

Stickstoffnutzungseffizienz roher und anaerob vergorener Gülle: Eine Studie mit unterschiedlichen ¹⁵N Methoden

Hutter M^{1,2}, Krebs R¹ & Mayer J²

Keywords: N use efficiency, anaerobic digestion, slurry, ¹⁵N.

Abstract

In agricultural biogas plants in Switzerland, in general 80 % or more of the digested organic matter is farmyard manure. Organic waste materials are used as co-substrates. A field experiment with silage maize was conducted to test whether the apparent nitrogen use efficiency (NUE) of anaerobically digested slurries is higher than the one of raw slurries in the year of application. Two different ¹⁵N labelling methods were used. In the ¹⁵N direct method, slurry NH₄-N was labelled. In the indirect ¹⁵N isotope dilution method soil was pre-labelled by incorporating ¹⁵N labelled clover-grass powder; maize received unlabelled slurry. In the ¹⁵N direct approach, raw slurries had the lowest apparent NUE of NH₄-N, two anaerobically digested (AD) slurries had an approximately 10 % higher NUE than raw slurries (not all results sign.). The NUE of total N in the non-isotopic difference calculation showed the same patterns between treatments. In contrast, results gathered with the isotope dilution method showed different patterns. Incorporating clover-grass powder one month before maize sowing seems to be too short to pre-label the soil organic matter homogeneously.

Einleitung und Zielsetzung

Bei der Biogasproduktion aus Hofdüngern und Co-Produkten aus Reststoffen der Lebensmittelwirtschaft kann eine Flächenkonkurrenz zur Nahrungsproduktion vermieden werden. Hofdünger sind jedoch für Bio-Betriebe in erster Linie Teil des Nährstoffkreislaufes, wobei die Stickstoffausnutzungseffizienz (NAE) besonders wichtig ist für die Ertragsbildung. Im Ausbringungsjahr wird die N-Verfügbarkeit vor allem durch den NH₄-N-Gehalt, das C:N Verhältnis und die Stabilität der organischen Substanz in der Gülle beeinflusst (Gutser et al. 2005). Verglichen mit Rohgülle enthalten anaerob vergorene Gülle (flüssiger Gärrest) weniger leicht abbaubaren Kohlenstoff, haben ein engeres C:N Verhältnis und ein weiteres N_{NH₄}:Gesamt-N Verhältnis. In Topfversuchen war die NAE von vergorenen Gülle etwa 10 bis 25 % höher als von Rohgülle (Bosshard et al 2010, de Boer 2008, Möller und Müller 2012). Unter Feldbedingungen fallen die Resultate unterschiedlich aus. Bosshard et al. (2010) fanden bei Weizen eine NAE von 37 % gedüngt mit roher und 56 % mit vergorener Schweinegülle, wobei der Unterschied nicht signifikant war. Möller et al. (2008) konnten eine höhere NAE finden, wenn die Gülle direkt nach der Ausbringung eingearbeitet wurde.

Das Ziel dieses Feldversuches mit Silomais war i) zu untersuchen, ob im Jahr der Ausbringung die NAE von anaerob vergorenen Gülle höher ist als jene von Roh-

¹ Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften ZHAW, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, Grüental, 8820, Wädenswil, Schweiz, monika.hutter@zhaw.ch, www.zhaw.ch

² Agroscope, Institut für Nachhaltigkeitswissenschaften, Reckenholzstrasse 191, 8046, Zürich, Schweiz, www.agroscope.ch

güllen und ii) eine direkte (^{15}N Labelling der $\text{NH}_4\text{-N}$ Fraktion der Gülle) mit einer indirekten (Isotopenverdünnungsansatz) ^{15}N Isotopenmethode zu vergleichen.

Methoden

Der Feldversuch wurde in der Vegetationsperiode 2015 mit Silomais am Standort Zürich-Reckenholz (CH) auf einer Parabraunerde durchgeführt, und zwar als Blockanlage mit vierfacher Wiederholung. Die Güllen stammten von Praxisbetrieben. Es wurden eine rohe Rindergülle (RawC) sowie eine rohe Schweinegülle (RawP) mit drei Biogasgüllen aus landwirtschaftlichen Biogasanlagen verglichen, welche als Co-Substrathauptkomponente eines der vier in der CH mengenmäßig wichtigsten Co-Substrate vergären: BgCe (Getreideabgang), BgCo (Kaffeesatz), BgVe (Gemüse- und Obstrüstabfall). Als Kontrollen dienten ein mineralisch gedüngtes (CoMin) und ein ungedüngtes Verfahren (CoNull). Gedüngt wurde nach der Schweizer Düngungsnorm mit der Zielgröße von $110 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Die scheinbare Stickstoffausnutzungseffizienz (NAE), basierend auf dem oberirdischen Aufwuchs von Silomais, wurde mit zwei ^{15}N -Tracer-Methoden untersucht. Bei der direkten Methode wurde die Gülle mit $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (95 atm % ^{15}N) gelabelt, wodurch sich die NAE auf die $\text{NH}_4\text{-N}$ Fraktion der Gülle bezieht. Bei der indirekten ^{15}N -Isotopen-Verdünnungsmethode wurde 32 Tage vor der Saat mit ^{15}N gelabeltes Klee-Gras-Pulver aus einem Vorjahresversuch in den Boden eingearbeitet. Gedüngt wurde hier mit ungelabelter Gülle. Die NAE wird anhand der Verdünnung des gelabelten Bodenpools gegenüber der ungedüngten Kontrolle berechnet. Die NAE bezieht sich dabei auf den Gesamt-N. Die Parzellengröße betrug 4 m^2 , wobei der Tracer in beiden Methoden auf einem Mikroplot von 1 m^2 mit 8 Maispflanzen ausgebracht wurde. Die Resultate der Isotopen-Methoden wurden mit den Ergebnissen der Differenz-Kalkulation verglichen. Dort wird die Differenz der N-Aufnahme mit und ohne Gülledüngung auf die gedüngte N-Menge bezogen.

Geerntet und analysiert wurden Ende Juli und Mitte September je zwei Pflanzen pro Mikroplot sowie je zwei Pflanzen von der Nebenreihe. Unterschiede wurden mit einer Varianzanalyse und anschließendem Tuckey HSD-Test ermittelt. Das Signifikanzniveau wurde bei $P \leq 0.05$ festgelegt.

Ergebnisse

Bei der Zwischenernte Ende Juli konnte weder mit der Differenz-Kalkulation, noch mit der direkten ^{15}N -Methode ein Unterschied in der NAE zwischen den Varianten festgestellt werden. Bezogen auf den Gesamt-N der Pflanzen, mittels Differenz-Kalkulation (Abb. 1A), hatten bei der Haupternte Mitte September die beiden Rohgüllen mit 23 % (RawC) und 25 % (RawP) eine signifikant geringere NAE als die Biogasgülle BgCe mit 44% und eine tendenziell geringere NAE als BgCo mit 37 %. Ein ähnliches Muster zwischen den Varianten wie die Differenz-Kalkulation zeigte die NAE der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Fraktion, ermittelt mit der direkten ^{15}N -Methode (Abb. 1B): Die Rohgüllen hatten mit 34 % (RawC) und 33% (RawP) eine geringere NAE als die Biogasgülle BgCo und BgCe mit je 45 % (Unterschied signifikant zwischen RawP und BgCo). BgVe lag bei beiden Methoden zwischen den Rohgüllen und den zwei anderen Biogasgüllen (BgCe, BgCo). Der Anteil von $\text{NH}_4\text{-N}$ zu Gesamt-N der untersuchten Güllen lag zwischen 55 und 67 %.

Bei der ^{15}N -Isotopen-Verdünnungsmethode konnten an beiden Erntezeitpunkten keine Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten gefunden werden. Die Variation in

den Daten war grösser als bei den beiden anderen Methoden und es zeigten sich deutlich abweichende Muster zwischen den Varianten (Resultate nicht gezeigt).

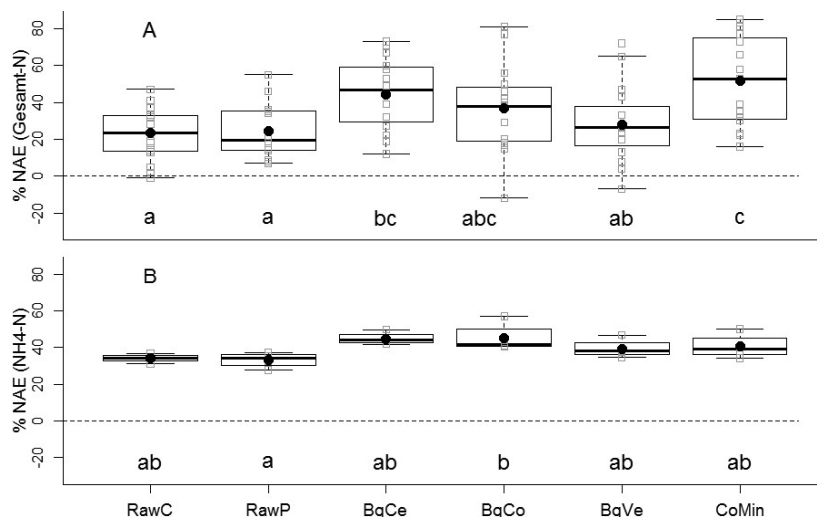


Abbildung 1: Stickstoffnutzungseffizienz (NAE) der oberirdischen Biomasse ermittelt mit der Differenz-Kalkulation (A) sowie mit der direkten ¹⁵N-Methode (B) für die Ernte im September 2015, Zürich-Reckenholz, Schweiz. NAE bezieht sich auf Gesamt-N (A) bzw. auf NH₄-N (B). Bei der Differenz-Kalkulation wurden beide beprobten Reihen beider Methoden einbezogen (n=16), bei der ¹⁵N-Methode der gelabelte Mikroplot (n=4). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede der Verfahrensmittel (Tuckey HSD; p ≤ 0.05). Fette Linie: Median, schwarzer Punkt: Mittelwert je Variante. RawC: rohe Rindergülle, RawP: rohe Schweinegülle, BgCe: Biogas Getreideabgang, BgCo: Biogas Kaffeesatz, BgVe: Biogas Gemüse, CoMin: mineralisch gedüngte Kontrolle.

Diskussion

Die scheinbare NAE war bei allen Verfahren mit 23 bis 52 % relativ gering. Die ausserordentlich trockene und heisse Witterung 2015 hatte wahrscheinlich zur geringeren NAE geführt.

Von den Güllen zeigten die beiden Rohgüllen die geringsten NAE-Werte, die beiden Biogasgüllen BgCe und BgCo die höchsten Werte. Bei Bosshard et al. (2010) zeigten sich im Feld mit der Differenz-Kalkulation ähnliche Ergebnisse mit 37 % NAE von roher Schweinegülle und 56 % von vergorener Schweinegülle. Die Biogasgülle BgVe lag zwischen den Rohgüllen und den vergorenen Güllen. Die tendenziell geringere NAE von BgVe im Vergleich zu BgCe und BgCo konnte weder durch das C:N-Verhältnis, noch durch den Ammonium-Anteil erklärt werden. Diese Gülle wurde während 14 Tagen vergoren, was relativ kurz ist verglichen mit dem in der Schweiz regulären Fermentationsprozess von 25 bis 40 Tagen. Dies könnte zu einem höheren

Anteil an leicht abbaubarem C geführt haben und somit zu einer stärkeren Gülle-N-Immobilisation im Boden (Jensen et al. 2000). Dies bestätigen die Resultate der NAE der $\text{NH}_4\text{-N}$ Fraktion, die für die Biogasgülle BgCe und BgVe tendenziell und für BgCo signifikant höher lag als für die Rohgülle. Durch Verlust an leicht verfügbarem C steigt die N-Verfügbarkeit der $\text{NH}_4\text{-N}$ Fraktion im Jahr der Düngung wie weitere Studien bestätigen (Gutser et al 2005, Möller & Müller 2012).

Wie die Differenz-Methode bezieht sich auch die Isotopen-Verdünnungsmethode auf den Gesamt-N. Trotzdem waren die Resultate nicht vergleichbar. Bei der Verdünnungsmethode werden atom % excess (APE) von gedüngter Variante wie auch der Nullkontrolle in die Berechnung einbezogen, weshalb sich Probenahme- und Messfehler wie auch Isotopen-Kreuzkontaminationen stärker auswirken als bei der direkten Methode. Zudem wurde das gelabelte Klee-Gras einen Monat vor der Saat in den Boden eingearbeitet, was zu kurz scheint. Hood (2001) fand mit Körnerleguminosenresiduen eine gute Übereinstimmung zwischen direkter ^{15}N -Methode und ^{15}N Isotopen-Verdünnungsmethode, wenn der Boden ein Jahr im Voraus gelabelt wurde.

Schlussfolgerungen

Die vergorenen Gülle hatten im Mittel eine etwa 10 % grössere NAE von $\text{NH}_4\text{-N}$ als die Rohgülle und 15 % grössere NAE bezogen auf Gesamt-N. In dieser Studie hat die anaerobe Vergärung der Gülle mit Co-Substraten die Gülleeigenschaften so verändert, dass dies zu einer verbesserten N-Verfügbarkeit im Jahr der Ausbringung führte. Die Düngung mit Biogasgülle kann deshalb im Biolandbau eine gezieltere Düngung ermöglichen, z.B. bei Winterweizen und gesplitteten Güllegaben im Frühling.

Die Isotopen-Verdünnungsmethode wäre eine wertvolle Methode, um die Stickstoffausnutzungseffizienz aus komplexen organischen Düngern wie Gülle oder Mist abzuschätzen. Doch ein homogenes Labelling der organischen Substanz im Boden ist erforderlich. Die Methode sollte weiter geprüft und verbessert werden.

Literatur

- Bosshard C, Flisch R, Mayer J, Basler S, Hersener JL, Meier U & Richner W (2010) Verbesserung der Stickstoffeffizienz von Gülle durch Aufbereitung. *Agrarforschung Schweiz* 1: 378-383.
- de Boer HC (2008) Co-digestion of animal slurry can increase short-term nitrogen recovery by crops. *J. Environ. Qual.* 37: 1968-1973.
- Gutser R, Ebertseder T, Weber A, Schraml M & Schmidhalter U (2005) Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilisers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168: 439-446.
- Hood (2001) Evaluation of a new approach to the nitrogen-15 isotope dilution technique, to estimate crop N uptake from organic residues in the field. *Biol. Fert. of Soils* 34: 156-161.
- Jensen LS, Pedersen IS, Hansen TB & Nielsen NE (2000) Turnover and fate of ^{15}N -labelled cattle slurry ammonium-N applied in the autumn to winter wheat. *Eur. J. of Agron.* 12: 23-35.
- Möller K & Müller T (2012) Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Eng. Life Sci.* 12(3): 242-257.
- Möller K, Stinner W, Deuker A & Leithold G (2008) Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on nitrogen cycle and crop yield in mixed organic dairy farming systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 82: 209-232.