

Boden.Pioniere: Optimierung des Bodenwasserhaushalts durch Humusaufbau

Gernot Bodner^{1*}, Katharina Keiblinger², Orracha Tsae-Tun², Samuel Winkler¹ und Thomas Weninger³

Zusammenfassung

Humusaufbau ist derzeit eine wichtige Zielsetzung als Beitrag zum Klimaschutz. Für den Ackerbau steht jedoch vor allem die Wirkung des Humus für die Klimawandelanpassung im Fokus. In einem Vergleich von Betrieben mit bodengesundheitsorientierten Systemen, Flächen unter Standardbewirtschaftung und natürlichen Referenzflächen wurde daher die Veränderung des Boden-Porensystems untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass durch humusaufbauende Bewirtschaftung das Volumen an wasserspeichernden Mittelporen erhöht wurde. Der wasserlösliche Kohlenstoff und das Verhältnis von organischem Kohlenstoff zu Ton zeigten deutliche Zusammenhänge mit funktionell wichtigen Porenräumen. Eine Herausforderung ist die tendenzielle Verringerung der Grobporen bei Minimierung mechanischer Lockerung, da biologische Lockerung dies auf Ackerflächen in geringerem Ausmaß kompensieren kann als auf ständig bewachsenen natürlichen Referenzflächen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine auf Bodengesundheit orientierte Bewirtschaftung Bodenfunktionen mit hoher Relevanz für Klimawandelanpassung und nachhaltige Ertragssicherung optimieren kann.

Schlagwörter: Humusaufbau, Porengrößenverteilung, Pionierbetriebe, Bodenstruktur

Summary

The increase in soil organic carbon (SOC) storage is currently a focus of climate change mitigation in agriculture. For farmers, however, the main aim of SOC management is climate change adaptation. Based on an on-farm comparison of soil health oriented pioneers systems with conventional standard systems and natural reference sites, changes in soil pore system were analysed. It was shown that pioneer systems enhanced the volume of water-storing pores. Parameters with a strong influence on soil structure, such as water-soluble carbon, were revealed as key drivers to increase functionally important pore spaces for water storage and soil microbiology. With minimized mechanical loosening, pioneer systems tend to reduce the coarse pore volume. Biological loosening is less effective to mitigate macropore loss in agricultural fields compared to permanently vegetated sites. The overall results show that soil health-oriented management can optimize biological soil functions with relevance for climate change adaptation and sustainable yield.

Keywords: Soil organic carbon storage, pore size distribution, pioneer farms, soil structure

¹ Institut für Pflanzenbau, Universität für Bodenkultur Wien, Konrad-Lorenz Straße 24, A-3430 TULLN; ² Institut für Bodenforschung, Universität für Bodenkultur Wien, Peter-Jordan-Straße 82, A-1190 WIEN; ³ Bundesamt für Wasserwirtschaft, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN

* Ansprechpartner: Dr. Gernot Bodner, email: gernot.bodner@boku.ac.at

Einleitung

Mit dem Green Deal hat die Europäische Union eine Strategie zur Klimaneutralität bis 2050 formuliert. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen neben der Reduktion der Treibhausgasemissionen auch Senkenpotentiale genutzt werden. Für den Sektor Landwirtschaft wird die Möglichkeit diskutiert, über Humusaufbau der Atmosphäre CO₂ zu entziehen („carbon farming“). Die 4 ‰-Initiative der Pariser Klimakonferenz COP 2015 schlägt vor, durch eine jährliche Steigerung der organischen Kohlenstoff-Vorräte um 4 ‰ die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energien im Boden abzapuffern (Minasny et al. 2017).

Neben kritischen Diskussionen um die wissenschaftlichen Grundlagen (z.B. De Vries et al. 2018) und quantitativen Zielsetzungen (z.B. Wiesmeier et al. 2020) der 4 ‰-Initiative, stellt sich die Frage, ob und wie eine ausreichende Teilnahme landwirtschaftlicher Betriebe an humusaufbauenden Maßnahmen erreichbar ist. Studien zeigten, dass für Landwirte Klimaschutz-Förderprogramme nur eine geringe Motivation für Managementänderung sind, sondern vielmehr Erwartungen nach ertragsrelevanten Bodenfruchtbarkeitseffekten und verbesserter Witterungsanpassung durch Humusaufbau relevant sind.

Dabei steht das Porensystem im Mittelpunkt, da seine bodenphysikalischen Funktionen für Luft- und Wasserhaushalt zentrale Ertrag bestimmende Faktoren sind. Durch den engen Zusammenhang von organischer Bodensubstanz, Bodenleben und Bodenstruktur kann Humusaufbau die Anpassung von Ackerböden an Witterungsextreme wie Trockenheit und Starkregen verbessern. Die Architektur des Porensystems hat auch große Bedeutung als Lebensraum von Mikroorganismen und Auswirkungen auf die Dauerhaftigkeit von Humus (Lehmann et al. 2020).

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung von Auswirkungen bodenaufbauender Bewirtschaftungssysteme im Vergleich zu praxisüblichem Management auf das Porensystem des Bodens sowie der Zusammenhänge von funktionellen Porenräumen mit bewirtschaftungsbedingten Veränderungen der organischen Bodensubstanz und Bodenbiologie.

Material und Methoden

Die Untersuchungen erfolgten mit einem systemorientierten On-farm Ansatz auf 21 Standorten in Niederösterreich und Burgenland. Beprobte wurden jeweils drei angrenzende Flächen gleichen Bodentyps und Bodenart. Eine Fläche (Pionier) war für zumindest fünf Jahre unter „bodenaufbauender“ Bewirtschaftung. Gemeinsam war den Pioniersystemen ein intensiver Zwischenfruchtbau mit dem Ziel möglichst kurzer Brachezeiten und eine minimierte Bearbeitungsintensität. Weitere standort- und betriebsabhängige Systemelemente waren Unter-/Begleitsaaten, organische Dünger, weite Fruchtfolgen und Biostimulanzien. Als Vergleich (Standard) wurde eine angrenzende standortüblich bewirtschaftete Fläche beprobt. Als Referenz für den natürlichen Bodenzustand dienten Flächen mit dauerhaftem Vegetationsbewuchs ohne landwirtschaftliche Nutzung (Ackerland, Dauerwiese, Hecken).

Für die hier gezeigten Parameter wurden ausschließlich Proben aus der obersten Bodenschicht (0-5 cm) herangezogen, wo die deutlichsten Einflüsse der Bewirtschaftung zu erwarten sind. Die Bestimmung der Porengrößenverteilung erfolgte an Stechzylinderproben (250 cm³) mittels Evaporationsmethode. In Anlehnung an Weninger et al. (2019) wurden diskrete Porenklassen bestimmt, denen wichtige bodenphysikalische und bodenbiologische Funktionen zugeordnet werden können.

Die Bestimmung des Humusgehalts erfolgte nach ÖNORM L 1050. Die wasserlösliche organische Substanz (DOM) wurde photometrisch nach Brandstetter et al. (1996) ermittelt. Für die bodenbiologische Charakterisierung der Standorte und Systeme wurde die mikrobielle Biomasse über Chloroform-Fumigation-Extraktion (DIN ISO 14240-2) und mikrobielle Enzyme nach Deng et al. (2013) erfasst.

Ergebnisse und Diskussion

Die Standorte lagen mehrheitlich im nordöstlichen Flach- und Hügelland in der semi-ariden bis sub-humiden Klimazone (30 % < 600 mm, 45 % 600-650 mm, 25 % > 650 mm; *Abbildung 1*). Die Bodentypen reichten von schweren Feuchtschwarzerden und Anmooren mit hohem Ausgangshumusgehalt > 4 % (19 % der Standorte) bis zu sehr leichten Fels- und Lockersedimentbraunerden und Rankern mit texturbedingt geringen Humuswerten < 2 % (24 % der Standorte).

Abbildung 2 zeigt die Bedeutung verschiedener Porengrößenklassen für verschiedene physikalische und Lebensraumfunktionen des Bodens.

Besonders Grob- bis Mittelporen sind für einen gesunden Boden von zentraler Bedeutung. Bodenphysikalisch sind Poren mit einem Radius > 10 mm wesentlich für Lufthaushalt sowie rasche Infiltration von Niederschlägen, während der Porenraum zwischen 10 und 0,2 mm die pflanzenverfügbare Wassermenge bestimmt. Die Lebensraumfunktion für Mikroorganismen findet vorwiegend in Porenräumen > 0,2 mm statt. Pflanzenwurzeln besiedeln Porenkanäle bis zu einem Durchmesser von ca. 50 mm, im Falle von Wurzelhaaren bis ca. 10 mm (Watt et al. 2006, Ottow 2011). Während Grobporen bei leichten relativ

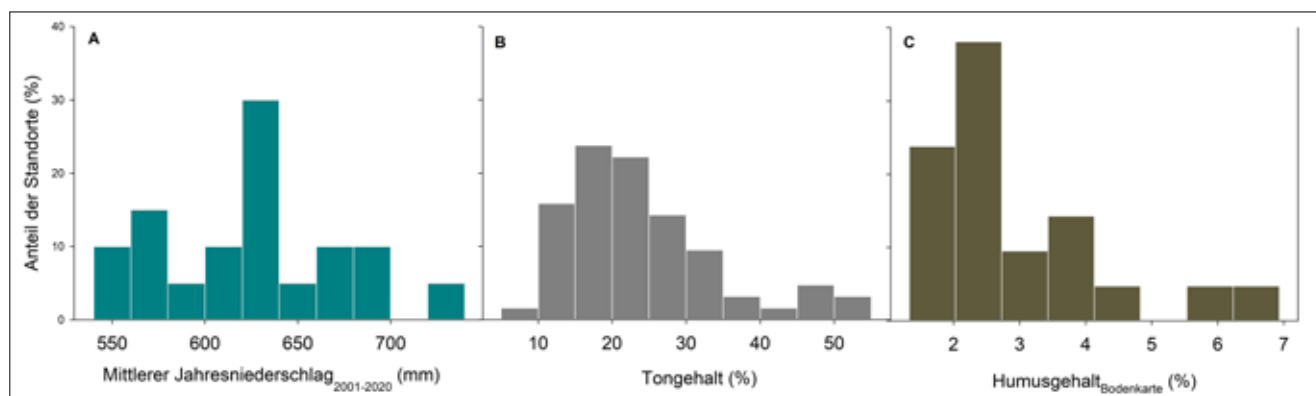


Abbildung 1: Verteilung der Untersuchungsfläche nach den Standorteigenschaften A Jahresniederschlag, B Tongehalt und C Humusgehalt nach Werten der österreichischen Bodenkarte.

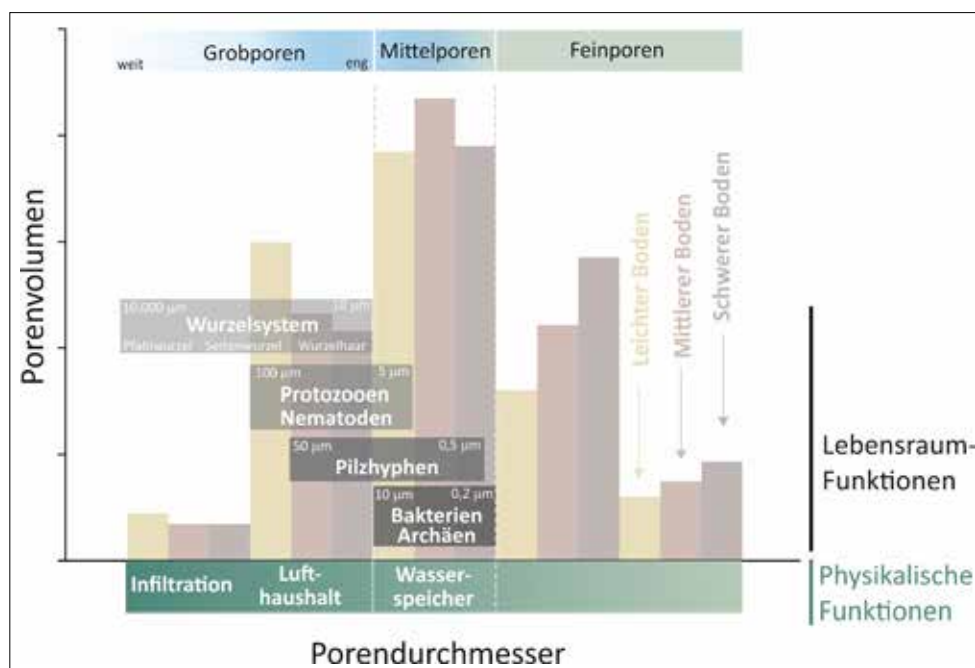


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Porenverteilung bei leichten (Beispiel: Felsbraunerde, Eisgarn), mittleren (Beispiel: Tschernosem, Grübern) und schweren Böden (Beispiel: Feuchtschwarzerde, Moosbrunn) und deren Funktionen für bodenphysikalische Eigenschaften und als Lebensraum für Bodenorganismen und Pflanzenwurzeln.

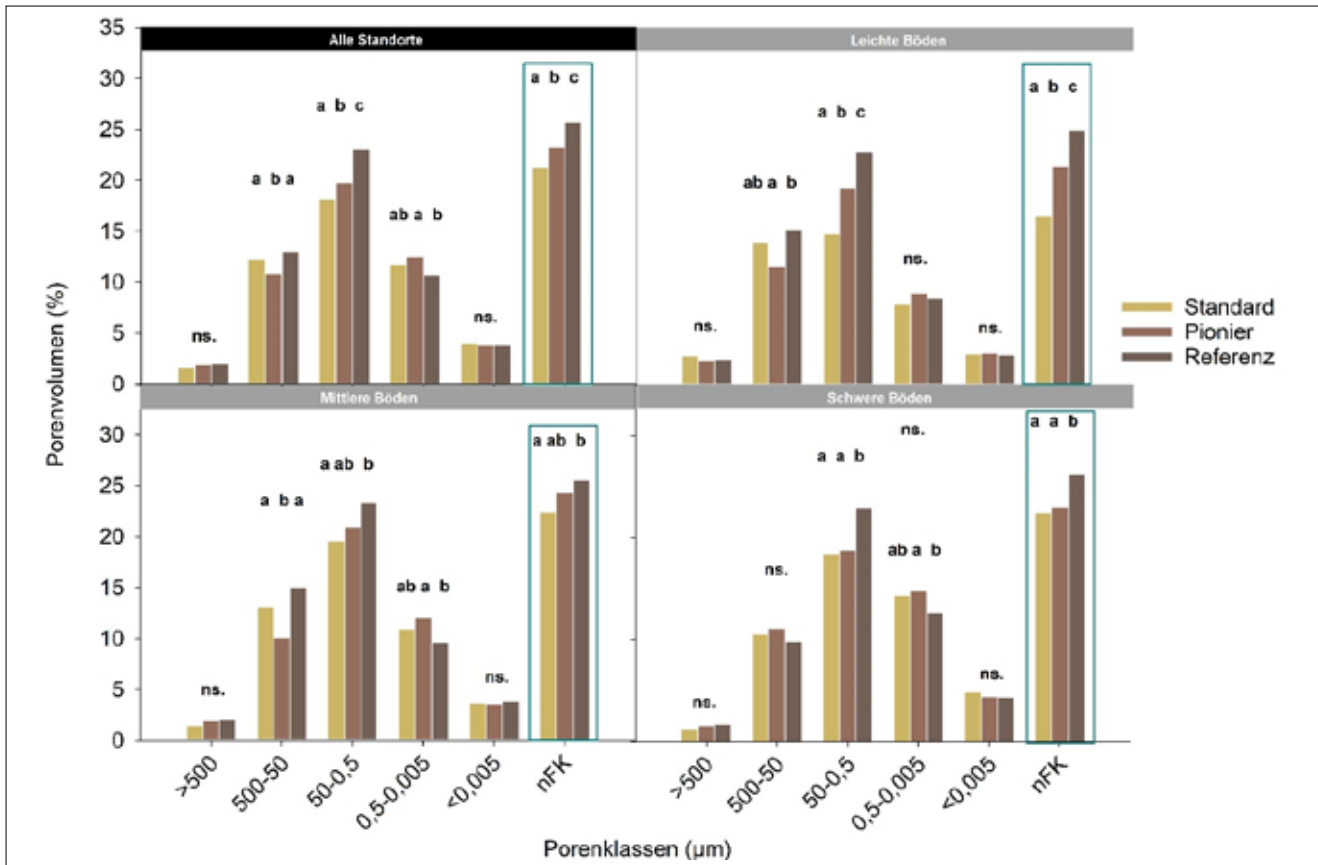


Abbildung 3: Einfluss von bodenaufbauenden Systemen (Pionier) im Vergleich zu Standardmanagement (Standard) und natürlicher Referenz auf verschiedene Porengrößen-Klassen (nFK nutzbare Feldkapazität) in Abhängigkeit der Bodenschwere. (Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede $p < 0,05$; ns. nicht signifikant).

zu mittleren und schweren Böden dominieren, verschiebt sich dies bei den Feinporen zu den tonreichen Standorten. Schluff-dominierte Böden weisen das höchste Volumen an Mittelporen auf.

Abbildung 3 zeigt den Einfluss der Landnutzung auf die verschiedenen Porenräume. Nutzungsbedingte Veränderungen sind vor allem in der Porengrößenklasse zwischen 500 und 0,005 mm zu beobachten, mit der deutlichsten Differenzierung im Bereich der Mittelporen (50-0,5 mm). Mit zunehmender Bodenschwere nehmen die Unterschiede ab. Bodenaufbauende Pioniersysteme erhöhen hauptsächlich den – funktionell wichtigen – Bereich der Mittelporen, während eine Abnahme des Grobporenvolumens (500-50 mm) zu beobachten ist. Dies ist wahrscheinlich auf die geringere Intensität der mechanischen Lockerung zurückzuführen, die nicht vollständig durch biologische Lockerungsprozesse kompensiert wird, wie dies bei der natürlichen Referenz stattfindet.

In Abbildung 4A und 4B ist der Einfluss der organischen Bodensubstanz auf das Mittelporenvolumen dargestellt. Abbildung 4C zeigt den Zusammenhang des C_{org} -Ton-Verhältnisses mit der Summe an Grob- und Mittelporen (500-0,5 mm).

Das Volumen an Speicherporen erhöht sich pro Einheit C_{org} um 0,6 Vol. % (=0,6 mm H_2O pro 100 mm Bodentiefe). Auch Minasny und McBratney (2018) fanden in einer Meta-studie ähnliche Werte für die Veränderung der pflanzenverfügbaren Wassermenge mit steigendem C_{org} (zwischen 0,7-1,0 mm H_2O pro 100 mm Bodentiefe). Der Zusammenhang mit dem wasserlöslichen organischen Kohlstoff (DOC) zeigte ein höheres Bestimmtheitsmaß. Der für Bodenleben und Bodenstruktur bedeutende DOC scheint daher, trotz des geringen Anteils am Gesamtkohlenstoff ($\bar{x} 1,1 \pm 0,6 \%$), eine bedeutende Rolle für die wasserspeichernden Mittelporen zu spielen. Auch Abbildung 4C gibt einen Hinweis, dass

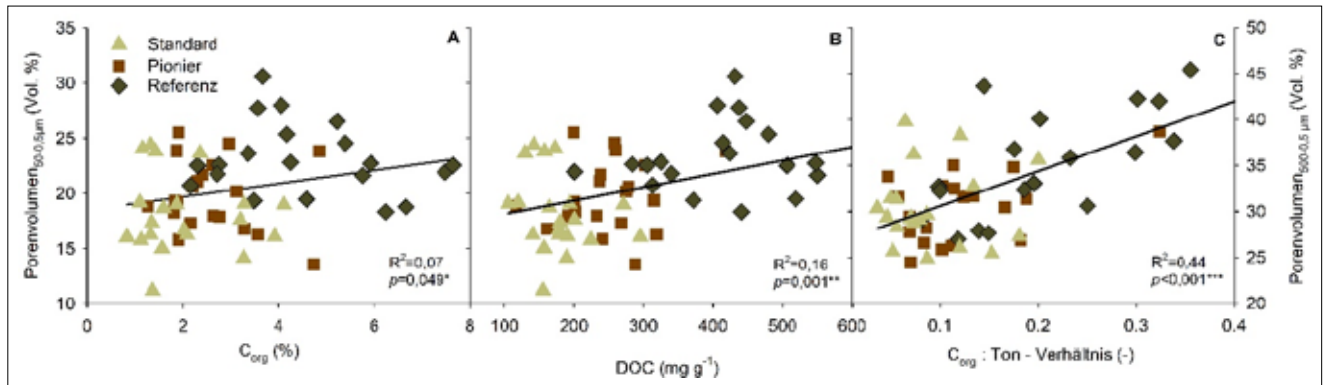


Abbildung 4: Zusammenhang der organischen Bodensubstanz (A: C_{org} Gesamter organischer Kohlenstoff; B: DOC Wasserlöslicher organischer Kohlenstoff; C: Verhältnis organischer Kohlenstoff zu Tongehalt) mit funktionell wichtigen Porenräumen im Boden (A und B enge Grobporen - Mittelporen 50 - 0,5 mm; C Grob und Mittelporen 500 - 0,5 mm).

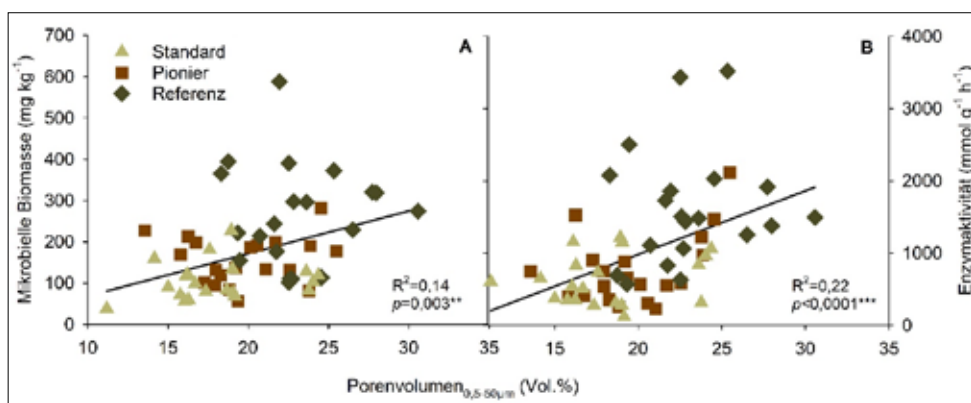


Abbildung 5: Einfluss des Volumens an Mittelporen auf bodenbiologische Parameter (A: Mikrobielle Biomasse; B: Enzymaktivität) als Indikator der Lebensraumfunktion der Bodenporen.

der Zusammenhang zwischen C_{org} und Porenraum im Wesentlichen über die Struktur vermittelt ist. Das Verhältnis von C_{org} :Ton ist ein guter Indikator für die Bodenstrukturqualität (Johannes et al. 2017). Dementsprechend zeigte sich ein starker Zusammenhang des strukturbedingten Sekundärporensystems (500 und 0,5 mm) mit diesem Indikator. Die Ergebnisse unterstreichen, dass weniger der Humus als solcher im Fokus sein sollte, als vielmehr bodenbiologische Prozesse zur Optimierung relevanter Bodenfunktionen. Die Bedeutung der Bodenporen als Lebensraum ist in *Abbildung 5* dargestellt. Je höher das Volumen an Poren im Größenbereich 50-0,5 mm, desto höher die mikrobielle Biomasse sowie die Aktivität mikrobieller Enzyme. Der Einfluss der Mittelporen auf bodenbiologischer Aktivität zeigte sich auch in anderen Arbeiten, etwa bei Strong et al. (2004) hinsichtlich der mikrobiellen Umsetzung von Kohlenstoff mit einem Maximum im Porenbereich zwischen 15-60 mm.

Schlussfolgerungen

Es konnte gezeigt werden, dass Bewirtschaftungssysteme mit Fokus auf Bodengesundheit und Humusaufbau wasserspeichernde Mittelporen erhöhen können. Dabei scheint nicht Humus als solcher wesentlich zu sein, sondern vor allem bodenstrukturelevante organische Substanzen und (mikro)biologische Prozesse. Mittelporen als biologischer Lebensraum und physikalischer Funktionsraum für Pflanzenwachstum hängen damit untrennbar zusammen. Als Herausforderung ist das Management der luftführenden Grobporen zu sehen. Hier zeigte sich, dass es für ackerbauliche Pioniersysteme im Vergleich zu ständig bewachsenen natürlichen Flächen schwierig ist, den Verlust an Grobporen aufgrund verringerter mechanischer Lockerung ausreichend durch biologische Lockerung zu kompensieren.

Danksagung

Die Forschungsarbeiten werden finanziell unterstützt durch die Gesellschaft für Forschungsförderung Niederösterreich (Projekt Nr. FTI 19-002) sowie den Umweltfonds - Fonds zur Förderung einer nachhaltigen Entwicklung der Region rund um den Flughafen Wien.

Literatur

Brandstetter A., Sletten R.S., Mentler A., Wenzel W.W. (1996) Estimating dissolved organic carbon in natural waters by UV absorbance (254 nm). *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 159, 605-607.

De Vries W. (2018) Soil carbon 4 per mille: A good initiative but let's manage not only the soil but also the expectations: Comment on Minasny et al. (2017). *Geoderma* 292, 59-86.

Deng S., Popova I.E., Dick L., Dick R. (2013) Bench scale and microplate format assay of soil enzyme activities using spectroscopic and fluorometric approaches. *App. Soil Ecol.* 64, 84-90.

Johannes A., Matter A., Schulin R., Weisskopf P., Baveye P.C., Boivin P. (2017) Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? *Geoderma* 302, 14-21.

Lehmann J. et al. (2020) Persistence of soil organic carbon caused by functional complexity. *Nature Geoscience* 13, 529-534.

Minasny B. et al. (2017) Soil carbon 4 per mille. *Geoderma* 292, 59-86.

Minasny B., McBratney A.B. (2018) Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *Europ. J. Soil Sci.* 69, 39-47.

Ottow J. (2011) *Mikrobiologie von Böden*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Strong D.T., Wever H.D., Merckx R., Recous S. (2004) Spatial location of carbon decomposition in the soil pore system. *Europ. J. Soil Sci.* 55, 739-750.

Watt M., Silk W.K., Passioura J.B. (2006) Rates of root and organism growth, soil conditions, and temporal and spatial development of the rhizosphere. *Ann. Bot.* 97, 839-855.

Weninger T., Kreiselmeier J., Chandrasekhar P., Julich S., Feger K.H., Schwärzel K., Bodner G., Schwen A. (2019) Effects of tillage intensity on pore system and physical quality of silt-textured soils detected by multiple methods. *Soil Research*, 57(7), 703-711.

Wiesmeier M., Mayer S., Burmeister J., Hübner R., Kögel-Knabner I. (2020) Feasibility of the 4 per 1000 initiative in Bavaria: A reality check of agricultural soil management and carbon sequestration scenarios. *Geoderma* 369, 114333.