

Boden.Pioniere: Humusaufbau-Potenziale innovativer Ackerbaubetriebe in Österreich

Katharina M. Keiblinger^{1*}, Christoph Rosinger^{1,2}, Sabine Huber², David Luger² und Gernot Bodner²

Zusammenfassung

Humusaufbau ist von entscheidender Bedeutung für die Landwirtschaft für die Bodengesundheit und die Anpassung an den Klimawandel. In einer großangelegten Studie auf Betrieben wurde an 21 Standorten der Vergleich von Pionierbetrieben mit, Nachbarflächen unter Standardbewirtschaftung und natürlichen Referenzflächen hinsichtlich Humusaufbau Potential und Bodengesundheit untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass durch Maßnahmen der Pionierbetriebe, der Humusgehalt vor allem in leichteren Böden signifikant gesteigert werden konnte. Das Verhältnis organischen Kohlenstoffs zu Ton zeigt deutliche Verbesserung der Bodenstruktur in leichten und mittleren Böden. Die Pionierbetriebe konnten auch eine positive Wirkung auf die mikrobielle Biomasse und Nekromasse erwirtschaften. Die Ergebnisse zeigen, dass es Humusaufbaupotentiale gibt, die von der Bodentextur abhängig sind und auch die biologischen Bodenfunktionen durch diese Maßnahmen optimiert werden können.

Schlagwörter: organische Substanz, mikrobielle Biomasse, Aminosucker, Nekromasse, Pionierbetriebe

Summary

The increase in soil organic carbon (SOC) storage is critical to agriculture for soil health and climate change adaptation. On-farm studies including 21 locations in Austria were conducted to investigate soil health oriented pioneers systems with conventional standard systems and natural reference sites. It could be shown that SOC storage significantly increases in pioneer systems, especially at sites with lighter soil texture. In particular, a parameter indicative for good soil structure, the organic carbon to clay ratio, significantly improved for pioneer systems in light and medium textured soils. The soil health-oriented management in pioneer farms was also able to generate positive effects on microbial biomass and necromass. The results show that there is potential for SOC storage that depends on the soil texture and that biological soil functions can also be optimized through these measures that are highly relevant for climate change adaptation and sustainable yield.

Keywords: Soil organic matter, microbial biomass, amino sugars, necromass, pioneer farms

Einleitung

Der organische Kohlenstoff im Boden ist ein primärer Indikator für die Bodengesundheit und ist von entscheidender Bedeutung für Nahrungsmittelproduktion, Treibhausgasbilanz, Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel. Die Dynamik des Humusgehalts wird durch das Gleichgewicht zwischen Kohlenstoffeinträgen (z. B. Ernterückstände und or-

¹ Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 WIEN; ² Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, A-3430 TULLN

* Ansprechpartner: Dr. Katharina M. Keiblinger, email: katharina.keiblinger@boku.ac.at

ganische Düngemittel) und -austrägen (z. B. Zersetzung und Erosion) unter langfristigen konstanten Umwelt- und Managementbedingungen bestimmt. Durch den Landnutzung und Klimawandel hat sich dieses Gleichgewicht entscheidend verändert und besonders in Ackerböden zu einer Abnahme der Humusvorräte geführt (Sanderman et al. 2017). In diesem Zusammenhang zielen vermehrt globale, europäische und nationale Initiativen auf eine Erhöhung der Humusgehalte in Ackerböden als Beitrag zu Klimaschutz und Klimawandelanpassung (z.B. COP15 4 Promille – Initiative; Minansny et al., 2016).

Landwirtschaftlich genutzte Böden enthalten im Mittel weniger Humus als Böden unter Grünland, Forst oder natürlicher Vegetation (Poeplau und Don 2015). Das Kohlenstoff-sättigungsdefizit landwirtschaftlicher Böden impliziert, dass durch Managementänderung potenziell Kohlenstoff aus dem atmosphärischen CO₂ als Humus gebunden werden kann (Lal 2018). Es gilt daher praktische Ansätze zu finden, die zur Verbesserung der Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlich genutzten Böden führen, ohne die Bereitstellung anderer Ökosystemleistungen (z.B. Produktionsfunktion) negativ zu beeinflussen. Da Landbewirtschaftung immer ein Systemansatz ist, bieten sich on-farm Untersuchungen an, um realistische Humusaufbaupotenziale im Ackerbau abzuschätzen.

Eine effektive Strategie des Humusaufbaus muss auf aktuellen Erkenntnissen der zugrundeliegenden Prozesse der Bildung und Stabilisierung von der organischen Bodensubstanz aufbauen (z.B. Sokol et al. 2019). Dabei spielt besonders für den stabilen, mineral-gebundenen Humus die mikrobielle Biomasse und deren Überreste (Nekromasse) eine wichtige Rolle (Kallenbach et al., 2016). Der Anteil mikrobieller Nekromasse kann bei mehr als 50 % des Bodenkohlenstoffs liegen (Liang et al. 2019).

In laufenden Forschungsarbeiten werden Humusaufbaupotenziale und zugrundeliegende Prozesse in bodengesundheits-orientierten Bewirtschaftungssystemen im Vergleich zu herkömmlicher Bewirtschaftung und Flächen unter natürlicher Vegetation untersucht. Ziel der vorliegenden Arbeit ist es (1) die erzielbaren Steigerungen der Humusmengen bei humusaufbauenden Bewirtschaftungssystemen zu zeigen, und (2) die Veränderungen in mikrobiellen Parametern zu zeigen, denen eine zentrale Rolle für den Aufbau stabiler organischer Bodensubstanz zukommt.

Material und Methoden

Die Untersuchungen fanden auf 21 Standorten in Niederösterreich und dem Burgenland statt, die repräsentativ für die pedo-klimatische Produktionsbedingungen in Ostösterreich sind. Dabei wurden angrenzende Flächen mit gleichen Grundbodeneigenschaften beprobt, die sich in der Nutzung unterschieden: (A) Pionierflächen von Betrieben mit innovativen Bodenmanagementsystemen, die darauf abzielen, die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern und die Humusvorräte zu erhöhen; (B) Flächen unter praxisüblicher Bewirtschaftung ohne besonderen Fokus auf Humusaufbau; und (C) naturnahe Referenzflächen mit dauerhafter Vegetation ohne landwirtschaftliche Nutzung (z.B. Ackerrand, Dauerwiese, Hecken). Die auf den Pionierflächen angewendeten Systeme integrieren, je nach Betriebstyp und Standort, u.a. den Einsatz von organischen Düngemitteln (Kompost, Wirtschaftsdünger), Anbau von biodiversen Zwischenfrüchten, vielfältige Fruchtfolgen und reduzierte Bodenbearbeitung. Die Bodenproben wurden bis zu einer Tiefe von 35 cm in drei Tiefenstufen entnommen und anschließend im Labor analysiert.

Die Gesamtkohlenstoffkonzentration im Boden wurde nach ÖNORM L 1050 analysiert. Mit Hilfe der Lagerungsdichte wurde die Humusmenge im Boden ermittelt. Die mikrobielle Biomasse wurde mittels Chloroform-Fumigations Extraktion nach (Vance et al. 1987) gemessen. Die mikrobielle Nekromasse wird über die Aminosäuren Glukosamin, Galaktosamin, Mannosamin und Muraminsäure bestimmt, die Extraktion erfolgte wie in Appuhn et al. (2004) beschrieben und die Messung einer modifizierten Protokoll von (Indorf et al. 2011).

Ergebnisse und Diskussion

Wie in *Abbildung 1* zu erkennen ist, gibt es einen Trend zu höheren Kohlenstoffgehalten in den Proben der Bodenpioniere, die für leichte Böden stärker ausgeprägt ist als bei schweren Böden. Die seminatürlichen Referenz unterscheidet sich klar von der Standardbewirtschaftung und zeigt generell die höchsten Kohlenstoffgehalte. Prozentuell gesehen ist die Steigerungsrate an Kohlenstoff in den leichten Böden am höchsten (Steigerung von 37% der Pioniersysteme zu den Standardsystemen), während die mittleren Böden eine durchschnittliche Erhöhung von 26% erreichten. Die Steigerungen liegen auf einem ähnlichen Niveau wie jene in der globalen Metastudie von Xu et al. (2020) für kombinierte Maßnahmen.

Um die Unterschiede in der Bodentextur hinsichtlich des Kohlenstoffgehalts und der optimalen Bodenstruktur zu berücksichtigen, haben Schweizer Forscher ein C_{org} :Ton-Verhältnis von 0,1 als definiert, das eine gute Bodenstruktur beschreibt. Werte deutlich kleiner 0,1 weisen auf Strukturdegradation hin, ab 0,125 und darüber liegt eine optimale Bodenstruktur vor (Johannes et al. 2017). In Humusgehalten ($\text{Humus} = 1,72 \times C_{org}$) hieße das: ein leichter Boden (15 % Ton) sollte etwa 1,7 %, ein mittlerer Boden (20 % Ton) 3,4 % und ein schwerer Boden (30 % Ton) 5,2 % Humus haben, um eine optimale Struktur zu sichern. Je höher der Wert desto optimaler wird die Bodenstruktur gesehen. Dieses Verhältnis ist in *Abbildung 2* für leichte, mittlere und schwere Böden dargestellt und

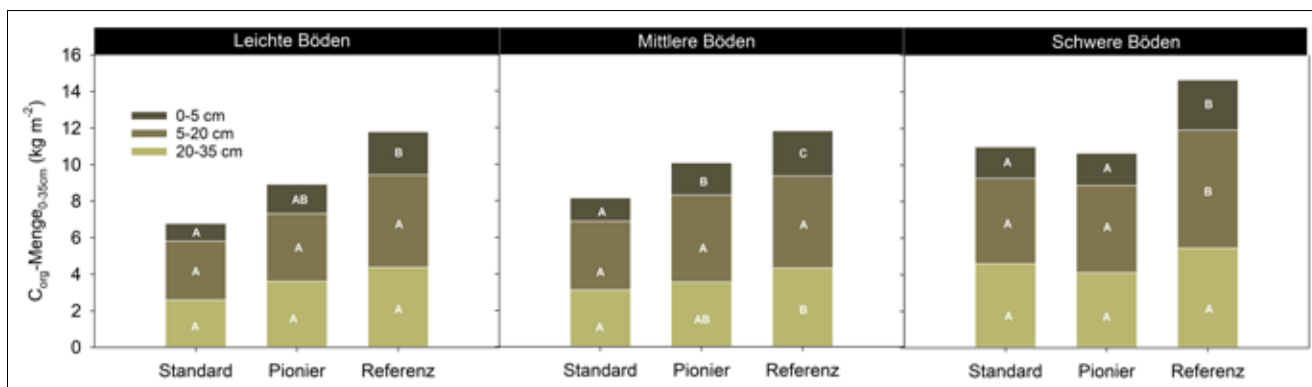


Abbildung 1: Gestapeltes Säulendiagramm des organischen Kohlenstoff Vorrats von Standard, Pionier und Referenz bis zu 35 cm Bodentiefe für leichte (links), mittlere (Mitte) und schwere Böden (rechts). Der Oberboden 0-5 cm ist in dunkelbrauner Farbe dargestellt, mittelbraun ist der Anteil der Bodentiefe zwischen 5-20 cm, und in hellbraun 20-35 cm. Die Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede innerhalb der jeweiligen Tiefenstufe.

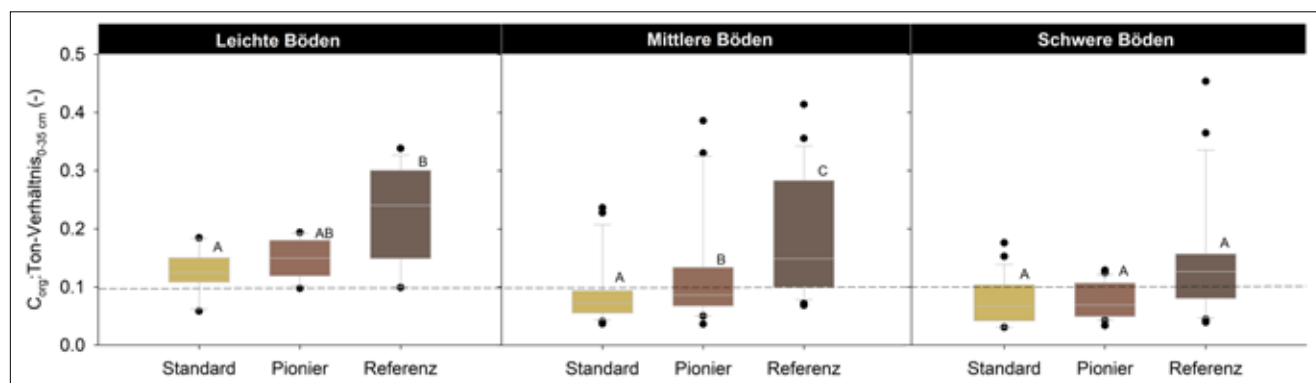


Abbildung 2: Boxplot des Verhältnisses von organischem Kohlenstoff zu Tongehalt von Standard, Pionier und Referenz bis zu 35 cm Bodentiefe für leichte (links), mittlere (Mitte) und schwere Böden (rechts). Die Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Systemen.

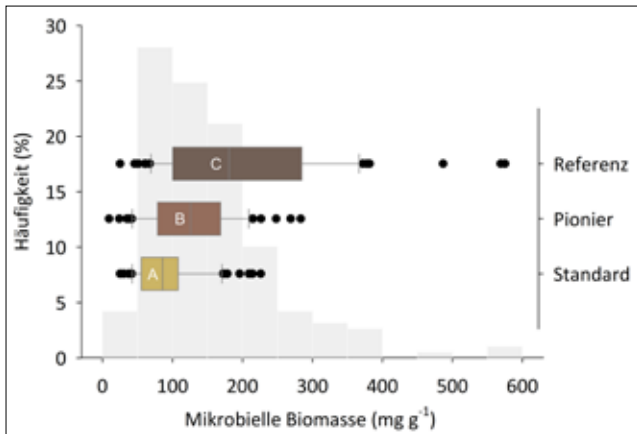


Abbildung 3: Boxplot der mikrobiellen Biomasse von Standard, Pionier und Referenz in Relation zur Häufigkeit wie oft der Wertebereich innerhalb der Messwerte vorkommt. Die Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (t-test) zwischen den Systemen.

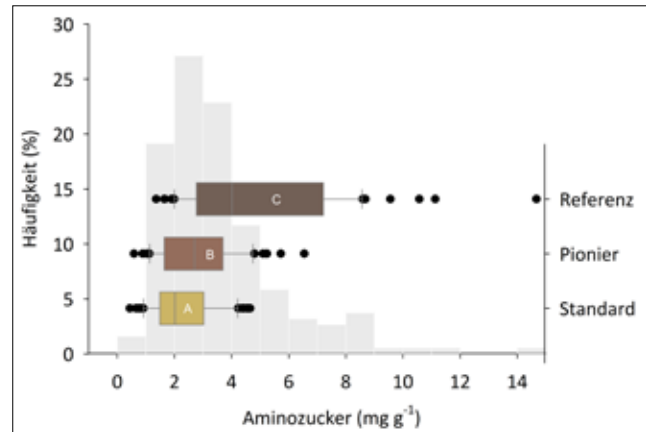


Abbildung 4: Boxplot der mikrobiellen Nekromasse (Aminozucker) von Standard, Pionier und Referenz in Relation zur Häufigkeit wie oft der Wertebereich innerhalb der Messwerte vorkommt. Die Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede (t-test) zwischen den Systemen.

zeigt für die leichten Böden eine Differenzierung der Systeme Referenz und Standard, und generell ein C_{org} :Ton-Verhältnis, das für eine gute Bodenstruktur ausreichend ist. Während für die mittleren Böden ein signifikanter Unterschied für alle drei Systeme zu erkennen ist, ist das Pioniersystem im angestrebten Bereich, und das Standardsystem darunter, bzw. das Referenzsystem deutlich darüber. Hingegen weisen die schweren Böden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Systemen auf und vergleichsweise geringe Werte.

Der Ton-Humuskomplex spielt für einen fruchtbaren Boden eine große Rolle und wird heute als „mineral-assoziierte organische Substanz“ bezeichnet. Neben den Tonteilchen sind hier auch andere geladene Mineraloberflächen wie Eisenoxide und -hydroxide inkludiert und stellen dabei laut aktuellsten Erkenntnissen den stabilsten Pool dar. Für die Bildung ist die mikrobielle Biomasse und deren Überreste nach dem Absterben, die sogenannte Nekromasse wesentlich (Liang et al. 2019, Sokol et al. 2019). Der mikrobiell gebundene Kohlenstoff ist bezogen auf den Bodenkohlenstoff vergleichsweise gering, mit etwa 1% aber ein wichtiger Bodengesundheitsindex. Die Abundanz der Mikroorganismen deutet auf ein hohes Potenzial für natürliche Nährstoffmobilisierung sowie Stickstofffixierung hin und ist auch für den Aufbau von stabiler organischer Substanz wesentlich. In *Abbildung 3* ist ersichtlich, daß die Boden.Pioniere eine Steigerung der mikrobiellen Biomasse um ~41% im Vergleich zur Standardbewirtschaftung erreichen, und die Referenz um 97% höhere Werte aufwies. Dies ist vergleichbar mit einer aktuellen Metastudie, die kombinierte Effekte von Zwischenfrüchten, konservierender Bodenbearbeitung und organischer Düngung in Bio-Systemen untersuchten und eine mittlere Steigerung der mikrobiellen Biomasse von 30% ermittelte (Crystal-Orneals et al. 2021).

Die mikrobielle Nekromasse (gemessen in Form von Aminozucker, *Abbildung 4*) weist eine ähnliche Verteilung auf, mit leicht reduzierten Steigerungsraten von +29% in den Pioniersystemen und +86% in den Referenzsystemen.

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, dass durch innovative Bewirtschaftungssysteme die Humusgehalte in Ackerböden gesteigert werden können, wengleich selbst bei stark Bodengesundheits-orientiertem Management Werte in natürlichen Ökosystemen nicht erreichbar sind. Als wichtiges Element einer verbesserten Bodengesundheit zeigte sich die Förderung der Bodenmikrobiologie, die im Zentrum der Prozesse von Humusaufbau, Bodenstrukturstabilisierung und Nährstoffnutzungseffizient in Agrar-ökosystemen steht.

Literatur

Appuhn A., Joergensen RG., Rauchbuch M., Scheller E., Wilke B. (2004) The automated determination of glucosamine, galactosamine, muramic acid, and mannosamine in soil and root hydrolysates by HPLC. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 167 (1):17-21.

Crystal-Ornelas R., Resham T., Tully KL. (2021) Soil organic carbon is affected by organic amendments, conservation tillage, and cover cropping in organic farming systems: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 312: 107356.

Indorf C., Dyckmans J., Khan KS., Joergensen RG. (2011) Optimisation of amino sugar quantification by HPLC in soil and plant hydrolysates. *Biology and Fertility of Soils* 47 (4):387-396. doi:10.1007/s00374-011-0545-5

Kallenbach C., Frey S., Grandy A. (2016) Direct evidence for microbial-derived soil organic matter formation and its ecophysiological controls. *Nat Commun* 7, 13630.

Poeplau C., Don A. (2015) Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops—A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 2015, 200:33-41.

Lal R. (2018) Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. *Global Change Biology*, 24(8), 3285-3301.

Liang C., Amelung W., Lehmann J., Kästner M. (2019) Quantitative assessment of microbial necromass contribution to soil organic matter. *Glob Change Biol.*, 25: 3578-3590.

Minasny B., Malone BP., McBratney AB., Angers DA., Arrouays D., Chambers A., Chaplot V., Chen Z-S., Cheng K., Das BS. (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, 292:59-86.

Sanderman J., Hengl T., Fiske GJ. (2017) Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(36), 9575-9580.

Sokol NW., Sanderman J., Bradford MA. (2019) Pathways of mineral-associated soil organic matter formation: Integrating the role of plant carbon source, chemistry, and point of entry. *Glob Change Biol.*, 25: 12-24.

Vance ED., Brookes PC., Jenkinson DS. (1987) An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry* 19, 703-707.

Xu S., Sheng C., Tian C. (2020) Changing soil carbon: influencing factors, sequestration strategy and research direction. *Carbon Balance Manage* 15, 2.

