

Ammoniakverluste nach der Hofdüngeranwendung

Stark unterschiedliche Verluste je nach Bedingungen

Rainer Frick, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon b. Aadorf
 Harald Menzi und Peter Katz (zurzeit an der FAT), Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL),
 Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebfeld, CH-3003 Bern

Bei der Anwendung von Hofdüngern sind N-Verluste in Form von flüchtigem Ammoniak unvermeidbar. Neben der Umweltrelevanz bedeuten sie für den Landwirt eine Einbusse an wertvollem Stickstoff und sind die Hauptursache für die schlecht abschätzbare N-Wirkung von Gülle und Mist. Geringe Ammoniakverluste sind deshalb die Voraussetzung, um die Hofdünger effizient einsetzen zu können. Um die Kenntnisse auf diesem Gebiet zu verbessern, führte die FAT in Zusammenarbeit mit dem IUL-Liebfeld in den Jahren 1991–1995 umfangreiche Versuche durch. Zielsetzung waren die Quantifizierung der bei der Hofdüngeranwendung entstehenden Ammoniakverluste sowie die Ableitung von geeigneten Empfehlungen zur Verlustminderung. Je nach Bedingungen fallen die Verluste sehr unterschiedlich aus. Sie schwanken in einem Bereich von 8 bis 30 kg N pro Hektare bzw. 25 bis 95% des applizierten Ammonium-N. Bei Gülle ist im Durchschnitt mit Verlusten von 50% des Ammonium-N zu rechnen; bei Mist betragen die mittleren Verluste 60–70%. Charakteristisch ist – sowohl bei Gülle als auch bei Mist – ein sehr steiler Anstieg der Emission unmittelbar nach dem Austrag. Die Emission in den ersten Stunden ist für den Gesamtverlust entscheidend. Für die Verlusthöhe vorrangige Bedeutung

haben die Witterung (Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Windstärke) kurz nach der Ausbringung, die Art und Zusammensetzung des Hofdüngers sowie bei Gülle der Gehalt an Trockensubstanz und der Bodenzustand (Versickerung). Mit der Wahl eines günstigen Ausbringtermins, durch ausreichende Gülleverdünnung, durch Bearbeitungsmassnahmen im Ackerbau sowie durch Anwendung spezieller Ausbringtechnik lassen sich die Verluste gezielt beeinflussen.

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Wie entsteht Ammoniak?	2
Bedeutung der Ammoniakemissionen	2
Wie wurde gemessen?	2
Ergebnisse	4
Folgerungen für die Praxis	9
Ausblick	10
Literatur	10



Abb. 1. N-Verluste durch Ammoniakverflüchtigung bei der Hofdüngeranwendung: Wer diese in den Griff bekommen will, muss die Zusammenhänge ihrer Entstehung genau kennen.

Problemstellung

Wo Hofdünger anfallen, gelagert und ausgebracht werden, entweicht Stickstoff (N) in Form von flüchtigem Ammoniak (NH_3). Der Schweizer Landwirtschaft gehen so jährlich rund 50 kt N verloren. Rund 90% dieser Ammoniakemissionen gehen zulasten der Nutztierhaltung, die restlichen 10% stehen mit der Mineraldünger- und Klärschlammmanwendung in Zusammenhang. Die Emissionen aus der Tierhaltung stammen zu rund 70% aus der Rindviehhaltung. Hohe Ammoniakverluste haben sowohl für die Umwelt als auch für den Landwirt nachteilige Auswirkungen.

Gut die Hälfte der gesamten Ammoniakverluste entsteht bei der Hofdüngeranwendung. Im Ausland durchgeführte Messungen hatten schon vor Jahren gezeigt, dass bei Gülleanwendung bis zu 95% des applizierten Ammonium-N durch Ammoniakverflüchtigung verloren gehen können. Um die Kenntnisse der bei der Hofdüngeranwendung entstehenden Ammoniakverluste auch unter schweizerischen Produktionsbedingungen zu verbessern, führten die FAT und das IUL in den Jahren 1991 bis 1995 umfangreiche Versuche durch. Wie hoch fallen die Verluste beim Austrag von Gülle und Mist aus? Durch welche Faktoren werden die Verluste beeinflusst? Gibt es Möglichkeiten, die Verluste mit einfachen Massnahmen bei der Ausbringung zu vermindern? Im folgenden Bericht sind die Ergebnisse aus dem 5jährigen Messprogramm zusammengestellt.

Wie entsteht Ammoniak?

Rund die Hälfte der tierischen N-Ausscheidungen erfolgt in löslicher Form – hauptsächlich als Harnstoff und Harnsäure. Diese löslichen N-Verbindungen werden rasch zu Ammonium (NH_4^+) bzw. Ammoniak (NH_3) abgebaut. NH_4^+ und NH_3 befinden sich in wässriger Lösung in einem dynamischen Gleichgewicht:



Bei einem pH-Wert über 7 verändert sich das Verhältnis von NH_3 zu NH_4^+ zunehmend zugunsten von NH_3 . In der Gülle wird der pH-Wert unter anderem von der Konzentration leicht flüchtiger organischer Säuren kontrolliert. Nach der Gülleausbringung werden diese organischen Säuren oxidiert. Die Folge ist ein Anstieg des pH-Wertes in der Lösung und damit eine Begünstigung der Ammoniakverflüchtigung aus der Gülle.

Bedeutung der Ammoniakemissionen

für die Umwelt ...

Die Ammoniakmoleküle werden von der Emissionsquelle über eine Distanz von wenigen Metern bis einigen 100 Kilometern vom Wind verfrachtet und gelangen früher oder später als Ammoniak, Ammonium oder in Aerosolen wieder auf den Boden zurück. Auf diese Weise werden im schweizerischen Mittelland jährlich im Durchschnitt etwa 30 kg Stickstoff pro Hektare aus der Luft eingetragen. Ein grosser Teil dieser Deposition ist auf Ammoniakverluste aus Hofdüngern zurückzuführen. Auf landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen ist diese Gratisdüngung aus der Luft kein Problem. In naturnahen Ökosystemen (Wälder, Magerwiesen und Mooregebiete) dagegen, die wenig Stickstoff ertragen, kommen diese unkontrollierten N-Einträge einer Überdüngung gleich. Unerwünschte Bestandesveränderungen, eine Artenverarmung sowie ein gestörtes Nährstoffgleichgewicht sind

mögliche Folgen. Im Boden führt der N-Eintrag aus der Luft zu einer verstärkten Nitrifikation von NH_x . Die dabei freigesetzten H^+ -Ionen tragen in schlecht gepufferten Böden zu einer Versauerung bei. Auch in der Atmosphäre ist Ammoniak nicht unproblematisch, da es verschiedene Prozesse beeinflusst. So fördert Ammoniak beispielsweise die Oxidation von SO_2 zu Schwefelsäure (H_2SO_4).

... und für die Landwirtschaft

Für den Landwirt bedeutet das entwichene Ammoniak in erster Linie ein Verlust an wertvollem, betriebseigenem Stickstoff. Noch wichtiger ist jedoch die grosse Unsicherheit bezüglich der Wirkung des angewendeten Hofdüngers. Solange nicht bekannt ist, ob 10 oder 90% des mit Gülle oder Mist ausgebrachten Ammonium-N durch Verflüchtigung verloren gehen, ist eine einigermaßen sichere Abschätzung der N-Wirkung und damit ein optimaler Einsatz der Hofdünger praktisch unmöglich. Auf konventionell wirtschaftenden Betrieben führt dies dazu, dass zu hohe Einzelgaben ausgebracht oder aus Sicherheitsgründen mehr Mineral-N gedüngt wird als vom Pflanzenbedarf her nötig wäre. Die daraus resultierende Überdüngung erhöht die Gefahr einer Umweltbelastung durch Nährstoffabschwemmung oder -auswaschung. Umgekehrt müssen IP- und Bio-Betriebe mit limitiertem N-Einsatz die N-Verluste durch Ammoniakverflüchtigung so gering als möglich halten, um unerwünschte Ertrags-einbussen zu vermeiden.

Wie wurde gemessen?

Es kamen zwei verschiedene Methoden zur Anwendung: Praxisnahe Feldversuche und Versuche mit einer Windtunnelanlage. Die Feldversuche dienten in erster Linie dazu, die effektiven Ammoniakverluste, wie sie bei der Anwendung von Gülle und Mist in der Praxis auftreten, zu quantifizieren und den Einfluss von Witterungsparametern genauer zu untersuchen. Teilweise wurden sie auch für den Vergleich verschiedener Verfahren benutzt. Die zu-

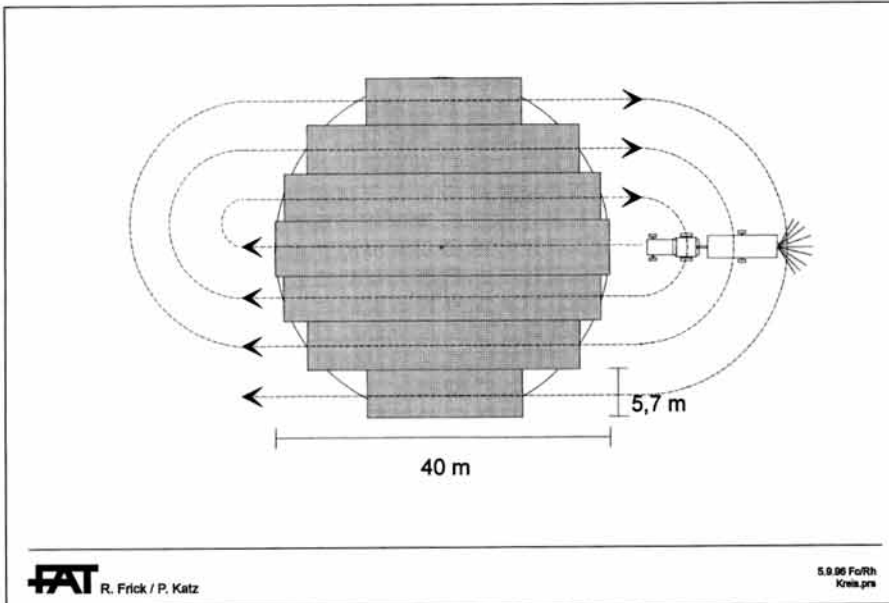


Abb. 2. Die Ausbringung der Gülle in den Feldversuchen erfolgte mit dem Vakuumsauger auf mehreren Bahnen, so dass die Gülle möglichst exakt verteilt auf einen Kreis zu liegen kam. Die Menge wurde mit der Fahrgeschwindigkeit reguliert. Im Zentrum des Kreises wurden die Messgeräte installiert. Skizze nach Katz, Diss. ETH, 1996.

sätzlich eingesetzte Windtunnelanlage diente der gezielten Untersuchung spezifischer, variierbarer Einflussfaktoren (zum Beispiel Wirkung der Verdünnung oder der Ausbringmenge) auf die Ammoniakverluste bei Gülle.

Feldversuche

In diesen Versuchen wurde mit der mikrometeorologischen Z_{inst} -Methode von WILSON (1982) gearbeitet (Abb. 3). Die Hofdünger wurden dabei mit praxisüblichen Geräten (Vakuumsauger oder Mistzetter) in der gewünschten Menge auf einer annähernd kreisförmigen Fläche von 12,5 Aren ausgebracht (Abb. 2). Über dieser wurde die Am-



Abb. 3. Praxisnahe Feldversuche im Massstab 1:1: Kontinuierliche Messung der NH_3 -Konzentration und der Windgeschwindigkeit auf einer bestimmten Höhe über Boden während 2–4 Tagen.

moniakemission kontinuierlich während mehreren Tagen erfasst. Im Zentrum des Kreises wurden dazu auf einer bestimmten, vom Bewuchs des Bodens abhängigen Höhe die NH_3 -Konzentration und die Windgeschwindigkeit gemessen; im Prinzip so lange, bis die Konzentration über der Emissionsfläche die «natürliche» Umgebungskonzentration erreichte. In der Regel war dies bereits nach zwei Tagen der Fall, so dass die Messungen nach zwei bis drei, in Ausnahmefällen nach vier Tagen beendet wurden. Die Messgeräte wurden bereits während des Ausbringens aufgestellt und unverzüglich nach Ausbringende in Betrieb gesetzt. Dadurch war gewährleistet, dass die Emission schon von Beginn an ermittelt wurde. Aus dem Produkt von NH_3 -Konzentration und Windgeschwindigkeit der einzelnen Zeitabschnitte konnte man nachträglich die Menge an emittiertem Ammoniak (in kg N pro ha) berechnen. Indem der gesamte Ammoniakverlust der mit dem Hofdünger applizierten Ammonium-N-Menge gegenübergestellt wurde, konnte man den N-Verlust in % der ausgebrachten Menge Ammonium-N berechnen. Die NH_3 -Konzentration wurde mit Passivsammlern bestimmt. Diese bestehen aus einem Polypropylenröhrchen mit einer Teflonmembran, durch welche die NH_3 -Moleküle ins Innere diffundieren und in einer Säurelösung aufgefangen werden. An jeder Messstelle wurden fünf Passivsammler exponiert. Sie mussten in bestimmten Zeitabständen ausgewechselt werden. Zu Beginn der Versuche betrug die Exposition ca. 1 Stunde, später wurden die Abstände verlängert. In einem zweitägigen Versuch im Sommer (Versuchsbeginn um 10 Uhr) beispielsweise wurden die Passivsammler am ersten Tag um 11, 12, 14, 17 und 20 Uhr und am zweiten Tag um 8, 13 und 20 Uhr gewechselt. Die Passivsammler für die Messung der Hintergrundkonzentration wurden jeweils doppelt so lang exponiert. Die Passivsammler wurden nachträglich im Labor der IUL-Liebefeld in einem FIA (Flow-Injection-Analysis-)Verfahren auf den N-Gehalt analysiert. Die Windgeschwindigkeit wurde mit speziellen Schalensternanemometern mit einer Anlaufgeschwindigkeit von 0,14 m/s gemessen und auf einem Datenlogger als 5-Minuten-Mittelwerte abgespeichert.

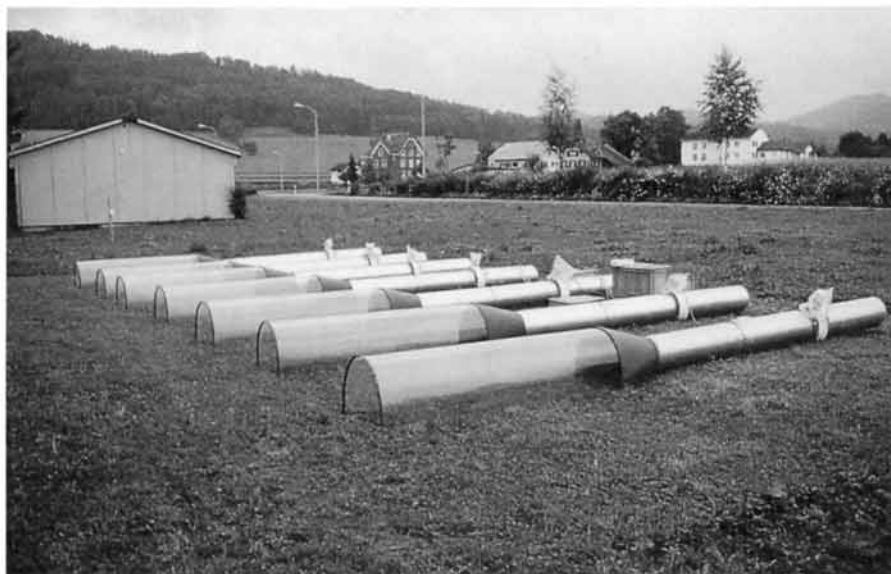


Abb. 4. Windtunnelanlage zur Messung von Ammoniakverlusten: Indem ein bestimmter Parameter (z.B. der Verdünnungsgrad) in Stufen variiert wird, kann dessen Einfluss auf die Verluste gezielt untersucht werden.

Pro Versuch wurden jeweils drei Flächen bzw. Verfahren gleichzeitig gemessen. Die Ausbringung der Hofdünger erfolgte in Abständen von etwa 20 Minuten. Der Durchmesser der Kreise betrug 40 m. Sie waren auf einer Linie in Abständen von mindestens 70 m angeordnet. Es zeigte sich, dass diese Distanz ausreicht, um eine gegenseitige Beeinflussung der Flächen weitgehend auszuschliessen.

Fast alle Feldversuche beinhalteten ein Standardverfahren, in welchem stets dieselbe Gülle (Rindvieh-Vollgülle, 1:1 verdünnt) in derselben Menge (30–35 m³ pro ha) und zur gleichen Zeit (morgens um 9–10 Uhr) angewendet wurde. Diese Standardverfahren ermöglichten es, den Einfluss der Witterung auf die Ammoniakemissionen genauer zu untersuchen sowie die einzelnen Versuche untereinander zu verknüpfen. Die auf Wiesen durchgeführten Versuche waren alle auf frisch geschnittener, einjähriger Kunstwiese angelegt.

Insgesamt wurden über 20 Feldversuche durchgeführt, alle auf Parzellen des Versuchsbetriebes der FAT in Tänikon. Aus diesen resultierten auf Kunstwiesen 19 Standardverfahren, die mehr oder weniger gleichmässig über alle Jahreszeiten verteilt waren. Einzig in den Monaten Dezember, Januar, April und September fanden keine Feldversuche statt (vgl. Abb. 7).

Windtunnelversuche

Die nach LOCKYER (1984) gebaute Windtunnelanlage (Abb. 4) bestand aus sieben identischen Tunneln. Die einzelnen Tunnel setzten sich aus zwei Teilen zusammen: Dem eigentlichen Tunnel (durchsichtige Polycarbonatplatte auf einem Metallrahmen), unter dem der Hofdünger zu liegen kam, und einem Rohr mit integriertem Axialventilator, der Luft durch den Tunnel saugte. Der Tunnel hatte eine Fläche von 1 m² (2 m × 0,5 m). Der Luftdurchsatz liess sich über die Drehzahl des Ventilators stufenlos regulieren; er wurde in den meisten Versuchen konstant auf 1 m pro sek (über der Emissionsfläche) gehalten. Die NH₃-Konzentrationen wurden wie in den Feldversuchen mit Passivsammlern gemessen. Dazu wurde im Tunnelrohr mit Hilfe einer Ansaugpumpe kontinuierlich eine bestimmte Luftmenge abgesaugt und den in einem Expositionsrohr befindlichen Passivsammlern zugeführt. Die Applikation der Gülle erfolgte mit einer Giesskanne, deren Ausguss mit einem kleinen Verteilerblech versehen war. Standardmässig wurden 3,5 l Gülle pro m² (entspricht 35 m³ pro ha) ausgebracht. Innerhalb von etwa 30 Sekunden nach der Applikation der Gülle wurden die Polycarbonatplatten aufgesetzt. Die Messung der NH₃-Konzentration wurde innerhalb von 2 Minuten gestartet. Zwischen dem Mess-

beginn der einzelnen Tunneln vergingen in der Regel 2–3 Minuten.

Folgende Einflussparameter wurden mit der Windtunnelanlage untersucht: Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, Trockensubstanz- und Ammonium-N-Gehalt der Gülle, Ausbringmenge. Die Versuche wurden mehrheitlich auf dem Areal des IUL-Liebefeld durchgeführt. In einer späteren Phase diente die Anlage zusätzlich für Emissionsmessungen mit Mist. Diese Ergebnisse sind in diesem Bericht nicht behandelt.

Ergebnisse

Dramatischer Verlauf der Verflüchtigung

Die Versuche waren stets von einem charakteristischen Emissionsverlauf geprägt: Ein sofortiger und starker Anstieg der Verluste unmittelbar nach der Ausbringung (Abb. 5). Ebenso typisch ist die deutliche Abflachung der Emission in der folgenden Nacht. Diese ergibt sich als Folge sinkender Temperaturen, steigender Luftfeuchtigkeit und abnehmender Windstärke. Am folgenden Tag steigt die Verlustkurve nochmals leicht an, allerdings ohne bedeutende Auswirkung auf den Gesamtverlust.

In sämtlichen Fällen erfolgten über 60% der Gesamtemission am ersten Versuchstag, davon der grösste Teil sogar in den ersten zwei bis vier Stunden. Dies ist in mehrfacher Hinsicht von Bedeutung:

1. Für die Höhe des Gesamtverlustes sind die ersten Stunden nach der Ausbringung entscheidend. Herrschen in dieser Phase für die Ammoniakverflüchtigung vorteilhafte Verhältnisse (vor allem hohe Temperaturen), resultieren unweigerlich hohe Verluste.
2. Allfällige Unterschiede bezüglich Verlusthöhe zwischen verschiedenen Verfahren entstanden stets am ersten Versuchstag. An den folgenden Tagen verliefen die Emissionen verschiedener Verfahren sehr ähnlich.
3. Die Einarbeitung von Hofdüngern nach der Ausbringung hat zur Eindämmung der Ammoniakverluste nur eine befriedigende Wirkung, wenn diese sofort, das heisst in den ersten Stunden nach dem Austrag möglich ist.

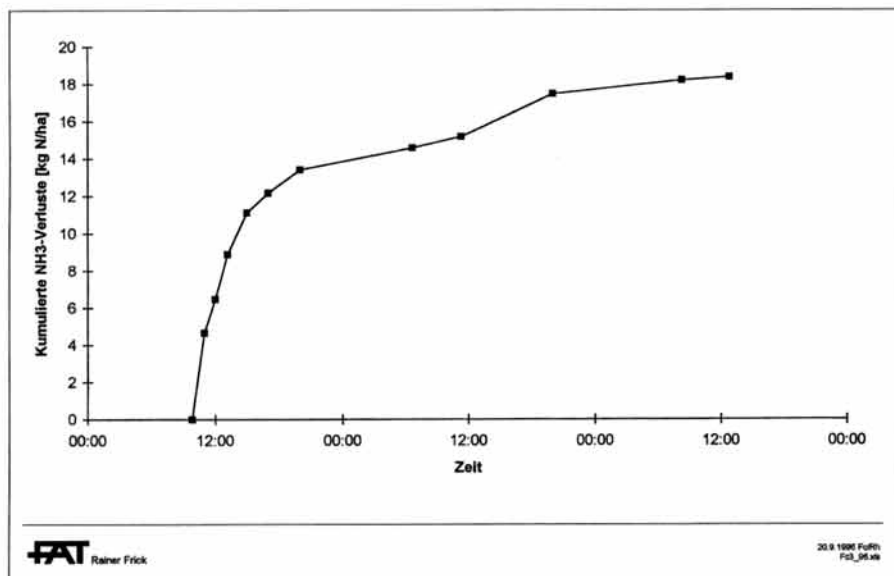


Abb. 5. Typischer Verlauf der Ammoniakverflüchtigung in den ersten zwei Tagen nach Gülleanwendung. Feldversuch mit 1:1 verdünnter Rindvieh-Vollgülle, 34 m³ pro ha, Ausbringung um 10 Uhr, Temperatur zur Zeit der Ausbringung 18,1°C.

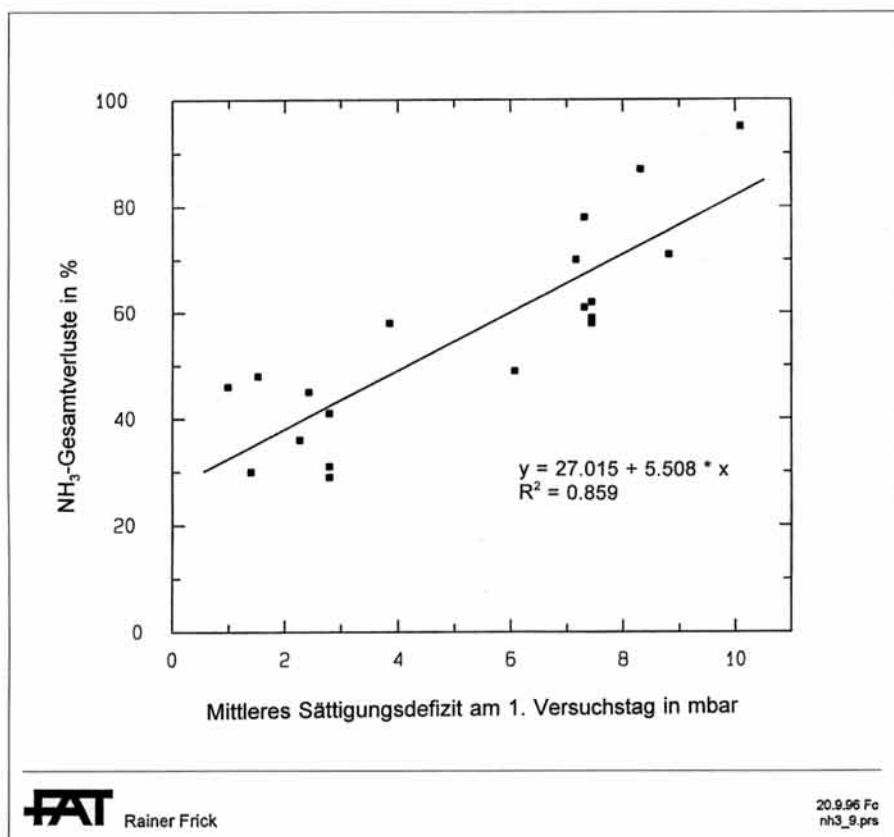


Abb. 6. Relative Ammoniakverluste in den ersten zwei Tagen nach Gülleanwendung (Standardverfahren aus den Feldversuchen) in Abhängigkeit des Sättigungsdefizites der Luft. Mit zunehmender Temperatur und sinkender Luftfeuchtigkeit nehmen die Ammoniakverluste zu.

Höhe der Ammoniakverluste

Die in den Feldversuchen gemessenen Verluste durch Ammoniakverflüchtigung lagen je nach Bedingungen in einem Bereich von 8 bis 30 kg N pro ha. Bezogen auf die mit dem Hofdünger ausgebrachte N-Menge betragen die Verluste 25 bis 95% des Ammonium-N (Abb. 6).

Für die grossen Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchen sind in erster Linie die unterschiedlichen Witterungsbedingungen verantwortlich. Die Verluste zeigten eine recht deutliche Abhängigkeit vom Wassersättigungsdefizit der Luft: Bei hohen Temperaturen und tiefer Luftfeuchtigkeit fielen die Verluste höher als bei feuchtkühlem Wetter aus (Abb. 6). Dieser Sachverhalt zeigt sich auch in der saisonalen Verteilung der in den Feldversuchen gemessenen Verluste (Standardverfahren Gülle). In den Sommermonaten Juni, Juli und August resultierten Ammoniakverluste, die im Durchschnitt rund 35% höher waren als in den übrigen Monaten (Abb. 7). Für Gülle muss aufgrund der vorliegenden schweizerischen Messergebnisse bei breitflächiger Ausbringung im Durchschnitt mit Verlusten von 50% des applizierten Ammonium-N gerechnet werden. Bei einer Gabe von 30 m³ pro ha und einem Ammonium-N-Gehalt von 1 kg pro m³ Gülle entspricht dies einem N-Verlust von 15 kg pro ha. Beim Mist liegen die mittleren Verluste mit 60 bis 70% des ausgebrachten Ammonium-N noch etwas höher als bei Gülle. Dies ist im wesentlichen damit zu erklären, dass Mist im Vergleich zur Gülle nicht im Boden versickern kann. Da aber Mist vergleichsweise wenig Ammonium-N enthält, sind die Verluste bezogen auf den Gesamt-N geringer als bei Gülle. Bei den Versuchen mit Mistanwendung streuten die gemessenen Verluste stärker als bei Gülle, was auf unterschiedliche Verrottungsgrade, Strohanteile und verschiedenartige Lagerung zurückzuführen ist.

Viele Einflussfaktoren

Die Ammoniakverflüchtigung nach der Hofdüngeranwendung hängt von mehreren Faktoren ab. In Abbildung 8 sind einige wichtige Parameter zusammengestellt. Die grösste Bedeutung kommt einerseits der Witterung kurz nach dem

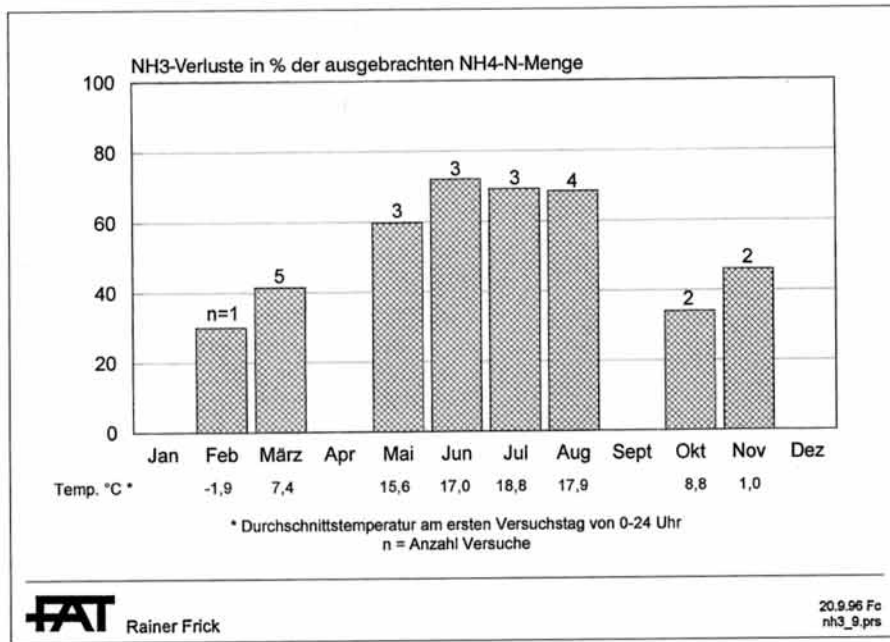


Abb. 7. Saisonale Verteilung der relativen Ammoniakverluste in den ersten zwei Tagen nach Gülleanwendung (23 Verfahren aus den Feldversuchen mit Rindvieh-Vollgülle, 1:1 verdünnt, 30–35 m³ pro ha, Ausbringung am Morgen).

Ausbringen, andererseits dem eingesetzten Hofdünger (Art und Zusammensetzung) zu. Bei Gülle spielen zudem die Applikationsart und der Bodenzustand eine wichtige Rolle. Geringen Einfluss haben andere Faktoren wie Bodenart, chemische Bodenparameter und Globalstrahlung.

Bei der **Witterung** vorrangige Bedeutung haben die *Temperatur*, die *Luftfeuchtigkeit* und die *Windstärke*. Die

Ammoniakverluste nach der Ausbringung zeigen nicht nur eine deutliche Abhängigkeit von der Temperatur, wie die Auswertung der Standardverfahren mit Gülle aus den Feldversuchen zeigt (Abb. 9), sondern indirekt auch von der relativen Luftfeuchtigkeit. Eine tiefe Luftfeuchtigkeit begünstigt die Verdunstung des Wassers. Die dadurch ansteigende Konzentration des Ammonium-N in der Gülle fördert die Ver-

flüchtigung von Ammoniak. Deutlich nachweisbar ist die Bedeutung der relativen Luftfeuchtigkeit allerdings nur im Zusammenhang mit der Temperatur, das heisst dem Sättigungsdefizit der Luft (Abb. 6). Starker Wind fördert die Ammoniakverflüchtigung, indem er das über dem Hofdünger emittierte Ammoniak laufend wegtransportiert. Dadurch bleibt der Konzentrationsunterschied zwischen emittierendem Hofdünger und der Umgebungsluft gross, und es kann sich laufend Ammoniak freisetzen.

Werden Hofdünger während eines Regens ausgebracht, werden die Nährstoffe und damit auch der Ammonium-N in den Boden eingewaschen, wodurch dieser vor der Verflüchtigung erhalten bleibt. Es ist davon auszugehen, dass nach Regenfällen von mehr als 10 Liter pro m² praktisch kein Ammoniak mehr emittiert wird.

Mit der Witterung in enger Beziehung steht der **Zeitpunkt der Ausbringung**. Hier spielen nicht nur die *Jahreszeit*, sondern auch die *tageszeitlichen* Einflüsse eine wichtige Rolle.

Für die Höhe der Ammoniakemissionen wichtig sind im weiteren die **Art und Zusammensetzung** des eingesetzten Hofdüngers. *Mist* unterscheidet sich von der *Gülle* hinsichtlich der Entstehung von Ammoniakverlusten in zweierlei Hinsicht: Einerseits enthält Mist – bezogen auf den Gehalt an Gesamt-N – vergleichsweise wenig Ammonium-N. Andererseits kann er nicht wie die Gülle im Boden versickern, was bedeutet, dass er nach der Ausbringung länger der Verflüchtigung ausgesetzt bleibt.

Mit abnehmendem *pH-Wert* in der Gülle vermindern sich die Ammoniakemissionen. Wie ausländische Laborversuche zeigen, ist die Ammoniakfreisetzung bei einem pH unter 6 praktisch unterbunden. Derart tiefe pH-Werte können allerdings nur durch Zugabe chemischer Säuren (Salpeter-, Phosphor- oder Schwefelsäure) erreicht werden. Die Zugabe der für die pH-Absenkung erforderlichen Säuremenge führt aber zu einer starken Anreicherung von Stickstoff, Phosphor oder Schwefel, weshalb diese Massnahme aus ökologischen Gründen nicht in Frage kommt.

Eine deutliche Abhängigkeit besteht im weiteren zwischen dem *Ammonium-N-Gehalt* des Hofdüngers und den Ammoniakemissionen (Abb. 10). Je

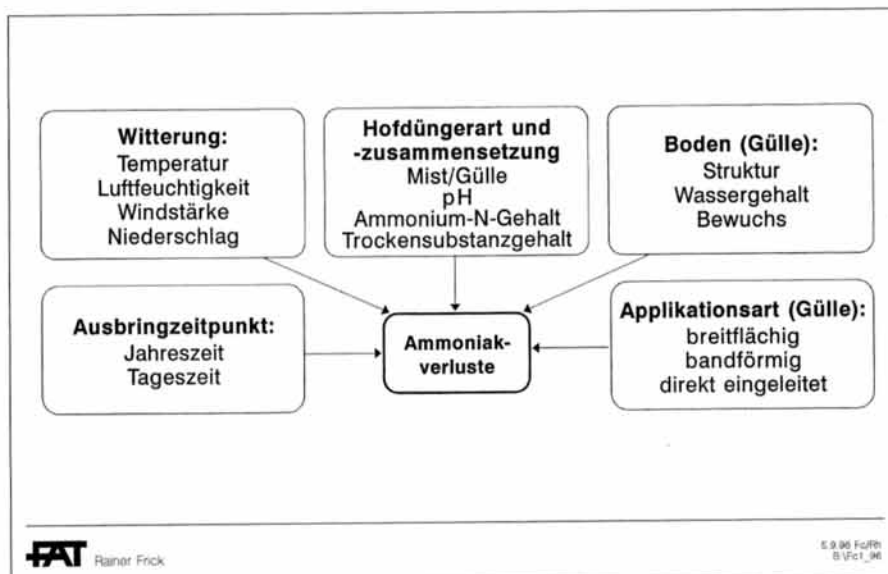
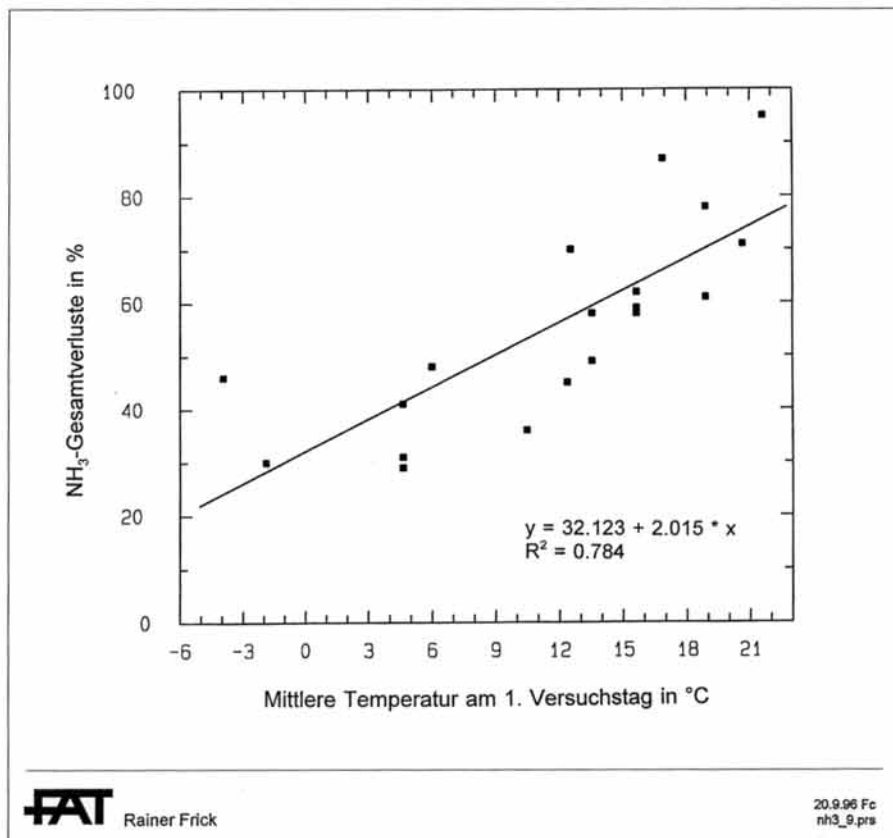


Abb. 8. Wichtige Einflussfaktoren auf die Ammoniakemissionen bei der Hofdüngeranwendung.

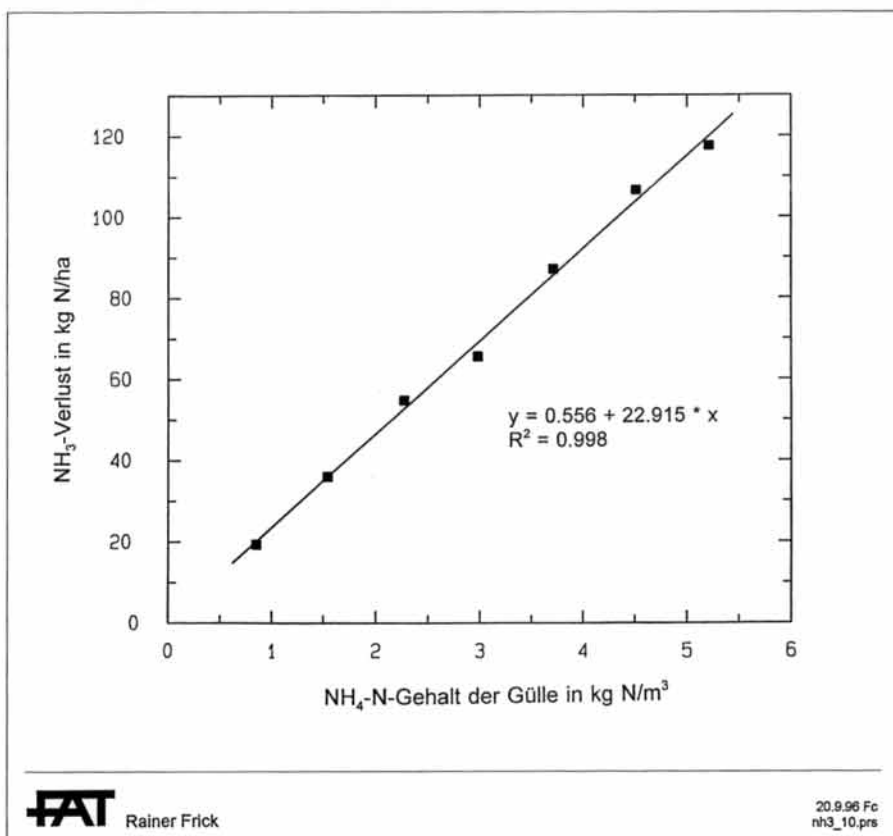
Abb. 9. Relative Ammoniakverluste in den ersten zwei Tagen nach Gülleanwendung (Standardverfahren aus den Feldversuchen) in Abhängigkeit der Lufttemperatur. Die mittlere Temperatur des ersten Versuchstages ist für die Verlusthöhe entscheidend.



FAT Rainer Frick

20.9.96 Fc
nh3_9.prs

Abb. 10. Einfluss des Ammonium-N-Gehaltes auf die Ammoniakverluste bei Gülle. Zur Variierung der N-Gehalte wurde den Güllen (Rindvieh-Vollgülle mit 4,1% TS, 35 m³ pro ha) einige Tage vor dem Versuch Harnstoff beigegeben. Windtunnelversuch, Liebefeld, August 1995.



FAT Rainer Frick

20.9.96 Fc
nh3_10.prs

mehr Ammonium-N Gülle und Mist enthalten, desto höher sind die Verluste. Bei Gülle ist zudem der *Gehalt an Trockensubstanz (TS)* von Bedeutung. Die Ammoniakemissionen nehmen mit steigendem TS-Gehalt der Gülle linear zu (Abb. 11). Je tiefer der TS-Gehalt, desto schneller versickert die Gülle im Boden und desto rascher werden die Ammonium-Ionen an den Tonmineralien und Humusbestandteilen gebunden. Dadurch vermindert sich das Verlustpotential.

Untersucht wurde auch die *Ausbringung* bei Gülle. Mit steigender Güllegabe nehmen die absoluten Verluste linear zu. Bei den relativen Verlusten (in % des ausgebrachten Ammonium-N) verhält es sich allerdings umgekehrt: Je höher die Einzelgabe, desto weniger Ammoniak wird emittiert. Dies erklärt sich dadurch, dass die ausgebrachte Gülle nach einer gewissen Zeit einen «Deckel» bildet. Die Erkenntnis hat allerdings kaum eine praktische Bedeutung, da aus pflanzenbaulicher Sicht ohnehin kleine Einzelgaben anzustreben sind.

Für die Versickerung der Gülle entscheidend ist auch der **Zustand des Bodens**. Ist dessen Aufnahmevermögen gestört, sei es durch einen extremen Wassergehalt (ausgetrocknet, wassergesättigt oder gefroren), sei es durch eine ungünstige Bodenstruktur (verdichtet, verschlämmt), erhöht sich die Gefahr der Ammoniakverflüchtigung. Dieselbe ungünstige Wirkung haben eine geschlossene Pflanzendecke oder eine Strohhäckselschicht, da sie eine grosse emittierende Oberfläche mit sich bringen und die Versickerung der Gülle weitgehend verhindern.

Einen grossen Einfluss hat bei der Gülleausbringung auch die **Art der Applikation**. Neben den herkömmlichen Breitverteilern, welche aufgrund der vollständigen Benetzung der Bodenoberfläche grundsätzlich ein hohes Verlustrisiko mit sich bringen, bieten sich neuerdings Systeme mit oberflächlicher, bandförmiger Gülleablage (zum Beispiel Schleppschlauch- oder Schleppschuhverteiler) und Systeme mit direkter Einleitung der Gülle in den Boden (zum Beispiel Schlitzdrillgeräte). Diese Techniken verringern zum einen die Kontaktfläche zwischen Gülle und Umgebungsluft und zum anderen die Verweilzeit an der Oberfläche.

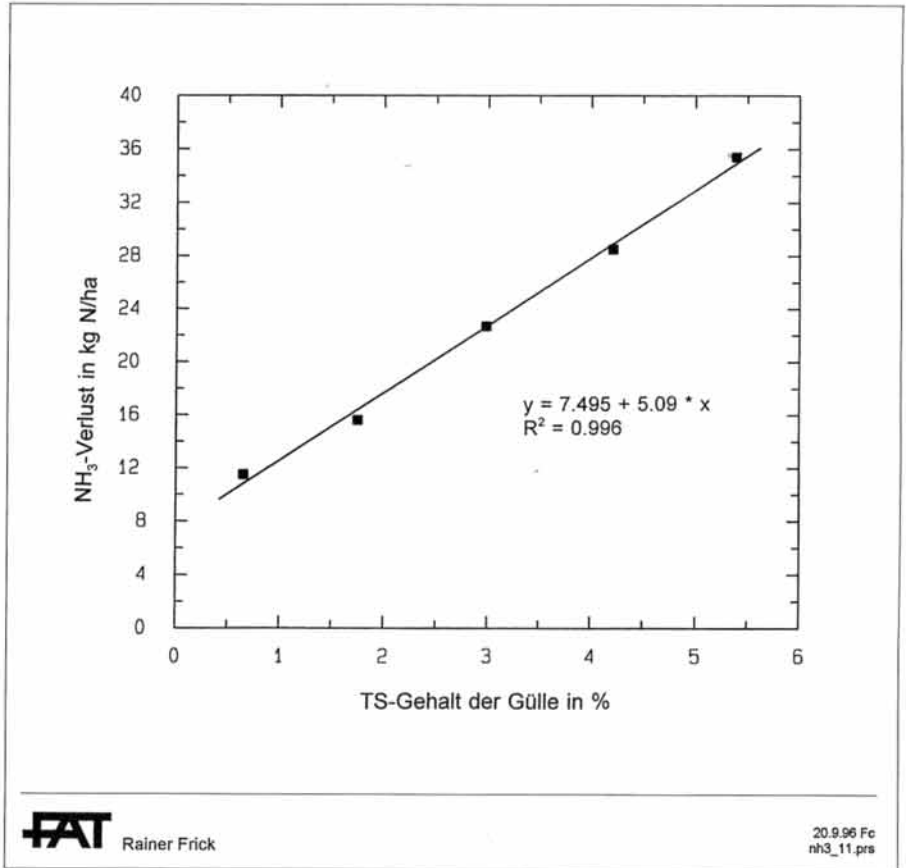


Abb. 11. Ammoniakverluste bei Gülle in Abhängigkeit des TS-Gehaltes. Um in allen Verfahren den gleichen Ammonium-N-Gehalt (4,3 kg NH₄-N pro m³ Gülle) zu haben, wurden die verdünnten Gülle mit NH₄NO₃ aufgedüngt. Rindvieh-Vollgülle, Ausbringung 37 m³ pro ha. Windtunnelversuch, Liebfeld, Juni 1994.



Abb. 12. Verschlämmte und verkrustete Böden bringen ein hohes Verlustpotential mit sich, weil die Gülle auf der Bodenoberfläche liegenbleibt und dadurch viel Ammoniak entweichen kann.

bezüglich der optimalen Verdünnung schwierig sind (unterschiedliche Zusammensetzung der Gülle, ungleiche betriebliche Voraussetzungen), ist für Rindvieh-Vollgülle eine Verdünnung von mindestens 1:2, für gehaltreichere Güllen (zum Beispiel Harn- oder Schweinegülle) von mindestens 1:3 anzustreben. Diese Werte sind als grobe Faustregel zu verstehen.

Ackerbau: Mist einarbeiten, Boden lockern

Im Ackerbau sollten die Hofdünger nach dem Ausbringen zügig eingearbeitet werden. Voraussetzung für eine gute Wirkung ist allerdings, dass die Einarbeitung unmittelbar, das heißt schon in den ersten Stunden nach dem Austrag erfolgt. Da dies bei Gülleanwendung problematisch ist (Verschmieren des Bodens, starker Schlupf), empfiehlt sich diese Massnahme insbesondere beim Mist. Bei Gülle wirkungsvoller ist eine Bodenlockerung vor dem Austrag. In einem auf Getreidestoppeln durchgeführten Feldversuch konnten die Emissionen durch eine Bodenlockerung mit einem Grubber bzw. Zinkenrotor vor dem Gülleaustrag um 20% vermindert werden. Insbesondere auf schlecht saugfähigen Böden kann es deshalb sinnvoll sein, die Bodenbearbeitung vor und nicht nach der Gülleanwendung durchzuführen.

Spezielle Gülleausbringetechnik

Deutliche Verlustreduktionen lassen sich im weiteren durch Anwendung von Schleppschauch- oder Schleppschuhverteiltern mit bandförmiger, bodennaher Güllenablage erzielen. Noch wirkungsvoller sind Drillgeräte, welche die Gülle direkt in den Boden einleiten. Im Ackerbau ist ihr Einsatz möglich, sofern es die Bodenbedingungen zulassen. Schlitzdrillmaschinen für den Einsatz im Futterbau können nur bedingt empfohlen werden, da sie unter schweizerischen Verhältnissen kaum geeignet sind (hohe Maschinengewichte, Gefahr von Bodenschäden, begrenzte Hangtauglichkeit) oder andere Nachteile aufweisen (mässige Wirkung auf tonhaltigen Böden, Gefahr von Narbenschäden).

Der Aspekt «Möglichkeiten und Wirkung verschiedener Massnahmen zur Verlustminderung, insbesondere auch der Ausbringetechnik» wird zu einem späteren Zeitpunkt in einer zweiten Publikation (FAT-Bericht) vertiefter behandelt.

Ausblick

N-Verluste durch Ammoniakverflüchtigung beim Ausbringen von Hofdüngern sind grundsätzlich nicht vermeidbar. Mit ein paar einfachen Anwendungsgrundsätzen ist es aber durchaus möglich, diese in gewissen Gren-

zen zu halten. Die Anforderungen an den Landwirt nehmen dadurch allerdings zu; dies nicht zuletzt deshalb, weil Zielkonflikte zwischen der Ammoniakverflüchtigung und anderen N-Verlusten (Nitratwaschung, Nährstoffabschwemmung) zu beachten sind. Eine wichtige Voraussetzung ist, dass man sich mit der Verlustproblematik auseinandersetzt und gewillt ist, die Ammoniakverluste in den Griff zu bekommen. Wer will das nicht? Denn geringe N-Verluste sind bei zunehmend limitiertem N-Einsatz, wie es zum Beispiel die Integrierte Produktion verlangt, immer wichtiger. Dass dadurch auch die Umwelt geschont wird, ist für das Ansehen der Landwirtschaft in der breiten Bevölkerung ebenfalls wichtig.

Literatur

- KATZ P., 1996. Ammoniakemissionen nach der Gülleanwendung auf Grünland. Dissertation ETH Nr. 11382.
- LOCKYER D.R., 1984. A system for the measurement in the field of losses of ammonia through volatilization. *Journal of Science Food Agriculture*, 35: 837–848.
- WILSON J.D., THURTELL G.W., KIDD G.E., 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.