



Abschlussbericht

Boden.Biodiversität

AP 3 Verbesserung bodenbiologischer Diversität und Bodengesundheit

Autoren: Gernot Bodner, Martin Schneider

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft



Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Inhalte

1. Zusammenstellung und Validierung von Bodentests nach Arbeitspaket 4	3
2. Ergebnisse des Arbeitspakets 3 und Diskussion	6
a. Bodenbearbeitung Bodenkohlenstoff und –stickstoffgehalt	6
b. Mikrobielle Biomasse	11
c. Mikrobielle Aktivität	13
d. Aggregatstabilität	19
3. Begrünungsvarianten Bodenkohlenstoff und -stickstoffgehalt	22
a. Mikrobielle Biomasse	26
b. Mikrobielle Aktivität	27
c. Aggregatstabilität	31
d. Kohlenstoffnutzungseffizienz	32
4. Zusammensetzung der mikrobiellen Community	35
5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung	45

1. Zusammenstellung und Validierung von Bodentests nach Arbeitspaket 4



Abbildung 1 Extrakte mit 1 M NaOH nehmen proportional mit der Konzentration an stabilen Kohlenstoff an Intensität zu (links) und können fotografisch über Farbintensität und im Labor photometrisch über Absorption ausgewertet werden. Die Bodenatmung (rechts) kann im Feld mit CO₂-Sensoren oder im Labor am Gaschromatographen bestimmt werden.



Abbildung 2 Der Slake Test (links) ist der Spatenprobe folgend eine leicht durchführbare Methode zur Bestimmung der Aggregatstabilität und Aggregatgrößenverteilung. Labiler Kohlenstoff kann über Oxidation mit 20 mM Kaliumpermanganat in 100 mM Kalziumchlorid (rechts) bestimmt werden.

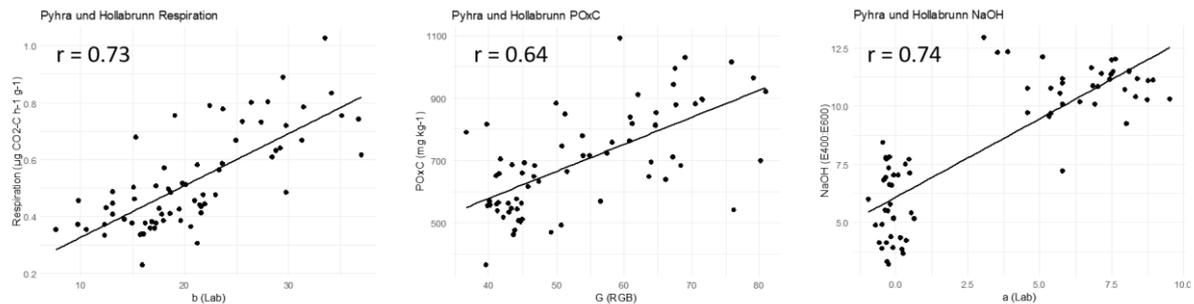


Abbildung 3 Validierung der Feldmethoden für Bodenatmung (links), labilen Kohlenstoff (mittig) und stabilen Kohlenstoff (rechts) mit Laborergebnissen für die Feldversuche in Hollabrunn und Pyhra.

Für die Selbstbewertung der Bodengesundheit durch Praktiker wurden einfach durchzuführende Methoden selektiert und für den Einsatz im Feld angepasst.

Die Charakterisierung der Textur, Struktur und Porenverteilung kann über Spaten- und Fingerprobe durchgeführt werden und bedarf bis auf eine Anleitung, einem Spaten und ggf. Wasser und einer Lupe keiner weiteren Materialien. Zur Bestimmung der Aggregatstabilität kann ein Slake Test herangezogen werden. Bestehend aus einem mit Wasser gefüllten Plexiglasgefäß mit drei Siebeinsätzen ist eine unkomplizierte Beurteilung der Stabilität ausgesuchter Aggregate möglich.

Bodenphysikalische Beurteilungen verschiedener Böden hinsichtlich Wasserinfiltration sind mittels Infiltrationsring und Messung der Infiltrationszeit bzw. der Infiltrationstiefe möglich. Die Bodenverdichtung kann im Feld mittels Handpenetrometer relativ genau bestimmt werden. Eine kostengünstigere Alternative wäre allerdings ein einfacher Stab der hinsichtlich seines Eindringwiderstand in den Boden beurteilt wird. Letzteres ist jedoch abhängig von der durchführenden Person.

Bodenchemische Untersuchungen sollten zumindest die Bodenazidität und den Kalkgehalt umfassen. Ersteres kann mittels feldtauglichem pH-Meter (Hellige) oder alternativ über Indikatorstreifen und Wasserextraktion (Verhältnis 1:5 - 1:10 (Boden:Lösung)) bestimmt werden. Bei pH über 6 ist eine Beurteilung der Karbonate sinnvoll. Die geschieht über Beträufeln mit 6 M Salzsäure und Beurteilung der Gasbildung, bzw. der Menge an sich in Kohlendioxid umwandelnder Karbonate. Zusätzlich können aus den genannten Wasserextrakten ebenfalls mittels Teststreifen Nitrat- und Phosphorkonzentrationen bestimmt werden.

Die organische Substanz kann über die Bodenfarbe und das Aufschwimmen organischer Partikel abgeschätzt werden. Die Menge an labilen und stabilen Kohlenstoffverbindungen kann im Feld untersucht werden. Stabile Kohlenstoffverbindungen können mit 1 M Natriumhydroxidlösung im Verhältnis 1:10 (Boden:Lösung) extrahiert, ggf. filtriert und auf Farbintensität hin beurteilt werden. Die zunehmende Farbintensität der Extraktionslösung ist proportional zur Menge an stabilem Kohlenstoff. Labiler Kohlenstoff hingegen kann mithilfe von 20 mM Kaliumpermanganat in 100 mM Kalziumchlorid im Verhältnis 1:10 (Boden:Lösung) extrahiert werden. Durch Oxidation der organischen Substanz mit Kaliumpermanganat nimmt die violette Färbung der Lösung mit zunehmenden Gehalt an labilem Kohlenstoff ab.

Bodenmikrobiologische Aktivitäten können über die Respiration der Mikroorganismen, bzw. der Bodenatmung, abgeschätzt werden indem Boden in luftdichten Gefäßen mit Kohlendioxid-Sensoren inkubiert wird. Unter vergleichbaren Inkubationsbedingungen können Böden so miteinander verglichen werden. Durch vergraben von sortengleichen Teebeuteln oder Kaffeefilterpapieren über unterschiedliche Zeiträume kann die Mineralisierungsrate, bzw. die Geschwindigkeit des Abbaus der organischen Substanz abgeschätzt werden.

2. Ergebnisse des Arbeitspakets 3 und Diskussion

a. Bodenbearbeitung

Bodenkohlenstoff und –stickstoffgehalt

Die Intensität der Bodenbearbeitung und der Vegetationsgrad haben großen, signifikanten Einfluss auf zahlreiche Bodenparameter, die das Bodenleben und den Nährstoffhaushalt beeinflussen. Das Vorhandensein bzw. die Zugänglichkeit zu Wasser und Kohlenstoff (C) sind u.a. Grundbausteine des Lebens.

Aus diesem Projekt geht hervor, dass der totale Kohlenstoffgehalt (Humus) durch abnehmende Bodenbearbeitungsintensität zunehmen kann. Je nach Textur (Verdichtungsanfälligkeit) des Bodens hat die Direktsaat und die minimierte Bodenbearbeitung (Scheibenegge) im Vergleich zur reduzierten (Grubber) und konventionellen (Pflug) Bearbeitung einen steigernden Einfluss auf den Kohlenstoff- und Wassergehalt, die Aggregatstabilität und die Porosität. In Pyhra war dieser Trend mit abnehmender Bearbeitungsintensität eindeutig. Jedoch war dieser Effekt in der minimierten Bearbeitung in Hollabrunn am stärksten. Dies kann durch die, von der feineren Textur bestimmten, höheren Verdichtungsanfälligkeit in Hollabrunn bedingt sein.

Ebenso stieg der Gesamtstickstoff durch die bodenkonservierende/regenerative Landwirtschaft der Betriebsstandorte und mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität. Allerdings ist hier bereits anzumerken, dass diese Parameter ebenso durch die Vegetation beeinflusst werden. Da die Erträge oftmals in der konventionellen Bewirtschaftung am höchsten sind, ist folglich der Nährstoff- und Wasserentzug durch die Biomasse für diesen Effekt ausschlaggebend. Dies spiegelt sich insbesondere in den Daten der Beprobungen im Herbst wider, welche meist nach der Ernte stattfanden.

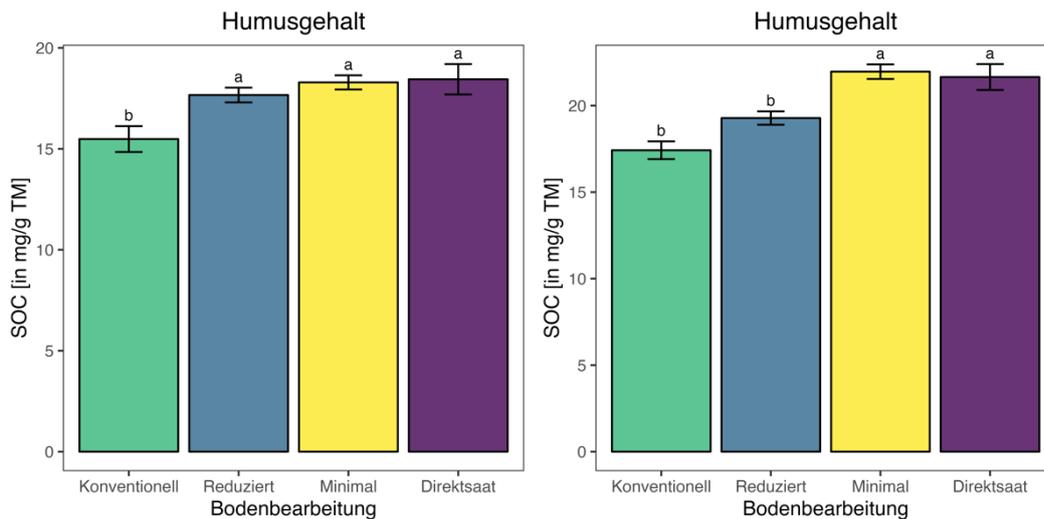


Abbildung 4 Humusgehalt (organischer Kohlenstoff) im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

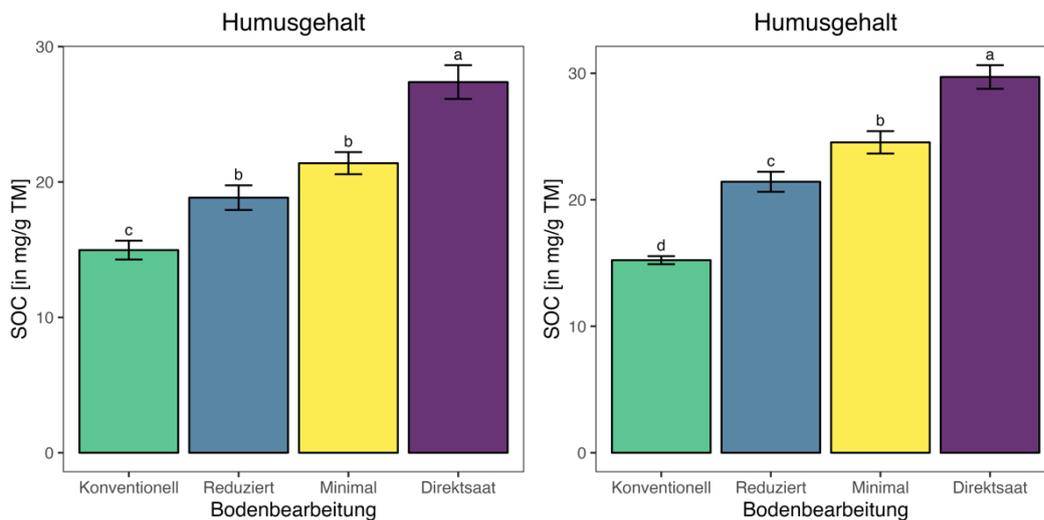


Abbildung 5 Humusgehalt (organischer Kohlenstoff) im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

Wie auch beim organischen Kohlenstoff war der Trend für den Gesamtstickstoff je nach Bodenbearbeitung für Hollabrunn und Pyhra ähnlich. Auch der Stickstoff steigerte sich in der minimierten Bodenbearbeitung in Hollabrunn stärker als in der Direktsaat. Aufgrund der etwas schwereren, tonhaltigeren Bodentextur in Hollabrunn lässt dieser Effekt auf nicht ausreichend sauerstoffreiche Bedingungen in der Direktsaat spekulieren.

Im Vergleich zum Gehalt an Gesamtkohlenstoff schwankt der Stickstoff vegetationsbedingt zwischen den Beprobungen etwas stärker. Im Zeitvergleich zwischen Frühjahr und Herbst spiegeln sich die Erträge und Pflanzenentzüge in den Gesamtstickstoffwerten wider.

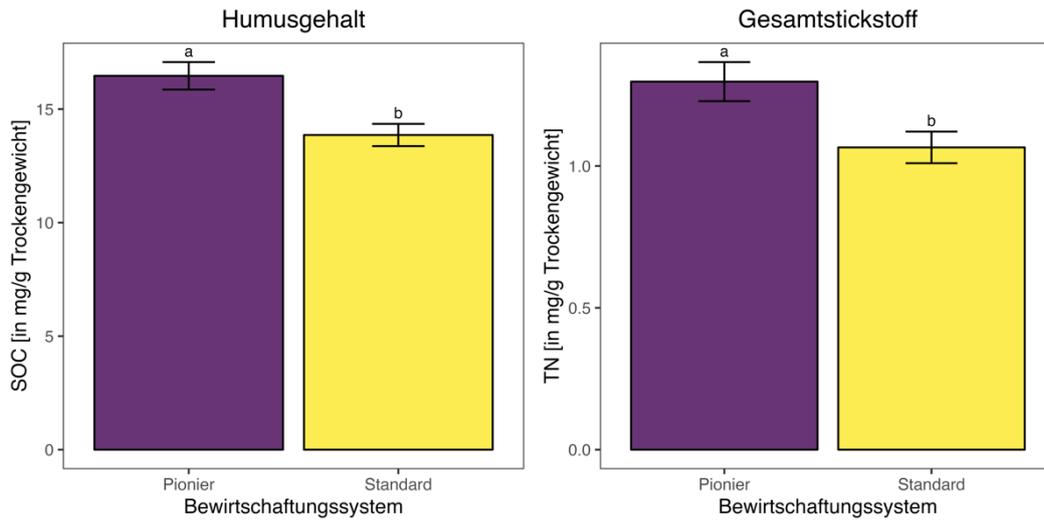


Abbildung 6 Humusgehalt (organischer Kohlenstoff; links) und Gesamtstickstoff (rechts) der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2022. Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

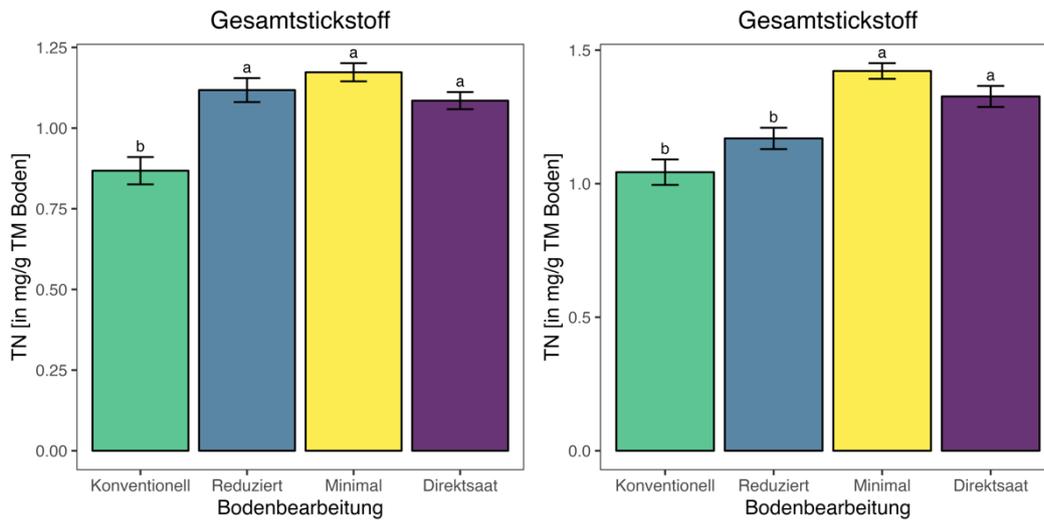


Abbildung 7 Gesamtstickstoff im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

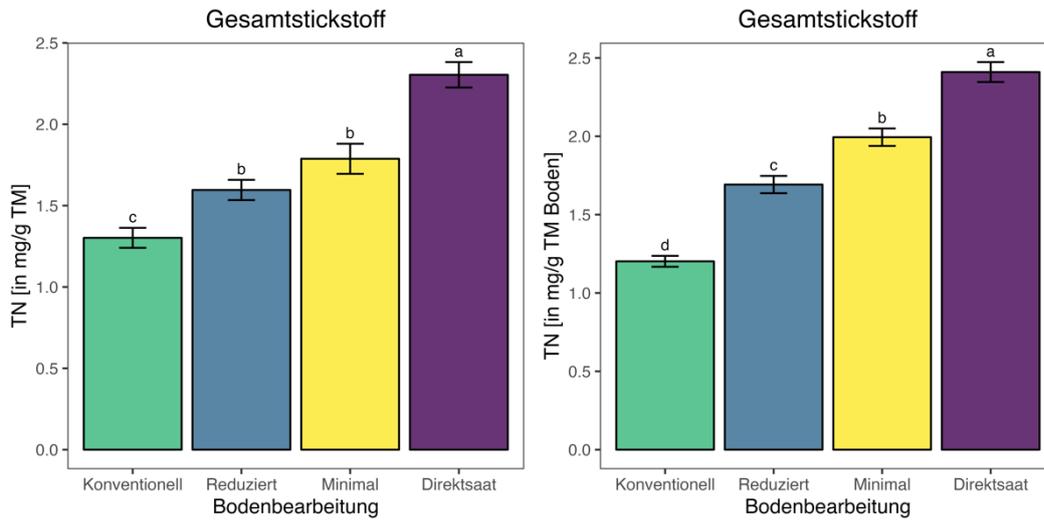


Abbildung 8 Gesamtstickstoff im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

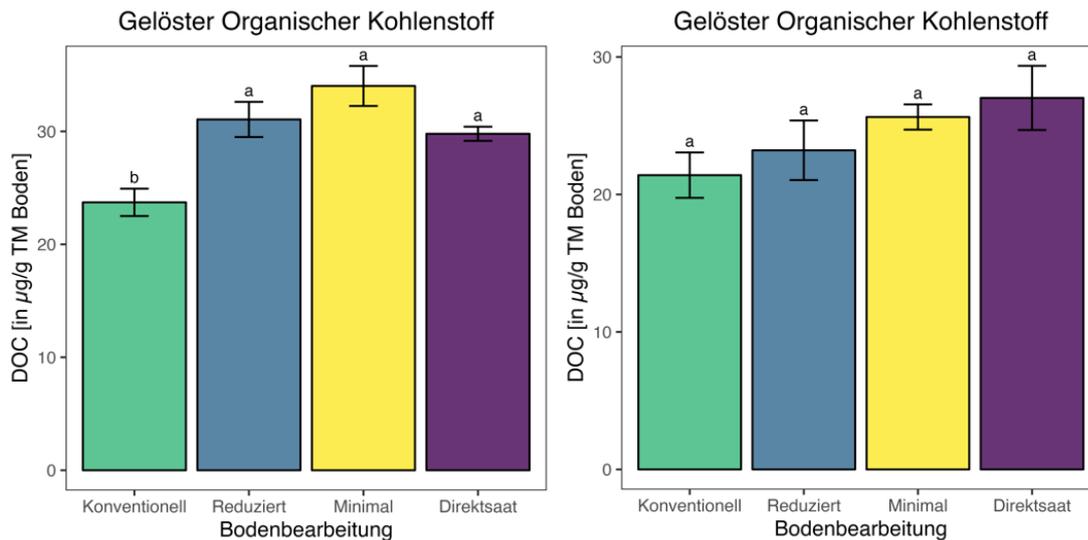


Abbildung 9 Gelöster organischer Kohlenstoff im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

Der gelöste organische Kohlenstoff reflektiert einerseits die für das Bodenleben zur Verfügung stehende Kohlenhydrate, aus z.B. Wurzelausscheidungen, die schnell verstoffwechselt werden können. Andererseits ist er ein Indikator für die Intensität der Mineralisierung; abhängig von der Menge an Pflanzen, Substrat, und Mikroorganismen.

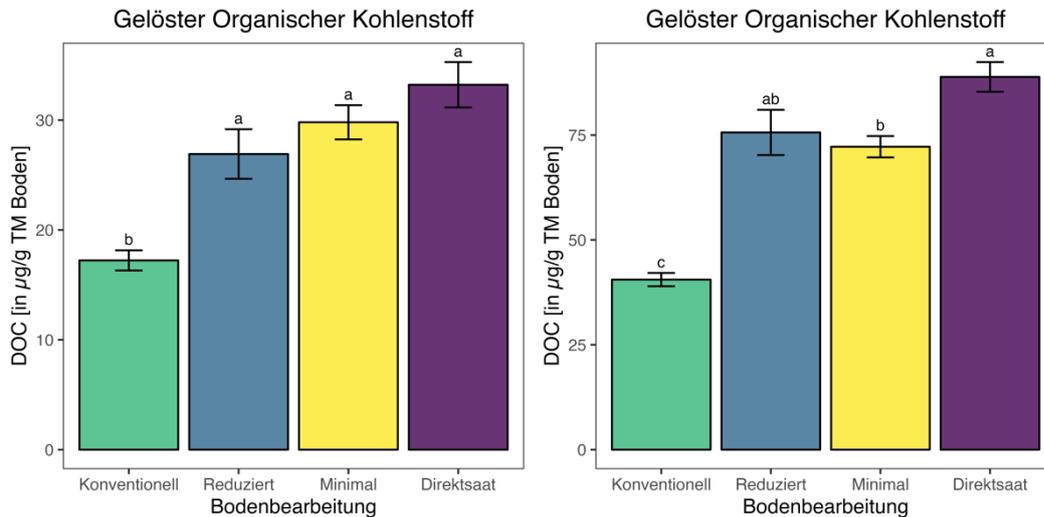


Abbildung 10 Gelöster organischer Kohlenstoff im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

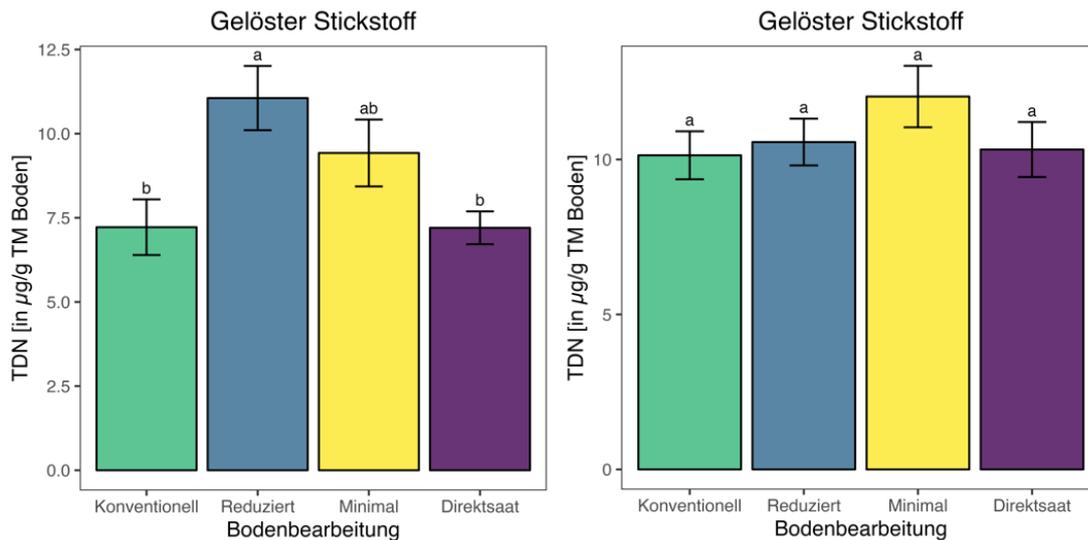


Abbildung 11 Gelöster organischer Stickstoff im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

Ebenso wie der gelöste organische Kohlenstoff ist der gelöste Stickstoff ein Maß der Mineralisierung. Wieder zeigten sich für Hollabrunn und Pyhra ähnliche Trends, wobei die Aufnahme in Pflanzen und Mikroorganismen hier eine steuernde Funktion zukommt. Über die Zeit hinweg verglichen, schwankten der gelöste Kohlenstoff und Stickstoff wesentlich mehr als die Gesamtgehalte. Faktoren wie Feuchte, Temperatur, Pflanzenbestand und Wachstumsstadium, aber auch der Abstand zur letzten Bodenbearbeitung spielten hier mit eine Rolle.

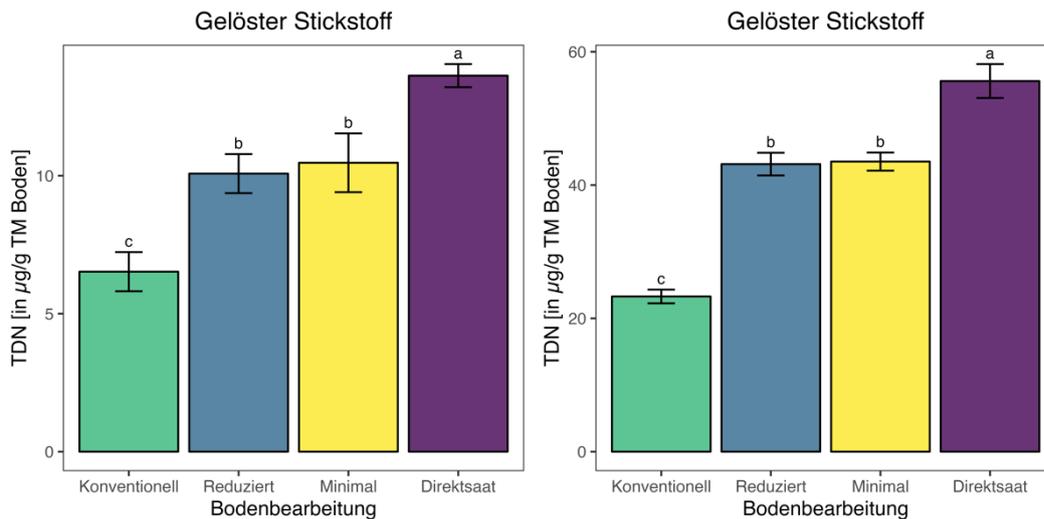


Abbildung 12 Gelöster organischer Stickstoff im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten (n = 9; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

b. Mikrobielle Biomasse

Der mikrobielle Kohlenstoff erwies sich als ein wichtiger und aussagekräftiger Indikator für Reaktionen des mikrobiellen Bodenlebens auf Bewirtschaftungsänderungen. Die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen sind signifikant und über die Zeit der Projektdauer stabil, wobei die Sensitivität über das Jahr hinweg gesehen immer noch gegeben ist. Der steigernde Einfluss abnehmender Bodenbearbeitungsintensität auf die mikrobielle Biomasse ist signifikant, aber auch abhängig und bedingt durch die bearbeitungsbedingte Steigerung des Gesamtkohlenstoffs.

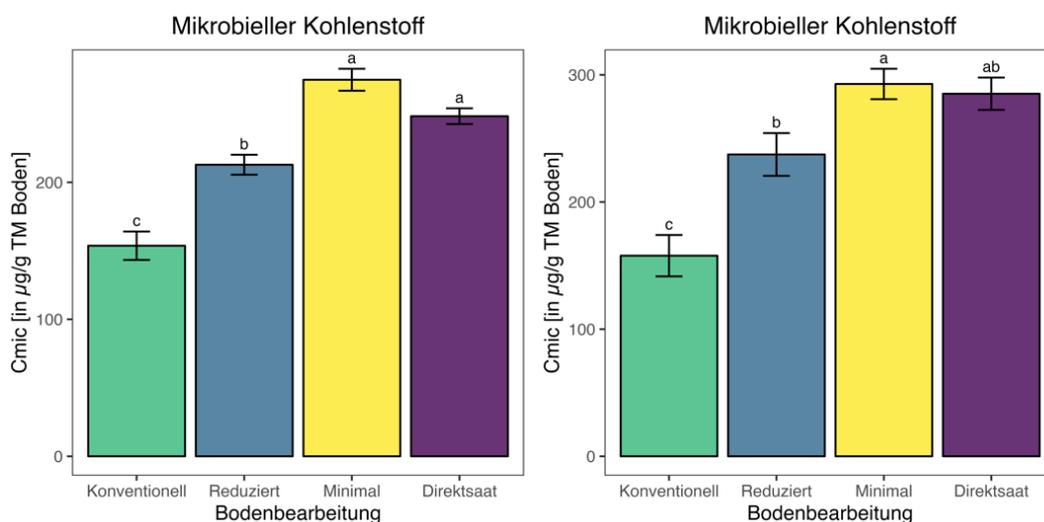


Abbildung 13 Kohlenstoff in der mikrobiellen Biomasse im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen

über alle Zwischenbegrünungsvarianten ($n = 9$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

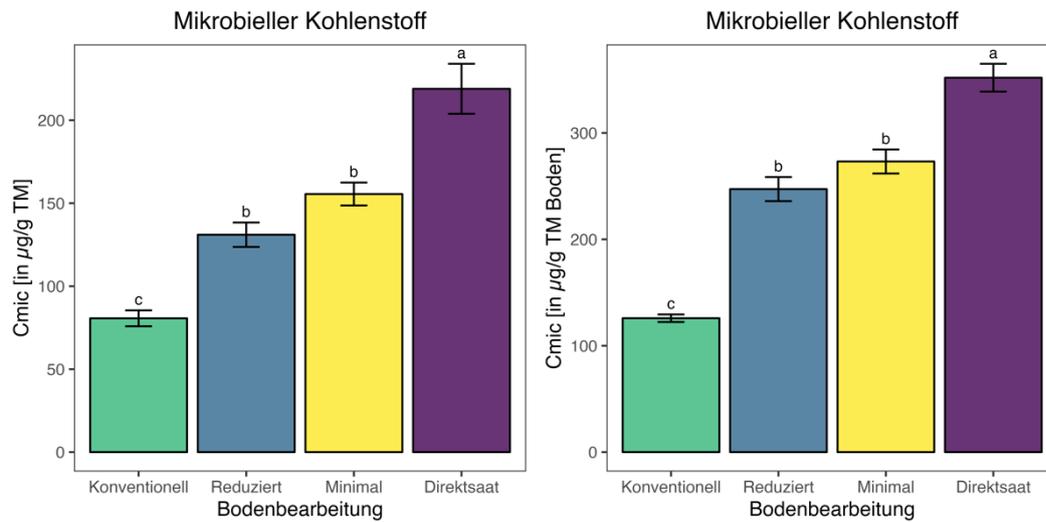


Abbildung 14 Kohlenstoff in der mikrobiellen Biomasse im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Bodenbearbeitungen über alle Zwischenbegrünungsvarianten ($n = 9$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

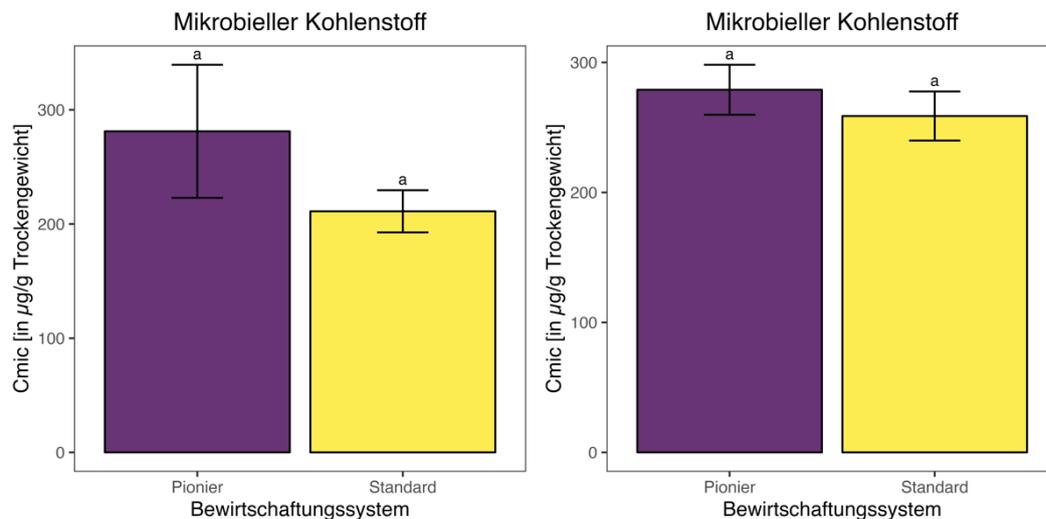


Abbildung 15 Kohlenstoff in der mikrobiellen Biomasse der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2023 (links) und 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments ($n = 6$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

In den Betriebsstandorte waren die Trends im steigenden Kohlenstoffs der mikrobiellen Biomasse zu erkennen, jedoch nicht signifikant.

Aus den Ergebnissen ging hervor, dass schonendere Bodenbewirtschaftungsformen den gesamte organische Kohlenstoff (C, Humusgehalt) und Stickstoff steigern können. Dies geschieht einerseits durch verminderte mechanische Zerkleinerung des organischen Materials, das daraufhin länger als Substrat verfügbar bleibt und andererseits durch Steigerungen der mikrobielle Biomasse, der Mineralisation und

enzymatischen Nährstoffmobilisierung und somit der Pflanzenproduktivität. Ein weniger gestörter Boden schafft geeignetere Lebensbedingungen, erhöht die Ressourcenzugänglichkeit und die Menge an günstigen Lebensräumen für Mikroorganismen, v.a. für Pilze, da organisches Material länger verfügbar bleibt und in der mikrobielle Biomasse gebunden werden kann.

c. Mikrobielle Aktivität

Sämtliche Messungen der Enzyme zeigten einen deutlichen Trend dahingehend, dass bodenschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen die enzymatische Aktivität im Boden erhöhten. Grund dafür waren eine höhere Substratverfügbarkeit durch mehr gelösten und gesamten organischen Kohlenstoff und Stickstoff und durch eine höhere Menge an Mikroorganismen. Die impulsive mechanische Durchlüftung, Zerkleinerung und Mischung des Bodens beschleunigt die Mineralisierung, kann jedoch zu Nährstoffverlusten und dadurch zu temporären Nährstoffengpässen für Mikroorganismen führen. Ein Verzicht von intensiver Bearbeitung führt zu einer permanenteren Bereitstellung von organischen Substraten für Mikroorganismen und bedingt, dass auch ineffiziente Organismen mit einem dauerhaft hohen Energiebedarf samt ihrer Funktionen im Ökosystem Boden erhalten bleiben.

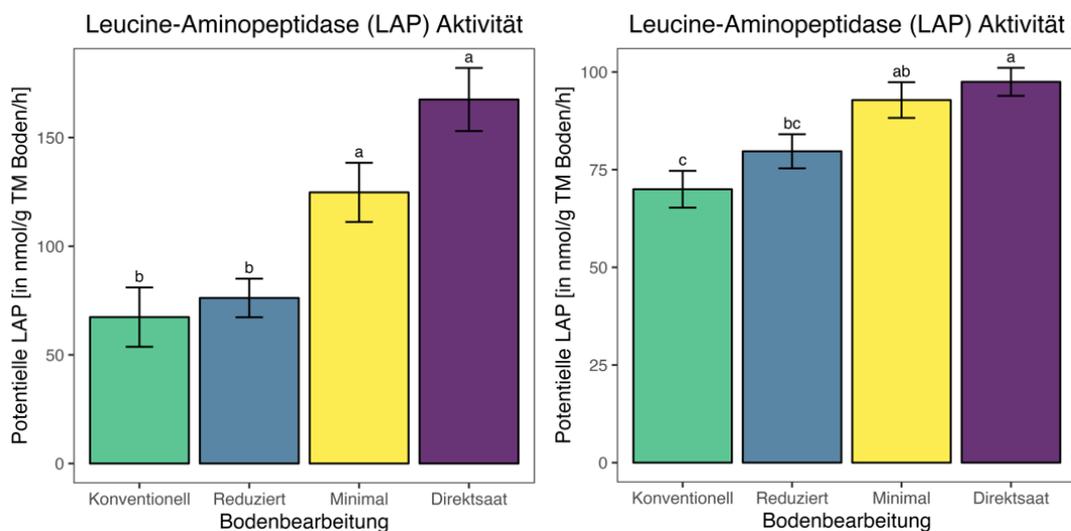


Abbildung 16 Aktivitäten der Leucin-Aminopeptidase im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments ($n = 6$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

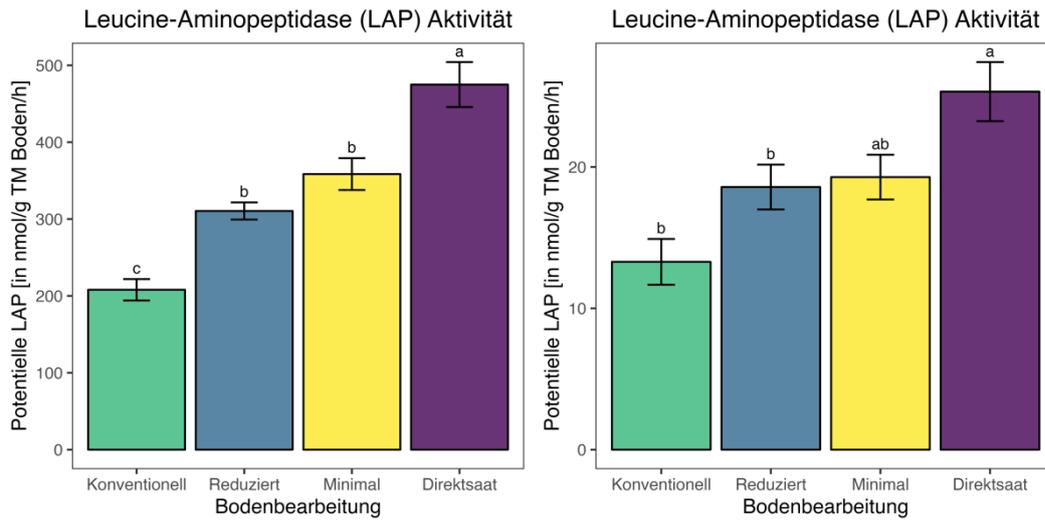


Abbildung 17 Aktivitäten der Leuzin-Aminopeptidase im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

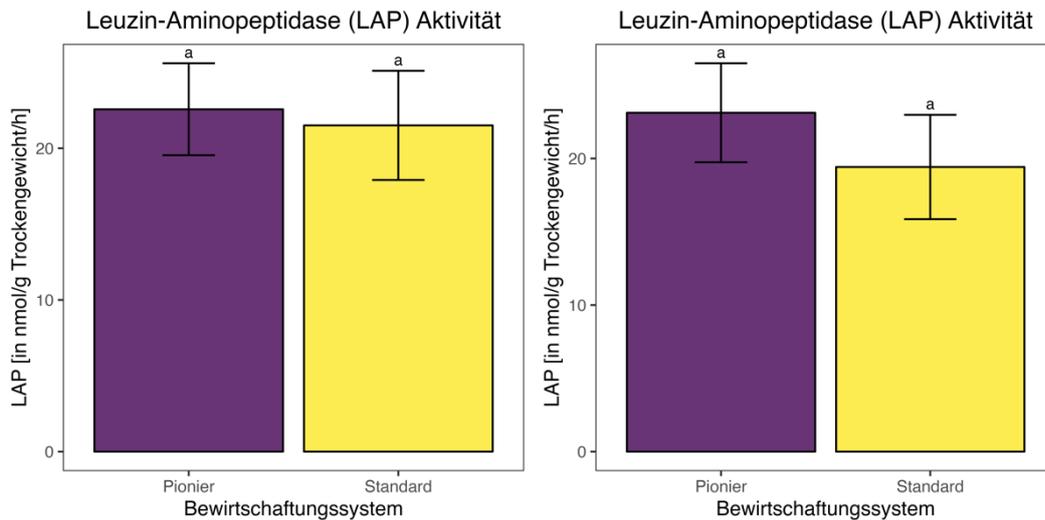


Abbildung 18 Aktivitäten der Leuzin-Aminopeptidase der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2023 (links) und 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

Die gezeigten potentiellen enzymatischen Aktivitäten im Boden reflektieren neben der mikrobiellen Aktivität natürlich auch die Dimension der Verbrauchernachfrage nach Nährstoffen. Das heißt, sind Nährstoffe bereits vorhanden oder ist die Nachfrage kleiner (z.B. durch mechanische Zerkleinerung; auf Grund von geringer Pflanzenbestände oder geringer Mikroorganismenpopulation), so sind auch die Enzymaktivitäten geringer.

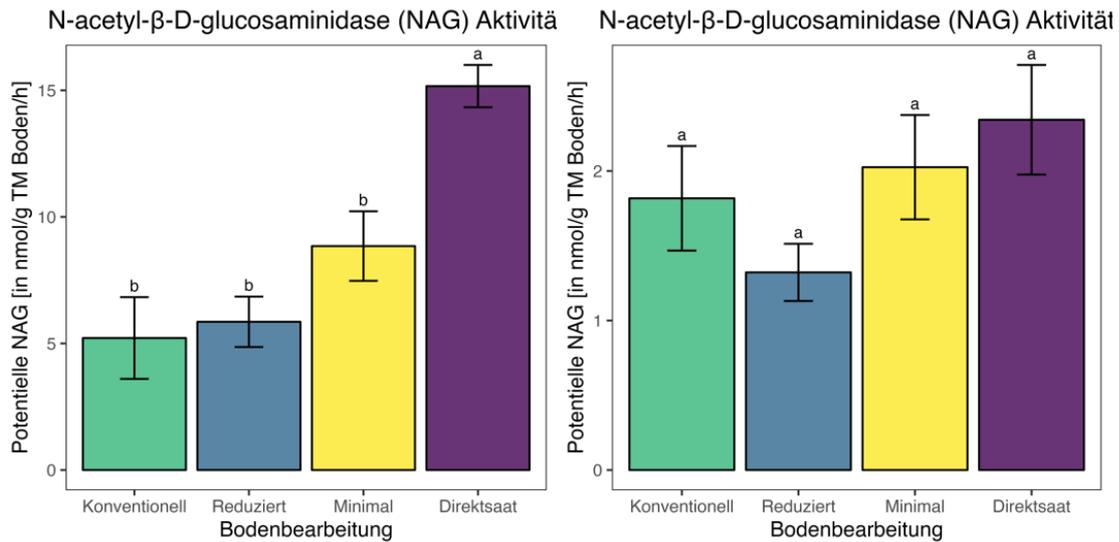


Abbildung 19 Aktivitäten der Glukosaminidase, einem Stickstoff lukrierendem Enzym im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

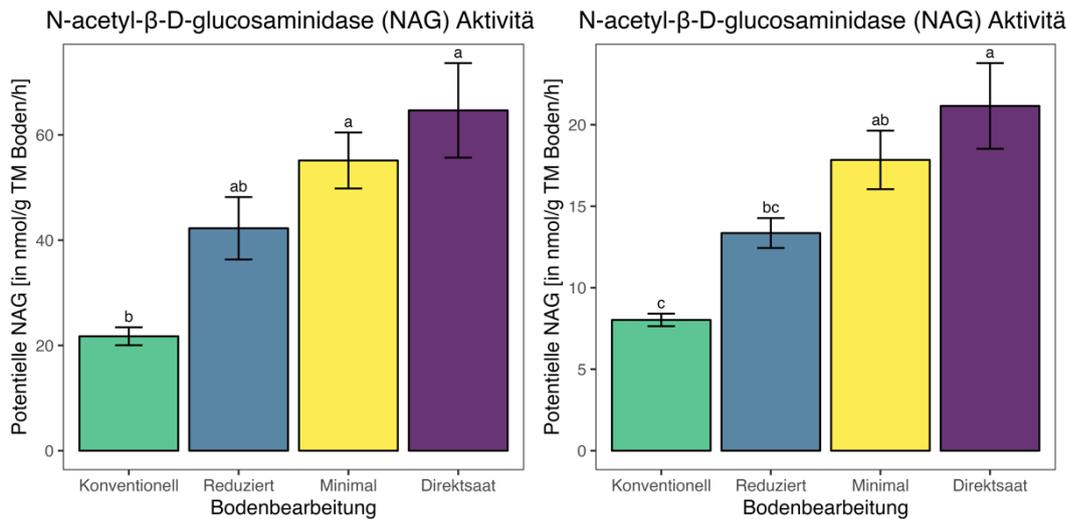


Abbildung 20 Aktivitäten der Glukosaminidase, einem Stickstoff lukrierendem Enzym im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

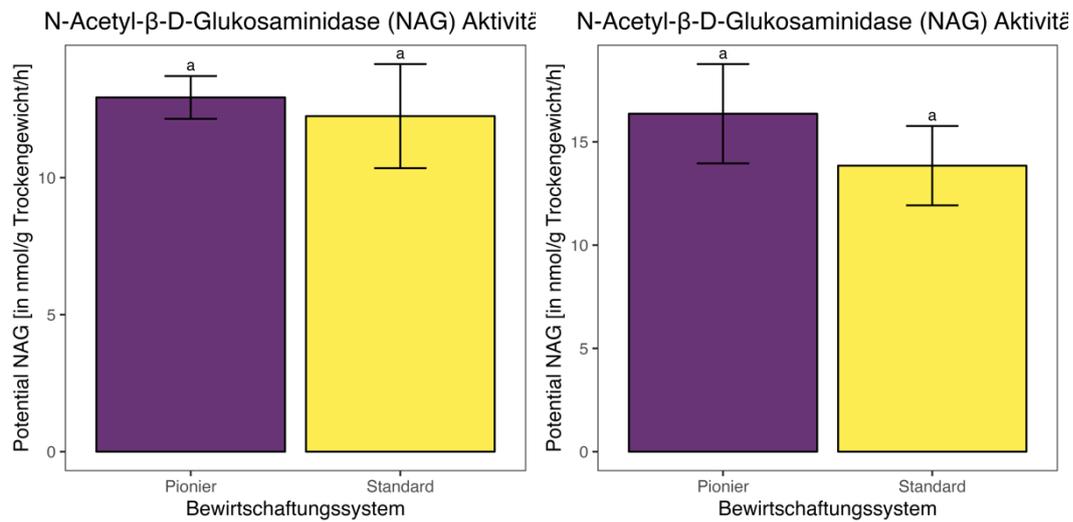


Abbildung 21 Aktivitäten der Glucosaminidase, einem Stickstoff lukrierendem Enzym der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2023 (links) und 2024 (rechts). Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

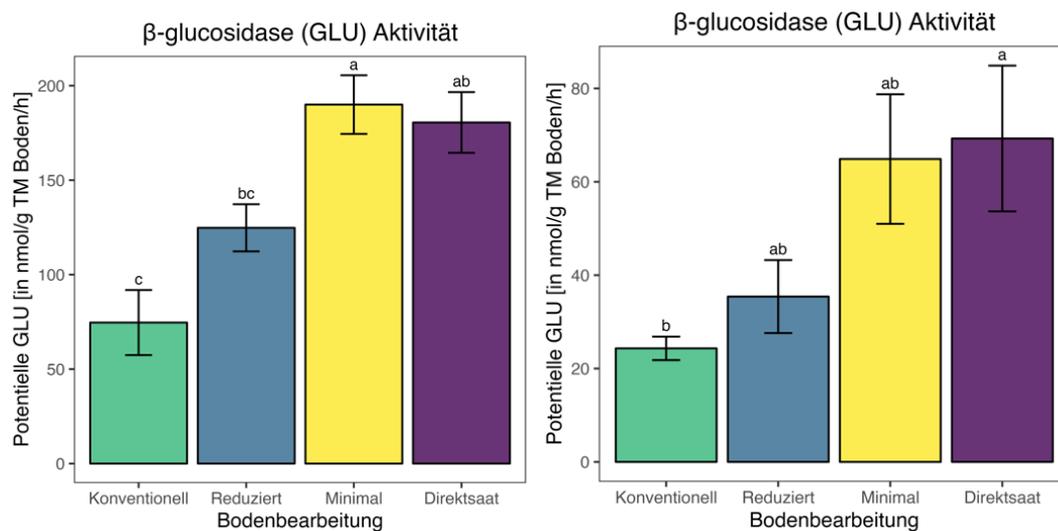


Abbildung 22 Aktivitäten der Glucosidase, einem Kohlenstoff lukrierendem Enzym, im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

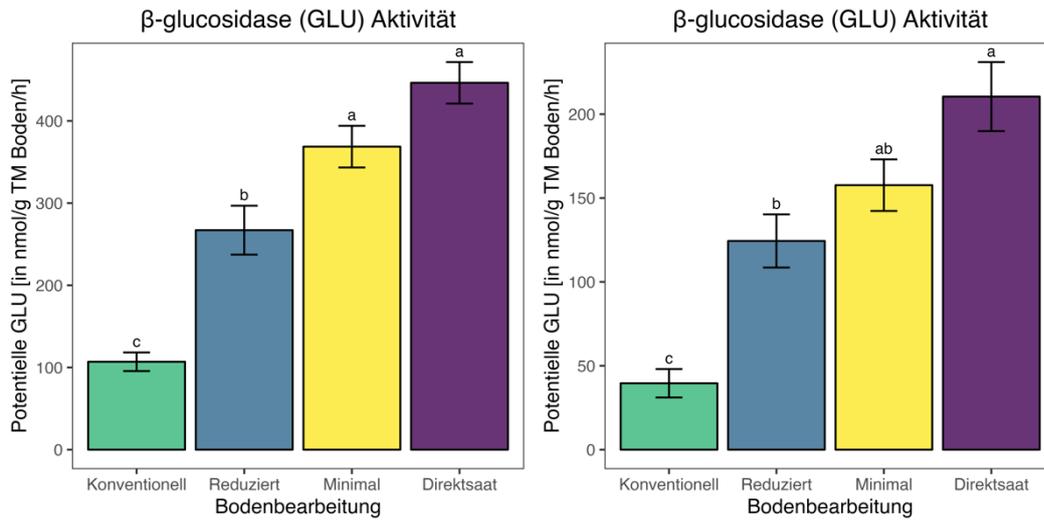


Abbildung 23 Aktivitäten der Glukosidase, einem Kohlenstoff lukrierendem Enzym, im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

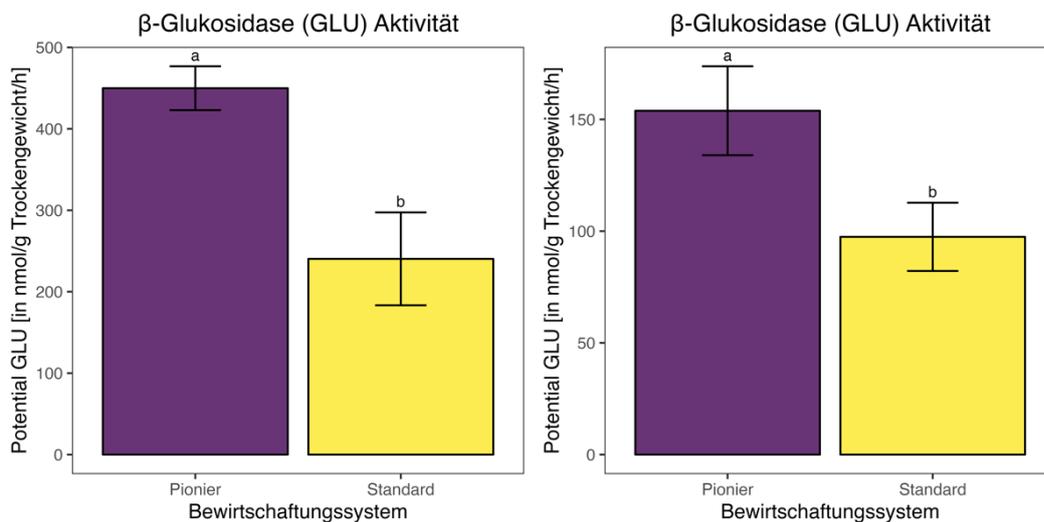


Abbildung 24 Aktivitäten der Glukosidase, einem Kohlenstoff lukrierendem Enzym, der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2023 (links) und 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

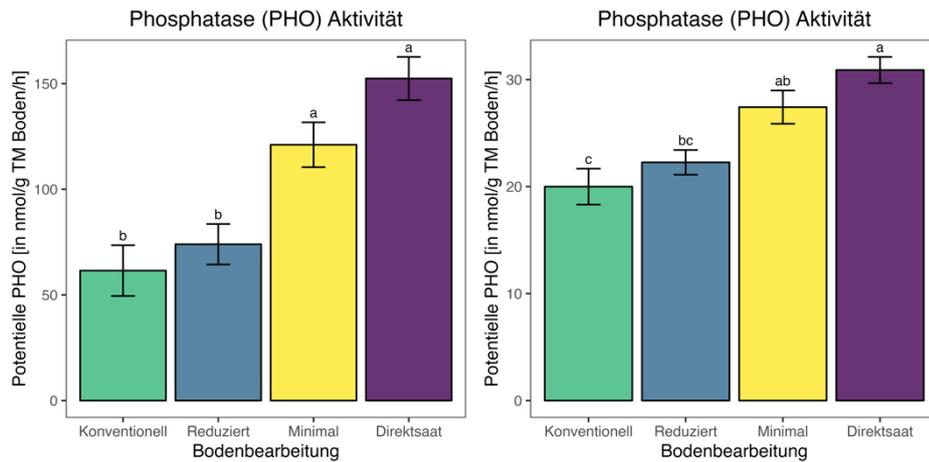


Abbildung 25 Aktivitäten der Phosphatase im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

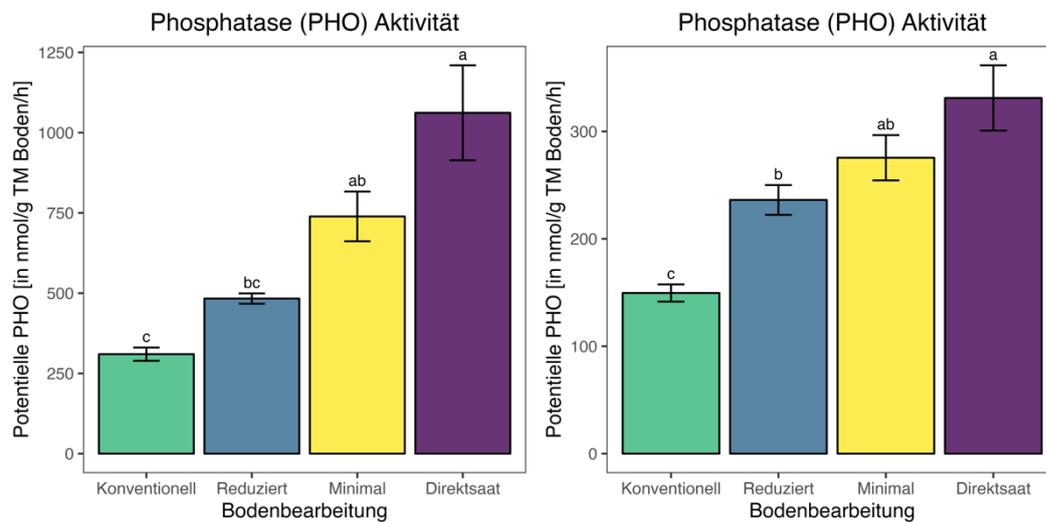


Abbildung 26 Aktivitäten der Phosphatase im Feldversuch von Pyhra Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

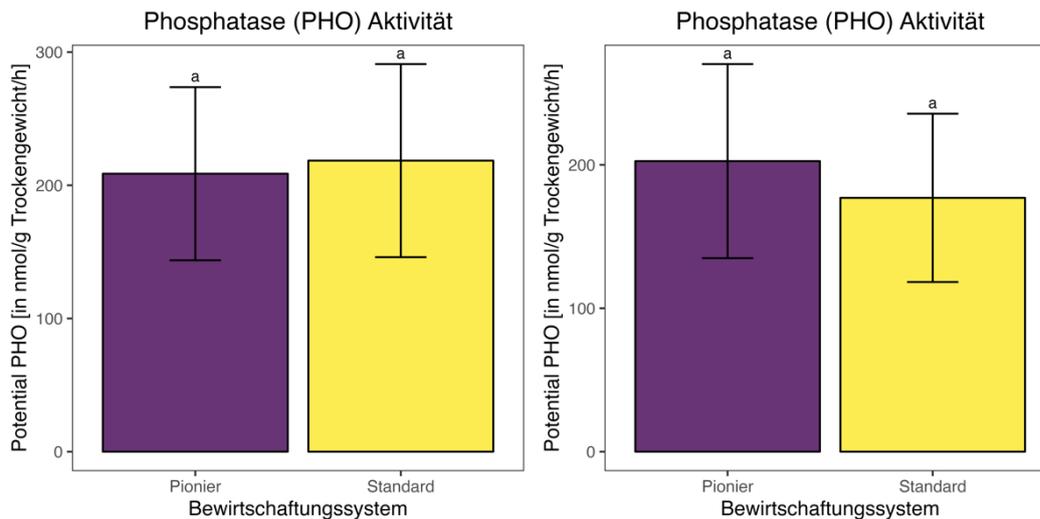


Abbildung 27 Aktivitäten der Phosphatase der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2023 (links) und 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

d. Aggregatstabilität

Die Stabilität der Bodenaggregate veranschaulicht, in gewissem Maße, in welchem Umfang biologische, wie auch geochemischen Prozesse die poröse organo-mineralische Bodenmatrix geschaffen haben, zusammenhalten und dadurch langfristig konservieren. Die Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungen waren für Hollabrunn und Pyhra signifikant und deckungsgleich mit den vorangegangene Ergebnissen.

Anzumerken ist jedoch, dass eine sehr starke Durchwurzelung die Aggregatstabilität verringert. Mechanische Zerkleinerung sowie die von der Wurzel abgegebene organischen Säuren und der, auf die räumliche Ausdehnung bezogene, sehr hohe Nährstoffbedarf in der Rhizosphäre könnten hierfür verantwortlich sein. Dies könnte für die Beobachtungen in den Betriebsstandorten verantwortlich sein. Hier war der Unterschied zwischen Standard und Pionierflächen zwar nicht signifikant. Aber die Aggregate der Pionierflächen waren tendenziell instabiler.

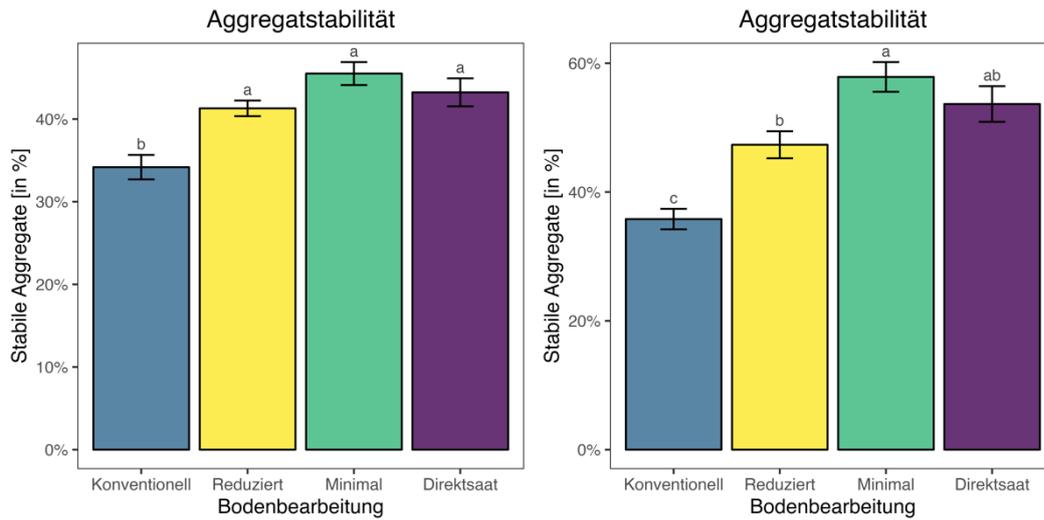


Abbildung 28 Aggregatstabilität im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

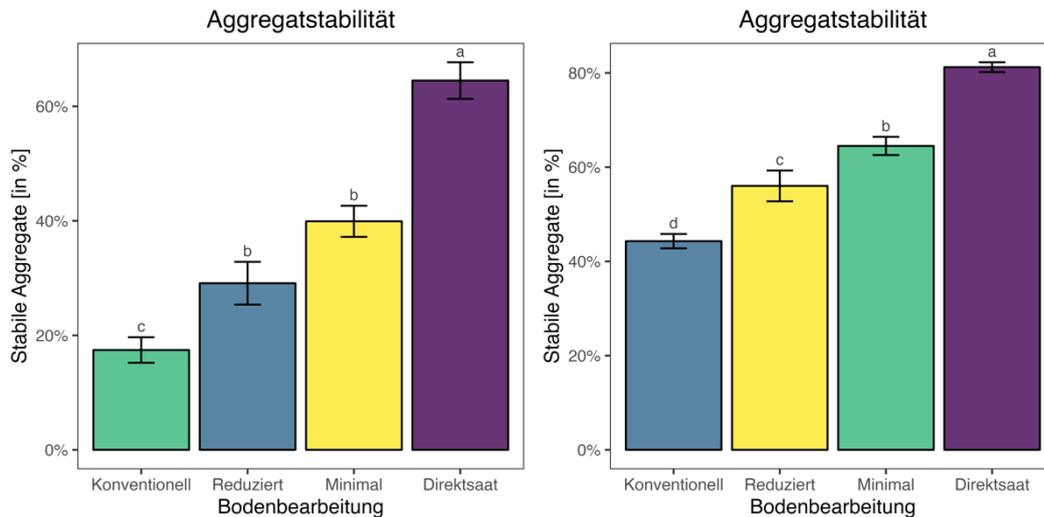


Abbildung 29 Aggregatstabilität von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments (n = 6; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

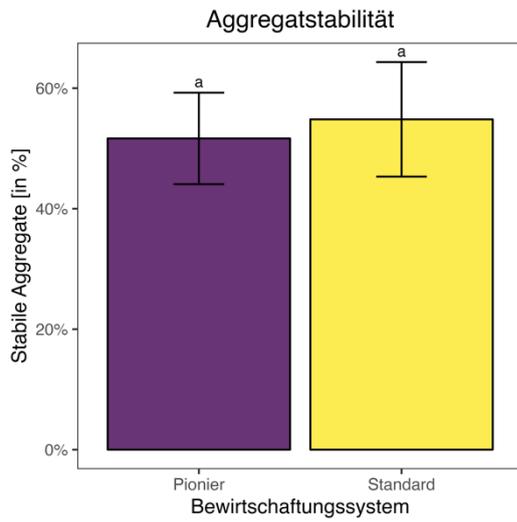


Abbildung 30 Aggregatstabilität der Betriebsstandorte Gerolding, Grübern, Rodingersdorf, Steinabrunn, Stockerau, und Umbach 2023 (links) und 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte der einzelnen Treatments ($n = 6$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

3. Begrünungsvarianten

Bodenkohlenstoff und-stickstoffgehalt

Neben abgestorbenen Pflanzenmaterial sind Wurzelausscheidungen eine wichtige und leicht zugängliche Energieressource für Bodenlebewesen. Zwischenfrüchte können hierdurch Nahrungslücken von Mikroorganismen überbrücken und fördern so die biologische Leistungsfähigkeit des Bodens. Entstehen zeitliche Lücken in der Energieversorgung, wird die mikrobielle Gemeinschaft dahingehend limitiert, dass nur mehr effizient haushaltende Mikroorganismen mit geringerem Energiebedarf erhalten bleiben und somit die Funktionen des Bodens ebenso eingeschränkt werden. Die Leistung des Bodenlebens, also die Arbeit (z.B. Substratspaltung, Wachstum, Atmung) geschieht mithilfe der über die Pflanzen bereit gestellten Energie. Ob hierdurch Humusaufbau betrieben wird, hängt davon ab, ob dem System Boden mehr Energie zugeführt wird, als es verbraucht und abgibt und dies ist neben Umweltbedingungen von Faktoren wie der Vegetationsdichte und -diversität, Nährstoffmengen und -verhältnissen u.v.a. abhängig.

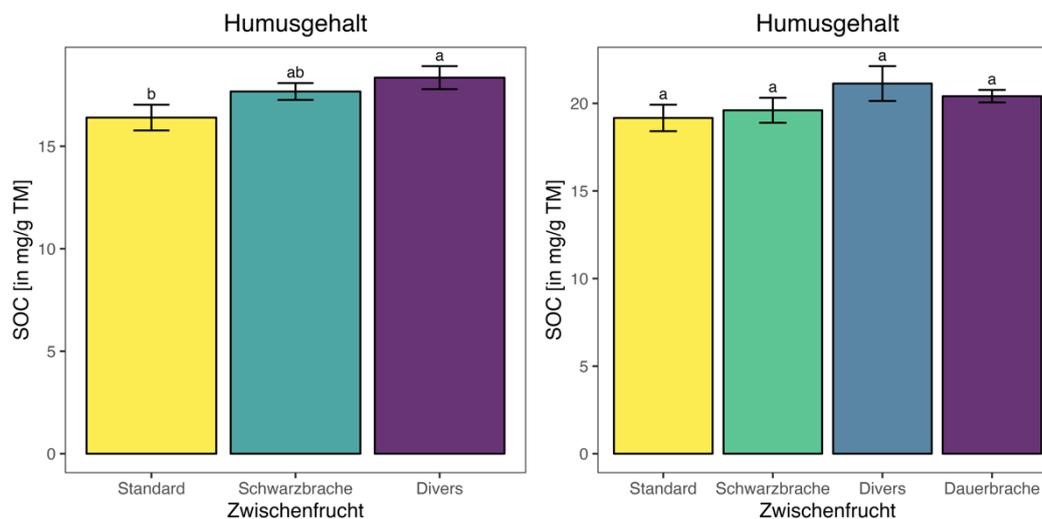


Abbildung 31 Humusgehalt (organischer Kohlenstoff) im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

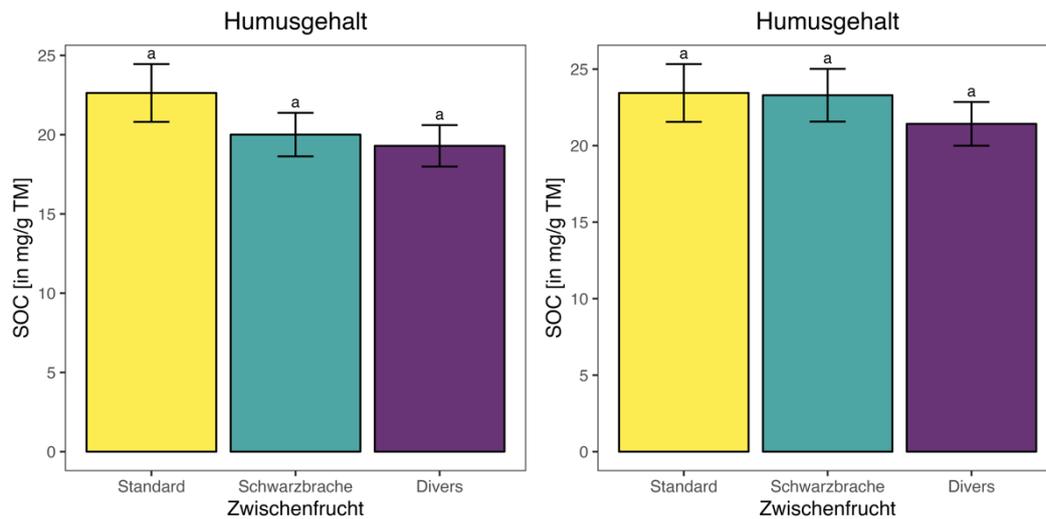


Abbildung 32 Humusgehalt (organischer Kohlenstoff) im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

Die Unterschiede in organischen Kohlenstoff und gesamten Stickstoff waren in Hollabrunn und in Pyhra, bezogen auf die Begrünungen, nicht signifikant. Dies war bedingt durch die Streuung der Daten durch die verschiedenen Bodenbearbeitungen und womöglich dadurch, dass beide Parameter über diesen kurzen Zeitraum nicht sensibel genug waren. Eine allgemeingültige Zwischenfrucht-bezogene Aussage hinsichtlich des Humusaufbaus kann somit anhand dieser Ergebnisse nicht getroffen werden.

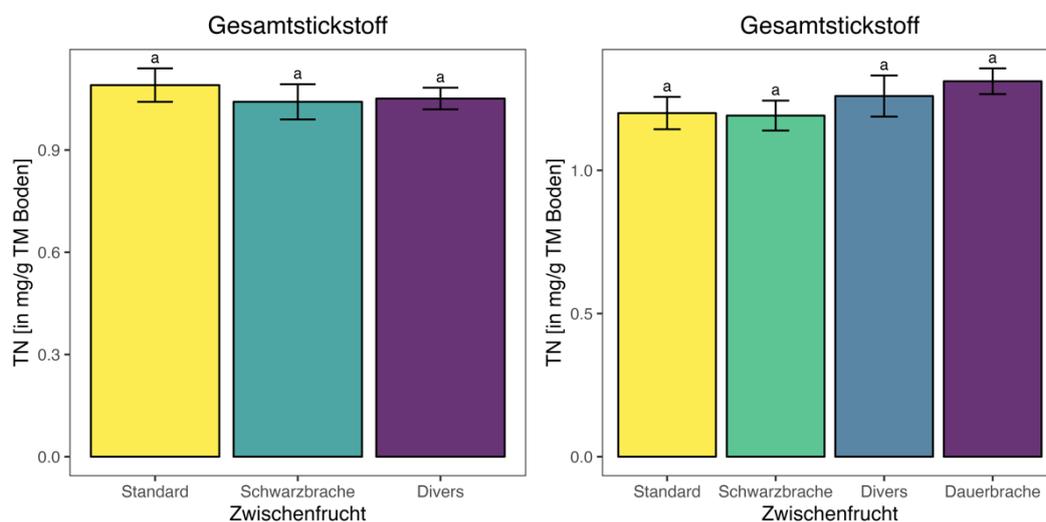
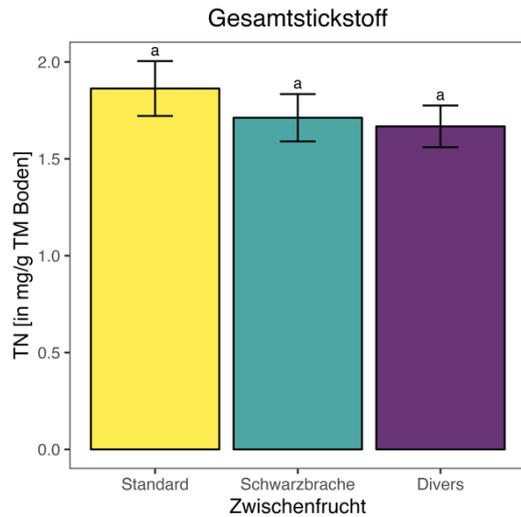


Abbildung 33 Gesamtstickstoff im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

Gesamtstickstoff Pyhra 10/2022



10/2023

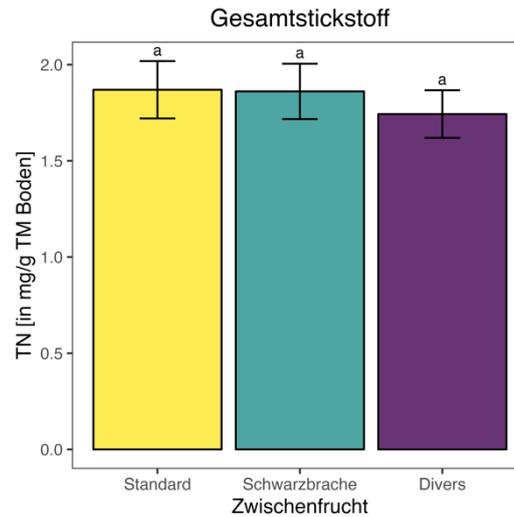


Abbildung 34 Gesamtstickstoff im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

Hinsichtlich der Mineralisierung in verschiedenen Begrünungen kann keine unterstützende Aussage getroffen werden, da sich im gelösten Kohlenstoff keine signifikanten Unterschiede zeigen. Aber, in den Zeiträumen mit stärkerem Einfluss der Zwischenfrucht sind die mikrobielle Biomasse und der gelöste Kohlenstoff, wie auch Stickstoff, gegenläufig verteilt. Dies deutet darauf hin, dass die höhere Menge an Mikroorganismen ebenso mehr an gelösten Substanzen konsumiert und somit Unterschiede an gelöstem Kohlen- und Stickstoff schwinden.

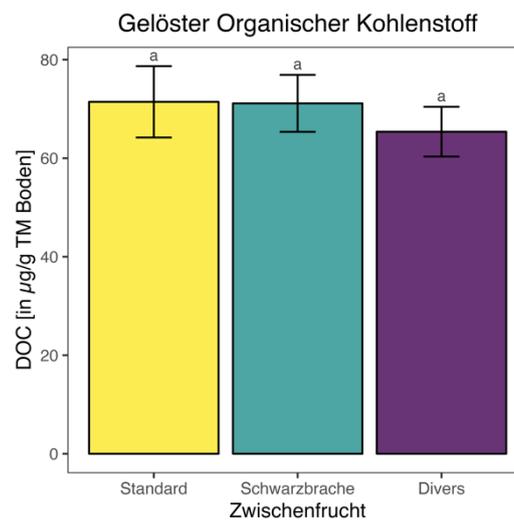
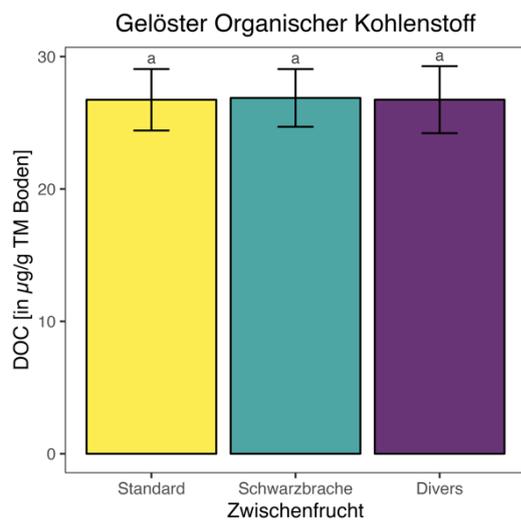


Abbildung 35 Gelöster organischer Kohlenstoff im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

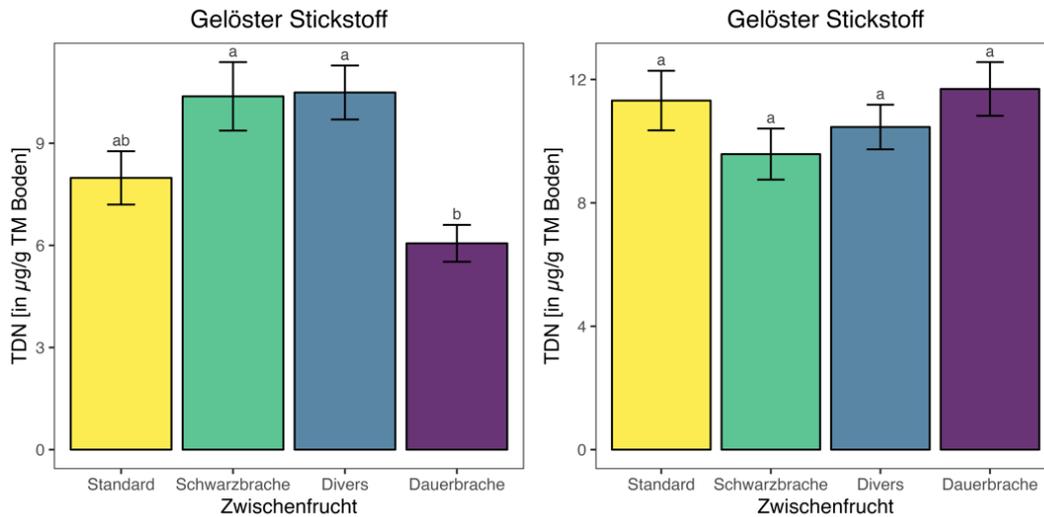


Abbildung 36 Gelöster Stickstoff im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

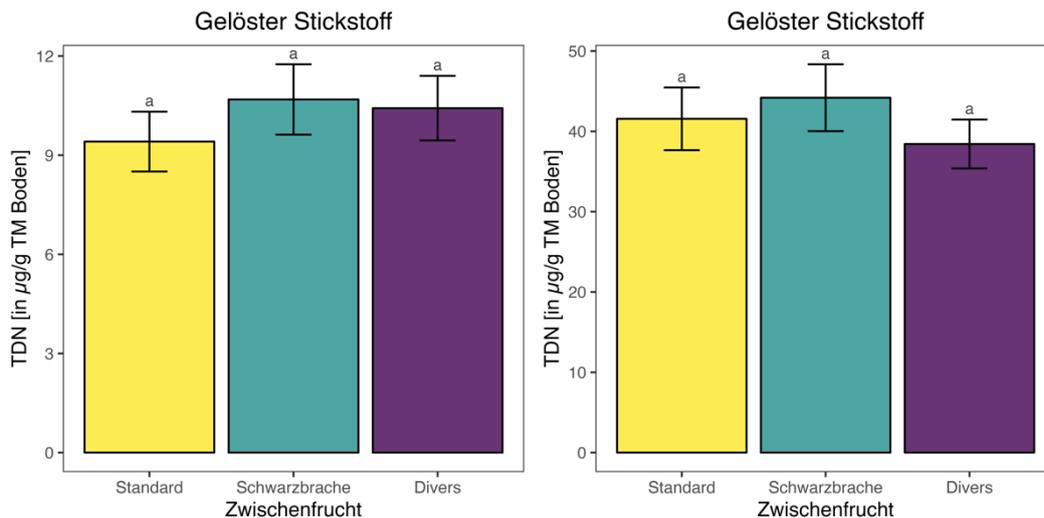


Abbildung 37 Gelöster Stickstoff im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

Ebenso im gelösten Stickstoff zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezogen auf die Begrünungen. Im Herbst 2023 in Hollabrunn war lediglich die Grünbrache vegetationsabhängig niedriger. Auf Grund der hohen Sensibilität des gelösten Kohlen- und Stickstoffs gegenüber der Bodenbearbeitungen kommt dem Einfluss von Zwischenfrüchten vergleichsweise weniger Bedeutung zu.

a. Mikrobielle Biomasse

Die mikrobielle Biomasse wurde allerdings durch die Begrünungen unterstützt, wobei dieser Effekt im Verlauf der Hauptfrucht wieder verschwand (siehe Pyhra 2023 nach Mais). Zu beachten ist hierbei der negative Aspekt des Anbaus der Zwischenfrucht auf die Bodenverdichtung. Da es in den Brachflächen zumindest eine Überfahrt weniger gab, kann dies die mikrobielle Biomasse während der Mineralisierung der Hauptfruchtüberreste begünstigen.

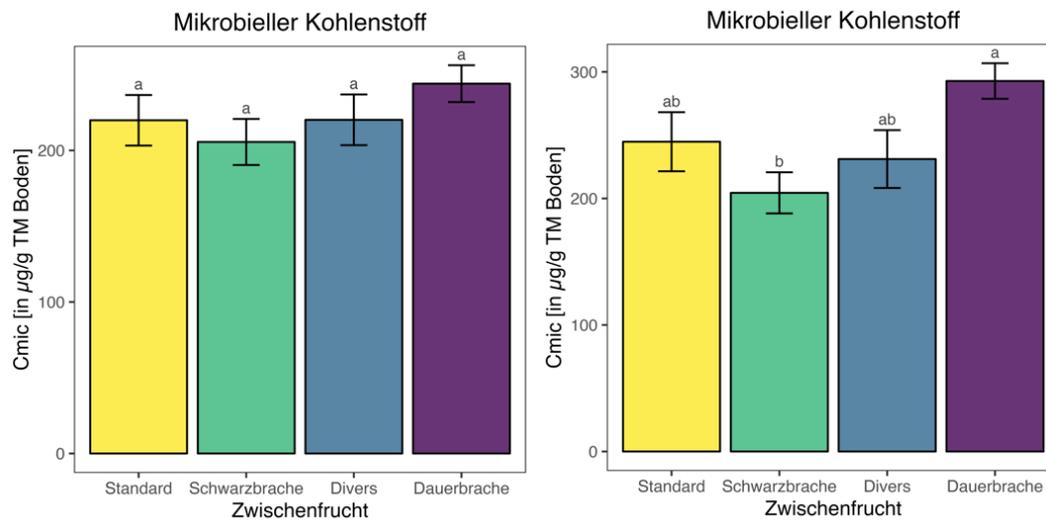


Abbildung 38 Kohlenstoff in der mikrobiellen Biomasse im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

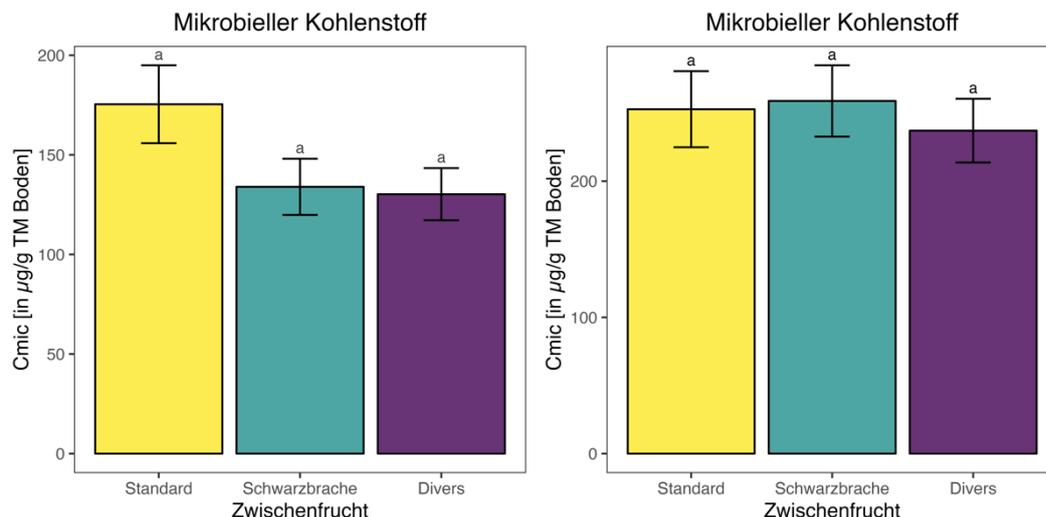


Abbildung 39 Kohlenstoff in der mikrobiellen Biomasse im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

b. Mikrobielle Aktivität

Die potentiellen enzymatischen Aktivitäten des Bodens sind, wie schon erwähnt, Indikatoren für im Boden stattfindende, Nachfrage abhängige Mineralisierungsprozesse. Ihr Vorkommen ist jedoch Bedarfs-, bzw. Nachfrage gesteuert, da die Produktion von Enzymen für die Produzenten (Pflanze, Pilz, Bakterium, etc.) sehr energieaufwendig ist. Leider wurden wenig signifikante Beobachtungen gemacht. In Pyhra gab es, wohl aufgrund der relativen Ähnlichkeit der Zwischenfruchtmischungen (beide enthielten Leguminosen), zumindest gar keine signifikanten Unterschiede. Vergleicht man jedoch Hollabrunn nach der Zwischenfrucht 2022 mit 2023 nach Winterweizen, lässt sich die Systematik gut erklären. Je nach Bestandesstärke, benötigt die Vegetation mehr oder weniger Nährstoffe. Die Standard Zwischenfrucht braucht mehr Nährstoffe als die Brachfläche und produziert demnach mehr Enzyme. Die diverse Zwischenfrucht fixiert Stickstoff, daher sind die Stickstoff lukrierende Enzymaktivitäten (Leuzin-Aminopeptidase und Glukosaminidase) eher gering. Ebenso sind Wurzelausscheidungen von Leguminosen generell Mengenmäßig anderen Pflanzen überlegen, was sich auch bei der Glukosidase wider spiegelt. Nach dem Winterweizen, zu Beginn des Zwischenfruchtwachstums 2023, ist in der diversen Zwischenfrucht mehr gelöster und auch Gesamtstickstoff vorhanden und der Bestand war dichter. Der höhere Nährstoffbedarf der Kultur spiegelt sich wieder.

In Pyhra sind diese Ergebnisse ebenso, wenn auch nur tendenziell, zu beobachten. Nur kommen hier die Tatsachen hinzu, dass beide Zwischenfruchtmischungen Leguminosen in unterschiedlichen Mengen enthielten und dass im unteren Streifen des Feldes, in der diversen Zwischenfrucht, auch die Erträge am höchsten sind, da hier auch der Boden tiefgründiger und feuchter ist.

Im Vergleich zur Grünbrache, in Hollabrunn, zeigt sich stets im Herbst eine Annäherung der Begrünungsvarianten an das Aktivitätsniveau der Grünbrache, wobei nach dem Winter die Aktivitäten in den Begrünungsvarianten aufgrund geringerer Vegetationsproduktivität allesamt signifikant niedriger sind. Das war bei allen Enzymen in Hollabrunn der Fall, die Phosphatase ausgenommen.

Die Phosphatase ist eine Sonderfall, da Phosphat nicht nur von organischem Material, sondern auch von Eisenoxiden mobilisiert werden kann. Für Ersteres ist die hydrolytische Spaltung der Phosphatgruppe über Enzyme notwendig. Eisenoxidbindungen sind stärker, aber hierfür reicht es aus, die dreiwertigen Eisenoxide zu reduzieren um das daran gebunden Phosphat in Lösung zu bringen. Gräser können dies über Siderophore bewerkstelligen. Organische Säuren, wie Zitrat, sind hierbei ebenfalls dienlich und werden von vielen Pflanzenarten, aber verstärkt von Leguminosen abgegeben, da diese für die Stickstofffixierung sehr viel Phosphat benötigen. Daher sind die Phosphatase Aktivitäten in den diversen Zwischenfruchtmischungen fast durchgehend, wenn auch nur tendenziell, niedriger als in den anderen beiden Begrünungsvarianten.

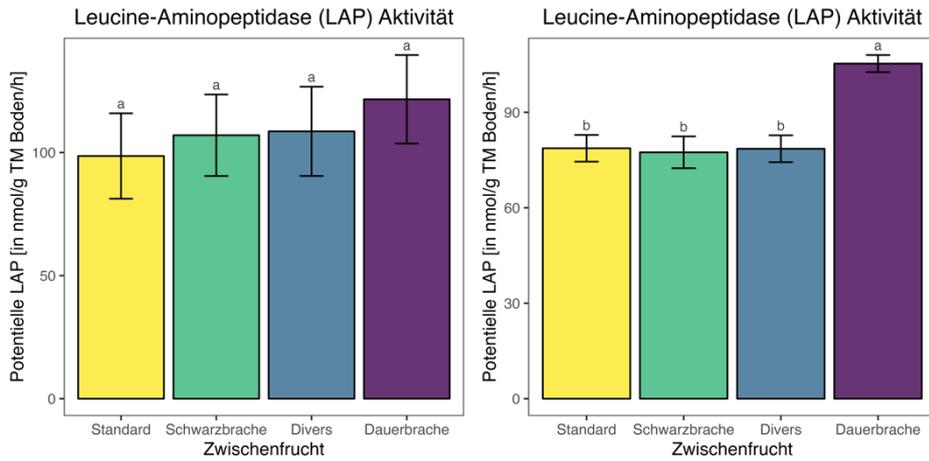


Abbildung 40 Aktivitäten der Leuzin-Aminopeptidase im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

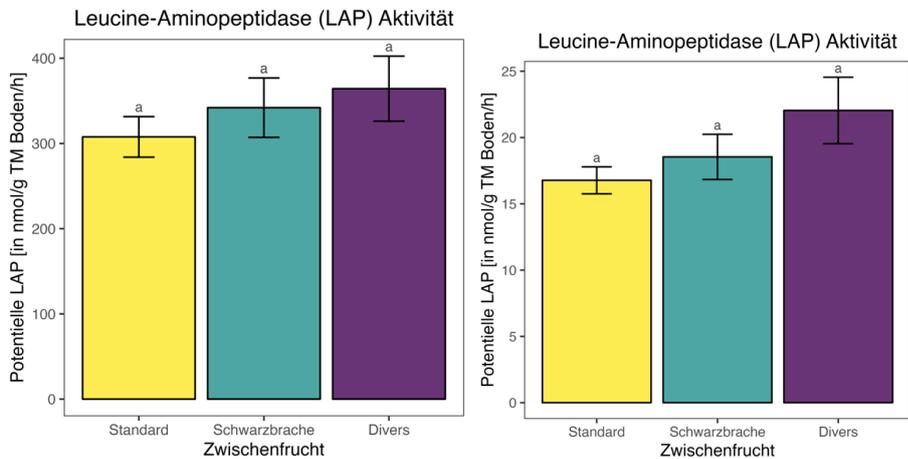


Abbildung 41 Aktivitäten der Leuzin-Aminopeptidase im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

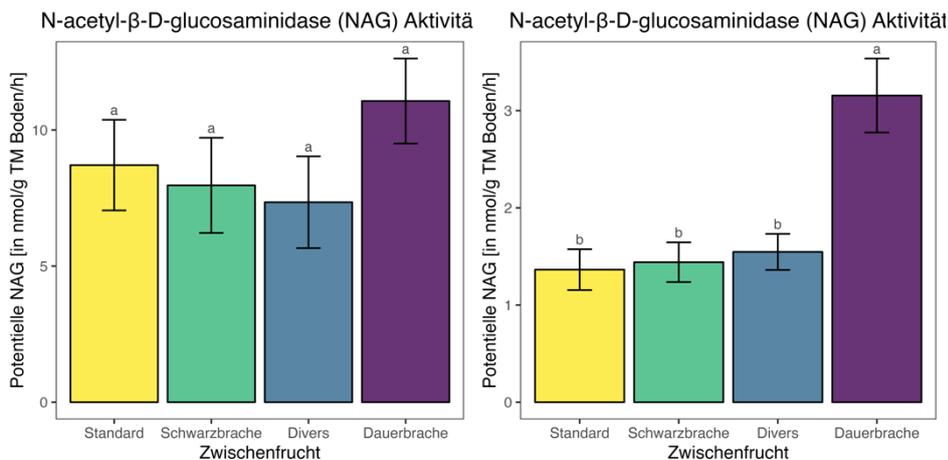


Abbildung 42 Aktivitäten der Glucosaminidase, einem Stickstoff lukrierendem Enzym im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller

Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

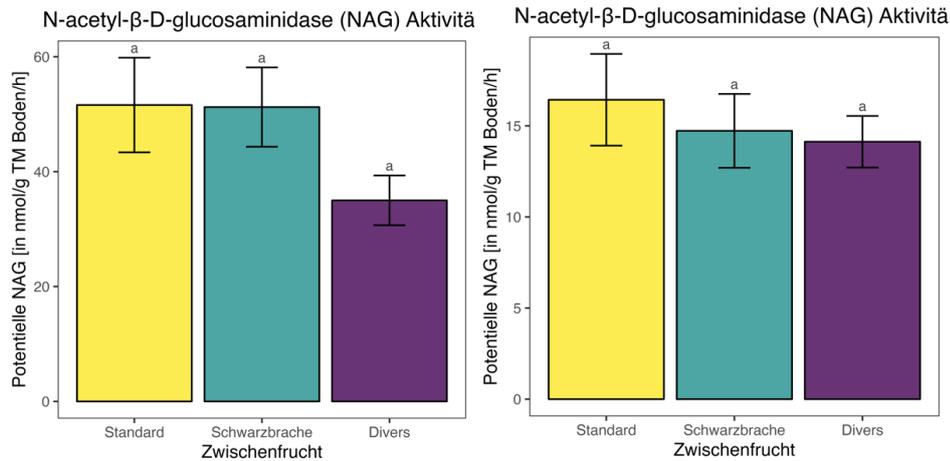


Abbildung 43 Aktivitäten der Glucosaminidase, einem Stickstoff lukrierendem Enzym im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

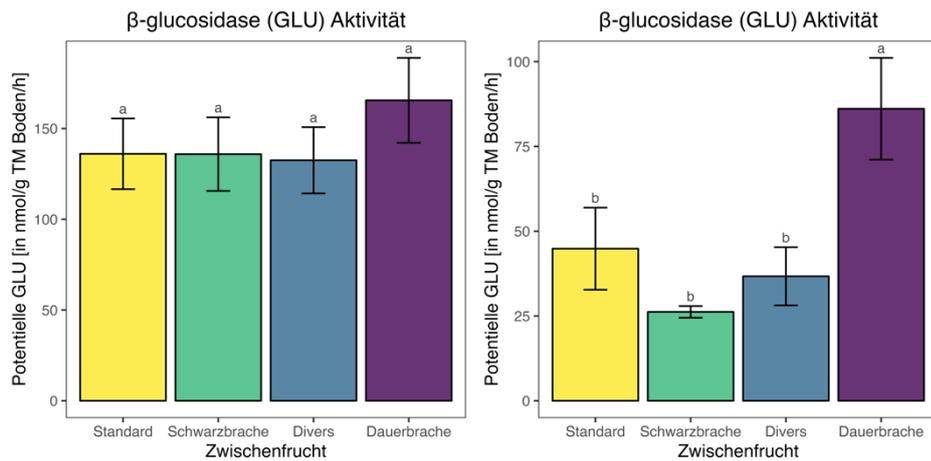


Abbildung 44 Aktivitäten der Glucosidase, einem Kohlenstoff lukrierendem Enzym, im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

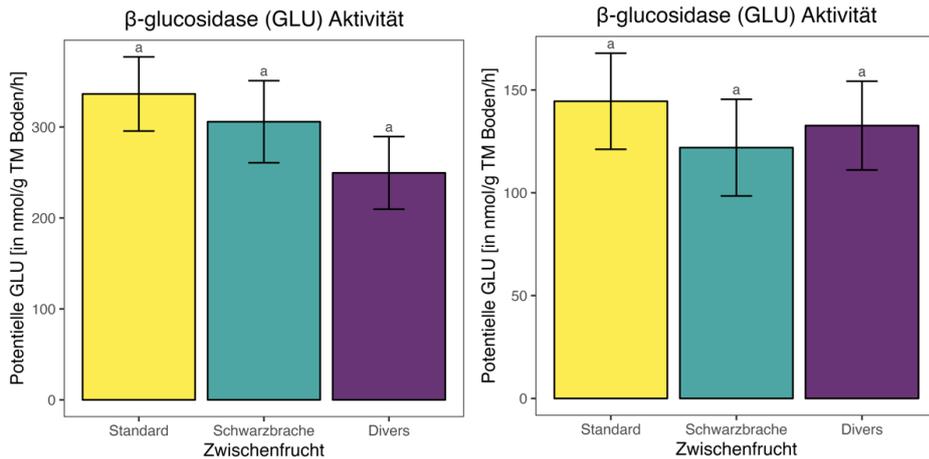


Abbildung 45 Aktivitäten der Glukosidase, einem Kohlenstoff lukrierendem Enzym, im Feldversuch von Pyhra im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

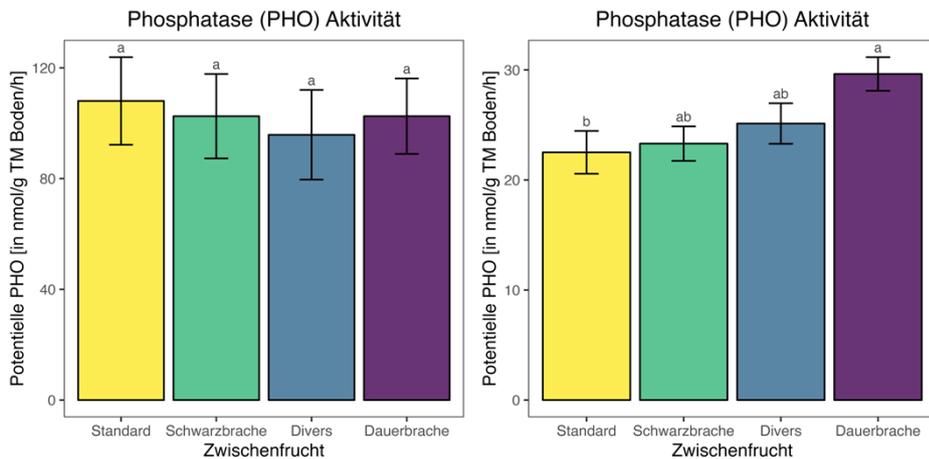


Abbildung 46 Aktivitäten der Phosphatase im Feldversuch von Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten (n = 12; ± Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test (p < 0.05).

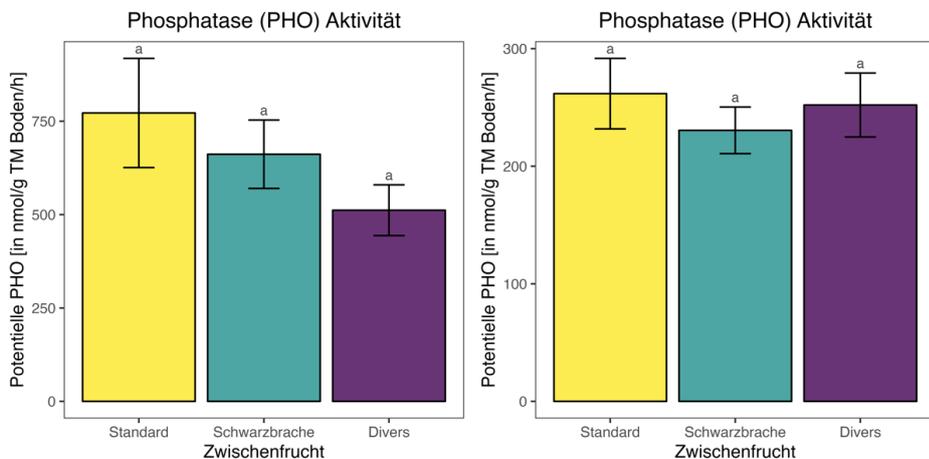


Abbildung 47 Aktivitäten der Phosphatase im Feldversuch von Pyhra Hollabrunn im Oktober 2023 (links) und im März 2024 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die

einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

c. Aggregatstabilität

Wurzelaktivitäten wie Nährstoffaufnahme und Abgabe organischer Säuren können, wie bereits erwähnt, die Stabilität der Aggregate verringern. Die hier erarbeiteten Daten zur Aggregatstabilität in unterschiedlichen Begrünungen waren allerdings nicht signifikant und zeigten lediglich tendenzielle Änderungen. Jedoch, die pfluglose Bodenbearbeitung kann zu Verbesserungen der Bodenstruktur, zum Humusaufbau und zur Verbesserung des Bodenlebens führen, da die Mineralisierung verlangsamt und die Menge an Lebensräumen und Ressourcen für das Bodenleben erhöht wird. Dies führte, in diesem Projekt, zu einer Verschiebung in der mikrobiellen Gemeinschaft.

Voraussetzung für die Praxis ist, dass sich, als Ersatz zur Bodenbearbeitung, biologische Prozesse etablieren (Wurzeln, Bodenlebewesen, Mikroorganismen), die diese Aufgaben übernehmen und dies kann je nach Standort einige Zeit in Anspruch nehmen.

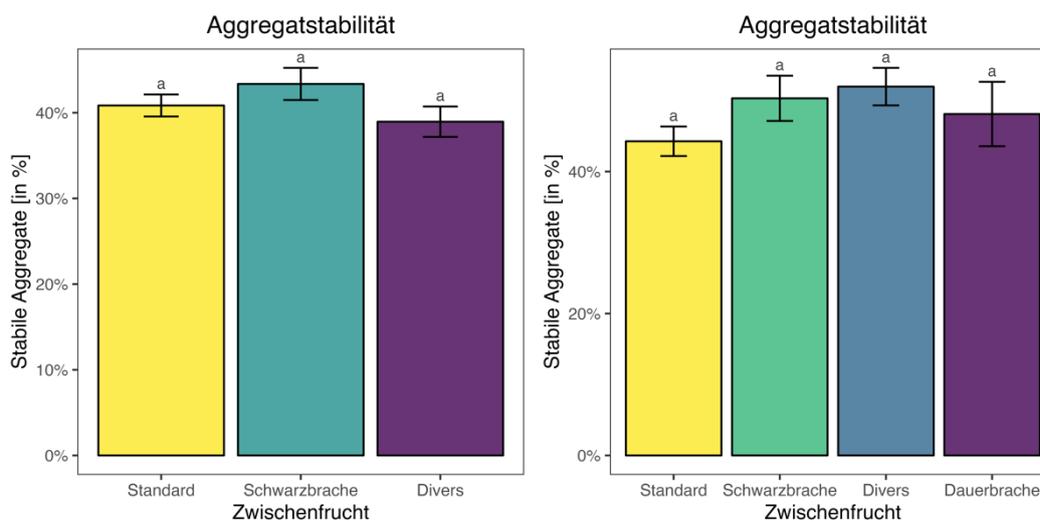


Abbildung 48 Aggregatstabilität im Feldversuch von Hollabrunn im Mai 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

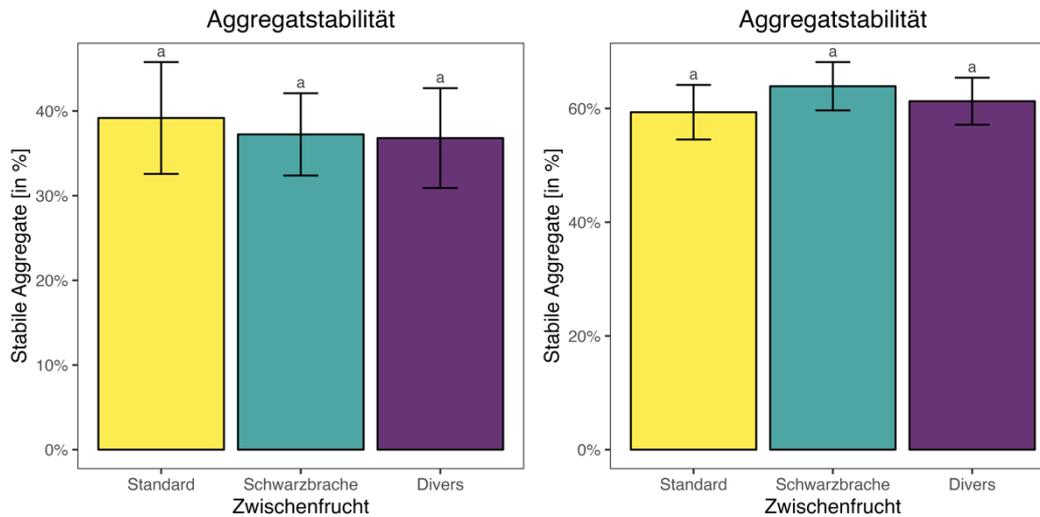


Abbildung 49 Aggregatstabilität von Pyhra im Oktober 2022 (links) und im Oktober 2023 (rechts). Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Begrünungsvarianten ($n = 12$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

d. Kohlenstoffnutzungseffizienz

Im saisonalen Vergleich betrachtet (Abbildung 50) war das Bakterienwachstum signifikant durch die Begrünung gesteigert. Das tendenziell erhöhte bakterielle Wachstum in der konventionellen Bewirtschaftung war wahrscheinlich durch die schnellere Mineralisierung durch Einarbeitung der Zwischenfrucht im Frühjahr bedingt. Im Gegensatz zu den Bakterien wuchsen die Pilze unabhängig von der Begrünung, mit abnehmender Bodenbewirtschaftung umso stärker. Die Bodenatmung als Resultat mikrobieller Aktivität stieg mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität und war ebenso in den Zwischenfrüchten höher. Die Kohlenstoffnutzungseffizienz sank mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität, unbeeinflusst von Zwischenfrüchten. Dies ließ auf eine aktivere, aber ineffizientere Mikroorganismengemeinschaft mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität schließen.

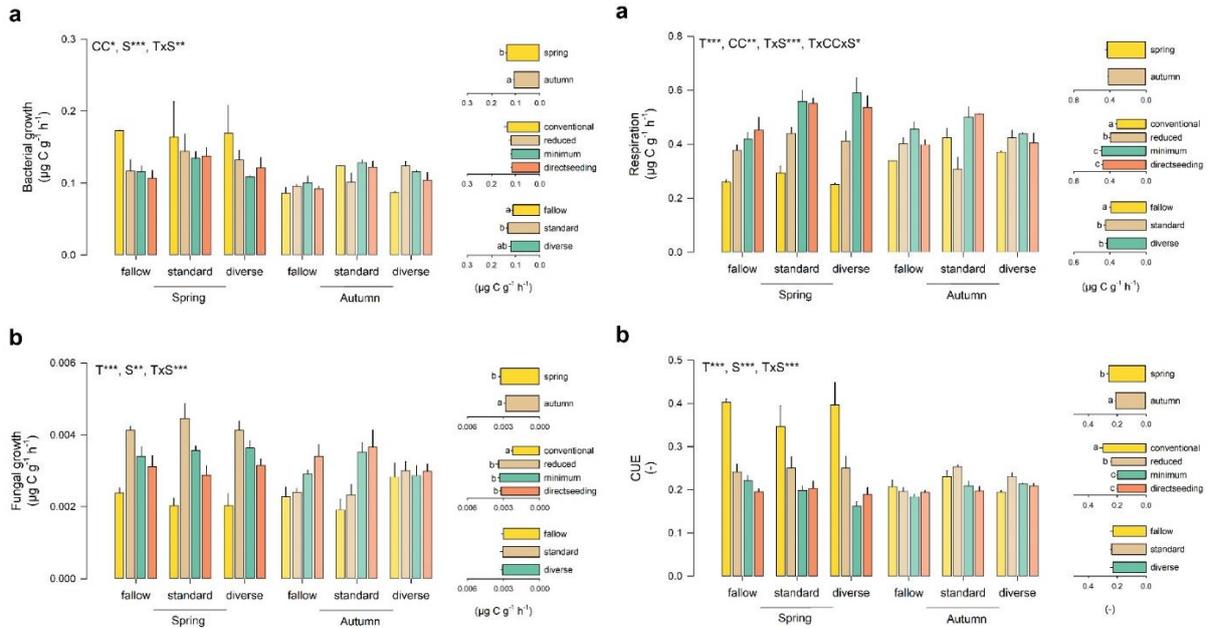


Abbildung 50 Das Bakterienwachstum (links, a), Pilzwachstum (links, b), die Bodenatmung (rechts, a) und die Kohlenstoffnutzungseffizienz (rechts, b) vom Feldversuch in Hollabrunn im Frühjahr 2024, nach der Zwischenfrucht, und Herbst 2024, nach der Maisernte, im zeitlichen Vergleich. Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Zwischenbegrünungsvarianten ($n = 6$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

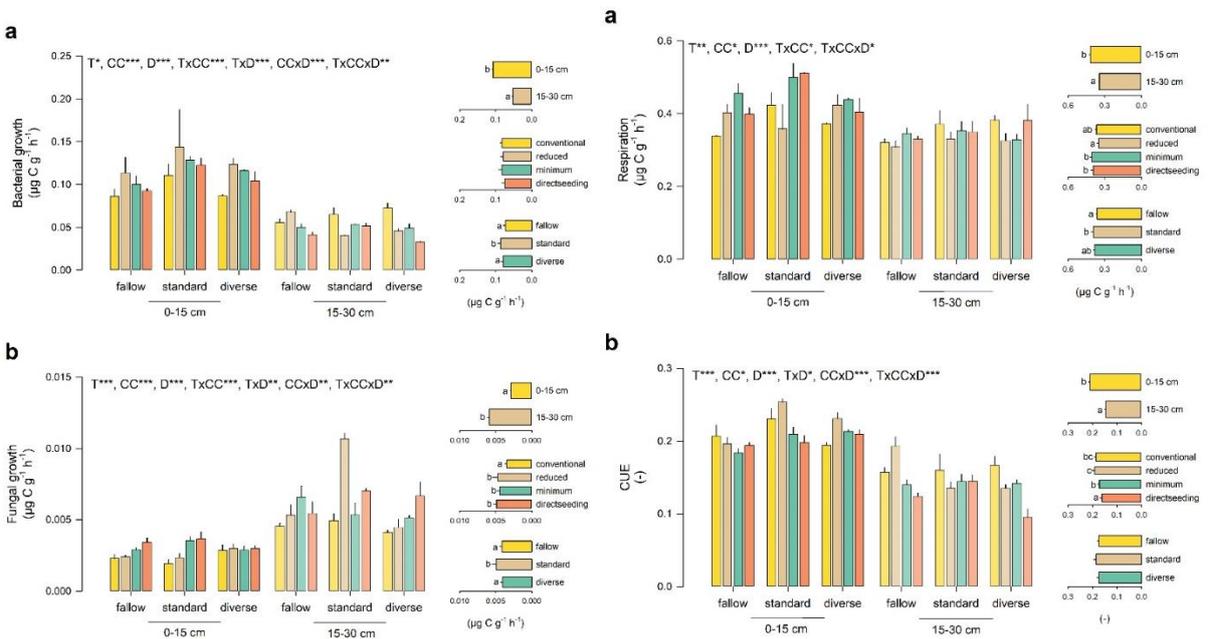


Abbildung 51 Das Bakterienwachstum (links, a), Pilzwachstum (links, b), die Bodenatmung (rechts, a) und die Kohlenstoffnutzungseffizienz (rechts, b) vom Feldversuch in Hollabrunn im Herbst 2024, nach der Maisernte, in zwei Tiefenstufen im Vergleich. Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Zwischenbegrünungsvarianten ($n = 6$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

Im Vergleich nach Tiefenstufen (Abbildung 51) betrachtet waren das Bakterienwachstum wie auch das Pilzwachstum signifikant durch die

Standardbegrünung In Hollabrunn gesteigert. Die Bodenbearbeitung hatte keinen Einfluss auf das Wachstum der Bakterien, jedoch wuchsen die Pilze mit abnehmender Bodenbewirtschaftung umso stärker. Die Bodenatmung stieg mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität und war ebenso in der Standardbegrünung höher. Die Kohlenstoffnutzungseffizienz sank mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität, unbeeinflusst von Zwischenfrüchten. Im Tiefenstufenvergleich fand sich im Unterboden ein geringeres Bakterienwachstum, aber ein höheres Pilzwachstum. Die Bodenatmung und die Kohlenstoffnutzungseffizienz waren wie das bakterielle Wachstum im Oberboden signifikant höher.

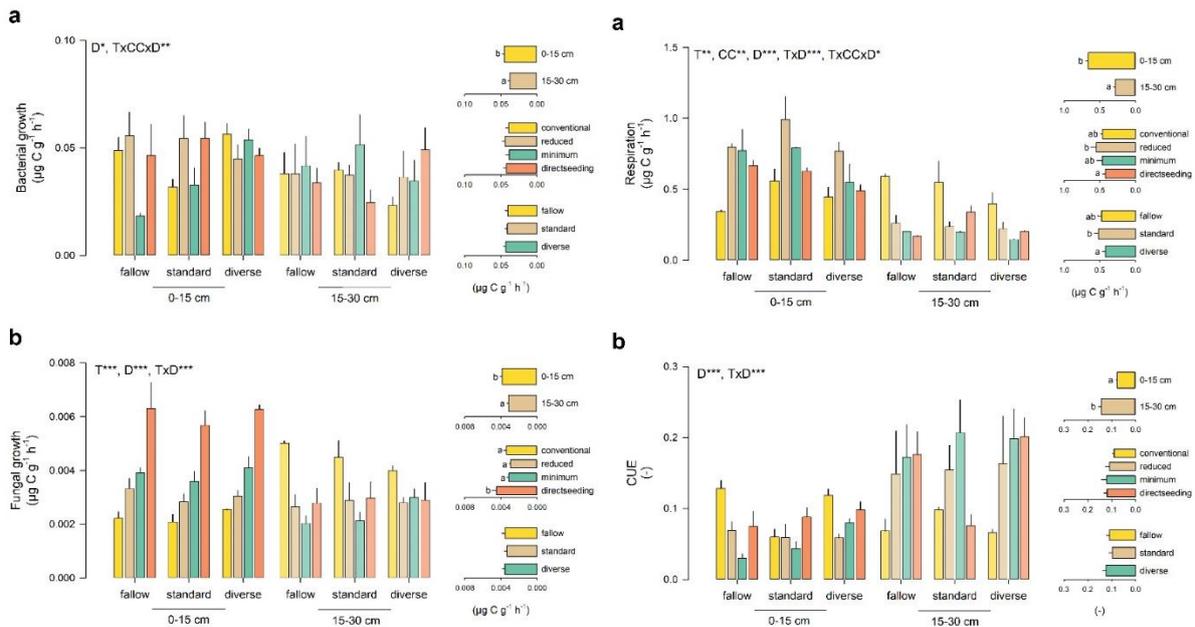


Abbildung 52 Das Bakterienwachstum (links, a), Pilzwachstum (links, b), die Bodenatmung (rechts, a) und die Kohlenstoffnutzungseffizienz (rechts, b) vom Feldversuch in Pyhra im Herbst 2024, im Wachstum der Zwischenfrucht, in zwei Tiefenstufen im Vergleich. Die Balken zeigen Mittelwerte aller Bodenbearbeitungen über die einzelnen Zwischenbegrünungsvarianten ($n = 6$; \pm Standardfehler). Buchstaben über den Balken beschreiben signifikante Unterschiede nach dem Tukey Test ($p < 0.05$).

Das Bakterienwachstum während der Zwischenfrucht in Pyhra (Abbildung 52) war weder von Bearbeitung, noch durch die Begrünung beeinflusst. Im Oberboden war das Bakterienwachstum jedoch höher. Das Wachstum der Pilze war im Oberboden stark durch abnehmende Bodenbewirtschaftung begünstigt, aber ebenso wenig von der Begrünung beeinflusst. Interessanterweise war das Pilzwachstum im Unterboden in der konventionellen Bearbeitung am höchsten. Dies kann durch die vorherigen Ernteerträge bedingt sein, die in konventioneller und reduzierter Bearbeitung am höchsten waren und demnach auch auf eine höhere Wurzelbiomasse schließen lässt. Die Bodenatmung als Resultat mikrobieller Aktivität war in der reduzierten Bewirtschaftung, wie auch in der Standard Begrünung am höchsten. Im Unterboden, ähnlich zu den Pilzen, war die Bodenatmung signifikant niedriger als im Oberboden, aber in der konventionellen Bewirtschaftung am aktivsten. Die Kohlenstoffnutzungseffizienz war weder von Bearbeitung, noch durch die Begrünung

signifikant beeinflusst. Jedoch ist das Bodenleben der pfluglosen Bearbeitungen im Unterboden effizienter als im Oberboden.

4. Zusammensetzung der mikrobiellen Community

In Hollabrunn differenzierte sich die Pilzgemeinschaft sich deutlich in drei Gruppen: (I) Grünland, (II) konventionell und (III) reduziert, minimiert und Direktsaat. Bei der Bakteriengemeinschaft unterschied sich zudem die diverse Zwischenfrucht von der Brache und der Standard Zwischenfrucht. Die Vegetationsintensität spielte bei der bakteriellen Zusammensetzung also eine Rolle.

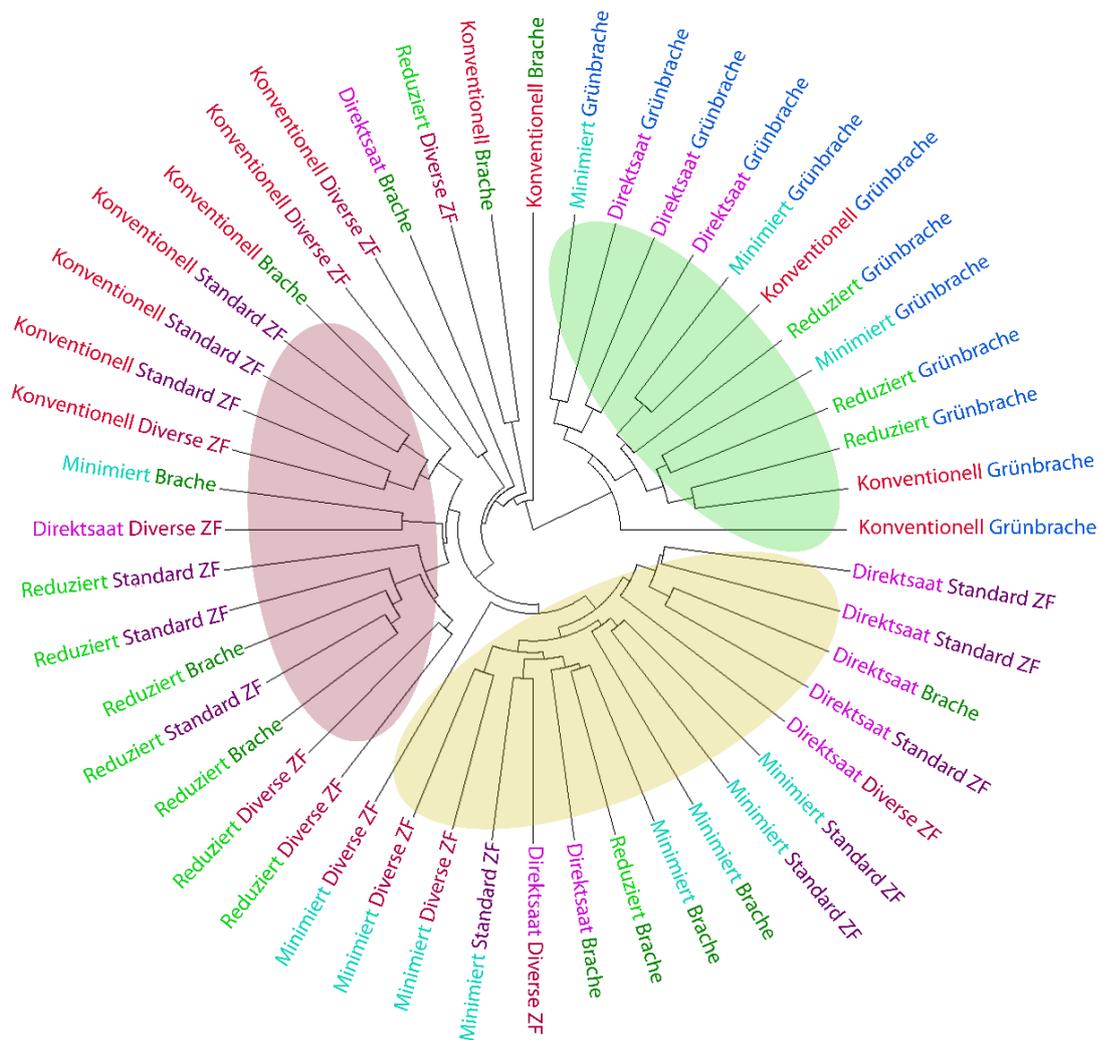


Abbildung 53 Kreisendogramm der Pilzgemeinschaft in Hollabrunn im Frühjahr 2022 zu Wachstumsbeginn von Soja.

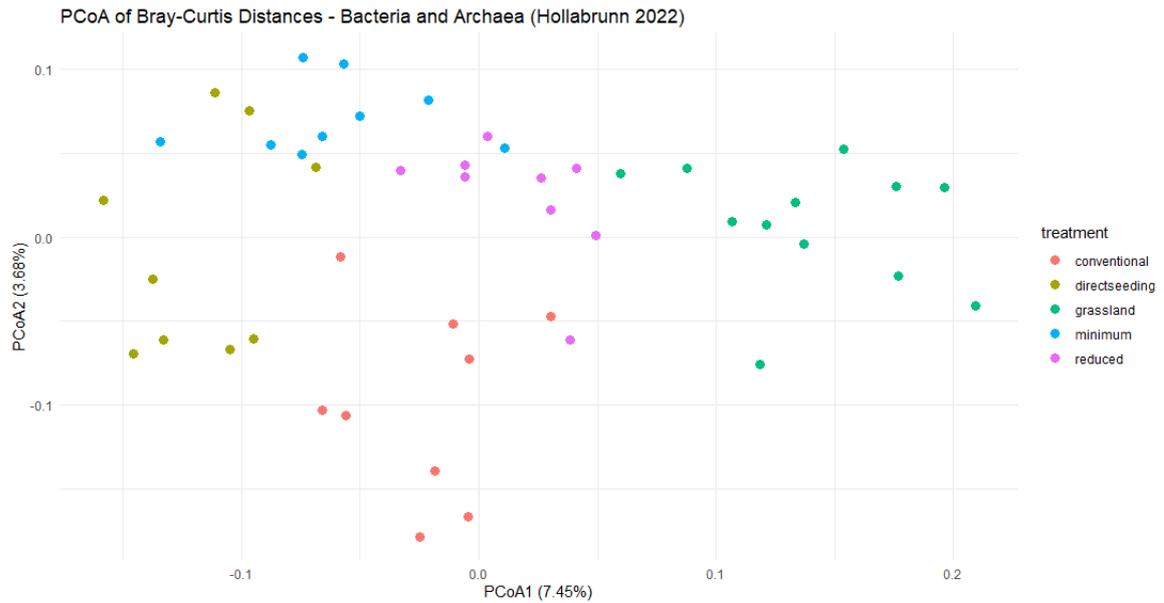


Abbildung 54 Hauptkoordinatenanalyse der Bakteriengemeinschaft vom Feldversuch in Hollabrunn 2022 zu Wachstumsbeginn von Soja.

Unter separater Betrachtung des Grünlandes differenzierte die Bakteriengemeinschaft ebenso bezogen auf die Bodenbearbeitung signifikant ($R^2 = 0.14757$). Durch die Bodenparameter konnten 19.82 % der Varianz in der Community erklärt werden. Die wichtigsten Faktoren waren der Wassergehalt, DOC, Gesamtstickstoff und der organische Kohlenstoff.

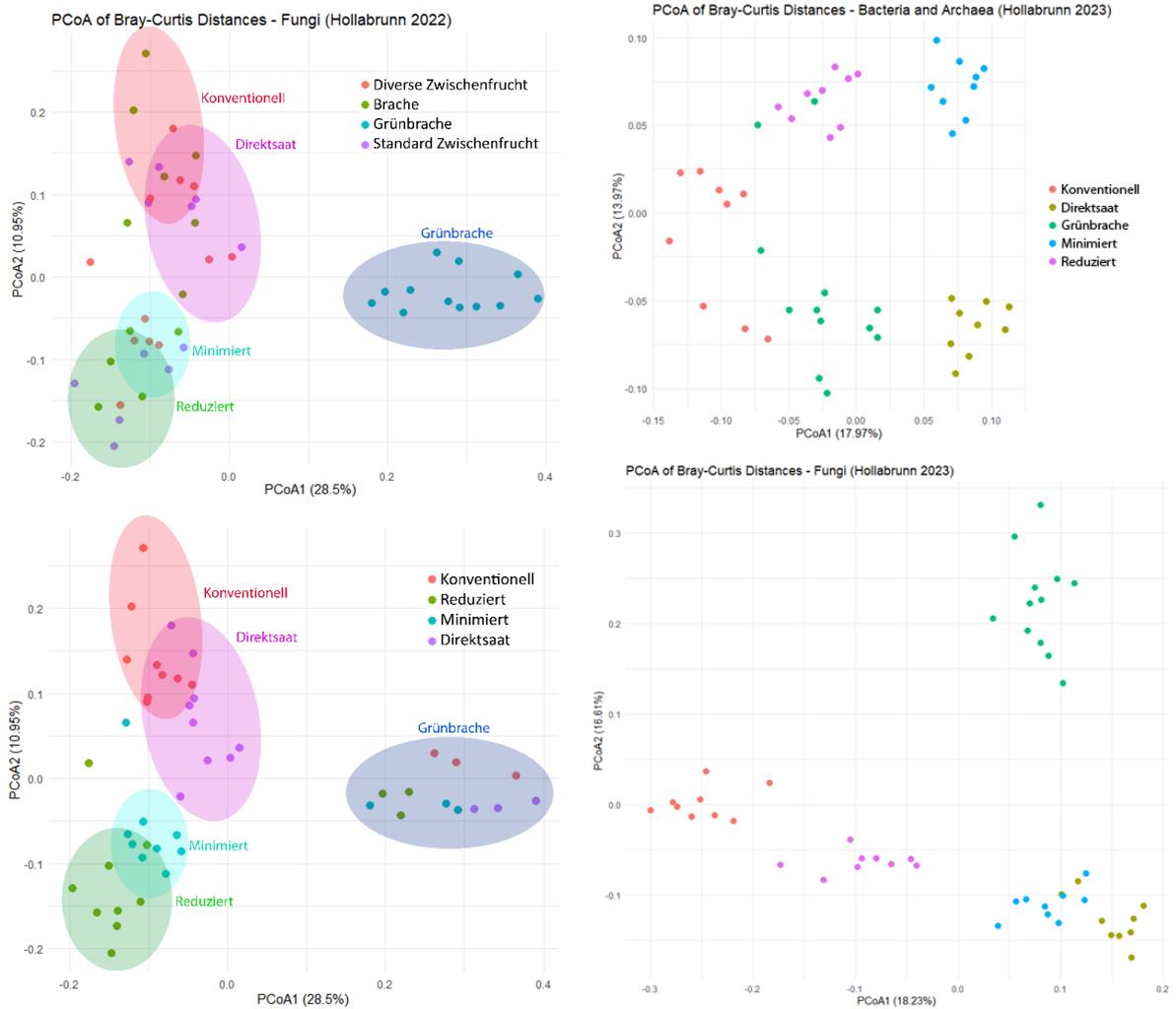


Abbildung 55 Hauptkoordinatenanalyse vom Feldversuch in Hollabrunn 2022 zu Wachstumsbeginn von Soja (links) und 2023 nach Winterweizen, zu Beginn der Zwischenfrucht (rechts).

Die Pilzgemeinschaften im Mai 2022 in Hollabrunn unterschieden sich hinsichtlich der Zwischenfrüchte ($R^2 = 0.29978$) und hinsichtlich der Bodenbearbeitung signifikant ($R^2 = 0.15486$). Besonders bei separater Betrachtung der Grünbrache grenzten sich die Bodenbearbeitungen gut voneinander ab ($R^2 = 0.4318$).

Durch die Bodenparameter Wassergehalt, DOC, Gesamtstickstoff und die Aggregatstabilität konnten 19.82 % und 38.05 % der Varianz der Community Verteilung von Bakterien und Pilzen erklärt werden.

Im Oktober 2023 unterschieden sich die Bakterien- und Pilzgemeinschaft nach Bodenbearbeitungen ($R^2 = 0.4019$ bzw. 0.4151). Die wichtigsten Bodenparameter (in absteigender Reihenfolge) hierfür waren für beide Gemeinschaften besonders der pH, die Aggregatstabilität, wie auch Gesamtkohlenstoff, C/N-Verhältnis, Karbonat und DOC, die 35.57 % und 37.94 % der Varianz der Community Verteilung von Bakterien und Pilzen erklärten.

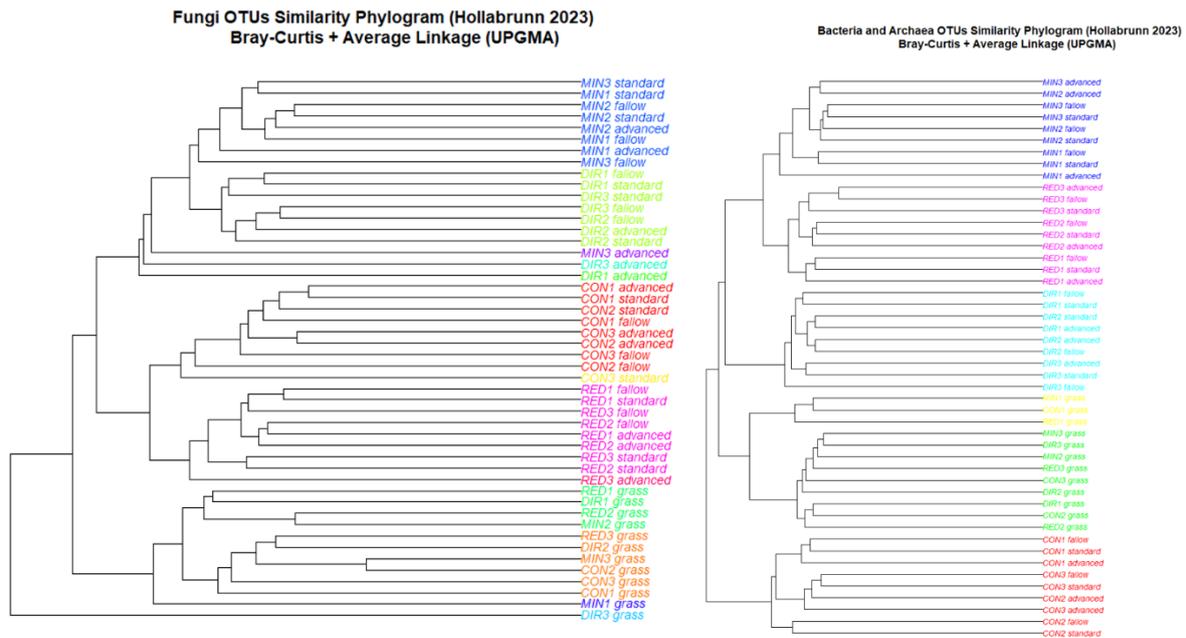


Abbildung 56 Dendrogramm der Pilz- (links) und Bakteriengemeinschaft (rechts) in Hollabrunn im Herbst 2023 nach Winterweizen, zu Beginn der Zwischenfrucht. Beide unterteilten sich deutlich in die vier Bodenbearbeitungen, wobei sich die Grünbrache besonders abhob. Die Zwischenfrüchte hatten jedoch keinerlei Einfluss auf die Gruppierungen der Gemeinschaften.

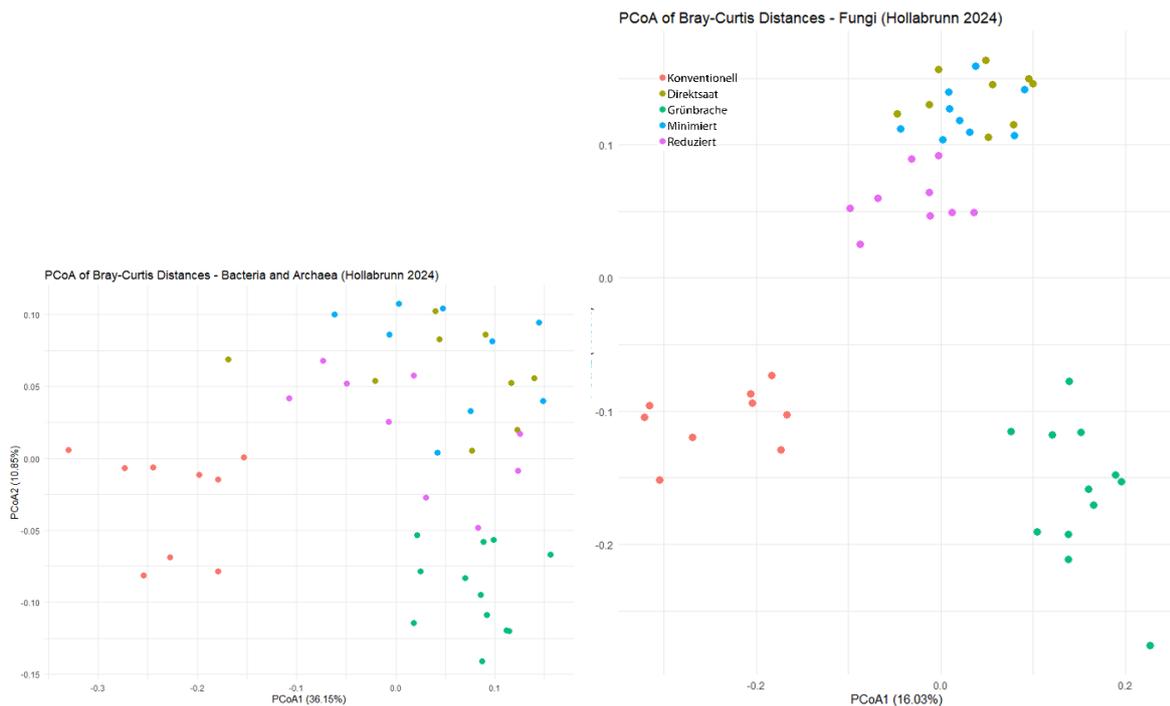


Abbildung 57 Hauptkoordinatenanalyse der Bakterien- (links) und Pilzgemeinschaft (rechts) vom Feldversuch in Hollabrunn 2024.

In Hollabrunn im Frühjahr 2024 nach der Zwischenfrucht differenzierten sich die Bakterien- und Pilzgemeinschaft nach Bodenbearbeitung ($R^2 = 0.43379$ bzw. 0.36004). Die Grünbrache musste hierbei ebenso separat betrachtet werden. Die Bodenparameter (in absteigender Reihenfolge) Aggregatstabilität, pH, Karbonate, C/N-Verhältnis und totaler Kohlenstoff erklärten 39.66 % bzw. 33.34 % der Varianz der

Community Verteilung von Bakterien und Pilzen. Wie auch im Frühjahr 2022 differenzierten sich beide Gemeinschaften nur nach Konventionell/Reduziert und Minimiert/Direktsaat. Bis auf die Grünbrache gab es keine vegetationsbedingten Einflüsse. Die Unterschiede verschwammen aufgrund der generell niedrigen Aktivität des Bodenlebens im Frühjahr.

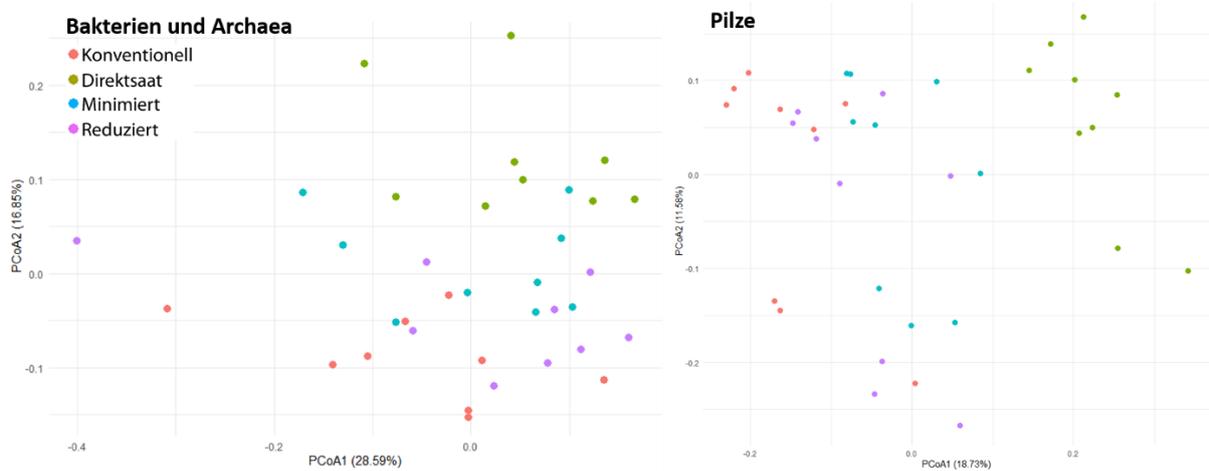


Abbildung 58 Hauptkoordinatenanalyse vom Feldversuch in Pyhra im Herbst 2022 in der ersten Zwischenfrucht.

In Pyhra im Herbst 2022 differenzierten sich die Bakterien- und Pilzgemeinschaft nach Bodenbearbeitung ($R^2 = 0.21566$ bzw. 0.25024). Die Bakterien der konventionellen Bewirtschaftung unterschieden sich relativ deutlich von allen anderen Bodenbearbeitungen. Andererseits unterschied sich die Pilzgemeinschaft der Direktsaat besonders von allen anderen Bodenbearbeitungen.

Die Bodenparameter (in absteigender Reihenfolge) Aggregatstabilität, totaler Stickstoff und DOC (C/N-Verhältnis nur bei den Pilzen) erklärten 27.47 % bzw. 30.2 % der Varianz der Community Verteilung von Bakterien und Pilzen.

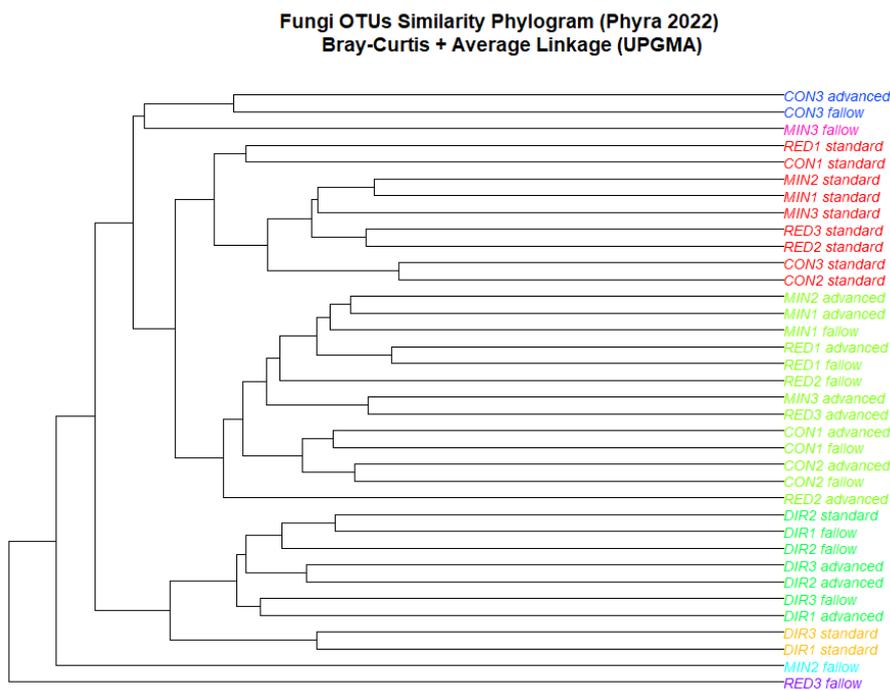
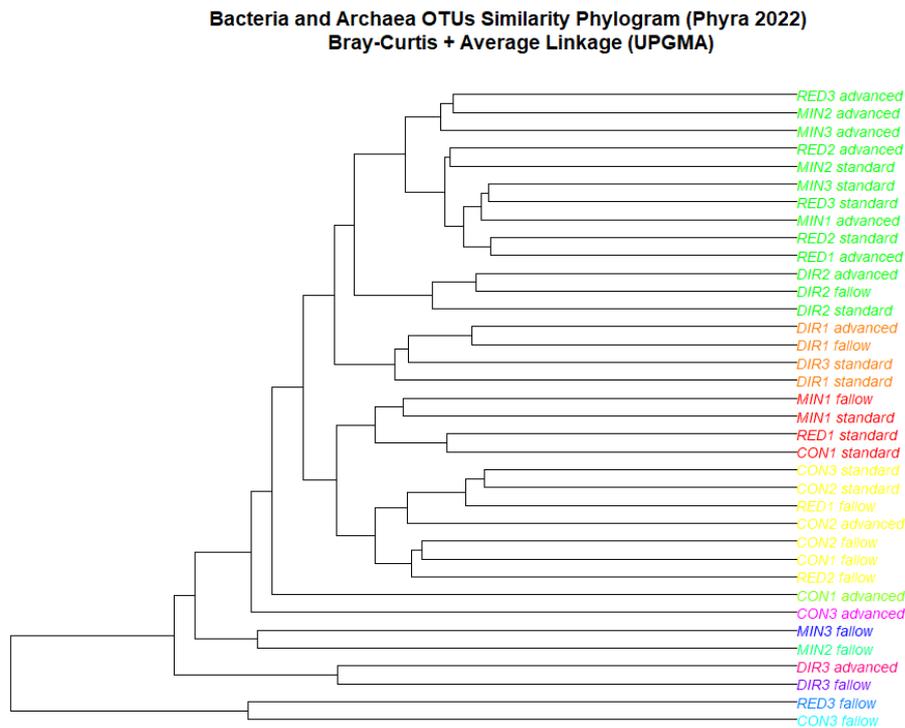


Abbildung 59 Dendrogramm der Bakterien- (oben) und Pilzgemeinschaft (unten) in Pyhra im Herbst 2022 in der ersten Zwischenfrucht. Beide unterteilen sich deutlich.

Wie schon in der Hauptkoordinatenanalyse hoben sich die Bakterien in Pyhra 2022 in der konventionelle von allen anderen Bewirtschaftungen ab, sowie sich die Brache von den Begrünungen unterschied. Die Pilze hingegen waren in der Direktsaat unterschiedlich zu allen anderen Bewirtschaftungen. Ebenso haben sich die Pilze in der Standard Zwischenfrucht abgehoben. Dieser Effekt kann jedoch auch durch die Hanglage, bzw. den Bodentyp, bedingt sein.

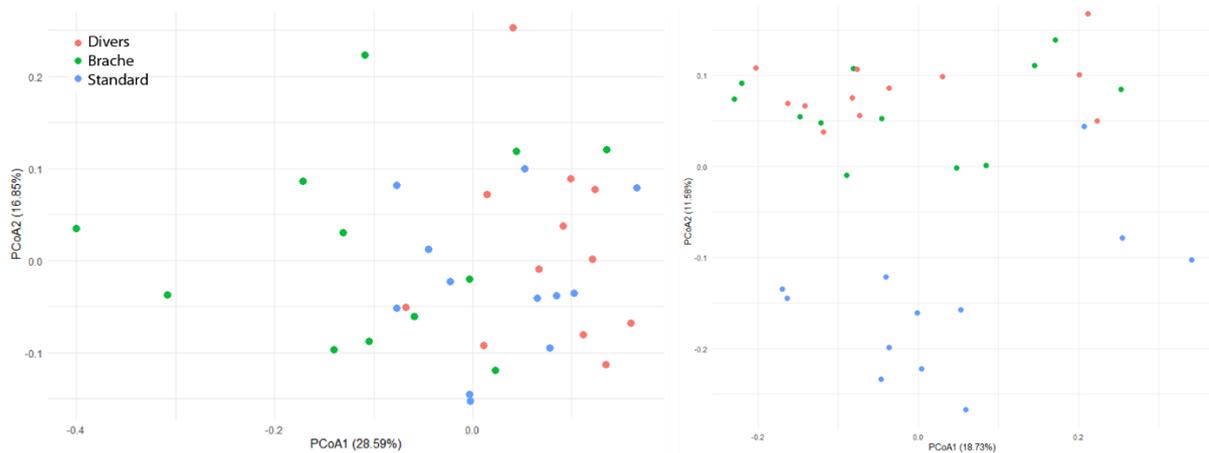
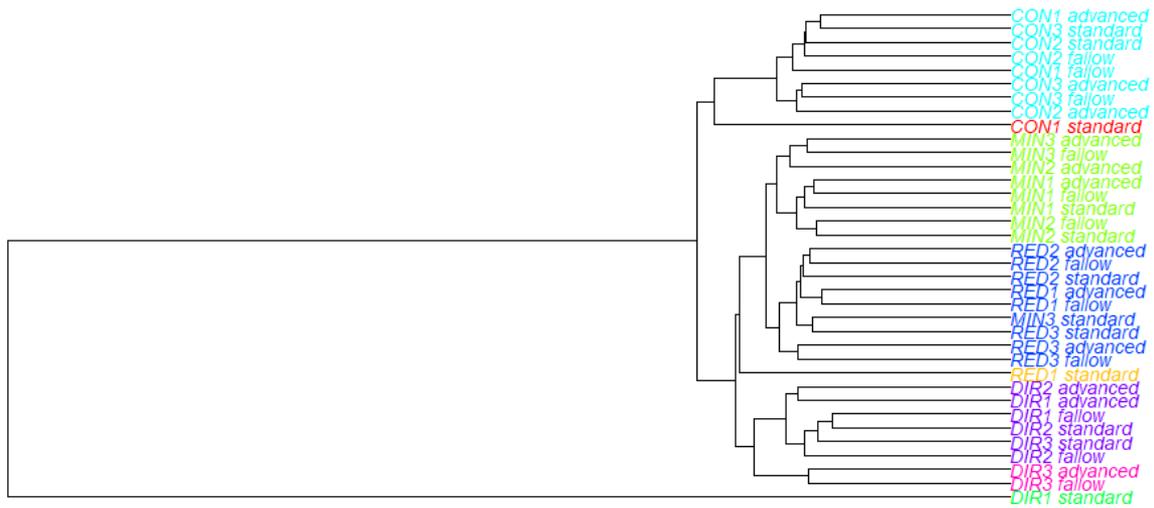


Abbildung 60 Hauptkoordinatenanalyse der Bakterien- (links) und Pilzgemeinschaft (rechts) nach Begrünung vom Feldversuch in Pyhra Herbst 2022 in der ersten Zwischenfrucht.

Es differenzierten sich die Bakterien- und Pilzgemeinschaft nicht nur nach Bodenbearbeitung (Abbildung 58), sondern auch nach Zwischenfrüchten (Abbildung 60) ($R^2 = 0.1591$ bzw. 0.13805). Die Bakteriengemeinschaften der Standard- und Diversen Zwischenfrucht unterschieden sich von denen der Brachflächen. Die Pilzgemeinschaften wiederum unterschieden sich zwischen Standard Zwischenfrucht einerseits und Brache, aber auch der diversen Zwischenfrucht andererseits.

Das Vorhandensein bzw. die Intensität der Vegetation bestimmt demnach die Zusammensetzung der bakteriellen Gemeinschaft. Die Hanglage oder die Standard Zwischenfrucht hatte zudem einen Einfluss auf die Pilzgemeinschaft.

**Bacteria and Archaea OTUs Similarity Phylogram (Phyra 2023)
Bray-Curtis + Average Linkage (UPGMA)**



**Fungi OTUs Similarity Phylogram (Phyra 2023)
Bray-Curtis + Average Linkage (UPGMA)**

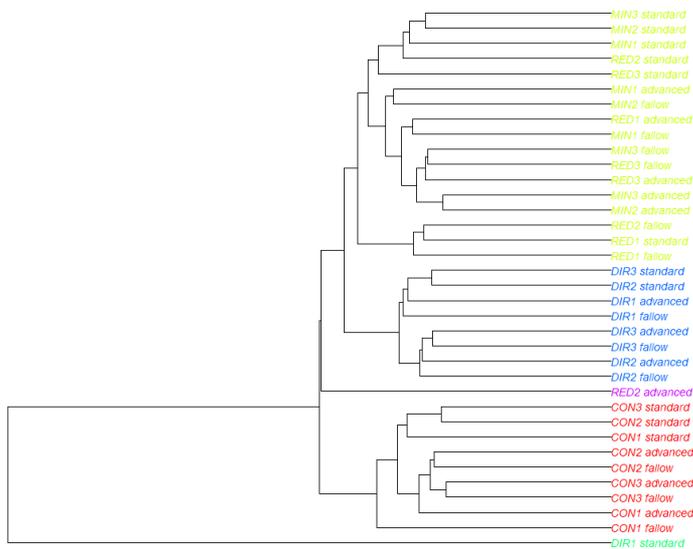


Abbildung 61 Dendrogramm der Bakterien- (oben) und Pilzgemeinschaft (unten) in Pyhra im Herbst 2023 nach Mais.

Die Bakteriengemeinschaft unterteilte sich deutlich nach allen vier Bodenbewirtschaftungen. Bei der Pilzgemeinschaft waren minimierte und reduzierte Bearbeitung nicht zu unterscheiden. Die Zwischenfruchteffekte waren jedoch nach der Hauptfrucht nicht mehr vorhanden.

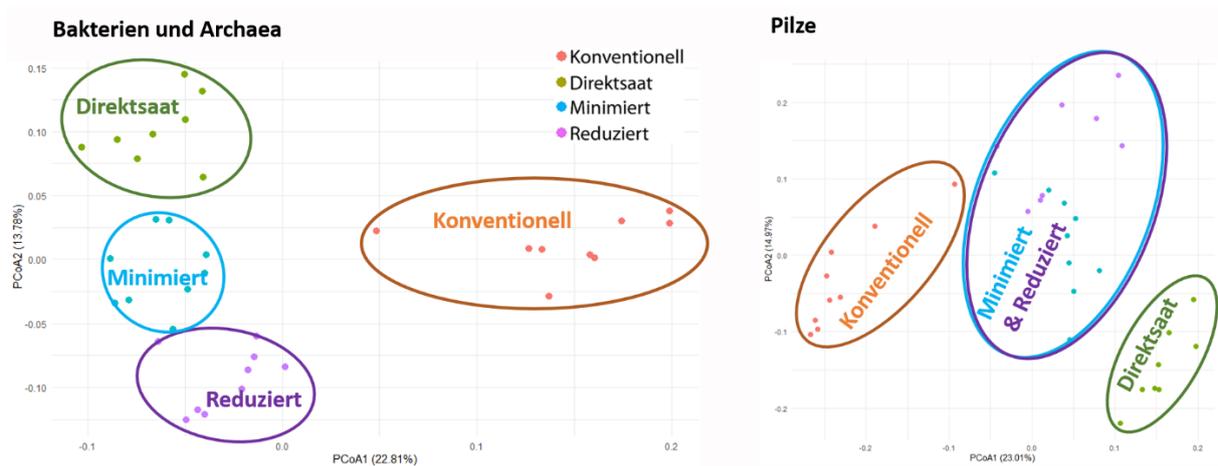


Abbildung 62 Hauptkoordinatenanalyse der Bakterien- (links) und Pilzgemeinschaft (rechts) vom Feldversuch in Pyhra im Herbst 2023 nach Mais.

Es differenzierten sich die Bakterien- (links) und Pilzgemeinschaft (rechts) nach Bodenbearbeitung ($R^2 = 0.63089$ bzw. 0.37517). Die Zwischenfruchteffekte waren jedoch nach der Hauptfrucht nicht mehr vorhanden. Die Bakteriengemeinschaft unterteilte sich deutlich nach allen vier Bodenbewirtschaftungen. Bei der Pilzgemeinschaft waren minimierte und reduzierte Bearbeitung nicht zu unterscheiden. Die Bodenparameter (in absteigender Reihenfolge) Aggregatstabilität, pH, totaler Kohlenstoff, Wassergehalt und DOC erklärten 41.7 % bzw. 39.73 % der Varianz der Community Verteilung von Bakterien und Pilzen.

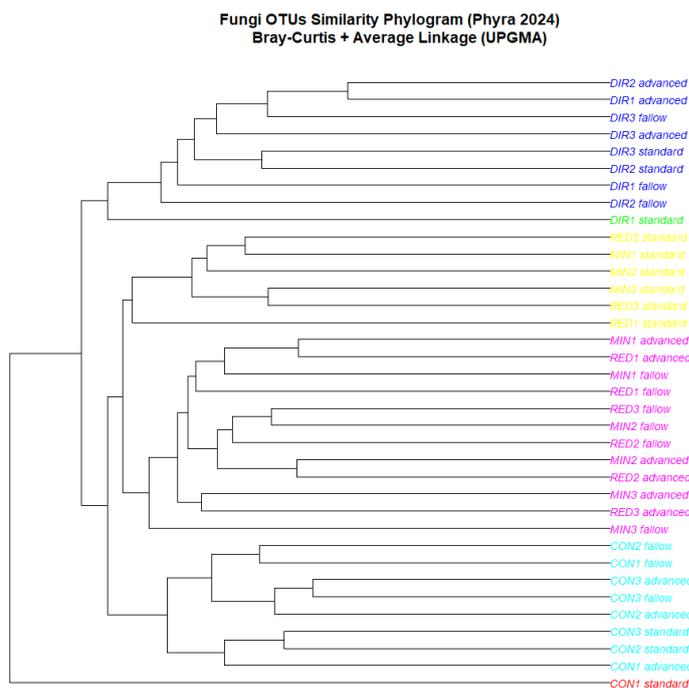
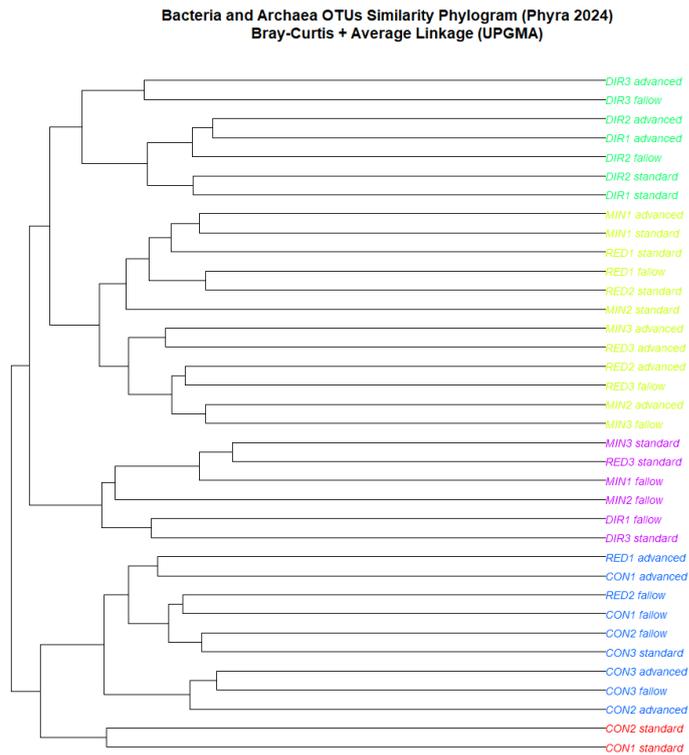
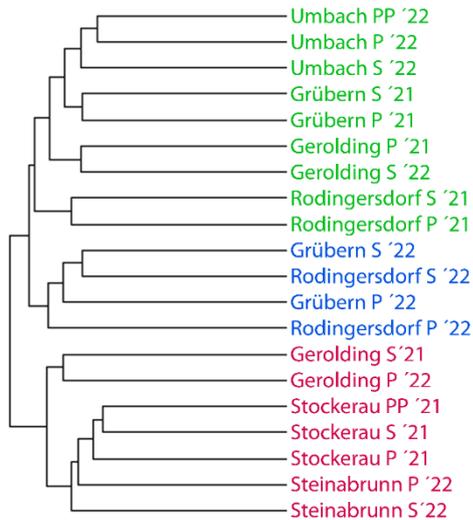


Abbildung 63 Dendrogramm der Bakterien- (oben) und Pilzgemeinschaft (unten) in Pyhra im Frühling 2024 in der Wintergerste.

Ähnlich zur Beprobung im Herbst 2022 nach Wintergerste grenzten sich die Bakteriengemeinschaft von Pyhra im Frühjahr 2024 in der konventionellen Bewirtschaftung, teils auch in der Direktsaat, von der minimalen und reduzierten Bearbeitung ab. Die Pilzgemeinschaft grenzte sich wie im Vorjahr in drei Cluster ab: Direktsaat, konventionell und reduziert mit minimal Bewirtschaftung. Die Zwischenfruchteffekte waren beiderseits nicht mehr vorhanden.

Bakterien Phylogramm Direktversuche 2021/2022

S - Standard; P - Pionier; PP - Pionier Plus

**Phylogramm Direktversuche 2023**

S - Standard; P - Pionier; PP - Pionier Plus

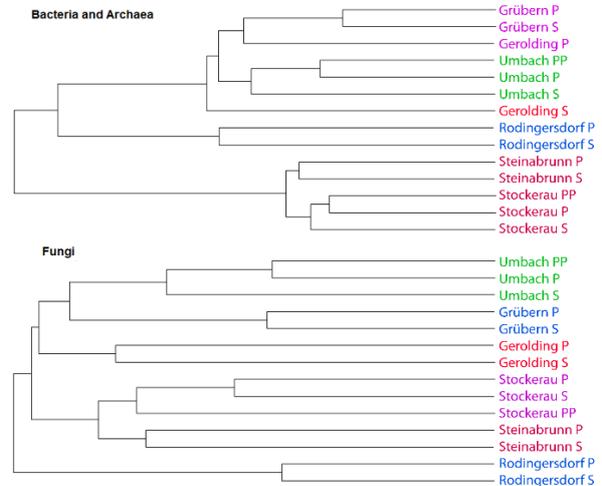


Abbildung 64 Dendrogramm der Bakteriengemeinschaft in den Betriebsstandorte 2021 und 2022 (links) und der Bakterien- (rechts oben) und Pilzgemeinschaft (rechts unten) 2023.

Es differenzierten sich die Bakterien-, wie auch die Pilzgemeinschaft nur nach räumlicher Lage und nicht nach Bodenbearbeitung. Ebenso wenig hatten die Bodenparameter einen Einfluss auf die Differenzierung. Auch im Jahr Oktober 2023 differenzierten sich die Bakterien-, wie auch die Pilzgemeinschaft der Betriebsstandorte nur nach räumlicher Lage und nicht nach Bodenbearbeitung. Wieder hatten die Bodenparameter keinen Einfluss auf die Differenzierung.

5. Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Aus zwei Feldversuchen landwirtschaftlicher Fachschulen (LFS) und an sechs Betriebsstandorten von Landwirten wurden mehrfach zu unterschiedlichen Zeitpunkten Bodenproben genommen und auf die Bodengesundheit in Form von Kohlenstoff- und Stickstoff-bezogenen Bodenparameter, sowie mikrobiologischen Parametern hin untersucht. Während die Feldversuche der LFS präzise Versuchsanordnungen bezüglich verschiedener Bodenbearbeitungen und den Einsatz verschiedener Zwischenfrüchte innehatten, gab es bei den Betriebsstandorten ein diverses Set an Bewirtschaftungsmethoden. Letzteres wurde daher nach Pionier- und Standard-Bewirtschaftung ausgewertet und weniger nach Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau.

Die Bodengesundheit ist die Fähigkeit des Bodens gewisse Leistungen (Bereitstellung von Nahrungs-, Futter- und Produktionsmitteln, Wasserspeicherung und –filtration, Aufrechterhaltung von Nährstoffkreisläufen und Kohlenstoffspeicherung) als Ökosystembestandteil zu übernehmen. Die Leistungen werden vom Boden und den darin befindlichen Organismen in Wechselwirkung mit Pflanzen erbracht. Wo Leistungen erbracht werden, wird Arbeit verrichtet und Energie, hauptsächlich durch

Transformation kohlenstoffhaltiger Substrate, verbraucht. Diese Substrate finden hauptsächlich über Pflanzen den Weg in den Boden und sollte darin auch als Energiespeicher aufgebaut werden. Umso mehr Vegetation mit Biomasse und Wurzelausscheidungen den Boden mit Substraten versorgt, umso stärker wird das mikrobielle Leben, v.a. Bakterien, gefördert.

Zwischenfrucht-bezogene Unterschiede in Bodenparametern konnten nur wenige nachgewiesen werden. Jedoch beschleunigte sich das Bakterienwachstum in Hollabrunn und in Pyhra durch das generelle Vorhandensein von Vegetation. Das Pilzwachstum wurde ebenso durch die Standard Zwischenfrucht in Hollabrunn begünstigt, wobei das Wachstum der Pilze, im generellen Vergleich zu dem der Bakterien, wesentlich positiver auf eine Abnahme der Bodenbearbeitungsintensität reagierte.

Die Gemeinschaft verschiedener Bakterien und Pilzen zeigte hinsichtlich ihrer Zusammensetzung Zwischenfrucht-bezogene Änderungen nur in Pyhra im Herbst 2022, in der ersten Zwischenfrucht. Darüber hinaus waren lediglich auf die Bodenbearbeitung bezogene Unterschiede in der Zusammensetzung von Bakterien und Pilzen, je nach Beprobungszeitpunkt, deutlich zu erkennen. Zudem steigerte die pfluglose Bearbeitung neben dem Wachstum der Pilze auch deren Diversität, insbesondere die Anzahl seltener Arten.

Somit kann eine gesteigerte Aktivität und Funktionalität des Bodens aus der Förderung der lebenden Bodenbestandteile durch konservierende (Pionier-) Bodenbewirtschaftung resultieren. Die optimale Bodenbearbeitungsweise kann hierbei von der Bodentextur abhängig sein, da diese die notwendige biologische Lockerung, Durchlüftung und Aggregatbildung mitbestimmen.

Die Förderung der Bodenfunktionen und Aktivitäten durch Erhöhung der Kohlenstoffeinträge über die Vegetation konnte nur für wenige Parametern mit signifikanten Daten belegt werden. Eine deutliche Zunahme des bakteriellen Wachstums, deren Vielfalt und deren Aktivität lässt aber darauf schließen, dass die dadurch tendenziell steigenden Bodengesundheitsparameter (z.B. Aggregatstabilität, Gesamtkohlenstoff und -stickstoff, Enzymaktivitäten, usw.) bei einer längeren Versuchsdauer mehr signifikante Grundlagen für Begrünungsbezogene Aussagen liefern würden.