

Hofdüngeranwendung: Wie Ammoniakverluste vermindern?

Auch einfache Massnahmen wirken

Rainer Frick, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon
 Harald Menzi, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), Liebefeld, CH-3003 Bern

Zur Verminderung von Ammoniakverlusten bei der Hofdüngeranwendung bieten sich mehrere Möglichkeiten an: Grundsätzliche Massnahmen bei der Organisation der Düngung, Bearbeitungsmassnahmen im Ackerbau und die Verwendung spezieller Gülletechnik. Die grundsätzlichen Massnahmen umfassen die Rücksichtnahme auf die Witterung bei der Ausbringung (Ausbringung

an Tagen mit günstiger Witterung, am Abend oder bei leichtem Regen), die Beachtung des Bodenzustandes (rasche Einsickerung der Gülle), die saisonale Planung der Düngung und die Gülleverdünnung. Bei Anwendung einer dieser Massnahmen lassen sich die Verluste bereits um 10 bis 40% reduzieren. Bei Mistanwendung im Ackerbau steht die sofortige Einarbeitung im Vordergrund.



Abb. 1. Gehört die Zukunft dem Schleppschlauchverteiler? Wer die N-Verluste durch Ammoniakverflüchtigung markant reduzieren will, hat kaum eine andere Wahl.

| Inhalt | Seite |
|---|-------|
| Problemstellung | 2 |
| Ammoniakverluste beim Hofdüngeraustrag | 2 |
| Wie Verluste vermindern? | 2 |
| - Organisation der Düngung | 2 |
| - Bodenbearbeitung im Ackerbau | 6 |
| - Technik für emissionsarme Gülleausbringung | 6 |
| Gesamtbeurteilung und Folgerungen | 11 |
| Empfehlungen zur Vermeidung hoher Ammoniakverluste bei der Hofdüngeranwendung | 12 |
| Literatur | 12 |

Dabei sind Verlustminderungen von bis zu 40% möglich, je nachdem, wie schnell die Einarbeitung erfolgt. Bei Gülle empfiehlt sich im Ackerbau eine Bodenlockerung vor dem Austrag, um die Einsickerung zu beschleunigen. Die beste Wirkung erzielen die speziellen Gülleausbringtchniken. Systeme mit oberflächiger, bandförmiger Ablage (Schleppschlauch- und Schleppschuhverteiler) verringern die Verluste im Vergleich zu breitflächiger Verteilung um 30 bis 70%, solche mit direkter Einleitung in den Boden (Schlitzdrill, Tiefinjektion) um 60 bis 90%. Je nach den Bedingungen, die zur Zeit der Ausbringung herrschen, ist die Wirkung allerdings unterschiedlich.

Sämtliche Massnahmen sind mit teilweise erheblichen Anwendungseinschränkungen verbunden. Während bei den grundsätzlichen Massnahmen Zielkonflikte durch Nährstoffabschwemmung, Auswaschung oder Bodenverdichtung entstehen können, sind es bei der Gülletechnik die besonderen schweizerischen Bedingungen (Hangneigung, schwere Böden), maschinenbedingte Nachteile (hohe Gewichte, hoher Zugkraftbedarf, mässige Arbeitsqualität) und die hohen Kosten, welche die Anwendung einschränken. Unter hiesigen Verhältnissen kann zurzeit nur der Schleppschlauchverteiler empfohlen werden.

Problemstellung

Wo Hofdünger anfallen, gelagert und ausgebracht werden, entsteht stets flüchtiges Ammoniak. Für den Landwirt bedeutet dies in erster Linie einen Verlust an wertvollem Stickstoff für die Düngung. Mehr als die Hälfte der gesamten Ammoniakverluste entsteht nach der Ausbringung. Besonders IP- und Bio-Betriebe mit begrenztem N-Einsatz müssen deshalb bemüht sein, die Ammoniakverluste beim Hofdüngeraustrag so tief als möglich zu halten, um mögliche Ertragseinbussen zu vermeiden.

Das in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit dem IUL-Liebefeld durchgeführte Messprogramm hatte zum Ziel, die durch Ammoniakverflüchtigung verursachten N-Verluste zu quantifizieren und die wichtigsten Einflussfaktoren zu evaluieren. Diese Ergebnisse sind im FAT-Bericht Nr. 486 näher beschrieben. Zusätzlich dienten die Versuche dazu, praxisgerechte Empfehlungen abzuleiten, wie sich die Verluste beim Ausbringen verringern lassen. Welche konkreten Möglichkeiten bieten sich bei der Hofdüngerausbringung zur Reduktion der Ammoniakverluste an? Wie hoch ist ihre Wirkung? Welche Probleme ergeben sich bei deren Anwendung? Diese Aspekte werden im vorliegenden Bericht behandelt.

Ammoniakverluste beim Hofdüngeraustrag

Für die Herleitung geeigneter Massnahmen zur Verlustminderung bei der Hofdüngeranwendung sind folgende Erkenntnisse von Bedeutung:

1. Die Ammoniakverflüchtigung nach der Ausbringung zeigt stets einen ähnlichen, typischen Verlauf: ein starker Anstieg der Verluste kurz nach der Applikation und eine deutliche Abflachung in der folgenden Nacht. Über 60% der Gesamtemission erfolgen am ersten Tag, der grösste Teil davon gar in den ersten zwei bis vier Stunden.

2. Die Verluste nach der Ausbringung werden durch viele Faktoren beeinflusst. Vorrangige Bedeutung haben die Witterung (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) sowie die Art und Zusammensetzung des Hofdüngers (Gehalt an Ammonium-N und Trockensubstanz). Bei Gülle spielen zudem der Zustand des Bodens (Aufnahmevermögen) und die Applikationstechnik eine wichtige Rolle.

3. Je nach den Bedingungen fallen die Verluste sehr unterschiedlich aus. Sie schwanken bei praxisüblichen Hofdüngergaben in einem Bereich von 8 bis 30 kg N pro ha bzw. 25 bis 95% des ausgebrachten Ammonium-N.

4. Für breitflächig ausgebrachte Gülle muss aufgrund schweizerischer Ergebnisse im Durchschnitt mit Verlusten von 50% des applizierten Ammonium-N gerechnet werden. Beim Mist liegen die mittleren Verluste mit 60 bis 70% des ausgebrachten Ammonium-N noch etwas höher, was damit zu erklären ist, dass Mist im Vergleich zur Gülle auf der Bodenoberfläche liegen bleibt.

5. Die Verluste während der Ausbringung sind weitgehend vernachlässigbar. Sie machen in der Regel weniger als 1% der gesamten bei der Ausbringung entstehenden Verluste aus. Zudem bestehen nur unbedeutende Unterschiede zwischen verschiedenen Verteilsystemen (Prallteller, Werfer, Weitwurfdüse usw.).

Wie Verluste vermindern?

Die Möglichkeiten zur Verminderung der Ammoniakverluste bei der Hofdüngeranwendung sind vielseitig. Es ist zu unterscheiden zwischen eher grundsätzlichen Massnahmen im Bereich der Organisation der Düngung (Berücksichtigung der Witterung, Gülleverdünnung usw.) und mehr technischen Massnahmen. Letztere umfassen einerseits Bodenbearbeitungsmassnahmen bei Hofdüngeranwendung im Ackerbau und andererseits spezielle Ausbringtechniken bei Gülle.

Die einzelnen Möglichkeiten sowie deren Wirkung bezüglich Verlustminderung werden im folgenden beschrieben. Die Angaben zur Wirkung resultieren mehrheitlich aus den in der Schweiz durchgeführten Versuchen (Messprogramm IUL-FAT). Angegeben wird die Verlustreduktion (in Prozent) im Vergleich zu den aktuellen, in der Praxis üblichen Produktionsbedingungen.

Wo und wie weit sich die Massnahmen anwenden lassen, hängt stark von den Bedingungen ab, die auf dem einzelnen Betrieb und zur Zeit der Ausbringung vorliegen. Die sich daraus ergebenden Einschränkungen der Anwendbarkeit werden im Hinblick auf eine Gesamtbeurteilung ebenfalls diskutiert.

Organisation der Düngung (grundsätzliche Massnahmen)

Rücksichtnahme auf die Witterung

Die Ammoniakverflüchtigung ist stark witterungsabhängig. Durch die Wahl eines günstigen Ausbringzeitpunktes (kühl, feucht, windstill) lassen sich die Ammoniakverluste schon deutlich beeinflussen. Aufgrund des raschen Emissionsverlaufes sind dabei vor allem die ersten Stunden nach dem Austrag massgebend.

Für die Wahl eines vorteilhaften Ausbringtermins ergeben sich folgende Möglichkeiten:

1. Festlegung des Einsatzes auf einen **Tag** mit günstigen Bedingungen (kühl,

feuchte Luft). Bei Gülle dürfte diese Massnahme 20%, bei Mist wegen der länger dauernden Emission etwa 10% tiefere Verluste bewirken.

2. Wahl einer vorteilhaften Tageszeit: Ausbringung am Abend anstatt am Morgen oder Mittag. Abends ausgebrachte Gülle bewirkt einen stark abgeschwächten Emissionsanstieg, da nachts die Verflüchtigung aufgrund tiefer Temperaturen, hoher Luftfeuchtigkeit und schwachem Wind gebremst ist und die Gülle bis zum folgenden Morgen zu einem grossen Teil im Boden einsickern kann. In einem im Sommer bei schönem und warmem Wetter durchgeführten Versuch, in welchem die gleiche Gülle zu drei verschiedenen Tageszeiten ausgebracht wurde, resultierten bei der am Abend angewendeten Gülle Verluste, die um rund 35 bis 50% tiefer lagen als mit der morgens und mittags ausgebrachten Gülle (Abb. 2). Unter der Voraussetzung, dass die Ausbringung frühestens zwei Stunden vor Sonnenuntergang erfolgt, kann im Vergleich zur Standardemission (Ausbringung morgens um 10 Uhr) von einer Verlustreduktion von 25% ausgegangen werden. Da Mist nicht im Boden einsickern kann, hat die Tageszeit einen geringeren Einfluss als bei Gülle. Bei Mistanwendung am Abend wird deshalb nur mit 10% Emissionsminderung gerechnet.

3. Ausbringung bei leichtem Regen: Das Ausbringen während eines leichten Regens bewirkt, dass der Ammonium-N im Regenwasser gelöst und in den Boden eingewaschen wird. Unter der Annahme, dass bei sehr ungünstiger Witterung 90% und bei Ausbringung bei Regen nur noch 10% des applizierten Ammonium-N verloren gehen, können die Ammoniakverluste durch Ausbringung bei Regen im Extremfall um bis 80% gesenkt werden. Im Mittel dürfte die Verlustminderung sowohl bei Gülle als auch bei Mist etwa 40% betragen.

Die Rücksichtnahme auf die Witterung ist in der Praxis nicht immer einfach, da der Spielraum zur Ausnutzung optimaler Ausbringtermine häufig begrenzt ist. Einerseits reichen die Perioden mit günstigen Bedingungen oft nicht aus, um genügend Hofdünger ausbringen zu können, andererseits ist der N-Bedarf der Pflanzen häufig eng terminiert, so dass Gülle oder Mist innert weniger Tage ausgebracht werden muss. Die Ausbringung bei einsetzendem Regen erhöht nicht nur die Gefahr der Bodenverdichtung, sondern auch der Nährstoffabschwemmung, weshalb diese Massnahme nur empfohlen werden kann, wenn die Regenmenge einigermaßen zuverlässig abschätzbar und die Aufnahmefähigkeit des Bodens gewährleistet ist. Gegen die Ausbringung

am Abend oder in der Nacht sprechen im weiteren arbeitsorganisatorische Gründe (Freizeit, Nachbarn), so dass auch diese Massnahme nur teilweise angewendet werden kann.

Saisonale Planung des Hofdüngereinsatzes

Da das Verlustpotential im Sommer generell etwas grösser ist als in den übrigen Jahreszeiten, ist es denkbar, den Hofdüngereinsatz von den Risikomonaten (Juni bis August) entweder auf den Frühling vorzuerlegen oder auf den Herbst aufzuschieben, um hohe Temperaturen beim Ausbringen zu vermeiden. Dadurch sind Verlustminderungen von bis zu 20% möglich. Die Massnahme kommt allerdings nur bei Gülle in Frage, da die Mistanwendung sowohl im Acker- als auch im Futterbau zeitlich stark gebunden ist. Die Anwendung der Massnahme bedingt, dass der Betrieb bei der N-Düngung genügend Spielraum hat, im Sommer nur Mineraldünger einzusetzen. Faktisch kommt die Massnahme deshalb nur für Betriebe mit geringem Viehbesatz in Frage.

Beachtung des Bodenzustandes beim Gülleaustrag

Bei breitflächiger Gülleverteilung hat die Eindringgeschwindigkeit in den Boden einen entscheidenden Einfluss auf die Ammoniakverflüchtigung. Je rascher die Gülle im Boden versickert, desto schneller werden die Ammonium-Ionen an den Bodenteilchen gebunden. Bleibt die Gülle dagegen längere Zeit auf der Bodenoberfläche liegen, kann viel Ammoniak in die Luft entweichen.

Das Aufnahmevermögen des Bodens wird im wesentlichen durch den Wassergehalt, die Oberflächenstruktur, die Bodenbedeckung und den Bewuchs bestimmt. Die Gülleanwendung auf wassergesättigten, ausgetrockneten, verdichteten oder gefrorenen Böden erhöht das Verlustrisiko. Hohe Ammoniakverluste entstehen ausserdem bei Gülleanwendung auf eine Strohmulchschicht sowie auf eine geschlossene Pflanzendecke.

Durch Vermeidung des Gülleaustrages auf Böden mit schlechtem Aufnahmevermögen können die Emissionen um

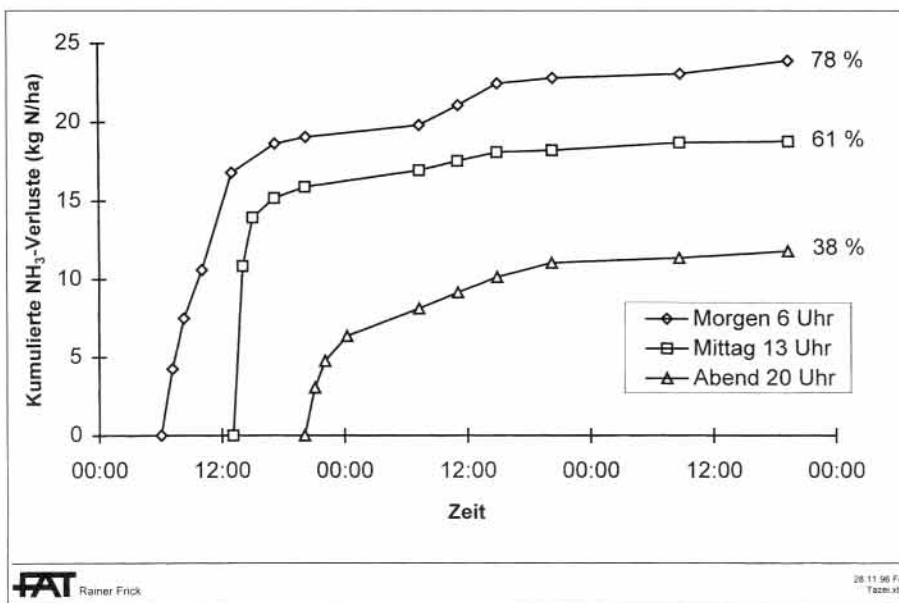


Abb. 2. Kumulierte Ammoniakverluste nach Ausbringung von Rindvieh-Vollgülle ($33 \text{ m}^3 \text{ pro ha}$) auf Kunstwiese zu drei verschiedenen Tageszeiten. Tänikon, August 1993. Die Prozentwerte entsprechen dem relativen Ammoniakverlust zur ausgebrachten Ammonium-N-Menge. Versuchsbeschreibung siehe Katz 1996.

maximal 20% reduziert werden. Die Anwendbarkeit stösst allerdings an Grenzen. Zielkonflikte bestehen, wenn beispielsweise das Befahren stark abgetrockneter oder leicht gefrorener Böden zur Vermeidung von Bodenschäden empfohlen wird, wegen schlechter Einsickerung der Gülle bei den gleichen Bedingungen aber erhöhte Verluste zu erwarten sind.

Verdünnung der Gülle mit Wasser

Die Verdünnung der Gülle mit Wasser ist eine altbewährte Massnahme zur Verbesserung der Pflanzenverträglichkeit (Vermeidung von Verkrustungen und Verätzungen an den Blättern). Auch die Wirkung zur Verminderung der Ammoniakverflüchtigung ist seit langem bekannt und in Versuchen mehrfach nachgewiesen. Die Wasserzugabe verringert den TS- und Ammonium-N-Gehalt in der Gülle. Verdünnte Gülle fliesst an den Pflanzen besser ab und dringt rascher in den Boden ein. Als Beispiel für die verlustmindernde Wirkung sei der in Tabelle 1 dargestellte Windtunnelversuch aufgeführt. Gegenüber der unverdünnten Variante liessen sich die Verluste durch eine Verdünnung von 1:1 (Teile Gülle: Teile Wasser) bereits um 40% verringern. Die Verlustreduktion verläuft allerdings nicht linear, was heisst, dass die Zugabe von Wasser vor allem am Anfang wirkt und eine sehr starke Verdünnung nur noch relativ wenig bringt. Eine Verdünnung von 1:1 bis 1:3 dürfte deshalb



Abb. 3. Die ausreichende Verdünnung ist eine wichtige Voraussetzung zur Vermeidung hoher Ammoniakverluste. Mit der Gülleverschlauchung wirkt sich eine starke Verdünnung dank der hohen Ausbringleistung kaum nachteilig aus.

ein sinnvoller Kompromiss zwischen Aufwand und Wirkung sein.

Zur Beschreibung der Wirkung der Verdünnung gilt es zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Verdünnung der Gülle ohne Anpassung der Ausbringmenge (abnehmende N-Menge).
2. Verdünnung der Gülle mit Anpassung der Ausbringmenge (gleiche N-Menge).

In der Praxis dürften beide Methoden zur Anwendung kommen. Welche Variante gewählt wird, hängt nicht zuletzt

vom vorhandenen Ausbringsystem ab: Während mit dem Fass die Ausbringmenge kaum variiert wird, kann diese mit der Verschlauchung oder Beregnung durch unterschiedliche Fahr- und Einzugsgeschwindigkeiten flexibel angepasst werden. Bei letzteren dürfte deshalb bei gezielt starker Verdünnung die zweite Variante relativ häufig zur Anwendung kommen.

Mit Hilfe eines aus der mehrjährigen Versuchstätigkeit abgeleiteten Modells (Katz 1996) konnten die in Tabelle 2 aufgeführten Wirkungen unterschiedlicher Verdünnung bei Rindvieh-Vollgülle eruiert werden (Basis: Verdünnungsgrad 1:1, Ausbringmenge 30 m³ pro ha). Die Ergebnisse dürften auch für andere Güllearten Gültigkeit haben.

Tabelle 1. Einfluss der Verdünnung auf die Ammoniakverluste während drei Tagen nach Anwendung von Rindvieh-Vollgülle. Windtunnelversuch, August 1995. In allen Tunnels wurden 35 m³ pro ha Gülle ausgebracht, das heisst mit zunehmender Verdünnung nahm die NH₄-N-Menge ab.

| Verdünnung ¹⁾ | TS-Gehalt % | NH ₄ -N-Gehalt kg N pro m ³ | NH ₃ -Verlust in % des appl. NH ₄ -N | Verlustreduktion in % ²⁾ |
|--------------------------|-------------|---|--|-------------------------------------|
| 1:0 | 7,1 | 3,9 | 95 | - |
| 1:0,5 | 4,8 | 2,6 | 74 | 22 |
| 1:1 | 3,6 | 2,0 | 57 | 40 |
| 1:2 | 2,4 | 1,3 | 42 | 56 |
| 1:3 | 1,8 | 1,0 | 29 | 69 |
| 1:4 | 1,4 | 0,8 | 22 | 77 |

¹⁾ Teile Gülle : Teile Wasser

²⁾ Gegenüber der unverdünnten Gülle

Einer starken Verdünnung sind in der Praxis entweder vom Flächenbedarf oder von den Ausbringmengen her rasch Grenzen gesetzt. Je höher der Verdünnungsgrad, desto grösser wird, bei gleicher Aufwandmenge, der Bedarf an zusätzlich zu begüllender Fläche, welche aber vor allem auf Betrieben mit hoher Tierdichte in der Regel fehlt. Auch die Ausbringmenge pro Flächeneinheit kann nicht beliebig erhöht werden. Insbesondere in Hanglagen nimmt sonst die Abschwemmungsgefahr rasch zu. Je nach Standort und Bodenverhältnissen sollte die Güllemenge höchstens

Tabelle 2. Wirkung unterschiedlich starker Verdünnung auf die Ammoniakverluste bei Gülleanwendung. Basis: Rindvieh-Vollgülle, Ausbringmenge 30 m³ pro ha, Verdünnung 1:1. Abgeleitet aus den Ergebnissen des schweizerischen Versuchsprogrammes (Katz 1996).

| 1. Verdünnung ohne Anpassung der Ausbringmenge (abnehmende N-Menge) | | | |
|---|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| Verdünnungsgrad ¹⁾ | Verluste ²⁾ pro ha | Flächenfaktor ³⁾ | Verluste ²⁾ total |
| 1:0 | + 120 % | 0,5 | + 10 % |
| 1:0,5 | + 40 % | 0,75 | + 5 % |
| 1:2 | - 40 % | 1,5 | - 10 % |
| 1:3 | - 60 % | 2 | - 15 % |
| 1:4 | - 70 % | 2,5 | - 20 % |

| 2. Verdünnung mit Anpassung der Ausbringmenge (gleiche N-Menge) | | |
|---|------------------------------|-------------------------------------|
| Verdünnungsgrad ¹⁾ | Verlust ²⁾ pro ha | Ausbringmenge m ³ pro ha |
| 1:0 | + 50 % | 15 |
| 1:0,5 | + 20 % | 22,5 |
| 1:2 | - 20 % | 45 |
| 1:3 | - 30 % | 60 |
| 1:4 | - 40 % | 75 |

¹⁾ Teile Gülle : Teile Wasser

²⁾ Verlusterhöhung bzw. Verlustminderung, ausgehend von einem Verdünnungsgrad von 1:1

³⁾ Benötigte Fläche zur Quantifizierung der effektiven Wirkung

40 bis 60 m³ pro ha betragen (Wegleitung Gewässerschutz, BLW und BUWAL 1994).

Weitere Nachteile einer starken Verdünnung sind:

- Erhöhung der notwendigen Lagerkapazität und Einschränkung des Anwendungsspielraums;
- Vergrösserung des Transportvolumens und dadurch der Bodenbelastung durch häufigeres Befahren;
- Erhöhung des Arbeitsaufwandes und der Ausbringkosten.

Abbildung 4 zeigt die jährlichen Ausbringkosten in Abhängigkeit der jährlich auszubringenden Güllemenge beziehungsweise der entsprechenden Verdünnung mit einem Vakuumfass (4000 l Inhalt) und einer Verschlauchungsanlage (Einmannbetrieb mit Verteilautomat und Funkfernsteuerung) für eine Hektare und 500 m Feldentfernung. Bei beiden Verfahren sind sämtliche Maschinen und Geräte im Eigentum. Es ist zu berücksichtigen, dass bei einer Jahresmenge von 800 m³ aufgrund der relativ tiefen Auslastung bei beiden Verfahren die Möglichkeit zum überbetrieblichen Einsatz besteht und dadurch die Fixkosten gesenkt werden können.

Wie die Werte zeigen, verläuft der Kostenanstieg je nach Ausbringverfahren recht unterschiedlich. Bei einer Verdoppelung der auszubringenden Menge, wie sie zum Beispiel bei einer Erhöhung des Verdünnungsgrades von 1:1 auf 1:3 entsteht, nehmen die jährlichen Ausbringkosten (Maschinen- und Arbeitskosten) mit dem Fass um über 50%, mit der Verschlauchung dagegen nur um gut 30% zu. Dieser Unterschied steht mit der Ausbringleistung im Zusammenhang, welche beim Verschlauchungen grösser ist als mit dem Fass, besonders dann, wenn grosse Flächen in einem Zug begüllt werden können. Betriebe mit Verschlauchungs- oder Verregnungsanlagen sollten deshalb bemüht sein, die Gülle stark zu verdünnen.

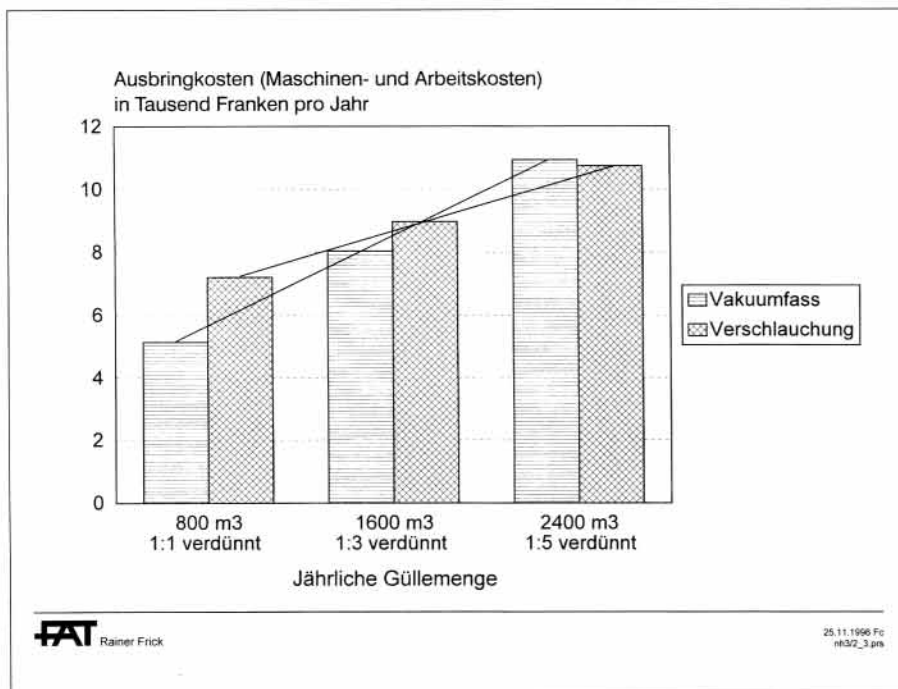


Abb. 4. Jährliche Kosten für die Gülleausbringung (1 Hektare Gülle bei 500 m Feldentfernung) für die Verfahren Vakuumfass (4000 l Inhalt) und Verschlauchungsanlage bei unterschiedlichen Jahresmengen bzw. Verdünnungen.

Bodenbearbeitung im Ackerbau

Bei der Hofdüngeranwendung im Ackerbau lassen sich die Ammoniakverluste in Verbindung mit der Bodenbearbeitung auf zwei Arten beeinflussen: durch Einarbeitung von Gülle und Mist **nach** dem Austrag sowie durch Lockerung der Bodenoberfläche **vor** der Gülleanwendung zur Verbesserung der Infiltration.

Einarbeitung nach dem Hofdüngeraustrag

Das Einarbeiten erfolgt üblicherweise in Verbindung mit der Grundbodenbearbeitung oder der Saatbettherrichtung. Als Geräte kommen beim Mist der Pflug oder der Grubber, bei Gülle neben dem Pflug auch nicht rotierende Bearbeitungsgeräte (Schälgrubber, Zinkenegge) in Frage.

Weil der Grossteil der Ammoniakverluste sowohl bei Gülle als auch bei Mist bereits in den ersten Stunden nach dem Ausbringen erfolgt, haben Einarbeitungsmaßnahmen nur eine gute Wirkung, wenn diese unmittelbar nach dem Austrag durchgeführt werden.

Je nach Dauer zwischen Ausbringung und Einarbeitung werden die folgenden Wirkungen erzielt:

Einarbeitung innerhalb von:

- 2 Stunden nach dem Austrag: 60% weniger Verlust

- 4 Stunden nach dem Austrag: 40% weniger Verlust
- 24 Stunden nach dem Austrag: 20% weniger Verlust.

Diese Werte gelten für den Pflug mit vollständiger Einarbeitung. Mit Grubbern, die nur oberflächlich einarbeiten, ist die Wirkung um rund einen Drittel schlechter.

Bei Gülle ist das nachträgliche sofortige Einarbeiten kaum möglich (Schlupf, Verschmieren des Bodens), weil der begüllte Boden erst dann befahren werden kann, wenn die Gülle eingetrocknet ist. Im Normalfall ist dies frühestens am folgenden Tag der Fall. Die mögliche Verlustreduktion beträgt dann allerdings höchstens noch 20%. Das sofortige Einarbeiten ist deshalb in erster Linie bei Mistanwendung zu empfehlen.

Bodenlockerung vor der Gülleanwendung

Bei der Gülleanwendung bietet sich als weitere Möglichkeit das vorgängige Lockern des Bodens an. Durch einen Bearbeitungsgang vor dem Ausbringen kann die Versickerung der Gülle beschleunigt und die Ammoniakverflüchtigung reduziert werden. Die Bearbeitung wird vorteilhaft mit Geräten ausgeführt, die den Boden nicht zu fein bearbeiten (zum Beispiel Schälgrubber, Spatenrolle).ge).

Die Massnahme kann zu folgenden Jahreszeiten und in folgenden Ackerkulturen angewendet werden:

- Im Frühling vor der Saat der Hauptkultur (Mais, Rüben, Kartoffeln, Sommergetreide), maximal 30 m³ pro ha;
- Im Sommer oder Herbst vor der Saat von überwinternden Zwischen- oder Ackerkulturen (Wintergetreide, Raps);
- Im Sommer nach der Ernte von Getreide und Raps (mit anschliessender Zwischenkultur);
- Im stehenden Mais im Vier- bis Achtblatt-Stadium mit einem Reihenhackgerät.

Wie ein in Tänikon durchgeführter Versuch auf einem abgeernteten Getreidefeld zeigt, können die Ammoniakverluste durch eine Bearbeitung vor dem Gülleaustrag um 15 bis 25% reduziert werden (Abb. 6). Mit dem Schälgrubber, der eine ziemlich grobe Struktur hinterlässt, war die Wirkung etwas besser als mit dem Zinkenrotor. Auf verdichteten Böden und bei warmem Wetter kann es deshalb sinnvoll sein, die Stoppelbearbeitung vor und nicht nach der Gülleanwendung vorzunehmen.

Der Nachteil ist allerdings, dass wegen des erhöhten Rollwiderstandes für das Ziehen des vollen Güllefassens auf dem gelockerten Boden viel Zugkraft erforderlich ist. Die Massnahme des vorgängigen Lockerns empfiehlt sich deshalb vor allem dort, wo die Gülle nachher mit dem Beregnungsautomaten oder mit einer Verschlauchung ausgebracht wird.

Herkömmliche Verteiltechniken wie beispielsweise Prallteller oder Werfer zeichnen sich durch eine breitflächige Gülleverteilung aus. Durch die vollständige Benetzung der Bodenoberfläche wird die Ammoniakverflüchtigung stark begünstigt.

Technik für emissionsarme Gülleausbringung

Das Ziel spezieller Techniken für die verlustarme Gülleausbringung ist es, die Kontaktfläche zwischen Gülle und Luft sowie die Verweilzeit der Gülle auf dem Boden zu reduzieren. Die Entwicklung neuer Geräte und Maschinen ist in den letzten Jahren in Ländern wie Holland stark vorangetrieben worden. Vom Prinzip her unterscheidet man heute Systeme mit oberflächiger, streifenförmiger Gülleablage (Schlepp-



Abb. 5. Mistanwendung im Ackerbau: So rasch als möglich einarbeiten, am besten noch während der Ausbringung! Der Pflug erzielt zwar die beste Wirkung; dem Grubber ist aber zur besseren Verrottung des Mistes der Vorzug zu geben.

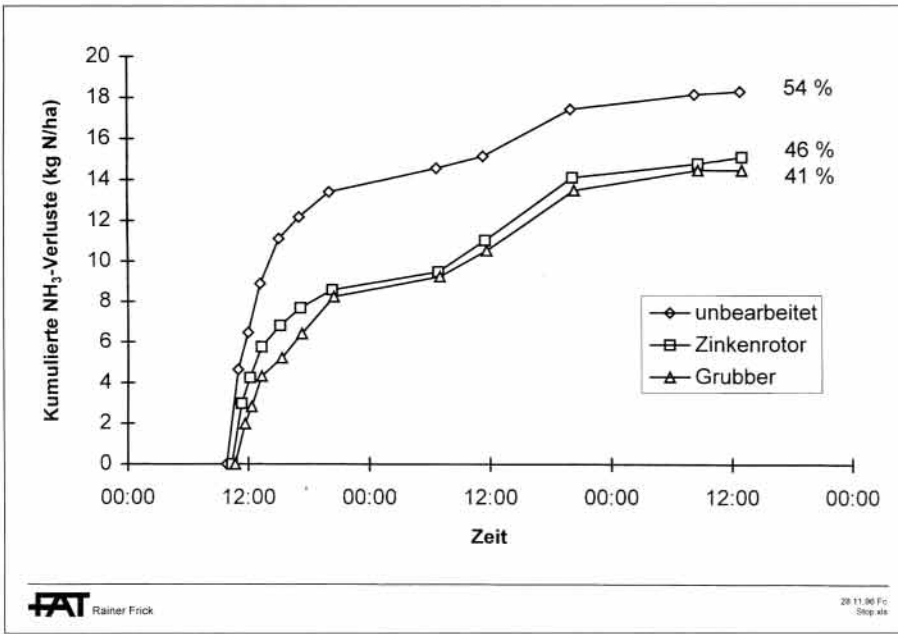


Abb. 6. Kumulierte Ammoniakverluste in den ersten zwei Tagen nach Ausbringung von Rindvieh-Vollgülle ($34 \text{ m}^3 \text{ pro ha}$) auf Getreidestoppeln mit unterschiedlicher Bearbeitung vor dem Austrag. T \ddot{a} nikon, August 1992. Die Prozentwerte entsprechen dem relativen Ammoniakverlust zur ausgebrachten Ammonium-N-Menge. Versuchsbeschreibung siehe Katz 1996.

schlauch- und Schleppschuhgeräte) und solche mit direkter Einleitung der Gülle in den Boden (Schlitzdrill, Tiefinjektion; Abb. 7). Im Gegensatz zur Gülle bieten sich für die emissionsarme Ausbringung von Mist bis heute keine Alternativen zur herkömmlichen Technik an.

Schleppschlauchverteiler

Beim Schleppschlauchverteiler wird die Gülle über eine Vielzahl von flexiblen, an einem Gestänge befestigten Schläuchen bandförmig auf dem Boden abgelegt. Die Abstände zwischen den einzelnen Schläuchen betragen je nach Fabrikat 20 bis 30 cm. Schleppschlauchverteiler gibt es in Arbeitsbreiten von 9 bis 18 Meter. Das

Gewicht eines 12 m breiten Gerätes beträgt rund 600 kg. Schleppschlauchverteiler können an ein Pumpfass oder an die Dreipunkt-hydraulik (Verschlauchung) angebaut werden. Die meisten der heute in der Schweiz im Einsatz stehenden Geräte sind Dreipunktausführungen. Für die Güllezuteilung unterscheidet man drei Systeme:

- Zentraler Verteilerkopf mit hydraulisch oder mechanisch (Zapfwelle) angetriebenem Drehrotor, der den Zufluss auf die kreisförmig angeordneten Ablaufschläuche steuert (Lochverteilerprinzip);
- Verteilbalken mit paarweiser Anordnung der Ausgänge und elektronisch oder elektromagnetisch gesteuerten Druckluftventilen (Taktomat);
- Querbalken mit integrierter Umlaufschnecke.

Bei den Geräten mit dem Lochverteilerprinzip kann es je nach verwendeter Gülleart zu Verstopfungen an den Ausgängen des Verteilerkopfes kommen. Verursacht werden diese hauptsächlich durch zähes Heu, langes Stroh oder kleine Holzstücke. Probleme gibt es vor allem mit Rindvieh-Vollgülle und beim Anbau des Schleppschlauchverteilers an der Dreipunkthydraulik. In diesen Fällen kann der Einbau eines Feststoffabscheiders bei der Pumpe oder eines speziellen Schneidwerkes im Verteilerkopf notwendig sein. Bei den Systemen Taktomat und Schneckenverteiler ist die Verstopfungsanfälligkeit geringer.

Ein weiterer Nachteil ist die eingeschränkte Hangtauglichkeit. Für diese ist aber weniger das Gewicht des Schleppschlauchverteilers als die erschwerte Manövrierbarkeit verantwortlich. Die Einsatzgrenzen liegen bei 20% Hangneigung für den Anbau am Fass bzw. 30% bei Direktanbau am Traktor.

Auf Wiesen ist es wegen der konstanten Arbeitsbreite oft schwierig, beim Hin- und Herfahren den Anschluss an die letzte Durchfahrt genau zu treffen. Besonders auf kleinen, unförmigen Parzellen sind Ungenauigkeiten in der Verteilung (Lücken, doppeltes Begüllen) kaum zu vermeiden.

Ein Schleppschlauchverteiler (12 m Arbeitsbreite) kostet je nach Fabrikat und Ausführung Fr. 15 000.- bis Fr. 18 000.-. Zusatzkosten in der Grösse von zirka Fr. 800.- bis Fr. 2 000.- ergeben sich beim Einbau eines Hanga-

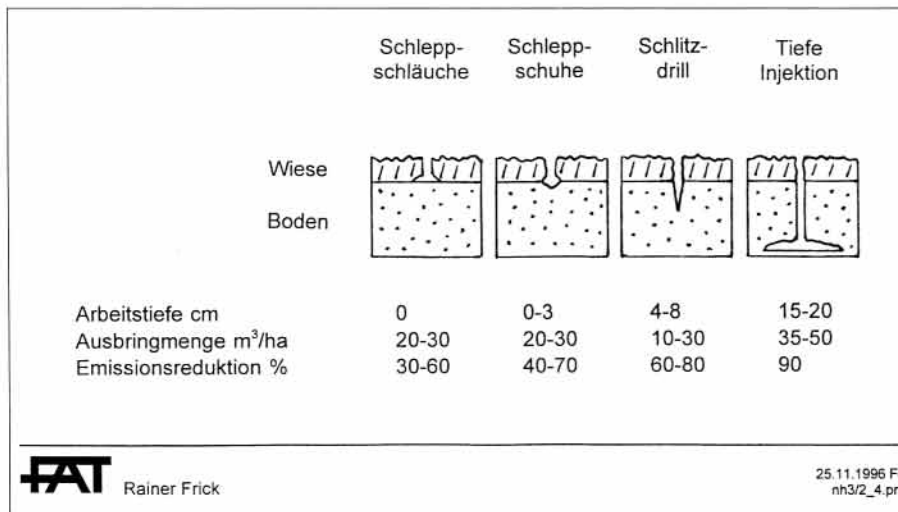


Abb. 7. Arten der Ablage bzw. Einleitung der Gülle bei den verschiedenen Techniken für die verlustarme Gülleausbringung.



Abb. 8. Der Schleppschauchverteiler spielt seine Vorteile (konstante Arbeitsbreite, hohe Verteilpräzision) besonders im Ackerbau aus, kann aber ohne weiteres auch im Futterbau eingesetzt werden.

gleiches und eines speziellen Schneidwerkes.

Schleppschauchverteiler erzielen gegenüber breitflächiger Gülleanwendung Verlustminderungen von bis zu 60%. Diese ergeben sich durch die streifenförmige Gülleablage und die dadurch stark reduzierte Kontaktfläche zur Umgebungsluft. Allerdings kann die Wirkung je nach den herrschenden Bedingungen recht unterschiedlich sein,

wie die in Tänikon durchgeführten Versuche zeigen (Tab. 3). Während im ersten Versuch mit kühlen Temperaturen und nassem Boden die Verluste mit dem Schleppschauchverteiler nur um etwa 30% geringer ausfielen, resultierte mit demselben Verfahren (allerdings mit engerem Abstand der Schläuche) in einem zweiten Versuch bei heisser Witterung eine Verlustreduktion von über 60%. Dies lässt den Schluss zu,

dass Schleppschauchverteiler besonders dann sehr wirksam sind, wenn aufgrund ungünstiger Bedingungen (heiss, trocken, schlechte Versickerung) hohe Verluste entstehen.

Schleppschuhverteiler

Schleppschuh- oder Gleitschuhgeräte sind eine Weiterentwicklung der Schleppschauchverteiler. An jedem Schlauchauslauf befindet sich eine schuhähnliche Verstärkung, welche den Pflanzenbewuchs beiseite drückt und den Boden oberflächlich leicht anritzt. Schleppschuhverteiler sind hauptsächlich für Wiesland konzipiert, können aber bedingt auch in Ackerkulturen (niedere Getreide- und Rapsbestände) eingesetzt werden.

Gegenüber dem Schleppschauchverteiler ist der Zugkraftaufwand etwas höher. Die Abstände zwischen den einzelnen Ausläufen sind gleich wie bei den Schleppschauchgeräten. Die Arbeitsbreiten betragen 3 bis 7 m. Wie die Schleppschauchverteiler können sie sowohl am Fass als auch am Heckhubwerk des Traktors angebaut werden.

Schleppschuhgeräte sind pro Meter Arbeitsbreite etwas schwerer als Schleppschauchverteiler. Wegen der kleineren Arbeitsbreite ist die Hangtauglichkeit dennoch nicht schlechter. Angebaut an einem Fass liegt die Einsatzgrenze bei 20% Hangneigung, bei Anbau am Traktor bei 30%. Bezüglich Verstopfungsanfälligkeit gelten die gleichen Einschränkungen wie bei den Schleppschauchverteilern.

Der Neuwert eines Schleppschuhgerätes beträgt (ohne Fass) Fr. 25 000.– bis Fr. 35 000.–. Ein mit einem Schleppschuhgerät ausgerüstetes Pumpfass kostet je nach Ausführung und Grösse des Fasses Fr. 48 000.– bis Fr. 68 000.–. Mit Schleppschuhen sind gegenüber breitflächiger Verteilung je nach Bedingungen Verlustreduktionen von 40 bis 70% möglich. Die gegenüber Schleppschauchverteilern noch etwas bessere Wirkung erklärt sich durch den intensiveren Kontakt, der zwischen Boden und ausgebrachter Gülle zustandekommt. Allerdings kann diese nur in Beständen mit Filz (Gemeines und Einjähriges Rispengras) oder mit relativ hohem Aufwuchs (Weiden) erwartet werden. In den bei uns üblichen Stadien der Gülleanwendung (kurz ge-

Tabelle 3. Ammoniakverluste nach drei Tagen bei Gülleanwendung (30–32 m³ pro ha) auf Kunstwiese mit unterschiedlicher Ausbringtechnik

| Verfahren | Ausbringzeitpunkt | Ausgebrachte NH ₄ -N-Menge kg N pro ha | NH ₃ -Verlust kg N pro ha | NH ₃ -Verlust % |
|---|-------------------|---|--------------------------------------|----------------------------|
| <i>Versuch 1:</i> Rindvieh-Vollgülle mit 2,8 % TS und 0,8 kg NH ₄ -N pro m ³ , Temperatur beim Ausbringen 14°C, nasser Boden, Juli 1993. | | | | |
| Prallteller | 10:15 | 26,7 | 13,1 | 50 |
| Schleppschräume ¹⁾ | 09:50 | 24,7 | 9,2 | 37 |
| Schlitzdrill | 09:15 | 26,3 | 6,4 | 24 |
| <i>Versuch 2:</i> Rindvieh-Vollgülle mit 3,4 % TS und 0,8 kg NH ₄ -N pro m ³ , Temperatur beim Ausbringen 24°C, trockener Boden, Juli 1994. | | | | |
| Prallteller | 10:45 | 23,7 | 22,6 | 94 |
| Schleppschräume ²⁾ | 09:50 | 23,0 | 7,4 | 32 |
| Schlitzdrill | 10:20 | 26,0 | 4,0 | 15 |

¹⁾ Abstand der Ablaufschläuche: 40 cm

²⁾ Abstand der Ablaufschläuche: 25 cm



Abb. 9. Schleppschuhverteiler gelten im Ausland für die Verwendung im Futterbau als sinnvolle Alternative, bieten aber in der Schweiz gegenüber dem Schleppschlauch kaum Vorteile.

nach Fassgrösse und Ausführung zwischen Fr. 51 000.– und Fr. 170 000.–. Aufgrund der heute vorliegenden Erfahrungen mit Schlitzdrillmaschinen zeigen sich verschiedene Nachteile, welche die Einsatzmöglichkeiten teilweise erheblich einschränken und unter schweizerischen Bedingungen (schwere Böden, Futterbau am Hang) besonders stark ins Gewicht fallen:

- Unbefriedigende Arbeitsqualität auf feuchten bis nassen, tonhaltigen und steinigten Böden;
- Gefahr von nachhaltigen Beschädigungen der Grasnarbe durch das Schlitzdrill, besonders auf bindigen Böden und bei Trockenheit. Die in Schlitznähe entstehenden Lücken können durch minderwertige Arten besiedelt werden, was Ertrag und Qualität des Bestandes beeinträchtigt;
- Hoher Zugkraftbedarf und dadurch Gefahr der Bildung von Schlupf- und Spurschäden;

schnittene Wiese) dürfte die Wirkung jedoch nicht besser als mit dem Schleppschlauchverteiler sein.

Schlitzdrill (flache Gülleinjektion)

Beim Schlitzdrill wird der Boden bzw. die Grasnarbe von einem schneidenden Werkzeug (Scheibensech, konische Hohl-scheibe) 4 bis 8 cm tief aufgeschnitten. Eine Schar erweitert den aufgeschnittenen Schlitz, welcher mit Gülle gefüllt und von der nachlaufenden Druckrolle wieder geschlossen wird.

Die ausschliesslich für Grünland entwickelten Drillgeräte sind stets an grösseren Druck- oder Pumpfässern (ab 6000 l Inhalt) angebaut. Die Arbeitsbreiten variieren von 2,4 bis 6 m. Die einzelnen Drillaggregate haben Abstände von 20 bis 30 cm. Die benötigte Traktorleistung beträgt 60 bis 130 kW und ist neben der Fassgrösse von der Arbeitsbreite, der Arbeitstiefe und vom Boden (Feuchtigkeit, Ton- und Steingehalt) abhängig. Die ganz grossen Maschinen sind auch als Selbstfahrer gebaut und benötigen Motoren mit bis zu 180 kW Leistung.

Der Preis für ein Schlitzdrillgerät beträgt rund Fr. 27 000.– bis Fr. 47 000.–. Ein mit einem Schlitzgerät ausgerüstetes Vakuum- bzw. Pumpfass kostet je

Abb. 10. Schlitzdrill auf Wiesen: In Abständen von 25 cm wird die Grasnarbe aufgeschnitten und die Schlitz mit Gülle gefüllt. Auf schweren, schlecht abgetrockneten Böden befriedigt die Arbeitsqualität nicht.





Abb. 11. Gülleeinleger im Mais (Tiefinjektion): Mit zwei starren Grubberzinken wird die Gülle bis 20 cm tief in den Boden geleitet. Dadurch lassen sich Ammoniakverluste praktisch unterbinden.

– Schlechte Bodenschonung durch die hohen Maschinengewichte und die kleine Arbeitsbreite, die eine hohe Anzahl Überfahrten pro Fläche mit sich bringt;

– Stark eingeschränkte Hangtauglichkeit (unter 10% Hangneigung), hohe Unfallgefahr.

Mit Schlitzdrillmaschinen können die Emissionen gegenüber breitflächiger Verteilung je nach Witterung und Boden um 50 bis 80% vermindert werden (Tab. 3). Wie beim Schleppschlauch ist die Verlustminderung bei günstigen Wetterverhältnissen (kühle Temperatur, hohe Luftfeuchtigkeit) weniger ausgeprägt als bei schlechten Bedingungen. Zudem zeigte sich, dass das Schlitzzen auf schweren, tonhaltigen und veräsnsten Böden schlecht funktioniert (unsauberes Schliessen der Schlitzze) und dies die Wirkung entsprechend verschlechtert.

Tiefe Gülleinjektion

Bei der Tiefinjektion reissen starre Zinken oder Grubber in Abständen von mindestens 50 cm 15 bis 20 cm tiefe Furchen in den Boden, welche mit Gülle gefüllt werden.

Die mit Grubberscharen ausgerüsteten Grünlandgeräte haben Arbeitsbreiten von 2 bis 3 m (vier oder sechs Schare in Abständen von 50 cm). Die notwendige Traktorleistung beträgt je nach

Fassgrösse, Anzahl und Arbeitstiefe der Schare 75 bis 90 kW. In der Schweiz gibt es bisher keine Geräte für tiefe Gülleinjektion auf Grünland.

Die als «Güllegrubber» bezeichneten Ackerlandgeräte haben Arbeitsbreiten von 3 bis 4,5 m (zwei bis sechs Grubber in Abständen von 50 bis 150 cm). Sie erfordern Traktorleistungen von 60 bis 100 kW. Die bei uns verwendeten Ackerlandinjektoren sind Ausführun-

gen im Heck- oder Frontanbau am Fass. Ein Gülleinjektor kostet je nach Ausführung und Grösse des Fasses Fr. 28 000.– bis Fr. 53 000.–.

Das Verfahren der tiefen Gülleinjektion verlangt tiefgründige und weitgehend skelettfreie Böden. Die in der Schweiz verbreitet flachgründigen und tonigen Böden schränken daher die Anwendungsmöglichkeiten stark ein. Zudem führt das tiefe Einarbeiten bei Nässe zu Verschmierungen, die Strukturschäden in einer kritischen Bodentiefe mit sich ziehen, welche der Boden vielfach nicht mehr regenerieren kann. Aus der Sicht der Bodenschonung nachteilig ist auch der hohe Zugkraftbedarf, der gegenüber einem normalen Fass zweibis viermal höher ist und somit die Gefahr von Schlupfschäden stark erhöht. In sandigen und schluffreichen Böden mit geringem Steinanteil funktioniert die Tiefinjektion zwar gut, bringt aber wegen der hohen Durchlässigkeit dieser Böden eine grosse Gefahr der Nährstoffauswaschung mit sich, was insbesondere bei hohen Güllegaben nachteilig sein dürfte. Weiter wird vermutet, dass durch die tiefe Gülleinjektion erhöhte Denitrifikationsverluste entstehen.

Im Vergleich zu breitflächiger Gülleanwendung erzielt die Tiefinjektion eine Verlustreduktion von bis zu 90%. In nassen Böden ist die Wirkung allerdings schlechter.



Abb. 12. Tiefinjektor auf Wiesen: Grosser Zugkraftbedarf, Gefahr von Schmier-schäden in kritischer Bodentiefe. Wegen den verbreitet schweren Böden ist die Technik bei uns nicht zu empfehlen.



Abb. 13. Schlitzdrillmaschine (gezogene Ausführung): nur noch wenig Ammoniakverluste, doch was sagen unsere Böden zum Gesamtgewicht von über 14 t (ohne Traktor)?

zeit die vielversprechendste Lösung. Sie zeigen eine gute Wirkung (auch wenn diese im Vergleich zu anderen Techniken schlechter ist) und keine bedeutenden Nachteile, welche die Anwendungsmöglichkeiten stark einschränken. Zudem ist der Anschaffungspreis für grössere Betriebe, auf denen jährlich viel Gülle anfällt, noch tragbar. Trotzdem ist für einen wirtschaftlichen Einsatz die überbetriebliche Verwendung (Anschaffung zu zweit oder zu dritt) zu empfehlen. Schleppschuhgeräte, in Deutschland zurzeit stärker propagiert, dürften bei uns kaum eine grössere Bedeutung erlangen. Einerseits ist die verlustsenkende Wirkung kaum besser, andererseits sind sie für den Einzelbetrieb bereits zu teuer und praktisch nur noch für den Lohnunternehmer interessant. Schlitzdrillmaschinen erzielen zwar eine sehr gute Wirkung, stellen aber dennoch keine empfehlenswerte Alternativen dar.

Gesamtbeurteilung und Folgerungen

In Tabelle 4 sind die verschiedenen Möglichkeiten zur Minderung der Ammoniakverluste beim Hofdüngeraus- trag sowie die damit erzielbaren Ver- lustreduktionen zusammengefasst. Es ist zu beachten, dass die verschie- denen Massnahmen zum Teil auch kom- biniert angewendet (zum Beispiel Zeit- punkt und Verdünnung) und so die Wir- kungen entsprechend erhöht werden können. Wegen Interaktionen zwis- chen den Massnahmen können die Werte für die Einzelwirkung allerdings nicht einfach addiert werden. Eine dif- ferenzierte Abhandlung dieser Aspek- te sowie möglicher Reduktionspoten- tiale findet sich im Bericht «Ammoniak- Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Re- duktionspotentials» (Menzi, Frick und Kaufmann 1997). Der Vergleich der Massnahmen hin- sichtlich ihrer Einzelwirkung zeigt, dass die grössten Verlustreduktionen durch Verwendung spezieller Gülleausbring- techniken möglich sind. Deren Einsatz- möglichkeiten sind jedoch teilweise stärker eingeschränkt, wie aus der ver- gleichenden Beurteilung der verschie- denen Systeme hervorgeht (Tab. 5). Schleppschlauchverteiler sind unter den heute angebotenen Techniken zur-

Tabelle 4. Wirkungen der bei der Hofdüngerausbringung möglichen Massnahmen zur Reduktion von Ammoniakverlusten. Wirkung = Verlust- reduktion in Prozent der Emission unter aktuellen Produktions- bedingungen.

| Massnahme | Verlustreduktion in % | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|
| | Gülle | Mist |
| A. Organisation der Düngung | | |
| 1. Rücksichtnahme auf die Witterung | | |
| 1.1 Wahl eines Tages mit günstigen Bedingungen | 20 | 10 |
| 1.2 Wahl der Tageszeit | 25 | 10 |
| 1.3 Ausbringen bei leichtem Regen | 40 | 40 |
| 2. Saisonale Planung des Hofdüngereinsatzes | 20 | - |
| 3. Beachtung des Bodenzustandes | 20 | - |
| 4. Gülleverdünnung | 10-30 ¹⁾ | - |
| B. Technische Massnahmen | | |
| 1. Bearbeitungsmassnahmen im Ackerbau | | |
| 1.1 Nachträgliches Einarbeiten | 20 ^{2)/40³⁾} | 20 ^{2)/40³⁾} |
| 1.2 Lockern vor dem Gülleaustrag | 20 | - |
| 2. Gülleausbringtechnik | | |
| 2.1 Schleppschläuche | 45 | - |
| 2.2 Schleppschuhe | 50 | - |
| 2.3 Schlitzdrill | 70 | - |
| 2.4 Tiefe Injektion | 90 | - |

¹⁾ Je nach Verdünnungsgrad, maximal 1:3 (1 Teil Gülle, 3 Teile Wasser)

²⁾ Bei Einarbeitung innerhalb von 24 Stunden

³⁾ Bei Einarbeitung innerhalb von 4 Stunden

Tabelle 5. Vergleichende Beurteilung verlustarmer Gülleausbringetechniken

| Kriterium | Breitverteiler | Schleppschläuche | Schleppschuhe | Schlitzdrill | Tiefinjektion |
|--------------------------|----------------|------------------|----------------|---------------------|---------------------|
| Anwendung | Wiese, (Acker) | Acker und Wiese | Wiese, (Acker) | Wiese | Wiese oder Acker |
| Verlustpotential | hoch | mittel | mittel | gering | sehr gering |
| Verteilgenauigkeit | mässig | sehr gut | sehr gut | sehr gut | gut |
| Windanfälligkeit | hoch | gering | keine | keine | keine |
| Gefahr von Narbenschäden | gering | gering | mittel | hoch | hoch |
| Zugkraftbedarf | gering | gering | mittel | hoch | sehr hoch |
| Einsatzmöglichkeiten | vielseitig | eingeschränkt | eingeschränkt | stark eingeschränkt | stark eingeschränkt |
| Kosten | tief | mittel | hoch | sehr hoch | hoch |

native dar. Einer breiten Anwendung stehen nicht nur die vielen Nachteile (hohe Maschinengewichte, grosser Zugkraftbedarf, schlecht hangtauglich, Gefahr von Narbenschäden usw.) im Wege, sondern auch die sehr hohen Kosten, die selbst für den Lohnunternehmer an Grenzen stossen. Voraussetzung für einen breiten Einsatz wäre im weiteren, dass die Maschinen an die schweizerischen, vom Ausland abweichenden Bedingungen angepasst würden (kleinere Fässer, allenfalls Anbau ans Heckhubwerk des Traktors). Noch ungünstiger sind die Aussichten für die Tiefinjektion. Im Futterbau scheitert die Technik vor allem an den Voraussetzungen bezüglich Boden (schwer, feucht, steinig). Im Ackerbau ist die Tiefinjektion zumindest auf leichten Böden grundsätzlich anwendbar, kann aber wegen der Gefahr der N-Auswaschung auch hier nur bedingt empfohlen werden. Wo die Anschaffung eines Schleppschlauchverteilers wegen der Kosten oder aus anderen Gründen nicht in Frage kommt, bleibt nur die Umsetzung der grundsätzlichen Massnahmen im Bereich der Organisation der Düngung (Zeitpunkt der Anwendung, Gülle verdünnen, Einarbeiten usw.). Die Wirkungen sind, einzeln angewendet, vergleichsweise bescheiden. Der Spielraum für deren Anwendung ist aber ungleich grösser, so dass die Gesamtwirkung unter dem Strich nicht viel schlechter ist. Einfache, grundsätzliche Massnahmen (siehe Kasten) haben den grossen Vor-

teil, dass sie kostengünstig und problemlos umsetzbar sind. Bevor die Anschaffung teurer Technik ins Auge gefasst wird, sollte versucht werden, diese Möglichkeiten bis zum Optimum auszuschöpfen. Man erreicht damit nicht nur eine bessere Effizienz des eingesetzten Stickstoffes (Einsparung von Düngerkosten), sondern leistet zudem einen wichtigen Beitrag zur Schonung der Umwelt.

Literatur

BLW, BUWAL, 1994. Wegleitung Gewässerschutz, Bereich Hofdünger.

Frick R., Menzi H. und Katz P., 1996. Ammoniakverluste nach der Hofdüngeranwendung. FAT-Berichte Nr. 486.

Katz P., 1996. Ammoniakemissionen nach der Gülleanwendung auf Grünland. Dissertation ETH Nr. 11382.

Menzi H., Frick R. und Kaufmann R., 1997. Ammoniak-Emissionen in der Schweiz: Ausmass und technische Beurteilung des Reduktionspotentials. Schriftenreihe der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), in Vorbereitung.

Empfehlungen zur Vermeidung hoher Ammoniakverluste bei der Hofdüngeranwendung

Rücksichtnahme auf die Witterung:

- Anwendung bei Hitze und Wind vermeiden
- Ausbringung auf Tage mit kühlem, feuchtem und windstillem Wetter legen
- Am späten Nachmittag oder Abend ausbringen
- Ausbringung kurz vor oder während leichtem Regen (nur wenn starke und ausgedehnte Niederschläge ausgeschlossen werden können)

Verdünnen der Gülle mit Wasser (anzustrebende Verdünnungsgrade):

- Rindervollgülle: 1:1 mit Fass, 1:2 mit Verschlauchung
- Kotarme Gülle und Schweinegülle: 1:2 mit Fass, 1:3 mit Verschlauchung

Beachten des Bodenzustandes beim Güllen:

- Gülle nur auf saugfähigen Boden ausbringen
- Anwendung auf wassergesättigten, ausgetrockneten und verkrusteten Böden vermeiden

Im Ackerbau: Boden lockern und Hofdünger rasch einarbeiten:

- Gülle: Boden mit Schälgrubber, Zinkenrotor usw. vor der Anwendung lockern
- Mist: Mit Grubber oder Pflug sofort (innerhalb der ersten Stunden) nach dem Ausbringen einarbeiten

Gülleausbringetechnik: Verwendung von Schleppschlauchverteilern