

Umweltwirkung und Produktivität von biologischen und konventionellen Systemen - Ergebnisse aus 42 Jahre DOK Versuch

Krause H-M¹, Mayer J², Oberson A³, Jarosch K², Fliessbach A¹ & Mäder P¹

Keywords: Systemvergleich, Langzeitversuch, Klimawirkung, Bodenbiodiversität, Nährstoffe, Erträge,

Abstract

Agriculture is a major driver of global change, and productive systems with lower environmental impact are urgently needed. Organic agriculture is perceived as alternative to conventional farming systems due to its focus on soil health and long-term sustainability. Measurements over 42 years in the world's oldest farming system comparison experiment show that soil carbon and nitrogen are stabilized by organic manure and diminished if mineral fertilizer is applied solely. With 36% less fertilizer nitrogen, 76% less available nitrogen, 36% less phosphorus and 92% less pesticide inputs, organic systems positively affected soil biodiversity and maintained stable, but 15% lower yields compared to conventional systems. Fertilizer-dependent nitrous oxide emissions and to a lesser extent soil carbon stock changes drive area-scaled climate impact, which was distinctly lower in organic systems. Implementation of organic and conventional management yielded in distinct soil microbial community structure and functioning. By supporting the multifunctionality and resilience of agricultural systems organic farming provides a substantial contribution to protect the climate and the environment with sustainable yields and reliefs pressure on critical planetary boundaries.

Einleitung und Zielsetzung

Der Landwirtschaftliche Sektor ermöglicht die Ernährung einer stetig steigenden Weltbevölkerung, ist aber einer der wichtigsten Treiber für die globale Umweltkrise. Die Entwicklung und Umsetzung nachhaltiger und produktiver landwirtschaftlicher Systeme ist entscheidend um Nährstoffverluste und Treibhausgasemissionen zu minimieren (IPCC 2022) und den Verlust an Artenvielfalt zu stoppen (IPBES 2019). Trotz niedriger Erträge wird biologische Landwirtschaft als nachhaltige Alternative zu konventioneller angesehen (Seufert et al., 2017). Um Effekte landwirtschaftlicher Systeme untersuchen zu können, sind langfristige Feldversuche unerlässlich. Der DOK Versuch in Therwil (CH) vergleicht seit 1978 bioDynamische (BIODYN), bioOrganische (BIOORG) und Konventionelle (CONFYM) Agrarsysteme mit einer ungedüngten Kontrolle (NOFERT) und einem konventionellen, mineralisch gedüngten Verfahren (CONMIN). Die organisch gedüngten Systeme BIODYN, BIOORG und CONFYM werden in zwei Düngungsstufen von 1.4 und 0.7 DGVE geprüft. Sie erhalten System-spezifische Hofdünger: Stapelmist in CONFYM, Rottemist in BIOORG und kompostierter Mist in

¹ Research Institute of Organic Agriculture, Ackerstrasse 113, 5070, Frick, Switzerland, hans-martin.krause@fibl.org

² Department Agroecology and Environment, Agroscope, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zurich, Switzerland

³ Institute of Agricultural Sciences, ETH Zurich, Eschikon 33, 8315 Lindau, Switzerland.

BIODYN. Das CONFYM Verfahren erhält zusätzlich mineralische Nährstoffe bis zur zulässigen Schwelle für N, P und K-Düngung. In allen Verfahren rotiert auf drei Schlägen und vier Wiederholungen zeitlich versetzt die gleiche, siebenjährige Fruchtfolge, mit zwei Jahren Klee gras, Mais, Soja, Weizen, Kartoffeln und Weizen. Insgesamt hat der Versuch $8 \times 3 \times 4 = 96$ Parzellen. 2019 wurde die sechste Fruchtfolgeperiode abgeschlossen und das Datenarchiv aktualisiert. Die vorliegende Arbeit zielt darauf ab die Produktivität und die Umweltwirkung der Verfahren zu quantifizieren. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf den kritischen planetaren Belastungsgrenzen für Nährstoffkreisläufe, Biodiversitätsverlust und Treibhausgasemissionen.

Methoden

Erträge wurden jährlich in Ernteparzellen in Frisch- und Trockengewicht erfasst. Die Nährstoffeinträge durch organische Dünger (Gülle, Mist) wurden jährlich für alle Systemspezifischen Dünger mittels Kjeldahl-Digestion (Stickstoff), photometrischer Analysen (Phosphor und Kalium) und durch trockene Veraschung (Kohlenstoff) quantifiziert. Nach der jährlichen Ernteerhebung wurden Bodenmischproben von jeder Parzelle entnommen, und getrocknet archiviert. Die Bodenkohlenstoff- und Stickstoffgehalte der archivierten Proben wurden mittels Elementaranalyse bei 900°C bestimmt. Systemspezifische Stickstoffbilanzen, die die Einträge durch Düngung, Deposition und Fixierung mitberücksichtigen, wurden auf Basis von Isotopenversuchen erstellt (Oberson et al. 2007, 2013, Hammelehle et al., 2018) und über die Fruchtfolgeperioden 2-6 errechnet. Die mittlere jährliche Änderung des Bodenkohlenstoffgehaltes wurde für jede Parzelle mittels Regressionsanalyse bestimmt. Bodenbürtige Treibhausgasemissionen wurden für 571 Tage von 2012-2014 in der Kulturabfolge Kunstwiese-Mais-Gründüngung, mittels geschlossener Hauben quantifiziert (Skinner et al., 2019). Die flächenskalierte Klimawirkung wurde unter Berücksichtigung der mittleren jährlichen Änderungsrate der Bodenkohlenstoffvorräte, sowie der jährlichen Lachgas- und Methanemissionen als CO₂ Äquivalent errechnet. Die Artenvielfalt von Makro-, Mikro-, und Mesofauna wurde mittels Literaturrecherche aus DOK-Publikationen zusammengefasst (Rotches-Ribalta et al. 2016, Hartmann et al., 2015, Esperschütz et al., 2007, Birkhofer et al., 2008, Pfißner et al., 1997). Die pilzliche und bakterielle Diversität der Böden wurde durch Gensequenzierung bestimmt (Lori et al. under review). Biologische Qualitätsindikatoren, wie mikrobielle Biomasse und die Aktivität von Kohlenstoff und Phosphor mineralisierenden Enzymen, wurden erfasst (Fließbach et al., 2007) und mittels Hauptkomponentenanalyse zusammenfassend ausgewertet (Krause et al. 2022).

Ergebnisse und Diskussion

Die langfristigen mittleren Erträge weisen kulturspezifische Ertragsunterschiede zwischen biologischen (BIODYN, BIOORG) und konventionellen (CONFYM, CONMIN) Systemen auf. Die höchsten Unterschiede wurden bei Kartoffeln mit 32% weniger Ertrag in biologischen Systemen beobachtet, gefolgt von Weizen (-22%), Mais (-12%), Klee gras (-9%) und Soja (+1%). Über alle Kulturen der siebenjährigen Fruchtfolgeperiode gemittelt ergibt sich eine Ertragslücke von 15% in biologischen gegenüber konventionellen Systemen. Dabei zeigt das mit 0.7 DGVE gedüngte CONFYM Verfahren ähnliche Erträge wie die mit 1.4 DGVE gedüngten biologischen Verfahren. Gemittelt über die Fruchtfolgeperioden 2-6 wurden in biologischen Systemen 36% weniger Stickstoff, 76% weniger bioverfügbarer Stickstoff, 36% weniger Phosphor und 92% weniger Pestizide ausgebracht. Alle Verfahren der Düngungsstufe

1.4 DGVE konnten den Bodenkohlenstoff stabil halten, in BIOORG und besonders in BIODYN konnten sogar steigende Bodenkohlenstoffgehalte beobachtet werden. Alle Verfahren der Düngungsstufe 0.7 DGVE sowie die ungedüngte Kontrolle und die mineralische gedüngte Variante (CONMIN) verloren Bodenkohlenstoff. Die ersten Unterschiede in Bodenkohlenstoffgehalten zwischen Verfahren der gleichen Düngungsstufe wurden nach 22 Jahren, mit höheren Vorräten in BIODYN im Vergleich zu CONFYM festgestellt. Alle Verfahren zeigen eine positive Stickstoffbilanz mit hoher Stickstoffnutzungseffizienz. Aufgrund des hohen Treibhausgaspotentials wird die Klimawirkung der Systeme in erster Linie durch die Lachgasemissionen bestimmt, während die Änderungen der Bodenkohlenstoffvorräte eine nachgeordnete Rolle spielen. Die biologischen Systeme zeigen dabei eine um 56% verringerte flächenskalierte Klimawirkung im Vergleich zu konventionellen Systemen. Auch die Vielfalt der Bodenorganismen, besonders die Mesofauna, und die biologische Bodenqualität profitieren von biologischen Systemen, geht allerdings mit einem erhöhten Unkrautdruck einher. Das auf 0.7 DGVE gedüngte biodynamische Verfahren zeigte eine höhere Bodenqualität als das auf 1.4 DGVE gedüngte konventionelle Verfahren CONFYM. Sowohl das landwirtschaftliche System als auch die Düngeintensität beeinflussen dabei die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaft.

Schlussfolgerungen

Landwirtschaftliche Systeme, die Tierhaltung und Ackerbau verbinden, können bei einer Düngeintensität von 1.4 DGVE die Bodenkohlenstoffgehalte stabil halten. Durch die Mistkompostierung, wie in BIODYN betrieben, können sogar steigende Bodenkohlenstoffgehalte erreicht werden, mit positiven Effekten auf Bodennährstoffe, Bodenbiodiversität und die biologische Bodenqualität. Durch Aufbau von Bodenkohlenstoff und organische Stickstoffdüngung weisen biologische Systeme eine 56% niedrigere Klimawirkung im Vergleich zu konventionellen auf. Mit 15% verringertem, aber stabilem Ertrag können biologische System somit den Druck auf kritische planetare Grenzen (Steffen et al., 2015), wie Biodiversitätsverlust, Emission von Treibhausgasen und Nährstoffkreisläufe verringern und einen entscheidenden Beitrag zur langfristigen Funktionalität von Agrarökosystemen leisten.

Danksagung

Spezieller Dank geht an die Begleitgruppe des DOK und an die Feldtechniker die in langjähriger Arbeit die Kontinuität des Versuchs sicherstellen.

Literatur

Birkhofer K, T. M. Bezemer, J. Bloem, M. Bonkowski, S. Christensen, D. Dubois, F. Ekelund, A. Fließbach, L. Gunst, K. Hedlund, P. Mäder, J. Mikola, C. Robin, H. Setälä, F. Tatin-Froux, W. H. Van der Putten, S. Scheu, (2008) Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2297-2308.

Esperschütz J., A. Gatteringer, P. Mäder, M. Schloter, A. Fließbach, (2007) Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. *FEMS Microbiology Ecology* 61(1), 26-37.

Fließbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., Mäder, P., (2007). Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 118, 273-284.

Hammelehle A., A. Oberson, A. Lüscher, P. Mäder, J. Mayer, (2018) Above- and belowground nitrogen distribution of a red clover-perennial ryegrass sward along a soil nutrient availability gradient established by organic and conventional cropping systems. *Plant Soil* 425, 507-525.

Hartmann M, B. Frey, J. Mayer, P. Mader, F. Widmer, (2015) Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *ISME J* 9, 1177–1194.

Krause H.-M., Stehle B., Mayer J., Mayer M., Steffens M., Mäder P., Fliessbach A. (accepted) Biological soil quality and soil organic carbon change in biodynamic, organic and conventional farming systems after 42 years. *Agronomy for Sustainable Development*

Lori M., Kundel D., Müller R., Mayer J., Hartmann M., Mäder P., Krause H.-M. (under review) Fertilization intensity within distinct manure-receiving farming systems alters soil bacterial and fungal communities

Oberson A., E. Frossard, C. Bühlmann, J. Mayer, P. Mäder, A. Lüscher, (2013) Nitrogen fixation and transfer in grass-clover leys under organic and conventional cropping systems. *Plant Soil* 371, 237-255.

Oberson A., S. Nanzer, C. Bosshard, D. Dubois, P. Mäder, E. Frossard, (2007) Symbiotic N₂ fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by 15N dilution and 15N natural abundance. *Plant Soil* 290, 69-83.

Pfiffner L, P. Mäder, (1997) Effects of Biodynamic, Organic and Conventional Production Systems on Earthworm Populations. *Biological Agriculture & Horticulture* 15, 2-10.

Rotchés-Ribalta R., L. Armengot, P. Mäder, J. Mayer, F. X. Sans, (2016) Long-Term Management Affects the Community Composition of Arable Soil Seedbanks. *Weed Sci* 65, 73-82.

Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell Sarah, E., Fetzer, I., Bennett Elena, M., Biggs, R., Carpenter Stephen, R., de Vries, W., de Wit Cynthia, A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace Georgina, M., Persson Linn, M., Ramanathan, V., Reyers, B., Sörlin, S., (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347, 1259855.

Seufert, V., Ramankutty, N., 2017. Many shades of gray—The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances* 3.

IPCC (2022): Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [P.R.

Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi:10.1017/9781009157926

IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. [E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (eds)]. IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. doi:10.5281/zenodo.3831673