



Mikrobiologische Vielfalt im Substrat und ihre Beziehung zur agronomischen Leistung bei Heidelbeeren (*Vaccinium corymbosum* L.)

Resultate einer Agroscope Studie 2020–2023

Autoren

André Ançay, Max Kopp, Louis Sutter



Impressum

Herausgeber	Agroscope Reckenholzstrasse 191 8046 Zürich www.agroscope.ch
Auskünfte	Louis Sutter
Titelbild	Agroscope
Download	www.agroscope.ch/science
Copyright	© Agroscope 2025
ISSN	2296-729X
DOI	https://doi.org/10.34776/as211

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	5
Summary	6
Riassunto	7
1 Einleitung	8
2 Methoden	9
2.1 Untersuchungsstandorte und Probenahme	9
2.2 Probenanalyse	9
3 Resultate	10
3.1 Mikrobielle Vielfalt	10
3.2 Vergleich zwischen Bio- und ÖLN - Systemen	10
3.3 Zusammenhänge zwischen physikochemischen Eigenschaften, mikrobieller Vielfalt und agronomischer Leistung	11
4 Diskussion	12
4.1 Mikrobielle Vielfalt und ihre Bedeutung	12
4.2 Vergleich zwischen Bio- und ÖLN -Systemen	12
4.3 Einfluss des pH-Werts auf die agronomische Leistung	12
4.4 Praktische Implikationen und zukünftige Forschung	13
5 Schlussfolgerung	13
6 Literatur	14

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie widmet sich der Erforschung der mikrobiellen Vielfalt in Substraten, die für den Anbau von Heidelbeeren genutzt werden. Dabei wurde untersucht, wie diese mikrobiellen Gemeinschaften mit agronomischen Parametern wie dem Ertrag und dem vegetativen Wachstum in Beziehung stehen. Insgesamt wurden neun Parzellen analysiert, die entweder nach biologischen oder ÖLN-Produktionsmethoden bewirtschaftet wurden. Die Ergebnisse liefern interessante Einblicke in die komplexen Zusammenhänge zwischen mikrobieller Diversität, physikochemischen Eigenschaften des Substrats und der agronomischen Leistung.

Ein zentrales Ergebnis der Untersuchung ist die immense mikrobielle Vielfalt, die in den Substraten festgestellt wurde. Es konnten mehrere Tausend mikrobielle Arten identifiziert werden, was die biologische Komplexität und das Potenzial dieser Substrate verdeutlicht. Bemerkenswert ist jedoch, dass die Art der Bewirtschaftung – biologisch oder ÖLN – keine signifikanten Unterschiede in der Abundanz erikoider Mykorrhizapilze zeigte. Dies legt nahe, dass das Produktionssystem selbst einen geringeren Einfluss auf diese spezifischen mikrobiellen Gemeinschaften hat, als ursprünglich angenommen.

Gleichzeitig unterstreichen die Ergebnisse die zentrale Rolle physikochemischer Eigenschaften des Substrats. Besonders der pH-Wert erwies sich als ein entscheidender Faktor. Es konnte eine quadratische Beziehung zwischen dem pH-Wert und der agronomischen Leistung nachgewiesen werden. Dies deutet darauf hin, dass ein gezieltes pH-Management eine wichtige Grundlage für eine ertragreiche und nachhaltige Heidelbeerproduktion darstellt. Interessanterweise zeigte die mikrobielle Vielfalt hingegen keine direkten Zusammenhänge mit den Ertragsparametern, was darauf hindeutet, dass andere Faktoren wie Nährstoffversorgung und Substratstruktur stärker ins Gewicht fallen könnten.

Diese Ergebnisse heben die Bedeutung eines ganzheitlichen Substratmanagements hervor, das nicht nur die mikrobiellen Gemeinschaften berücksichtigt, sondern auch den Fokus auf physikochemische Parameter wie den pH-Wert und die Nährstoffversorgung legt. Sie bieten wertvolle Ansätze, um nachhaltige Anbausysteme weiterzuentwickeln und gleichzeitig die agronomische Leistung zu optimieren. Die Erkenntnisse dieser Studie tragen somit dazu bei, praxisnahe Empfehlungen für den Heidelbeeranbau zu formulieren und die Basis für zukünftige Forschung in diesem Bereich zu schaffen.

Résumé

La présente étude est dédiée à la recherche sur la diversité microbienne dans les substrats utilisés pour la culture de myrtilles. Elle examine les corrélations entre ces communautés microbiennes et certains paramètres agronomiques, tels que le rendement et la croissance végétative. Neuf parcelles, exploitées selon les méthodes de production biologiques ou intégrés, ont été analysées. Les résultats livrent des informations intéressantes sur les relations complexes entre diversité microbienne, propriétés physico-chimiques du substrat et performance agronomique.

L'un des principaux résultats de l'étude est l'immense diversité microbienne mise en évidence dans les substrats. Plusieurs milliers d'espèces microbiennes ont pu être identifiées, ce qui illustre bien la complexité biologique et le potentiel de ces substrats. Il est toutefois remarquable que le type d'exploitation – bio ou intégrés – n'ait pas entraîné de différences significatives dans l'abondance des champignons mycorhiziens éricoïdes. Cela suggère que le système de production lui-même a moins d'influence sur ces communautés microbiennes spécifiques qu'estimé initialement.

Les résultats soulignent également le rôle central des propriétés physico-chimiques du substrat. Le pH s'est notamment révélé un facteur déterminant. L'étude a mis en évidence une corrélation significative entre le pH et la performance agronomique. Cela montre qu'une gestion ciblée du pH est essentielle pour une production de myrtilles rentable et durable. Il est à noter que la diversité microbienne n'a en revanche pas montré de liens directs avec les paramètres de rendement, ce qui suggère que d'autres facteurs tels que l'approvisionnement en éléments nutritifs et la structure du substrat pourraient peser davantage dans la balance.

Ces résultats soulignent l'importance d'une gestion globale du substrat qui tienne compte non seulement des communautés microbiennes, mais également des paramètres physico-chimiques tels que le pH et l'approvisionnement en éléments nutritifs. Ils offrent des pistes intéressantes au développement de systèmes de culture durables, tout en optimisant la performance agronomique. Les conclusions de l'étude permettent ainsi de formuler des recommandations pratiques pour la culture de myrtilles et de jeter les bases de recherches futures dans ce domaine.

Summary

The present study explores the microbial diversity in substrates used to grow blueberries, examining the relationship between these microbial communities and agronomic parameters such as yield and vegetative growth. A total of nine plots were analysed, cultivated according to either organic or integrated production methods. The results furnish interesting insights into the complex correlations between microbial diversity, physicochemical properties of the substrate and agronomic performance.

A key finding of the study was the immense microbial diversity found in the substrates. Several thousand microbial species were identified, highlighting the biological complexity and potential of these substrates. It is noteworthy, however, that the type of production method – organic or integrated – did not account for any significant differences in the abundance of ericoid mycorrhizal fungi. This suggests that the actual production system has less of an influence on these specific microbial communities than previously assumed.

At the same time, the results highlight the key role played by the physicochemical properties of the substrate. Interestingly, there were no direct correlations between microbial diversity and yield parameters, suggesting that other factors such as nutrient supply and substrate structure might be more relevant here. In particular, pH proved to be a crucial factor. A significant correlation was established between pH and agronomic performance, suggesting that targeted pH management is key for high-yielding, sustainable blueberry production.

These findings underscore the importance of a holistic substrate management strategy that not only encompasses the microbial communities but also focuses on physicochemical parameters such as pH and nutrient supply. They offer valuable approaches for further developing sustainable cropping systems while optimising agronomic performance. The results of this study therefore contribute to the formulation of practical recommendations for blueberry production as well as serving as a basis for future research.

Riassunto

Il presente studio verte sulla ricerca della diversità microbica nei substrati utilizzati per la coltivazione dei mirtilli e analizza il rapporto tra le comunità microbiche e parametri agronomici come la resa e la crescita vegetativa. In tutto sono state esaminate nove particelle coltivate con metodi di produzione biologici o PER. I risultati forniscono indicazioni interessanti sulle complesse relazioni tra diversità microbica, proprietà fisico-chimiche del substrato e prestazioni agronomiche.

Un dato fondamentale dello studio è l'immensa diversità microbica riscontrata: sono state identificate migliaia di specie microbiche, a dimostrazione della complessità biologica e del potenziale dei substrati. Va tuttavia sottolineato che il tipo di esercizio, indipendentemente dal fatto che applichi l'agricoltura biologica o PER, non ha mostrato differenze significative nell'abbondanza di funghi micorrizici ericoidi. Ciò suggerisce che il sistema di produzione abbia un'influenza minore rispetto a quanto inizialmente ipotizzato su queste specifiche comunità microbiche.

Allo stesso tempo, i risultati sottolineano il ruolo centrale svolto dalle proprietà fisico-chimiche del substrato. Il valore del pH, in particolare, si è rivelato un fattore decisivo. È stata dimostrata una significativa correlazione tra il valore del pH e le prestazioni agronomiche: ciò indica che una gestione mirata del pH è un aspetto fondamentale per una produzione di mirtilli sostenibile e ad alta resa. È interessante notare, tuttavia, che la diversità microbica non ha mostrato una correlazione diretta con i parametri di resa, suggerendo che altri fattori quali l'apporto di nutrienti e la struttura del substrato possano avere un peso maggiore.

I risultati sottolineano l'importanza di una gestione globale del substrato, che non tenga conto solo delle comunità microbiche, ma si concentri anche su parametri fisico-chimici come il pH e l'apporto di nutrienti. I dati ottenuti offrono anche spunti preziosi per un ulteriore sviluppo dei sistemi di coltivazione sostenibili e, al contempo, per l'ottimizzazione delle prestazioni agronomiche. I risultati dello studio contribuiscono quindi alla formulazione di raccomandazioni pratiche per la coltivazione di mirtilli e creano le basi per future ricerche nel settore.

1 Einleitung

Heidelbeeren (*Vaccinium corymbosum* L.) haben in den letzten Jahrzehnten zunehmend an wirtschaftlicher Bedeutung gewonnen, sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene. Die angebaute Fläche hat sich in der Schweiz von 2015-2024 um 62 % vergrößert (SOV 2025). Ihre Beliebtheit bei Konsumentinnen und Konsumenten ist nicht nur auf ihren Geschmack und ihre Vielseitigkeit in der Verwendung zurückzuführen, sondern auch auf ihre gesundheitsfördernden Eigenschaften, die durch ihren hohen Gehalt an Antioxidantien und Vitaminen unterstrichen werden. In der Schweiz wurde 2024 rund 700 Tonnen Heidelbeeren produziert und vermarktet. Um die wachsende Nachfrage zu decken, haben Produzenten Anbaumethoden verfeinert, wobei der Einsatz von Substratkulturen besonders in Regionen mit suboptimalen Bodenbedingungen an Bedeutung gewonnen hat. Der Boden und das Substrat, in denen die Pflanzen wachsen, spielen eine zentrale Rolle für den Erfolg im Heidelbeeranbau. Neben den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens haben biologische Faktoren, insbesondere Mikroorganismen, einen erheblichen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung und -produktivität. Mikroorganismen im Boden, wie Bakterien und Pilze, übernehmen essenzielle Ökosystemfunktionen. Sie sind an der Nährstofffreisetzung und -aufnahme beteiligt, verbessern die Bodenstruktur und tragen zur pflanzlichen Krankheitsabwehr bei. Mykorrhizapilze, eine spezielle Gruppe von symbiotischen Pilzen, sind in diesem Kontext besonders hervorzuheben. Sie bilden mit Pflanzenwurzeln enge Verbindungen und verbessern die Nährstoffaufnahme – insbesondere von Phosphor und Spurenelementen – durch die Vergrößerung der effektiven Wurzeloberfläche. Diese Pilze können auch die Wasseraufnahme der Pflanzen optimieren und sie widerstandsfähiger gegen abiotischen Stress machen.

Erikoide Mykorrhizapilze spielen für die Kultur von Heidelbeeren eine besondere Rolle, da diese Pflanzen von Natur aus auf saure und nährstoffarme Standorte spezialisiert sind. Die Assoziation mit erikoiden Mykorrhizapilze ist entscheidend für die Überlebensfähigkeit und das Wachstum der Pflanzen auch in intensiven Anbausystemen. Obwohl die Bedeutung dieser symbiotischen Beziehungen bekannt ist, gibt es noch erhebliche Wissenslücken bezüglich der Vielfalt und Funktion der Mykorrhizapilze in kommerziellen Heidelbeerkulturen. Insbesondere die Unterschiede zwischen biologischen und ÖLN-Produktionssystemen (ÖLN) sowie der Einfluss des Zeitpunktes der Inokulation mit erikoiden Mykorrhizapilzen auf die agronomische Leistung der Pflanzen sind wenig untersucht.

Die vorliegende Studie verfolgt daher die folgenden Ziele: (1) die Vielfalt der erikoiden Mykorrhizapilze in neun Heidelbeerplantagen zu beschreiben, (2) mögliche Unterschiede zwischen biologischen und integrierten Produktionssystemen und (3) die Korrelationen zwischen erikoiden Mykorrhizapilzen, biochemischen Messungen (z. B. pH-Wert, Nährstoffe und Spurenelemente) und der agronomischen Leistung (kombiniert aus vegetativem Wachstum, Pflanzensterben und Ertrag) zu untersuchen. Diese Erkenntnisse sollen dazu beitragen, ein besseres Verständnis der Rolle der Bodenmikrobiologie im Heidelbeeranbau zu gewinnen und mögliche Optimierungsstrategien für eine nachhaltige Produktion zu entwickeln.

2 Methoden

2.1 Untersuchungsstandorte und Probenahme

Die Studie umfasste neun Parzellen (P1-P9) mit Heidelbeerkulturen, die sowohl unter biologischer als auch ÖLN Produktion bewirtschaftet wurden. Die Standorte wurden gezielt ausgewählt, um unterschiedliche Boden- und Substratbedingungen sowie Bewirtschaftungsregime abzudecken. Boden- und Substratproben wurden im September 2020 entnommen, wobei sowohl oberflächliche als auch tiefere Schichten berücksichtigt wurden, um ein umfassendes Bild der mikrobiellen Gemeinschaften zu erhalten. Die agronomische Leistung wurde in den Jahren 2021 bis 2023 anhand von vegetativem Wachstum, Pflanzensterben und Ertragsparametern bewertet (Tabelle 1).

Tabelle 1 Übersicht der untersuchten Standorte.

Produzent	ÖLN / BIO	Zusammensetzung des Substrates	Sorte	Vegetatives Wachstum 2021-2023	Pflanzensterben 2021-2023	Ertrag 2021-2023	Gesamtleistung 2021-2023
P1	BIO	Hackschnitzel auf Boden	Duke	10	15	15	40
P2	ÖLN	Substrat in Topf	Duke	25	15	0	40
P3	ÖLN	Holzspäne und Rinde auf Boden	Duke	25	30	25	80
P4	BIO	Hackschnitzel auf Boden	Reka	25	30	20	75
P5	ÖLN	Hackschnitzel auf Boden	Duke	5	5	5	15
P6	BIO	Hackschnitzel auf Boden	Duke	10	30	10	50
P7	BIO	Hackschnitzel auf Boden	Reka	25	30	25	80
P8	ÖLN	Hackschnitzel mit Erdboden vermischt	Bluecrop	5	5	5	15
P9	BIO	Trog mit Sägemehl auf Boden	Duke	25	20	30	75

2.2 Probenanalyse

Die mikrobielle Vielfalt in den Substraten der Heidelbeerparzellen wurde mithilfe DNA-Sequenzierungstechnologien detailliert untersucht. Um die Bakterien- und Pilzgemeinschaften zu identifizieren, wurden spezifische Marker-Regionen sequenziert. Für die Bakterienanalyse wurde die 16S rRNA-Region verwendet, die aufgrund ihrer konservierten und variablen Bereiche eine präzise Identifikation mikrobieller Taxa ermöglicht (Klindworth et al., 2013). Für die Pilzanalyse kam die ITS-Region (Internal Transcribed Spacer) zum Einsatz, die sich als Standardmarker für die Erfassung der Pilzdiversität etabliert hat (Schoch et al., 2012). Die Identifikation und Klassifizierung der mikrobiellen Arten erfolgte anhand von Operational Taxonomic Units (OTUs). OTUs dienen in der mikrobiellen Ökologie als nützliches Werkzeug, um verschiedene Taxa zu gruppieren, insbesondere bei der Analyse von Hochdurchsatzsequenzierungsdaten (Blaxter et al., 2005). Untersucht wurden zudem zentrale Parameter wie pH-Wert, organische Substanz, organischer Kohlenstoff und mineralische Nährstoffe (Mn, Fe, Carbonate), um Zusammenhänge zwischen Substrateigenschaften und mikrobieller Zusammensetzung zu ermitteln. Besonderes Augenmerk lag auf Spurenelementen und ihrer potenziellen Wechselwirkung mit den erikoiden Mykorrhizapilzen. Zusätzlich wurden Stickstoffgehalte analysiert, da sie in frühen Kulturstadien eine entscheidende Rolle spielen könnten. Zur Untersuchung von Korrelationen zwischen der agronomischen Leistung (vegetatives Wachstum, Pflanzensterben, Ertrag), den Substrateigenschaften und den Mykorrhizapilzen wurden multivariate statistische Ansätze verwendet. Unterschiede zwischen biologischen und ÖLN -Systemen sowie die Auswirkungen des Inokulationszeitpunkts mit linearen Regressionsmodellen analysiert.

3 Resultate

3.1 Mikrobielle Vielfalt

Die Analyse der neun Parzellen zeigte eine hohe mikrobielle Vielfalt, wobei deutliche Unterschiede zwischen den Standorten festzustellen waren. Die Identifikation von über 4000 OTUs für Bakterien und Pilze verdeutlicht die immense Diversität der mikrobiellen Gemeinschaften in den Heidelbeerplantagen. Ein Vergleich zwischen den biologischen und ÖLN-Systemen zeigte Unterschiede in der relativen Häufigkeit spezifischer mikrobieller Gattungen. Abbildung 1 illustriert die relative Häufigkeit verschiedener Pilzgattungen in den neun Parzellen. Dabei fielen insbesondere *Oidiodendron* spp. und *Hymenoscyphus* spp. durch ihre Häufigkeit in spezifischen Parzellen (z. B. P1, P5 und P9) auf, während *Dermateaceae* und *Leohumicola* spp. in geringerem Umfang vorkamen. Es ist zu beachten, dass nicht alle in der Grafik dargestellten Gruppen zwangsläufig Mykorrhiza-Assoziationen mit Heidelbeeren eingehen. Die funktionale Rolle dieser Mikroorganismen bedarf weiterer Untersuchung.

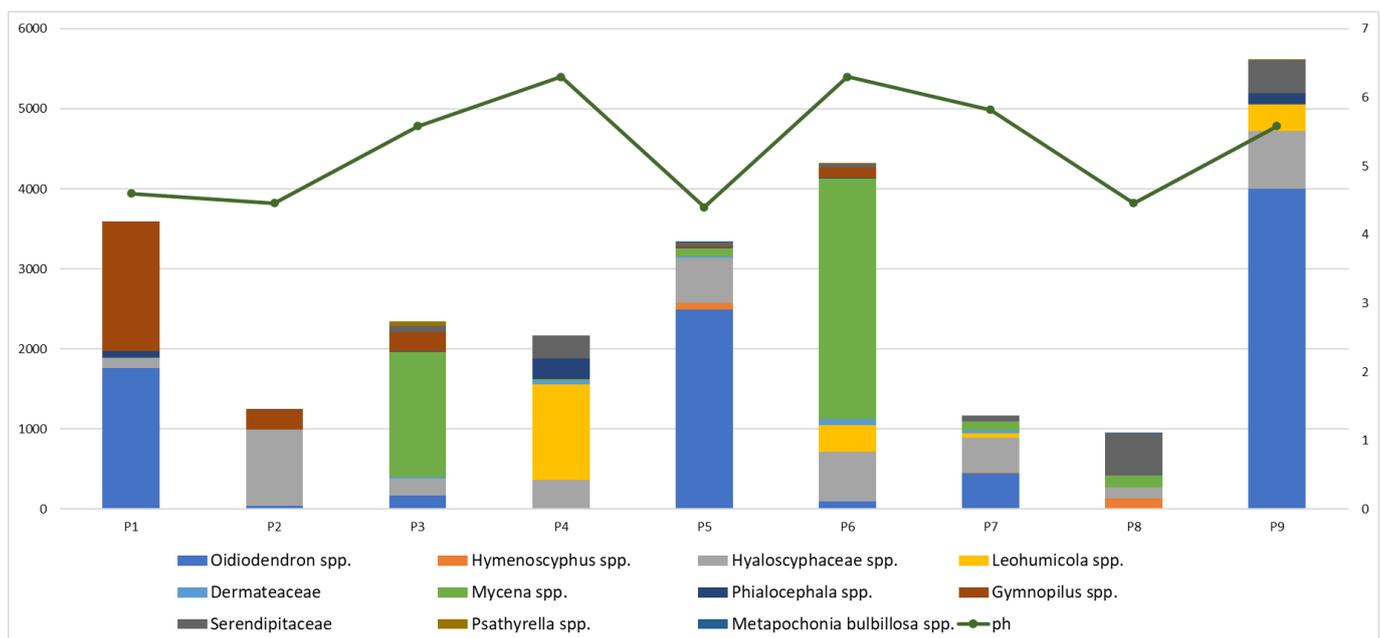


Abbildung 1 Relative Häufigkeit der Pilzgattungen in den neun Parzellen (P1–P9), basierend auf der Anzahl der Sequenzen und der gemessene pH-Wert der Parzelle (sekundäre Y-Achse).

3.2 Vergleich zwischen Bio- und ÖLN - Systemen

Die Analyse der erikoiden Mykorrhizapilze ergab keine signifikanten Unterschiede in der Abundanz zwischen biologisch und integriert bewirtschafteten Parzellen. Dies deutet darauf hin, dass das Bewirtschaftungssystem (Bio oder ÖLN) keinen massgeblichen Einfluss auf die Menge der erikoiden Mykorrhizapilze in Heidelbeerplantagen hat.

Abbildung 2 zeigt die semiquantitative Abundanz erikoider Mykorrhizapilze in den Parzellen, getrennt nach Bewirtschaftungsregimen. Während leichte Variationen in der Zusammensetzung bestimmter Gattungen zu beobachten waren, blieben die Gesamtabundanzen vergleichbar. Dies könnte darauf hindeuten, dass die spezifischen Standortbedingungen und Substrateigenschaften eine grössere Rolle für die mikrobielle Gemeinschaft spielen als die Wahl des Bewirtschaftungssystems.

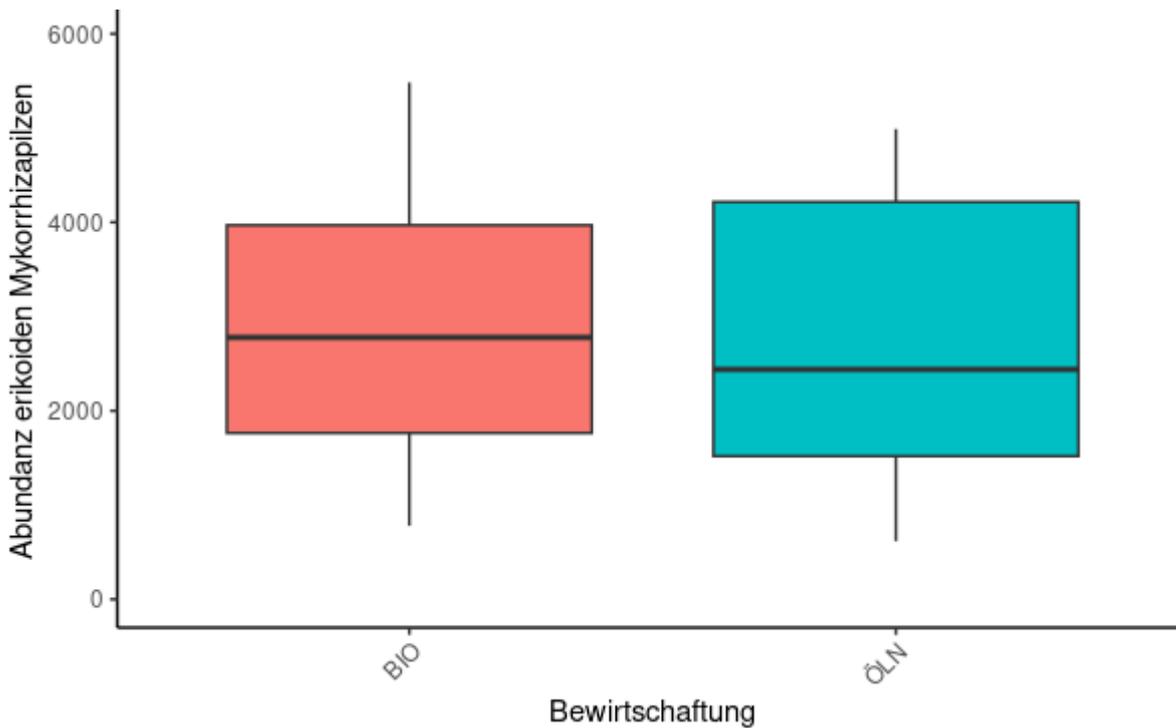


Abbildung 2 Vergleich der relativen Häufigkeit erikoider Mykorrhizapilze in biologisch und ÖLN bewirtschafteten Parzellen.

3.3 Zusammenhänge zwischen physikochemischen Eigenschaften, mikrobieller Vielfalt und agronomischer Leistung

Die Analyse zeigte eine signifikante positive Korrelation zwischen dem pH-Wert des Substrats und der agronomischen Leistung (Optimum = 5.64. Std. Error = 7.86, T value = 3.90. P value = 0.01). Mit steigendem pH-Wert verbesserte sich die Leistung der Heidelbeerpflanzen, gemessen an Ertrag und vegetativem Wachstum. Es wurden jedoch keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der mikrobiellen Vielfalt und den agronomischen Parametern festgestellt. Auch wurden keine direkten Zusammenhänge zwischen der Nährstoffversorgung und der relativen Häufigkeit spezifischer Pilzgattungen festgestellt werden. Beides deutet darauf hin, dass die agronomische Leistung stärker durch physikochemische Eigenschaften des Substrats beeinflusst wird, als durch die mikrobielle Zusammensetzung.

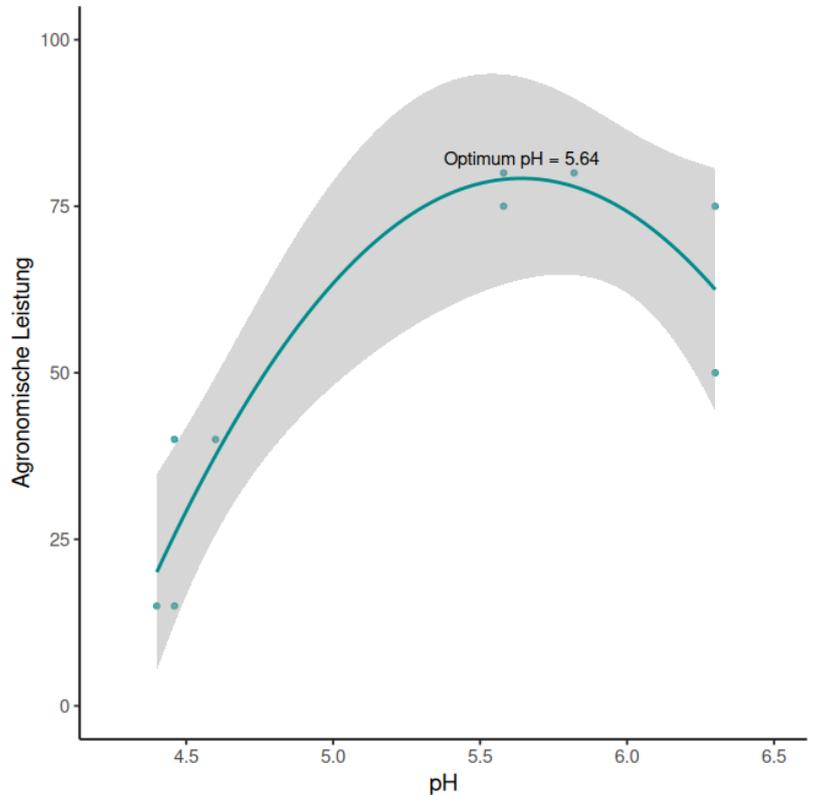


Abbildung 3 Zusammenhang zwischen dem pH-Wert des Substrats und der agronomischen Leistung, dargestellt durch eine quadratische Regressionsanalyse mit einem Optimum bei pH 5.6.

4 Diskussion

Die vorliegenden Ergebnisse beleuchten wichtige Aspekte der Bodenmikrobiologie in Heidelbeerkulturen und deren potenziellen Einfluss auf die agronomische Leistung. Die hohe Diversität der mikrobiellen Gemeinschaften unterstreicht die komplexen Wechselwirkungen in den untersuchten Substraten. Dennoch zeigen die Resultate, dass diese Vielfalt keine klaren Zusammenhänge mit den gemessenen agronomischen Parametern aufweist. Dies wirft Fragen über die spezifische Rolle der Mikroben in diesen Anbausystemen auf und bietet Ansatzpunkte für zukünftige Studien.

4.1 Mikrobielle Vielfalt und ihre Bedeutung

Die immense Diversität von über 4000 identifizierten OTUs zeigt das Potenzial des mikrobiellen Lebens in den Substraten. Studien wie die von Bürgmann et al. (2020) und Drogue et al. (2022) haben gezeigt, dass Mykorrhizapilze und andere Bodenmikroorganismen entscheidend für die Pflanzengesundheit und Nährstoffaufnahme sein können. In dieser Studie jedoch konnte keine klare Verbindung zwischen der mikrobiellen Vielfalt und der agronomischen Leistung nachgewiesen werden. Dies könnte darauf hindeuten, dass andere Faktoren wie Nährstoffverfügbarkeit oder Managementpraktiken eine dominierende Rolle spielen.

Die Ergebnisse sind konsistent mit Arbeiten wie denen von van der Heijden et al. (2008), die darauf hinweisen, dass die funktionale Redundanz in mikrobiellen Gemeinschaften oft gross ist. Das bedeutet, dass viele Mikroorganismen ähnliche Funktionen ausüben können, sodass die Gesamtdiversität möglicherweise weniger entscheidend ist als spezifische funktionale Gruppen. Besonders auffällig in dieser Studie war die Präsenz von *Oidiodendron* spp. und *Hymenoscyphus* spp., die bekanntermassen erikoide Mykorrhiza-Beziehungen eingehen (Curaqueo et al., 2022). Die funktionale Bedeutung dieser spezifischen Gruppen bleibt jedoch unklar und sollte in weiteren Studien untersucht werden.

4.2 Vergleich zwischen Bio- und ÖLN -Systemen

Interessanterweise zeigten die Ergebnisse keine signifikanten Unterschiede in der Abundanz der erikoiden Mykorrhizapilze zwischen biologisch und integriert bewirtschafteten Parzellen. Dies steht im Gegensatz zu einigen Studien, die höhere mikrobielle Aktivitäten in biologischen Systemen nahelegen (Escudero et al., 2023). Eine mögliche Erklärung könnte darin liegen, dass die spezifischen Substrateigenschaften, wie pH-Wert und Nährstoffgehalt, in dieser Studie eine stärkere Rolle spielen als das Bewirtschaftungssystem. Auch die relative Stabilität der mikrobiellen Gemeinschaften in Kultursubstraten im Vergleich zu natürlichen Böden könnte dazu beigetragen haben. Diese Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung von Standort- und Substratfaktoren für die mikrobielle Zusammensetzung und ihre potenziellen Funktionen. So hat beispielsweise der pH-Wert eine bekannte Rolle in der Steuerung mikrobieller Gemeinschaften, wie in Arbeiten von Rousk et al. (2010) hervorgehoben wurde.

4.3 Einfluss des pH-Werts auf die agronomische Leistung

Ein zentrales Ergebnis dieser Studie ist der nichtlineare Zusammenhang zwischen dem pH-Wert des Substrats und der agronomischen Leistung der Heidelbeeren. Die Analyse ergab eine quadratische Beziehung mit einem optimalen pH-Wert von etwa 5,6, bei dem die höchsten Erträge und das stärkste vegetative Wachstum erzielt wurden. Sowohl pH-Werte unterhalb als auch oberhalb dieses Optimums führten zu einer Abnahme der agronomischen Leistung. Diese Erkenntnis steht im Einklang mit früheren Studien, die die Bedeutung eines eng begrenzten optimalen pH-Bereichs für die Nährstoffverfügbarkeit, Wurzelentwicklung und Pflanzengesundheit betonen (Ortega et al., 2024).

Im Gegensatz dazu konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen der mikrobiellen Vielfalt bzw. der Abundanz der Mykorrhizapilze und den agronomischen Parametern festgestellt werden. Dies deutet darauf hin, dass physikochemische Eigenschaften des Substrats, insbesondere der pH-Wert, der Nährstoffgehalt sowie die Luft- und Wasserführung, eine dominierende Rolle für das Pflanzenwachstum spielen. Managementpraktiken, die gezielt auf die Optimierung dieser Eigenschaften abzielen, erscheinen daher als vielversprechendere Ansatzpunkte zur Leistungssteigerung als gezielte Eingriffe in die mikrobielle Zusammensetzung.

Vor diesem Hintergrund gewinnt die pH-Regulierung in der Substratbewirtschaftung an Bedeutung. Eine Möglichkeit zur Senkung des pH-Werts besteht in der gezielten Gabe von Schwefel. Allerdings ist die Wirksamkeit dieser Massnahme stark kontextabhängig: Faktoren wie Regenmenge, Substrattyp, Bewässerung und mikrobielle Aktivität beeinflussen die pH-Dynamik erheblich. Aus diesem Grund können keine allgemeingültigen Empfehlungen abgegeben werden, sondern es bedarf einer standortspezifischen Betrachtung. Zudem ist die Senkung des pH-Werts mit dem Ziel, Unkrautdruck zu reduzieren, kritisch zu hinterfragen. Ein zu niedriger pH-Wert kann die Kulturpflanzen schwächen, während viele Unkräuter gegenüber sauren Bedingungen deutlich toleranter sind (Zhao et al., 2016). Daher sollte eine pH-Anpassung stets in Abwägung möglicher negativer Effekte erfolgen. Diese differenzierte Betrachtung unterstreicht die Notwendigkeit eines integrierten Substratmanagements im Heidelbeeranbau.

4.4 Praktische Implikationen und zukünftige Forschung

Die Erkenntnisse dieser Studie haben wichtige praktische Implikationen für das Management von Heidelbeerkulturen. Die Ergebnisse unterstreichen die Bedeutung eines integrierten Ansatzes, der sowohl die physikochemischen Eigenschaften des Substrats als auch die spezifischen Anforderungen der Pflanze berücksichtigt. Insbesondere die pH-Regulierung und die gezielte Düngung könnten Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Produktion sein. Zukünftige Studien sollten sich darauf konzentrieren, die funktionale Rolle spezifischer mikrobieller Gruppen in Heidelbeerkulturen besser zu verstehen. Insbesondere die potenziellen Interaktionen zwischen erikoiden Mykorrhizapilzen und anderen Bodenmikroorganismen könnten wertvolle Einblicke liefern. Darüber hinaus wäre es sinnvoll, den Einfluss unterschiedlicher Substrattypen und deren Management auf die mikrobielle Zusammensetzung und die Pflanzengesundheit weiter zu untersuchen. Zusammenfassend betont diese Studie, dass ein integriertes Kulturmanagement, das physikochemische Substrateigenschaften priorisiert, eine effektivere Strategie für die Optimierung der agronomischen Leistung in Heidelbeerkulturen darstellt. Gleichzeitig bleibt die mikrobielle Vielfalt ein faszinierendes Forschungsfeld, das weiterhin Aufmerksamkeit verdient.

5 Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung hebt die immense mikrobielle Vielfalt in Heidelbeer-Substraten hervor und unterstreicht die Komplexität der Wechselwirkungen zwischen mikrobiellen Gemeinschaften, Substrateigenschaften und agronomischer Leistung. Die Ergebnisse zeigen, dass die mikrobiellen Gemeinschaften in den analysierten Parzellen zwar reichhaltig und divers sind, jedoch keinen direkten Einfluss auf die Ertragsparameter der Heidelbeerkulturen erkennen lassen. Stattdessen treten physikochemische Eigenschaften wie der pH-Wert und der Stickstoffgehalt des Substrats als entscheidende Faktoren hervor, die die agronomische Leistung beeinflussen.

Das Fehlen signifikanter Unterschiede in der Abundanz erikoider Mykorrhizapilze zwischen biologischer und integrierter Produktion deutet darauf hin, dass das Bewirtschaftungssystem einen geringeren Einfluss auf diese spezifischen mikrobiellen Gemeinschaften hat als erwartet. Auch gibt die Studie keine Hinweise darauf, dass die Zugabe erikoder Mykorrhiza-Pilze zu einer etablierten Kultur eine Kulturmassnahme mit grosser Wirkung ist. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, den Fokus auf Substratmanagement und Standortbedingungen zu legen, anstatt ausschliesslich auf die Wahl des Produktionssystems.

Ein weiterer zentraler Befund ist die positive Korrelation zwischen dem pH-Wert des Substrats und der agronomischen Leistung, was die Bedeutung einer gezielten pH-Regulierung in der Substratbewirtschaftung betont. Diese Erkenntnisse könnten dazu beitragen, spezifische Handlungsempfehlungen für den Anbau von Heidelbeeren zu entwickeln, die sowohl die mikrobiellen Gemeinschaften als auch die physikochemischen Eigenschaften des Substrats einbeziehen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass ein integrierter Ansatz, der mikrobiologische und physikochemische Parameter berücksichtigt, die Grundlage für eine nachhaltige und ertragreiche Heidelbeerproduktion schaffen kann. Diese Erkenntnisse sind insbesondere für den Übergang von traditionellen Anbaumethoden hin zu zukunftsorientierten, nachhaltigen Produktionssystemen von Bedeutung.

6 Literatur

- Blaxter, M., Mann, J., Chapman, T., Thomas, F., Whitton, C., Floyd, R., & Abebe, E. (2005). Defining operational taxonomic units using DNA barcode data. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1462), 1935–1943.
- Bürgmann, H., et al. (2020). Microbial diversity in soils and plant microbiomes. *Frontiers in Microbiology*.
- Curaqueo, G., et al. (2022). Role of mycorrhizal fungi in blueberry production systems. *Agronomy*.
- Drogue, B., et al. (2022). Microbial interactions in plant rhizospheres. *Applied Microbiology and Biotechnology*.
- Escudero, C., et al. (2023). Soil microbial communities in high-value crop systems. *PeerJ*.
- Ortega, M., et al. (2024). Ericoid mycorrhiza and soil microbial interactions in *Vaccinium* species. *Agronomy*.
- Rousk, J., et al. (2010). Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil. *The ISME Journal*, 4(10), 1340–1351.
- Schoch, C. L., Seifert, K. A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J. L., Levesque, C. A., & Chen, W. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241–6246.
- Song, W., et al. (2022). Nutritional benefits and cultivation techniques of blueberries. *Frontiers in Plant Science*.
- SOV Schweizer Obstverband, Beeren-Anbauflächen, Bericht 2024
- Strik, B., & Buller, G. (2005). Substrate production of blueberries: Challenges and benefits. *HortScience*.
- Zhao, J., Neher, D. A., & Bais, H. P. (2016). Different soil pH levels alter composition of rhizosphere bacterial communities and affect plant growth. *Plant and Soil*, 398(1), 195–206.