

Boden und Klima im Biolandbau – eine Kurzzusammenfassung von FiBL Forschungsergebnissen



**Paul Mäder, Markus Steffens, Maike Krauss, Andreas Fliessbach,
Hans-Martin Krause, Colin Skinner, Martina Lori, Giulia Bongiorno,
Matthias Klaiss, Christine Arncken, Hansueli Dierauer, Else Bünemann,
Adrian Müller, Urs Niggli, Andreas Gattinger**

Provisorische Version vom 13.05.2019

Der Inhalt dieses Faktenblattes basiert auf Forschungsarbeiten des FiBL und Partnerinstitutionen in Langzeitversuchen (DOK-Versuch und Frick Bodenbearbeitungsversuch), Literaturstudien (Meta-Analysen) des FiBL, Ergebnissen aus dem EU H2020 Projekt iSQAPER, sowie Betriebsvergleichen von Agroscope. Eine erweiterte Version unter Einbezug der Tierhaltung und der weltweit verfügbaren Literatur ist in Vorbereitung.

Die Landwirtschaft ist verantwortlich für 12,8% der Treibhausgasemissionen. Der Biolandbau trägt in mehrfacher Hinsicht zur Minderung der Klimawirkung der Landwirtschaft bei.

- 1) Die mehrheitlich gemischten Betriebe mit dem Anbau von Klee gras und den anfallenden Hofdüngern (Mist und Gülle) bieten gute Voraussetzungen für den Humusaufbau, CO₂-Sequestrierung und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit.
- 2) Reduzierte Bodenbearbeitung kann den Humusgehalt auch im Biosystem zusätzlich verbessern.
- 3) Die geringere Düngungsintensität mit Stickstoff im Biolandbau, verbunden mit einer besseren Bodenqualität, vermindert die Lachgasemissionen um 40% im Vergleich zum konventionellen Anbau. Das haben jüngst Ergebnisse aus dem DOK Versuch gezeigt.
- 4) Was auch für Bio spricht: Bei Trockenstress mineralisieren Böden von Bioparzellen dank vielfältigeren und aktiveren mikrobiellen Gemeinschaften effizienter Stickstoff und erhöhen so die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel. Biolandbau kann dadurch die Resilienz der landwirtschaftlichen Produktion erhöhen.
- 5) Pro Ertragseinheit (Erntegut) brauchten die biologischen Verfahren im DOK Versuch 19 Prozent weniger Energie. Bezogen auf die Fläche waren es 30-50 Prozent.

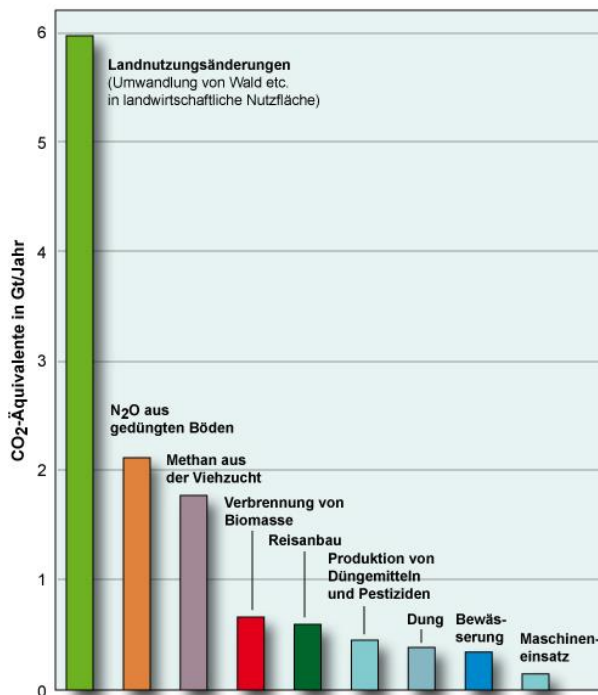


Abbildung 1: Treibhausgasemissionen aus der Landwirtschaft in CO₂-Äquivalenten pro Jahr. Diese Darstellung berücksichtigt nicht nur die direkten Emissionen aus der Landwirtschaft, sondern auch die von Vorläuferprozessen wie der Umwandlung natürlicher Vegetation in landwirtschaftliche Nutzfläche und die Produktion landwirtschaftlicher Betriebsmittel (Bellarby et al., 2008).

1. Biolandbau bindet CO₂ durch Humusaufbau

Gattinger et al. (2012) haben in einer grossen Literaturstudie (Metaanalyse) gezeigt, dass biologisch bewirtschaftete Böden mehr Humus speichern als konventionell bewirtschaftete: Pro Jahr beträgt die Kohlenstoffspeicherung 180 bis 450 kg C pro Hektar. Statistische Analysen haben ergeben, dass vor allem der mehrjährige Anbau von Klee gras und die organische Düngung diesen Unterschied bewirken. Humus erhöht bekanntlich die Wasserinfiltration und -speicherfähigkeit, sowie die Stabilität der Bodenkrümel und beugt dadurch der Erosion von Böden vor (Bünemann et al., 2018). Ausserdem erhöht der verfügbare Kohlenstoff über biologische Mechanismen die Pflanzengesundheit (Bongiorno et al., 2019a, 2019b).

Der weltweit am längsten dauernde Vergleichsversuch zwischen biologischen und konventionellen Anbausystemen ist der DOK-Versuch in Therwil bei Basel (Mäder et al., 2002; Fliessbach et al., 2007). Jüngste Analysen von 2000 Bodenproben über die gesamte Laufzeit dieses 40-jährigen Versuches zeigen: i) im biologisch-dynamischen System mit Kompostanwendung steigen die Humusgehalte, ii) im konventionellen System mit rein mineralischer Düngung nehmen die Humusgehalte ab, und iii) im organischen und konventionellen System mit gemischt organischer und mineralischer Düngung sind die Humusgehalte stabil. Demgegenüber stehen, gemittelt über sechs Fruchtfolgeperioden und alle Kulturen, 20% geringere Erträge in Biosystemen gegenüber konventionellen, bei deutlich geringerem Input an Düngemitteln, und ohne chemisch-synthetische Pestizide.

2. Reduzierte Bodenbearbeitung: Bio+

Auf den Pflug zu verzichten ist nicht nur aus Bodenschutzgründen gut, es hat auch Potential zum Klimaschutz. Cooper et al. (2016) wiesen nach, dass reduzierte Bodenbearbeitung (weitgehender Ersatz des tiefen Pflügens durch flachere und möglichst nicht-wendende Bodenbearbeitung) im Biolandbau den Humusgehalt noch einmal deutlich über das Niveau der biologischen Bewirtschaftung mit Pflug heben kann. Eine Fallstudie des FiBL über 13 Jahre im Bodenbearbeitungsversuch Frick kommt zum Schluss, dass sich Humus im Oberboden deutlich angereichert hat und die Kohlenstoffvorräte bis in 50 cm Tiefe um 8% erhöht wurden. Über die gesamte Laufzeit des Versuches stieg der Gehalt an organischem Kohlenstoff infolge der reduzierten Bodenbearbeitung bei gleichbleibenden Treibhausgasemissionen um rund 700 kg C pro Hektar und Jahr (Krauss et al., 2017).

Aufschlussreich sind Untersuchungen auf 60 Betrieben im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms «NFP 68 Ressource Boden», wo Flächen von Biobetrieben mit Flächen von konventionellen sowie mit No-Till-Betrieben verglichen wurden (das sind Betriebe, welche ganz auf den Pflug verzichten und das Unkraut chemisch mit Round-up bekämpfen). Biobetriebe fördern laut diesen Untersuchungen den Humusaufbau ebensogut wie No-till (unter konventioneller Bewirtschaftung) Betriebe (nicht publiziert), Felder von Biobetrieben weisen aber ein aktiveres und komplexeres

Bodenleben auf als Felder von No-till Betriebe und konventionellen Betrieben (Banerjee et al., 2019).

3. Weniger Lachgasemissionen dank Biolandbau

Eine Auswertung der weltweit verfügbaren Literatur über Lachgasemissionen im Feld zeigt, dass biologisch bewirtschaftete Böden zwar pro Fläche weniger Lachgas ausstossen, aber pro Ertragseinheit leicht mehr (Skinner et al., 2014). Ein Mehrertrag von 9% im Biosystem würde ausreichen, um die ertragsbezogenen Lachgasemissionen im Biosystem auf das Niveau der konventionellen Systeme zu reduzieren. Sowohl konventionelle als auch biologisch bewirtschaftete Böden nehmen Methan auf, wobei die Aufnahme im Biosystem geringfügig, aber signifikant höher ausfiel. Es muss berücksichtigt werden, dass die Anzahl der verfügbaren Studien für diese Metaanalyse gering war. Eine FiBL Studie aus dem damals 35-jährigen DOK-Versuch, die jüngst in *Scientific Reports* publiziert wurde (Skinner et al., 2019), hat gezeigt, dass biologisch bewirtschaftete Böden 40% geringere Lachgasemissionen aufweisen, ohne dass dies bezogen auf die Ertragseinheit zu mehr Emissionen führen würde. Verantwortlich dafür waren eine geringere N-Düngung im Biosystem und eine bessere Bodenqualität. Beim bio-dynamischen System waren im Vergleich zum konventionellen System die Lachgasemissionen auch je Ertragseinheit um rund ein Drittel reduziert.

4. Bessere Anpassungsfähigkeit von biologisch bewirtschafteten Böden an Klimawandel

Der Klimawandel bringt es mit sich, dass Starkregenereignisse, aber auch Trockenperioden zunehmen. Lori et al. (2017) wiesen in einer Literaturstudie nach, dass die mikrobielle Aktivität in biologisch bewirtschafteten Böden deutlich grösser ist als in konventionell bewirtschafteten, unter anderem auch in Bezug auf die Proteaseaktivität. Dies ist ein Enzym, welches den ersten Schritt in der N-Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff katalysiert. Die Versuchsfrage stand im Raum, ob sich dies auch in wichtigen Bodenfunktionen, wie der Nährstoff-Rezyklierung zeigt. Das FiBL führte dazu Modellversuche zur Stickstoffmineralisation mit Böden aus dem DOK Versuch durch (Lori et al., 2018). Bei Trockenheit mineralisierten die Böden aus langjähriger Biobewirtschaftung im organischen System 30% mehr Stickstoff aus einer Gründüngung als die Böden aus langjährig konventioneller Bewirtschaftung. Dies konnte für die Testkultur Raygras (*Lolium multiflorum*) mittels stabilen Stickstoffisotopen in einem Topfversuch nachgewiesen werden. Dabei konnte die bessere Mineralisierungsleistung auf eine erhöhte Vielfalt der Mikroorganismen in den biologisch bewirtschafteten Böden zurückgeführt werden. Ausserdem haben Böden unter Bioanbau durch erhöhte Humusgehalte eine verbesserte Krümelstabilität (Siegrist et al., 1998), was der Erosion vorbeugt.

5. Energieeffizienz

Die Effizienz der Nutzung vorhandener Ressourcen ist ein wichtiger Indikator für die Nachhaltigkeit eines Produktionssystems. Alle Faktoren, die zur Erzeugung einer Ertragseinheit beitragen, werden in Energieeinheiten umgerechnet. Für den Vergleich der Energieeffizienz muss neben den direkten Energiebeiträgen (Treibstoff für Traktoren) die indirekte Energie berücksichtigt werden, die zur Erzeugung der zugekauften Produktionsmittel (Dünger, Pflanzenschutz) gebraucht wird. Biologische Systeme im DOK Versuch brauchen etwas mehr Energie für Infrastruktur und Maschinen als konventionelle (z.B. für maschinelles Hacken und Striegeln), dafür deutlich weniger für Dünger und Pestizide. Pro Ertragseinheit (Erntegut) brauchten die biologischen Verfahren 1978-1998 19 Prozent weniger Energie. Bezogen auf die Fläche waren es 30-50 Prozent.

6. Schlussfolgerungen

Als vorläufige Schlussfolgerung ergibt sich, dass durch Biolandbau, optional in Kombination mit reduzierter Bodenbearbeitung, der Klimaeffekt der Landwirtschaft vermindert wird, und dass Biosysteme besser an den Klimawandel angepasst sind. Reduzierte Bodenbearbeitung unter Biobedingungen (ohne Herbizide) ist eine Perspektive, den Biolandbau noch umweltschonender zu machen. Intensive Forschung ist aber nötig um die Unkrautregulierung noch effizienter zu machen. Dabei bieten sich insbesondere Techniken der Präzisionslandwirtschaft an. Der relative Vorzug des Biolandbaus in Bezug auf die Klimawirkung hängt neben der Stickstoffdüngung stark von der Flächenproduktivität ab. Deshalb ist die Weiterentwicklung des Biolandbaus durch verbesserte Sorten (Züchtung), einen effektiveren biologischen Pflanzenschutz und die Rezyklierung von Nährstoffen aus urbanen Gebieten wie Kompost und Biogärgut zentral, weil Biolandbau aufgrund der geringeren Erträge einen höheren Flächenbedarf aufweist. Muller et al. (2017) haben gezeigt, dass eine Ausweitung des Biolandbaus ökologisch grosse Vorteile bringt. Das bestehende Ackerland wird so vor Erosion geschützt. Weltweit gehen gemäss Untersuchungen von Pimentel et al. (1995) jährlich 10 Millionen Hektar Ackerland wegen Wind- und Wassererosion unwiederbringlich verloren. Eine weitere Ausdehnung des Biolandbaus ist deshalb für den Bodenschutz wichtig. Es braucht aber noch weitere Massnahmen wie weniger Lebensmittelverschwendung und weniger Futtergetreideproduktion (resp. weniger Fleischkonsum), um die globale Ackerfläche bei Biolandbau nicht ausdehnen zu müssen. Der biologische Landbau ist deshalb eine wichtige Teillösung. Offene Forschungsfragen betreffen insbesondere die Treibhausgasemissionen über gesamte Fruchtfolgen, und die Methanproduktion aus der Tierhaltung.

7. Referenzen

- Banerjee, S., Walder, F., Büchi, L., Meyer, M., Held, A. Y., Gattinger, A., Keller, T., Charles, R. and Van Der Heijden, M. G. (2019) Agricultural intensification reduces microbial network complexity and the abundance of keystone taxa in roots. *The ISME journal*, doi.org/10.1038/s41396-019-0383-2
- Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A. and Smith, P. (2008) *Cool Farming: Climate impacts of agriculture and mitigation potential*. Amsterdam (NL).
- Bongiorno, G., Bünemann, E.K., Oguejiofor, C.U., Meier, J., Gort, G., Comans, R., Mäder, P., Brussaard, L. and de Goede, R.G.M. (2019a) Sensitivity of labile carbon fractions to tillage and organic matter management and their potential as comprehensive soil quality indicators across pedoclimatic conditions in Europe. *Ecological Indicators* 99, 38-50.
- Bongiorno, G., Postma, J., Bünemann, E.K., Brussaard, L., de Goede, R.G.M., Mäder, P., Tamm, L. and Thuerig, B. (2019b) Soil suppressiveness to *Pythium ultimum* in ten European long-term field experiments and its relation with soil parameters. *Soil Biology & Biochemistry* 133, 174-187.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J.W. and Brussaard, L. (2018) Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry* 120, 105-125.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bàrberi, P., Fließbach, A., Peigné, J., Berner, A., Brock, C., Casagrande, M., Crowley, O., David, C., De Vliegheer, A., Döring, T.F., Dupont, A., Entz, M., Grosse, M., Haase, T., Halde, C., Hammerl, V., Huiting, H., Leithold, G., Messmer, M., Schloter, M., Sukkel, W., van der Heijden, M.G.A., Willekens, K., Wittwer, R. and Mäder, P. (2016) Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36: 22.
- Fliessbach, A., Oberholzer, H.R., Gunst, L. and 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.
- Gattinger, A., Muller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Mäder, P., Stolze, M., Smith, P., Scialabba, N. and Niggli, U. (2012) Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *Proceedings of the National Academy of Science*, 109: 18226-18231.
- Krauss, M., Ruser, R., Muller, T., Hansen, S., Mäder, P. and Gattinger, A. (2017) Impact of reduced tillage on greenhouse gas emissions and soil carbon stocks in an organic grass-clover ley - winter wheat cropping sequence. *Agriculture Ecosystems & Environment* 239, 324-333.
- Lori, M., Symanczik, S., Mäder, P., Efoosa, N., Jaenicke, S., Buegger, F., Tresch, S., Goesmann, A. and Gattinger, A. (2018) Distinct nitrogen provisioning from organic amendments in soil as influenced by farming system and water regime. *Frontiers in Environmental Science*, 1-14.
- Lori, M., Symanczik, S., Mäder, P., De Deyn, G. and Gattinger, A. (2017) Organic farming enhances soil microbial abundance and activity – A meta-analysis and meta-regression. *PloS one* 12, e0180442.
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P. and Niggli, U. (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.

- Muller, A., Schader, C., Scialabba, N. E. H., Brüggemann, J., Isensee, A., Erb, K. H., Smith, P., Peter Klocke, P., Leiber F., Stolze, M. and Niggli, U. (2017) Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nature communications*, 8(1), 1290.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Chirst, S., Shpritz, L., Fitton, R., Saffouri, R. and Blair, R. (1995) Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267(5201), 1117-1123.
- Siegrist, S., Schaub, D., Pfiffner, L. and Mäder, P. (1998) Does organic agriculture reduce soil erodibility? The results of a long-term field study on loess in Switzerland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 69, 253-264.
- Skinner, C., Gattinger, A., Krauss, M., Krause, H. M., Mayer, J., van der Heijden, M. G. and Mäder, P. (2019) The impact of long-term organic farming on soil-derived greenhouse gas emissions. *Scientific reports*, 9(1), 1702.
- Skinner, C., Gattinger, A., Muller, A., Mäder, P., Fließbach, A., Stolze, M., Ruser, R. and Niggli, U. (2014) Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – A global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 468–469: 553-563.