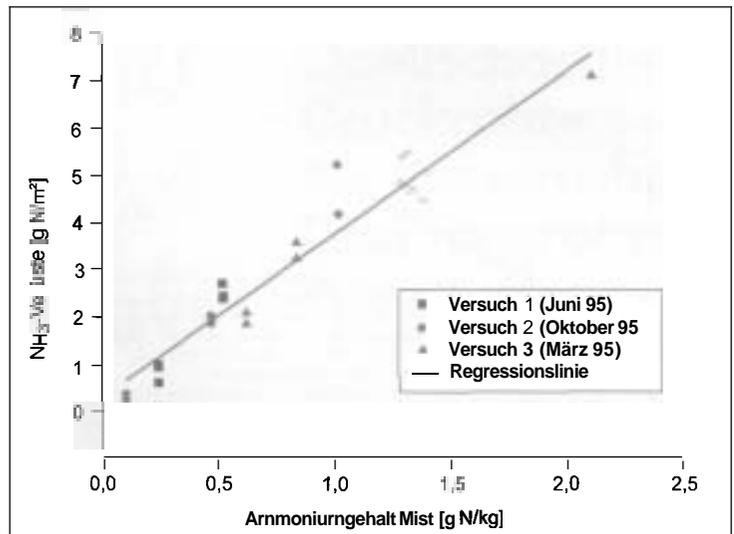


Abb. 4. Ammoniakverluste (g N/m<sup>2</sup>) nach dem Ausbringen von Mist (2,5 kg/m<sup>2</sup>) mit unterschiedlichem Ammoniumgehalt (TAN; g N/kg) in drei Windtunnelversuchen, Regression: Verluste = 3,72 TAN + 0,15; r<sup>2</sup> = 0,95

Regressionsanalysen zwischen Ammoniakverlusten und Witterungsgrößen zeigten, daß für Mist wie für Gülle das Sättigungsdefizit der Luft den größten Einfluß auf die Verluste hatte. Die Korrelation zwischen Verlusten und Witterungsgrößen war allerdings für Mist deutlich geringer als für Gülle.

### Windtunnelversuche

Trotz recht unterschiedlicher Witterungsbedingungen stimmten die Ergebnisse der drei Versuche mit insgesamt acht unterschiedlichen Misttypen (Abb. 4) so gut überein,

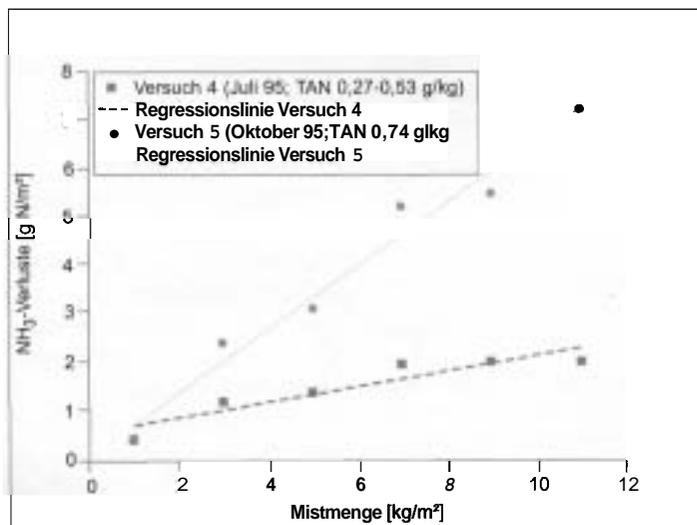


Abb. 5. Ammoniakverluste (g N/m<sup>2</sup>) nach dem Ausbringen von unterschiedlichen Mistmengen (M; kg/m<sup>2</sup>). Regressionsgleichungen: Versuch 4: Verluste = 0,159 TAN + 0,519, r<sup>2</sup> = 0,97; Versuch 5: Verluste = 0,650 TAN + 0,048, r<sup>2</sup> = 0,95

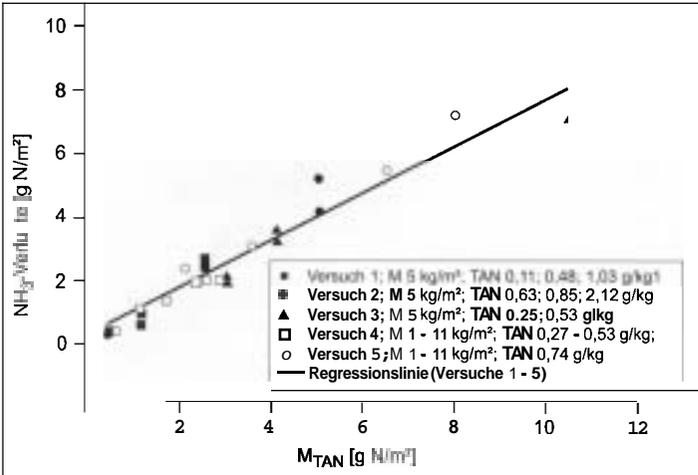


Abb. 6. Ammoniakverluste ( $g N/m^2$ ) in allen fünf Windtunnelversuchen in Abhängigkeit der ausgebrachten Ammoniummenge ( $M_{TAN}$ ;  $g N/m^2$ ).  
Regression:  $Verluste = 0,787 M_{TAN} + 0,076$ ;  $r^2 = 0,95$

daß sie mit folgender linearer Regressionsgleichung beschrieben werden können:

$$Verluste (g N/m^2) = 3,72 TAN + 0,15 (r^2 = 0,95) \quad (3)$$

Die Ergebnisse der zwei Versuche mit unterschiedlichen Mistmengen konnten ebenfalls durch lineare Regressionsgleichungen beschrieben werden (Abb. 5). Wegen der unterschiedlichen Gehalte der Miste in den zwei Versuchen unterscheiden sich allerdings die zwei Regressionen. Werden die Verluste in allen fünf Versuchen in Abhängigkeit der ausgebrachten Ammoniummenge ( $M_{TAN}$ ;  $g N/m^2$ ) aufgetragen, können sie durch eine einheitliche lineare Regression

dargestellt werden (Abb.6):

$$Verluste (g N/m^2) = 0,787 M_{TAN} + 0,076 (r^2 = 0,95) \quad (4)$$

Dies ist ein Hinweis, daß die Ammoniakverluste nach der An-

wendung von Rindvieh- und Schweinemist in erster Linie von der ausgebrachten Ammoniummenge und kaum von den Witterungsbedingungen abhängig sind. Dies belegt auch die relativ gute Übereinstimmung der Verluste in Feldversuchen mit Gleichung (4) (Abb. 7). Allerdings ist bekannt, daß Windtunnelversuche wegen der höheren und konstanten Windgeschwindigkeit die Verluste leicht überschätzen. Die mittleren Verluste betragen in Feldversuchen 60 % und in Windtunnelversuchen 80 % der eingesetzten Ammoniummenge. Um dem Rechnung zu tragen, müßten die Ergebnisse der Tunnelversuche zur Übertragung auf Pra-

xisbedingungen mit 0,75 multipliziert werden. Entsprechend könnten die Versuche nach der Anwendung von Rindvieh- oder Schweinemist mit folgender Gleichung zuverlässig abgeschätzt werden:

$$Verluste (kg N/ha) = 0,75 * [0,787 * M (t/ha bzw. m^3/ha) * TAN (kg N/m^2) + 0,761] \quad (5a)$$

oder ausmultipliziert

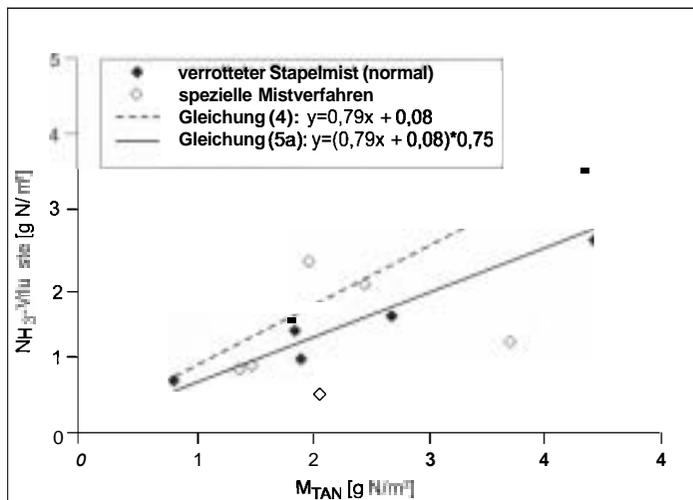
$$Verluste (kg N/ha) = 0,59 * M (t/ha bzw. m^3/ha) * TAN (kg N/m^2) + 0,57 \quad (5b)$$

Diese Gleichungen gelten besonders für durchschnittlich verrotteten Stapelmist und Laufstallmist. Für frischen Mist dürften sie die Verluste eher unter-, für besonders stark verrotteten Mist (Lagerdauer ein Jahr und länger) eher überschätzen.

### Ammoniakverluste bei Geflügelmist

In den Feldversuchen betragen die Verluste während vier Tagen nach der Anwendung für Legehennenkot (Trockensubstanzgehalt (TS) 34 %,  $N_{total}$ -Gehalt 22 kg N/t, Menge 22 t/ha) 19 % des ausgebrachten  $N_{total}$  und für Geflügelmist aus der Pouletmist (TS 62 %,  $N_{total}$  32 kg N/t, Menge 17 t/ha) 3 % des ausgebrachten  $N_{total}$ . Es muß angenommen werden, daß die Verluste nach Abschluß der Messungen noch für längere Zeit andauerten. In den Windtunnelversuchen nahmen die Verluste vom vierten bis zum fünfzehnten Tag noch um rund 50 % zu und schienen

Abb. 7. Ammoniakverluste ( $g N/m^2$ ) in Feldversuchen in Abhängigkeit der ausgebrachten Ammoniummenge ( $M_{TAN}$ ;  $g N/m^2$ ) in Feldversuchen in Abhängigkeit der ausgebrachten Ammoniummenge ( $M_{TAN}$ ;  $g N/m^2$ ). Vergleich der gemessenen Werte mit den Schätzungen anhand von Gleichung 5a



auch nach dieser Zeit weiterzugehen. Die Verluste während fünfzehn Tagen betragen in diesen Windtunnelversuchen etwa 10 % für Hennenkot (TS 33 %,  $N_{\text{total}}$  19 kg N/t, Menge 2,5 kg/m<sup>2</sup>) und 8 % für Geflügelmist aus der Pouletmast (TS 72 %,  $N_{\text{total}}$  32 kg N/t, Menge 2,5 kg/m<sup>2</sup>).

### Forderungen und Empfehlungen

Die Ammoniakverluste nach der Mistanwendung sind bezogen auf die ausgebrachte Ammoniummenge etwa 20 % höher als bei Gülle. Als mittlere Verluste können in überschlagsmäßigen Berechnungen für Mist und kotarme Gülle 60 % und für Vollgülle 50 % des ausgebrachten Ammoniumstickstoffes eingesetzt werden.

Während die Verluste nach der Anwendung von Gülle stark von den Witterungsbedingungen beeinflusst wurden, waren die Verluste nach der Anwendung von Mist fast nur von der ausgebrachten Ammoniummenge abhängig. Entsprechend sind für Mist im Gegensatz zu Gülle relativ geringe saisonale Unterschiede bei den Ammoniakverlusten zu erwarten. Für Praxisverhältnisse liefert Gleichung (5b) eine einfache und recht zuverlässige Abschätzung der Verluste.

Die einzige wirkungsvolle Maßnahme zur Reduktion der Ammoniakverluste nach der Mistanwendung ist das rasche Einarbeiten. Da der Hauptteil der Verluste in den ersten Stunden nach dem Ausbringen ein-

tritt, muß dies sofort, das heißt möglichst innerhalb von zwei Stunden geschehen. Dies setzt voraus, daß Ausbringen und Einarbeiten gleichzeitig durchgeführt werden können, Futterbaubetriebe mit Mistproduktion müssen zur Minderung der Ammoniakverluste hauptsächlich die Gülleanwendung optimieren (Frick et al. 1996; Frick und Menzi 1997).

Wegen des wesentlich geringeren Ammoniumanteils im Mist als in der Gülle sind die Verluste ausgedrückt als Anteil am Gesamtstickstoff bei Mist deutlich geringer. Neben Stalpelmist wird aber kotarme Gülle mit hohem Ammoniumgehalt produziert, welche ein hohes Verlustpotential aufweist. Die Ammoniakverluste nach dem Ausbringen der von einer Kuh produzierten Vollgüllemenge sind daher rund 10 % geringer als die Verluste nach dem Ausbringen der von einer Kuh produzierten Menge an Stalpelmist und kotarmer Gülle. ■

Ihr Partner?  
der alles  
hat.

TECHNISCHER GROSSHANDEL  
KOMMUNAL-BEDARF  
INDUSTRIE-BEDARF

A-6060 HALL IN TIROL  
SCHLÖGLSTRASSE 36  
TELEFON: 0 52 23 / 41 a aa  
TELEFAX: 0 52 23 / 43 5 83

**HB-TECHNIK**

**HUBER & BÜCHELE GES.M.B.H. & CO.KG.**

**Quellschächte  
Druckrohre  
Abwasserrohre  
Drainagerohre  
Armaturen**

### Literatur

- Frick R. und Menzi H., 1997, Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern? FAT-Bericht Nr. 496, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, 12 S.
- Frick R., Menzi H. und Katz P.E., 1996, Ammoniakverluste nach der Hofdüngeranwendung, FAT-Bericht Nr. 486, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon, 12 S.
- Katz P.E., 1996, Ammoniakemissionen nach der Gülleanwendung auf Grünland. Diss. ETH-Zürich Nr. 11382, 71 S.
- Keller M., 1995, Meßtechnische Abklärungen zur Bestimmung der Ammoniakverluste nach dem Ausbringen von Mist. Diplomarbeit ETH-Zürich, 65 Seiten (unveröffentlicht).
- Lockyer D.R., 1984, A system for the measurement in the field of losses of ammonia through volatilization. Journal of the Science of Food and Agriculture 35, 837-848.
- Wilson J.D. and Shum W.K.N., 1992, A re-examination of the integrated horizontal flux method for estimating volatilisation from circular plots. Agricultural and Forest Meteorology 57, 281-295.
- Wilson J.D., Thurtell G.W., Kidd G.E. and Beauchamp E.G., 1982, Estimation of the rate of gaseous mass transfer from a surface source plot to the atmosphere. Atmospheric Environment 16, 1861-1867.

*Zu den Autoren:  
Die Autoren sind Mitarbeiter an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau. Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft, Bern und der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon.  
Quelle:  
AGRARFORSCHUNG*