

Kohlenstoffspeicherung und Treibhausgasflüsse in Böden unter biologischer und konventioneller Bewirtschaftung - Ergebnisse aus zwei globalen Metaanalysen

Gattinger, A.¹, Skinner, C.¹, Müller, A.¹, Fließbach, A.¹, Häni, M.^{1,2}, Mäder, P.¹, Stolze, M.¹, Buchmann, N.², und Niggli, U.¹

Keywords: Klimawandel, Anbausysteme, Bodenkohlenstoff, Treibhausgase

Abstract

Explorative literature searches followed by meta-analyses were conducted to identify differences in soil organic carbon (SOC) and soil-derived greenhouse gas emissions between organic and non-organic farming systems. Within a total of 74 studies we found significantly higher SOC concentrations, SOC stocks and C sequestration rates in organically managed soils compared to those under non-organic management. Meta-analysis of soil-derived GHG flux data from 19 studies revealed lower N₂O emissions and higher CH₄ uptake rates in soils under organic management when related to acreage. Due to lower yields in organic farming systems higher GHG emissions from these systems were obtained when the data was related to unit crop yield. The poor availability of farming system comparisons from developing countries, at present, renders the transfer of the obtained results to these extremely vulnerable environments difficult. However, the presented approach is open to regular updates once relevant data from these regions are published.

Einleitung und Zielsetzung

Die ökologische Landwirtschaft erbringt vielerlei Umweltleistungen. Jedoch liegen widersprüchliche und zum Teil auch unzureichende Kenntnisse bezüglich Kohlenstoffspeicherung und Treibhausgasemissionen aus Böden unterschiedlicher Bewirtschaftung vor. Daher wurden umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt, gefolgt von Metaanalysen, um Unterschiede in der Kohlenstoffdynamik (Metaanalyse 1) und Treibhausgasflüssen in Böden unter ökologischer und konventioneller Bewirtschaftung aufzuzeigen (Metaanalyse 2).

Methoden

Literatursuche

Es wurden Daten aus peer-reviewten Beiträgen aufgenommen, welche durch Messung erhobene Daten zu Bodenkohlenstoff und bodenbürtigen Treibhausgasemissionen (Lachgas und Methan) aus Systemvergleichen ökologisch vs. konventionell aufführen. Die meisten Studien waren Beiträge aus wissenschaftlichen Zeitschriften, jedoch wurden auch Konferenzbeiträge und Dissertationen und Buchkapitel herangezogen, da diese ebenso eine umfangreiche Begutachtung durchlaufen. In all

¹ Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), 5070 Frick, Schweiz, andre-as.gattinger@fibl.org

² ETH Zürich, Institut für Agrarwissenschaften, 8092 Zürich, Schweiz

diesen Originalbeiträgen war die ökologische Bewirtschaftung als solche von den Autoren definiert. Ebenso war die konventionelle Wirtschaftsweise entweder als solche bezeichnet oder aber auch als integrierte oder als ursprüngliche Methode aufgeführt unter Verwendung von Hilfsmitteln, die im ökologischen Landbau verboten sind. Diese musste in den Vergleichsversuchen mindestens für drei aufeinander folgende Jahre praktiziert werden. Ausserdem bezogen wir nur Studien, basierend auf Paarvergleichen ein, d.h. die unterschiedliche Bewirtschaftung erfolgte unter sonst sehr ähnlichen bzw. identischen Standortbedingungen.

Meta-Analyse

Nach erfolgter Parametrisierung wurden die Datensätze einer Metaanalyse unterzogen, um den Einfluss der Bewirtschaftung auf die relevanten Kriterien zu untersuchen. Die Zielgrössen in der Metaanalyse 1 waren „Kohlenstoffkonzentration“ in % C_{org} , „Kohlenstoffvorräte“ in $t C_{org} ha^{-1}$ und „C-Sequestrierungsraten“ in $t C ha^{-1} Jahr^{-1}$. Die Zielgrössen in der Metaanalyse 2 waren „flächenbezogene Lachgas oder Methanemissionen“ in CO_2 -Äquivalenten ($kg CO_2\text{-}\ddot{A}q. ha^{-1} Jahr^{-1}$) und „ertragsbezogene Lachgas oder Methanemissionen“ in CO_2 -Äquivalenten ($kg CO_2\text{-}\ddot{A}q. t^{-1}$ Trockenertrag). Die Berechnungen wurden mit dem „metafor package“ des Statistikprogramms R durchgeführt (Viechtbauer, 2010). Weitere Informationen sind in Gattinger *et al.* (2012) zu entnehmen.

Ergebnisse und Diskussion

Metaanalyse 1 „Bodenkohlenstoff“

Die Metaanalyse der Kohlenstoffdaten aus den insgesamt 74 publizierten Studien ergab signifikant höhere Werte für ökologisch bewirtschaftete Böden. So waren die organischen Kohlenstoffkonzentrationen (C_{org}) um $0,18 \pm 0,06\%$ Punkte erhöht, (Mittelwert \pm 95% Konfidenzintervall), die C_{org} -Vorräte um $3,50 \pm 1,08 t C ha^{-1}$ und die C-Sequestrierung war um $0,45 \pm 0,21 t C ha^{-1} Jahr^{-1}$ höher als unter konventioneller Bewirtschaftung.

Metaregression erbrachte keine signifikanten Aussagen über Haupteinflussgrössen, jedoch scheinen Unterschiede in den organischen Düngermengen und Fruchtfolgen dabei einen wichtigen Einfluss zu spielen. Wenn nur solche Systeme verglichen wurden, bei denen die Düngungsintensität im ökologischen Betrieb ≤ 1.0 Grossvieheinheiten pro Hektar betrug und die Datenqualität am höchsten war (gemessene Bodenlagerungsdichten und gemessene C- und N-Inputs), waren die Unterschiede in Bodenkohlenstoffvorräten immer noch signifikant ($1,98 \pm 1,50 t C ha^{-1}$), jedoch waren dann keine signifikant erhöhten Sequestrierungsraten unter ökologischer Bewirtschaftung mehr festzustellen ($0,07 \pm 0,08 t C ha^{-1} Jahr^{-1}$). Wenn auf diesen Anspruch an die Datenqualität verzichtet wurde, waren die C_{org} -Konzentrationen in biologisch bewirtschafteten Böden um $0,13 \pm 0,09\%$ Punkte und die C_{org} -Vorräte um $2,16 \pm 1,65 t C ha^{-1}$ höher als in konventionell bewirtschafteten Böden. Die Sequestrierungsrate war dann zwar auch erhöht, jedoch waren die Unterschiede nicht statistisch signifikant ($0,27 \pm 0,37 t C ha^{-1} Jahr^{-1}$).

Die durchschnittliche Laufzeit der Systemvergleiche betrug 14,4 Jahre (Median: 10,0 Jahre) und der Beprobungshorizont umfasste eine durchschnittliche Mächtigkeit von 1,8 bis 19,0 cm (Median: 0-15 cm), sodass in dieser Meta-Analyse lediglich der Oberboden angesprochen wurde. Zusätzlicher Forschungsbedarf sollte der Frage nachgehen, ob die gefunden Ergebnisse auch auf das komplette Bodenprofil (mindestens 0-50 cm) übertragbar sind. Ausserdem bedarf es Vergleichsuntersuchungen vor allem in

Entwicklungsländern, da von dort nur wenige Daten und von Afrika sogar keinerlei Vergleichsdaten vorliegen.

Details zu dieser Metaanalyse sind der Originalpublikation zu entnehmen (Gattinger *et al.* 2012).

Meta-Analyse 2 "Treibhausgasflüsse"

Insgesamt wurden 19 gültige Studien (101 Paarvergleiche) identifiziert, bei denen THG-Flüsse in konventionell und ökologisch bewirtschaftete Böden gemessen wurden. Es zeigte sich, dass unter ökologischer Bewirtschaftung die Lachgasemissionen um $444 \pm 60 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$ niedriger sind als unter konventioneller Bewirtschaftung. Dies war am stärksten bei Flächen unter Ackernutzung ausgeprägt (durchschnittlicher Unterschied von $505 \pm 79 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$). Wurden dagegen die Lachgasemissionen auf den jeweiligen Ernteertrag bezogen, dann änderten sich die Ergebnisse. Und zwar sind dann signifikant höhere Werte von $35 \pm 29 \text{ kg CO}_2\text{-Äq. t}^{-1}$ Trockenertrag in den ökologisch geführten Systemen festgestellt worden. Das ist auf den durchschnittlich 26 % geringeren Ertrag in den ökologischen Varianten zurückzuführen. Um diese Unterschiede der ertragsbezogenen Lachgasemissionen auszugleichen, müsste die Ertragsdifferenz kleiner oder gleich 17 % sein. Da jedoch die 19 Studien aus vorwiegend Hohertragsregionen stammen, ist von anderen Befunden auszugehen, wenn vermehrt ertragsbezogene Lachgasemissionen aus Niedrigertragsregionen einbezogen werden könnten, wo bekanntlich geringere Ertragsdifferenzen zwischen ökologischer und konventioneller Wirtschaftsweise festzustellen sind. Kein direkter Zusammenhang konnte zwischen N-Input und Lachgasemissionen festgestellt werden. Offenbar sind standortspezifische Faktoren stärker einzustufen als ein möglicher Einfluss resultierend aus den unterschiedlichen N-Inputs. Diese lagen im Durchschnitt bei 213 kg N ha^{-1} im konventionellen und 108 kg N ha^{-1} im ökologischen Landbau, wenn jeweils der Stickstoff aus Pflanzenresten, Düngung, N-Fixierung und atmosphärischer Deposition einbezogen wurde.

Nur aus sechs Studien konnten vergleichend Methanflussraten analysiert werden. Dabei zeigten Ackerböden im Durchschnitt Methanaufnahme, die unter ökologischer Bewirtschaftung etwas erhöht ist, jedoch nicht statisch signifikant. Nur eine Vergleichsstudie gibt es bislang zu Nassreisbau. Darin zeigt sich, dass bei ökologischer Bewirtschaftung deutlich höhere Methanemissionen zu verzeichnen sind als unter konventioneller.

Alle 19 Studien wurden in der nördlichen Hemisphäre durchgeführt, sodass mit dieser Meta-Analyse noch keine generellen Aussagen zu den bodenbürtigen Treibhausgasemissionen aus konventioneller und ökologischer Bewirtschaftung getroffen werden können.

Details zu dieser Metaanalyse sind der Originalpublikation zu entnehmen (Skinner *et al.*, 2013).

Schlussfolgerungen

Durch diese beiden Metaanalysen wurde eine beträchtliche Datenbasis geschaffen, welche die Vorzüglichkeit des ökologischen Landbaus bzgl. C-Sequestrierung und zum Teil auch durch Minderung von bodenbürtigen Lachgasemissionen zeigt. Obwohl das Minderungspotenzial bei C-Sequestrierung von 1.650 kg CO₂-Äq. (= 450 kg C) deutlich höher ist, als das durch reduzierte Lachgasemissionen von 444 kg CO₂-Äq., so ist dabei zu bedenken, dass sich bei Letzterem um echte, dauerhafte Reduktionen handelt.

Literatur

- Gattinger A., Mueller A., Haeni, M., Skinner C., Fliessbach A., Buchmann N., Mäder P., Stolze M., Smith P., El-Hage Scialabba N., Niggli U. (2012): Enhanced carbon stocks in soils of organic agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, in press.
- Skinner C., Gattinger A., Mueller A., Mäder P., Fliessbach A., Stolze M., Ruser R., Niggli U. (2013): Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – a global meta-analysis. Science of the Total Environment, submitted.
- Viechtbauer W. (2010): Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *J Stat Software* 36:1-48.