

# Bodenfruchtbarkeit verbessern

## Zur Wirkung reduzierter Bodenbearbeitung in Langzeitversuchen

*Der Erhalt und die Mehrung des Humusgehalts sind im Fokus der Bewirtschaftung biologisch-dynamischer Höfe. Langzeitversuche am FiBL haben gezeigt, dass die Anwendung von kompostiertem Mist und die reduzierte Bodenbearbeitung einen substanziellen Beitrag zur Humusmehrung leisten und das Bodenleben fördern.*

Dr. Paul Mäder,



Maïke Krauss,



Forschungsinstitut für  
Biologischen Landbau FiBL,  
Departement für  
Bodenwissenschaften,  
FiBL, Ackerstrasse 113,  
CH-5070 Frick

Böden sind die Grundlage für die Ernährung der Weltbevölkerung, die bis 2050 auf circa 9 Milliarden Bewohner anwachsen wird. Die Nahrungs- und Futtermittelproduktion erhält aber zunehmend Konkurrenz durch andere Nutzungsformen wie die Produktion von Faser- und Energiepflanzen. Der enormen Steigerung der Erträge durch eine intensive Landwirtschaft steht die Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit gegenüber: Weltweit gehören der Verlust der organischen Bodensubstanz, Erosion, Verdichtung, Versauerung, Versalzung und Kontamination zu den größten Belastungen des Bodens (GLAESNER et al., 2014). In Europa gelten etwa 50% der Ackerböden als humusarm (Europäische Kommission, 2012). Die Deutsche Landwirtschaftliche Gesellschaft hat kürzlich ein Thesenpapier publiziert, in dem sie feststellt, dass die einseitig auf kurzfristige Ertrags- und Gewinnmaximierung ausgerichtete Landwirtschaft in eine Sackgasse geführt hat. In diesem Kontext stellt sich die Frage, mit welchen landwirtschaftlichen Praktiken und Systemen sich die Böden verbessern lassen und die Produktion auf

lange Sicht gesteigert werden kann. Dabei schließt eine nachhaltige Entwicklung auch die Klimaträgbarkeit der landwirtschaftlichen Produktion mit ein.

### Ökolandbau leistet einen wertvollen Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit

Pioniere des biologischen Landbaus wie Rudolf Steiner oder Müller und Rusch haben die Grundsteine für die biologische Landwirtschaft bereits zu Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts gelegt. Seither ist der Ökolandbau kontinuierlich weiterentwickelt worden und gewachsen. In den 1970er Jahren wurde in Therwil (BL, Schweiz) der DOK-Langzeitversuch angelegt, der die ökologische und ökonomische Leistungsfähigkeit des biologisch-dynamischen und biologisch-organischen Anbausystems gegenüber konventionellen Systemen untersucht. Die nunmehr 40-jährigen Untersuchungen haben gezeigt, dass der Ökolandbau ein großes Potenzial hat, die Böden fruchtbar zu halten, Ressourcen effizient zu nutzen und die Biodiversität zu fördern. Dies wird von zahlreichen Literaturstudien auch über den DOK-Versuch hinaus bestätigt (GATTINGER et al., 2012; Hole et al., REGANOLD AND WACHTER, 2016).

Europaweit werden 2,5 Prozent der Ackerflächen ökologisch bewirt-

schaftet. Einzelne Länder wie Italien, Österreich und die Schweiz erreichen Flächenanteile von 12–21 Prozent (Willer and Lernoud, 2017). Im DOK-Versuch hat sich gezeigt, dass der biologisch-dynamische Landbau gegenüber dem organischen Landbau zusätzliche Vorteile bringt. Als einziges System weist das biologisch-dynamische Verfahren in diesem lösshaltigen Boden annähernd stabile Humusgehalte auf, während sie in den übrigen Verfahren abnehmen, am stärksten im rein mineralisch gedüngten, konventionellen System. Des Weiteren weist das biologisch-dynamische System eine höhere biologische Aktivität und eine höhere Diversität beispielsweise von Mykorrhizapilzen (Oehl et al., 2004; Esperschütz et al., 2007) und Beikräutern auf.

### Wo liegen Potenziale der reduzierten Bodenbearbeitung im Ökolandbau?

In den 1930 Jahren wurden in den USA infolge von massiver Erosion bodenschonende Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung entwickelt, bei dem anstelle des Pflugs die Böden reduziert („reduzierte Bodenbearbeitung“) oder gar nicht („No-till“/„Direktsaat“) bearbeitet werden (Montgomery, 2007). Wenn nicht gepflügt wird, bleibt eine Mulchschicht auf der Bodenoberfläche liegen, reichert

In der Praxis wird auf Bioackerbaubetrieben in der Schweiz bereits ein Fünftel der Flächen reduziert bearbeitet, d. h., maximal 10 cm tief. Dafür werden flach arbeitende Maschinen wie Schälplüge, Flachgrubber oder Scheibeneggen eingesetzt. Das Schweizer Bundesamt für Landwirtschaft gewährt im Ressourceneffizienzprogramm Beiträge für dieses besonders bodenschonende Verfahren ohne Herbizide.

dort Humus an und stabilisiert den Boden oberflächlich. Wasser und Wind können weniger angreifen und den Boden weniger abtragen. Heute ist das No-till-Verfahren deshalb weltweit verbreitet, vor allem in Brasilien, Argentinien, den USA und Australien (Derpsch et al., 2010). In Europa werden nur etwa 3 Prozent der Ackerflächen mit dem No-till und etwa 20 Prozent mit reduzierten Verfahren bewirtschaftet.

Diese bodenschonenden konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren erschweren die Beikrautregulierung und gehen daher oft einher mit der Anwendung von Totalherbiziden wie z. B. Glyphosat, das derzeit als potenziell krebserregend in der Diskussion ist. Alternativen zur chemischen Beikrautregulierung sind zudem gewünscht, weil immer mehr Beikräuter gegenüber Herbiziden resistent sind. Eine Herbizid-reduzierte und idealerweise Herbizid-freie konservierende Bodenbearbeitung ist daher für die Zukunft gefragt. Der Ökolandbau leistet hier Pionierarbeit.

Der organisch-biologische Landbau orientierte sich in den Gründerzeiten stark an natürlichen Ökosystemen und versuchte die natürliche Schichtung des Bodens im Ackerbau zu erhalten. Flaches Wenden, und wenn nötig tieferes Lockern war das Credo. Beispiele der praktischen Umsetzung dieser Grundsätze waren der Zweischichtenpflug und das System Kemink. Während bei Zweischichtenpflug mit einem Gerät flach gepflügt und in den tieferen Schichten gelockert wird, erfolgt im Keminksystem eine Lockerung des Bodens auch in der wachsenden Kultur, wobei das Zugfahrzeug in Fahrgassen arbeitet.

Eine systematische Forschung zur reduzierten Bodenbearbeitung im



M. Krauss/FIBL

europäischen Ökolandbau startete ungefähr in den 1990er Jahren (Mäder und Berner, 2012; Hampl, 2005). Sie ging einher mit der Weiterentwicklung von angepassten Maschinen und dem verstärkten Interesse der Landwirte, noch mehr für ihre Böden zu tun. In den 1990er und 2000er Jahren wurden daher zahlreiche Versuche in verschiedenen Europäischen Ländern angelegt. Mit drei Langzeitversuchen, in Frick (seit 2002, Tonboden) und Aesch (seit 2010, Lössboden) jeweils in der Schweiz, sowie in Juchowo (seit 2011, Sandboden) in Polen, etablierte das FiBL eine Forschungsplattform zur reduzierten Bodenbearbeitung, um Einflüsse auf agronomische Aspekte und die Bodenfruchtbarkeit zu untersuchen. Mittlerweile gibt es eine gute Datenbasis. Im Europäischen Projekt TILMAN-ORG z.B. wurden die Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung in einer grossen Literaturstudie (Meta-Analyse) zusammengefasst (Cooper et al., 2016). Es zeigte sich dabei über verschiedene Standorte hinweg, dass die reduzierte Bodenbearbeitung im Vergleich zum tiefen Pflügen zu mehr Humus im Oberboden, zu geringfügig reduzierten Erträgen (im Schnitt minus 6 Prozent), aber auch zu vermehrtem Aufkommen an Beikraut führt.

## Der Langzeitversuch in Frick

*Versuch:* Start im Herbst 2002, Flächen biozertifiziert seit 1995; *Lage, Klima:* 350 m ü. NN, 1083 mm, 10,2° C (Durchschnitt 2003–2014);

*Versuchsdesign:* dreifaktorielle Streifen-Spaltanlage, vier Feldwiederholungen, acht Verfahren mit den Faktoren;

*Bodenbearbeitung:* Pflug (15–18 cm) vs. reduziert (5–10 cm, Grubber, Schälplflug);

*Düngung:* Vollgülle vs. Mistkompost/Gülle (normalisiert auf ca. 100–120 kg Nt pro Jahr);

*Biodynamische Präparate:* mit vs. ohne;

*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<sub>2</sub>O) 7,1, Humusgehalt bei Versuchsbeginn 3,6 %.

## V Versuchsergebnisse

Im Versuch in Frick lagen über die Jahre hinweg sowohl agronomische

Verteilung des Mistkompostes im Frick-Versuch.

### Dank

Die Untersuchungen im Langzeitversuch in Frick werden gefördert durch: Software-AG-Stiftung (DE), Stiftung zur Pflege für Mensch, Mitwelt und Erde (CH), Edith Maryon Stiftung (CH) und das Bundesamt für Landwirtschaft (CH). Die Treibhausgas- und Humusvorrat-Untersuchungen wurden vom Coop Fonds für Nachhaltigkeit und den Finanzgebern des CORE Organic II (TILMAN-ORG) finanziert.

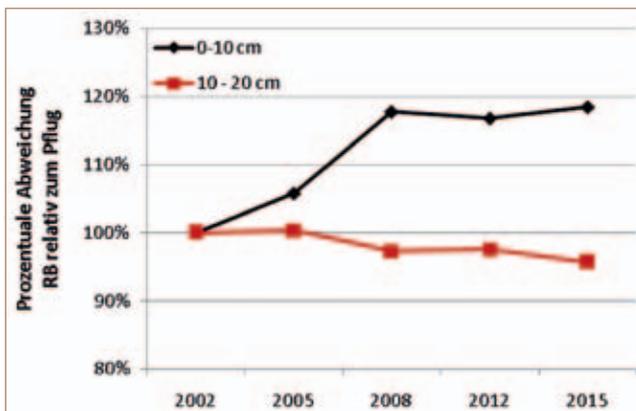


Abbildung 1: Entwicklung des Humusgehaltes im Frick Versuch in zwei Bodentiefen (0–10 cm, 10–20 cm) in Relation zum Versuchsstart. Dargestellt ist die relative Abweichung zwischen der reduzierten Bodenbearbeitung und dem Pflugverfahren.

Aspekte wie die Ertragsstabilität oder die Beikrautentwicklung als auch Veränderungen in der Bodenfruchtbarkeit im Fokus. Im Schnitt der 14 Jahre hat sich gezeigt, dass die Erträge im reduzierten Verfahren ca. 4 Prozent höher sind als im Pflugsystem und es keine Unterschiede zwischen den Düngungs- und Präparateverfahren gibt. Im reduzierten System führte die verbesserte Wasserverfügbarkeit während Trockenjahren zu höheren Kleeerträgen im Klee gras mit einer anschliessend besseren N-Versorgung der Folgekulturen (Krauss et al., 2010). Samenbankanalysen und Erhebungen im Feld haben gezeigt, dass der Beikrautbesatz im reduzierten System deutlich erhöht ist:

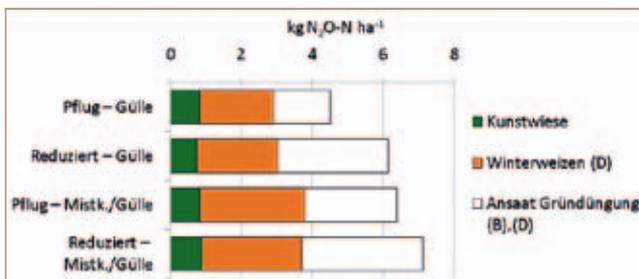


Abbildung 2: Kumulative Lachgasemissionen (N<sub>2</sub>O) gemessen im Frick-Versuch über zwei Jahre hinweg. Dargestellt sind Emissionen in der Anbausaison der Kunstwiese (Grün, 369 Tage) und des Winterweizens (Orange, 296 Tage). Die weissen Balken zeigen die Emissionen nach der Ansaat einer Gründüngung nach Weizen (65 Tage). Signifikante Unterschiede der Bodenbearbeitungs- (B) und Düngungsverfahren (D), sowie der Interaktion (BxD) in den einzelnen Perioden wurden mittels Kovarianzanalyse ermittelt ( $p < 0,05$ , Klammern  $p < 0,1$ ). Quelle: Modifizierte Abbildung nach Krauss et al. (2017, Abbildung 2, Seite 328).

insbesondere Gräser und ausdauernde Beikräuter haben stark zugenommen (Sans et al., 2011; Armentgot et al., 2015).

In Abbildung 1 wird deutlich, dass der Humusgehalt bei reduzierter Bodenbearbeitung im Vergleich zum Pflug deutlich zugenommen hat. Über die gesamte Versuchsdauer hat der Humusgehalt im reduzierten System mit Vollgülle bewirtschafteten System relativ zum Pflugsystem circa 29 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Hektar gebunden, was einem jährlichen Zuwachs von 2.2 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten entspricht (Krauss et al., 2017). Innerhalb des Pflugsystems erzielte die Kompostanwendung neben der Ausbringung von Gülle eine ähnliche Steigerung des Humusgehalts. Wurde hingegen Mistkompost zu den reduziert bearbeiteten Parzellen verabreicht, stieg der Humusgehalt nur unwesentlich an. Im Mistkompostverfahren wurde rund die doppelte Menge an organischer Substanz im Vergleich zum Vollgülleverfahren zum Boden gegeben. So lassen sich diese Humuszuwachsraten im Kompostsystem plausibel erklären. Erwartungsgemäß wurde im reduziert bearbeiteten System Humus vor allem in der obersten Schicht angereichert (0–10 cm), eine geringe Anreicherung war aber auch in der darunter liegenden Bodenschicht festzustellen (10–20 cm), während in der Bodenschicht zwischen 20–50 cm keine Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungssystemen zu Tage traten. Diese „Stratifizierung“ war in den Mistkompostparzellen stärker ausgeprägt als in den Vollgülleparzellen.

Auch die Bodenmikroorganismen fühlen sich in den mit Humus angereicherten Böden bei reduzierter Bodenbearbeitung wohler: 37 Prozent mehr mikrobielle Biomasse und eine um 57 Prozent erhöhte Dehydrogenaseaktivität wurden bei

reduzierter Bodenbearbeitung gemessen (Gadermaier et al., 2012). Die Wurzeln der Kulturpflanzen waren in dieser Variante auch stärker mit Wurzelsymbiosepilzen besiedelt, wohl deshalb, weil das Hyphennetz durch die reduzierte Bearbeitung des Bodens weniger gestört wurde. Bemerkenswert war dabei, dass sowohl die Vielfalt der Mykorrhizaarten als auch die Vielfalt innerhalb einer Art, die typischerweise in Äckern vorkommt, erhöht waren (Börstler et al., 2010; Säle et al., 2015). Diese erhöhten Kennwerte der Bodenfruchtbarkeit sind relevant für die Aggregatbildung und damit für den Erosionsschutz, für den Nährstoffkreislauf und die Krankheitsabwehr im Wurzelbereich.

Die gesteigerte biologische Aktivität gab Anlass zur Vermutung, dass die Bildung von Lachgas (N<sub>2</sub>O) in den reduziert und mit Kompost gedüngten Parzellen auch erhöht ist. N<sub>2</sub>O ist etwa 265 Mal klimawirksamer als CO<sub>2</sub>. Etwa 63 Prozent der vom Menschen verursachten N<sub>2</sub>O Emissionen entstammen der Landwirtschaft (Syakila and Kroeze, 2011). Im Versuch in Frick hat sich jedoch gezeigt, dass dies nur der Fall ist, wenn die reichere Mikroorganismengemeinschaft im reduzierten und im Mistkompostsystem durch eine Bodenbearbeitung unmittelbar stimuliert wird. In der Anbausaison von Klee gras und Winterweizen lagen die N<sub>2</sub>O-Emissionen im System der reduzierten Bodenbearbeitung letztlich auf dem gleichen Niveau wie im Pflugsystem und leicht höher im Mistkompost im Vergleich zum Vollgüllesystem (Krauss et al., 2017) (Abbildung 2). Die Ansaat einer Gründüngung nach Winterweizen bei nassen Bedingungen im Herbst stimulierte innerhalb weniger Wochen die höchsten Lachgasemissionen innerhalb der Messperiode und zeigen anschaulich, dass die Wetterverhältnisse bei boden-

bürtigen Treibhausgasemissionen eine grosse Rolle spielen.

Das Verfahren mit biodynamischer Präparateanwendung zeigte bis jetzt nur in einzelnen Jahren Effekte auf die Bodenorganismen (Gadermaier et al., 2012). Gegenwärtig wird daher eine Spezialuntersuchung mit molekularbiologischen Methoden durchgeführt, um mögliche feinere Unterschiede in den mikrobiellen Gemeinschaften im Boden zu messen.

### Schlussfolgerungen

Der DOK-Versuch hat gezeigt, dass ökologische Landwirtschaft im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft bereits viel zur Förderung der Bodenfruchtbarkeit beiträgt, was durch höhere Humusgehalte, höhere mikrobielle Aktivitäten und mehr Mykorrhizapilze belegt wird. Wird im konventionellen System auch Mist eingesetzt, vermindern sich die Unterschiede zum biologischen System. Durch die Anwendung von Mistkompost und biodynamischen Präparaten (biodynamisches System) wird im DOK die höchste Bodenfruchtbarkeit erzielt.



FIBL/Maika Krauss

Die positive Wirkung von Mistkompost wird in einem weiteren Langzeitversuch in Frick bestätigt: Humusgehalte und mikrobielle Kennwerte sind im Pflugsystem im Vergleich zum Vollgülfesystem erhöht. Mit den eingesetzten Untersuchungsmethoden wurden bis jetzt nur geringe und nur in einzelnen Jahren mögliche Wirkungen der biologisch-dynamischen Präparate auf die Bodenfruchtbarkeit gemessen. Deutlich wird hingegen, dass durch die reduzierte Bodenbearbeitung der Humusgehalt und die Bodenfruchtbarkeit im Vergleich zum

Pflug im Oberboden zunimmt. Dies zeigen sowohl der Frick-Versuch als auch eine Metaanalyse über verschiedene europäische Standorte hinweg.

Deshalb besteht für den Ökolandbau großes Potenzial, Böden noch fruchtbarer zu machen, wenn die reduzierte Bodenbearbeitung in das Verfahren integriert wird. Die erhöhten Humusgehalte in den oberen Bodenschichten wirken sich positiv auf den Wasserhaushalt, den Erosionsschutz und das Bodenleben aus. ●

Einsatz des WecoDyn Flachgrubbers im reduzierten Bodenbearbeitungssystem im Frick Versuch.

### Quellenangaben:

ARMENGOT, L., BERNER, A., BLANCO-MORENO, J., MÄDER, P., SANS, F.X., 2015. Long-term feasibility of reduced tillage in organic farming. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 339–346. ● BÖRSTLER, B., THIÉRY, O., SYKOROVA, Z., BERNER, A., REDECKER, D., 2010. Diversity of mitochondrial large subunit rDNA haplotypes of *Glomus intraradices* in two agricultural field experiments and two semi-natural grasslands. *Molecular Ecology* 19, 1497–1511. ● COOPER, J., BARANSKI, M., STEWART, G., NOBEL-DE LANGE, M., BARBERI, 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., SUKKE, W., VAN DER HEIJDEN, M.G.A., WILLEKENS, K., WITTEWER, 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. ● DERPSCH, R., FRIEDRICH, T., KASSAM, A., LI, H., 2010. Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* 3, 1–25. ● European Commission (2012). The state of Soil in Europe. [http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/ESDB\\_Archive/eusoiils\\_docs/other/EUR25186.pdf](http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoiils_docs/other/EUR25186.pdf) ● ESPERSCHÜTZ, J., GÄTTINGER, A., MÄDER, P., SCHLOTER, M., FLIESSBACH, A., 2007. Response of soil microbial biomass and community structures to conventional and organic farming systems under identical crop rotations. *FEMS Microbiology Ecology* 61, 26–37. ● 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. ● GÄTTINGER, A., MÜLLER, 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. ● GLÄSNER, N., HELMING, K., & DE VRIES, W. (2014). Do current European policies prevent soil threats and support soil functions?. *Sustainability*, 6(12), 9538–9563. ● HAMPL, U., 2005. 10 Jahre differenzierte Grundbodenbearbeitung im Ökologischen Landbau – Methoden und Ergebnisse. In: Heß, J., Rahmann, G. (Eds.), Ende der Nische, Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Kassel university press GmbH, Kassel. ● KRAUSS, M., BERNER, A., BURGER, D., WIEMKEN, A., NIGGLI, U., MÄDER, P., 2010. Reduced tillage in temperate organic farming: implications for crop management and forage production. *Soil Use and Management* 26, 12–20. ● KRAUSS, M., RUSER, R., MÜLLER, T., HANSEN, S., MÄDER, P., GÄTTINGER, 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. ● MÄDER, P., & BERNER, A., 2012. Development of reduced tillage systems in organic farming in Europe. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 27(01), 7–11. ● MONTGOMERY, D.R., 2007. *Dirt: The Erosion of Civilizations*. University of California Press, California. ● OEHL, F., SIEVERDING, E., MÄDER, P., DUBOIS, D., INEICHEN, K., BOLLER, T., WIEMKEN, A., 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* 138, 574–583. ● REGANOLD, J.P., WACHTER, J.M., 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants* 2, 15221. ● SÄLE, V., AGUILERA, P., LACZKO, E., MÄDER, P., BERNER, A., ZIHLMANN, U., VAN DER HEIJDEN, M.G.A., OEHL, F., 2015. Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry* 84, 38–52. ● SANS, F.X., BERNER, A., ARMENGOT, L., MÄDER, P., 2011. Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat–sunflower–spelt cropping sequence. *Weed Research* 51, 413–421. ● SYAKILA, A., KROEZE, C., 2011. The global nitrous oxide budget revisited. *Greenhouse Gas Measurement and Management* 1, 17–26. ● WILLER, H., LERNOUD, J., 2017. *The World of Organic Agriculture. Statistics and emerging trends 2017*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick, and IFOAM – Organics International, Bonn.