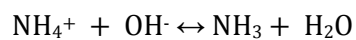


Verminderung von Ammoniak-Emissionen durch pH-Wert-Regulierung – Die Dänen machen es uns vor.

Dr. Ines Bull, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

In flüssigen organischen Düngern (Gülle/ Gärresten) liegt Stickstoff vor allem organisch gebunden oder als Ammonium (NH_4^+) vor. Der Ammoniumanteil des Stickstoffs ist aufgrund seiner chemischen Eigenschaften besonders anfällig für atmosphärische Verluste. Zwischen Ammonium und Ammoniak besteht in der wässrigen Phase ein pH- und temperaturabhängiges Dissoziationsgleichgewicht:



Dieses Gleichgewicht verschiebt sich mit zunehmender Temperatur und höheren pH-Werten in Richtung Ammoniak (NH_3). In geschlossenen Systemen (wie annähernd in der Biogasanlage, im Lager unter einer Schwimmschicht vorhanden) kann das gasförmige Ammoniak nicht entweichen. Der Stickstoff bleibt hier vor allem als Ammonium erhalten. Ganz andere Verhältnisse entstehen während der Ausbringung der Dünger. Das System ist dann nicht mehr geschlossen. Das sich bildende Ammoniak gelangt sofort in die Umgebungsluft und ist damit der Gleichgewichtsreaktion entzogen. Bei für Gülle und Gärresten typischen pH-Werten >6 wird Ammoniak bis zum vollständigen Verbrauch des Ammoniums nachgebildet. In diesem Fall wäre der Ammoniumanteil des Stickstoffs zu 100% verloren. Es fehlt dann der schnell verfügbare Stickstoff für die Pflanzenernährung. Der Verlust verschlechtert die N-Bilanz und wirkt zusätzlich dort schädlich eutrophierend, wo sich der Stickstoff unkontrollierbar an anderer Stelle wieder ablagert.

Im Interesse einer umweltschonenden Landwirtschaft muss deshalb die Ausbringung flüssiger organischer Dünger überdacht werden. Eine Einarbeitung in den Boden bewirkt durch die Reduzierung der Kontaktfläche zwischen Gülle/ Gärrest und Umgebungsluft eine Emissionsverminderung. Außerdem werden NH_4^+ -Ionen an Tonteilchen gebunden und so vor Ausgasung geschützt. Herkömmliche Ausbringungsverfahren verursachen höhere Ammoniakverluste je intensiver und großflächiger der Kontakt der Dünger mit der Luft ist (Tabelle 1). Extrem hohe Emissionen entstehen bei warmer und/ bzw. windiger Witterung, geringer Infiltration in den Boden sowie bei hohen TS-Gehalten, NH_4^+ -Konzentrationen und pH-Werten in Gülle oder Gärrest. Sie können auch mehrere Tage nach der Ausbringung anhalten (Abbildung 1). Niederschläge während oder nach der Ausbringung und die sofortige Einarbeitung vermindern die Verluste.

Tabelle 1: Verfahrensbedingte Stickstoffverluste (Quellen: LWK-SH 2015, Döhler 2002 und Untersuchungen der Landesforschungsanstalt)

	NH ₃ -N-Verluste in [% des ausgebrachten NH ₄ -N]	NH ₃ -N-Verluste in [kg/ha N*]
oberflächige Ausbringung		
Prallteller**	50 - 100	38 - 63
Schleppschauch	40 - 80	25 - 50
Schleppschuh	20 - 60	13 - 38
Schlitztechnik	10 - 40	6 - 25
Ansäuerung	< 10	< 6
Einarbeitung bei der Ausbringung		
Güllegrubber	20 - 40	13 - 25
Gülle-Strip-Till	< 10%	< 6
*bei 25 m ³ /ha Ausbringungsmenge, 4 kg/m ³ N-Gehalt, 62,5% NH ₄ -N (mittlere Tabellenwerte für Gärrest)		
**nach oben gerichtete Prallteller sind nicht mehr zulässig		

Bei einer praxisüblichen Ausbringungsmenge von 25 m³ Gärrest mit typischen N-Gehalten muss häufig mit Stickstoffverlusten von über 30 kg/ha und nicht selten darüber hinaus gerechnet werden. Nicht erst bei den zu erwartenden Verschärfungen durch die neue Düngerverordnung sind dies Dimensionen, die ein Bemühen um Emissionsminderung lohnen.

Akzeptable Verlustgrößen lassen sich nur mit vollständiger und tiefer Einarbeitung der flüssigen organischen Dünger oder unter optimalen Bedingungen (kein Wind, niedrige Temperaturen, Niederschlag während der Ausbringung) erreichen. Vor der Mais- oder Sommergetreideaussaat im Frühjahr kann eine direkte Gülle-Einarbeitung die NH₃-Verluste fast vollständig verhindern. Um eine Überdüngung zum Mais zu vermeiden, muss auch eine Verwertung in anderen Kulturarten erfolgen. Zu Winterkulturen ist jedoch eine vollständige Einarbeitung im Frühjahr naturgemäß unmöglich. Selbst mit den emissionsmindernden Schleppschuh- und Schlitzverfahren sind hier nur unter optimalen Bedingungen NH₃-Verluste unter 50% erreichbar. Geringe Arbeitsbreite sowie potentielle Pflanzenbeschädigungen wirken ebenfalls ungünstig.

Sehr interessante Alternativen bieten Verfahren, die den pH-Wert der organischen Dünger absenken. Bei pH-Werten unterhalb von 6 ist die Gleichgewichtsreaktion so weit in Richtung NH₄⁺ verschoben, dass kein NH₃ mehr gebildet wird. Der Stickstoff bleibt auch bei Luftkontakt im Dünger erhalten. Im Feldexperiment ließ sich nachweisen, dass allein durch die Ansäuerung von Gärresten die verfahrensbedingten NH₃-Emissionen vollständig vermieden

werden konnten. Bei einer Ausbringung mit Schleppschläuchen ohne Ansäuerung wurden noch nach 3 Tagen erhöhte Werte festgestellt (Abbildung 1).

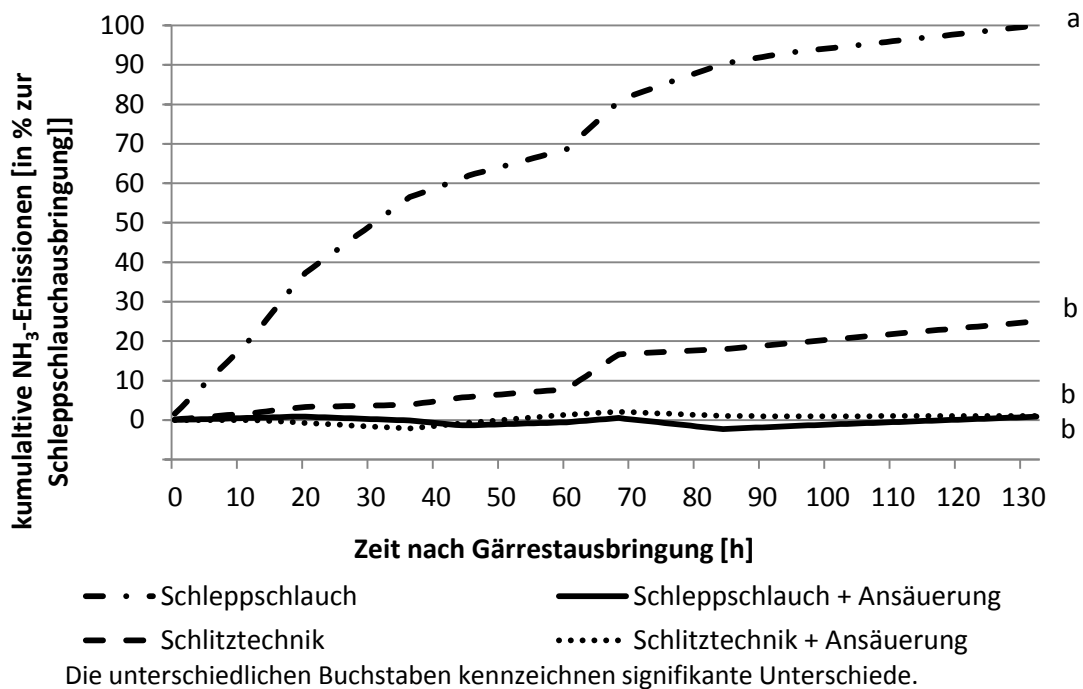
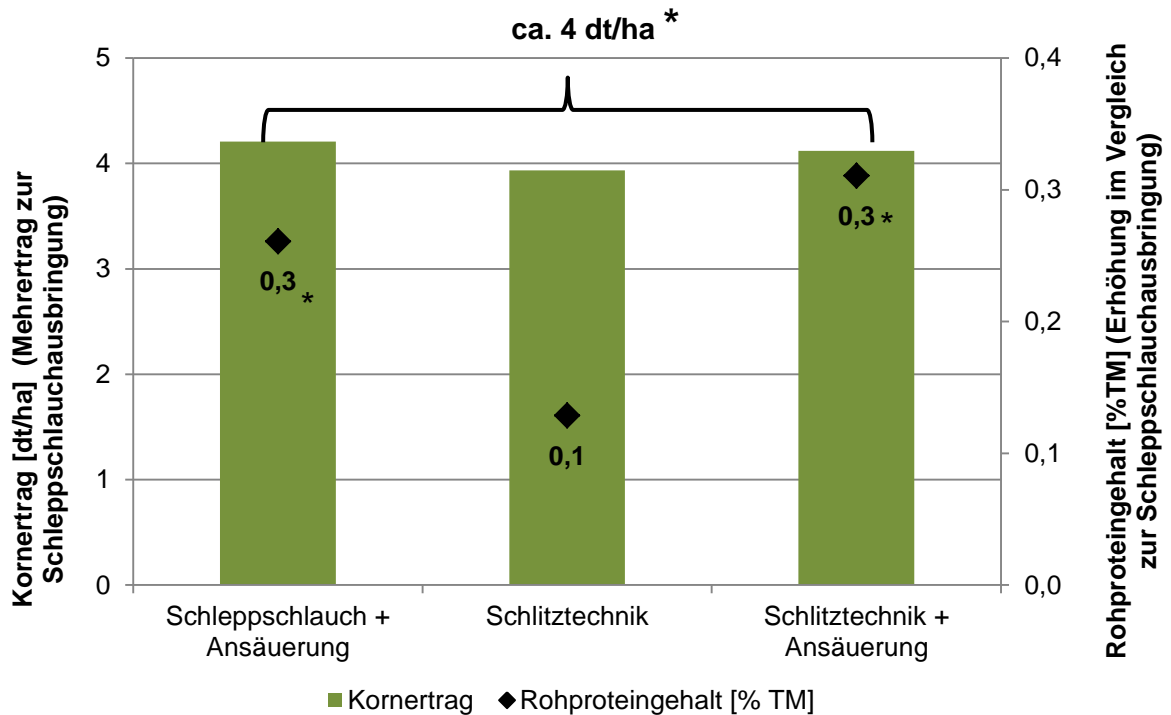


Abbildung 1: Einfluss des Ausbringungsverfahrens auf die verfahrensbedingten NH₃-Emissionen, Gülzow 2013-14 (bereinigt um Werte der ungedüngten Kontrollflächen), Quelle: Kureck 2014, Landesforschungsanstalt MV

Mehrfährige Versuchsergebnisse belegen weiterhin, dass Weizenpflanzen bei einer begrenzten N-Versorgung den durch die Ansäuerung zusätzlich erhaltenen Stickstoff zur Ertragsbildung nutzen. Im Versuch wurden zu Vegetationsbeginn 70 kg/ha NH₄-N als Gärrest mit verschiedenen Verfahren ausgebracht. Die weitere Düngung erfolgte einheitlich mit Kalkammonsalpeter zu BBCH 30 und 37/39 mit 60 bzw. 40 kg/ha N. Im Mittel der 3 Jahre betrug die Ertragssteigerung durch Ansäuerung 4 dt/ha und die Proteinerhöhung 0,3 Prozentpunkte. Auch das Schlitzverfahren brachte im Vergleich zur reinen Schleppschlauchvariante Vorteile, blieb jedoch hinter dem Verfahren der Ansäuerung (Abbildung 2). Ähnliche Ergebnisse sind aus anderen Forschungseinrichtungen (z. B. LfL Bayern, Universitäten Lüneburg und Kiel) bekannt und entsprechen auch Praxiserfahrungen aus Dänemark.



* = signifikanter Unterschied, GD (Kornertrag) = 1,8 dt/ha, GD (Rohprotein) = 0,3 %

Abbildung 2 Steigerung von Kornertrag und Rohproteingehalt durch emissionsmindernde Verfahren bei Gärrestausrückführung, Gülzow 2012 – 2014, Quelle: Kurreck 2014, Landesforschungsanstalt MV

Zur Ansäuerung können theoretisch, da es allein um die pH-Wert-Beeinflussung geht, verschiedenste Säuren genutzt werden. Für die breite Praxis ist allerdings vor allem Schwefelsäure interessant, da sie aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften ein besonders hohes Ansäuerungspotential besitzt und vergleichsweise preiswert ist. Das bei der Anwendung entstehende Sulfat sollte zusätzlich als voll pflanzenverfügbarer Nährstoff eingeplant werden, so dass keine negativen Umweltwirkungen zu erwarten sind. Vor dem Einsatz alternativer Säuren wären die jeweiligen umweltrelevanten Risiken zu prüfen.

Vor einem einfachen Hineinschütten von Schwefelsäure in das Gülle- oder Gärrestlager muss an dieser Stelle dringend abgeraten werden. Die benötigte Schwefelsäure ist hochkonzentriert, stark ätzend und unterliegt zu Recht strengen Sicherheitsauflagen. Außerdem wird bei dem Prozess aus dem Carbonatpuffer von Gülle/ Gärrest Kohlendioxid gebildet, das je nach der vorhandenen Oberflächenspannung eine mehr oder weniger starke Schaumbildung und damit Volumenerhöhung verursacht.

Eine weitere Schwierigkeit entsteht durch die Pufferkapazität selbst. Bis zu einer bestimmten Menge, mit der ein Umschlagpunkt erreicht wird, wird die zugegebene Säure ohne wesentlich pH-Wert-Änderung abgepuffert. Bei weiterer Säurezugabe schlägt der pH-Wert sprung-

haft um. Güllen/ Gärreste können sich in der Höhe der Pufferkapazität stark unterscheiden. Da Ätزشäden an den Kulturpflanzen unbedingt zu vermeiden sind, ist ein pH-Wert von 5,5 – 6 anzustreben. Eine kontinuierliche Messung sowie Vermischung sind deshalb zwingend notwendig und erfordern ein technisch ausgereiftes Verfahren.

In Dänemark wurden zwei unterschiedliche Strategien zur technischen Umsetzung entwickelt. Im ersten Fall liegt der Fokus ausschließlich auf der Vermeidung von Emissionsverlusten während der Ausbringung. In diesem Verfahren wird die Schwefelsäure in einem Tank mitgeführt und erst während der Fahrt auf dem Acker direkt in den Gülle-/Gärreststrom injiziert. Die Regulierung erfolgt durch eine begleitende pH-Messung während der Fahrt. Die Schaumbildung nach der Säurezugabe ist hier irrelevant. Der bekannteste Anbieter ist die Firma Biocover mit dem System SyreN.

Im zweiten Fall wird ein erweiterter Ansatz durch eine Ansäuerung schon im Stall und Lager verfolgt. Hier wird die Säure aus einem stationären Tank in den Güllekanal eingespeist. Eine kontinuierliche Säurezugabe geringer Dosierung auf der Grundlage ständiger pH-Messungen gewährleistet stabile Verhältnisse und vermeidet Schaumbildung. Da ein pH-Wert nicht unterhalb von 5,5 eingestellt wird, besteht keine Gefahr erhöhter Korrosion in der Gülleanlage. Aus der Praxis wird sogar von geringeren Schäden aufgrund der verminderten Ammoniakbelastung berichtet. Die Vorteile dieses Systems liegen in der zusätzlichen Reduzierung von NH_3 -Emissionen im Stall, während der Lagerung sowie in der Verbesserung der Stallluft. Bei einer Vergärung der anfallenden Gülle in einer Biogasanlage ist die Erhöhung der Schwefelkonzentration problematisch. Führender Hersteller dieses Verfahrens ist in Dänemark die Firma Infarm.

Die Arbeitssicherheit im Umgang mit der Säure wird in beiden Fällen durch geschlossene Systeme gewährleistet. Beide Verfahren sind in Dänemark schon weiter verbreitet, wurden allerdings in Deutschland bislang kaum erprobt.

Bei sehr hoher Pufferkapazität des Flüssigdüngers kann die zum Erreichen des Ziel-pH-Wertes notwendige Säuremenge die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens begrenzen. Vor einer Investition sind auf jeden Fall Probeuntersuchungen mit den geplanten Substraten zu empfehlen.

Für eine ökonomische Bewertung der Ansäuerung müssen den N-Effizienzgewinnen die zusätzlichen Verfahrenskosten gegenübergestellt werden.

-	zusätzliche Verfahrenskosten [€/ha] = Ansäuerungskosten [€/ha] + Säurekosten [€/ha]
	Ansäuerungskosten = Verfahrenskosten [€/m ³] x Düngermenge [m ³ /ha]
	Säurekosten [€/ha] = Aufwand Säure [l/m ³] x Düngermenge [m ³ /ha] x Säurepreis [€/l]
+	N-Effizienzgewinn [€/ha] = Erhöhung des Mineraldüngeräquivalents [%Punkte] x N-Gehalt des Düngers [kg/m ³] x Düngermenge [m ³ /ha] x Stickstoffpreis [€/kg]
+	Nährstoffwert des Schwefels [€/ha] = Schwefelgehalt der Säure [kg/l S] * Aufwand Säure [l/m ³] * Preis für Schwefel [€/l]

Beispielrechnung

Der Kalkulation wurde das Ansäuerungsverfahren SyreN der Firma BioCover aus Dänemark zugrunde gelegt. Zusätzlich zur Gärrestausbringung entstehen laut Herstellerangaben für das Verfahren der Ansäuerung Kosten in Höhe von 0,5 €/m³. Die verwendete Schwefelsäure ist mit einem Preis von 0,33 €/l anzusetzen. Der Bedarf an Schwefelsäure liegt in Abhängigkeit vom Ausgangs-pH-Wert des organischen Düngers und seiner Pufferwirkung zwischen 0,5 und 3 l/m³ Flüssigdünger.

Die im Versuch ermittelte Steigerung des Rohproteinertes von ca. 0,7 dt/ha (s.o.) entspricht einem um 20% höheren Mineraldüngeräquivalent des Gärrestes bzw. einer Erhöhung der N-Effizienz der Gärrestdüngung um 12 kg/ha. Für die nachfolgende Kalkulation wird der Nährstoffwert dieser Stickstoffmenge angesetzt, da die mineralische Ergänzungsdüngung entsprechend reduziert werden kann. Bei höheren Verlustminderungen verbessert sich das kalkulatorische Ergebnis. Die eingesetzte Schwefelsäure enthält 0,58 kg/l S. Dieses vollständig pflanzenverfügbare Sulfat kann zusätzlich als positiver Wert in die Berechnung eingehen.

Bei einer Kalkulation mit 0,65 €/kg Stickstoff; 0,25 €/kg Schwefel (abgeleitet von mittleren Preisen für Harnstoff und SSA im August 2014); 30 m³ Ausbringungsmenge des Flüssigdüngers und einem mittleren Säureeinsatz von 2 l/m³ Gärrest stehen demnach Kosten von 35 €/ha einem Nährstoffwert von insgesamt 29 €/ha gegenüber. Zusammengerechnet liegen die Kosten für das Verfahren mit Ansäuerung um 6 €/ha in diesem Beispiel über denen der reinen Schleppschlauchausbringung.

Die Vorteile der verbesserten Umweltleistung sowie ein reduzierter N-Saldo für den Landwirtschaftsbetrieb müssen bei diesem Vergleich mitbetrachtet werden, lassen sich monetär jedoch nicht bewerten. Durch die mit der Novellierung der Düngeverordnung einzuhaltenden Düngungsobergrenzen wird der ökonomische Vorteil der Effizienzgewinne weiter steigen.

Für eine breite Praxiseinführung dieses umweltschonenden Ausbringungsverfahrens sind jetzt das Engagement innovativer Landwirte und Landtechniker sowie die Unterstützung durch Politik und Behörden notwendig. In Dänemark gehört dieses Verfahren schon heute für viele Betriebe zum nachhaltigen Nährstoffmanagement. Das sollte auch in Deutschland gelingen.

Vorteile der Ansäuerung von Gülle/ Gärresten:

- große Arbeitsbreiten möglich
- mit erprobter/ vorhandener Technik kombinierbar
- im Pflanzenbestand nutzbar
- keine Pflanzenbeschädigungen (auch bei schossenden Beständen)
- keine Narbenverletzungen im Grünland
- besonders hohe Effekte (NH₃-Emissionsvermeidung) bei sonst ungünstigen Bedingungen
- fast vollständige Vermeidung der Ausbringungsverluste ohne Einarbeitung möglich
- verbesserte Phosphatverfügbarkeit im organischen Dünger

Literatur

AG 4 Ausbringverfahren aus der Allianz für den Gewässerschutz (2015): Optimale Nährstoffausnutzung aus Wirtschaftsdüngern. Ausbringverfahren für flüssige Wirtschaftsdünger, Separation von flüssigen Wirtschaftsdüngern, Bewertung von organischen Düngemitteln, Empfehlungen für die Nutzung in Schleswig-Holstein. Version II.

Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Dämmgen, U.; Osterburg, B.; Lüttich, M.; Bergschmidt, A. et al. (2002): BMVEL/UBA-Ammoniak-Emissionsinventar der deutschen Landwirtschaft und Minderungsszenarien bis zum Jahre 2010. Forschungsbericht 299 42 245/02; UBA-FB 000249. Umweltbundesamt. Berlin (Texte, 05/02).

Kureck, L. (2014): Einfluss des Ausbringverfahrens auf die Düngewirkung von Gärresten bei Frühjahrseinsatz zu Weizen – Versuchsergebnisse Gülzow. persönliche Mitteilung.

weiterführende Literatur:

Clemens, J.; Wulf, S. (2005): Reduktion der Ammoniakausgasung aus Kofermentationssubstraten und Gülle während der Lagerung und Ausbringung durch interne Versauerung mit in NRW anfallenden organischen Kohlenstofffraktionen.

Döhler, H. (2016): Düngung von Gülle und Gärrückständen unter den Vorzeichen der neuen Düngeverordnung, 2016.

Hersener, J.-L.; Meier, U.; Dinkel, F. (2002): Ammoniakemissionen aus Gülle und deren Minderungsmaßnahmen. unter besonderer Berücksichtigung der Vergärung.

Pacholski, A.; Seidel, A.; Hermann, A.; Nydordc, T.; Kage, H. (2014): Applikationstechnik zur Güllendüngung: Effekte von Injektion und Ansäuerung auf Erträge und gasförmige Stickstoffverluste, 14.07.2014.

Seidel, A.; Pacholski, A.; Nyord, T.; Kage, H. (2012): Ansäuerung von Rindergülle zur Minderung der NH₃ Verluste nach Feldausbringung. In: Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 24: 253–254, 2012/ 24, S. 253–254.

Wegner, C.; Kureck, L.; Bull, I.; Ramp, C. (2015): Frühjahrsgabe von Gärresten im Winterweizen. Mitteilungen der LFA, Heft 55, 54-60.