

Massnahmen, um Ammoniakemissionen zu vermindern

Urs SCHMIDHALTER, Institut für Pflanzenwissenschaften, Gruppe Pflanzenernährung, ETHZ, CH-8315 Lindau

Der Stickstoffanteil der Gülle besteht etwa zur Hälfte aus Ammoniumstickstoff. Beim Ausbringen von Flüssigmist kann ein beträchtlicher Teil des ausgebrachten Ammoniumstickstoffs als Ammoniak in die Luft entweichen. Ammoniakverluste, die beim Ausbringen von Wirtschaftsdüngern auftreten, sind mit einem Anteil von ca. 40 - 50 % an der Gesamtbelastung die wichtigste Quelle für Ammoniak in der Umwelt. Diese Verluste lassen sich weitgehend vermeiden.

Stickstoff aus wirtschaftseigenen Düngern wird trotz seiner potentiell hohen Verfügbarkeit für die Pflanzen ungenügend ausgenützt. Der Ausnutzungskoeffizient liegt häufig unter 50 %. Dies hängt meistens mit N-Verlusten durch Nitrat-Auswaschung und vor allem N-Emissionen (Ammoniak und Lachgas) zusammen. Diese resultieren in wirtschaftlichen Einbussen und unerwünschten Belastungen von Ökosystemen. Ein besonderes Problem stellen Ammoniakemissionen aus Hofdüngern dar, die Naturstandorte und Waldökosysteme belasten und auch wesentlich an der Bodenversauerung dieser Systeme beteiligt sind. Die Tierhaltung ist mit einem Anteil von 90 % an der Gesamtbelastung die wichtigste Quelle für Ammoniak (NH₃) in der Umwelt. Die Gesamtemissionen von NH₃ in der Schweiz wurden für das Jahr 1988 von Amann (1992) auf 170'000 kg/Tag geschätzt. Isermann (1990) schätzt für das Bezugsjahr 1986 in der alten BR-Deutschland Ammoniakemissionen von 44 kg NH₃-N/ha LF (landwirtschaftliche Fläche) und für die Niederlande im gleichen Jahr 99 kg NH₃-N/ha LF. Die Gesamtbelastung ergibt sich aus verschiedenen Quellen. Ammoniakemissionen entstehen bereits während der Stallhaltung von Nutztieren und sind hier abhängig von der Stallform (Klarenbeck 1987) und Haltungsform (Priesmann *et al.* 1990). Auch während der Lagerung von Wirtschaftsdüngern entweicht Ammoniak in Abhängigkeit von den Lagerungssystemen (Süssenbach *et al.* 1991). Weitere Verluste entstehen in der Rinderhaltung durch Exkrementausscheidungen auf der Weide (Van der Meer und Whitehead 1990). Ammoniakverluste, die während

und nach der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern auftreten, sind mit ca. 40 - 50 % an der Gesamtammoniakemission beteiligt (Buijsman *et al.* 1986; Erisman und Heij 1991). Neben Verlusten beim Ausbringen von Festmist (Sugimoto und Ball 1989) entweicht insbesondere nach Flüssigmistgaben (Gülle) ein beträchtlicher Teil des Ammoniumstickstoffs als Ammoniak in die Luft (Döhler *et al.* 1987; Amberger *et al.* 1987). Paass (1993) ermittelte nach breitflächigem Güllen von Grünland Ammoniakverluste in der Höhe von 35 % - 92 % der ausgebrachten Ammoniumstickstoffmenge (Abb. 1). Im Mittel entwichen im Versuchsjahr 1991 fast 70 % der eingesetzten Ammoniumstickstoffmenge als Ammoniak. Beim Einsatz von Rinderflüssigmist auf ackerbaulich genutzten Standorten

fan den Horlacher und Marschner (1990) Verluste von 12 % - 65 % des eingesetzten Ammoniumstickstoffs. Verluste auf Grünlandstandorten, die in der Schweiz eine neunmal grössere Fläche bedecken als die Fläche aller Ackerkulturen zusammen, sind in der Regel höher als auf ackerbaulich genutzten Standorten. In der Schweiz laufen momentan intensive Untersuchungen, in denen die Verluste im Stallbereich, während der Lagerung der Hofdünger und während dem Ausbringen von Gülle bestimmt werden (Menzi und Nefel 1993). Die vorliegende Arbeit beschreibt Massnahmen zur Reduktion von Ammoniakemissionen nach Gülledüngung und fasst jüngste Erkenntnisse zusammen, die es ermöglichen, die Verluste während und nach dem Ausbringen von Gülle zu reduzieren.

Ammoniakverflüchtigung nach Gülledüngung

In Abbildung 2 sind N_{min}-Gehalte angegeben, die am 12. März 1991 in einer mit Gelbsenf als Winterzwischenfrucht be-

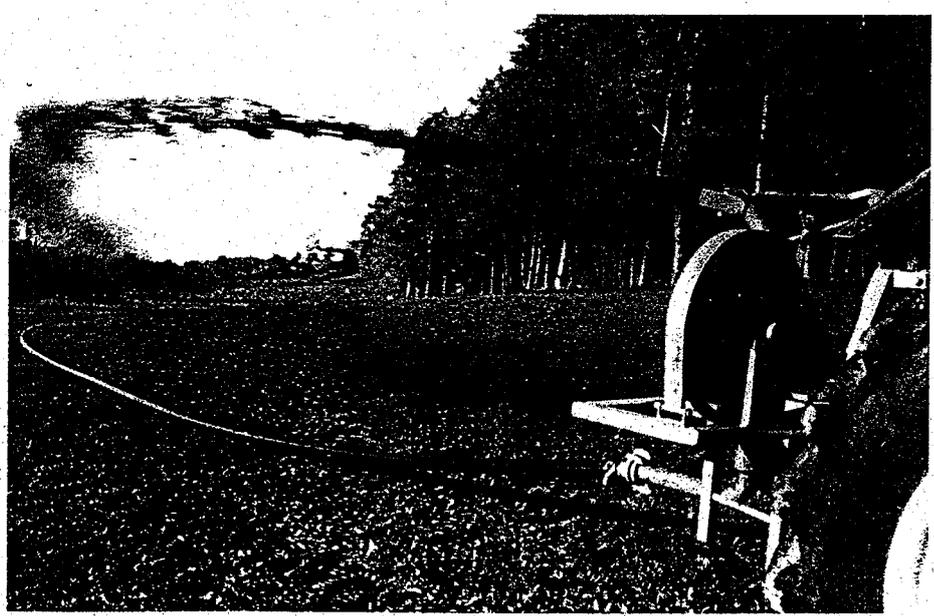


Abb. 1. Bei der breitwürfigen Gülleausbringung sind die Ammoniak-Verluste stark wetterabhängig. Sie schwanken zwischen 20 % bei regnerischem und 90 - 95 % bei sehr trockenem, sonnigem Wetter (Foto R. Frick, FAT Tänikon).

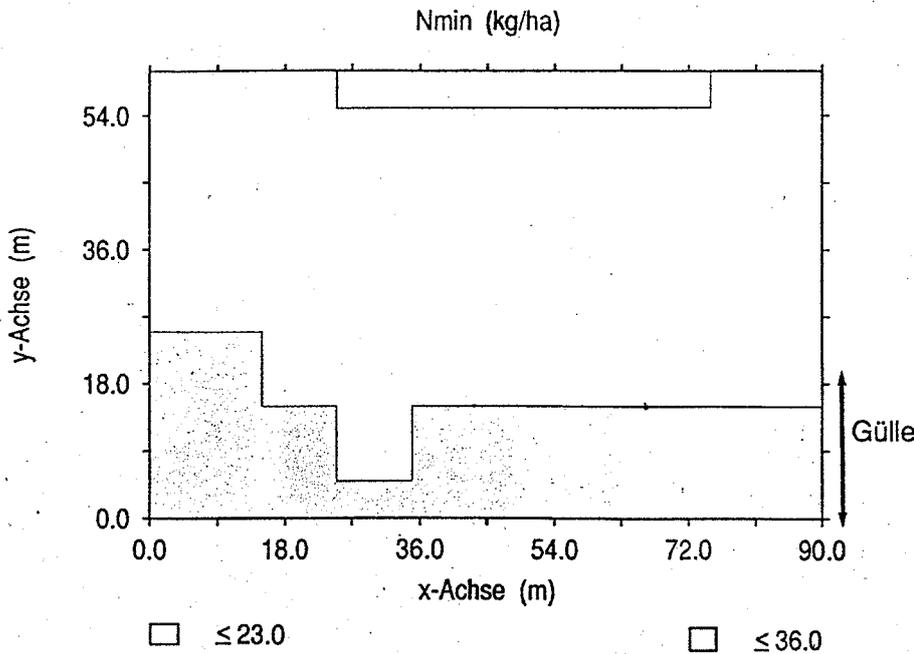


Abb. 2. Räumliche Verteilung von N_{min} -Werten (23 resp. 36 kg/ha) in 0 - 30 cm Bodentiefe am 12. März 1991 in einer bei Bülach (ZH) gelegenen Parzelle. Auf einem ca. 15 m breiten, parallel zur unteren x-Achse verlaufenden Streifen wurden am 6. März 45 kg Ammoniumstickstoff/ha in Form von Gülle ausgebracht. Am oberen zur x-Achse parallel verlaufenden Rand des Feldes manifestiert sich ein Randeffect bedingt durch das Ausbringen von Mineraldünger in der Nachbarparzelle.

pflanzten Parzelle in Bülach gemessen wurden.

Auf dieser Parzelle wurde eine Woche zuvor, am 6. März, auf einem ca. 15 m breiten Längsstreifen entlang der x-Achse der Parzelle ca. 45 kg NH_4-N /ha in Form von Gülle ausgebracht (Schmidhalter *et al.* 1992). Auf diesem Teilstück der Parzelle wurde in 0 - 30 cm Tiefe nur eine maximale Zunahme von 13 kg Stickstoff gemessen. In 30 - 60 cm und 60 - 90 cm Bodentiefe wurden keine Unterschiede im N_{min} -Wert zwischen dem begüllten und dem nicht begüllten Teil der Parzelle gemessen. Am 8. März fielen 8 mm Niederschlag. Die am oberen Rand (in Abb. 2) beobachteten höheren N_{min} -Werte sind auf einen Randeffect durch Mineraldüngung der Nachbarparzelle zurückzuführen. In diesem Versuch konnten 75 % des ausgebrachten Ammoniumstickstoffs nicht nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, dass dieser in Form von Ammoniak verloren ging. Dieser Versuch zeigt, dass eine kleine Niederschlagsmenge von 8 mm, drei Tage nach dem Güllen, sowie die relativ tiefe durchschnittliche Lufttemperatur in dieser Zeit von 6 °C - 10 °C mit Tagesmaxima bis zu 15 °C ebenfalls keinen wesentlichen Einfluss auf die Verluste hatte.

Bedeutende Verluste von Stickstoff können auch beim Ausbringen von festen Wirtschaftsdüngern, vor allem auch während des Winters auftreten, sowohl

durch Auswaschung wie durch gasförmige Verluste. N_{min} -Untersuchungen, die im Frühjahr 1991 auf einer während des Winters mit 250 dt/ha Mist (ca. 125 kg N gesamt resp. 50 kg kurzfristig wirksamer Stickstoff) gedüngten, brachen Parzelle in Eschikon (ZH) durchgeführt wurden, ergaben in 0 - 30 cm, 30 - 60 cm und 60 - 90 cm Bodentiefe nur Werte von 16, 11 und 6 kg Stickstoff/ha (Schmidhalter *et al.* 1992). Obschon bei Festmist mit einer deutlich geringeren Wertigkeit des Stickstoffs, gemessen an der Ertragswirksamkeit, im Vergleich zu Gülle zu rechnen ist, weisen diese Werte auf wesentliche N-Verluste hin. Dies wird durch später erfolgte Beprobungen bestätigt, bei denen keine wesentliche Erhöhung des Stickstoffgehaltes als Folge von Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs im ausgebrachten Hofdünger gefunden werden konnte. Lauer *et al.* (1976) ermittelten bei der Verwendung von Rinderfestmist im Winter einen NH_3 -Verlust von 85 % des ausgebrachten NH_4-N .

Zeitlicher Verlauf der Ammoniakverluste

Ammoniakemissionen setzen unmittelbar nach der Gülledüngung ein. Die Summenkurve steigt in den ersten Stunden nach Ausbringung steil an, um später deutlich abzuflachen (Abb. 3. Paass 1993; Horlacher und Marscher 1990). In den ersten 24 Stunden treten 70 - 90 % der Gesamt-

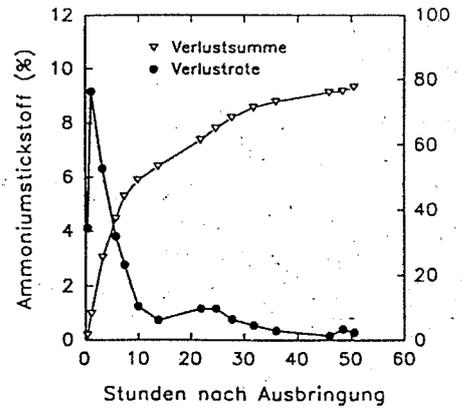


Abb. 3. Stündliche Ammoniakverlustraten und kumulierte Ammoniakverluste als prozentualer Anteil an der Gesamtmenge des mit Rindergülle ausgebrachten Ammoniumstickstoffs auf Grünland (nach Paass 1993).

verluste auf, danach treten nur noch Verluste von untergeordneter Bedeutung ein (Paass 1993). Bei sehr tiefen Temperaturen im Herbst, Winter oder Frühjahr steigt die Summenkurve weniger steil, aber über einen längeren Zeitraum an.

Ammoniakverluste auf Grünland und Ackerland

Bei Gülleapplikation auf Grünland entwisch mit 68 % der ausgebrachten Ammoniumstickstoffmenge eine signifikant grössere Menge Ammoniak in die Luft als nach Gülledüngung auf Ackerland, auf dem Verluste von 47 % gemessen wurden (Abb. 4, Paass 1993).

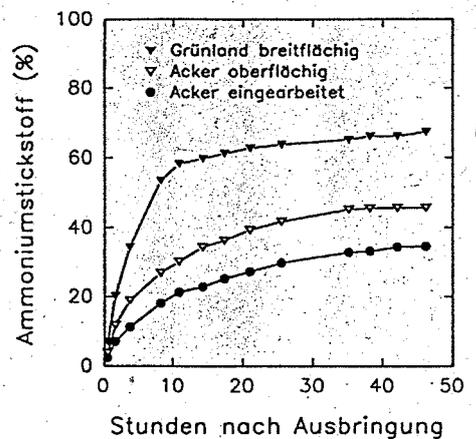


Abb. 4. Ammoniakverluste als prozentualer Anteil an der Gesamtmenge des mit Gülle ausgebrachten Ammoniumstickstoffs nach Gulleausbringung auf Grünland und auf Ackerland mit und ohne sofortiger flacher Einarbeitung (nach Paass 1993).

Einflussfaktoren auf die Ammoniakemission

Wichtige Einflussfaktoren auf die Ammoniakemission nach Gülledüngung sind

die **Umwelt** (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, Art und Zustand der Vegetationsdecke), der **Boden** (Bindungsvermögen, Infiltration, Pufferkapazität, Wassergehalt), **Gülleparameter** (Gülleart abhängig von Tierart, Aufstallung und Fütterung; Trockensubstanz; Gülleaufbereitung; Lagerung; Ausbringungsmenge) und die **Ausbringtechnik** (breit- und bandförmige Applikation, Injektion, Beregnung nach Güllen und nachfolgende Bodenbearbeitungsmassnahmen).

Umwelt

Brunke *et al.* (1988) zeigten, dass von den meteorologischen Faktoren die potentielle Verdunstung die beste Beziehung zur NH_3 -Emission aufwies, während mit der Temperatur allein oft keine ausreichende Beziehung hergestellt werden konnte. Sommer *et al.* (1991) stellten auf gefrorenem Boden trotz niedrigen Temperaturen die höchsten Ammoniakverluste fest. Mit steigenden Temperaturen ist jedoch mit erhöhten NH_3 -Emissionen aus Gülle zu rechnen (Döhler und Aldag 1987; Holzer *et al.* 1987). Bei tiefen Temperaturen sind zwar die NH_3 -Emissionsraten tiefer, dauern aber über einen längeren Zeitraum an. Bei höheren Temperaturen spielt der verstärkte Eintrocknungseffekt (= Konzentrierung der NH_4^+ -Lösung) eine wichtige Rolle. Güllen in den frühen Morgenstunden, bei niedrigeren Temperaturen und höherer Luftfeuchtigkeit, ergab niedrigere Verluste als während des übrigen Tages. Wurde morgens gegüllt, waren die Gesamtverluste mit 61 % signifikant geringer als am Mittag und Abend mit 86 % respektive mit 89 % (Paass 1993).

Durch Regenereignisse während oder kurz nach der Gülleapplikation können die Ammoniakemissionen sowohl auf Grünland als auch auf Ackerland vermindert werden (Horlacher und Marschner 1990). Bei Flüssigmistausbringung in einen Sommergerstenbestand mit nachfolgendem Nieselregen betragen die Gesamt- NH_3 -Verluste nur ca. 25 % der ausgebrachten Menge an $\text{NH}_4\text{-N}$ (Horlacher und Marschner 1990). Durch teilweise stattfindende Lösung des $\text{NH}_4^+\text{-N}$ im Regenwasser und die durch Regen verbesserte Infiltration werden die NH_3 -Verluste in der Regel deutlich gesenkt. Niederschlag am Tag nach dem Ausbringen ist jedoch relativ unwirksam, da 50-70 % der Gesamtemission während der ersten 24 Stunden auftreten (Paass 1993).

Boden

Von den für die NH_3 -Verluste wichtigen Einflussfaktoren des Bodens sind neben dem Bindungsvermögen vor allem die Infiltrationseigenschaften von entscheidender Bedeutung, da mit steigender Infiltration der Anteil des an Bodenkolloide sorbierten $\text{NH}_4\text{-N}$ zunimmt. Döhler und Wiechmann (1987) konnten nachweisen, dass günstige Infiltrationsbedingungen (Feld geprübert und mit Scheibenegge bearbeitet) verglichen mit Güllen auf Strohhäcksel die Gesamtverluste an NH_3 von 95 % auf 48 % reduzierten.

Gülle

Sommer und Olesen (1991) ermittelten eine enge Beziehung zwischen steigendem Trockensubstanzgehalt im Bereich zwischen 4 % und 12 % Trockensubstanz und der Höhe der Stickstoffverluste. Mit vermindertem Trockensubstanzgehalt der Gülle nehmen die kumulierten Ammoniakemissionen ab. Durch einen höheren Anteil an Wasser wird die Fließfähigkeit verbessert. Aus unverdünnter Gülle mit 6,8 % Trockensubstanz entwichen 47 % der applizierten NH_4 -Menge, während sich lediglich 21,9 % aus 1:1 mit Wasser verdünnter Gülle verflüchtigten (Paass 1993). Nicht nur die Verdünnung der Gülle vor dem Ausbringen, sondern auch ein Regenereignis nach dem Güllen oder das Beregnen der begüllten Flächen verminderte die Ammoniakverluste (Abb. 5). Die Verdünnung der Gülle im Verhältnis 1:1 bewirkte eine relative Verlustminderung von 53 %. Zusätzliche Verlustminderungen sind jedoch mit höheren Lager-, Transport- und Ausbringungskosten verbunden. Der Zeitaufwand verdreifacht sich bei einer Verdünnung von 1:2. Hin-

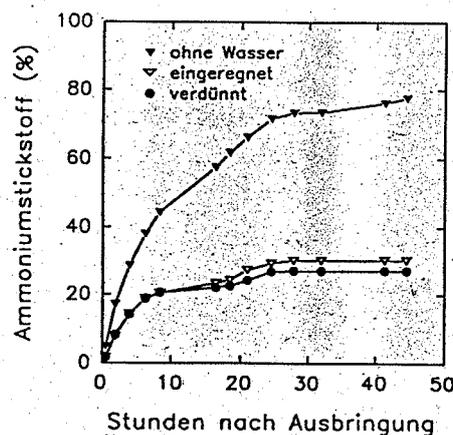


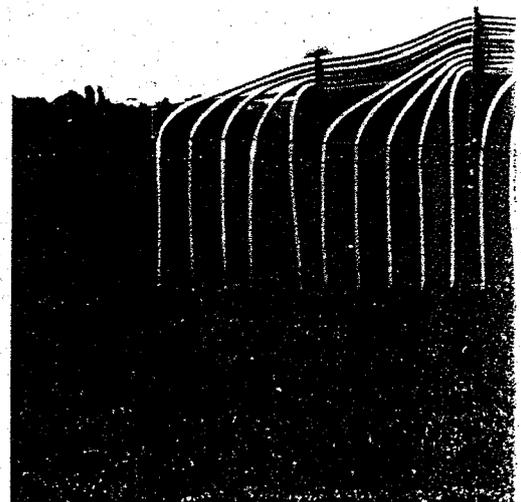
Abb. 5. Ammoniakverluste als prozentualer Anteil des mit Rindergülle ausgebrachten Ammoniumstickstoffs nach Applikation von Gülle mit anschliessendem Einregnen (7,5 mm) beziehungsweise nach Verdünnen der Gülle mit Wasser im Verhältnis 1:3 (nach Paass 1993).

sichtlich der Ammoniakemissionen war es unerheblich, zu welchem Zeitpunkt der Gülle Wasser zugesetzt wurde, durch Verdünnung vor oder Beregnen nach dem Ausbringen (Paass 1993).

Ausbringtechnik

Die wichtigste ackerbauliche Massnahme zur Verminderung der NH_3 -Verluste ist das Einarbeiten des ausgebrachten Flüssigmistes. Dadurch können die Verluste fast vollständig unterbunden werden. Beim Einarbeiten mit einer Fräse, ca. 1 h nach dem Güllen auf Sommergerstenstoppel, konnten die Gesamtverluste auf ca. 20 % reduziert werden (Horlacher und Marschner 1990). Döhler und Wiechmann (1987) zeigten, dass die NH_3 -Verluste nach dem Güllen auf Strohhäcksel durch Einarbeiten von 90 % auf 10 % reduziert werden konnten.

Paass (1993) zeigte, dass nach einer bandförmigen Ablage der Gülle (Bandabstand 30 cm) auf Grünland lediglich etwa 32 % der ausgebrachten Ammoniumstickstoffmenge als Ammoniak entwichen. Nach breitflächiger Verteilung verflüchtigten sich dagegen mehr als 90 %. Beim bandförmigen Verteilen wird nur auf ca. 20-25 % der Fläche Gülle ausgebracht; dies führt zu einer Gülleaufflage im Band von 10-12,5 mm (Ausbringungsmenge 25 m³/ha). Die vorteilhafte Wirkung dieser Technik wird auch durch Untersuchungen in Ackerkulturen bestätigt. Der Einsatz von Schleppschläuchen verminderte die Verflüchtigung von Ammoniak (Abb. 6). Die geringsten Ammoniakverluste traten nach Injektion von Gülle in den Boden auf. Nur ca. 3 % der applizierten Ammo-



niumstickstoffmenge entwichen als NH_3 . Sowohl das bandförmige Ausbringen als auch Gülleinjektion führten zu signifikant geringeren NH_3 -Verlusten. Bei Gülleinjektion wird zugleich die Geruchsbelastung fast vollständig aufgehoben.

Geeignete Ausbring- techniken vermindern Ammoniakverluste

Der Stickstoff-Anteil der Gülle besteht etwa zur Hälfte aus (relativ leicht flüchtigem) Ammonium-N, weshalb die Gülle wie Ammoniakwasser ausgebracht werden sollte (nämlich durch Einarbeiten in den Boden). Ansonsten liegt N in organischer Form vor, etwa zur Hälfte in leicht beziehungsweise schwer abbaubarer Form.

Mit einer Menge von $25 \text{ m}^3/\text{ha}$ werden $2,5 \text{ mm}$ Gülle pro Fläche ausgebracht. In der Bewässerungspraxis werden Gaben von $2,5 \text{ mm}$ Wasser, das wesentlich bessere Infiltrationseigenschaften als Gülle aufweist, aufgrund der nur sehr oberflächlichen Befeuchtung des Bodens als unwirksam betrachtet. Im Grünland wird das Problem noch verschärft, da von dieser relativ geringen Menge zähflüssiger Gülle ein grosser Teil an den oberirdischen Pflanzenteilen verbleibt. Es erstaunt nicht, dass es zu wesentlichen Verlusten (Verflüchtigungen) von Ammonium als Ammoniak kommt. Eine Verdünnung der Gülle reduziert nicht nur die bekannten Verätzungsschäden, die wesentlich durch hohe Salzkonzentrationen bedingt sind, sondern hilft auch Wachstumsdepressio-

nen zu vermeiden. Gülledüngung direkt nach dem Schnitt kann die verbleibende Assimilationsfläche erheblich vermindern. Der Umfang der direkt nach dem Schnitt vorhandenen grünen Fläche wurde erst fünf Tage nach dem Güllen wieder erreicht (Stratmann und Kühbauch 1988). Bandförmige Ausbringungsverfahren mit einer Gülleauflage im Band von $10 - 12,5 \text{ mm}$ (Ausbringungsmenge $25 \text{ m}^3/\text{ha}$) reduzierten die Ammoniakemissionen im Vergleich zur breitflächigen Verteilung um $50 - 60 \%$.

Durch das alte Verfahren der Gülleverdünnung kann die Ausnutzung und Ertragswirksamkeit der Gülle wesentlich verbessert werden. Nicht nur die Verdünnung der Gülle reduziert die Ammoniakverflüchtigung um mehr als die Hälfte, sondern auch ein Regenereignis nach dem Güllen oder das Beregnen der begüllten Fläche (Paass 1993). Der günstigste Zeitpunkt zur Gülleapplikation liegt kurz vor oder während Regenereignissen, die zu einem direkten Einwaschen der Gülle in den Boden führen. Die Tragfähigkeit der Grünlandfläche während Regenereignissen muss gewährleistet sein. Gülleinjektion ist aufgrund der hohen Gerätekosten nur im überbetrieblichen Einsatz möglich und mit einer geringeren Leistungsfähigkeit durch geringere Arbeitsbreiten verbunden. In grünlandreichen Gebieten, mit schwieriger topographischer Lage und Vorkommen von steinigem, bindigen und feuchten Böden, ist die Gülleinjektion nur begrenzt einsetzbar. Während trockener, warmer Witterung sind Narbenschäden durch Verätzung möglich.

Ähnlich wie bei Gülleinjektion im Grünland können die Verluste im Ackerbau stark reduziert werden, wenn die Gülle direkt eingearbeitet wird. Durch Einarbeiten des Flüssigmistes können die Verluste fast vollständig unterbunden werden. Späteres Einarbeiten verringert die Verluste nicht, da bereits in den ersten Stunden nach dem Güllen $70 - 90 \%$ der Gesamtverluste auftreten. Beim Einsatz von $18 \text{ m}^3/\text{ha}$ Rinderflüssigmist auf 10 cm hohe Sommergerste resultierte nach zehn Stunden ein Gesamtverlust von 55% des ausgebrachten $\text{NH}_3\text{-N}$ (Paass 1993). Nach einem anschliessend einsetzenden starken Gewitterregen konnten keine Verluste mehr gemessen werden. Auf gepflügtem oder beispielsweise mit einer Scheibenegge bearbeitetem Boden sind die Infiltrationseigenschaften gegenüber nicht bearbeitetem Boden verbessert, wodurch eine Verlustminderung erfolgt.

Bisherige in zahlreichen Ländern ausgeführte Arbeiten zeigen, dass durch die Wahl eines geeigneten Ausbringungssystems die Ammoniakemissionen wesentlich (bis 80% und mehr) gesenkt werden können. Eine Begrenzung der Güllemenge pro Fläche muss durch Festsetzung von Höchstmengen für die Nährstoffzufuhr erfolgen. Als Bezugsbasis empfiehlt sich die DE (Dungeinheit) und nicht die GV (Grossvieheinheit), wodurch unterschiedliche Güllearten besser vergleichbar gemacht werden (1 DE wird von 1 DGV Dunggrossvieheinheit erzeugt, Finck 1992). Zulässig sind zum Beispiel in Nordrhein-Westfalen 3 DE, in Schleswig-Holstein 2 DE (2 Rinder bzw. 14 Mast Schweine). Allenfalls zulässige Höchstmengen sollten jedoch nicht mit den zweckmässigen Düngergaben verwechselt werden, da es bei geringerem Bedarf völlig unsachgerecht sein kann, die zulässigen Höchstmengen einzusetzen. Nur bei zweckmässigem Einsatz der Gülle ist das Kriterium einer ökologischen Bewirtschaftung erfüllt.

DANK

Für wertvolle Literaturhinweise danke ich Herrn Marcus Schortemeyer und für die Überlassung des Fotomaterials Herrn R. Frick.

LITERATUR

Das vollständige Literaturverzeichnis ist beim Autor oder der Redaktion erhältlich.

Horlacher D. und Marschner H., 1990. Schätzrahmen zur Beurteilung von Ammoniakverlusten nach

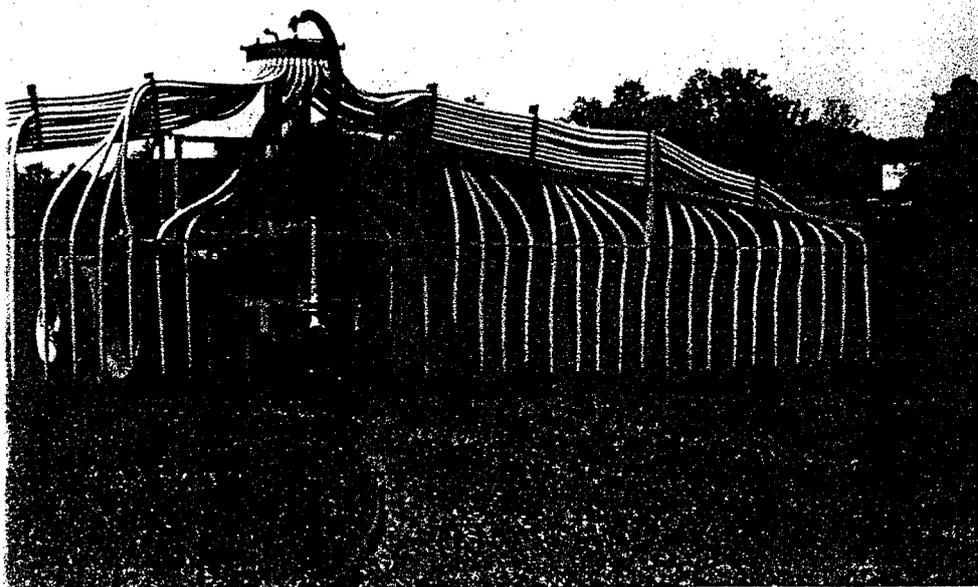


Abb. 6. Der Einsatz von Schleppschläuchen vermindert die Verflüchtigung von Ammoniak (Foto R. Frick, FAT Tönikon).

Ausbringung von Rinderflüssigmist. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 153, 107-115.

Menzi H., und A. Neftel., 1993. Ammoniak - Ein Molekül, das Landwirtschaft und Umwelt beschäftigt. *Schweiz. Landw. Fo.* 32, 103-111.

Paass F., 1993. Ammoniakemissionen nach Gülledüngung auf Grünland. Diss. Institut für Pflanzenbau der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

RÉSUMÉ

Réduction des émissions d'ammoniaque lors d'épandage de lisier

Environ la moitié de l'azote contenue dans le lisier se rencontre sous la forme d'ammonium. Lors de l'épandage de fumure organique liquide, une partie importante de cet ammonium s'évapore dans l'air. Les pertes en ammoniaque provoquées par les épandages de fumure organique représentent environ 40 à 50 % de la pollution totale provoquée par l'ammoniaque. Lors de l'épandage de lisier sur les prairies, 35 à 92 % de l'ammonium se perd sous forme d'ammoniaque (Paass, 1993) et sur un sol cultivé ces pertes varient entre 12 et 65 % (Horlacher et Marschner 1990). La plus grande partie de ces pertes sont

évitable car 70 à 90 % de celles-ci ont lieu dans les 24 premières heures après l'épandage. Les mesures à prendre pour les éviter, que ce soit pour les prairies ou les sols cultivés, doivent donc être prises immédiatement après l'apport. Dans les sols cultivés, l'enfouissement immédiat du lisier permet de réduire la volatilisation de l'ammoniaque, alors que dans les prairies l'injection du lisier dans le sol est nécessaire. Le choix du moment de l'épandage est également très important. Si celui-ci a lieu avant ou pendant une pluie, on peut réduire jusqu'à 80 % les pertes. Les pertes en ammoniaque peuvent également être diminuées de 30 à 50 % si l'on dilue le lisier ou que l'on arrose le sol immédiatement après l'apport (Paass 1993). Pendant la journée, les pertes sont moins importantes lorsque l'apport est effectué tôt le matin. Sur les prairies, un épandage en bande permet de réduire les émissions d'ammoniaque de 50 à 60 %.

SUMMARY

Measures to reduce ammonia emissions after application of cattle slurry

About half of the nitrogen contained in cattle slurry is present as ammonium. Significant losses of ammonium as am-

monia can occur after application of cattle slurry onto field and grassland sites. Ammonia losses after manure application account for about 40 to 50 percent of the total ammonia emissions. Volatilization losses from slurry application ranged from 35 to 92 percent of the applied $\text{NH}_4\text{-N}$ under grassland cropping (Paass 1993) and from 12 to 65 percent under field cropping (Horlacher and Marschner 1990). There exist remedies to significantly reduce these losses. Because 70 to 90 percent of the losses occur in the first 24 hours measures to avoid ammonia losses must take place immediately after application. This can be achieved by direct incorporation of slurry onto field sites or injection on grassland sites. Choosing a suitable time shortly before a rainfall event or during rainfall can help to minimize ammonia losses up to 80 percent. Dilution of cattle slurry before application or watering by irrigation after application reduce ammonia losses by 30 to 50 percent (Paass 1993). Ammonia losses are smallest during the day when applied early in the morning.

KEY WORDS: Ammonia, ammonia losses, cattle slurry, nitrogen losses, slurry application.