

Evaluierung der Etablierung der bei der Rebenpflanzung beigegebenen Mykorrhizapilze an den Rebwurzeln und Evaluierung von deren Wirkung auf die generative und vegetative Leistung der Reben



Impressum


Projektnehmer:in: Höhere Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau

Adresse: Wiener Straße 74, 3400 Klosterneuburg

Autor:innen: Hofrat Dipl.-Ing. Martin Mehofer, BEd und Dr. Karin Mandl

Projektleiter: Hofrat Dipl.-Ing. Martin Mehofer, BEd

E-Mail: martin.mehofer@weinobst.at

	<p>Gilt für Druckversion: Dieses Feld nicht löschen! Dieses Feld dient als Platzhalter für die Originalversionen von Umweltzeichen, Umweltzeichentext und PEFC-Siegel. Dieser Platzhalter zeigt deren Stand und wird von der Druckerei durch die entsprechenden Originalelemente ersetzt.</p> <p>Gilt für Onlineversion: Dieses Feld bitte löschen!</p>		<p>PEFC recycelt</p> <p>Dieses Produkt stammt aus Recycling und kontrollierten Quellen.</p> <p>www.pefc.at</p>
---	---	---	--

Klosterneuburg, 2026. Stand: 3. Februar 2026

Inhalt

Zusammenfassung	4
Summary	6
Einleitung	8
Material und Methoden	10
Rebsorte und Rebanlage	10
Beigabe eines Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	11
Bodenbewirtschaftung	13
Laubbearbeitung und Pflanzenschutz	13
Beprobung der Rebwurzeln und Beprobung und Analyse des Bodens	14
Bestimmung der Etablierung der Mykorrhizapilze	15
Triebblängenmessung nach dem ersten Standjahr.....	16
Blattanalysen	16
Bestimmung der Ertrags- und Reifeparameter	16
Bestimmung der Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most.....	17
Bestimmung des Schnittholzgewichts.....	18
Statistische Auswertung	18
Ergebnisse und Diskussion	19
Etablierung der Mykorrhizapilze	19
Triebblängen im ersten Standjahr	30
Nährstoffgehalte in den Blättern	31
Ertrags- und Reifeparameter.....	33
Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most	34
Schnittholzgewicht	35
Tabellenverzeichnis.....	36
Abbildungsverzeichnis.....	38
Literaturverzeichnis	39

Zusammenfassung

Die Reben sind im Zuge der klimatischen Veränderungen mit Hitzeperioden, Trockenphasen und Starkregenereignissen zunehmend extremen Witterungssituationen ausgesetzt. Diese Umweltbedingungen beeinflussen nicht nur das vegetative und generative Wachstum der Reben, sondern auch die Zusammensetzung und Funktion des Bodenmikrobioms. Um die Resilienz der Reben unter solchen Bedingungen zu verbessern, rücken biotische Faktoren wie Mykorrhiza-Pilze stärker in den Fokus der Forschung. Mit dem Ziel, die Reben resilienter zu machen, wurden unter diesen Bedingungen im Freiland die Etablierung und mögliche positive sowie negative Auswirkungen der Applikation eines kommerziellen Mykorrhiza-Bodenpilzpräparates an den Rebwurzeln untersucht. Die Versuche wurden über mehrere Vegetationsperioden hinweg durchgeführt und kombinierten mikroskopische Analysen der Wurzelbesiedelung mit molekularbiologischen Methoden zur Charakterisierung des Wurzel- und Rhizosomenmikrobioms, sowie weinbauliche Methoden zur Evaluierung von Effekten auf die generative und vegetative Entwicklung der Reben. Ein Fokus lag dabei auf der natürlichen Mykorrhiza-Inokulation sowie auf der Rolle funktionell relevanter mikrobieller Gruppen wie Arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMF), Sordariomycetes, Dothideomycetes, Orbilomycetes und der bakteriellen Klasse Blastocatellia. Die Ergebnisse zeigten, dass eine natürliche Mykorrhizabesiedelung unter geeigneten Bedingungen effizient stattfinden konnte, allerdings mit teils stark unterschiedlicher Ausprägung je nach Lokalisation und Jahr. Die Anwendung des Präparates führte in manchen Fällen zu einer erhöhten Besiedelung, in anderen zu keiner signifikanten Veränderung. Besonders auffällig war der Rückgang bestimmter Gruppen wie Blastocatellia im Jahr 2025, die zuvor in natürlich inokulierten Reben nachgewiesen worden waren. Diese Veränderungen warfen Fragen hinsichtlich der Stabilität und Funktionalität mikrobieller Netzwerke im Rebrhizosphärenraum auf, insbesondere unter Stressbedingungen. Bei den vegetativen weinbaulichen Parametern zeigte die Mykorrhizapräparatbeigabe während der Pflanzung weder Effekte auf die Triebblängen der Reben am Ende des Jahres der Pflanzung noch auf die im vierten und fünften Standjahr ermittelten Schnittholzgewichte. Ebenso konnten bei den im vierten und fünften Standjahr ermittelten generativen Parametern Traubengewicht und Beerengewicht sowie bei den Gehalten an Zucker, Säure, Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium und beim pH-Wert im Most keine signifikanten Effekte der zum Zeitpunkt der Pflanzung erfolgten Mykorrhizapräparatbeigabe beobachtet werden. Lediglich der Ertrag war in einem Jahr bei den Reben mit Mykorrhizabeigabe signifikant erhöht. Keine Effekte waren auf die Gehalte an Haupt- und Spurennährstoffen in den Blättern der Reben im vierten und fünften Standjahr erkennbar.

Die Ergebnisse zeigten also, dass aufgrund der bestehenden, guten natürlichen Mykorrhizabesiedlung kein zusätzlicher weinbaulicher Nutzen durch die Beigabe des kommerziellen Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats erzielt werden konnte. Daraus kann geschlossen werden, dass aufgrund der am Versuchsstandort durchgeführten fachgerechten Bodenpflege mit Gründüngung und organischer Düngung in den Fahrgassen sowie gezielter sachgerechter Bodenbearbeitung im Unterstockbereich eine sehr gute Bodenfruchtbarkeit vorhanden war. Insgesamt verdeutlichten die Daten, dass natürlich etablierte Mykorrhizasysteme eine deutlich höhere funktionelle Pilzdiversität und ökologische Komplexität aufwiesen als kommerziell inokulierte Varianten und dass die technische Mykorrhizainokulation nicht zu einer erfolgreichen Etablierung ökologisch funktionaler Pilzgemeinschaften geführt hatte. Das standortangepasste beziehungsweise am Standort bereits gewachsene System hatte offenbar eine größere Diversität und Stabilität gefördert. Die Studie lieferte somit wichtige Einblicke in die potenzielle Nutzung von Mykorrhizapilzen. Sie zeigte aber auch die Komplexität mikrobieller Interaktionen auf, die je nach Standortbedingungen unterschiedlich verlaufen können. Die Kombination aus mikroskopischen, molekularbiologischen, ökologischen und weinbaulichen Ansätzen erlaubte eine differenzierte Bewertung des Einsatzes kommerzieller Mykorrhizapräparate im Weinbau.

Summary

In the wake of climate change, with heat waves, droughts and heavy rainfall, vines are increasingly exposed to extreme weather conditions. These environmental conditions do not only influence the vegetative and generative growth of the vines, but also the composition and function of the soil microbiome. In order to improve the resilience of vines under such conditions, biotic factors such as mycorrhizal fungi are becoming the focus of research. With the aim of making the vines more resilient, the establishment and possible positive and negative effects of applying a commercial mycorrhizal soil fungus preparation to the vine roots were investigated under these conditions in the field. The experiments were conducted over several growing seasons and combined microscopic analyses of root colonisation with molecular biological methods to characterise the root and rhizome microbiome, as well as viticultural methods to evaluate effects on the generative and vegetative development of the vines. One focus was on natural mycorrhizal inoculation and the role of functionally relevant microbial groups such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), Sordariomycetes, Dothideomycetes, Orbilomycetes and the bacterial class Blastocatellia. The results showed that natural mycorrhizal colonisation could occur efficiently under suitable conditions, but with varying degrees of intensity depending on location and year. In some cases, the application of the preparation led to increased colonisation, while in others there was no significant change. Particularly striking was the decline in certain groups such as Blastocatellia in 2025, which had previously been detected in naturally inoculated vines. These changes raised questions regarding the stability and functionality of microbial networks in the vine rhizosphere, especially under stress conditions. In terms of vegetative viticultural parameters, the addition of mycorrhizal preparations during planting had no effect on the shoot length of the vines at the end of the planting year or on the pruning wood weights determined in the fourth and fifth years. In terms of generative aspects, no significant effects of the mycorrhizal preparation added at the time of planting were observed in the parameters determined in the fourth and fifth years of growth, namely grape weight and berry weight, as well as in the sugar, acid, nitrogen, potassium, magnesium and sodium content and pH value of the must. Only yield was significantly higher in one year for the vines with mycorrhizae added. No effects were observed on the levels of major and trace nutrients in the leaves of the four- and five-year-old vines. The results showed that, due to the existing good natural mycorrhizal colonisation, no additional viticultural benefits could be achieved by adding the commercial mycorrhizal soil fungus preparation. Therefore it can be concluded that the soil fertility was very good due to the professional soil management

carried out at the trial site with green manure and organic fertilisation between the rows and due to the targeted, appropriate soil cultivation in the under-vine areas. Overall, the data showed that naturally established mycorrhizal systems had significantly higher functional fungal diversity and ecological complexity than commercially inoculated variants, and that technical mycorrhizal inoculation had not led to the successful establishment of ecologically functional fungal communities. The system, which was adapted to the location or had already grown there, had apparently promoted greater diversity and stability. Thus this study provided important insights into the potential use of mycorrhizal fungi. However, it also highlighted the complexity of microbial interactions, which can vary depending on site conditions. The combination of microscopic, molecular biological, ecological and viticultural approaches enabled a differentiated assessment of the use of commercial mycorrhizal preparations in viticulture.

Einleitung

Bezugnehmend auf die klimatischen Bedingungen, die für den Wuchs der Reben und für die Reife der Trauben wesentlich sind, haben Messungen und Statistiken gezeigt, dass sich die globale Mitteltemperatur im Vergleich zur vorindustriellen Zeit um mindestens 1,1 °C erhöht hat, wobei sich die Geschwindigkeit der Erwärmung seit den 1980-er Jahren verdreifacht hat. Die Jahre 2015 bis 2024 waren die zehn wärmsten der Messgeschichte und die Temperaturen von Jänner bis September des Jahres 2024 lagen im Schnitt um 1,54 °C über dem vorindustriellen Niveau. In Österreich war die Temperaturzunahme sogar etwa doppelt so stark. Die durchschnittliche Jahrestemperatur stieg hier seit vorindustrieller Zeit (1851 – 1900) bis zum Jahr 2023 um 2,9 °C. Hauptursache dafür war die schnellere Erwärmung der Luft über Landflächen als über den thermisch trägeren Ozeanen (Umweltbundesamt 2026). Die Auswirkungen dieser klimatischen Veränderungen mit zunehmenden Hitzeperioden, Trockenphasen und Starkregenereignissen auf das Rebenwachstum, die Traubenreife und die Weintypizität können beträchtlich sein (Jones und Webb 2010, Moriondo et al. 2013, Kovács et al. 2018). Auch die Zusammensetzung und Funktion des Bodenmikrobioms wird durch diese klimatischen Veränderungen beeinflusst. Um die Resilienz der Reben unter solchen Bedingungen zu verbessern, wie auch beispielsweise von Dries (2022) beabsichtigt, rücken mikrobiologische Ansätze in den Fokus – insbesondere die gezielte Förderung von symbiotischen Pilzgemeinschaften wie arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMF). Arbuskuläre Mykorrhizapilze bilden intrazelluläre Strukturen – sogenannte Arbuskeln – in den Wurzeln ihrer Wirtspflanzen, durch die sie den Austausch von Nährstoffen – insbesondere Phosphor – und Wasser erleichtern. Darüber hinaus sind sie an der Regulation pflanzlicher Stressantworten beteiligt und können die Pflanzengesundheit in von Umweltstress geprägten Agrarökosystemen stabilisieren (Smith & Read, 2008). Die gezielte Inokulation von Rebepflanzen mit kommerziellen Mykorrhiza-Präparaten wird daher als potenziell nachhaltige Maßnahme zur Verbesserung der Pflanzengesundheit und Ertragsstabilität im Weinbau diskutiert. Vor diesem Hintergrund wurde im Rahmen eines mehrjährigen Freilandprojektes untersucht, ob und in welchem Ausmaß sich ein kommerzielles Mykorrhiza-Bodenpilzpräparat bei der Rebepflanzung etablieren lässt und welche ökologischen sowie physiologischen Effekte damit einhergehen. Zur Beurteilung der Etablierung des Präparats wurden mikroskopische Analysen von Wurzelpräparaten sowie umfassende mikrobiologische Bodenuntersuchungen mittels Next-Generation Sequencing (NGS) durchgeführt. Parallel dazu wurden mögliche Auswirkungen auf die vegetative und generative Entwicklung der Reben evaluiert. Dazu gehörten die Messung der Triebblängen im ersten Standjahr sowie in Folgejahren

die Erhebung der weinbaulichen Parameter Ertrag, Trauben- und Beerengewicht, Mostgewicht, Säuregehalt und pH-Wert sowie die Analyse der Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most. Außerdem wurden in zwei Vegetationsperioden die Nährstoffgehalte der Blätter sowie das Schnittholzgewicht bestimmt.

Ziel der Untersuchung war es, die Wirkung der Mykorrhizainokulation unter realistischen weinbaulichen Bedingungen zu erfassen und mögliche positive oder negative Effekte auf die Rebenentwicklung und mikrobielle Diversität systematisch zu bewerten.

Material und Methoden

Rebsorte und Rebanlage

In der folgenden Tabelle 1 sind die technischen Daten der Rebanlage, die im Rahmen des Projektes ausgepflanzt wurde, beschrieben.

Tabelle 1: Rebanlage „Rothäcker XIV“ am Versuchsgut Agneshof in der KG Klosterneuburg.

Standort	Quartier Rothäcker XIV
Rebsorte	Bronner
Unterlagsrebsorten	Kober 5BB, SO4, 1103 Paulsen
Pflanzjahr	2021
Pflanzweite	2,80 m x 0,90 m (= 2,52 m ² pro Rebstock)
Erziehungssystem	Mittelhohe Spaliererziehung (Stammhöhe = 90 cm) mit einem Kordondrahtpaar und drei Heftdrahtpaaren (h = 1,20 m; 1,50 m und 1,90 m)
Schnittart	1 Strecker á 8 Augen und 1 Zapfen á 2 Augen
Schnittstärke	4 Augen pro m ² (= 10 Augen pro Rebstock)

Der in Tabelle 1 beschriebene Versuchsweingarten befindet sich in der Katastralgemeinde Klosterneuburg in der Ried Rothäcker in einer leichten Hanglage mit Ausrichtung nach Südosten. Ein Teil des Quartiers ist terrassiert. Die folgende Anzahl an Reben wurde ausgepflanzt: 118 Stöcke Bronner auf Kober 5BB, 113 Stöcke Bronner auf SO4 und 106 Stöcke Bronner auf 1103 Paulsen, also in Summe 337 Stöcke. Bronner zählt zu den Rebsorten mit erhöhter Pilzwiderstandsfähigkeit.

Der Weingarten (Abbildung 1) wurde nach den Richtlinien der nachhaltig integrierten Produktion mit einer reduzierten Anzahl an Pflanzenschutzmaßnahmen unter Verwendung von chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmitteln bewirtschaftet.

Abbildung 1: Bronner-Projektrebanlage im Quartier Rothäcker XIV am Versuchsgut Agneshof am 8. Juli 2025.



Beigabe eines Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats

Das Mykorrhiza-Bodenpilzpräparat Mykonor Bio-Aktiv[®], welches Mykorrhiza-Pilze der Familie der Glomeraceae, der Gattung Glomus enthielt, wurde an den Wurzeln von 143 Rebsetzlingen unmittelbar vor der Pflanzung appliziert. Dazu wurden die Rebwurzeln in entsprechender Konzentration in das in Wasser gelöste Präparat getaucht (Abb. 2) und unmittelbar danach in randomisierter Anordnung händisch gepflanzt (Abb. 3). Abschließend wurden die Reben eingegossen und bis etwa 2 – 3 cm unter der Veredlungsstelle mit Erde bedeckt.

Abbildung 2: Eintauchen der Rebwurzeln in die Mykorrhiza-Bodenpilzpräparat-Wasser-Lösung am 10.05.2021.



Abbildung 3: Händische Pflanzung der Reben am 10.05.2021.



Bodenbewirtschaftung

Der Unterstockbereich wurde in den ersten drei Jahren mittels hydraulisch betriebenem Zwischenstockräumgerät sowie mittels Anhäufeln im Winter und Abhäufeln im Frühjahr offengehalten. In den ersten beiden Jahren erfolgte außerdem eine händische Unterstockbearbeitung. In den weiteren Jahren wurde der Unterstockbewuchs mittels Fadenrotor abgeschlagen. Im Frühjahr jedes Jahres wurde jede zweite Fahrgasse umgebrochen und nach entsprechender Saatbeetvorbereitung eine aus verschiedenen Pflanzenarten bestehende Gründüngung angesät. Sowohl die Gründüngung aus dem Vorjahr, als auch die neu angelegte Gründüngung wurden mittels Walzen und / oder Mulchen während der jährlichen Vegetationsperioden entsprechend gepflegt.

Laubbearbeitung und Pflanzenschutz

Nach der fachgerechten Laubarbeit zum Stammaufbau erfolgte in den Folgejahren die Laubbearbeitung entsprechend der guten weinbaulichen Praxis. Dazu zählten das Jäten im Stammbereich (Entfernung der Wasserschosse am Stamm), das Jäten im Kordondrahtbereich (Entfernung von Wasserschoßen, Doppeltrieben und überzähligen Trieben), das Einstricken der Triebe und das Schließen der Heftdrahtklammern, das Einkürzen der Triebe mittels Laubschnittgerät (Gipfeln und Wipfeln) und eine Teilentblätterung der Traubenzone. Eine lockere Laubwand hat den Vorteil einer besseren Durchlüftung. Dadurch trocknen die Beeren und alle anderen grünen Rebteile rascher ab und die Anlagerungsqualität der applizierten Pflanzenschutz- und Pflanzenstärkungsmittel, wie in Tabelle 2 am Beispiel des Jahres 2024 angeführt, verbessert sich. Das soll die Gefahr des Auftretens von Pilzkrankheiten reduzieren.

Tabelle 2: Reduzierte Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen der Integrierten Produktion bei 'Bronner' am Beispiel des Jahres 2024.

Applikations- termine	Pflanzenschutzmittel: Ausbringungsmengen und Indikationen
26. März 2024	Netzschwefel Kumulus (7,5 kg/ha) gegen Kräusel- und Pockenmilbe mit Zusatzwirkung gegen Echten Mehltau
6. Mai 2024	Netzschwefel (3,0 kg/ha) gegen Echten Mehltau, Fungizid mit 2 Wirkstoffen gegen Falschen Mehltau (0,27 l/ha), Fungizid mit 2 Wirkstoffen gegen Echten Mehltau (0,3 l/ha), kaliumphosphonathältiges Fungizid gegen Falschen Mehltau (3,0 l/ha)
13. Juni 2024	Netzschwefel (3,0 kg/ha) gegen Echten Mehltau, Fungizid mit Wirkstoff gegen Falschen Mehltau (2,5 l/ha), Fungizid mit Wirkstoff gegen Echten Mehltau (0,3 l/ha), kupferoxychloridhaltiges Fungizid gegen Falschen Mehltau (1,0 l/ha)

Beprobung der Rebwurzeln und Beprobung und Analyse des Bodens

An folgenden Terminen wurden Rebwurzeln entnommen: 8. Juni und 11. Oktober 2022, 5. Juli und 12. September 2023 und 31. Juli 2024. Dazu wurde mittels Spaten in einer Tiefe von mindestens 20 cm eine feine Seitenwurzel je Rebstock entnommen. Die Beprobung musste mit zunehmenden Wachstum an die Gegebenheiten angepasst werden.

Die Beprobung für NGS-Proben erfolgte unmittelbar in der Umgebung der Rebwurzeln in einer Tiefe von 20 cm. Die Bodenproben für die NGS-Untersuchung wurden dementsprechend direkt neben den Probenahmestellen der Mycorrhiza vom 8. Juni 2022 gezogen. Eine weitere Entnahme von Bodenproben für eine abschließende NGS-Untersuchung erfolgte am 8. April 2025.

Die aus der Bodenprobe extrahierte DNA wurde an ein kommerzielles Labor (Eurofins Genomics, Ebersberg, Deutschland) geschickt, um eine Next-Generation-Sequenzierung (NGS) durchzuführen. Die DNA-Extraktion erfolgte mittels FavorPrep™ Soil DNA Isolation Kit (Farvogen, Biotech Corporation, Ping Tung, Taiwan). Danach wurden die Analysen mit einem Illumina MiSeq v3, 2 × 300 bp Modus durchgeführt. Für die Untersuchung wurden die Zielregionen V1V3 und ITS2 verwendet. Als erster Schritt der Mikrobiomanalyse wurden alle Reads mit mehrdeutigen Basen („N“) entfernt. Chimäre Reads wurden basierend auf dem De-novo-Algorithmus von UCHIME (Edgar et al., 2011) mittels VSEARCH-Paket (Rognes et al., 2016) identifiziert. Der verbleibende Satz hochwertiger Lesevorgänge wurde mithilfe der minimalen Entropiezerlegung verarbeitet (Eren et al., 2013; 2015). Minimum Entropy

Decomposition (MED) stellte ein recheneffizientes Mittel dar, um Markergen-Datensätze in Operational Taxonomic Units (OTUs) zu unterteilen. Jede OTU repräsentierte ein Cluster mit signifikanter Sequenzdivergenz zu jedem anderen Cluster. Das MED-Verfahren übertrifft klassische, identitätsbasierte Clustering-Algorithmen. Sequenzen können basierend auf relevanten Einzelnukleotidunterschieden partitioniert werden, ohne anfällig für zufällige Sequenzierungsfehler zu sein. Dies ermöglichte eine Zerlegung von Sequenzdatensätzen mit einem einzigen Nukleotidergebnis. Darüber hinaus identifizierte und filterte das MED-Verfahren zufälliges „Rauschen“ im Datensatz, d. h. Sequenzen mit einer sehr geringen Häufigkeit (weniger als $\approx 0,02\%$ der durchschnittlichen Stichprobengröße). Um jeder OTU taxonomische Informationen zuzuordnen, wurden DC-MEGABLAST-Alignments von cluster-repräsentativen Sequenzen mit der Sequenzdatenbank durchgeführt. Aus dem Satz der am besten passenden Referenzsequenzen (niedrigste gemeinsame taxonomische Einheit aller besten Treffer) wurde dann eine spezifische taxonomische Zuordnung für jede OTU übertragen. Dabei war eine Sequenzidentität von 70 – 80 % der repräsentativen Sequenz eine Mindestanforderung für die Berücksichtigung von Referenzsequenzen. Die weitere Verarbeitung von OTUs und taxonomischen Zuordnungen erfolgten mit dem Softwarepaket QIIME (Version 1.9.1, <http://qiime.org/>; Caporaso et al., 2010) und der NCBI-Datenbank (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>). Die Häufigkeit von taxonomischen Einheiten wurde unter Verwendung von abstammungsspezifischen Kopienzahlen der relevanten Markergene normalisiert, um die Schätzungen zu verbessern (Angly et al., 2014).

Bestimmung der Etablierung der Mykorrhizapilze

Bei den einzelnen Versuchsvarianten wurde in mehrfacher Wiederholung eine mikroskopische Analyse der Wurzeln durchgeführt. Dabei kam eine modifizierte Färbetechnik nach Giovannetti (1980) und Vierheilig et al. (1998) zur Anwendung. Die Wurzeln wurden in 2 mm lange Segmente geschnitten und anschließend für 10 Minuten in einer 10 %-igen Kalilauge (KOH) bei 95 °C entfärbt. Die Färbung erfolgte mit Pelikantinte 4001, Königsblau. Zur Bewertung wurden pro Wurzel 100 Schnittstücke unter dem Lichtmikroskop bei 400-facher Vergrößerung untersucht.

Triebblängenmessung nach dem ersten Standjahr

Im Frühjahr 2022 wurden mit Hilfe eines Maßstabes die Triebblängen (cm) aller Reben, also sowohl der behandelten als auch der unbehandelten Reben, entsprechend der randomisierten Versuchsanordnung gemessen.

Blattanalysen

Zur Analyse der Nährstoffgehalte in den Blättern wurden im Juli, also während der phänologischen Entwicklungsstadien "Erbsengröße" (BBCH 75) bis "Traubenschluss" (BBCH 77-79), Blätter aus der Traubenzone entnommen. Die Blattentnahme erfolgte vom ersten, zweiten oder dritten grünen Trieb der Rebbögen. Entnommen wurden jene Blätter, die sich gegenüber der ersten oder zweiten Traube am Trieb befanden. Für eine repräsentative Durchschnittsprobe wurden 20 bis 30 Blätter gesammelt. Die Blattspreiten wurden bei 105 °C im Trockenschrank (Memmert, Schwabach, Deutschland) getrocknet und anschließend gemahlen. Das getrocknete und gemahlene Blattprobenmaterial (600 mg) wurde mit einem Multiwave Aufschlussgerät (Anton Paar, Graz, Österreich) mit 8 ml Salpetersäure und 2 ml Wasserstoffperoxid aufgeschlossen und auf 25 ml verdünnt. Anschließend erfolgte mittels ICP (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, USA) die Analyse des Borgehalts. Um Kalium, Magnesium, Calcium, Eisen, Kupfer, Zink und Mangan mittels ICP zu bestimmen, mussten die Proben 1:8 verdünnt und gemischt werden. Phosphat wurde aus der Verdünnung mit Hilfe der Molybdänblau-Methode am Photometer (Agilent, Santa Clara, USA) analysiert. Die Stickstoffbestimmung erfolgte mittels Kjeldahl-Methode (Büchi, Flawil, Schweiz).

Bestimmung der Ertrags- und Reifeparameter

Die Bestimmungen von Ertrag, Traubengewicht, 100-Beerengewicht, Mostgewicht sowie des Gehalts an titrierbarer Säure und des pH-Werts im Most erfolgten in den Jahren 2024 und 2025 laut Versuchsplan in Form von gepoolten Proben aus allen Stöcken pro Wiederholung. Zur Bestimmung der Reifeparameter wurden unmittelbar vor der Lese Beerenproben entnommen. Der Probenumfang betrug etwa 250 Beeren pro Wiederholung. Die Beeren wurden gleichmäßig verteilt von beiden Seiten der Laubwand, von der Vorder- und Rückseite der Trauben und jeweils vom oberen, mittleren und unteren Drittel der einzelnen Trauben entnommen. Das Gewicht von 100 Beeren wurde mit der Präzisionswaage Modell Kern 440-49N (Swiss Waagen DC GmbH, Bertschikon, Schweiz) bestimmt. Die Entsaftung

der entnommenen Beeren erfolgte mittels Saftzentrifuge Santos Anneé 90 (SANTOS SAS, Vaulx-en-Velin, Frankreich) und die Filtration mit Hilfe von Faltenfiltern 3 hw (Sartorius, Göttingen, Deutschland). Der Zuckergehalt wurde mittels Handrefraktometer, der Säuregehalt durch Titration mit 2/15 normaler Blaulauge bis zum Umschlagpunkt (pH = 7) und der pH-Wert mittels elektronischem pH-Messgerät (Mettler-Toledo GmbH, Gießen, Deutschland) ermittelt. Die Ertragsbestimmungen erfolgten unmittelbar nach der Ernte in den Projektanlagen mittels Waage Typ Wedo – Paket 50 (Werner Dorsch GmbH, Münster/Dieburg, Deutschland). Der durchschnittliche Einzelstockertrag wurde im Anschluss daran rechnerisch ermittelt, indem der erhobene Ertrag durch die entsprechende Stockanzahl dividiert wurde. Während der Ernte wurde die Anzahl der Trauben ermittelt. Das durchschnittliche Traubengewicht wurde rechnerisch mit Hilfe der erhobenen Ertragsdaten und der ermittelten Traubenanzahl bestimmt.

Bestimmung der Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most

Der Stickstoffgehalt im Most wurde fotometrisch bestimmt: Die freien α -Aminogruppen bildeten mit dem Reagenz o-Phtalaldehyd/N-Acetyl-Cystein (OPA/NAC) einen blauen Farbstoff, dessen Intensität im Photometer Konelab 20 (Thermo Fisher Scientific Oy Clinical Diagnostics, Vantaa, Finnland) bei 340 nm gemessen wurde. Der Kalium- und Magnesiumgehalt wurden mittels Atomabsorptionsspektrometer (AAS) Thermo iCE 3000 (Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, USA) bestimmt. Dazu wurden die verdünnten Mostproben mit dem Probengeber in die Zerstäuberkammer des AAS gesaugt. Das dort gebildete feine Aerosol wurde in einer Luft/Acetylenflamme atomisiert. Die Extinktion der K-Linie wurde bei 769,9 Nanometer und bei einer Brennereinstellung von 90 °C und die Extinktion der Mg-Linie bei 285,2 Nanometer und ebenfalls bei einer Brennereinstellung von 90 °C gemessen. Der Natriumgehalt wurde mittels Emissionstechnik bestimmt. Die Emission der Na-Linie wurde bei 589,0 Nanometer bei einer Brennereinstellung von 90° gemessen.

Bestimmung des Schnittholzgewichts

In den Jahren 2024 und 2025 wurde nach dem Rebschnitt das Schnittholzgewicht entsprechend dem Versuchsplan mit einer transportfähigen mechanischen Zugwaage (Spiral Reih & Co. KG, Wien, Österreich) gewogen. Dabei wurde das ein- und zweijährige Holz, also der ein- und zweijährige Zuwachs, der im Zuge des Ertragsschnitts entfernt wurde, berücksichtigt. Das Schnittholz verblieb in der Anlage und wurde mittels Schlegelmulcher gehäckselt.

Statistische Auswertung

Die Aufbereitung und statistische Auswertung der Daten erfolgte mit den Programmen SPSS (Version 30.0; IBM, Wien, Österreich) und Microsoft Excel 2016 (Microsoft Österreich GmbH, Wien, Österreich). Die Daten wurden mittels Varianzanalyse in Verbindung mit dem F-Test aufbereitet. Danach wurden die Mittelwerte mittels Grenzdifferenz nach Tukey beurteilt ($P < 0,05$). Folgende Signifikanzgrenzen wurden verwendet: $P \leq 0,001$ = "sicher" = ***; $P \leq 0,01$ = "hoch signifikant" = **; $P \leq 0,05$ = "signifikant" = *; $P > 0,05$ = "nicht signifikant" = n.s. Varianzhomogenität und Normalverteilung wurden überprüft.

Ergebnisse und Diskussion

Etablierung der Mykorrhizapilze

Tabelle 3: Aktive Mykorrhiza an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
			Aktive Mycorrhiza (%)
08.06.2022	97,2	91,0	<i>n.s.</i>
11.10.2022	100	100	<i>n.s.</i>
05.07.2023	100	100	<i>n.s.</i>
12.09.2023	98	99	<i>n.s.</i>
31.07.2024	99	95	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 3 ist zu entnehmen, dass in nahezu allen beprobten Rebstöcken aktive Mykorrhiza vorhanden war. Im Mikroskop zeigten sich zunächst geringfügige Unterschiede in Form und Größe der Mykorrhiza-Strukturen, die sich im Verlauf der Zeit jedoch weitgehend angleichen konnten. Auffällig war, dass die Sporen der zugekauften Mykorrhiza-Präparate im Vergleich zu den natürlichen Stämmen minimal kleiner erschienen – ein Unterschied, der mikroskopisch visuell wahrnehmbar war, jedoch mangels entsprechender Messtechnik nicht quantitativ verifiziert werden konnte. In der Probe vom 8. Juni 2022 konnten zahlreiche Sporen beobachtet werden, die sich in der frühen Phase der Hyphenbildung befanden. Erst in der Probe vom 5. Juli 2023 wurden vollständig ausgebildete Hyphen sichtbar, die einzelne Wurzelzellen umschlossen. Auch arbuskuläre Mykorrhiza-Strukturen sowie die Bildung von Sklerotien konnten erstmals im Jahr 2023 eindeutig nachgewiesen werden. Bemerkenswert ist, dass bei der Rebsorte Bronner, die ohne Applikation eines Mykorrhiza-Präparats kultiviert wurde, die Ausbildung und mikroskopische Sichtung von Vesikeln später erfolgte als bei den übrigen untersuchten Proben.

Tabelle 4: Sporen an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Sporen (%)			
08.06.2022	6,5	9,8	<i>n.s.</i>
11.10.2022	100	99,3	<i>n.s.</i>
05.07.2023	97,0	97,3	<i>n.s.</i>
12.09.2023	97,0	98,7	<i>n.s.</i>
31.07.2024	99,3	93,3	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 4 ist zu entnehmen, dass bei der Probennahme erst wenige Sporen sichtbar waren, die an den folgenden Probenahmeterminen zunahm. Ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den bei der Pflanzung behandelten und den unbehandelten Reben war nicht erkennbar.

Tabelle 5: Sporen mit Hyphen an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Sporen mit Hyphen (%)			
08.06.2022	18,0	13,3	<i>n.s.</i>
11.10.2022	34,3	31,0	<i>n.s.</i>
05.07.2023	84,0	57,7	<i>n.s.</i>
12.09.2023	0	0	<i>n.s.</i>
31.07.2024	0	0	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass in den ersten Probennahmen die auskeimenden Sporen mikroskopisch gut darstellbar waren und in den späteren Probennahmen diese zugunsten der Sporen ohne Hyphen und zu arbuskulären Formen wichen. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den bei der Pflanzung behandelten und den unbehandelten Reben waren nicht erkennbar.

Tabelle 6: Arbuskuläre Mykorrhiza an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Arbuskuläre Mycorrhiza (%)			
08.06.2022	77,0	73,8	<i>n.s.</i>
11.10.2022	87,7	79,7	<i>n.s.</i>
05.07.2023	62,0	65,0	<i>n.s.</i>
12.09.2023	36,3	36,7	<i>n.s.</i>
31.07.2024	85,3	65,0	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 6 ist zu entnehmen, dass arbuskuläre Mykorrhiza-Strukturen in sämtlichen Proben nachgewiesen werden konnten, ohne dass signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsvarianten feststellbar waren. Die Arbuskeln nahmen typischerweise den gesamten Innenraum der betroffenen Wurzelzelle ein.

Tabelle 7: Vesikel an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Vesikel (%)			
08.06.2022	0	0,3	<i>n.s.</i>
11.10.2022	0	0,7	<i>n.s.</i>
05.07.2023	2,0	4,0	<i>n.s.</i>
12.09.2023	0,3	0,7	<i>n.s.</i>
31.07.2024	0,3	0,7	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 7 ist zu entnehmen, dass die für Mykorrhiza typischen Vesikel nur sehr selten, und zwar sowohl bei der natürlichen wie auch bei der inkulierten Mykorrhiza im Mikroskop nachweisbar waren. Bei der inokulierten Variante traten Vesikel früher auf.

Tabelle 8: Hyphen an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Hyphen (%)			
05.07.2023	95,0	89,7	<i>n.s.</i>
12.09.2023	96,7	97,3	<i>n.s.</i>
31.07.2024	18,7	40,0	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 8 ist zu entnehmen, dass ab Juli 2023 in den Proben klar erkennbare Hyphen vorhanden waren, die sich um die Wurzelzellen legten und teilweise in den Boden hineinwuchsen. Die in Tabelle 8 erkennbaren Unterschiede zwischen den bei der Pflanzung behandelten und den unbehandelten Reben waren nicht statistisch signifikant.

Tabelle 9: Kleistothecien an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Kleistothecien (%)			
05.07.2023	21,0	7,3	<i>n.s.</i>
12.09.2023	1,3	1,0	<i>n.s.</i>
31.07.2024	0	0,3	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 9 ist zu entnehmen, dass die Dauerformen erst im Jahre 2023 das erste Mal auftraten. Davor waren nur verschiedene Sporenstadien und arbuskuläre Mykorrhiza wie Hyphenbildung nachweisbar. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsvarianten konnten nicht festgestellt werden.

Tabelle 10: Bakterien an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. Juni 2022.

Datum: 08.06.2022	Erde neben Bronner ohne Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Erde neben Bronner mit Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Signifikanz
Acidobacteria_Acidobacteriia	0,6	1,0	n.s.
Acidobacteria__Blastocatellia	6,0	0,0	s.
Acidobacteria__Viciniabacteria	10,0	1,4	n.s.
Actinobacteria__Acidimicrobiia	2,6	0,2	n.s.
Actinobacteria__Actinobacteria	0,4	0,2	n.s.
Armatimonadetes__Fimbriimonadia	0,0	0,1	n.s.
Bacteroidetes__Bacteroidia	1,1	0,9	n.s.
Bacteroidetes__Cytophagia	0,5	0,3	n.s.
Bacteroidetes__Flavobacteriia	0,0	0,4	n.s.
Chloroflexi__Dehalococcoidia	0,4	0,0	n.s.
Cyanobacteria__sp.	0,0	0,3	n.s.
Gemmatimonadetes__Gemmatimonadetes	22,2	20,6	n.s.
Gemmatimonadetes__Longimicrobia	0,0	0,7	n.s.
Nitrospinae__Nitrospina	1,4	1,3	n.s.
Nitrospirae__Nitrospira	6,9	10,1	n.s.
Planctomycetes__Phycisphaerae	0,2	0,6	n.s.
Proteobacteria__Alphaproteobacteria	13,1	18,3	n.s.
Proteobacteria__Betaproteobacteria	19,1	23,7	n.s.
Proteobacteria__Deltaproteobacteria	2,6	5,6	n.s.
Proteobacteria__Gammaproteobacteria	12,8	14,3	n.s.

Der Tabelle 10 ist zu entnehmen, dass die Klasse **Blastocatellia** im Jahr 2022 signifikante Unterschiede in ihrer relativen Häufigkeit zwischen den beiden Versuchsgruppen aufwies. Die Angaben basieren auf Mittelwerten der prozentualen OTU-Verteilung (Operational Taxonomic Units). Im Jahr 2025 (Tabelle 12) konnte **Blastocatellia** hingegen in keiner der Proben mehr detektiert werden. Interessanterweise war **Blastocatellia** ausschließlich in den Bodenproben nachweisbar, die aus der Umgebung natürlich inokulierter Mykorrhiza-Reben stammten. In den Bodenproben rund um die Rebsorte Bronner, die mit einem kommerziellen Mykorrhizapilzpräparat behandelt worden war, konnte kein Vorkommen dieser Bakterienklasse festgestellt werden.

Im Microbe Atlas 1.0 wird **Blastocatellia** als typisches Mitglied der Weingartenflora beschrieben. Ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen dieser Klasse und jener der **Glomeromycetes** (arbuskuläre Mykorrhiza) konnte in dieser Studie nicht festgestellt werden. **Blastocatellia** sind microaerophile, anoxygene, photoheterotrophe Bakterien, die Licht als Energiequelle nutzen, organische Verbindungen als Kohlenstoffquelle benötigen, keinen Sauerstoff produzieren und nur unter sehr geringen Sauerstoffkonzentrationen gedeihen. Sie spielen somit eine wichtige Rolle in lichtdurchfluteten, aber sauerstoffarmen Böden und Sedimenten. Zudem sind **Blastocatellia**-Bakterien anpassungsfähige Bodenorganismen mit einer breiten pH-Toleranz. Sie sind in der Lage, komplexe organische Verbindungen – insbesondere proteinreiche Substrate – abzubauen. Einige Vertreter dieser Klasse wurden unter extremen Umweltbedingungen isoliert, wie etwa in geothermisch beeinflussten Böden (**Pyrinomonas**) oder heißen Quellen (**Chloracidobacterium**) (Dedysh, 2017).

Tabelle 11: Pilze an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. Juni 2022.

Datum: 08.06.2022	Erde neben Bronner ohne Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Erde neben Bronner mit Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Signifikanz
Ascomycota_sp.	6,9	4,7	n.s.
Ascomycota__Dothideomycetes	3,0	6,1	n.s.
Ascomycota__Eurotiomycetes	1,1	1,4	n.s.
Ascomycota_Leotiomycetes	1,7	3,6	n.s.
Ascomycota__Orbiliomycetes	0,1	0,0	n.s.
Ascomycota__Pezizomycetes	3,4	3,0	n.s.
Ascomycota__Saccharomycetes	1,1	12,0	n.s.
Ascomycota__Sordariomycetes	80,5	59,1	s.
Basidiomycota__Agaricomycetes	0,0	3,0	n.s.
Basidiomycota__Tremellomycetes	1,4	3,0	n.s.
Chytridiomycota__Chytridiomycetes	0,3	2,5	n.s.
Cryptomycota__sp.	0,0	0,4	n.s.
Mucoromycota__Mortierellomycetes	0,0	0,6	n.s.
Mucoromycota__Mucoromycetes	0,1	0,0	n.s.

Aus Tabelle 11 geht hervor, dass die **Klasse Sordariomycetes** im Jahr 2022 signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsgruppen aufwies. Die Angaben der Mittelwerte erfolgten in Prozent OTUs. In der Erde neben den natürlich inokulierten Mykorrhiza-Reben war der Anteil an **Sordariomycetes**-OTUs deutlich höher als bei der Inokulation mit einem kommerziellen Mykorrhiza-Präparat. Im Jahr 2025 konnten hingegen keine signifikanten Unterschiede mehr festgestellt werden. Zudem war der OTU-Anteil der **Sordariomycetes** in der Gruppe mit natürlicher Inokulation deutlich reduziert. Ein auffälliger Unterschied bestand darin, dass bei der natürlichen Inokulation **Glomeromyceten** neben der Wurzel nachgewiesen werden konnten, was bei der mit einem kommerziellen Produkt inokulierten Variante nicht in gleichem Maße der Fall war.

Die Pilzgruppe der **Sordariomyceten** umfasst über 600 Gattungen, darunter viele nicht-flechtenbildende Ascomyceten, die überwiegend Perithezien und charakteristische Asci mit acht Sporen ausbilden. Sie sind in nahezu allen Ökosystemen vertreten – als Endophyten, Pathogene oder Saprotrophen – und spielen eine wichtige Rolle im Nährstoffkreislauf (Taylor, 2015). Die **Ordnung Glomerellales** wurde speziell in den Jahren 2022 und 2025 nachgewiesen. Ihre sexuelle Form ist unter dem Namen **Colletotrichum** bekannt. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Reifefäule als bedeutende Traubenkrankheit mit einer hohen Diversität an **Colletotrichum**-Arten assoziiert ist. In anderen Untersuchungen wurden aus befallenen Beeren sechs Arten isoliert, darunter **C. karstii** und **C. limitticola**. Am häufigsten und virulentesten zeigten sich **C. viniferum** und **C. fructicola** (Echeverrigaray et al., 2020).

Die Klassen **Sordariomycetes** und **Dothideomycetes** machen weltweit über 75 % der Blattendophyten aus, wobei ihre Häufigkeit mit dem Breitengrad variiert. Ein bemerkenswerter Vertreter ist **Cenococcum geophilum (Dothideomycetes)**, ein Ektomykorrhizapilz, der sowohl als Blattendophyt als auch als Mykorrhiza-Symbiont auftritt und somit eine komplexe ökologische Rolle einnimmt. Die genaue Identifikation auf Stammebene sowie phylogenetische Analysen sind entscheidend, um diese ökologischen Funktionen und mögliche Mehrfach symbiosen zu verstehen (Arnold, 2007).

Tabelle 12: Bakterien an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. April 2025.

Datum: 08.04.2025	Erde neben Bronner ohne Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Erde neben Bronner mit Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Signifikanz
Bacteroidetes_Flavobacteriia	10,3	0,0	n.s.
Proteobacteria__Alphaproteobacteria	38,5	56,8	n.s.
Proteobacteria__Betaproteobacteria	51,3	43,2	n.s.

Aus Tabelle 12 geht hervor, dass im Jahr 2025 keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Versuchsvarianten bei den angeführten bakteriellen Klassen festgestellt wurden. Die Mittelwerte der jeweiligen Klassen wurden in Prozent OTUs angegeben.

Tabelle 13: Pilze an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. April 2025.

Datum: 08.04.2025	Erde neben Bronner ohne Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Erde neben Bronner mit Beigabe des Mycorrhiza-Bodenpilzpräperates	Signifikanz
Ascomycota sp.	10,5	4,3	n.s.
Ascomycot__Arthoniomycetes	0,0	0,0	n.s.
Ascomycota__Dothideomycetes	4,2	0,7	s.
Ascomycota__Eurotiomycetes	22,3	1,3	n.s.
Ascomycota__Laboulbeniomycetes	0,0	0,0	n.s.
Ascomycota__Leotiomycetes	2,5	0,3	n.s.
Ascomycota__Orbiliomycetes	0,5	0,0	s.
Ascomycota__Pezizomycetes	7,9	3,8	n.s.
Ascomycota__Saccharomycetes	1,1	0,1	n.s.
Ascomycota__Sordariomycetes	29,0	54,8	n.s.
Basidiomycota__Agaricomycetes	8,9	11,8	n.s.
Basidiomycota__Agaricostilbomycetes	0,0	6,6	n.s.
Basidiomycota__Tremellomycetes	2,6	4,0	n.s.
Chytridiomycota__Chytridiomycetes	0,1	0,0	n.s.
Mucoromycota__Glomeromycetes	1,0	0,0	s.
Mucoromycota__Mortierellomycetes	9,3	12,2	n.s.
Mucoromycota__Mucoromycetes	0,1	0,0	n.s.

Der Tabelle 13 ist zu entnehmen, dass im Jahr 2025 bei den Klassen **Dothideomycetes**, **Orbilomycetes** und **Glomeromycetes** signifikante Unterschiede zwischen den beiden Versuchsvarianten vorhanden waren, wobei die Angabe der Mittelwerte der Klassen in Prozent OTUs erfolgte. **Dothideomyceten**, die auch als Ektomykorrhiza bezeichnet werden, waren im Prozentsatz bei der natürlichen Mykorrhiza höher. Sie werden auch als Ektomykorrhiza bezeichnet. Prinzipiell machen die Klassen **Sordariomycetes** und **Dothideomycetes** weltweit über 75 % der Blattendophyten aus, wobei ihre Häufigkeit mit dem Breitengrad variiert. Ein bemerkenswerter Vertreter ist **Cenococcum geophilum (Dothideomycetes)**, ein Ektomykorrhizapilz, der sowohl als Blattendophyt als auch als Mykorrhiza-Symbiont auftritt und somit eine komplexe ökologische Rolle einnimmt. Die genaue Identifikation auf Stammebene sowie phylogenetische Analysen sind entscheidend, um diese ökologischen Funktionen und mögliche Mehrfachsymbiosen zu verstehen (Arnold, 2007).

Die Klasse **Orbilomycetes** wurde ausschließlich in der Variante mit natürlich inokulierter Mykorrhiza nachgewiesen. In der Variante mit kommerziell zugesetzter Mykorrhiza konnten keine Vertreter dieser Klasse detektiert werden. Einige Mitglieder der **Orbilomycetes**, insbesondere innerhalb der **Familie Orbiliaceae**, sind als nematodenfangende Pilze bekannt. Diese Pilze sind in der Regel nicht wirtsspezifisch und können eine Vielzahl mikroskopischer Tiere wie Nematoden erbeuten. Sie nutzen dazu spezialisierte Fangvorrichtungen, die sich morphologisch deutlich unterscheiden (z. B. adhäsive Netze, Ringe oder Knöpfe). Mit dem zunehmenden Verständnis der Verbindung zwischen sexuellen und asexuellen Morphen dieser Pilze konnten viele nematodenfangende Arten als asexuelle Morphen von **Orbilium spp.** identifiziert werden. Jüngste molekulare Analysen auf DNA-Basis belegen, dass die Art der Fangstruktur ein zentrales Kriterium für die taxonomische Einordnung dieser asexuellen Formen innerhalb der **Orbiliaceae** darstellt (Ying, 2007).

Die Klasse der **Glomeromyceten** wurde ausschließlich in Bodenproben aus dem Bereich der natürlichen Mykorrhiza-Infektionen nachgewiesen. Dabei handelte es sich um Vertreter der arbuskulären Mykorrhiza (AMF), die charakteristischerweise Arbuskeln in den Wurzelzellen der Pflanzen bilden und so den Nährstoffaustausch fördern (Smith und Read, 2008). Im Rahmen unserer Studie konnten die folgenden zwei Familien identifiziert werden: **Diversisporaceae**, vertreten durch die **Gattungen Entrophospora** und **Diversispora**, sowie **Glomeraceae** mit den **Gattungen Dominikia**, **Glomus**, **Rhizophagus** und **Septoglomus**.

Die vorliegende Studie zeigte deutliche Unterschiede in der pilzlichen Diversität und funktionellen Zusammensetzung zwischen den natürlich inokulierten Reben und jenen Reben, die mit einem kommerziellen Mykorrhizapräparat behandelt wurden. Besonders

hervorzuheben ist, dass die Klassen Dothideomycetes, Orbilomycetes und Glomeromycetes signifikant häufiger in Proben aus natürlich infizierten Standorten nachgewiesen wurden. Diese Ergebnisse verweisen auf **eine komplexere mikrobielle Gemeinschaftsstruktur und potenziell stabilere ökologische Interaktionen im natürlichen Mykorrhiza-Milieu.**

Die erhöhte Detektionsrate von **Dothideomycetes** im natürlich infizierten System korrespondiert mit deren bekannter Rolle als Endophyten, Saprotrophe oder Ektomykorrhizapartner in vielfältigen Pflanzensystemen. Die weltweit hohe Dominanz dieser Klasse unter Blattendophyten (über 75 %, vgl. Arnold, 2007) und deren bekannte Anpassung an variable Umweltbedingungen könnte ein Grund für ihre bevorzugte Etablierung in naturnahen Böden sein. Das Vorkommen von **Cenococcum geophilum**, einem bekannten Vertreter ektomykorrhizaler Symbiosen mit gleichzeitiger endophytischer Lebensweise, weist zudem auf mögliche Mehrfachfunktionen und Symbiosestrategien hin, die in industriell vereinheitlichten Mykorrhizasystemen unterrepräsentiert sein könnten.

Ein weiteres bemerkenswertes Ergebnis ist der **ausschließliche Nachweis von Orbilomycetes** – insbesondere Vertretern der **Familie Orbiliaceae** – **in der natürlich inokulierten Gruppe.** Diese Pilze sind bekannt für ihre Fähigkeit zur Nematodenprädation mittels hochspezialisierter Fangorgane (z. B. adhäsive Netze, Ringe), was auf eine zusätzliche trophische Komponente im Wurzelraum hinweist. Solche prädatorischen Interaktionen könnten zur Regulation bodenbürtiger Pathogene beitragen und dadurch indirekt die Pflanzengesundheit fördern (Yang et al., 2007). Die Abwesenheit dieser funktionellen Gruppe in der Variante mit kommerzieller Mykorrhizazugabe könnte durch das Fehlen von Nematoden oder nicht geeignete Bodenbedingungen für die Etablierung dieser Pilze erklärt werden.

Auch die **Glomeromycetes**, typische Vertreter arbuskulärer Mykorrhiza (AMF), wurden ausschließlich in der natürlichen Inokulationsvariante detektiert. Trotz der gezielten kommerziellen Zugabe von AMF ließ sich keine entsprechende Anreicherung dieser Klasse in der Erde nachweisen. Dies weist auf die Limitierung industrieller Mykorrhizapräparate hin, insbesondere in Bezug auf Etablierungsfähigkeit, Standortanpassung und Wechselwirkungen mit der bodenbürtigen Mikroflora. Die in unserer Untersuchung identifizierten Gattungen (**Glomus, Rhizophagus, Dominikia, Diversispora** u. a.) zählen zu den wichtigsten ökologisch wirksamen AMF-Taxa, die nachweislich die Nährstoffaufnahme und Stressresilienz von Reben verbessern (Smith & Read, 2008). **Ihre natürliche Präsenz spricht für ein funktionierendes, autochthones Mikrobiom im Boden.**

Insgesamt verdeutlichen die Daten, dass natürlich etablierte Mykorrhizasysteme eine deutlich höhere funktionelle Pilzdiversität und ökologische Komplexität aufweisen als kommerziell inokulierte Varianten. Diese Erkenntnisse legen nahe, dass bei der Anwendung industrieller Präparate eine standortspezifische Anpassung und eine umfassende mikrobiologische Begleituntersuchung notwendig sind, um deren langfristige Wirksamkeit sicherzustellen. Die Förderung autochthoner Pilzgemeinschaften – etwa durch standortangepasste Bodenbearbeitung und gezielte, standortangepasste Begrünung beziehungsweise Gründüngung – könnte eine nachhaltigere Strategie im weinbaulichen Mykorrhizamanagement darstellen.

Auch der spätere Nachweis von Vesikeln bei der unbehandelten Rebsorte Bronner legt nahe, dass bestimmte Rebsorten möglicherweise eine höhere Affinität zur spontanen Etablierung natürlicher Mykorrhizapilze besitzen. Sortenspezifische Wurzelexsudate könnten hier eine selektive Wirkung auf die mikrobielle Gemeinschaft ausüben – ein Aspekt, der in künftigen Studien berücksichtigt werden sollte.

Die bakteriellen Analysen zeigten mit dem temporären Auftreten der Klasse **Blastocatellia** einen weiteren Hinweis auf funktionelle Unterschiede zwischen den Varianten. Ihr Nachweis ausschließlich in der Umgebung der natürlich inokulierten Reben und ihre bekannte Rolle in der Anpassung an sauerstoffarme, organisch reiche Böden (Dedysh, 2017) deuten auf eine engere Kopplung mit autochthonen Mykorrhizapilzen hin, die in industriellen Anwendungen nicht gegeben ist.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass eine rein technische Mykorrhiza-Inokulation nicht zwangsläufig zu einer erfolgreichen Etablierung ökologisch funktionaler Pilzgemeinschaften führt. Vielmehr scheinen standortangepasste beziehungsweise am Standort bereits gewachsene Systeme eine größere Diversität und Stabilität zu fördern. Dies hat direkte Relevanz für die Praxis des Weinbaus, insbesondere im Hinblick auf Resilienzstrategien gegenüber klimatischen Stressfaktoren und Boden- und Pflanzengesundheit.

Zukünftige Forschungsansätze sollten die funktionelle Genetik, das Metabolom der Rhizosphäre sowie Langzeitstudien zur Persistenz der Mykorrhiza-Systeme in den Fokus rücken. Auch die Kombination autochthoner Isolate mit angepassten Applikationstechniken könnte das Potenzial kommerzieller Präparate verbessern. Ein nachhaltiges Mykorrhiza-Management sollte daher nicht nur auf Inokulation, sondern auf die gezielte Förderung der natürlichen Bodenmikrobiota setzen – etwa durch standortangepasste Bodenbearbeitung mit biodiversitätsfördernden Gründüngungs- beziehungsweise Begrünungssystemen und

fachgerechtem Pflanzenschutz ohne negative Auswirkungen auf die Reben. Letztendlich müssen ein entsprechendes Rebenwachstum und eine gute Traubenqualität im Vordergrund stehen.

Trieb­längen im ersten Standjahr

Tabelle 14: Trieb­längen (cm) im Früh­jahr 2022 in Ab­hän­gig­keit von der Ver­suchs­variante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Trieb­längen (cm)			
Jänner 2022	70,4	71,4	n.s.

Der Tabelle 14 ist zu entnehmen, dass sich die Trieb­längen im ersten Standjahr zwischen den beiden Ver­suchs­varianten nicht signifikant unterschieden haben. Ein Einfluss des bei der Pflanzung beigegebenen Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats auf die Wuchskraft der Reben war somit nicht feststellbar. Hingegen konnten laut Graham und Pentreath (2008) verschiedene Bodenverbesserungspräparate wie beispielsweise Mycorrcin™, ein Biostimulans zur Förderung der Mykorrhizabesiedelung der Wurzeln oder Myco-gro™, ein Präparat, das die Mykorrhiza-Art *Glomus intraradices* enthält, unter neuseeländischen Verhältnissen das Trieb- und Wurzelwachstum während Regenperioden fördern und die biologische Aktivität im Boden zu wichtigen Zeiten im Pflanzjahr anregen.

Nährstoffgehalte in den Blättern

Tabelle 15: Gehalte an Hauptnährstoffen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium "Traubenschluss" im Jahr 2024.

	Stickstoff (%)	Kalium (%)	Magnesium (%)	Calcium (%)	Phosphor (%)
Bronner unbehandelt	2,37	1,41	0,28	3,15	0,15
Bronner behandelt	2,27	1,42	0,27	3,07	0,14
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 15 ist zu entnehmen, dass durch die Mykorrhizabeigabe bei der Pflanzung keine signifikanten Einflüsse auf die Gehalte an Hauptnährstoffen in den Blättern von Bronner im vierten Standjahr erkennbar waren. Nach Fardossi (2002) lagen die angeführten Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Calcium im optimalen und der Phosphorgehalt im niedrigen Gehaltsbereich.

Tabelle 16: Gehalte an Spurenelementen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium "Traubenschluss" im Jahr 2024.

	Eisen (ppm)	Kupfer (ppm)	Zink (ppm)	Mangan (ppm)	Bor (ppm)
Bronner unbehandelt	186	199	37	137	36
Bronner behandelt	193	207	34	129	42
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 16 ist zu entnehmen, dass durch die Mykorrhizabeigabe bei der Pflanzung keine signifikanten Effekte auf die Gehalte an Spurenelementen in den Blättern von Bronner im vierten Standjahr zu beobachten waren. Die angeführten Gehalte an Eisen, Zink und Mangan lagen nach Fardossi (2002) im optimalen und der Borgehalt im optimalen bis hohem Gehaltsbereich. Der Grund für die extrem hohen Kupfergehalte war die Ausbringung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus.

Tabelle 17: Gehalte an Hauptnährstoffen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium "Traubenschluss" im Jahr 2025.

	Stickstoff (%)	Kalium (%)	Magnesium (%)	Calcium (%)	Phosphor (%)
Bronner unbehandelt	2,15	1,05	0,37	2,78	0,13
Bronner behandelt	2,12	1,06	0,36	2,81	0,13
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 17 ist zu entnehmen, dass durch die Mykorrhizabeigabe bei der Pflanzung keine signifikanten Einflüsse auf die Gehalte an Hauptnährstoffen in den Blättern von Bronner im fünften Standjahr erkennbar waren. Nach Fardossi (2002) lagen die angeführten Gehalte an Stickstoff, Kalium und Phosphor im niedrigen und die Gehalte an Magnesium und Calcium im hohen Gehaltsbereich.

Tabelle 18: Gehalte an Spurenelementen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium "Traubenschluss" im Jahr 2025.

	Eisen (ppm)	Kupfer (ppm)	Zink (ppm)	Mangan (ppm)	Bor (ppm)
Bronner unbehandelt	101	129	17	116	47
Bronner behandelt	95	134	16	114	48
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 18 ist zu entnehmen, dass durch die Mykorrhizabeigabe bei der Pflanzung keine signifikanten Effekte auf die Gehalte an Spurenelementen in den Blättern von Bronner im fünften Standjahr zu beobachten waren. Die angeführten Gehalte an Eisen und Mangan lagen nach Fardossi (2002) im optimalen, der Zinkgehalt im niedrigen und der Borgehalt im hohen Gehaltsbereich. Der Grund für die sehr hohen Kupfergehalte war die Ausbringung von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus.

Ertrags- und Reifeparameter

Tabelle 19: Ertrags- und Reifeparameter der Rebsorte Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 17.09.2024.

	Ertrag (kg/Stock)	Trauben- gewicht (g)	100-Beeren- gewicht (g)	Mostgewicht (°KMW)	Säure- gehalt (g/l)	pH- Wert
Bronner unbehandelt	2,72	204	147	17,2	7,3	3,1
Bronner behandelt	2,85	212	154	17,4	7,0	3,2
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

In Tabelle 19 ist erkennbar, dass sich durch die Mykorrhizabeigabe bei der Rebenpflanzung im Jahr 2021 keine Effekte auf die Ertrags- und Reifeparameter im Jahr 2024 gezeigt haben.

Tabelle 20: Ertrags- und Reifeparameter der Rebsorte Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 07.10.2025.

	Ertrag (kg/Stock)	Trauben- gewicht (g)	100-Beeren- gewicht (g)	Mostgewicht (°KMW)	Säure- gehalt (g/l)	pH- Wert
Bronner unbehandelt	2,57 a	192	140	18,1	7,7	3,1
Bronner behandelt	2,87 b	194	144	18,2	7,6	3,1
Signifikanz	*	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

In Tabelle 20 ist abzulesen, dass der Ertrag bei den behandelten Reben mit 2,87 kg/Stock signifikant höher war, als bei den unbehandelten Reben mit 2,57 kg/Stock. Bei Trauben- und Beerengewicht sowie bei Zuckergehalt, Säuregehalt und pH-Wert im Most haben sich keine Unterschiede zwischen den behandelten und unbehandelten Reben gezeigt.

Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most

Tabelle 21: Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 17.09.2024.

	NOPA (mg/l)	Ammonium (mg/l)	Gesamtstick- stoff (mg/l)	Kalium (mg/l)	Magnesium (mg/l)	Natrium (mg/l)
Bronner unbehandelt	187	106	293	1382	133	5,2
Bronner behandelt	182	102	284	1368	131	5,1
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 21 ist zu entnehmen, dass sich durch das bei der Pflanzung im Jahr 2021 beigegebene Mykorrhizapräparat keine signifikanten Einflüsse auf die Stickstoff-, Kalium-, Magnesium- und Natriumgehalte im Most von Bronner im vierten Standjahr gezeigt haben.

Tabelle 22: Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 07.10.2025.

	NOPA (mg/l)	Ammonium (mg/l)	Gesamtstick- stoff (mg/l)	Kalium (mg/l)	Magnesium (mg/l)	Natrium (mg/l)
Bronner unbehandelt	154	78	231	1399	128	4,7
Bronner behandelt	152	77	230	1395	129	4,5
Signifikanz	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>	<i>n.s.</i>

In Tabelle 22 ist erkennbar, dass sich durch die im Jahr 2021 bei der Pflanzung erfolgte Beigabe des Mykorrhizapräparats keine Effekte auf die Stickstoff-, Kalium-, Magnesium- und Natriumgehalte im Most von Bronner im fünften Standjahr gezeigt haben.

Schnittholzgewicht

Tabelle 23: Mittelwerte des Schnittholzgewichts (kg/Stock) der Vegetationsjahre 2024 und 2025 in Abhängigkeit von der Versuchsvariante.

Datum	Bronner ohne Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Bronner mit Beigabe des Mykorrhiza-Bodenpilzpräparats	Signifikanz
Schnittholzgewicht (kg/Stock)			
05.02.2025	0,5979	0,6744	<i>n.s.</i>
28.11.2025	0,3815	0,4293	<i>n.s.</i>

Der Tabelle 23 ist zu entnehmen, dass weder das Schnittholzgewicht des Jahres 2024 noch jenes des Jahres 2025 durch das im Jahr 2021 bei der Pflanzung beigegebene Mykorrhizapräparat statistisch signifikant beeinflusst wurde.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rebanlage „Rothäcker XIV“ am Versuchsgut Agneshof in der KG Klosterneuburg.	10
Tabelle 2: Reduzierte Pflanzenschutzmaßnahmen im Rahmen der Integrierten Produktion bei `Bronner´ am Beispiel des Jahres 2024.	14
Tabelle 3: Aktive Mykorrhiza an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	19
Tabelle 4: Sporen an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	20
Tabelle 5: Sporen mit Hyphen an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	20
Tabelle 6: Arbuskuläre Mykorrhiza an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	21
Tabelle 7: Vesikel an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	21
Tabelle 8: Hyphen an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	22
Tabelle 9: Kleistothecien an den beprobten Rebwurzeln (%) in Abhängigkeit vom Probenahmetermin und der Versuchsvariante.	22
Tabelle 10: Bakterien an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. Juni 2022.....	23
Tabelle 11: Pilze an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. Juni 2022.....	24
Tabelle 12: Bakterien an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. April 2025.	26
Tabelle 13: Pilze an den beprobten Rebwurzeln (in % OTUs) in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 8. April 2025.	26
Tabelle 14: Triebblängen (cm) im Frühjahr 2022 in Abhängigkeit von der Versuchsvariante.	30
Tabelle 15: Gehalte an Hauptnährstoffen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium “Traubenschluss“ im Jahr 2024.....	31
Tabelle 16: Gehalte an Spurenelementen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium “Traubenschluss“ im Jahr 2024.....	31
Tabelle 17: Gehalte an Hauptnährstoffen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium “Traubenschluss“ im Jahr 2025.....	32

Tabelle 18: Gehalte an Spurenelementen in den Blättern von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante zum Entwicklungsstadium "Traubenschluss" im Jahr 2025.....	32
Tabelle 19: Ertrags- und Reifeparameter der Rebsorte Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 17.09.2024.....	33
Tabelle 20: Ertrags- und Reifeparameter der Rebsorte Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 07.10.2025.....	33
Tabelle 21: Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 17.09.2024.	34
Tabelle 22: Gehalte an Stickstoff, Kalium, Magnesium und Natrium im Most von Bronner in Abhängigkeit von der Versuchsvariante am 07.10.2025.	34
Tabelle 23: Mittelwerte des Schnittholzgewichts (kg/Stock) der Vegetationsjahre 2024 und 2025 in Abhängigkeit von der Versuchsvariante.	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bronner-Projektrebanlage im Quartier Rothäcker XIV am Versuchsgut Agneshof am 8. Juli 2025.....	11
Abbildung 2: Eintauchen der Rebwurzeln in die Mykorrhiza-Bodenpilzpräparat-Wasser-Lösung am 10.05.2021.	12
Abbildung 3: Händische Pflanzung der Reben am 10.05.2021.	12

Literaturverzeichnis

Angly, F.E., Dennis, P.G., Skarszewski, A., Vanwonterghem, I., Hugenholtz, P., Tyson, G.W., 2014: CopyRighter: a rapid tool for improving the accuracy of microbial community profiles through lineage-specific gene copy number correction. *Microbiome*, 7, 2–11.

Arnold, A. E. ,2007: Understanding the diversity of foliar endophytic fungi: progress, challenges, and frontiers. *Fungal Biology Reviews*, 21 (2–3), 51–66.
<https://doi.org/10.1016/j.fbr.2007.05.003>.

Caporaso, J. G., Kuczynski, J., Stombaugh, J., Bittinger, K., Bushman, F. D., Costello, E. K., Fierer, N., Peña, A. G., Goodrich, J. K., Gordon, J. I., Huttley, G., A., Kelley, S. T., Knights, D., Koenig, J. E., Ley, R. E., Lozupone, C. A., McDonald, D., Muegge, B. D., Pirrung, M., Reeder, J., Sevinsky, J. R., Turnbaugh, P.J., Walters, W. A., Widmann, J., Yatsunenko, T., Zaneveld, J., Knight, R.,2010: QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data. *Nature Methods* 7 (5), 335–336.

Dedysh, S. N., & Yilmaz, P., 2017: Blastocatellia. In *Bergey's Manual of Systematics of Archaea and Bacteria*. <https://doi.org/10.1002/9781118960608.cbm00060>.

Dries, L., 2022: Rund um die Wurzel. *Der Deutsche Weinbau* (6), 20-22.

Echeverrigaray, S., Scariot, F. J., Fontanella, G., Favaron, F., Sella, L., Santos, M. C., Schwambach, J., Pedrotti, C., & Delamare, A. P. L., 2020: *Colletotrichum* species causing grape ripe rot disease in *Vitis labrusca* and *V. vinifera* varieties in the highlands of southern Brazil. *Plant Pathology*, 69(9), 1504–1512. <https://doi.org/10.1111/ppa.13240>.

Edgar, R. C., Haas, B. J., Clemente, J. C., Quince, C., Knight, R. 2011: UCHIME improves sensitivity and speed of chimera detection. *Bioinformatics* 27 (16), 2194–2200.

Eren, A. M., Maignien, L., Sul, W. J., Murphy, L. G., Grim, S. L., Morrison, H. G., Sogin, M. L.,2013: Oligotyping: Differentiating between closely related microbial taxa using 16S rRNA gene data. *Methods Ecology Evolution* 4, 1111–1119.

Eren, A. M., Morrison, H. G., Lescault, P.J., Reveillaud, J., Vineis, J. H., Sogin, M. L., 2015: Minimum entropy decomposition: unsupervised oligotyping for sensitive partitioning of high-throughput marker gene sequences. *ISME Journal* 9 (4), 968–679.

Fardossi, A., 2002: Bedeutung und Interpretation von Blattanalysen im Weinbau. Der Winzer 58 (5), 6-12.

Giovannetti, M. und Mousse, B., 1980: An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots New Phytol. 84, 489 -500.

Graham, A. B. and Pentreath, R., 2008: Use of soil amendments when planting new vines. The Australian & New Zealand Grapegrower and Windemaker, Issue 536, 30-35.

Jones, G. V. and Webb, L. B., 2010: Climate Change, Viticulture and Wine: Challenges and Opportunities. Journal of Wine Research 21 (2-3): 103-106. doi: 10.1080/09571264.2010.530091.

Kovács, E., Puskas, J., Pozsgai, A. and Kozma, K., 2018: Shift in the annual growth cycle of grapevines (*Vitis vinifera* L.) in West Hungary. Applied Ecology and Environmental Research 16 (2): 2029-2042. doi: 10.15666/aeer/1602_20292042.

Microbe Atlas 1.0 Project: ERP124201 Sample ERS5221967: Bacterial community dynamics varies with soil management and irrigation practices in grapevines (*Vitis vinifera* L.)https://ddevel.microbeatlas.org/sample_detail?sid=ERS5221967&rid=ERR4702456&fromTid=99_98146 (Zugriff am 29.7.2025).

Moriondo, M., Jones, G. V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G., Bindi, M., 2013: Projected shifts of wine regions in response to climate change. Climatic Change 2013, 119: 825-839. doi: 10.1007/s10584-013-0739-y.

Rognes, T., Flouri, T., Nichols, B., Quince, C., Mahé, F., 2016: VSEARCH: a versatile open source tool for meta-genomics. PeerJ 4, e2584.

Smith, S. E., & Read, D. J., 2008: Mycorrhizal symbiosis (3rd ed.). Academic Press.

Taylor, T. N., Krings, M., & Taylor, E. L., 2015: Fossil Fungi. Elsevier Academic Press. ISBN: 9780123877314.

Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien 2025:

www.klimawandelanpassung.at/kwa-allgemein/kwa-aenderung/kwa-beobacht-temp
(gesehen am 16.01.2026).

Vierheilig, H., Coughlan, A. P., Wyss, U. and Piche, Y., 1998: Ink and Vingar, a simple staining technique for arbuscular – mycorrhizal fungi Applied and Environmental Microbiology, Dec. 1998, p.5004-5007.

Ying, Y., Yang, E., An, Z., & Liu, X., 2007: Evolution of nematode-trapping cells of predatory fungi of the Orbiliaceae based on evidence from rRNA-encoding DNA and multiprotein sequences. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(20), 8379–8384. <https://doi.org/10.1073/pnas.0702770104>.

