

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

Hans-Martin Krause^{1*}, Jochen Mayer², Astrid Oberson³, Klaus Jarosch²,
Andreas Fliessbach¹, Martina Lori¹ und Paul Mäder¹

Zusammenfassung

Die Landwirtschaft ist eine der Haupttriebkraften des globalen Wandels, und es werden dringend Produktionssysteme benötigt, die die Umwelt schonen. Der ökologische Landbau wird als Alternative zu konventionellen Anbausystemen angesehen, da er sich auf die Gesundheit der Böden und die langfristige Nachhaltigkeit konzentriert. Messungen über einen Zeitraum von 42 Jahren im ältesten landwirtschaftlichen Systemvergleichsexperiment der Welt zeigen, dass Kohlenstoff und Stickstoff im Boden durch organischen Dünger stabilisiert und bei ausschließlicher Verwendung von Mineraldünger verringert werden. Mit 36 % weniger Stickstoff aus Düngemitteln, 76 % weniger verfügbarem Stickstoff, 36 % weniger Phosphor und 92 % weniger Pestizideinsatz wirkten sich ökologische Systeme positiv auf die biologische Vielfalt im Boden aus und hielten die Erträge stabil, aber 15 % niedriger als bei konventionellen Systemen. Düngemittelabhängige Lachgasemissionen und in geringerem Maße Veränderungen des Bodenkohlenstoffbestands sind die treibende Kraft hinter den flächenspezifischen Klimaauswirkungen, die in ökologischen Systemen deutlich geringer waren. Die Umsetzung der ökologischen und konventionellen Bewirtschaftung führte zu einer unterschiedlichen Struktur und Funktionsweise der mikrobiellen Bodengemeinschaft. Durch die Unterstützung der Multifunktionalität und Widerstandsfähigkeit landwirtschaftlicher Systeme leistet der ökologische Landbau einen wesentlichen Beitrag zum Schutz des Klimas und der Umwelt mit nachhaltigen Erträgen und entlastet kritische planetarische Grenzen.

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

Summary

Agriculture is a major driver of global change, and productive systems with 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 yiel-

¹ Research Institute of Organic Agriculture, Ackerstrasse 113, CH-5070 Frick

² Department Agroecology and Environment, Agroscope, Reckenholzstrasse 191, CH-8046 Zurich

³ Institute of Agricultural Sciences, ETH Zurich, Eschikon 33, CH-8315 Lindau

* Ansprechpartner: Dr. rer. nat Hans-Martin Krause, email: hans-martin.krause@fibl.org

ded 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.

Keywords: system comparison, long term trial, greenhouse gas emissions, soil biodiversity, nutrients, yields

Einleitung

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 mit entscheidend um Nährstoffverluste und Treibhausgasemissionen zu minimieren (IPCC 2022) und den Verlust an Artenvielfalt zu stoppen (IPBES 2019). Trotz niedrigerer Erträge werden biologische landwirtschaftliche Systeme als nachhaltigere Alternative zu konventionellen Systemen angesehen (Seufert et al., 2017). Um langfristige Effekte unterschiedlicher landwirtschaftlicher Systeme untersuchen zu können, sind Feldversuche unerlässlich. Der **DOK** Versuch in Therwil (CH) vergleicht bioDynamische (BIODYN), bioOrganische (BIOORG) und Konventionelle (CONFYM) Systeme mit einer ungedüngten Kontrolle (NOFERT) und einem konventionellen, mineralisch gedüngtem Verfahren (CONMIN) seit 1978. Die organisch gedüngten Verfahren (BIODYN, BIOORG und CONFYM) werden auf zwei Düngungsintensitäten von 1.4 und 0.7 DGVE umgesetzt und erhalten verfahrensspezifische Dünger; Stapelmist in CONFYM, Rottemist in BIOORG und kompostierter Mist in BIODYN. Das CONFYM Verfahren erhält zusätzlich eine mineralische Stickstoffdüngung. In allen Verfahren wird die gleiche, siebenjährige Fruchtfolge umgesetzt, mit zuletzt, zwei Jahren Klee-grass, Mais, Soja, Weizen, Kartoffeln und Weizen. 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 Grenzen wie 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), photometrische Analysen (Phosphor und Kalium) und durch Verbrennung (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, Fixierung und Saatgut mitberücksichtigen, wurden über die 2.-6. Fruchtfolge gerechnet, wobei die N₂-Fixierung auf Basis von Isotopenversuchen im Feld bestimmt wurde (Oberson et al. 2007, 2013, Hammelehle et al., 2018). 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 Äquivalente errechnet. Die Artenvielfalt von Makro-, Micro-, und Mesofauna wurde mittels Literatur-

recherche aus DOK-Publikationen zusammengefasst (Rotches-Ribalta et al. 2016, Hartmann et al., 2015, Esperschütz et al., 2007, Birkhofer et al., 2008, Pfiffner et al., 1997). Die pilzliche und bakterielle Diversität der Böden wurde durch Gensequenzierung bestimmt (Lori et al. 2023). Biologische Qualitätsindikatoren, wie mikrobielle Biomasse, und Aktivität Phosphor mineralisierender Enzyme und die Bodenatmung, wurden nach der sechsten Fruchtfolgeperiode bestimmt und mittels Hauptkomponentenanalyse zusammengefasst (Krause et al. 2023).

Ergebnisse und Diskussion

Die langfristigen Ertragsmittel 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%), Kleegrass (-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 das mit 1.4 DGVE gedüngte biologische Verfahren. In biologischen Systemen 36% weniger Stickstoff, 76% weniger direkt pflanzenverfügbarer Stickstoff, 36% weniger Phosphor und 92% weniger Pestizide ausgebracht. Alle Verfahren mit einer Düngeintensität von 1.4 DGVE konnten den Bodenkohlenstoff stabil halten, und besonders in BIODYN konnten sogar steigende Bodenkohlenstoffgehalte beobachtet werden. Alle Verfahren mit 0.7 DGVE Düngeintensität sowie die ungedüngte Kontrolle und die mineralische gedüngte Variante (CONMIN) verloren Bodenkohlenstoff. Die ersten Unterschiede in Bodenkohlenstoffgehalten zwischen Verfahren der gleichen Düngeintensität wurden nach 22 Jahren, mit höheren Vorräten in BIODYN im Vergleich zu CONFYM festgestellt. Alle Verfahren zeigen eine positive Stickstoffbilanz mit hoher Stickstoffnutzungseffizienz von über 85%. Aufgrund des hohen Treibhausgaspotentials wird die Klimawirkung der Systeme vor allem durch Lachgasemissionen dominiert, 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 Bodenbiodiversität, besonders die Mesofauna, und die biologische Bodenqualität profitierte von biologischen Systemen, allerdings auf Kosten eines erhöhten Unkrautdrucks. Das auf 0.7 DGVE gedüngte biodynamische Verfahren zeigte dabei 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 mit einer Düngeintensität von 1.4 DGVE kombinieren können 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 auf geringerem Niveau weisen biologische Systeme eine niedrigere Klimawirkung im Vergleich zu konventionellen auf. Mit 15% verringertem, aber stabilem Ertrag können biologische Systeme 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. Wir danken dem Bundesamt für Landwirtschaft für die langjährige Unterstützung des DOK Versuchs.

Literaturverzeichnis

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. Gattinger, 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.

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.

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

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

Krause, H. M., Stehle, B., Mayer, J., Mayer, M., Steffens, M., Mäder, P., & Fließbach, A., 2022: Biological soil quality and soil organic carbon change in biodynamic, organic, and conventional farming systems after 42 years. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(6). <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00843-y>

Lori, M., Hartmann, M., Kundel, D., Mayer, J., Mueller, R. C., Mäder, P., & Krause, H. M., 2023: Soil microbial communities are sensitive to differences in fertilization intensity in organic and conventional farming systems. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(6), 1–13. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiad046>

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.

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

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.