

# **Valorization of fibres from nettle grown on marginal lands in an agro- forestry cropping system (NETFIB)**

Endbericht zum österreichischen Projektteil





# **Valorization of fibres from nettle grown on marginal lands in an agro- forestry cropping system (NETFIB)**

Endbericht zum österreichischen Projektteil

Wien, März 2023

## Impressum

Projektnehmer: Universität für Bodenkultur Wien

Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Adresse: Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln

Projektleiterin: Dr. Markus Puschenreiter

Tel. : 01 47654 91162, 0664 845 39 32

E-Mail: [markus.puschenreiter@boku.ac.at](mailto:markus.puschenreiter@boku.ac.at)

Projektmitarbeiterin: Alice Tognacchini, MSc

Tel.: 01 47654 91166

E-Mail: [alice.tognacchini@boku.ac.at](mailto:alice.tognacchini@boku.ac.at)

Projektmitarbeiterin: Monika Laux, MSc

Tel.: 01 47654 91162

E-Mail: [monika.laux@boku.ac.at](mailto:monika.laux@boku.ac.at)

Projektmitarbeiterin: Amelie Woppel, BSc

Tel.: 01 47654 91162

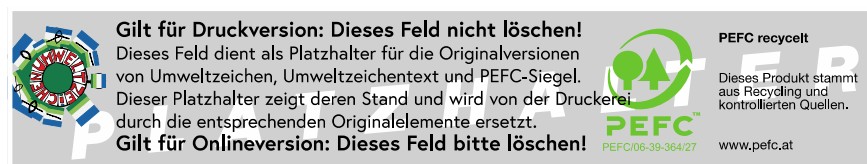
E-Mail: [amelie.woppel@students.boku.ac.at](mailto:amelie.woppel@students.boku.ac.at)

Finanzierungsstellen: ERA-NET SUSCROP

Projektlaufzeit: Oktober 2019 – März 2023

2. Auflage

Alle Rechte vorbehalten.



Wien, 2018. Stand: 20. April 2023



## Inhalt

<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>5</b>
1.1 Bericht zum workpackage 1 (Promoting nettle production within an innovative agro-forestry process at phytomanaged sites):.....	6
1.2 Bericht zum workpackage 2 (Improvement of the nettle-poplar agroforestry system based on pot experiments) .....	8
1.2.1 Selektion der Test-Mikroorganismen .....	8
1.2.2 Inokulationsversuch 1 – Sommer 2020 .....	8
1.2.3 Inokulationsversuch 2 – Frühjahr 2022 .....	15
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>25</b>
<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>26</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>27</b>

# Zusammenfassung

Eines der Hauptziele des NETFIB-Projektes war die Implementierung, Verbesserung und Evaluierung von Agroforst-Brennnessel-Systemen zur Verbesserung der Bodenqualität auf degradierten Standorten bei gleichzeitiger Optimierung der Brennnessel-Biomasse und der Ökosystem-Leistungen derartiger Produktionssysteme. Die Brennnessel ist dabei eine schon seit dem Mittelalter verwendete Faser- und Nahrungsmittelpflanze.

2019 wurden drei Feldversuche mit Pappel und Brennnessel auf degradierten bzw. kontaminierten Standorten in Italien, Frankreich und Deutschland angelegt. Auf allen drei Standorten gab es Probleme durch hohen Unkrautdruck einerseits und große Trockenheit andererseits. Aus diesem Grund ist der Feldversuch in Italien für 2 der 3 geplanten Saisonen ausgefallen. Auf allen anderen Standorten hat sich die Mischung aus Pappel und Brennnessel nach Anfangsschwierigkeiten jedoch gut etablieren können.

In weiterer Folge wurde untersucht, ob die Produktivität durch Zugabe von nützlichen Bodenmikroorganismen, andererseits durch die Selektion von den wachstumsstärksten Klonen erhöht werden kann. Bodenbakterien und -pilze sowie organische Bodenzuschläge wurden erfolgreich ausgewählt und getestet. Positive Effekte auf das Pflanzenwachstum wirkten sich nicht nachteilig auf den Gehalt und die Qualität der Fasern aus. Die Gewinnung und Verwertung der Fasern stand ebenfalls im Fokus.

Die Bewertung der Nachhaltigkeit von landwirtschaftlicher Produktion sowie der Fasergewinnung und -verarbeitung wurden ebenfalls intensiv untersucht, erwies sich jedoch auch als große Herausforderung. Es zeigte sich, dass die Nachhaltigkeit sehr stark von den lokalen Standortbedingungen und dem konkreten Standortmanagement abhängt. Über eine Lebenszyklusanalyse konnte gezeigt werden, dass die Nachhaltigkeit der Produktion von Fasern aus Brennnesseln und aus Hanf in einem vergleichbaren Bereich liegt).

Im österreichischen Teil des Projektes NETFIB wurde untersucht, ob die Produktivität von Brennnesseln als Faserpflanze durch Zugabe von nützlichen Bodenmikroorganismen erhöht werden kann. Bodenbakterien wurden erfolgreich ausgewählt und getestet. Die Ergebnisse von zwei Versuchen im Glashaus zeigten jedoch, dass die Inokulation des Bodens mit potentiell pflanzenwachstumsfördernden Bakterien keine Wirkung auf die Biomasseproduktion der Brennnessel hatte. Wie im allgemeinen Endbericht zum Projekt NETFIB ersichtlich ist, lässt sich mit anderen Management-Maßnahmen (z.B. Düngung) ein deutlicherer Effekt auf das Wachstum dieser Pflanzenart und damit auf den potentiellen Faser-Ertrag erzielen.

## 1.1 Bericht zum workpackage 1 (Promoting nettle production within an innovative agro-forestry process at phytomanaged sites):

Im Rahmen von Task 1.2. (Monitoring impacts on soil functioning) wurde der Einfluss der Brennnessel-Bepflanzung in Agroforst-Mischkulturen untersucht. Dazu wurden Bodenproben vor Versuchsbeginn (t0) und nach 30 Monaten Versuchsdauer (t30) an der BOKU charakterisiert.

Folgende Parameter wurden untersucht:

- pH-Wert
- Textur (Korngrößenverteilung)
- Kationenaustauschkapazität
- Gesamter organischer Kohlenstoff
- Gesamtgehalt von Stickstoff, Kohlenstoff und Phosphor
- Gesamtgehalt von Schwermetallen (Spurenelemente, potenziell toxische Metalle)
- Labiler (mit DTPA extrahierbarer) Anteil von Schwermetallen und Spurenelementen

Aus Voruntersuchungen war bekannt, dass in den Böden von beiden Standorten geringe Mengen an Quecksilber (Hg) vorhanden sind. Für die Analyse des Quecksilbers in Säureaufschluss-Proben (Nach ÖNORM L1085) und EDTA-Extrakten musste zunächst die Methode am ICPMS (Induktiv gekoppeltes Plasma-Massenspektrometer) -Gerät adaptiert werden. Üblicherweise werden in Spurenelement-Analysen auf der ICPMS in Proben mit einer 2%-HNO<sub>3</sub>-Matrix durchgeführt. Bei den Messungen der ersten Quecksilber-Standards zeigte sich jedoch, dass es zu einer starken Verschleppung von Hg in Folgeproben kommt. Diese Verschleppung wird durch Adsorption und langsame Wiederfreisetzung von Hg im Probeneingangssystem (z.B. in den Proben-Ansaugschläuchen) verursacht. Auf Basis von Hinweisen in der Literatur wurde zusätzliche zur HNO<sub>3</sub> auch verdünnte HCl zugesetzt. Durch die Bildung von stabilen Hg-Cl-Komplexen wird die Adsorption und damit die Verschleppung verhindert. Mit dieser Adaption wurde die genaue Bestimmung der Hg-Konzentration in den experimentellen Proben ermöglicht.

Die Ergebnisse der Bodencharakterisierung vom Zeitpunkt t0 sind in Tabelle 1 dargestellt. Der Boden Tavazzano ist moderat mit Quecksilber und der Boden Tauvaux mäßig mit Arsen belastet.

Die Untersuchungen für den Zeitpunkt (t30) wurden auf den Zeitpunkt (t46) verschoben und werden nur für Taveaux durchgeführt. Da diese Analysen noch nicht abgeschlossen sind, gibt es in diesem Endbericht auch keine Daten dazu.



Tabelle 1 Darstellung wichtiger Bodeneigenschaften zum Zeitpunkt t0: Element-Gehalte im *Aqua-regia*-Aufschluss, die potentiell mobile Fraktion (DTPA-extrahierbar) sowie pH-Wert, Humusgehalt und pflanzenverfügbare Phosphor.

Elementgehalt im Oberboden (0-10 cm; mg kg <sup>-1</sup> )	Boden Tavazzano (IT)	Boden Tavaux (FR)	Boden Bernburg (DE)
<b>C (g kg<sup>-1</sup>)</b>	13,2	23,2	13,9
<b>Co</b>	9,01	3,73	6,09
<b>Ni</b>	32,7	18,6	15,5
<b>Cu</b>	15,9	7,13	12,8
<b>Zn</b>	58,9	44,3	47,3
<b>As</b>	9,06	<b>67,8*</b>	6,43
<b>Pb</b>	17,5	164	19,8
<b>Hg</b>	<b>6,67#</b>	0,31	0,08
<b>Potentiell mobile Fraktion DTPA-extrahierbar (mg kg<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Fe</b>	143	48,4	49,9
<b>Mn</b>	16,7	7,86	10,7
<b>Cu</b>	2,36	1,89	1,50
<b>Zn</b>	4,14	5,24	2,00
<b>Weitere Bodeneigenschaften</b>			
<b>pH-Wert (-)</b>	6,94	8,36	7,66
<b>Humus (%)</b>	22,2	11,9	20,6
<b>Pflanzenverfügbare Phosphor (Olsen-Extrakt; mg kg<sup>-1</sup>)</b>	21,4	42,0	16,5

\* Grenzwert für die allgemeine Nutzung nach Eikmann und Kloke (1991): 20 mg kg<sup>-1</sup>

# Grenzwert für die allgemeine Nutzung nach Eikmann und Kloke (1991): 0,5 mg kg<sup>-1</sup>

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Texturbestimmung für Ober- und Unterböden, ebenfalls für den Zeitpunkt t0.

Textur	Boden Bernburg (DE)		Boden Tavaux (FR)		Boden Tavazzano (IT)	
	0-10 cm	10-30 cm	0 - 10 cm	10-30 cm	0 - 10 cm	10-30 cm
[%]						
<b>Sand</b>	26,4	11,0	3,78	3,72	10,9	10,2
<b>Schluff</b>	53,4	72,6	87,1	87,7	73,5	71,6
<b>Ton</b>	20,0	16,4	9,13	8,60	15,6	18,3

## 1.2 Bericht zum workpackage 2 (Improvement of the nettle-poplar agroforestry system based on pot experiments)

Im Rahmen von Task 2.1 (Testing biological and organic amendments) wurden die Effekte von Mikroorganismen auf das Wachstum der Brennessel-Pflanzen auf den Böden Tavazzano (Italien) und Tavaux (Frankreich) durchgeführt.

### 1.2.1 Selektion der Test-Mikroorganismen

Vom Austrian Institute of Technology (AIT), Bioresources Unit, Center for Health and Bioresources, wurde ein Vorschlag mit einer Liste von 19 Kandidaten-Stämmen erstellt. Diese Liste wurde auf Basis folgender Kriterien erstellt: (a) die Stämme zeigten erhöhte Toleranz gegenüber Schwermetallen, (b) die Stämme zeigten in früheren Inokulationsversuchen positive Effekte auf das Pflanzenwachstum (insb. die Biomasseproduktion). Diese Stämme wurden zunächst in einem Medium, erstellt aus den Bodenextrakten zweier unkontaminierter Böden, hinsichtlich des Wachstums getestet, um sicher zu stellen, dass diese Bakterien in einem Bodenextrakt getestet werden können. Nachdem dieser Vorversuch positiv abgeschlossen worden ist, wurden die Stämme in Bodenextrakten der Böden Tavazzano und Tavaux getestet. Fünf Stämme, die in diesem zweiten Test das beste Wachstum zeigten, wurden für den Inokulationsversuch ausgewählt.

### 1.2.2 Inokulationsversuch 1 – Sommer 2020

Für den Inokulationsversuch wurden fünf Bakterienstämme auf den Böden Tavazzano und Tavaux getestet.

Tabelle 3 Übersicht zu den verwendeten Bakterienstämmen in beiden Inokulationsversuchen. Stamm B4 wurde nur im ersten Versuch verwendet.

	genus	phylum	plant	organ	origin	
B1	<i>Microbacterium sp.</i>	Actinobacteria	Zea mays	root	Seibersdorf	Lower Austria
B2	<i>Dyadobacter sp.</i>	Bacteroidetes	Zea mays	root	Seibersdorf	Lower Austria
B3	<i>Bacillus sp.</i>	Firmicutes	Glycine max	n.d.	Nitzing	Lower Austria
B4	<i>Bacillus sp.</i>	Firmicutes	Glycine max	n.d.	Nitzing	Lower Austria
B5	<i>Bacillus sp.</i>	Firmicutes	Glycine max	n.d.	Nitzing	Lower Austria

**Bodenvorbereitung und Versuchsdurchführung:** die beiden Böden wurden mit einem 2 mm-Sieb gesiebt und anschließend in Plastiktöpfe gefüllt, das Zielgewicht war 500 g pro Topf. Der Versuch wurde in einer Glashauskabine am Standort Tulln der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Die Versuchsbedingungen waren: \* 14 Stunden Belichtungsdauer; \* 22 °C Tagestemperatur, 18 °C Nachttemperatur. Durch starke Sonneneinstrahlung wurden die Tagestemperaturen an einigen Tagen überschritten. Die Töpfe wurden regelmäßig manuell bewässert, die Ziel-Bodenfeuchte betrug ca. 70% der maximalen Wasserhaltekapazität.

**Vorbereitung der Pflanzen:** die Brennnessel-Jungpflanzen wurden von Laurent DERVAUX (EHRC) zur Verfügung gestellt und per Post geschickt. Die Pflanzen wurden anschließend in Stecklinge geschnitten und in kommerzielles Pflanz-Substrat gesetzt. Nach 17 Tagen wurden die bewurzelten Stecklinge in die Töpfe gesetzt. Abgestorbene Pflanzen wurden eine Woche später durch lebende Pflanzen ersetzt.

**Vorbereitung und Durchführung der Inokulation:** Die fünf ausgewählten Stämme wurden in einem Nährmedium vorgezogen. Anschließend wurden die Bakterienzellen vom Medium getrennt und in einer stark verdünnten Salzlösung suspendiert. Neben den Einzelstammlösungen wurde auch ein Inokulat mit allen fünf Stämmen vorbereitet. Die

Bakteriensuspensionen wurden auf die Topf-Oberfläche nahe der Pflanze mittels einer Transferpipette aufgebracht. Um die Effekte des Nährmediums zu erfassen, wurde in einer Behandlung ein autoklaviertes Inokulat zugesetzt. Die Inokulation wurde für alle Varianten eine Woche nach der ersten Zugabe wiederholt.

**Ernte und Aufarbeitung des Pflanzenmaterials:** 11 Wochen nach der Bepflanzung und ersten Inokulation wurden die Pflanzen geerntet und die Bodenproben für die weiteren Analysen aufbereitet. Da die Pflanzen auf dem Boden Tavaux nur sehr schlecht wuchsen, wurden diese zwar geerntet, aber nicht für Folgeanalysen aufbereitet. Die Pflanzen vom Boden Tavazzano wurden ca. ½ cm über dem Boden abgeschnitten; anschließend wurden sofort die Blätter vom Stamm getrennt, gewogen und gleich danach innerhalb einer Minute in flüssigem Stickstoff gefroren. Die gefrorenen Blätter wurden danach mit einem Mörser weiter verkleinert und homogenisiert. Ein Teil der Probe wurde danach in gefrorenen Zustand zum Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore (UCSC), für die Analyse physiologischer Parameter verschickt. Der restliche Teil der Pflanzenproben wurde bei 50 °C getrocknet, vermahlen und für den Säureaufschluss vorbereitet.

Abbildung 1 Brennnessel-Pflanzen auf dem Boden Tavazzano, ca. 6 Wochen nach der Bepflanzung.



Abbildung 2 Brennnessel-Pflanzen auf dem Boden Tavaux, ca. 6 Wochen nach der Bepflanzung. Durch die ungünstigen Bodeneigenschaften wurde das Wachstum stark limitiert.



**Ernte und Aufarbeitung des Bodenmaterials und der Wurzeln:** Nach der Ernte wurden die Wurzeln vom Boden getrennt und die Wurzeln durch vorsichtiges Waschen gereinigt. Die Wurzelproben wurden anschließend zweigeteilt: ein Teil wurde getrocknet und für allfällige weitere Analysen eingelagert, ein anderer Teil wurde bei -80 °C eingefroren und für weitere Analysen zur Universität Lorraine nach Frankreich geschickt. Der Boden wurde gesiebt (< 2 mm) und ebenfalls in mehrere Fraktionen aufgetrennt: ein Teil wurde bei 4 °C gekühlt und anschließend an die Università Cattolica del Sacro Cuore zur Bestimmung der Bodenaktivität (z.B. Enzymaktivitäten, Respiration) verschickt; ein anderer Teil wurde bei -80 °C gekühlt und für die Bestimmung der bakteriellen Community verschickt.

**Ergebnisse:** In Abbildung 3 und 4 sind die Durchmesser der Stängel sowie die Wuchshöhe der Pflanzen in Abhängigkeit von der Inokulation dargestellt. Vor allem beim Stammdurchmesser könnten einige Bakterienstämme zu einer deutlichen Erhöhung beitragen. Bei der Wuchshöhe waren diese Effekte nur schwach ausgeprägt.

Abbildung 3: Darstellung der Stammdurchmesser der Brennnesselpflanzen in Abhängigkeit von der Inokulation auf dem Boden Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung (n = 5).

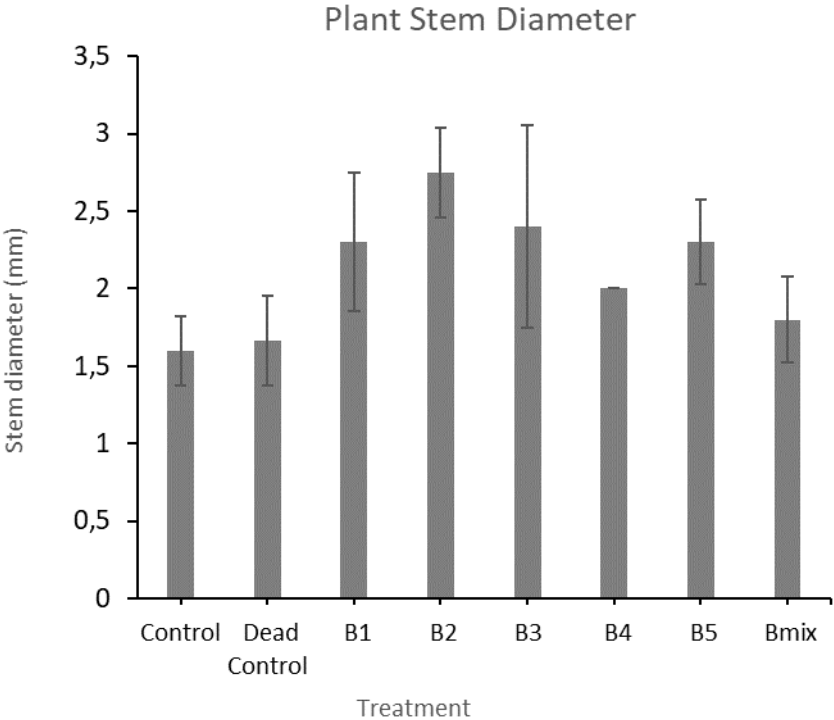
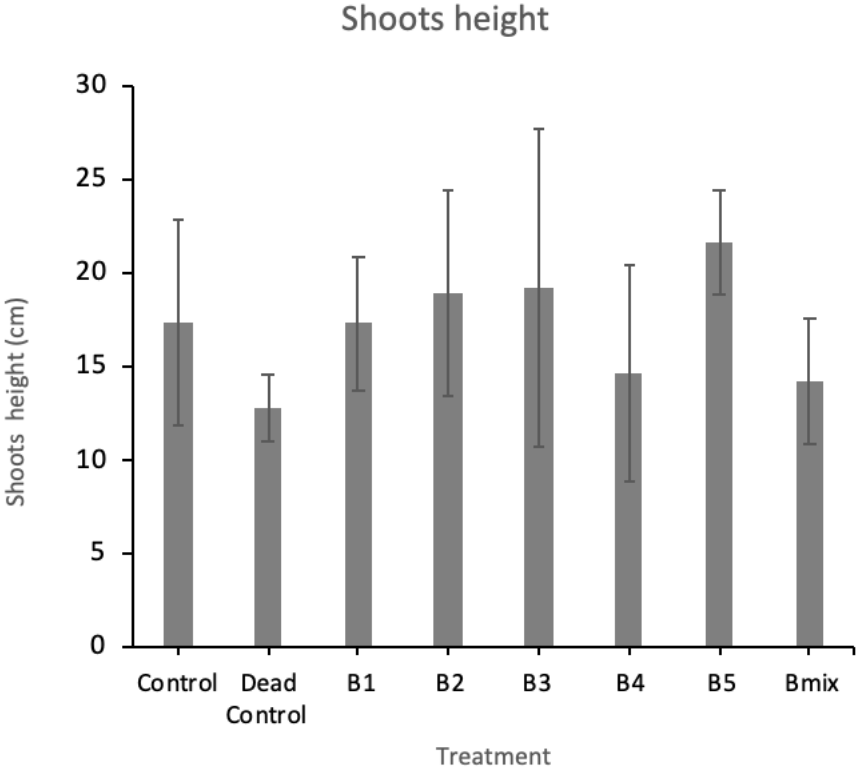


Abbildung 4: Darstellung der Höhe der Brennnesselpflanzen in Abhängigkeit von der Inokulation auf dem Boden Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung (n = 5).





### 1.2.3 Inokulationsversuch 2 – Frühjahr 2022

Auf Grund der eingeschränkten Aussagekraft des ersten Inokulationsversuchs vom Sommer 2020 wurde beim NETFIB – Meeting im November 2021 entschieden, diesen Versuch zu wiederholen. Dieses Mal wurden die 4 vielversprechendsten Stämme aus Tabelle 1 des ersten Inokulationsversuchs auch für den 2. Versuch ausgewählt, und zwar B1, B2, B3 und B5. Die Behandlung mit allen Stämmen wurde hingegen nicht mehr zur Durchführung ausgewählt. Wie beim ersten Inokulationsversuch wurden beide Versuchsböden gewählt.

**Bodenvorbereitung und Versuchsdurchführung:** die beiden Böden wurden mit einem 2 mm-Sieb gesiebt und anschließend in Plastiktöpfe gefüllt, das Zielgewicht war 500 g pro Topf. Der Versuch wurde in einer Glashauskabine am Standort Tulln der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Die Versuchsbedingungen waren: \* 14 Stunden Belichtungsdauer; \* 22 °C Tagestemperatur, 18 °C Nachttemperatur. Die Töpfe wurden regelmäßig manuell bewässert, die Ziel-Bodenfeuchte betrug ca. 70% der maximalen Wasserhaltekapazität.

**Vorbereitung der Pflanzen:** die Brennnessel-Jungpflanzen wurden von Laurent DERVAUX (EHRC) zur Verfügung gestellt und per Post geschickt. Die Pflanzen wurden gleich nach der Lieferung in die Töpfe gesetzt. Abgestorbene Pflanzen wurden wenige Tage später durch lebende Pflanzen ersetzt.

**Vorbereitung und Durchführung (Abbildung 5) der Inokulation:** Die vier ausgewählten Stämme wurden in einem Nährmedium vorgezogen. Anschließend wurden die Bakterienzellen vom Medium getrennt und in einer stark verdünnten Salzlösung suspendiert. Die Bakteriensuspensionen wurden auf die Topf-Oberfläche nahe der Pflanze mittels einer Transferpipette aufgebracht. Um die Effekte des Nährmediums zu erfassen, wurde in einer Behandlung (Kontrolle) ein autoklaviertes Inokulat zugesetzt. Die Inokulation wurde für alle Varianten eine Woche nach der ersten Zugabe wiederholt.

Abbildung 5: Abbildung des Inokulationsversuch 2; 4 Wochen nach Versuchsbeginn.



**Ernte und Aufarbeitung des Pflanzenmaterials:** 6 Wochen nach der Bepflanzung und ersten Inokulation zeigten sich Symptome von Stickstoff-Mangel, weiters zeichnete sich in der 8. Woche eine Infektion mit Milben ab. Deswegen wurden die Pflanzen nicht wie geplant 11-12 Wochen sondern 8 Wochen nach der Bepflanzung und ersten Inokulation geerntet und die Bodenproben für die weiteren Analysen aufbereitet. Die Pflanzen wurden vermessen (Chlorophyll-Gehalt mit SPAD-Messgerät; Spross-Höhe, Spross-Durchmesser, Gesamtlänge aller Spross-Verzweigungen) und danach ca. ½ cm über dem Boden abgeschnitten und bei 50 °C getrocknet, anschließend vermahlen und für den Säureaufschluss vorbereitet.

### **Bodenanalyse**

Für den pH-Wert wurden 5 g Boden (< 2 mm) auf Trockengewichtsbasis mit 12,5 ml HQ-Wasser in einem Verhältnis von 1:2,5 (w/v) gemischt und nach 2 Stunden gemessen (ÖNORM 1083).

Die Textur (Korngrößenverteilung) wurde mit Nasssieben, Sedimentieren, trocknen und Auswiegen bestimmt (ÖNORM L 1061-2).

Für die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität wurden je 2,5 g Boden (< 2 mm) mit 50ml 0,1 M BaCl<sub>2</sub> Lösung extrahiert (ÖNORM L1086) und das Filtrat mit 2% HNO<sub>3</sub> verdünnt und mittels ICP-OES (Optima 8300, Perkin Elmer, USA) gemessen.

Zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs wurden gemahlene Bodenproben (80–120 mg) in Stahliegel eingewogen. Der TOC wurde mit dem „vario MACRO Cube“ (Elementar Analysensysteme GmbH, Deutschland) (DIN19539) gemessen.

Für pflanzenverfügbaren Phosphor wurde der Boden mit NaHCO<sub>3</sub> (0,5 mol/l; pH 8,5) (Olsen et al., 1954) extrahiert. Die Analyse wurde an gefärbten Proben (kolorimetrische Molybdänblau-Methode) mit einem UV/VIS-Photometer „Infinite® 200 PRO“ (TECAN Group AG, Schweiz) durchgeführt.

Zur Bestimmung von mineralischem Stickstoff (ÖNORM L1091) wurde eine Extraktion mit 0,0125 M CaCl<sub>2</sub> durchgeführt. Die Analyse wurde in gefärbten Proben auch mit einem UV/VIS-Photometer „Infinite® 200 PRO“ (TECAN Group AG, Schweiz) durchgeführt.

Für die Bestimmung des labilen (mit DTPA extrahierbarer) Anteil von Schwermetallen und Spurenelementen wurden 10 g Boden (< 2 mm) auf Trockengewichtsbasis wurden mit 20 ml DTPA-Lösung 2 Stunden extrahiert (Lindsay and Norvell, 1978) und danach mit 2% HNO<sub>3</sub>/HCl verdünnt und mittels ICP-MS (Nexion2000, Perkin Elmer Inc., USA) gemessen.

Die DNA-Analyse wurde vom „Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux“ CNRS-Universität de Lorraine durchgeführt. DNA wurde aus 300 mg rhizosphärischer Erde unter Verwendung des FastDNA-Spin-Kits für Boden (MP Biomedicals Europe, Illkirch, Frankreich) extrahiert. Qualität und Konzentration der DNA wurden unter Verwendung eines Spektrophotometers NanoDrop TM One (NanoDrop Products, Illkirch, Frankreich) abgeschätzt. Die 16S- und 18S-rRNA-Genkopienzahlen wurden durch quantitative Echtzeit-PCR unter Verwendung der 968F/1401R- bzw. Fung5F/FF390R-Primer analysiert. Es wurden linearisierte Kalibrierungsstandardplasmide verwendet und zehnfache Verdünnungsreihen von 10<sup>8</sup> bis 10<sup>1</sup> Zielgenkopien µL<sup>-1</sup> durchgeführt. Real-Time-PCR wurde mit Reaktionsvolumina von 20 µl durchgeführt, die 2 × iQ SYBR Green Supermix (Bio-Rad), 0,4 µM jedes Primers, 0,9 µg µL<sup>-1</sup> Rinderserumalbumin, 0,5 µL Dimethylsulfoxid, 0,1 µL T4 enthielten Bakteriophagen-Gen-32-Produkt (QBiogene) und 1 µl Template-DNA oder destilliertes Wasser (Negativkontrolle).

## **Pflanzenanalyse**

Zur weiteren Pflanzenanalyse wurden getrocknete Brennnesselblätter und -stängel voneinander getrennt und mit einer Kugelmühle zu einem homogenen Pulver gemahlen. Für den TE-Gehalt in Blättern und Stängeln wurde ein Pflanzenaufschluss (Königswasser:  $\text{HNO}_3$  +  $\text{HCl}$ ) auf einem Mikrowellenaufschlusssystem Mars 6TM (CEM Holdings Corporation, USA) mit zertifiziertem Referenzpflanzenmaterial (INCT-OBTL-5) durchgeführt. Die Messung erfolgte auf dem ICP-MS Gerät (Nexion2000, Perkin Elmer Inc., USA) mit Indium als internem Standard. Qualitätskontrollen und Blindproben wurden in das Messverfahren einbezogen.

### **Statistische Methoden**

Die Boden- und Pflanzenergebnisse werden als Mittelwerte der Wiederholungen  $\pm$  Standardabweichung (n=4) dargestellt. Zur Feststellung signifikanter Wirkungen der Behandlungen wurde eine Einweg-ANOVA implementiert. Um festzustellen, welche Behandlung signifikante Unterschiede aufwies, wurde ein Tukey-Kramer-Test durchgeführt.

## Ergebnisse und Diskussion

### Auswirkungen der Inokulationen auf Bodeneigenschaften

Tabelle 3 veranschaulicht die Auswirkungen der 4 verschiedenen Inokulationen und der Kontrollgruppe auf die Bodeneigenschaften pH-Wert, mineralischer Stickstoff, pflanzenverfügbarer Phosphor, gesamter organischer Kohlenstoff, Gesamtkohlenstoff und Kationenaustauschkapazität des italienischen Bodens. Für keinen der gezeigten Parameter konnte ein statistisch signifikanter Effekt ( $p < 0,05$ ) nachgewiesen werden.

Tabelle 3: Wirkung der Inokulation mit vier verschiedenen Bakterienstämmen auf ausgewählte Eigenschaften des Versuchsbodens aus Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung. Der p-Value zeigt das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse.

Tavazzano						
	C	B1	B2	B3	B5	p-Value
<b>pH-Value</b>	6,80 $\pm$ 0,03	6,84 $\pm$ 0,10	6,91 $\pm$ 0,11	6,95 $\pm$ 0,15	6,89 $\pm$ 0,09	0,294
<b>N min [mg/kg]</b>	18,99 $\pm$ 10,13	18,14 $\pm$ 7,60	46,46 $\pm$ 35,44	20,16 $\pm$ 21,14	38,20 $\pm$ 23,41	0,276
<b>P Olsen [mg/kg]</b>	47,89 $\pm$ 18,10	57,74 $\pm$ 4,19	53,66 $\pm$ 7,72	59,66 $\pm$ 2,69	64,21 $\pm$ 4,05	0,184
<b>TOC [%]</b>	1,93 $\pm$ 0,18	1,84 $\pm$ 0,24	1,87 $\pm$ 0,21	1,66 $\pm$ 0,15	1,9 $\pm$ 0,28	0,454
<b>TC [%]</b>	1,97 $\pm$ 0,18	1,87 $\pm$ 0,24	1,9 $\pm$ 0,21	1,69 $\pm$ 0,15	1,93 $\pm$ 0,28	0,452
<b>CEC [cmol/kg]</b>	12.60 $\pm$ 0.24	12.35 $\pm$ 0.88	12.69 $\pm$ 0.37	12.23 $\pm$ 0.28	12.56 $\pm$ 0.64	0,737

Wie Tabelle 3 zeigt, gibt es bezüglich dieser Bodenparameter keine signifikanten Unterschiede ( $p < 0,05$ ) zwischen den Inokulationen und/oder der Kontrolle auf dem italienischen Boden.

Tabelle 4: Wirkung der Inokulation mit vier verschiedenen Bakterienstämmen auf ausgewählte Eigenschaften des Versuchsbodens aus Tavaux. Dargestellt sind Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung. Der p-Value zeigt das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse.

Tavaux						
	C	B1	B2	B3	B5	p-Value
<b>pH-Wert</b>	8,37 $\pm$ 0,04	8,35 $\pm$ 0,03	8,39 $\pm$ 0,01	8,33 $\pm$ 0,04	8,35 $\pm$ 0,09	0,534
<b>N min [mg/kg]</b>	20,3 $\pm$ 14,29	18,52 $\pm$ 11,39	10,58 $\pm$ 4,58	13,59 $\pm$ 6,34	14,34 $\pm$ 13,26	0,705
<b>P Olsen [mg/kg]</b>	29,73 $\pm$ 4,89	31,90 $\pm$ 0,12	30,51 $\pm$ 5,09	33,50 $\pm$ 3,23	30,80 $\pm$ 1,01	0,606
<b>TOC [%]</b>	1,88 $\pm$ 0,07	1,99 $\pm$ 0,17	1,82 $\pm$ 0,04	1,85 $\pm$ 0,12	1,83 $\pm$ 0,08	0,167
<b>TC [%]</b>	9,86 $\pm$ 0,07	9,96 $\pm$ 0,2	9,84 $\pm$ 0,11	9,79 $\pm$ 0,15	9,8 $\pm$ 0,21	0,573
<b>CEC [cmol/kg]</b>	11.03 $\pm$ 0.53	10.81 $\pm$ 0.52	10.59 $\pm$ 0.37	10.90 $\pm$ 0.25	10.64 $\pm$ 0.27	0.527

Tabelle 4 veranschaulicht die Auswirkungen der 4 Inokulationen und der Kontrollgruppe auf die Bodeneigenschaften pH-Wert, mineralischer Stickstoff, pflanzenverfügbarer Phosphor, organischer Gesamtkohlenstoff, Gesamtkohlenstoff und Kationenaustauschkapazität des französischen Bodens. Es wurden auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den bakteriellen Behandlungen auf dem französischen Boden beobachtet.

Vergleicht man die Böden aus Tavazzano mit jenen aus Tavaux, so sind die pH-Werte der französischen Böden mit  $>8,3$  höher als jene der italienischen Böden mit etwa 6,9. Die Phosphorkonzentrationen der italienischen Böden sind mit etwa 55 mg/kg höher als die der französischen Böden mit etwa 30 mg/kg. Der Gesamtkohlenstoff von Tavaux ist mit etwa 10 % deutlich höher als in Tavazzano mit 1,9 %

#### **Labiler (mit DTPA extrahierbarer) Anteil von Schwermetallen und Spurenelementen**

In Bezug auf DTPA-extrahierbare Elemente listet Tabelle 5 alle Elementkonzentrationen auf, bei denen signifikante Unterschiede ( $\alpha: 0,1$ ) zwischen Inokulationen und/oder der Kontrollgruppe auf italienischem Boden beobachtet wurden.

Tabelle 5: Auswirkungen bakterieller Änderungen auf potenziell mobile (DTPA-extrahierbare) Elemente im Boden Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, p < 0.05) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.

Tavazzano						
[mg/kg]	C	B1	B2	B3	B5	p-Value
<b>Mg</b>	<b>114,5 <math>\pm</math> 3,31 ac</b>	<b>103,5 <math>\pm</math> 2,8 b</b>	<b>113,1 <math>\pm</math> 2,61 ac</b>	<b>108,2 <math>\pm</math> 2,22 abc</b>	<b>110,4 <math>\pm</math> 6,81 abc</b>	<b>0,009</b>
Al	3,32 $\pm$ 1,71	2,2 $\pm$ 0,68	3,85 $\pm$ 4,85	2,41 $\pm$ 1,64	1,71 $\pm$ 0,21	0,72
Cr	0,04 $\pm$ 0,03	0,03 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,04	0,06 $\pm$ 0,05	0,08 $\pm$ 0,01	0,205
Mn	14,19 $\pm$ 0,57	13,07 $\pm$ 2,19	13,95 $\pm$ 1,33	13,61 $\pm$ 1,34	13,35 $\pm$ 1,82	0,845
<b>Fe</b>	<b>162,68 <math>\pm</math> 5,86</b>	<b>148,62 <math>\pm</math> 13,2</b>	<b>161,04 <math>\pm</math> 5,33</b>	<b>155,55 <math>\pm</math> 5,08</b>	<b>149,4 <math>\pm</math> 7,87</b>	<b>0,081</b>
Ni	1,14 $\pm$ 0,04	1,05 $\pm$ 0,08	1,12 $\pm$ 0,01	1,11 $\pm$ 0,02	1,09 $\pm$ 0,05	0,120
Co	0,11 $\pm$ 0,01	0,1 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,01	0,1 $\pm$ 0,01	0,01 $\pm$ 0,01	0,725
Cu	2,11 $\pm$ 0,05	1,98 $\pm$ 0,15	2,15 $\pm$ 0,1	2,14 $\pm$ 0,09	2,07 $\pm$ 0,06	0,122
<b>Zn</b>	<b>3,16 <math>\pm</math> 0,21 ab</b>	<b>2,93 <math>\pm</math> 0,06 ab</b>	<b>3,34 <math>\pm</math> 0,29 a</b>	<b>2,89 <math>\pm</math> 0,22 ab</b>	<b>2,79 <math>\pm</math> 0,38 b</b>	<b>0,046</b>
As	0,182 $\pm$ 0,01	0,165 $\pm$ 0,01	0,185 $\pm$ 0,01	0,178 $\pm$ 0,01	0,169 $\pm$ 0,01	0,112
Mo	0,014 $\pm$ 0,001	0,014 $\pm$ 0,001	0,016 $\pm$ 0,002	0,016 $\pm$ 0,002	0,015 $\pm$ 0,002	0,708
<b>Cd</b>	<b>0,066 <math>\pm</math> 0,004 a</b>	<b>0,06 <math>\pm</math> 0,002 bcd</b>	<b>0,063 <math>\pm</math> 0,001 abcd</b>	<b>0,059 <math>\pm</math> 0,001 bcd</b>	<b>0,06 <math>\pm</math> 0,004 bcd</b>	<b>0,027</b>
Ba	0,429 $\pm$ 0,04	0,518 $\pm$ 0,32	0,41 $\pm$ 0,08	0,38 $\pm$ 0,03	0,364 $\pm$ 0,03	0,640
Hg	0,03 $\pm$ 0,0005	0,005 $\pm$ 0,0024	0,003 $\pm$ 0,0009	0,004 $\pm$ 0,001	0,003 $\pm$ 0,001	0,500
Pb	2,93 $\pm$ 0,29	3,77 $\pm$ 2,05	3,08 $\pm$ 0,19	2,91 $\pm$ 0,192	2,69 $\pm$ 0,13	0,553

Tabelle 6: Auswirkungen bakterieller Änderungen auf potenziell mobile (DTPA-extrahierbare) Elemente im Boden Tavaux. Dargestellt sind Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, p < 0.05) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.

Tavaux						
[mg/kg]	C	B1	B2	B3	B5	p-Value
Mg	20,36 ± 0,38	22,5 ± 2,98	20,02 ± 0,96	20,74 ± 1,67	20,12 ± 0,47	0,226
Mn	7,03 ± 0,41	7,67 ± 0,62	7,64 ± 0,76	7,4 ± 0,23	7,15 ± 0,37	0,334
Fe	39,62 ± 1,03	40 ± 2,35	39,8 ± 1,3	40,46 ± 0,49	39,35 ± 1,19	0,837
Ni	0,51 ± 0,02	0,52 ± 0,03	0,53 ± 0,03	0,51 ± 0,01	0,49 ± 0,02	0,385
Co	0,028 ± 0,002	0,032 ± 0,004	0,031 ± 0,05	0,029 ± 0,003	0,029 ± 0,003	0,533
Cu	1,58 ± 0,06	1,61 ± 0,03	1,7 ± 0,19	1,65 ± 0,07	1,58 ± 0,04	0,458
Zn	5,56 ± 1,62	4,88 ± 0,23	4,88 ± 0,11	4,92 ± 0,35	4,89 ± 0,13	0,648
Mo	0,016 ± 0,002	0,018 ± 0,003	0,018 ± 0,004	0,016 ± 0,002	0,014 ± 0,002	0,339
Cd	0,029 ± 0,0005	0,029 ± 0,0004	0,029 ± 0,0002	0,029 ± 0,0003	0,03 ± 0,003	0,680
Ba	0,29 ± 0,004	0,81 ± 1	0,31 ± 0,031	0,294 ± 0,036	0,28 ± 0,022	0,418
Pb	2,25 ± 0,056	2,26 ± 0,052	3,14 ± 1,71	2,28 ± 0,04	2,36 ± 0,088	0,431

Die Magnesiumkonzentrationen von Inokulation B1 waren signifikant niedriger als bei der Kontrollgruppe und Inokulation B2. Es gab auch signifikant niedrigere Zinkkonzentrationen der Inokulation B5 im Boden im Vergleich zur bakteriellen Inokulation B2. Mit Konzentrationen von 0,066 mg/kg Cadmium ist die Bodenkontrollgruppe signifikant höher im Vergleich zu B1, B3 und B5.

Die Daten zur Wirkung der Inokulation auf Biomasse (Abbildung 7) und Durchmesser (Abbildung 8) von Spross auf die Blatt-Biomasse (Abbildung 9) dass diese Pflanzenparameter im



Wesentlichen unverändert geblieben sind. Tendenziell ist am Boden Tavaux bei den Stämmen B2, B3 und B5 ein leichter, aber nicht signifikanter Anstieg zu erkennen.

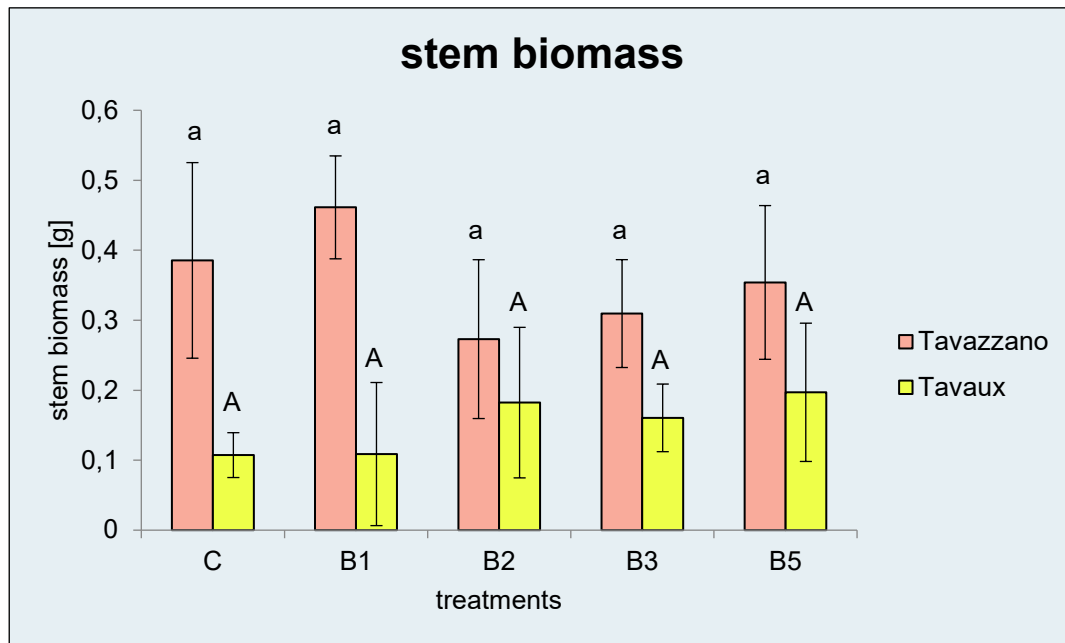


Abbildung 6: Stamm-Biomasse („stem biomass“) auf den Versuchsböden aus Tavazzano und Tavaux. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung vom Mittelwert (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA,  $p < 0.05$ ) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.

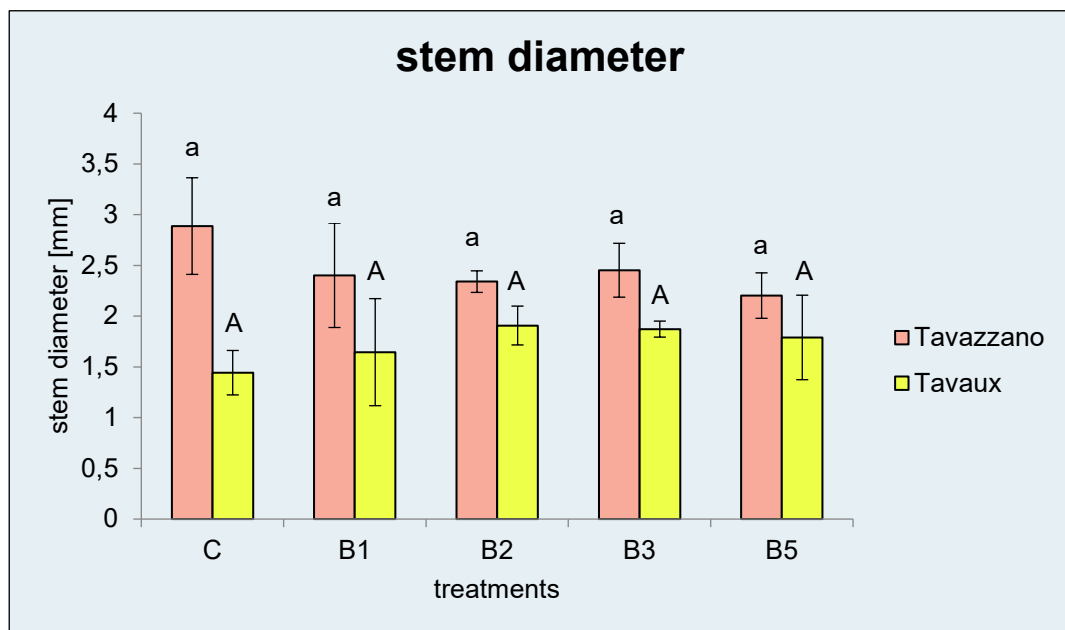


Abbildung 8: Stamm-Durchmesser („stem diameter“) auf den Versuchsböden aus Tavazzano und Taveaux. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung vom Mittelwert (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA,  $p < 0.05$ ) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.

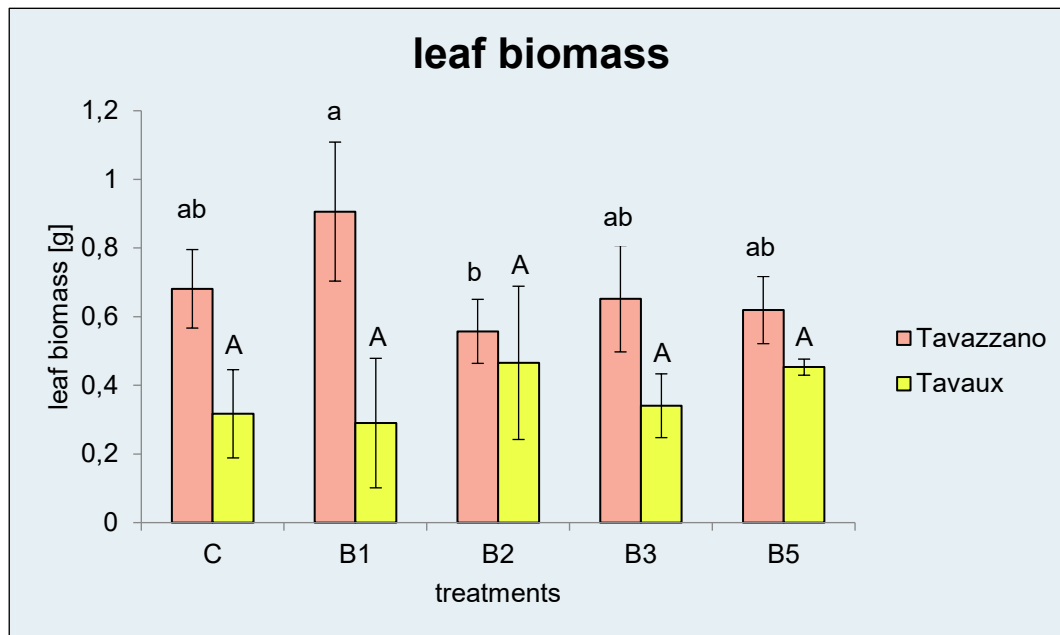


Abbildung 9: Blatt-Biomasse („leaf biomass“) auf den Versuchsböden aus Tavazzano und Taveaux. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung vom Mittelwert (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA,  $p < 0.05$ ) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse beider Versuche zeigen, dass die Inokulation des Bodens mit potentiell pflanzenwachstumsfördernden Bakterien keine Wirkung auf die Biomasseproduktion der Brennnessel hatte. Wie im allgemeinen Endbericht zum Projekt NETFIB ersichtlich ist, lässt sich mit anderen Management-Maßnahmen (z.B. Düngung) ein deutlicherer Effekt auf das Wachstum dieser Pflanzenart und damit auf den potentiellen Faser-Ertrag erzielen.

# Tabellenverzeichnis

<b>Es konnten keine Einträge für ein Abbildungsverzeichnis gefunden werden.</b>	
Tabelle 3: Wirkung der Inokulation mit vier verschiedenen Bakterienstämmen auf ausgewählte Eigenschaften des Versuchsbodens aus Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung. Der p-Value zeigt das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse	18
Tabelle 4: Wirkung der Inokulation mit vier verschiedenen Bakterienstämmen auf ausgewählte Eigenschaften des Versuchsbodens aus Tavaux. Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung. Der p-Value zeigt das Ergebnis der einfaktoriellen Varianzanalyse.	20
Tabelle 5: Auswirkungen bakterieller Änderungen auf potenziell mobile (DTPA-extrahierbare) Elemente im Boden Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, p < 0.05) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.	21
Tabelle 6: Auswirkungen bakterieller Änderungen auf potenziell mobile (DTPA-extrahierbare) Elemente im Boden Tavaux. Dargestellt sind Mittelwerte $\pm$ Standardabweichung (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, p < 0.05) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.	24
Abbildung 9: Blatt-Biomasse („leaf biomass“) auf den Versuchsböden aus Tavazzano und Taveaux. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung vom Mittelwert (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, p < 0.05) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.	24

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Brennnessel-Pflanzen auf dem Boden Tavazzano, ca. 6 Wochen nach der Bepflanzung.	10
Abbildung 2 Brennnessel-Pflanzen auf dem Boden Tavaux, ca. 6 Wochen nach der Bepflanzung. Durch die ungünstigen Bodeneigenschaften wurde das Wachstum stark limitiert.	11
Abbildung 3: Darstellung der Stammdurchmesser der Brennnesselpflanzen in Abhängigkeit von der Inokulation auf dem Boden Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung (n = 5).	13
Abbildung 4: Darstellung der Höhe der Brennnesselpflanzen in Abhängigkeit von der Inokulation auf dem Boden Tavazzano. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung (n = 5).	14
Abbildung 5: Abbildung des Inokulationsversuch 2; 4 Wochen nach Versuchsbeginn.	16
Abbildung 6: Stamm-Biomasse („stem biomass“) auf den Versuchsböden aus Tavazzano und Taveaux. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung vom Mittelwert (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, $p < 0.05$ ) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.	23
Abbildung 8: Stamm-Durchmesser („stem diameter“) auf den Versuchsböden aus Tavazzano und Taveaux. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung vom Mittelwert (n = 4). Statistisch signifikante Unterschiede (einfaktorielle ANOVA, $p < 0.05$ ) werden von unterschiedlichen Buchstaben angezeigt.	

# Literaturverzeichnis

**DIN 19539:2016-12:** Untersuchung von Feststoffen - Temperaturabhängige Differenzierung des Gesamtkohlenstoffs (TOC<sub>400</sub>, ROC, TIC<sub>900</sub>), DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin

**Eikmann, T. und A. Kloke:** Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für Schadstoffe in Böden. In: Rosenkranz et al. (Hg.), Handbuch des Bodenschutzes. Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1991

**Lindsay, W.L./ Norvell, W.A.:** Development of a Dtpa soil test for zinc, iron, manganese, and copper. 1978. Soil Sci. Soc. Am. J. 42 (3), S. 421–428.  
<https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>

**Olsen, Sterling Robertson:** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. US Department of Agriculture, 1954, Circular No. 939

**ÖNORM L 1061-2:** Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens in land- und forstwirtschaftlich genutzten Böden - Teil 2: Feinboden, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2002

**ÖNORM L 1083:** Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Acidität (pH-Wert\*, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1989

**ÖNORM L 1085:** Chemische Bodenuntersuchungen - Extraktion von Elementen mit Königswasser oder Salpetersäure-Perchlorsäure-Gemisch, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2009

**ÖNORM L 1086:** Chemische Bodenuntersuchungen - Extraktion der effektiv austauschbaren Kationen Ca<sup>++</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Na<sup>+</sup> sowie Al<sup>+++</sup>, Fe<sup>+++</sup>, Mn<sup>++</sup> und H<sup>+</sup> mit Bariumchlorid-Lösung und Ermittlung der Austauschkapazität, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1989

**ÖNORM L 1091:** Chemische Bodenuntersuchungen - Bestimmung von mineralischem Stickstoff durch Extraktion mit Calciumchloridlösung -!Nmin-Methode, Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998

**Universität für Bodenkultur Wien**  
Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln  
[Boku.ac.at](http://Boku.ac.at)