

Modell zeigt: Ersatz von Mineraldünger durch Gärreste aus Biogasanlagen kann langfristig Böden verbessern und Treibhausgase vermindern

Rene Dechow, Balázs Grosz, Reinhard Well

- **Gärreste aus Biogasanlagen als vielversprechende Alternative zu Mineraldüngern.**
- **Substitution von Mineraldüngern kann Treibhausgasbilanzen der Landwirtschaft verbessern.**
- **Böden profitieren durch Humusaufbau und können als CO₂-Senke fungieren.**

Hintergrund und Zielsetzung

Das Wachstum der Weltbevölkerung erfordert eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion. Dies sollte jedoch durch eine Verringerung der Umweltauswirkungen landwirtschaftlicher Praktiken erreicht werden. Der *Green Deal* der Europäischen Kommission enthält Ziele zum effizienteren Einsatz von Stickstoff (N). Dieser ließe sich erzielen, wenn Gülle und Gärreste aus vieh- und biogasreichen Regionen in Ackerbaugelände transportiert werden, die vor allem Mineraldünger nutzen. Gleichzeitig könnte damit auch eine Minderung von gasförmigen N-Emissionen erreicht werden. Es gibt jedoch nur wenige Studien, die sich mit den Auswirkungen einer Düngemittelreduzierung und den Ersatz mineralischer durch organische Dünger auf die Humusvorräte, Lachgasemissionen (N₂O), den N-Kreislauf und die Produktivität auf lange Sicht befassen. Deshalb wurden im Rahmen des RESOURCE-Projektes, langjährige Modellsimulationen zur Untersuchung dieser Thematik durchgeführt.

Vorgehensweise

Durch den Projektpartner (Julius Kühn-Institut) wurden zwei Feldversuche nahe Braunschweig in Sicke und Wipshausen angelegt. Geprüft wurden die Varianten mineralische Düngung (MD) und Gärrestausbringung (GR) in je 3 Intensitätsstufen – 100% (MD, GR), 80% (MD-20%, GR-20%) und 60% (MD-40%, GR-40%) des Stickstoffbedarfswerts der jeweilig aufwachsenden Kultur. Diese Versuche wurden herangezogen, um das biogeochemische Modell DNDCv.CAN weiterzuentwickeln und zu evaluieren. Der Fokus der Modellweiterentwicklung lag auf der Beschreibung der Stickstoffumsätze und -flüsse in Ackerbausystemen. Insbesondere wurde die Übereinstimmung gemessener und in den Feldversuchen beobachteter Ammoniak- und Lachgasemissionen untersucht. Um die Eignung des Modells zur Simulation von Humusgehaltsänderungen in Abhängigkeit von Klima- und Bodenbedingungen zu bestätigen wurden Bodendauerbeobachtungsflächen in Niedersachsen verwendet. Auch hier wurden beobachtete und modellierte Änderungen des Humusvorrats verglichen. Um zu prognostizieren, wie sich die Substitution von Mineraldünger durch Gärreste und unterschiedliche

Düngungsraten mittel- bis langfristig auf Erträge, Lachgasemissionen und Humusgehaltsänderungen auswirken, wurden Szenarien von 2020 bis 2060 mit DNDCv.CAN modelliert. Das angenommene Management der Szenarien basierte dabei auf den in den Feldversuchen getesteten Varianten. Um künftige Klimaentwicklungen zu berücksichtigen, wurden drei Klimaszenarien des Deutschen Wetterdienstes herangezogen. Diese drei Szenarien beschreiben unterschiedlich starke Temperaturanstiege, von gering (RCP2.5) über moderat (RCP 4.5) bis stark (RCP 8.5). Die Modellergebnisse wurden herangezogen, um neben der Produktion und N-Nutzungseffizienz, die Bilanz der landnutzungsbedingten Treibhausgasemissionen zu quantifizieren. Diese ergibt sich aus den Emissionen von Kohlendioxid (CO₂) sowie direkten und indirekten N₂O-Emissionen. Dabei entstehen CO₂-Emissionen hauptsächlich durch Änderungen des Humusvorrats.

Ergebnisse

Ähnlich wie bei den Messdaten ergaben sich auch bei der Modellierung keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der oberirdischen Biomasse und des Ertrags zwischen den verschiedenen Düngungsvarianten. Die verschiedenen Düngestrategien hatten relativ geringe Auswirkungen auf die Veränderungen der oberirdischen Biomasse und des Ertrags mit der Zeit. Dies gilt für die simulierten Standorte und Klimaszenarien. In den Simulationen zeigte sich, dass sich die Substitution von Mineraldünger durch Gärreste positiv auf die langfristige Entwicklung der Humusvorräte auswirkt. Vor allem für die Varianten mit höheren Stickstoff Einträgen (100% und 80% des N-Bedarfswerts) zeigen sich deutliche Anstiege des Humusvorrats im Oberboden im Vergleich zur Variante mit Deckung des N-Bedarfs durch mineralische Düngung (Abb. 1). Die Variante GR-40% zeigt keine wesentlichen Humusvorraterhöhungen im Vergleich zur Variante MD (100% Mineraldüngung): wegen des verringerten N-Angebots wird der zusätzliche Kohlenstoffeintrag über die Gärreste durch einen geringeren Biomasseaufwuchs kompensiert. Reduzierte Mineraldüngergaben (MD-20%, MD-40%) verringern den Humusvorrat in den meisten Fällen, denn die Minderung des

N-Dargebots, wirkt sich auf Pflanzenwachstum und damit auf den Eintrag von Erntereste aus. Bodeneigenschaften haben einen sehr ausgeprägten Effekt auf die Humuszunahme bei Gärrest-Applikation, während der Effekt der Klimaszenarien weniger ausgeprägt ist. In allen drei simulierten Dünge­stufen, ändern sich die Erträge und die N-Nutzungseffizienz kaum mit der Zeit. Dieses Ergebnis zeigt sich ebenso bei den Gärrest-Varianten GR und GR-20%. Dabei war zu erwarten, dass eine Zunahme des Humusvorrats die Mineralisierung steigert und mehr pflanzenverfügbaren Stickstoff freisetzt. Hier zeigt sich, dass das Pflanzenwachstum in den Varianten mit 100% und 80% N-Bedarfsdeckung kaum N-limitiert ist, was auch die experimentellen Versuchsergebnisse bestätigen.

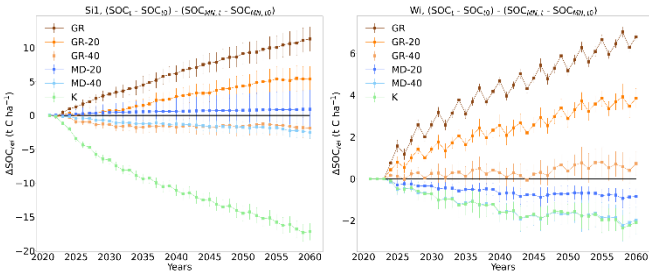


Abbildung 1: Modellierung der zeitlichen Veränderung der organischen Substanz im Boden bei verschiedenen Varianten in der mineralischen Düngungsvariante (MD) an den Standorten der Feldversuche Sickte (links) und Wipshausen (rechts); die vertikalen Balken zeigen die Streuungen, die durch die verschiedenen Klimaserien der Klimamodelle und die Variabilität der in den Feldversuchen verwendeten Replikate verursacht werden (Quelle: Tendler et al., 2025).

Die modellierten Lachgasemissionen waren sehr durch den Standort beeinflusst. Im Vergleich zu lehmigen Böden (Sickte) ist die simulierte N_2O -Emission auf sandigen Böden (Wipshausen) deutlich geringer. Auf sandigen Böden haben sowohl die klimatischen Bedingungen als auch die verschiedenen Düngungsvarianten kaum Einfluss auf die N_2O -Emission, während dieser Effekt auf lehmigen Böden sehr ausgeprägt ist. Dieses Verhalten ist plausibel, denn auf sandigen Böden treten, aufgrund geringer Wassergehalte und der Porenstruktur, weitaus seltener mit N_2O -Bildung durch Denitrifikation infolge anaerober Bedingungen im Boden zu rechnen. Die modellierten N_2O -Emissionen steigen mit der Zeit in allen Managementvarianten, aber am stärksten in denen, die einen Anstieg der Humusvorräte verzeichnen.

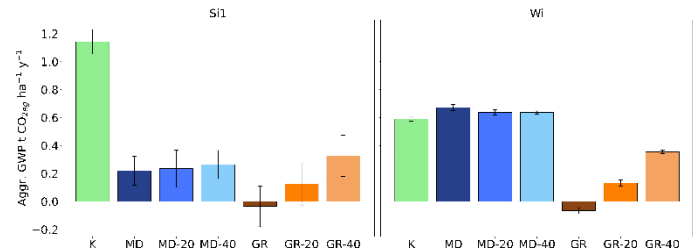


Abbildung 2: Modellerte kumulative Treibhausgasemissionen an den Standorten Sickte (links) und Wipshausen (rechts); die Standardabweichungen zeigen, wie genau die Ergebnisse der verschiedenen Klimamodelle vorher-sagbar sind (Quelle: Eigene Daten).

Fazit

Basierend auf Feldexperimenten wurden Modellsimulationen mit dem weiterentwickelten biogeochemischen Modell DNDCv.CAN durchgeführt. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die Mineraldüngersubstitution durch Gärreste mittelfristig so viel CO_2 in Form von Bodenkohlenstoff speichern kann, dass direkte und indirekte N_2O Emissionen mehr als ausgeglichen werden. Das kann Böden zu einer temporären CO_2 Senke machen. Abhängig ist dies von den Bodenbedingungen und der Bewirtschaftungsgeschichte. Insgesamt erwies sich die Mineraldüngersubstitution mittelfristig (0 – 40 Jahre) als vorteilhaft für die Bilanz landnutzungsbedingter Treibhausgasemissionen (Abb. 2). Es ist aber wichtig zu wissen, dass die Verwendung von Gärresten als alleinige N-Dünger in der Regel zu geringeren Proteingehalten im Erntegut führen. Aus diesem Grund wäre eine Kombination organischer und mineralischer Dünger vorzuziehen. Diese hat sich in den Simulationen auch als vorteilhaft für die Bilanz landnutzungsbedingter Treibhausgasemissionen erwiesen.

Zitierte Literatur:

[Tendler et al., 2025](#). Gärreststrategien zur Optimierung von Nährstoffeffizienz, Wasser- und Klimaschutz im Pflanzenanbau.

Weitere Informationen			
Kontakt ¹ Thünen-Institut für Agrarklimaschutz Reinhard.Well@thuenen.de www.thuenen.de/ak Laufzeit 01/2022 – 12/2024 DOI: 10.3220/253-2025-209	Projekt-ID 2405 Veröffentlichungen Grosz et al., 2024 . Modeling N2O, NH3 fluxes, and Nmin concentrations in agricultural soils treated with biogas digestate using a modified DNDC model, EGU General Assembly	2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-16666 Grosz et al., 2025 . Modeling of the long-term effects of reduced inputs of organic and inorganic fertilizers on SOC and N-balance of agricultural soils, EGU General Assembly 2025, Vienna, Austria, 27 Apr–2 May 2025, EGU25-3552.	Gefördert durch Dieses Forschungsprojekt wurde von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) finanziell unterstützt und vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) auf Grundlage eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert; Förderkennzeichen: 2220NR018B.