

Treibhausgasbilanzen ökologischer und konventioneller Anbausysteme: Ergebnisse eines zwölfjährigen Dauerfeldversuchs

Baumgartner T¹, Winkhart F¹, Schmid H¹ & Hülsbergen K-J¹

Keywords: Treibhausgasemissionen, Systemvergleich, C-Sequestrierung, N₂O

Abstract

Agriculture is accountable for a substantial amount of greenhouse gas (GHG) emissions due to soil cultivation, livestock emissions and fossil energy usage. Previous studies reported lower environmental impacts of organic farming compared to conventional farming but failed to differentiate within farming systems. To address this issue we analyzed a twelve-year dataset of the Viehhausen System Trial, a long-term experiment located in southern Germany. This study compares the GHG balances of crop production and focuses on the system comparison between and within organic and conventional farming systems. The calculations include direct emissions from cultivation, indirect emissions from machine and fertilizer production, nitrous oxide emissions and the sequestration potential of organic carbon. Carbon sequestration was both calculated and measured. Significant differences between and within the systems were found, results differ between the two methods, but show a positive trend towards organic systems.

Einleitung und Zielsetzung

Die Landwirtschaft trägt in erheblichem Maße zur anthropogenen Erderwärmung bei, und die Verringerung der landwirtschaftlichen Emissionen, besonders Methan und Lachgas, werden zukünftig eine wichtige Rolle bei der Eindämmung des Klimawandels spielen (Lynch et al. 2021). Ökologische Anbausysteme gelten hierbei als nachhaltige Landnutzungssysteme mit geringeren flächenbezogenen Treibhausgas-Emissionen, vor allem aufgrund der höheren Gehalte an organischem Bodenkohlenstoff, einem geringeren Einsatz an Betriebsmitteln und niedrigeren Lachgasemissionen (Sanders & Heß 2019).

Bisherige Untersuchungen haben sich hauptsächlich mit Vergleich ökologischer und konventioneller Anbausysteme beschäftigt, ohne die Bandbreite beider Gruppen zu berücksichtigen. Häufig wurden zudem Feldversuche ohne Berücksichtigung der in diesen Systemen zur Verfügung stehenden Düngemitteln durchgeführt und Mineraldüngergaben lediglich mit Wirtschaftsdüngern substituiert, Nullparzellen als ökologisch klassifiziert oder untypische Fruchtfolgen verwendet (Kirchmann et al. 2016). Ziel der vorliegenden Arbeit war es einen Systemvergleich zwischen und auch innerhalb ökologischer und konventioneller Anbausysteme durchzuführen, anhand eines zwölfjährigen Datensatzes des Systemversuchs Viehhausen, in welchem ebendiese Kritikpunkte aufgegriffen und durch das einzigartige Versuchsdesign zu beseitigen versucht wurden.

¹ Technische Universität München, TUM School of Life Science, Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme, Liesel-Beckmann Str. 2, 85354, Freising, Deutschland, thomas.baumgartner@tum.de

Methoden

Der Systemversuch Viehhausen wurde im Jahr 2009 auf der Versuchsstation Viehhausen, 30 km nördlich von München, als Dauerfeldversuch angelegt. Die mittlere Jahrestemperatur lag im Beobachtungszeitraum (2009-2021) bei 9,1 °C, der mittlere Jahresniederschlag betrug 752 mm. Die vorliegende Bodenform ist pseudovergleyte Parabraunerde aus Löss, die Bodenart schluffige Lehm. Weitere Bodenparameter die zu Versuchsbeginn aufgenommen wurden beinhalteten: (22% Ton, 14% Sand, 64% Schluff, Corg = 1.24%, pH-Wert = 6.6, P = 53.7 mg kg⁻¹, K = 243.1 mg kg⁻¹). Ziel des Versuchs ist es die Wirkungen unterschiedlicher Pflanzenbausysteme auf die Ertragsleistungen, Bodeneigenschaften und -prozesse sowie Umweltwirkungen zu untersuchen. Der Versuch enthält vier ökologische sowie zwei konventionelle Systeme, die durch spezifisches Management, Düngung und Fruchtfolgen abgebildet werden (vgl. Tabelle 1). Der Versuchsansatz unterscheidet sich hierbei von klassischen ein- oder zweifaktoriellen Experimenten durch die gleichzeitige Anpassung dieser drei Faktoren zum Zwecke einer systemkonformen Simulation der Anbausysteme. Untersucht wurden die Treibhausgasbilanzen der einzelnen Systeme auf Flächen- und Produktebene. N₂O-Emissionen wurden nach IPCC berechnet, wobei 1,25 % des N-Inputs als Emissionsfaktor angenommen wurde (Küstermann et al. 2013). Die Berechnung der Humus-Bilanzen erfolgte mit dem REPRO-Modell (Hülsbergen 2003). Neben der dynamischen Humuseinheiten Methode wurde die C-Sequestrierung durch Messungen bestimmt. Hierzu wurden im August 2009 und Oktober 2019 Bodenproben in 30 cm Tiefe gezogen und anschließend der C-Gehalt nach Dumas bestimmt. Die geernteten Erträge wurden mithilfe des Getreideeinheitenschlüssels nach Schulze-Mönking und Klapp (2010) aggregiert. Für die Varianzanalyse wurden linear gemischte Modelle mit REML-Varianz-Komponentenschätzern genutzt (Onofri et al. 2016).

Tabelle 1: Anbausysteme und deren spezifische Bewirtschaftung, Düngung und Fruchtfolgen im Systemversuch

| Anbausystem | Ökologisch | | | | Konventionell | |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|------------------------|
| | Marktfrucht | Milchvieh-Gülle | Milchvieh-Stallmist | Biogas | Marktfrucht | Milchvieh-Gülle |
| Düngung in kg ha ⁻¹ | Grün-düngung | Gülle | Stallmist | Biogas-Gärrest | Mineral Dünger | Mineral Dünger + Gülle |
| C-Input | 0 ± 0 | 490 ± 109 | 1032 ± 412 | 378 ± 84 | 0 ± 0 | 412 ± 71 |
| N-Input | 0 ± 0 | 44 ± 8 | 73 ± 29 | 61 ± 15 | 147 ± 8 | 161 ± 10 |
| Pflanzenschutz | Mechanisch + Indirekt | Mechanisch + Indirekt | Mechanisch + Indirekt | Mechanisch + Indirekt | Chemisch | Chemisch |
| Fruchtfolge | | | | | | |
| 1. | LKG | LKG | LKG | LKG | LKG | LKG |
| 2. | WW | WW + ZF | WW + ZF | WW | WW + ZF | WW + ZF |
| 3. | TR + ZF | SM | SM | TR + ZF | KM | SM |
| 4. | AB | AB | AB | AB | WW | WW |
| 5. | WR | WR | WR | WR | WR | WR |

AB – Ackerbohne, KM – Körnermais, LKG – Luzerne-Klee gras, SM – Silomais, TR – Triticale, WR – Winterroggen, WW – Winterweizen, ZF – Zwischenfrucht

Ergebnisse und Diskussion

Die ökologischen Systeme wiesen durchwegs niedrigere Anbauemissionen auf, vor allem aufgrund des fehlenden Mineraldüngers und Pestizideinsatzes (vgl. Tabelle 2). Die Kraftstoffemissionen waren hingegen aufgrund der mechanischen Beikrautregulierung und häufigeren Bodenbearbeitung mit 400-494 kg CO₂-Äq ha⁻¹ etwas höher. Bei der bilanzierten C-Sequestrierung wurden die konventionellen Systeme deutlich schlechter als die ökologischen Systeme eingeschätzt, Hauptunterschied war hierbei der fehlende Luzerne-Kleegras Anbau welcher in den ökologischen Systemen als äußerst positiv bewertet wurde. Diese Annahmen wurden von den ausgewerteten Messwerten jedoch nur zum Teil bestätigt, die C-Sequestrierung des ökologischen Marktfruchtsystems und Milchvieh Gülle Systems wurde überschätzt, die des konventionellen Milchvieh Güllesystems deutlich unterschätzt. Signifikante Unterschiede zwischen den Systemen wurden daher auf Flächenebene nur bei den Salden mit bilanzierter C-Sequestrierung festgestellt. Die THG-Emissionen je Hektar mit gemessener C-Sequestrierung lagen im Mittel der ökologischen Systeme mit 1498 kg CO₂-Äq ha⁻¹ dennoch deutlich unter dem konventionellen Mittel mit 1932 kg CO₂-Äq ha⁻¹. Die niedrigsten Emissionen wiesen dabei das ökologische Biogassystem, gefolgt von dem ökologischen Milchvieh-Stallmistsystem auf.

Tabelle 2: THG-Emissionen nach Bereichen in kg CO₂-Äquivalenten (Systemversuch Viehhausen, 2011-2021), unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test, p ≤ 0.05)

| | Ökologisch | | | | Konventionell | |
|---------------------------------------|-------------|-----------------|---------------------|---------|---------------|-----------------|
| | Marktfrucht | Milchvieh Gülle | Milchvieh Stallmist | Biogas | Marktfrucht | Milchvieh Gülle |
| CO ₂ -Emissionen Anbau | 546 | 743 | 817 | 746 | 1.073 | 1.134 |
| Saatgut | 95 | 90 | 90 | 95 | 58 | 57 |
| org. Dünger | 0 | 127 | 177 | 169 | 0 | 106 |
| min. Dünger | 0 | 0 | 0 | 0 | 486 | 400 |
| Pestizide | 0 | 0 | 0 | 0 | 136 | 136 |
| Maschinen und Geräte | 51 | 56 | 57 | 56 | 31 | 40 |
| Diesel-Kraftstoff | 400 | 471 | 494 | 426 | 363 | 396 |
| C-Sequestrierung bilanziert | -1.557 | -715 | -886 | -1.045 | -413 | 9 |
| C-Sequestrierung gemessen | -68 | 53 | -946 | -1.066 | -364 | -973 |
| N ₂ O-Emissionen | 1.459 | 1.123 | 1.322 | 1.262 | 1.512 | 1.482 |
| Fruchtfolgeertrag in kg GE | 4.136 f | 8.967 d | 9.885 c | 7.901 e | 10.332 b | 12.464 a |
| THG Emissionen je ha, C bilanziert | 448 e | 1.151 c | 1.254 c | 962 d | 2.171 b | 2.625 a |
| THG Emissionen je Mg GE, C bilanziert | 104 c | 129 b | 126 b | 124 b | 211 a | 211 a |
| THG Emissionen je ha, C gemessen | 1.937 | 1.919 | 1.194 | 941 | 2.221 | 1.643 |
| THG Emissionen je Mg GE, C gemessen | 492 a | 208 b | 109 b | 114 b | 213 ab | 133 b |

Bei den produktbezogenen THG-Emissionen konnten sowohl bei den Ergebnissen der gemessenen als auch bei der bilanzierten C-Sequestrierung signifikante Unterschiede zwischen den Systemen festgestellt werden. Bei der bilanzierten C-Sequestrierung gab es keine Unterschiede zwischen den konventionellen Systemen und das ökologische Marktfruchtsystem zeigte aufgrund der hohen C-Sequestrierung die geringsten Emissionswerte auf. Bei der Bilanz mit der gemessenen C-Sequestrierung hatte das ökologische-Marktfrucht System hingegen die höchsten produktbezogenen Emissionen, aufgrund des geringen Ertragsoutputs und niedrigen C-Sequestrierung. Die Diskrepanz zwischen der gemessenen und bilanzierten C-Sequestrierung kann im Fall des Marktfruchtsystems vor allem auf die Überbewertung der LKG-Gründüngung zurückgeführt werden, welche im Versuch Erträge von bis zu 20 Mg TM ha⁻¹ erzielte. Die niedrigsten Emissionen hatten erneut das ökologische Milchvieh-Stallmistsystem und das ökologische Biogassystem mit 109 und 114 kg CO₂-Äq MG GE⁻¹.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend zeigte sich die Relevanz der Treibhausgasbilanzierung auf Flächen wie auch auf Produktebenen, sowie die Notwendigkeit der Differenzierung der Anbausysteme innerhalb der Bewirtschaftungsrichtungen. Des weiteren konnte die Bedeutung der N₂O-Emissionen, welche hier neben der C-Sequestrierung einen hohen Einfluss auf den Gesamtsaldo hatten, nachgewiesen werden. Zukünftig ist die weitere Verbesserung der Bilanzierung durch Messungen der Lachgasemissionen, sowie die Modellierung der Anbausysteme geplant.

Danksagung

Das Forschungsprojekt wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, FNR FKZ 22025917, gefördert. Die Autoren bedanken sich bei Stefan Kimmelman und Florian Schmid für die Durchführung des Langzeit-Feldexperiments und für die technische Unterstützung, ebenso wie bei dem gesamten Laborteam.

Literatur

- Hülsbergen, K.-J. (2003) Das Indikatorsystem "REPRO" zur einzelbetrieblichen Analyse und Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Unternehmen. In Girna M (Hrsg.) Nachhaltige Agrar- und Ernährungswirtschaft: Herausforderungen und Chancen in der Wertschöpfungskette. Schmidt E, Berlin.
- Kirchmann, H., Kätker, T., Bergström, L., Börjesson, G. & Bolinder, M. A. (2016) Flaws and criteria for design and evaluation of comparative organic and conventional cropping systems. *Field Crops Research* 186: 99–106.
- Lynch, J., Cain, M., Frame, D. & Pierrehumbert, R. (2021) Agriculture's Contribution to Climate Change and Role in Mitigation Is Distinct From Predominantly Fossil CO₂-Emitting Sectors. *Frontiers in sustainable food systems* 4: 518039.
- Küstermann, B., Munch, J. C. & Hülsbergen, K.-J. (2013) Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. *European Journal of Agronomy* 49: 61–73.
- Schulze-Mönking, S. & Klapp, C. (2010) Überarbeitung des Getreide- und Vieheinheitenschlüssels. Endbericht zum Forschungsprojekt 06HS030. Göttingen.
- Onofri, A.; Seddaiu, G. & Piepho, H.-P. (2016) Long-Term Experiments with cropping systems: Case studies on data analysis. *European Journal of Agronomy* 77: 223–235.
- Klingmüller W (1988) *Azospirillum IV: Genetics, physiology, ecology*. Springer, Heidelberg.
- Sanders, J. & Heß, J. (Hrsg.) (2019) Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. Thünen-Report. Johann Heinrich von Thünen-Institut. Braunschweig: vTI (65).