

Travail réduit du sol en agriculture biologique: aspects climatiques

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

¹Institut de l'agriculture biologique, 5070 Frick, Suisse

²Université de Hohenheim, 70593 Stuttgart, Allemagne

Renseignements: Maike Krauss, e-mail: maike.krauss@fibl.org



Mesure de gaz à effet de serre dans le cadre d'une étude du FiBL à Frick visant à déterminer l'influence du travail réduit du sol en agriculture biologique sur les émissions de protoxyde d'azote. (Photo: Thomas Alföldi, FiBL)

Introduction

Dans la perspective du changement climatique, les systèmes agraires et les pratiques agricoles sont de plus en plus étudiés de manière critique, afin d'élaborer des stratégies destinées à atténuer ce changement. Dans les grandes cultures, les questions portent essentiellement sur les émissions de gaz à effet de serre, tels que le protoxyde d'azote (N_2O). Il s'agit également de savoir si, selon les systèmes de culture, il y a formation ou dégradation d'humus se traduisant par une libération ou une fixation du CO_2 . Le bien-fondé du renoncement au labour est discuté dans cette optique. La charrue retourne le sol, mélange les restes de plantes ou les engrais et laisse une surface de sol «propre», ce qui peut également constituer un problème quand l'eau et le vent érodent le sol et emportent la couche superficielle fertile (Montgomery 2007). La substitution du labour par le semis direct ou

les systèmes de travail réduit du sol peuvent y remédier, car les restes de récoltes, enrichissant la surface du sol en substances organiques, améliorent la structure du sol et contribuent ainsi à la protection contre l'érosion. Cependant, l'enrichissement en humus est-il suffisamment important pour permettre en plus une séquestration du CO_2 atmosphérique dans le sol? Les études globales les plus récentes comparant le labour et le semis direct révèlent une modification de la répartition de l'humus dans les profils de sol consécutive à l'abandon de la charrue. Dans l'ensemble, le bilan humus s'avère toutefois – dans le meilleur des cas – légèrement positif (Luo *et al.* 2010). Et comment se comporte le N_2O ? Dans les régions à climat tempéré, on observe une légère augmentation des émissions de N_2O durant les premières années suivant la substitution du labour par le semis direct, mais aucune différence n'apparaît après plus de dix ans (van Kessel *et al.* 2013). De nombreuses recherches portent sur les avantages du semis direct, principalement appliqué en Amérique du Nord et du Sud avec des rotations de culture simplifiées, une fertilisation avec des engrais minéraux et une utilisation intensive d'herbicides. Ces recherches ne sont que partiellement transposables aux systèmes de travail réduit du sol en agriculture biologique dans le contexte suisse. Par exemple, certaines données indiquent qu'une exploitation biologique sur de nombreuses années entraîne une augmentation de la teneur en humus dans la couche superficielle du sol (Gattinger *et al.* 2012) et que les émissions de N_2O par unité de surface sont plus faibles qu'en agriculture conventionnelle (Skinner *et al.* 2014). Cependant, l'absence d'études a empêché jusqu'à présent une évaluation plus globale. La présente recherche a donc pour objet de mesurer les réserves d'humus et les émissions de N_2O au champ et de les comparer avec les études disponibles. Les résultats ont été publiés dans Krauss *et al.* (2017), résumés ci-après et comparés dans le cadre d'une méta-analyse avec les résultats d'études similaires.

Matériel et méthodes

La campagne de mesures de gaz à effet de serre dans l'essai de Frick (tabl. 1) s'est étalée sur deux ans pour les prairies artificielles (2012/2013), les cultures de blé d'hiver et les engrais verts (2013/2014). Quatre échantillons de gaz ont été prélevés chaque semaine avec des chambres étanches; des échantillons supplémentaires ont été collectés après des interventions dans les cultures, telles que fertilisation et travail du sol; ils ont ensuite été analysés par chromatographie en phase gazeuse. En outre, des échantillons de sol (0–20 cm) ont été prélevés pour chaque mode de culture et leur contenu en C et N (N_{\min}) disponible ainsi que leur teneur en eau ont été déterminés. En 2015, des échantillons de sol ont été prélevés dans les couches 0–10, 10–20, 20–50 cm pour effectuer des analyses d'humus; ces échantillons ont été prélevés au moyen d'une tarière pour l'analyse du carbone organique (C_{org} , méthode de Walkley-Black) et au moyen de cylindres pour la détermination de la compacité des couches. A partir de ces données, les réserves de C par couche et la réserve totale ont été calculées en normali-

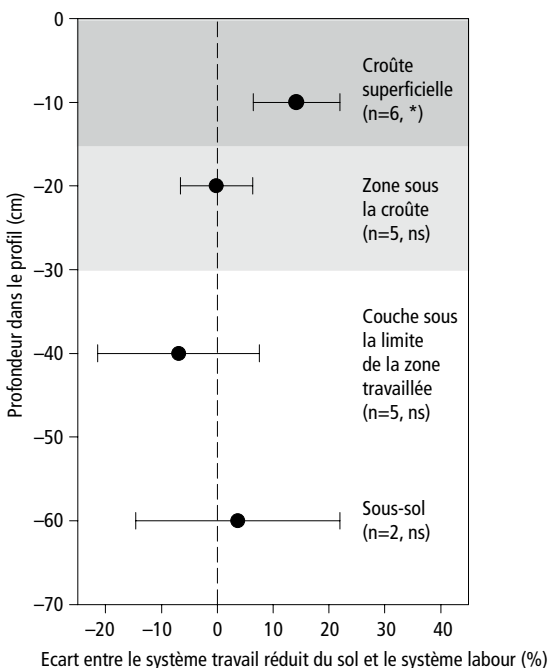


Figure 1 | Pourcentage de variation des réserves de C_{org} dans le profil de sol entre le système travail réduit du sol et le système labour (référence) en agriculture biologique, calculé avec une méta-analyse basée sur cinq études et 18 comparaisons par paires (Kainz *et al.* 2005; Zikeli *et al.* 2013; Schulz *et al.* 2014; Crittenden *et al.* 2015; Krauss *et al.* 2017). Les barres d'erreur horizontales représentent l'intervalle de confiance de 95 %. Les profondeurs de travail moyennes (médiane, travail réduit 15 cm, labour 30 cm) sont représentées en gris. Le nombre de paires comparées et la signification (* $p < 0,05$, ns = non significatif) sont indiqués à droite entre parenthèses.

Résumé Cet essai avait pour but d'évaluer la substitution du labour par un travail réduit du sol – qui enrichit davantage le sol en humus – comme mesure possible pour lutter contre le changement climatique. Jusqu'à présent, peu d'études permettaient de savoir si les systèmes de travail réduit du sol en agriculture biologique entraînent une formation accrue de protoxyde d'azote (N_2O). Dans le cadre d'un essai de longue durée du FiBL sur le travail du sol, des chercheurs-euses ont étudié les émissions de N_2O pendant deux ans et ont mesuré les réserves d'humus à une profondeur de 50 cm pendant treize ans depuis le début de l'essai. Ils ont ensuite comparé ces données aux résultats obtenus dans d'autres études en Europe centrale. Dans l'étude récemment publiée de Krauss *et al.* (2017), aucune différence n'a été observée dans les émissions de N_2O entre les différents procédés de travail du sol pendant la phase de culture du blé et la phase de prairie artificielle. Pendant toute la durée d'observation de deux ans, les émissions de N_2O , y compris lors d'un apport d'engrais vert, ont légèrement augmenté avec le procédé de travail réduit du sol. Après une période d'essai de 13 ans à Frick, les chercheurs-euses ont mis en évidence un enrichissement en carbone de 7 à 8 % à une profondeur de 0 à 50 cm dans le profil de sol du système travail réduit. En revanche, la moyenne calculée à partir de cinq études sur le travail réduit du sol en agriculture biologique réalisées en Europe centrale ne fait apparaître qu'une augmentation en carbone, non significative, de 3 %. Dans tous les essais, une nette modification de la répartition de l'humus dans le profil du sol a été observée. Dans le système travail réduit du sol et fertilisation avec engrais organiques en agriculture biologique, un enrichissement en humus dans la couche superficielle a été observé comme dans le procédé conventionnel de semis direct; les objectifs de protection sont dès lors atteints. Dans la mesure où les émissions de N_2O sont compensées par l'enrichissement en carbone dans l'essai à Frick, l'augmentation de la séquestration dans le système de travail réduit du sol par rapport au labour s'établit à 1,8 t de CO_2 -éq. $ha^{-1} an^{-1}$, ce qui représente un léger effet positif en termes de protection du climat.

sant les masses de sol. La méthode est décrite en détail par Krauss *et al.* (2017).

Dans la présente étude, les données relatives à l'humus ont été complétées par des résultats d'essais sur le travail biologique du sol menés en Allemagne et aux Pays-Bas (Kainz *et al.* 2005; Zikeli *et al.* 2013; Schulz *et al.* 2014; Crittenden *et al.* 2015). Ensuite, une méta-analyse (effets aléatoires) de la différence relative entre «travail réduit» et «labour» pour chaque couche de sol et dans l'ensemble du profil a été effectuée en utilisant les valeurs moyennes, les écarts-types et le nombre de mesures des réserves de C ($t\ ha^{-1}$) comme base de données. Les données manquantes pour les écarts-types ont été calculées à partir des moyennes des autres écarts-types.

Résultats et discussion

Légère augmentation des réserves de carbone

Dans l'essai de Frick, la teneur en humus augmente rapidement dès le passage au travail réduit du sol (Gadermaier *et al.* 2012). L'enrichissement en humus dans la couche superficielle s'est poursuivi en 2015 (Krauss *et al.* 2017), ce qui montre le potentiel élevé de fixation d'humus de ce sol très argileux (von Luetzow *et al.* 2006). Tant la substitution du labour par le système de travail réduit du sol que l'épandage complémentaire de compost de fumier, en comparaison d'un système lisier total (apport supplémentaire moyen de substance organique de $0,5\ t\ ha^{-1}\ an^{-1}$) ont entraîné en 13 ans une augmentation de 7 à 8 % (8 à $9\ t\ ha^{-1}$, tabl. 2 d'après Krauss *et al.* 2017) de la réserve totale de carbone dans le profil 0–50 cm échantillonné. L'association des deux procédés a permis uniquement un

gain modéré d'humus supplémentaire. Un examen de la répartition de la réserve de carbone dans le profil de sol (tabl. 2) fait apparaître un fort enrichissement des réserves de carbone dans la couche superficielle par rapport au système labour-lisier total, que ce soit dans le système de travail réduit du sol seul ou le système de travail réduit et compost de fumier. Cette observation s'explique d'une part par l'épandage de compost de fumier en surface et d'autre part par l'incorporation superficielle (max. 10 cm) dans le système de travail réduit par rapport au labour (env. 18 cm). L'enrichissement maximal dans le système de travail réduit-compost de fumier entraîne également une légère réduction des réserves de carbone dans le sous-sol. Cette absence d'homogénéisation, habituellement assurée par le labour, a déjà été observée dans des systèmes de semis direct conventionnels (Luo *et al.* 2010).

Les données obtenues à Frick ont été complétées par les résultats d'autres études sur le travail réduit du sol en agriculture biologique. Une méta-analyse a été effectuée sur l'ensemble de ces études (fig. 1). La base de données incluant cinq études et dix-huit comparaisons par paires est toutefois réduite et la fiabilité est donc limitée, en particulier pour les couches plus profondes du sol. L'enrichissement en carbone dans la croûte superficielle à la suite de la substitution du labour par le système de travail réduit du sol est significativement plus élevé de 15 %. Cette augmentation correspond aux résultats de la méta-analyse de Cooper *et al.* (2016), récemment publiée, qui montre une augmentation de la teneur en carbone ($g\ m^{-2}$) dans la couche supérieure du sol avec le système de travail réduit par rapport au labour en agriculture biologique en utilisant une plus grande base de données. La

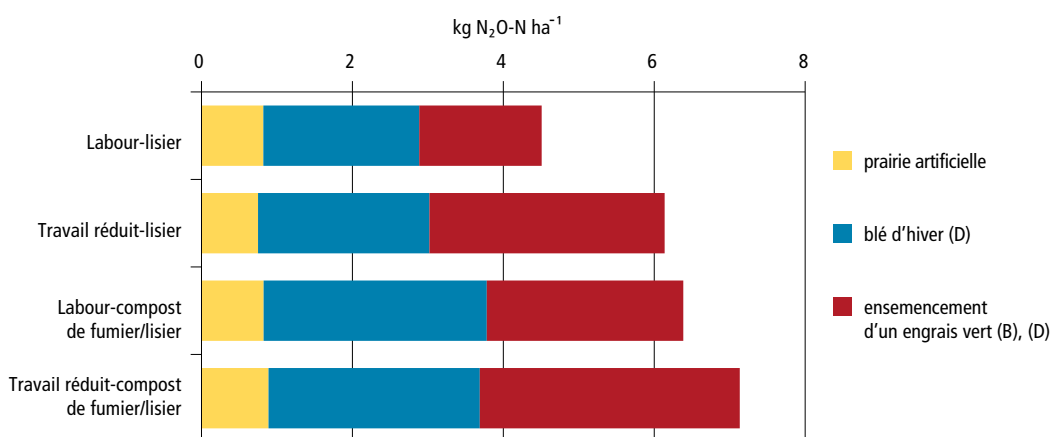


Figure 2 | Émissions cumulées de peroxyde d'azote (N_2O) mesurées dans l'essai à Frick pendant deux ans. Sont représentées les émissions mesurées durant la phase de prairie artificielle (jaune, 369 jours) et la phase de culture de blé d'hiver (bleu, 296 jours). Les rectangles rouges représentent les émissions après l'ensemencement d'un engrais vert à la suite de la culture de blé (65 jours). Les différences significatives liées au travail du sol (B) et aux procédés de fertilisation (D) ainsi que l'interaction (B x D) durant les différentes phases ont été déterminées par une analyse de covariance ($p < 0,05$, lettre entre parenthèses: $p < 0,1$). Modifié d'après la figure 2 dans Krauss *et al.* (2017).

Tableau 1 | Essai de longue durée à Frick

Essai	Début du projet à l'automne 2002, surfaces certifiées bio depuis 1995
Situation, climat	350 m alt., 1083 mm, 10,2 °C (moyenne 2003–2014)
Conception de l'essai	Bandes disposées longitudinalement, modèle trifactoriel, quatre répétitions en champ, huit procédés avec différents facteurs
	Travail du sol: labour (15–18 cm) vs travail réduit (5–10 cm, cultivateur, charrue déchaumeuse)
	Fertilisation: lisier total vs compost de fumier/lisier (normalisé à environ 100–120 kg Nt par an)
	Préparation biodynamique: avec vs sans, non pris en compte dans cette étude
Rotation des cultures	1 ^{re} /2 ^e période: sur six ans, alternance maïs d'ensilage, blé d'hiver + mélange pour culture dérobée, tournesol, épeautre, prairie artificielle bisannuelle; à partir de 2014: sur cinq ans, alternance blé d'hiver, maïs d'ensilage, épeautre, prairie artificielle pendant deux ans
Sol	Sol brun argileux, 45 % argile, 27 % limon, 28 % sable, pH (H ₂ O) 7,1, C _{org} en début d'essai 2,1 %

Tableau 2 | Réserves de carbone dans l'essai du FiBL à Frick, présentées sous forme de différence en pourcent par rapport au système labour-lisier à trois profondeurs et réserves totales (valeur moyenne [écart-type], différence en %) dans un profil de profondeur de 0 à 50 cm. Une analyse de covariance a été effectuée pour déterminer si les différences entre les procédés de travail du sol (B) et les modes de fertilisation (D) ainsi que leurs interactions (B × D) étaient significatives (p < 0,05). Modifié d'après le tableau 3 dans Krauss *et al.* (2017)

Procédé	0–10 cm	10–20 cm	20–50 cm	Total (0–50 cm)	
	Différence (%) par rapport au labour-lisier			t ha ⁻¹	%
Labour-lisier	100 %	100 %	100 %	101,2 (10,9)	100 %
Labour-compost de fumier/lisier	111 %	105 %	105 %	107,9 (8,6)	107 %
Travail réduit-lisier	117 %	109 %	103 %	109,2 (8,0)	108 %
Travail réduit-compost de fumier/lisier	123 %	107 %	99 %	109,3 (8,4)	108 %
Différences significatives	B, D, B × D	D, B × D	B	B × D	

méta-analyse de la présente étude révèle une tendance à la dégradation de l'humus dans la zone située sous la limite de la zone travaillée dans le système avec travail réduit (en moyenne –9 %). Toutefois, cette dégradation n'a pas pu être démontrée statistiquement contrairement à la comparaison semis direct-labour de Luo *et al.* (2010). Sur l'ensemble du profil, nous avons pu observer un enrichissement de 3 % (non significatif) des réserves de carbone résultant du travail réduit du sol, similaire à la modification consécutive au semis direct en agriculture conventionnelle (Luo *et al.* 2010). La présente méta-analyse ne permet donc pas de démontrer de façon incontestable que le système de travail réduit du sol en agriculture biologique est une mesure contribuant à la protection du climat en favorisant la formation d'humus; mais l'effet dépend probablement du site. Une base de données plus importante, intégrant différentes conditions pédo-climatiques apporterait de plus amples informations.

Effets non univoques du travail du sol sur N₂O

Les flux de N₂O les plus élevés ont été mesurés dans l'essai de Frick après des travaux du sol et après épandage de lisier (Krauss *et al.* 2017). À cet égard, les émissions induites par les travaux du sol étaient plus élevées dans le système avec travail réduit par rapport au système avec

labour et dans le système avec compost de fumier par rapport au système avec lisier total. Les émissions sont positivement corrélées avec la teneur en humus, la biomasse microbienne contenue dans le sol et la respiration du sol (Krauss *et al.* 2017). La formation d'humus dans le système avec compost de fumier semble, dans l'essai de Frick comme dans d'autres études (Mogge *et al.* 1999), entraîner des émissions de N₂O globalement plus élevées. La comparaison des systèmes de travail du sol permet plus difficilement de prévoir l'évolution. Les mesures de N₂O ne font pas apparaître de différences significatives entre les systèmes de travail du sol (fig. 2) durant la phase de culture du blé et la phase de prairie artificielle, malgré les émissions plus élevées dans le système à travail réduit du sol après retournement de la prairie artificielle. La méta-analyse de van Kessel *et al.* (2013) donne des résultats similaires. En revanche, la période de mesures de deux ans à Frick, durant laquelle les émissions après ensemencement d'un engrais vert sont prises en compte, montre comment des événements isolés dans le travail du sol peuvent influencer les émissions totales (fig. 2). Dans ce cas, on a observé des émissions globalement plus élevées avec le travail réduit du sol par rapport au labour (Krauss *et al.* 2017). Des séries de mesures sur une plus longue durée sont donc nécessaires pour affiner les prévisions.

En admettant que le système travail réduit et compost de fumier entraîne une hausse des émissions de N_2O (ici env. 0,5 t CO_2 -éq. $ha^{-1} an^{-1}$, rapporté à la période de mesures de deux ans), le bilan climatique relatif, comparé à celui du système largement répandu labour-lisier total, est cependant positif à Frick (env. 1,8 t CO_2 -éq. $ha^{-1} an^{-1}$, Krauss *et al.* 2017), du fait de la forte augmentation de la teneur en humus (env. 2,3 t CO_2 -éq. $ha^{-1} an^{-1}$ en 13 ans). Aussi, tant qu'un nouvel équilibre de l'humus n'est pas atteint, les émissions de N_2O , en moyenne plus élevées, sont plus que compensées par la fixation accrue de carbone. Il apparaît également que l'état du sol au moment concerné influence davantage la production de N_2O plus que le système de travail du sol: les émissions de N_2O après l'ensemencement d'engrais vert par temps humide et chaud sont nettement plus élevées que les émissions après le retournement de la prairie artificielle dans des conditions de sol idéales (Krauss *et al.* 2017). La relation entre l'augmentation des émissions de N_2O et l'humidité croissante du sol a été suffisamment démontrée (Butterbach-Bahl *et al.* 2013). Le travail du sol dans des conditions humides est certes souvent inévitable, mais il est déconseillé tant pour des raisons de protection du sol que de protection du climat.

Bibliographie

- 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 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. & 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.
- Gatteringer 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. & Gatteringer 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.

Conclusions

A Frick, le bilan climatique s'avère positif pour le travail réduit du sol par rapport au labour et également pour l'utilisation de compost de fumier par rapport au lisier, aussi longtemps qu'un enrichissement en humus a lieu. Pour pouvoir évaluer à long terme l'effet de différents procédés d'exploitation sur les émissions de N_2O , des mesures supplémentaires sont nécessaires, de préférence pendant toute la durée d'une rotation. En pratique, cette étude montre que le moment où interviennent les travaux du sol est le critère qui influence le plus fortement les émissions de N_2O . En vue de la protection du sol et du climat, il est donc recommandé de travailler le sol uniquement quand son degré d'humidité est optimal. ■

Remerciements

Nous remercions le Fonds Coop pour le développement durable et les bailleurs de fonds de CORE Organic II (TILMAN-ORG) pour le financement de la thèse de Maike Krauss et l'Office fédéral de l'environnement pour le financement du chromatographe en phase gazeuse. Par ailleurs, nous remercions la Fondation Software SA, la Stiftung zur Pflege von Mensch, Mitwelt und Erde (Fondation pour l'Homme, l'Environnement et la Terre), la Fondation Edith Maryon et l'Office fédéral de l'agriculture pour le financement de l'essai de Frick.

- 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. *Agr. 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., Gatteringer 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 N_2O 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 esilarante (N₂O). Nell'ambito dell'esperimento a lungo termine concernente la lavorazione del suolo presso il FiBL a Frick sono state misurate le emissioni N₂O 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 N₂O. Nel corso del periodo di osservazione di due anni le emissioni di N₂O 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 N₂O con l'arricchimento di carbonio è risultata una capacità di sequestro di carbonio pari a 1,8 t CO₂-eq. ha⁻¹ 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 (N₂O) emissions. Thus, as part of FiBL's long-term tillage trial in Frick (Switzerland), N₂O 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 N₂O emissions between tillage systems during the wheat and grass-clover ley phase of the crop rotation. During the full two-year observation period, N₂O 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 N₂O emissions against the observed soil carbon increase showed that carbon sequestration under reduced tillage was about 1.8 t CO₂-eq. ha⁻¹ 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.