

FORSCHUNG

BAUT ÖKOLANDBAU HUMUS AUF?

ZUR AKTUELLEN DISKUSSION

AUTOR: DR. CHRISTOPHER BROCK

Forschungsring, Forschungskordinator Demeter e.V.
brock@forschungsring.de

„Humusaufbau ist kein Label-Effekt, sondern ein Effekt der realen Gestaltung der Systeme.“

Ein neues wissenschaftliches Paper sorgt für Aufregung: „No detectable elevated soil carbon under organic farming in German croplands – results from two soil surveys“: Keine höheren Vorräte an Kohlenstoff unter Ökolandbau in deutschen Ackerböden feststellbar – Ergebnisse zweier Feldstudien - geschrieben von Axel Don, Kimberley Brügge, und weiteren vom Thünen-Institut für Agrar-Klimaschutz. Vorgestellt werden darin die Ergebnisse einer Auswertung der Bodenzustandserhebung – also der flächendeckenden Erhebung von Bodendaten in Deutschland aus dem Zeitraum 2011 bis 2017, und der Dauertestflächen im HumusKlimaNetz (<https://www.humus-klima-netz.de>). Das Ergebnis – in Übersetzung: „In keinem der beiden Datensätze zeigte Ökolandbau höhere Gehalte oder Mengen an organischem Bodenkohlenstoff (Corg) als konventioneller Landbau.“ Was ist da los? Haben Andreas Gattinger und Kolleg:innen nicht in einer Metastudie gezeigt, dass Ökolandbau durchaus mehr Humus aufbaut, als konventionelle Bewirtschaftung (Gattinger et al. 2012)? Wer hat denn nun recht? Nun – möglicherweise beide ...

Unterschiedliche Methodik

Der Unterschied zwischen den Studien von Don und Gattinger ist zunächst, dass die eine Untersuchung (Don) eine Auswertung von Praxisflächen darstellt, während die andere (Gattinger) als Metaanalyse eine zusammenfassende Auswertung von Feldversuchen darstellt. Zudem unterscheidet die Studien, dass die Ergebnisse von Gattinger auf einem paarweisen Flächenvergleich basieren, während Don jeweils einen Messwert mit einem berechneten Wert verglichen hat. Der letztere Ansatz ist zwar innovativ, weil unter Praxisbedingungen paarweise Flächenvergleiche selten möglich sind, aber methodisch deutlich weniger robust – weil jedes Berechnungsmodell Fehler machen kann. So gesehen ist die Metastudie von Gattinger et al. methodisch aussagekräftiger.

Dennoch ist der Ansatz von Don et al. nicht falsch und deutet möglicherweise tatsächlich darauf hin, dass die Versorgung der Böden mit organischer Substanz im Ökolandbau nicht ausreicht, um gegenüber konventioneller Bewirtschaftung signifikant Humus aufzubauen.

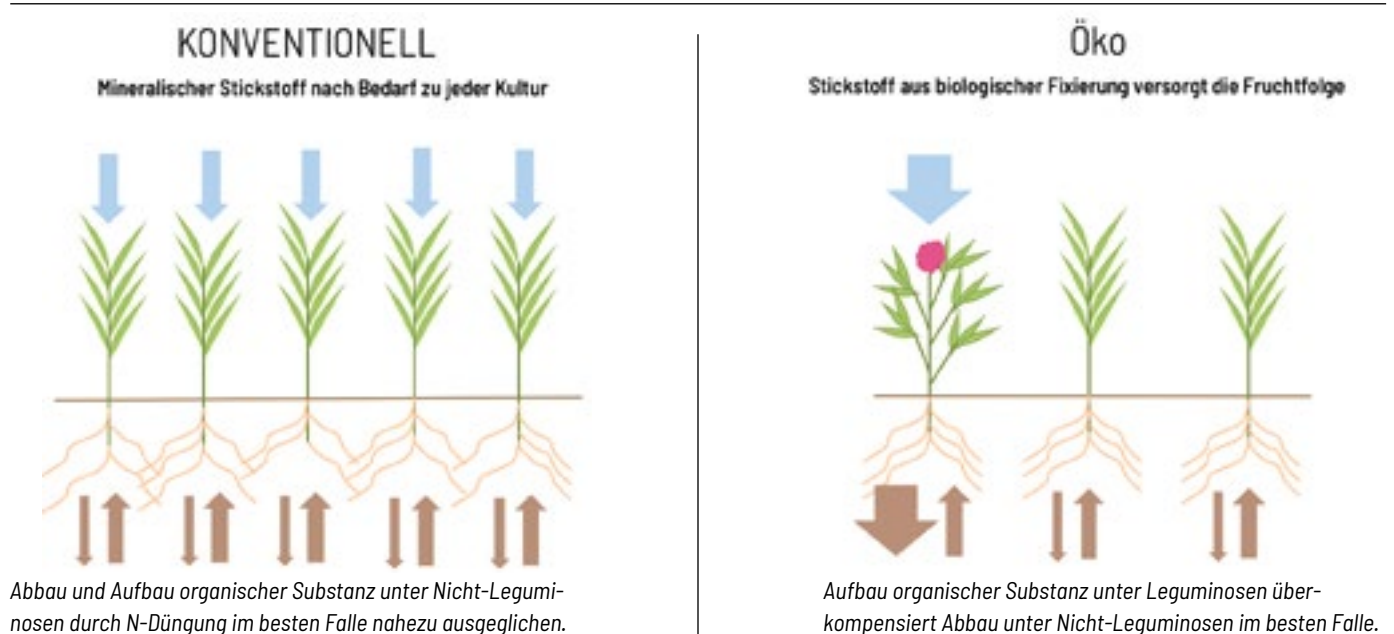
Bestriebsstruktur, Ideal und Wirklichkeit im Ökolandbau

Humusaufbau kann dann erfolgen, wenn die Nachlieferung organischer Substanz den Abbau ausgleicht. Der Ersatzbedarf steht dabei immer auch in Beziehung zur Inanspruchnahme von Stickstoff aus der Mineralisierung organischer Substanz. In einem ungedüngten System entspricht der Ersatzbedarf an organischer Substanz rechnerisch der Menge, die für die N-Versorgung der Kultur mineralisiert wurde (gilt nur für Nicht-Leguminosen). Zu berücksichtigen sind weiterhin etwaige Verluste. Da das Stickstoffversorgungs-Niveau im Ökolandbau in der Regel erheblich geringer ist als bei konventioneller Bewirtschaftung, besteht oft ein höherer Bedarf an organischer Substanz zum Ausgleich der Inanspruchnahme von Boden-N, und das trotz der geringeren Erträge (vgl. Leithold et al. 2015).

Die Versorgung mit organischer Substanz erfolgt über Fruchtfolge und Düngung. Eine besondere Rolle spielen dabei die Futterleguminosen und der Stallmist. Das alte Ideal des Öko-Betriebes mit 25-30% Futterleguminosen und 1 GV Raufutterfressern ist dabei auch mit Blick auf die Humusversorgung optimal. Je mehr der Anteil Futterleguminosen und der Viehbesatz davon abweichen, desto größer wird die Herausforderung einer adäquaten Versorgung der Böden mit organischer Substanz. Nun ist es so, dass in Feldversuchen - und damit in dem Datensatz von Gattinger – die Öko-Varianten häufig diesem Ideal entsprechen. Im Datensatz von Don et al. hingegen waren rund 70% der Betriebe viehlos – sowohl bei den konventionellen wie auch bei den ökologischen Flächen! Zudem war der berechnete C-Input über organische Dünger sowie Ernte- und Wurzelrückstände auf den konventionellen und ökologischen Flächen im Mittel auf gleichem Niveau. Unter diesen Umständen ist es durchaus möglich, dass bei Öko-Bewirtschaftung nicht mehr Humus aufgebaut wird als unter konventioneller Bewirtschaftung.

>>>

ABB. 2: HUMUSAUFBAU BRAUCHT NICHT NUR KOHLENSTOFF, SONDERN AUCH STICKSTOFF!



Pflanzen nehmen Stickstoff aus der Mineralisierung organischer Bodensubstanz auf. Damit Humus aufgebaut werden kann, muss der N-Verlust mit dem Erntegut ersetzt werden. Im konventionellen Landbau geschieht dies mit dem Mineraldünger, im Ökolandbau versorgen die Leguminosen die Fruchtfolge mit Stickstoff, der über die Ernte- und Wurzelrückstände, über Gründüngung und Stallmist in organischer Substanz dem Boden zugeführt wird. Mineraldüngung ist im Aufbau neuer organischer Bodensubstanz dabei weniger effektiv als Leguminosen, insbesondere Klee und Luzerne – allerdings muss der Leguminosenanteil in der Fruchtfolge ausreichend groß sein! Ohne Futterleguminosen ist Humusaufbau in produktiven Ackerbausystemen kaum möglich.

Humusaufbau im Ökolandbau hat höheren Nachhaltigkeitseffekt

Allerdings geben Don et al. selber zu beachten, dass die hohen Erträge und damit auch die geringere Inanspruchnahme von Boden-N und die größeren Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen im konventionellen Landbau mit der synthetischen N-Düngung erkauft werden – und das zu einem hohen Preis für die Umwelt. Im Artikel steht übersetzt: „Im konventionellen Landbau wird der Aufbau an organischem Bodenkohlenstoff durch den intensiven Einsatz von mineralischen Düngern erreicht. Im Vergleich zu den 1950er Jahren hat sich die N-Düngung nahezu verdreifacht (Rahlf, 2022). Damit einher ging eine Verdopplung der durchschnittlichen Erträge, begleitet von technologischen Innovationen. Die massive N-Düngung führt jedoch zu erheblichen Umweltschäden durch Verluste von Stickstoffverbindungen, z.B. in Form einer Nitratauswaschung in das Grundwasser oder andere Gewässer, Ammoniakemissionen oder der Emission des Treibhausgases Lachgas (de Vries et al., 2024). Diese N-Verluste bedrohen angrenzende Ökosysteme sowie die Biodiversität und sind daher nicht nachhaltig.“ Und in der Zusammenfassung: „Der Aufbau von Corg im Ökolandbau wird mit geringeren Kosten für die Umwelt erreicht und kann daher als nachhaltiger angesehen werden als Corg in konventionellen Systemen.“

Fazit: Potenzial des Ökolandbaus in der Praxis nicht überall ausgeschöpft

Die Ergebnisse der Studie von Don et al. sind daher kein Beleg dafür, dass Ökolandbau beim Humusaufbau nichts bringt. Vielmehr weisen sie darauf hin, dass der Humusaufbau kein Label-Effekt, sondern ein Effekt der realen Gestaltung der Systeme ist. Mit der gebotenen Vorsicht kann man daher diese Schlussfolgerung ziehen: Der Ökolandbau sollte sich am Ideal des Gemischtbetriebs mit 1 GV Rindern und 25-30 % Futterleguminosen in der Fruchtfolge orientieren. Dann hat er das Potenzial, gegenüber konventioneller Bewirtschaftung Humus aufzubauen und zudem negative Umwelteffekte zu vermeiden. Viehschwache und erst recht viehlose Betriebe müssen sich der besonderen Herausforderung einer ausreichenden Versorgung der Böden mit organischer Substanz unter ihren Bedingungen bewusst sein und entsprechende Maßnahmen ergreifen. •

Zum Weiterlesen

- Brock, C., Franko, U., Wiesmeier, M., 2023: Soil management for carbon sequestration. In: Goss, Michael and Oliver, Margaret (eds.) Encyclopedia of Soils in the Environment Second Edition. vol. 3, pp. 424-432. UK: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822974-3.00124-5>
- Don, A., Brügge, K., Emde, D., Aiteew, K., Poeplau, C., 2025: No detectable elevated soil carbon under organic farming in German croplands – results from two soil surveys. Geoderma 464, 2025, 117634, <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2025.117634>
- Gättinger, A., Müller, A., Haeni, M., Skinner, C., Fliessbach, A., Buchmann, N., Niggli, U., 2012: Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. Proc. Natl. Acad. Sci. SA 109 (44), 18226-18231, <https://doi.org/10.1073/pnas.1209429109>
- Leithold, G., Hülsbergen, K.-J., Brock, C., 2015: Organic matter returns to soils must be higher under organic compared to conventional farming. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2015, 178, 4-12, <https://doi.org/10.1002/jpln.201400133>

HUMUS BILANZIEREN IM ÖKOLANDBAU

EIN NEUES INSTRUMENT FÜR DIE PRAXIS

Baut Ökolandbau Humus auf? Das kommt darauf an, wie die Faktoren ausgeprägt sind, die den Humusaufbau bestimmen – das haben wir im vorhergehenden Beitrag diskutiert. Die Nachlieferung organischer Substanz muss den Abbau organischer Substanz im Boden ausgleichen. Die Frage ist nur: Wie ermittle ich den Abbau und den Effekt der nachgelieferten organischen Substanz? Hierzu muss eigentlich der Umsatz organischer Substanz in Abhängigkeit von den Umweltfaktoren berechnet werden. Das ist unter Praxisbedingungen jedoch kaum möglich, weil entsprechende Modelle detaillierte Daten zu Bodenmerkmalen und Klima benötigen, die auf dem Feld höchst variabel sind und auf viele Einflussfaktoren sensitiv reagieren.

Eine andere Möglichkeit, den Bedarf an organischer Substanz zu schätzen, ist das Berechnen der Stickstoffbilanz im System Boden-Pflanze.

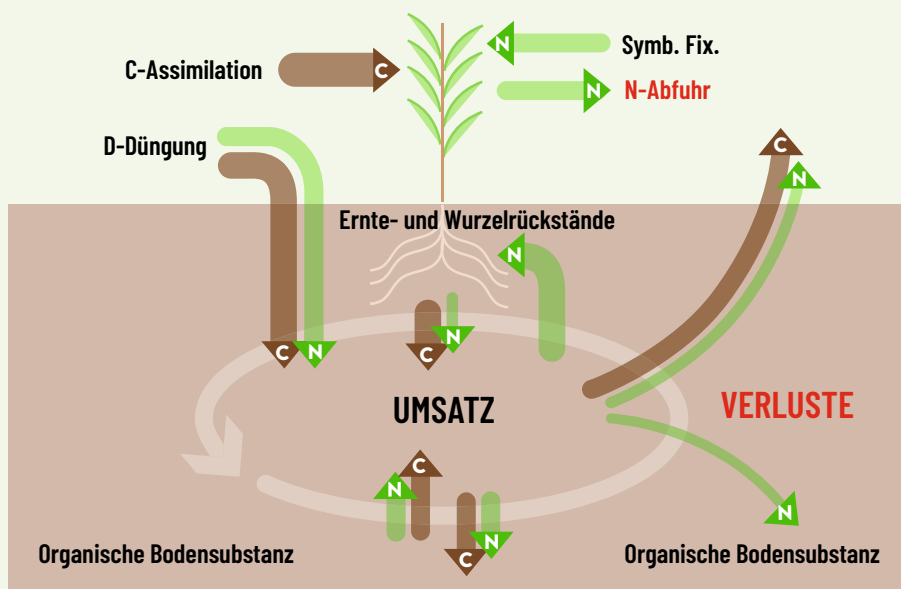
Hierfür müssen Einträge (Dünger, biologische N-Fixierung bei Leguminosen) und Austräge (Entzüge mit dem Erntegut, Verluste) bewertet und einander gegenübergestellt werden. Zwar müssen auch hier Probleme mit variablen Größen (biologische N-Fixierung, Verluste) bewältigt werden, aber der Datenbedarf ist geringer und die Rechnung einfacher als bei der Berechnung des Umsatzes anhand von Bodendaten. Vorteil ist zudem, dass eine agronomische Beziehung zwischen der Versorgung der Böden mit organischer Substanz und der Ertragsbildung der Kulturpflanzen hergestellt wird: Eine negative Bilanz zeigt, dass der Ertrag (möglicherweise) auf Kosten der Bodenfruchtbarkeit erzeugt wird, während eine positive Bilanz auf einen Aufbau von Bodenfruchtbarkeit und damit auch auf ein wachsendes Ertragspotenzial hinweist bzw. hinweisen kann.

HumBilKa – eine neue, einfache App

Für die Bewertung der Versorgung von Böden mit organischer Substanz steht auf der Webseite des Forschungsringes die HumBilKa-App bereit, die den Ansatz einer Berechnung der N-Bilanz im System Boden-Pflanze aufgreift und sogar zu einer gekoppelten C- und N-Bilanz erweitert (Abb. 1). Die Berechnung der Humusbilanz mit dem HumBilKa benötigt lediglich Angaben zu Fruchtart, Ertrag, sowie ggf. Düngerart und Düngermenge, außerdem die Angabe von Bodenart und Niederschlag für eine näherungsweise Abschätzung der N-Verluste. Damit sind die wesentlichen Faktoren abgedeckt, die in der Versorgung der Böden mit organischer Substanz eine Rolle spielen.

Bei den Fruchtarten unterscheidet das Modell grundsätzlich zwischen Leguminosen, Nicht-Leguminosen und Gemengen aus den beiden Typen. Für Nicht-Leguminosen wird angenommen, dass der N-Entzug mit dem Erntegut die Mineralisierung und damit den Nachlieferungsbedarf an organischer Substanz im Boden ausdrückt. Die Aufnahme von Stickstoff aus Düngern muss dabei natürlich angerechnet werden. Bei den Leguminosen und Gemengen von Leguminosen und Nicht-Leguminosen (z.B. Klee gras) gilt dieser Zusammenhang im Prinzip genauso, allerdings wird die biologische N-Fixierung berücksichtigt. Als Faustregel ergibt sich daraus: Nicht-Leguminosen haben als sogenannte Humuszehrer einen Ersatzbedarf an organischer Substanz, während Leguminosen (und Gemenge mit Leguminosen) zu einer Humusmehrung führen. Weiterhin gilt: je höher der Ertrag einer Nicht-Leguminose, desto größer der Ersatzbedarf an organischer Substanz und je höher der Ertrag einer Leguminose, desto größer ist die Humusmehrung (Abbildung 2). Beide Zusammenhänge lassen sich in Langzeit-Feldversuchen wissenschaftlich nachweisen (Brock et al. 2011).

ABB. 1: MODELL DER HUMUSBILANZ IN DER HUMBILKA-APP



Die Berechnung der Humusbilanz in der HumBilKa-App. Gekoppelte C- und N-Bilanz im System Boden-Pflanze im Modell HU-MOD (<https://orprints.org/id/eprint/51732/>).

HUMBILKA

HUMUSBILANZ-KALKULATOR AUF DER WEBSITE DES FORSCHUNGSRING E.V.

HUMBILKA berechnet Humusbilanzen auf Grundlage des Modells HUMOD. Das Modell verwendet die Stickstoffaufnahme der Kulturpflanzen als Indikator für die Inanspruchnahme von mineralisiertem N aus der organischen Bodensubstanz und berechnet auf dieser Grundlage den Ersatzbedarf an organischer Substanz. Andere N-Quellen (mineralische Düngung, atmosphärische Deposition und – bei Leguminosen – symbiotische Fixierung) müssen dabei natürlich

berücksichtigt werden. Der Vorteil gegenüber einer auf den Kohlenstoff bezogenen Bilanz ist, dass die N-bezogene Bilanzierung die Notwendigkeit einer Bewertung von Umsatzfaktoren der organischen Bodensubstanz am Standort umgeht und stattdessen eine einfach zu erhebende Größe als Bezug verwendet, die einen Rückschluss auf das Umsatzgeschehen zulässt. Die App ist kostenfrei verfügbar auf <https://www.forschungsring.de/de/humbilka>

Bewerten der Düngung im Modell

Dünger werden im HumBilKa in erster Linie nach ihrem C:N-Verhältnis bewertet, denn diese Größe hat für den Umsatz organischer Substanzen im Boden eine doppelte Bedeutung: Organisches Material wird schneller umgesetzt, je enger das C:N-Verhältnis ist, Gründüngung also schneller als Stroh. Das bedeutet aber keineswegs, dass die Stoffe des Materials verschwinden. Der Umsatz organischer Substanz im Boden ist ein biologischer Vorgang. Das Material wird von Bodenorganismen aufgenommen, verstoffwechselt und in die eigene Körpermasse eingebaut oder ausgeschieden. Für den Einbau organischer Stoffe in die eigene Biomasse oder auch für den Aufbau organischer Stoffwechselprodukte gilt: je mehr Stickstoff verfügbar ist, desto mehr Kohlenstoff kann im organischen System erhalten werden. Dieser Sachverhalt ist wissenschaftlich belegt (Dannehl et al. 2017). Das C:N-Verhältnis ist also zugleich mit dem Umsatz und mit dem Aufbau organischer Substanz im Boden korreliert. Ein enges C:N-Verhältnis führt dabei zu einer höheren Freisetzung von N, aber gleichzeitig kann von dem restlichen Material mehr im organischen System verbleiben (Abbildung 3).

Einfluss der Bodenbearbeitung im Modell

Bodenbearbeitung wird im HumBilKa nur indirekt berücksichtigt. Im Modell wird angenommen, dass die N-Menge in der Pflanzenbiomasse alle Einflüsse von Umwelt und Bewirtschaftung auf die Mineralisierung organischer Substanz ausdrückt – also auch den Einfluss der Bodenbearbeitung. Dabei muss allerdings erwähnt werden, dass von der Bodenbearbeitung kein großer Einfluss auf die Entwicklung der Humusvorräte erwartet werden kann. Zwar führt reduzierte Bodenbearbeitung zu einer anderen Verteilung der

organischen Substanz im Profil, die für ökologische Funktionen durchaus erheblich sein kann. Metastudien – also zusammenfassende Auswertungen großer Datensätze aus anderen Studien – zeigen allerdings, dass die Gesamtmengen an organischer Substanz im Bodenprofil nur unwesentlich beeinflusst werden (Cooper et al. 2016).

Die Bilanz – ein Schätzinstrument für die Bewirtschaftung

Humusbilanzen sind Experteninstrumente zur Analyse und Bewertung der Versorgung von Ackerböden mit organischer Substanz. Sie sollen Landwirte und Landwirtinnen darin unterstützen, den Einfluss ihrer Bewirtschaftung auf die Humusvorräte als Schlüsselfaktor der Bodenfruchtbarkeit zu erkennen und zielführende Entscheidungen zu treffen. Bilanzen zeigen dabei (wie Modelle allgemein) nicht die Wirklichkeit, sondern einen nach der Modelllogik wahrscheinlichen Zustand an. Ob diese Einschätzung in einer konkreten Situation zutrifft, bzw. wie weit sie von der Wirklichkeit abweicht, kann nur mit einer Messung festgestellt werden.

Aufgrund dieser prinzipiellen Unsicherheit sind Humusbilanzen nicht geeignet, genaue Angaben zum Auf- oder Abbau der Humusvorräte zu machen. Vielmehr geben sie ein Verhältnis zwischen den abbauenden und aufbauenden

Faktoren an, das bei aller Unsicherheit für das Überprüfen und Anpassen der Bewirtschaftung genutzt werden kann. Eine negative Humusbilanz drückt wahrscheinlich Handlungsbedarf aus. Dieser ist umso größer, je negativer die Bilanz ausfällt – die Wahrscheinlichkeit, dass das zutrifft, steigt, je negativer die Bilanz ist. Eine ausgeglichene oder mäßig positive Bilanz deutet wahrscheinlich auf ein stabiles System hin. Eine stark positive Bilanz drückt zunächst ein Potenzial für einen Aufbau der Bodenfruchtbarkeit und Ertragssteigerungen aus. Sollten diese allerdings mittelfristig nicht eintreten, ist zu prüfen, woran das liegen könnte. Zudem muss die Gefahr umweltbelastender Verluste insbesondere von N-Verbindungen berücksichtigt werden.

Humusbilanzen können so wertvolle Hinweise liefern, aber sie entbinden die Anwenderin oder den Anwender nicht von der Notwendigkeit, eine Situation mit dem eigenen Sachverstand und der eigenen Wahrnehmung zu beurteilen und die Plausibilität des Modellergebnisses einzuschätzen. •

DR. CHRISTOPHER BROCK

Forschungskordinator für den Demeter-Verband
und Vorstand im Forschungsring e.V.

Quellen:

- BROCK, C., FLIESSBACH, A., OBERHOLZER, H.-R., SCHULZ, F., WIESINGER, K., REINICKE, F., KOCH, W., PALLUTT, B., DITTMANN, B., ZIMMER, J., HÜLSBERGEN, K.-J., LEITHOLD, G. (2011): Relation between soil organic matter and yield levels of nonlegume crops in organic and conventional farming systems. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174, 568-575.
- COOPER, J., BARANSKI, M., STEWART, G., NOBEL-DE LANGE, M., BÄRBERI, P., FLIEBACH, A., PEIGNÉ, J., BERNER, A., BROCK, C., CASAGRANDE, M., CROWLEY, O., DAVID, C., DE VLEGHER, 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., 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
- DANNEHL, T., LEITHOLD, G., BROCK, C. (2017): The impact of C:N ratios on the retention of carbon from straw and green manure in soils – Results of a combined field and incubation experiment. Eur. J. Soil Sci. 68, 988-998.