

Reduzierte Bodenbearbeitung im Biolandbau – Klimaaspekte

Maïke Krauss^{1,2}, Frédéric Perrochet¹, Martina Lori¹, Reiner Ruser², Torsten Müller², Sabine Zikeli², Sabine Gruber², Wilhelm Claupein², Paul Mäder¹ und Andreas Gattinger¹

¹Forschungsinstitut für biologischen Landbau, 5070 Frick, Schweiz

²Universität Hohenheim, 70593 Stuttgart, Deutschland

Auskünfte: Maïke Krauss, E-Mail: maïke.krauss@fibl.org



Treibhausgasmessung im FiBL-Versuch in Frick mit dem Ziel, den Einfluss der reduzierten Bodenbearbeitung im Biolandbau auf Lachgasemissionen zu ermitteln. (Foto: Thomas Alföldi, FiBL)

Einleitung

Vor dem Hintergrund des Klimawandels stehen Anbausysteme und Praktiken in der Landwirtschaft vermehrt auf dem Prüfstand. Minderungsstrategien werden gesucht. Im Ackerbau geht es vor allem um Treibhausgase wie Lachgas (N_2O) und darum, ob in Anbausystemen Humus im Boden ab- oder aufgebaut wird, was mit einer Freisetzung oder Bindung von CO_2 verbunden ist. In diesem Zusammenhang wird der Pflugverzicht diskutiert. Der Pflug wendet den Boden, mischt Pflanzenreste oder Dünger ein und hinterlässt eine «saubere» Oberfläche. Dies kann aber auch zu einem Problem werden, wenn Wasser und Wind angreifen und den fruchtbaren Oberboden abtragen (Montgomery, 2007). Die Umstellung auf Direktsaat oder reduzierte Bodenbearbeitungssysteme kann da Abhilfe leisten, indem sich Rückstände organi-

scher Substanz an der Bodenoberfläche anreichern, die Bodenstruktur verbessern und so zum Schutz vor Erosion beitragen. Aber reichert sich darüber hinaus auch so viel Humus an, dass damit CO_2 aus der Atmosphäre rückgebunden wird? In den aktuellsten Überblicksstudien zum Vergleich von Pflug und Direktsaat wurde eine Humusumverteilung im Profil durch den Pflugverzicht belegt. Insgesamt fiel die Humusbilanz aber allenfalls leicht positiv aus (Luo *et al.* 2010). Und wie verhält es sich mit dem N_2O ? Hier sah man für die gemässigte Klimazone leicht erhöhte N_2O -Emissionen in den ersten Jahren nach der Umstellung vom Pflug auf die Direktsaat, aber keine Unterschiede nach mehr als zehn Jahren (van Kessel *et al.* 2013). Viele dieser Untersuchungen beschäftigen sich mit dem Potenzial der Direktsaat, meist durchgeführt in Nord- und Südamerika mit vereinfachten Fruchtfolgen, mineralischer Düngung und intensiver Herbizidanwendung. Diese Untersuchungen sind also auf die hiesigen Bedingungen und auf reduzierte Bodenbearbeitungssysteme im Biolandbau nur bedingt übertragbar. Es gibt zum Beispiel Anzeichen, dass die langjährige biologische Bewirtschaftung den Humusgehalt im Oberboden erhöht (Gattinger *et al.* 2012) und N_2O -Emissionen pro Flächeneinheit geringer ausfallen lässt als im konventionellen Anbau (Skinner *et al.* 2014). Für eine umfassendere Einschätzung fehlen jedoch bisher Studien. Unser Ziel war es daher, Humusvorräte und N_2O -Emissionen im Feld zu messen und mit den vorhandenen Studien zu vergleichen. Die Ergebnisse wurden in Krauss *et al.* (2017) veröffentlicht, im Folgenden zusammengefasst und mit Ergebnissen aus vergleichbaren Untersuchungen in einer Metaanalyse verglichen.

Material und Methoden

Die Treibhausgas-Messkampagne im Frick-Versuch (Tab. 1) erfolgte über zwei Jahre hinweg in den Kulturen Kunstwiese (2012/2013), Winterweizen und Gründün-

gung (2013/2014). Vier Gasproben wurden mittels geschlossener Kammern wöchentlich und zusätzlich nach Kulturmassnahmen wie Düngung und Bodenbearbeitung entnommen und mit dem Gaschromatografen gemessen. Daneben wurden Bodenproben (0–20 cm) pro Verfahren auf verfügbares C und N (N_{min}) sowie den Wassergehalt analysiert. Bodenproben in den Bodenschichten 0–10, 10–20, 20–50 cm wurden 2015 zur Humusanalyse gezogen: Bohrstockproben für die Analyse des organischen Kohlenstoffs (C_{org} , Walkley-Black-Titration) und Stechzylinderproben für die Bestimmung der Lagerungsdichte. Daraus wurden die C-Vorräte pro Schicht und der Gesamtvorrat unter Normalisierung der Bodenmassen berechnet. Details zum Vorgehen finden sich in Krauss *et al.* (2017).

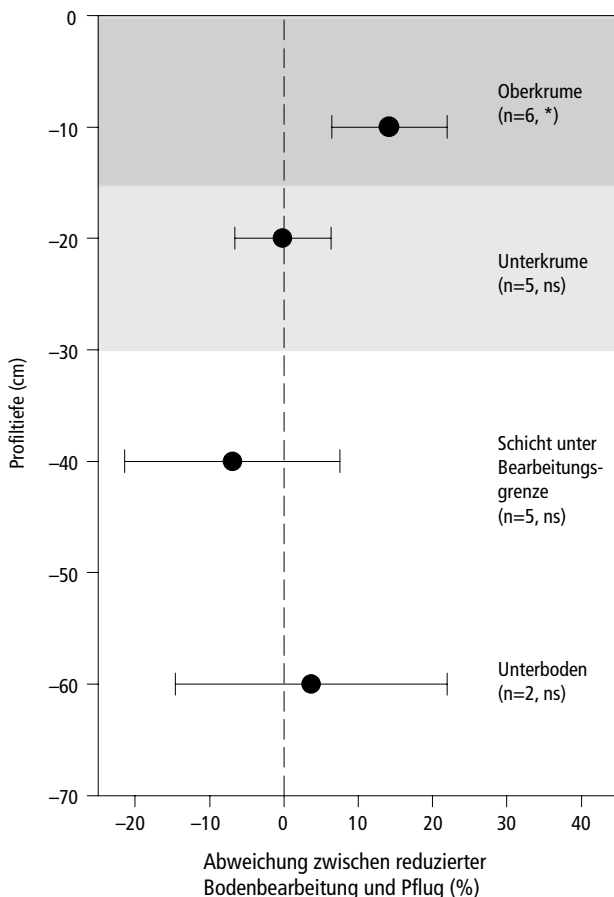


Abb. 1 | Prozentuale Abweichung der C_{org} -Vorräte innerhalb des Bodenprofils zwischen reduzierter Bodenbearbeitung und dem Pflugsystem (Referenz) im Biolandbau, berechnet mittels einer Metaanalyse, basierend auf fünf Studien und 18 Paarvergleichen (Kainz *et al.* 2005; Zikeli *et al.* 2013; Schulz *et al.* 2014; Crittenden *et al.* 2015; Krauss *et al.* 2017). Horizontale Fehlerbalken repräsentieren das 95%-Konfidenzintervall. Die mittleren Bearbeitungstiefen (Median, reduziert 15 cm, Pflug 30 cm) sind in Grau dargestellt. Die Anzahl der verglichenen Paare und die Signifikanz (* $p < 0,05$; ns = nicht signifikant) stehen rechts in Klammern.

Zusammenfassung

Die Umstellung vom Pflug auf eine reduzierte Bodenbearbeitung wird als Möglichkeit zur Minderung des Klimawandels im Zusammenhang mit einer erhöhten Humusanreicherung diskutiert. Ob reduzierte Bodenbearbeitungssysteme im biologischen Landbau zu einer erhöhten Lachgas-Entwicklung (N_2O) führen, wurde bisher nur wenig beleuchtet. Im Langzeit-Bodenbearbeitungsversuch des FiBL in Frick wurden daher N_2O -Emissionen über zwei Jahre hinweg und die Humusvorräte dreizehn Jahre nach Versuchsbeginn bis in eine Tiefe von 50 cm gemessen und mit weiteren mitteleuropäischen Studien verglichen. Die kürzlich publizierte Studie von Krauss *et al.* (2017) zeigt, dass es bei den N_2O -Emissionen in der Weizen- und Kunstwiesenperiode keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren gab. Einschliesslich einer Gründüngung waren die N_2O -Emissionen während des gesamten Beobachtungszeitraums von zwei Jahren im reduzierten Verfahren leicht erhöht. Nach 13 Jahren Versuchszeit wurde in Frick eine Kohlenstoffanreicherung von 7–8 % in der Profiltiefe 0–50 cm im reduzierten System nachgewiesen. Im Schnitt von fünf mitteleuropäischen Studien zur reduzierten Bodenbearbeitung im Biolandbau wurde hingegen nur eine nicht signifikante Kohlenstoffanreicherung von 3 % berechnet. In allen Untersuchungen wurde eine deutliche Humusumverteilung im Bodenprofil beobachtet. Im System mit reduzierter Bodenbearbeitung und organischer Düngung im Biolandbau wird also wie im konventionellen Direktsaatverfahren Humus an der Oberfläche angereichert, die Bodenschutzziele sind damit erreicht. Wurden im Frick-Versuch die N_2O -Emissionen mit der Kohlenstoffanreicherung verrechnet, ergab sich gegenüber dem Pflugverfahren im Schnitt eine Kohlenstoff-Sequestrierleistung von $1,8 \text{ t CO}_2\text{-eq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ im reduzierten System und damit eine leicht positive Wirkung in Sachen Klimaschutz.

Die Humusdaten der Studie wurden durch weitere Ergebnisse aus biologisch geführten Bodenbearbeitungsversuchen in Deutschland und den Niederlanden (Kainz *et al.* 2005; Zikeli *et al.* 2013; Schulz *et al.* 2014; Crittenden *et al.* 2015) ergänzt und eine Metaanalyse (random effects) über den relativen Unterschied zwischen «reduziert» und «Pflug» in der jeweiligen Bodenschicht und im Gesamtprofil berechnet. Als Datengrundlage dienten Mittelwerte, Standardabweichungen und die Anzahl der Messungen der C-Vorräte ($t\ ha^{-1}$). Fehlende Angaben zu den Standardabweichungen wurden aus den übrigen Standardabweichungen gemittelt.

Resultate und Diskussion

Leicht erhöhte Kohlenstoffvorräte

Im Frick-Versuch veränderten sich die Humusgehalte schon rasch nach der Umstellung auf die reduzierte Bodenbearbeitung (Gadermaier *et al.* 2012). Die Humusanreicherung im Oberboden dauerte auch im Jahr 2015 noch an (Krauss *et al.*, 2017), was das hohe Humusbindungspotenzial dieses stark tonhaltigen Bodens aufzeigt (von Luetzow *et al.* 2006). Sowohl die Umstellung vom Pflug auf das reduzierte Bodenbearbeitungssystem als auch der zusätzlich ausgebrachte Mistkompost im Vergleich zu einem Vollgülesystem (im Schnitt $0,5\ t\ ha^{-1}\ Jahr^{-1}$ erhöhte Zufuhr an organischer Substanz) steigerte in 13 Jahren den Gesamtkohlenstoffvorrat in dem beprobten 0–50cm tiefen Profil um 7–8 % ($8\text{--}9\ t\ ha^{-1}$, Tab. 2 nach Krauss *et al.* (2017)). Die Kombination beider Verfahren brachte nur einen geringen zusätzlichen Humusgewinn. Schaut man sich dabei die Verteilung des Kohlenstoff-

vorrats über das Bodenprofil hinweg an (Tab. 2), lässt sich gegenüber dem Pflug-Vollgülle-System eine starke Anreicherung der Kohlenstoffvorräte im Oberboden sowohl im reduzierten und als auch im Mistkompostsystem erkennen. Dies erklärt sich zum einen aus der oberflächlichen Ausbringung von Mistkompost und zum andern aus der flachen Einarbeitung im reduzierten System (max. 10 cm) gegenüber dem Pflug (ca. 18 cm). Die maximale Anreicherung im reduzierten System mit Mistkompostdüngung führte daher auch zu einer leichten Reduktion der Kohlenstoffvorräte im Unterboden. Dieser fehlende Mischeffekt des Pfluges wurde schon bei konventionellen Direktsaatsystemen beobachtet (Luo *et al.* 2010).

Der Datensatz aus Frick wurde mit Ergebnissen aus anderen Studien zur reduzierten Bodenbearbeitung im Biolandbau ergänzt. Über alle Studien wurde eine Metaanalyse gerechnet (Abb. 1). Die Datenbasis mit fünf Studien und achtzehn Paarvergleichen ist jedoch klein und die Aussagekraft daher vor allem für die tieferen Bodenschichten beschränkt. Die Kohlenstoffanreicherung in der Oberkrume durch die Umstellung vom Pflug auf das reduzierte Bodenbearbeitungssystem war signifikant um 15 % erhöht. Dies entspricht den Ergebnissen der kürzlich erschienenen Metastudie von Cooper *et al.* (2016), die erhöhte Kohlenstoffgehalte ($g\ m^{-2}$) im Oberboden des reduzierten Systems gegenüber dem Pflug im Biolandbau auf einer grösseren Datenbasis aufzeigte. In der Unterkrume ergaben sich in unserer Metaanalyse dagegen keine Unterschiede, während sich in der Schicht unterhalb der Bearbeitungsgrenze eine Tendenz zu geringeren Humusvorräten im reduzierten System abzeichnete (im Schnitt 9 %). Der Abbau konnte jedoch im Gegensatz

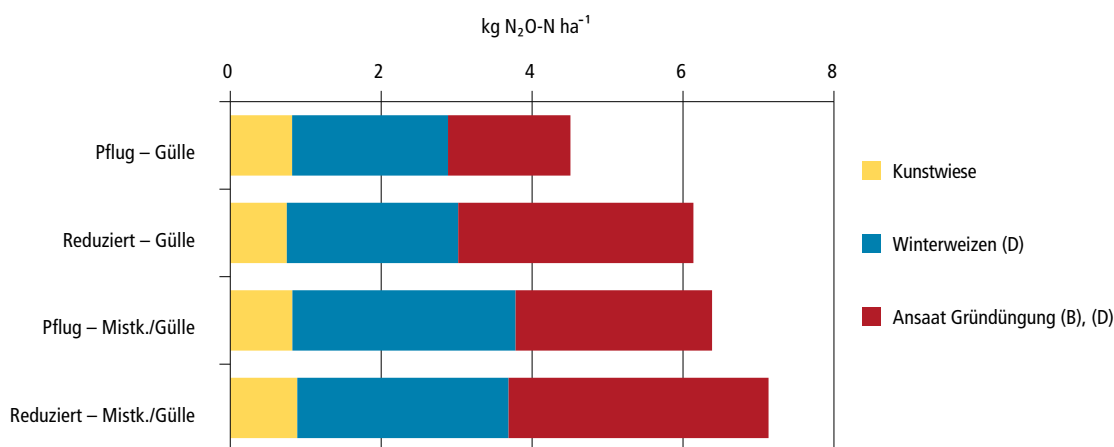


Abb. 2 | Kumulative Lachgasemissionen (N_2O) gemessen im Frick-Versuch über zwei Jahre hinweg. Dargestellt sind Emissionen gemessen in der Anbausaison der Kunstwiese (Gelb, 369 Tage) und des Winterweizens (Blau, 296 Tage). Die roten Balken zeigen die Emissionen nach der Ansaat einer Gründung nach Weizen (65 Tage). Signifikante Unterschiede der Bodenbearbeitungs- (B) und Düngungsverfahren (D), sowie der Interaktion (B × D) in den einzelnen Perioden wurden mittels Kovarianzanalyse ermittelt ($p < 0,05$, Klammern $p < 0,1$). Modifiziert nach Abbildung 2 in Krauss *et al.* (2017).

Tab. 1 | Der Langzeitversuch in Frick.

Versuch	Start im Herbst 2002, Flächen biozertifiziert seit 1995
Lage, Klima	350 m ü. M., 1083 mm, 10,2 °C (Durchschnitt 2003–2014)
Versuchsdesign	Dreifaktorielle Streifen-Spalтанanlage, vier Feldwiederholungen, acht Verfahren mit den Faktoren
	Bodenbearbeitung: Pflug (15–18 cm) vs. reduziert (5–10 cm, Grubber, Schälppflug)
	Düngung: Vollgülle vs. Mistkompost/Gülle (normalisiert auf ca. 100–120 kg Nt pro Jahr)
	Biodynamische Präparate: mit vs. ohne, in dieser Studie nicht berücksichtigt
Fruchtfolge	1./2. Periode: sechsgliedrig mit Silomais, Winterweizen + Zwischenfruchtmischung, Sonnenblume, Dinkel, zwei Jahre Kunstwiese; ab 2014: fünfgliedrig mit Winterweizen, Silomais, Dinkel, zwei Jahre Kunstwiese
Boden	Tonreiche Braunerde, 45 % Ton, 27 % Schluff, 28 % Sand, pH (H ₂ O) 7,1, C _{org} bei Versuchsbeginn 2,1 %

Tab. 2 | Kohlenstoffvorräte im Frick-Versuch des FiBL, dargestellt als prozentualer Unterschied zum Pflug-Gülle-System in drei Tiefen und als Gesamtvorräte (Mittelwert [Standardfehler], % Unterschied) über 0–50 cm Profiltiefe. Signifikante Unterschiede der Bodenbearbeitungs- (B) und Düngungsverfahren (D) sowie deren Interaktion (B × D) wurden mittels Kovarianzanalyse ermittelt (p < 0,05). Modifiziert nach Tabelle 3 in Krauss *et al.* (2017).

Verfahren	0–10 cm	10–20 cm	20–50 cm	Gesamt (0–50 cm)	
	% Unterschied zu Pflug – Gülle			t ha ⁻¹	%
Pflug – Gülle	100 %	100 %	100 %	101,2 (10,9)	100 %
Pflug – Mistk./Gülle	111 %	105 %	105 %	107,9 (8,6)	107 %
Reduziert – Gülle	117 %	109 %	103 %	109,2 (8,0)	108 %
Reduziert – Mistk./Gülle	123 %	107 %	99 %	109,3 (8,4)	108 %
Signifikante Unterschiede	B, D, B × D	D, B × D	B	B × D	

zum Direktsaat-Pflug-Vergleich von Luo *et al.* (2010) statistisch nicht abgesichert werden. Über das Gesamtprofil hinweg betrachtet beobachteten wir eine leichte Anreicherung der Kohlenstoffvorräte durch die reduzierte Bodenbearbeitung von 3 % (nicht signifikant), ähnlich der Veränderung durch die Direktsaat im konventionellen Anbau (Luo *et al.* 2010). Das reduzierte Bodenbearbeitungssystem im Biolandbau ist daher als Massnahme zum Humusaufbau im Sinne des Klimaschutzes im Rahmen dieser Metastudie nicht eindeutig belegbar und möglicherweise abhängig vom Standort. Eine breitere Datenbasis über verschiedene pedoklimatische Bedingungen hinweg würde hier weitere Aufschlüsse geben.

Bodenbearbeitungseffekte auf das Lachgas nicht eindeutig

Die höchsten N₂O-Flüsse wurden im Frick-Versuch nach Bearbeitungsgängen und nach der Ausbringung von Gülle gemessen (Krauss *et al.* 2017). Die bearbeitungsinduzierten Emissionen waren dabei im reduzierten System im Vergleich zum Pflugsystem und im Mistkompostsystem im Vergleich zum Vollgüllesystem erhöht. Sie korrelierten positiv mit dem Humusgehalt, dem Gehalt an mikrobieller Biomasse und der Bodenatmung (Krauss *et al.* 2017). Der Humusaufbau im Mistkompostsystem scheint in Frick wie

auch in anderen Studien (Mogge *et al.*, 1999) zu gesamt-höheren N₂O-Emissionen zu führen. Im Vergleich der Bodenbearbeitungssysteme ist eine Aussage jedoch schwieriger. Die N₂O-Messungen in Frick ergaben – trotz der erhöhten Emissionen nach dem Kunstwiesenumbruch im reduzierten System – in der Weizen- und Kunstwiesenperiode insgesamt keine signifikanten Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen (Abb. 2), ähnlich der Metaanalyse von van Kessel *et al.* (2013). Betrachtet man dagegen die zweijährige Messperiode in Frick, bei der die Emissionen nach Ansaat einer Gründüngung mitberücksichtigt sind, wird ersichtlich, wie stark einzelne Bodenbearbeitungsereignisse die Gesamtemissionen beeinflussen können (Abb. 2). In diesem Fall wurden nach Krauss *et al.* (2017) gesamt-höhere Emissionen im reduzierten im Vergleich zum Pflugverfahren beobachtet. Längere Messreihen sind daher für eine gesicherte Aussage nötig.

Unter der Annahme, dass das reduzierte Mistkompostsystem zu höheren N₂O-Emissionen führt (hier ca. 0,5 t CO₂-eq. ha⁻¹ a⁻¹, bezogen auf die zweijährige Messung), war die relative Klimabilanz im Vergleich zum weitverbreiteten Pflug-Vollgülle-System durch den starken Humuszuwachs (ca. 2,3 t CO₂-eq. ha⁻¹ a⁻¹ über 13 Jahre) in Frick im Schnitt trotzdem positiv (ca. 1,8 t CO₂-eq. ha⁻¹ a⁻¹)

(Krauss *et al.* 2017). Solange also noch kein neues Humusgleichgewicht erreicht wurde, wurden die höheren N₂O-Emissionen durch die verstärkte Kohlenstoffbindung in der Klimabilanz mehr als ausgeglichen.

Es zeigte sich zudem, dass der aktuelle Bodenzustand die N₂O-Produktion stärker beeinflusste als das Bodenbearbeitungssystem: Die N₂O-Emissionen nach der Gründüngungssaat unter feuchtwarmer Witterung fielen im Vergleich zu den Emissionen nach dem Kunstwiesenumbruch unter idealen Bodenbedingungen wesentlich höher aus (Krauss *et al.* 2017). Der Zusammenhang zwischen erhöhten N₂O-Emissionen bei steigender Bodenfeuchte ist hinreichend belegt (Butterbach-Bahl *et al.* 2013). Eine Bodenbearbeitung unter nassen Bedingungen ist zwar manchmal kaum zu vermeiden, aber sowohl aus Bodenschutz- als auch aus Klimaschutzgründen nicht zu empfehlen.

Schlussfolgerungen

Am Standort Frick zeichnet sich hinsichtlich der direkten Feldemissionen eine positive Klimabilanz sowohl für die reduzierte Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflugsystem als auch für das Mistkompost- im Vergleich

zum Güllesystem ab, so lange eine Humusanreicherung stattfindet. Um den Effekt verschiedener Bewirtschaftungsverfahren auf die N₂O-Emissionen langfristig beurteilen zu können, sind weitere Messungen nötig, am besten über eine ganze Fruchtfolgeperiode hinweg. Für die Praxis erwies sich in dieser Studie der Zeitpunkt von Bodenbearbeitungsmassnahmen als wichtigste Steuerungsgrösse in Bezug auf N₂O. Es wird daher im Sinne des Boden- und Klimaschutzes empfohlen, den Boden nur bei idealer Bodenfeuchte zu bearbeiten. ■

Dank

Wir danken dem Coop Fonds für Nachhaltigkeit und den Finanzgebern des CORE Organic II (TILMAN-ORG) für die Finanzierung der Dissertation von Maïke Krauss und dem Bundesamt für Umwelt für die Finanzierung des Gaschromatografen. Des Weiteren danken wir der Software AG – Stiftung, der Stiftung zur Pflege von Mensch, Mitwelt und Erde, der Stiftung Edith Maryon und dem Bundesamt für Landwirtschaft für die Mittel für die Durchführung des Frick-Versuches.

Literatur

- Butterbach-Bahl K., Baggs E.M., Dannenmann M., Kiese R. & Zechmeister-Boltenstern S., 2013. Nitrous oxide emissions from soils: how well do we understand the processes and their controls? *Philos. T. Roy. Soc. B* **368**.
- 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 Vlieghe 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. & Mäder P., 2016. Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agron. Sustain. Dev.* **36**, 22.
- Crittenden S.J., Poot N., Heinen M., van Balen D.J.M. & Pulleman M.M., 2015. Soil physical quality in contrasting tillage systems in organic and conventional farming. *Soil Till. Res.* **154**, 136–144.
- Gadermaier F., Berner A., Fließbach A., Friedel J.K. & Mäder P., 2012. Impact of reduced tillage on soil organic carbon and nutrient budgets under organic farming. *Renew. Agr. Food Syst.* **27**, 1–13.
- Gattinger A., Muller A., Haeni M., Skinner C., Fließbach A., Buchmann N., Mäder P., Stolze M., Smith P., Scialabba N.E.-H. & Niggli U., 2012. Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. *P. Natl. Acad. Sci. USA* **109**, 18226–18231.
- Kainz M., Gerl G., Lemnitzer B., Bauchenß J. & Hülsbergen K.-J., 2005. Wirkungen differenzierter Bodenbearbeitungssysteme im Dauerversuch Scheyern. In: Hess, J., Rahmann, G. (Eds.), Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. kassel university press GmbH, Kassel.
- Krauss M., Ruser R., Müller T., Hansen S., Mäder P. & 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.
- Luo Z.K., Wang E.L. & Sun O.J., 2010. Can no-tillage stimulate carbon sequestration in agricultural soils? A meta-analysis of paired experiments. *Agri. Ecosyst. Environ.* **139**, 224–231.
- Mogge B., Kaiser E.A. & Munch J.C., 1999. Nitrous oxide emissions and denitrification N-losses from agricultural soils in the Bornhöved Lake region: influence of organic fertilizers and land-use. *Soil Biol. Biochem.* **31**, 1245–1252.
- Montgomery D.R., 2007. *Dirt: The Erosion of Civilizations*. University of California Press, California.
- Schulz F., Brock C., Schmidt H., Franz K.-P. & Leithold G., 2014. Development of soil organic matter stocks under different farm types and tillage systems in the Organic Arable Farming Experiment Gladbacherhof. *Arch. Agron. Soil Sci.* **60**, 313–326.
- Skinner C., Gattinger A., Muller A., Mäder P., Fließbach A., Stolze M., Ruser R. & Niggli U., 2014. Greenhouse gas fluxes from agricultural soils under organic and non-organic management – A global meta-analysis. *Sci. Total Environ.* **468–469**, 553–563.
- van Kessel C., Venterea R., Six, J., Adviento-Borbe M.A., Linquist B. & van Groenigen K.J., 2013. Climate, duration, and N placement determine N₂O emissions in reduced tillage systems: a meta-analysis. *Glob. Change Biol.* **19**, 33–44.
- von Luetzow M., Koegel-Knabner I., Ekschmitt K., Matzner E., Guggenberger G., Marschner B. & Flessa H., 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. *Eur. J. Soil Sci.* **57**, 426–445.
- Zikeli S., Gruber S., Teufel C.-F., Hartung K. & Claupein W., 2013. Effects of reduced tillage on crop yield, plant available nutrients and soil organic matter in a 12-year long-term trial under organic management. *Sustainability* **5**, 3876–3894.

Riassunto
Lavorazione ridotta del suolo in agricoltura biologica – aspetti climatici

Il passaggio dall'aratro alla lavorazione ridotta del suolo è attualmente preso in considerazione come possibilità per ridurre i mutamenti climatici in relazione ad un maggior arricchimento di humus. Finora è stata accordata poca attenzione alla questione se i sistemi di lavorazione ridotta del suolo in agricoltura biologica provochino un aumento delle emissioni di gas serra (N_2O). Nell'ambito dell'esperimento a lungo termine concernente la lavorazione del suolo presso il FiBL a Frick sono state misurate le emissioni N_2O sull'arco di due anni e le riserve di humus tredici anni dopo l'inizio dell'esperimento fino a una profondità di 50 cm e comparate con altri studi eseguiti nell'Europa centrale. Durante il periodo di coltivazione di frumento e prato artificiale non sono state rilevate differenze tra i metodi di lavorazione del suolo per quanto riguarda le emissioni di N_2O . Nel corso del periodo di osservazione di due anni le emissioni di N_2O con il metodo di lavorazione ridotta sono risultate leggermente superiori. Dopo 13 anni a Frick è stato riscontrato un arricchimento di carbonio pari al 7–8 % nel profilo tra 0–50 cm nella superficie in cui sono state adottate le tecniche di lavorazione ridotta. Nella media dei cinque studi centroeuropei è stato calcolato un arricchimento di carbonio irrilevante del 3 %. In tutti gli studi è stata osservata una chiara redistribuzione di humus nel profilo del suolo. Come nel sistema convenzionale con semina diretta, nel sistema con lavorazione ridotta del suolo e concimazione organica in agricoltura biologica l'arricchimento di humus avviene quindi in superficie, gli obiettivi di protezione del suolo sono pertanto raggiunti. Rispetto al metodo di lavorazione con l'aratro, nell'esperimento a Frick, conteggiando le emissioni N_2O con l'arricchimento di carbonio è risultata una capacità di sequestro di carbonio pari a $1,8 \text{ t CO}_2\text{-eq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ per il sistema di lavorazione ridotta e quindi un effetto leggermente positivo per quanto riguarda la protezione del clima.

Summary
Reduced tillage in organic farming – climate aspects

The conversion from ploughing to reduced tillage is discussed in the context of increased humus accumulation as an opportunity to mitigate climate change. To date, little attention has been paid to the question whether reduced tillage systems in organic farming result in increased nitrous oxide (N_2O) emissions. Thus, as part of FiBL's long-term tillage trial in Frick (Switzerland), N_2O emissions were measured over a two-year period, and soil organic carbon stocks were measured down to a depth of 50 cm thirteen years after the trial started. The results were compared with other studies conducted in central Europe. There were no differences in N_2O emissions between tillage systems during the wheat and grass-clover ley phase of the crop rotation. During the full two-year observation period, N_2O emissions were slightly higher under reduced tillage. After thirteen years, the reduced tillage system showed a 7–8 % increase in soil organic carbon stocks at a profile depth of 0–50 cm compared to ploughing. By contrast, the average increase of about 3 % in soil organic carbon stocks measured in the five central European studies was non-significant. In all studies, a significant reallocation of humus in the soil profile was observed. Similarly to non-organic direct-seeding methods, the reduced tillage system with organic fertilization under organic farming conditions therefore results in humus accumulation in the topsoil, thus meeting soil conservation objectives. A calculatory offset of the Frick trial's N_2O emissions against the observed soil carbon increase showed that carbon sequestration under reduced tillage was about $1.8 \text{ t CO}_2\text{-eq. ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ higher than with ploughing, thus making a slight positive contribution to climate change mitigation.

Key words: reduced tillage, plough, organic farming, nitrous oxide, soil organic carbon sequestration.