

Potentiale der Ansäuerung von Wirtschaftsdüngern zur Emissionsminderung von Ammoniak: Erste Ergebnisse aus dem EU-Projekt Baltic Slurry Acidification

^{1,2} S. NEUMANN, ²T. REINSCH, ²C. KLUß, ³A. HERRMANN UND ²F. TAUBE

¹ Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig –
Holstein, Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek

² Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Hermann-Rodewald Str. 9, 24118 Kiel

³ Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen, Landwirtschaftszentrum Eichhof,
Schlossstraße 1, 36251 Bad Hersfeld

sneumann@gfo.uni-kiel.de

Einleitung und Problemstellung

In Deutschland sind mit Ausnahme von Ammoniak die Emissionen aller Luftschadstoffe seit 1990 rückläufig, lediglich Ammoniakemissionen zeigen einen ansteigenden Trend (UBA, 2017). Europaweit werden dem landwirtschaftlichen Sektor dabei 80 % der Ammoniakemissionen zugeschrieben (Petersen et al., 2012), in Deutschland stammen gar 95 % der Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft. 40 % davon entstehen bei der Ausbringung von organischen Nährstoffträgern (Haenel et al., 2016). Ammoniakemissionen bedeuten nicht nur einen entgangenen Düngernutzen für die landwirtschaftliche Produktion. Durch ihre vielfältigen, indirekten und direkten negativen Umweltwirkungen, ihre Gesundheitsrelevanz für den Menschen (Lelieveld et al., 2015; Spirig und Neftel, 2006; Mosier, 2001) und ihre Wirksamkeit als indirekt wirksames Klimagas (Ferm, 1998; Mosier, 2001) sind Ammoniakemissionen darüber hinaus auch aus gesellschaftlicher Sicht in höchstem Maße unerwünscht und es besteht daher dringender Handlungsbedarf eine Trendwende in der Entwicklung des Emissionsverlaufes einzuleiten. Deutschland hat sich daher im Rahmen der NERC-Richtlinie dazu verpflichtet, die Emissionen bis 2030 um 29 % zu reduzieren (UBA, 2016).

Ansäuerungstechniken sind seit 2003 in Dänemark als ammoniakemissionsmindernde Technologie in der landwirtschaftlichen Praxis etabliert (Fangueiro et al., 2015). Etwa 20 % der applizierten Gülle wird hier vor oder während der Applikation angesäuert (Jacobsen, 2015). Zudem ist die Technologie seit Februar 2017 in der EU als eine der besten verfügbaren Techniken (BvTs) für die NH₃ - Emissionsminderung in der intensiven Schweinehaltung anerkannt (Durchführungsbeschluss (EU) 2017/302). Durch Ansäuerung von Gülle oder Gärresten mit hoch konzentrierter Schwefelsäure kommt es zu einer Verschiebung des Dissoziationsgleichgewichtes zwischen NH₃ zu NH₄⁺ zugunsten von NH₄⁺, das Potential für Ammoniakemissionen wird so reduziert und mehr Ammoniumstickstoff steht im Wirtschaftsdünger für die Pflanzenernährung zur Verfügung (Sommer und Hutchings, 2001). Da die Technologie der Gülleansäuerung außerhalb Dänemarks jedoch bisher keinen Einzug in die landwirtschaftliche Praxis gefunden hat, hat sich das Projekt „Baltic Slurry Acidification“ (BSA) zum Ziel gesetzt, die Praktikabilität und Effizienz der Gülle- und Gärrestansäuerung während der Applikation unter Norddeutschen Bedingungen zu prüfen sowie ihre Verbreitung zu fördern, um so einen Beitrag zu einer effektiven Emissionsminderung zu leisten.

Material und Methoden

Um die Effizienz der Ansäuerung hinsichtlich der Ammoniakemissionsminderung, den Trockenmasse- und Stickstoffträgen und den Einfluss auf Lachgasemissionen zu überprüfen wurden 2017 Feldversuche auf Dauergrünland in Schleswig-Holstein angelegt. Der Versuchsstandort liegt im Östlichen-Hügelland in unmittelbarer Nähe des Versuchsgutes Lindhof. Die Düngung auf dem 5-schnittigen, mindestens 15 Jahre alten Dauergrünlandbestand erfolgte mit Gärresten, die unmittelbar vor der Applikation mit Schwefelsäure von einem Ausgangs-pH-Wert von 8,7 auf einen pH-Wert von 5,5 bis 6 angesäuert wurden. Neben Gärresten und einer Kontrollvariante ohne Stickstoffdüngung wurden als mineralische Vergleichsvarianten Kalkammonsalpeter, Harnstoff sowie stabilisierter Harnstoff geprüft. Die Düngung erfolgte in vier Teilgaben Ammonium-N basiert (Tab. 1). Geprüft wurden drei Stickstoffstufen mit 120, 240 und 360 kg N/ ha. Nach jeder der vier Grünlanddüngungen wurde eine Messkampagne durchgeführt in der mittels Dräger-Tube-Methode (DTM), Pacholski, 2016 bis zu sieben Tage nach der Düngerapplikation mehrmals pro Tag Ammoniak gemessen wurde. Die Messungen erfolgten auf der mittleren Stickstoffdüngestufe. Um Düngungseffekte durch über Gärrest zugeführte Hauptnährstoffe (P, K) und insbesondere Schwefeldüngungseffekte durch die zugeführte Schwefelsäure (S) zu vermeiden erfolgte auf den nicht angesäuerten Varianten, auf den mineralisch gedüngten Parzellen sowie auf der Kontrolle eine mineralische Ausgleichsdüngung. Lachgasmessungen erfolgten das gesamte Jahr über wöchentlich über das „closed chamber“ Messverfahren nach Hutchinston und Moision, 1981. Aufgrund des erwarteten Anstiegs der N₂O Emissionen in den Tagen nach Düngerapplikation erfolgten jeweils im Anschluss an die Düngung an vier Tagen in der Woche Lachgasmessungen. Die Analysen der Proben erfolgten über die Gaschromatographie.

Das Versuchsdesign entsprach einer vollständig randomisierten Blockanlage mit vier Wiederholungen. Die Auswertung anhand eines Tukey Test (all-pairwise comparison) erfolgte mit der Statistiksoftware R 3.4.3.

Tab. 1: Stickstoffdüngung und Teilgaben des Grünlandversuches

Gesamt N (kg/ ha) (NH ₄ -N basiert)	Teilgaben (zum 1. Aufwuchs bzw. nach Schnitt)
120	60/40/20/0
240	90/60/60/30
360	120/100/100/40

Ergebnisse und Diskussion

In Abbildung 1 ist der kumulierte Trockenmassertrag pro Hektar über alle fünf Silageschnitte für das Versuchsjahr 2017 dargestellt.

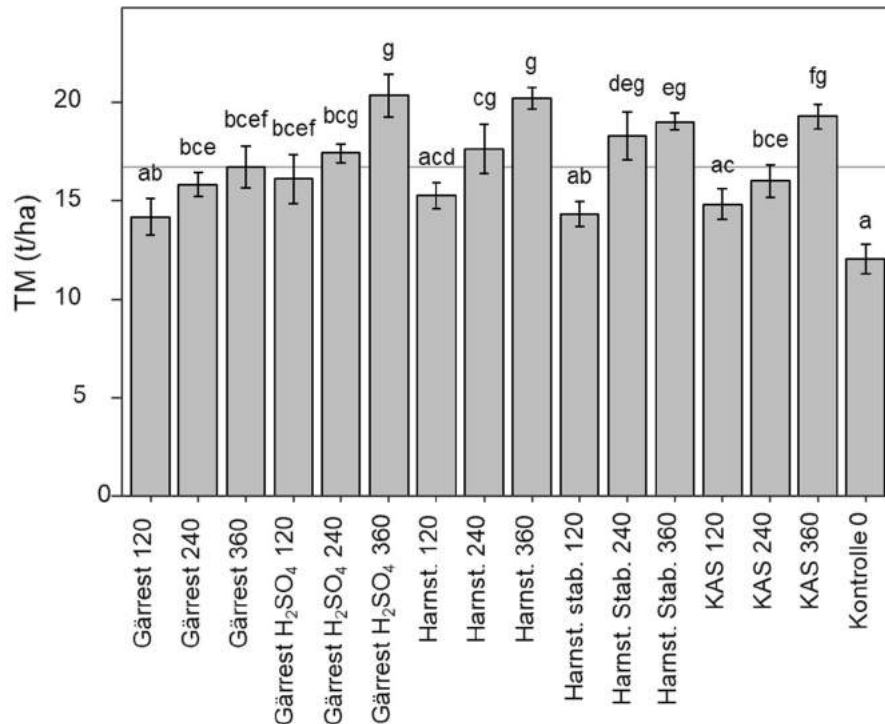


Abb. 1: Trockenmasserträge (TM dt/ha) im Versuchsjahr 2017 kumuliert über 5 Silageschnitte, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

Die Trockenmasserträge zeigten im Versuchsjahr 2017 ein allgemein hohes Ertragsniveau. Auf allen N – Stufen lagen die Erträge der angesäuerten Varianten über denen der nicht angesäuerten. Die Variante Gärrest H₂SO₄ 120 generierte vergleichbare TM Erträge wie die Variante Gärrest 360 ohne Ansäuerung und erzielte zudem die höchsten TM Erträge aller Varianten auf dieser N – Stufe. Gärrest H₂SO₄ 360 und Harnstoff 360 erzielten die höchsten kumulierten TM – Erträge aller getesteten Varianten. Dieses Ergebnis zeigt, dass der Mehrertrag der angesäuerten Varianten höchstwahrscheinlich nicht auf einen Schwefeldüngungseffekt der angesäuerten Gärrestvarianten zurückzuführen ist und die Ausgleichsdüngung auf den mineralischen Varianten sowie der Kontrolle erfolgreich war. Es ist davon auszugehen, dass durch die Ansäuerung die pflanzenverfügbare N – Menge durch eine Reduktion der NH₃ Emissionen erhöht wurde. Dieser Effekt wird insbesondere auf der niedrigsten N – Stufe deutlich, die einen entsprechenden Mehrertrag im Vergleich mit anderen Varianten auf dieser N – Stufe, generieren konnte. Auf der höchsten N – Stufe konnte dieser zusätzlich verfügbare Stickstoff nicht mehr in gleichem Maße in Ertrag umgesetzt werden. Zukünftige Analysen hinsichtlich des N – Ertrages werden Aufschluss über diesen Sachverhalt geben. Um die Effizienz der Ansäuerung hinsichtlich einer Emissionsminderung zu überprüfen wurde im Anschluss an jede Düngung NH₃ gemessen.

In Abbildung 2 sind die kumulierten Ammoniakverluste über alle vier Messkampagnen 2017, gemessen mit DTM, vergleichend dargestellt.

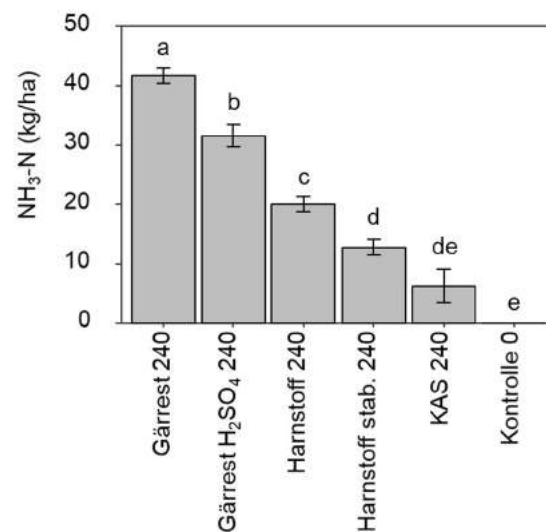


Abb. 2: Ammoniakemissionen kumuliert über vier Düngungen 2017 gemessen mit DTM, unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

Es wird deutlich, dass die Ammoniakemissionen durch eine Ansäuerung des Substrates von einem Ausgangs pH-Wert von 8,7 auf einen pH-Wert von 5,5 bis 6 signifikant, um etwa 10 kg/ha NH₃-N reduziert werden konnten. Diese Stickstoffmenge steht dem Grünlandbestand zusätzlich unmittelbar zur Verfügung und erklärt somit zum Teil die in Abb. 1 dargestellten höheren Trockenmassererträge der angesäuerten Gärrestvarianten. Andere Arbeiten (Fangueiro et al., 2015) zeigen vergleichbare oder stärkere NH₃ – Minderungen durch Ansäuerung. In weiteren Analysen muss der Stickstoffertrag analysiert werden, um eine abschließende Bewertung der Effizienzsteigerung durch Ansäuerung der Wirtschaftsdünger vornehmen zu können. Bei Betrachtung der kumulierten Ammoniakverluste für stabilisierten und nicht stabilisierten Harnstoff, ist erkennbar, dass NH₃ Emissionen durch eine Stabilisierung des Harnstoffs signifikant verringert werden können. Diese Betrachtung ist insbesondere vor dem Hintergrund der Düngeverordnung, 2017 wichtig, da ab 1. Februar 2020 Harnstoff nur noch durch einen Ureasehemmstoff stabilisiert ausgebracht werden darf, sofern er nicht innerhalb von vier Stunden eingearbeitet wird (Düngeverordnung, 26.05.17 (BGBl. I S. 1305).

Bei Betrachtung der in Abbildung 3 dargestellten kumulierten Lachgasverluste für das Versuchsjahr 2017 (Zeitraum: 01.03.2017 bis 31.01.2018), zeigt sich, dass die angesäuerten Gärrestvarianten im Vergleich zu den unbehandelten Varianten höhere Lachgasverluste aufwiesen. Ein möglicher Erklärungsgrund dafür könnten die durch die Ansäuerung reduzierten Ammoniakverluste sein, die den Anteil des verfügbaren Stickstoffs im Boden erhöhen und somit im Folgenden als Nitrat unter anderem auch für eine unvollständige Denitrifikation zur Verfügung stehen können. Ein weiterer Erklärungsansatz wäre eine durch die Säurezugabe beschleunigte Mineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffes. Dieser würde dann zusätzlich der Pflanze aber auch für N₂O – bildende Prozesse zur Verfügung stehen. Weitere Analysen des Boden Nmin Wertes sowie des Stickstoffgehaltes des Erntematerials werden Aufschluss über diesen Sachverhalt geben.

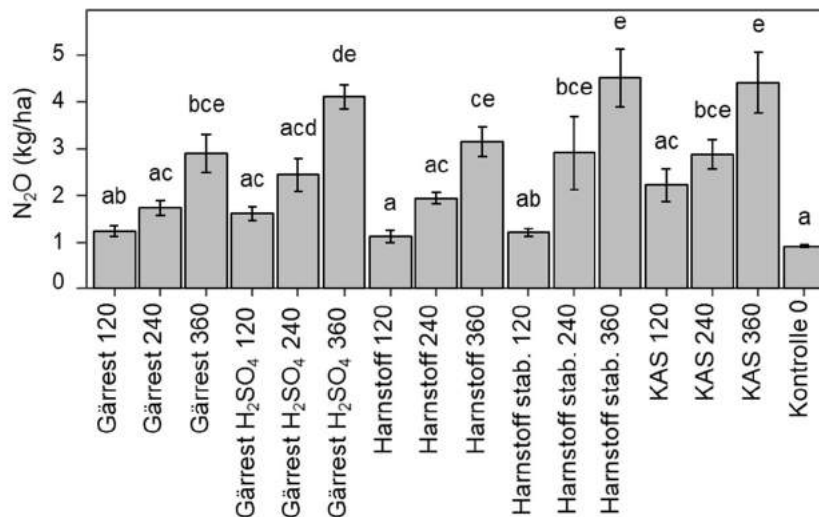


Abb. 3: Kumulierte N₂O Verluste (01.03.2017- 31.03.2018) in kg/ha gemessen mit "closed chamber" Method (Hutchinson und Moirer, 1981) unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede.

In allen Varianten zeigte sich, dass die Lachgasverluste mit einem Anstieg der Stickstoffzufuhr zunehmen. Bei steigenden Nitratmengen kommt es durch entsprechende Denitrifikationsprozesse bei unvollständigem Ablauf zur verstärkten Entstehung von N₂O. Entsprechend zeigt die Kontrolle ohne Stickstoffversorgung die geringsten Lachgasemissionen. Die höchsten N₂O Emissionen wurden beim stabilisierten Harnstoff und KAS in der Stickstoffstufe 360 kg N/ha gemessen.

Schlussfolgerungen

Erste Versuchsergebnisse aus dem Jahr 2017 zeigen, dass eine Ansäuerung von Gärresten mit Schwefelsäure eine effiziente Möglichkeit darstellt, Ammoniakemissionen bei der Ausbringung von Gärresten zu reduzieren. Weitere Analysen bezüglich der Stickstofferträge und die Auswertung des Versuchsjahres 2018, müssen bestätigen, dass durch Ansäuerung eine deutliche Steigerung der Stickstoffnutzungseffizienz zu erreichen ist. Deutliche Indizien dafür liefern bereits die erhöhten Trockenmasseerträge bei gleichzeitig signifikant verringerten NH₃ Emissionen, die mit Ansäuerung erzielt wurden. Auch der Einfluss auf Lachgasemissionen muss mithilfe der Ergebnisse des Versuchsjahres 2018 weitergehend analysiert werden.

Bereits die ersten Ergebnisse des Versuchsjahres 2017 bestätigen, dass Ansäuerungstechnologien neben anderen bodennahen Ausbringungstechniken ein weiteres wichtiges Instrument darstellen, um auf Ebene der Applikation NH₃ Verluste signifikant zu verringern und so mineralischen Stickstoffdünger einsparen zu können. Die Anwendungsbereiche dafür liegen insbesondere in stehenden Beständen oder auf Standorten, wo Injektionsverfahren nicht geeignet sind (z.B. Niederungsgrünland). Insbesondere hier hat die Ansäuerung Vorteile gegenüber anderen Verfahren und sollte nicht zuletzt auf Grund der enormen gesellschaftspolitischen Relevanz von Ammoniakemissionen aus dem landwirtschaftlichen Sektor, genutzt werden und vermehrt Eingang in die landwirtschaftliche Praxis finden.

Literatur

DÜNGEVERORDNUNG VOM 26. MAI 2017 (BGBl. I S. 1305):
https://www.gesetze-im-internet.de/d_v_2017/D%C3%BCV.pdf

DURCHFÜHRUNGSBESCHLUSS (EU) 2017/302:
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D0302&from=DE>

- FANGUEIRO, D., HJORTH, M. & GIOELLI, F. (2015): Acidification of animal slurry - a review. *Journal of Environmental Management*. 149:46-56.
- FERM, M. (1998): Atmospheric ammonia and ammonium transport in Europe and critical loads: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 51: 5–17.
- HAENEL, H-D., RÖSEMANN, C., DÄMMGEN, C., FREIBAUER, A., DÖRING, U., WULF, S., EURICH-MENDEN, B., DÖHLER, H., SCHREINER, C. & OSTERBURG, B. (2016): Berechnung von gas- und partikelförmigen Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft 1990-2014. Nationaler Emissionsbericht 2016 für 2014. *Thünen Report 39*. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig.
- HUTCHINSON, G.L. & MOISIER, A. R. (1981): Improved Soil Cover Method for Field Measurement of Nitrous Oxide Fluxes. *Soil Science Society of America*. 45, 311-316.
- JACOBSEN, B.H. (2015): Why is acidification a success only in Denmark? - A look at emission effects, costs, handling and regulation. *Abstract for the Manuresource Conference Ghent* 3-4 December 2015.
- LELIEVELD, J., EVANS, J. S., FNAIS, M., GIANNADAKI, D. & POZZER, A. (2015): The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*, Vol 525, 367-371.
- MOSIER, A. R. (2001): Exchange of gaseous nitrogen compounds between agricultural systems and the atmosphere. *Plant and Soil* 228, 17–27.
- PACHOLSKI, A. (2016): Calibrated Passive Sampling - Multi-plot Field Measurements of NH₃ Emissions with a Combination of Dynamic Tube Method and Passive Samplers. *Journal of Visualized Experiments*. 109, 1-15.
- PETERSEN ET AL. (2012), PETERSEN, S.O., ANDERSEN, A.J. & ERIKSEN, J., (2012): Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of Environmental Quality*. 41, 88-94.
- SOMMER, S. G. & HUTCHINGS, N. J. (2001): Ammonia emission from field applied manure and its
- SPIRIG, C. & NEFTEL, A. (2006): Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft und Feinstaub. *Agrar Forschung* 392-397.
- UMWELTBUNDESAMT, 2017 (UBA):
<https://www.umweltbundesamt.de/indikator-emission-von-luftschadstoffen>
- UMWELTBUNDESAMT, 2016 (UBA):
<https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/ammoniak-emissionen#textpart-3>