Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) **Schlussbericht**
3. Titel **BonaRes (Modul A, Phase 3): INPLAMINT – Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen, Teilprojekt F (ULün)**	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] **Temperton, Vicky, Prof. Dr.**	5. Abschlussdatum des Vorhabens **31.05.2024**
	6. Veröffentlichungsdatum **30.11.2024**
	7. Form der Publikation **Schlussbericht**
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) **Institut für Ökologie** **Leuphana Universität Lüneburg** **Universitätsallee 1** **21335 Lüneburg**	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen **031B1062 F**
	11. Seitenzahl **21**
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Kapelle-Ufer 1 11055 Berlin	13. Literaturangaben **XX**
	14. Tabellen **–**
	15. Abbildungen **6**
16. Zusätzliche Angaben **Keine.**	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) **Projektträger Jülich, Bioökonomie (BIO), Bioressource (BIO 6); Forschungszentrum Jülich GmbH**	

18. Kurzfassung

Die zentrale Hypothese dieses Verbundvorhabens war, dass neuartige Managementstrategien auf der Basis optimierter Interaktionen zwischen Pflanzen und Bodenmikroorganismen der Schlüssel zur Maximierung der Nährstoffeffizienz und der Minimierung der Nährstoffverluste in der Landwirtschaft sind und somit zu mehr Nachhaltigkeit führen können. Die übergeordneten Vorhabenziele waren die Aufklärung der Schlüsselprozesse, die an Nährstoffumsatz und -flüssen im System Pflanze-Boden-Mikroorganismen beteiligt sind, die Bewertung ihrer Bedeutung für eine nährstoffeffiziente landwirtschaftliche Biomasseproduktion, und die Ableitung geeigneter Managementstrategien zur Optimierung landwirtschaftlicher Biomasseproduktion für unterschiedliche Boden- und Klimabedingungen. Das Vorhaben war in drei Phasen von je drei Jahren gegliedert. In Phase III war das Vorhaben in fünf Arbeitspakete untergliedert, die folgende Schwerpunkte hatten: Synthese der in den Phasen I und II gewonnen Daten und Ergebnisse (WP1), Transfer des in INPLAMINT entwickelten Managementansatzes mit Verwendung von organischen Bodenzusatzstoffen zur Bindung von überschüssigem Stickstoff auf andere Regionen und klimatische Bedingungen in Feld- und Laborversuchen (WP2), Evaluierung der Effekte der Managementmaßnahmen auf Sozioökonomie und Umwelt (WP3), Entwicklung von Managementempfehlungen und Entscheidungshilfen sowie Politikberatung (WP4), und schließlich der Koordination des Vorhabens und der Datenbereitstellung für das BonaRes-Datenzentrum (WP5).

Die spezifischen Vorhabenziele des Teilprojekts F im Berichtszeitraum (Phase III) war die Mitarbeit an der Synthese der Ergebnisse der Phasen I und II von INPLAMINT (WP1), die mechanistische Untersuchung von Wurzeldynamiken und Stoffflüssen (C und N) bie Fokuspflanzenarten (vor allem Gerste) unter kontrollierten Bedungungen (controlled experiments) im Labor und im Gewächhaus oder Klimakammer (WP2.4). Hier war ein Kernfokus auf die pflanzliche Reaktion auf Dürre und oder mikrobielle Vielfalt in Phase III. Die Experimente unter kontrollierten Bedingungen im TP F waren komplementär zu den Feldexperimenten zu frühsommerliche Bodentrockenheit in vier Feldstationen in Deutschland (WP2 2.4)
Hier wurden an vier unterschiedlichen Standorten in Deutschland der Effekt frühsommerlicher Bodentrockenheit auf die Effektivität der organischen Bodenzusatzstoffe hinsichtlich der Binde-, Halte- und Wiederfreisetzungskapazität von Stickstoff und anderen Nährstoffen untersucht. Zudem trug das Teilprojekt F zur Wissensdissemination bei (WP 4) wirkte an den BonaRes-Statusseminaren sowie an der Organisation von Workshops und Events mit.

19. Schlagwörter Rhizosphärenprozesse, Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Interaktionen, Wurzeldyanmik duund Stoichiometrie von C:N:P	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. Type of document (e.g. report, publication) **Final report**
3. Title **BonaRes (Modul A, Phase 3): INPLAMINT – Increasing agricultural nutrient-use efficiency by optimizing Plant–soil-Microorganism Interactions, subproject F (ULün)**	
4. Author(s) (family name, first name(s)) **Temperton, Vicky, Prof. Dr.**	5. end of project **31.05.2024**
	6. publication date **30.11.2024**
	7. form of publication **Final report**
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) **Institut für Ökologie** **Leuphana Universität Lüneburg** **Universitätsallee 1** **21335 Lüneburg**	9. originator's report no.
	10. reference no. **031B1062 F**
	11. no. of pages **21**
12. Sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Kapelle-Ufer 1 11055 Berlin	13. no. of references **21**
	14. no. of tables -
	15. no. of figures **12**
16. Supplementary notes **None.**	
17. Presented at (title, place, date) **Projektträger Jülich, Bioökonomie (BIO), Bioressource (BIO 6); Forschungszentrum Jülich GmbH.**	

18. Abstract

The central hypothesis of this joint project was that novel management strategies based on optimized interactions between plants and soil microorganisms are the key to maximizing nutrient efficiency and minimizing nutrient losses in agriculture and can thus lead to greater sustainability. The overall project objectives were to elucidate the key processes involved in nutrient turnover and fluxes in the plant-soil-microorganism system, to assess their importance for nutrient-efficient agricultural biomass production, and to derive appropriate management strategies to optimize agricultural biomass production for different soil and climatic conditions. The project was divided into three phases of three years each. In Phase III, the project was divided into five work packages focusing on the following areas: Synthesis of the data and results obtained in phases I and II (WP1), transfer of the management approach developed in INPLAMINT with the use of organic soil amendments to bind excess nitrogen to other regions and climatic conditions in field and laboratory trials (WP2), evaluation of the effects of management measures on socio-economics and the environment (WP3), development of management recommendations and decision-making aids as well as policy advice (WP4), and finally the coordination of the project and the provision of data for the BonaRes data center (WP5).
The specific project objectives of subproject F in the reporting period (Phase III) were to contribute to the synthesis of results of Phases I and II of INPLAMINT (WP1), but especially to contribute towards a better mechanistic understanding of root dynamics of a few focus plant species (barley varieties) in relation to fertilizer /soil nutrient availability during drought conditions. A key focus here was on effects of drought as well as microbial diversity on plant response, including the interaction effects with wheat-straw as a high carbon amendment to reduce nutrient losses. The experiments under controlled conditions in SP F were complementary to the field experiments on early summer soil drought at four field stations in Germany (WP2 2.4) . where we also contributed to analyzing plant tissue nutrients from the Kiel Experiment. Here, the effect of early summer soil dryness on the effectiveness of high carbon amendments with regard to the binding, retention and re-release capacity of nitrogen and other nutrients was investigated at four different locations in Germany. In addition, subproject F contributed to knowledge dissemination (WP 4) and participated in the BonaRes status seminars and the organization of workshops & events. Data from TP F were also uploaded to the BonaRes Data Repository.

19. Keywords Rhizosphere processes, plant-soil-microorganism interactions, root dynamics and stoichiometry of C:N:P	
20. Publisher	21. Price

Schlussbericht Phase III – Teil III von INPLAMINT (Increasing agricultural nutrient-use efficiency by Optimizing **Pla**nt–soil-**M**icroorganism **Int**eractions

TP F (ULün) Teil I Kurzbericht

Die zentrale Hypothese dieses Verbundvorhabens war, dass neuartige Managementstrategien auf der Basis optimierter Interaktionen zwischen Pflanzen und Bodenmikroorganismen der Schlüssel zur Maximierung der Nährstoffeffizienz und der Minimierung der Nährstoffverluste in der Landwirtschaft sind und somit zu mehr Nachhaltigkeit führen können. Die übergeordneten Vorhabenziele waren die Aufklärung der Schlüsselprozesse, die an Nährstoffumsatz und -flüssen im System Pflanze-Boden-Mikroorganismen beteiligt sind, die Bewertung ihrer Bedeutung für eine nährstoffeffiziente landwirtschaftliche Biomasseproduktion und die Ableitung geeigneter Managementstrategien zur Optimierung landwirtschaftlicher Biomasseproduktion für unterschiedliche Boden- und Klimabedingungen. Das Vorhaben war in drei Phasen von je drei Jahren gegliedert.

Die spezifischen Vorhabenziele des Teilprojekts F im Berichtszeitraum (Phase III) war die Mitarbeit an der Synthese der Ergebnisse der Phasen I und II von INPLAMINT (WP1), und vor allem die mechanistische Untersuchung von Wurzeldynamiken und Stoffflüssen (Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor bei Fokuspflanzenarten (vor allem bei Gerste) unter kontrollierten Bedingungen (controlled experiments) im Labor und im Gewächhaus oder Klimakammer (WP2.4). Eine Zugabe von Weizenstroh hatte sich als beste Möglichkeit erwiesen, die erhöhten N-Verluste, die im Herbst vorkommen, zwischen der Ernte einer Pflanzenart und der nachfolgenden erfolgt, zu reduzieren. In der dritten Phase haben wir das Thema der sich verändernden abiotischen Bedingungen im Klimawandel unter die Lupe genommen: mit Dürreexperimenten in vier unterschiedlichen landwirtschaftlichen Feldexperimenten (Kiel, Klein-Altendorf, Dürnast, Thürow; dies war eine Zusammenarbeit des gesamten INPLAMINT Konsortiums), mit und ohne Weizenstroh-Applikation im Oberboden. In den Feldexperimenten hatte Dürre die zu erwartenden negativen Effekte auf die Ernteproduktivität (Kornertrag) und die Zugabe von Weizenstroh hatte bei drei von vier Experimenten einen positiven Effekt auf den Kornertrag. Bei der Interaktion zwischen Weizenstroh und Dürre konnte die Applikation von Weizenstroh nur in einem Fall in Klein-Alterndorf (bei der überdachten Behandlung) die negativen Effekte der Dürre etwas ausgleichen. Um die die Mechanismen hinter der Reaktion auf Trockenheit in Bezug auf Kohlenstoff (C) und Stickstoffflüsse (N) besser charakterisieren zu können, hat sich Teilproject F die Frage gestellt, wo das C und N unter Dürrebedingungen hinfließt, im Vergleich zur Kontrolle: wieviel des Stoffes ist in welchen Pflanzengeweben zu finden

und wieviel landet bei den Mikroben (mit einer PFLA-Analyse um den C und N in den Bakterien vom C und N in Pilzen)? Um diese Frage zu beantworten, wurde ein komplexes Labelling-Experiment in Klimakammern im Jahr 2023 aufgebaut. Hier wurden zwei unterschiedliche Gerstesorten (Kulturgerste, *Hordeum vulgare* und Wilde Gerste, *Hordeum spontaneum*), wobei Pflanzen mit den schwereren stabilen Isotopen 13C and 15N gedüngt wurden, um den Verlauf des C und des N verfolgen zu können. Die Analyse des Pflanzenwachstums zeigte, dass die Sommergerste (wie erwartet) deutlich sensibler auf die Bodentrockenheit reagiert hat als die Wilde Gerste, aber auch dass die Zufuhr von Weizenstroh (auf dem Boden appliziert) zu einer Wachstumsreduzierung bei beiden Gerstensorten führte. Die Analyse der stabilen Isotope in den unterschiedlichen Pflanzengeweben und in den Mikroben hat sich durch den Umzug der Kooperationspartnerin Prof. Michaela Dippold von Göttingen nach Tübingen verzögert, und mehrere Probendurchgänge waren im Jahr 2025 nötig, um eine Kontamination von Proben zu lösen. Die finalen Isotopen- Ergebnisse und somit das Gesamtbild der Ergebnisse (wo ist der C oder der N hingeflossen?) werden in den nächsten Monaten erwartet.

Ein komplementäres Experiment mit Kulturgerste und Wilder Gerste hat die Effekte der mikrobiellen Vielfalt auf die Dürrereaktion von Sommergerste, mit einem Hauptfokus auf Wurzeltraits und Wurzel-Dyanamiken. Die Pflanzen haben auf die Dürre mit einer Veränderung in der Qualität des Wurzelwerks reagiert (vor allem in der Dichte des Gewebes), und sie haben dabei weniger, dafür zähere Wurzeln entwickelt. Es gab eine negative Korrelation zwischen mikrobieller Vielfalt im Boden und der Produktivität der Wurzeln, was auf einen möglichen pathogenen Effekt bei ansteigender mikrobieller Vielfalt hindeutet.
Insgesamt hat TP F in mehreren kontrollierten Experimenten (in Töpfen, in der Klimakammer, im Gewächshaus oder in Mesokosmen) immer wieder Indizien dazu bekommen, dass das Vorhandensein von bestimmten pathogenen Pilzen einen größeren Effekt im Pflanze-Mikrobe-Boden-Bereich hatte als eine erhoffte, positive Interaktion zwischen z.B. Mykorrhizapilze die Pflanzen. Die Verlagerung des Gerste-Dürreexperimentes in eine Klimakammer (statt wie ursprünglich geplant in einem der Feldexperimente) war nötig, da die Feldexperimente bis zur finalen Etablierung länger gebraucht haben als geplant. Abgesehen von dieser Veränderung konnten die Projektarbeiten weitgehend planmäßig durchgeführt, die Meilensteine erreicht und die Kosten- und Zeitplanung eingehalten werden. Die schon publizierten Veröffentlichungen werden in den folgenden Monaten noch ergänzt durch ein Synthese-Paper und ein Paper zum Thema Plant Soil Feedback– auch ein Syntheseprojekt aus Phase II –, in dem die Analyse der mikrobiellen Diversität auf einige Probleme gestoßen ist.

Abschlussbericht

Temperton VM, Alonso Crespo IM. 2025. BonaRes Modul A. Phase 3 INPLAMINT – Increasing agricultural nutrient-use efficiency by optimizing plant–soil-microorganism interactions. Schlussbericht Teilprojekt F (Ulün), Teil II, Eingehende Darstellung. Leuphana Unversitsät Lüneburg

ZE:	Förderkennzeichen:
Leuphana Universität Lüneburg **Institut für Ökologie** **Universitätsallee 1** **Lüneburg**	**031B1062 F**

Vorhabenbezeichnung:
BonaRes (Modul A, Phase 3): INPLAMINT – Erhöhung der landwirtschaftlichen Nährstoffnutzungseffizienz durch Optimierung von Pflanze-Boden-Mikroorganismen-Wechselwirkungen, Teilprojekt F

Laufzeit des Vorhabens:

01.06.2021-31.12.2024

Berichtszeitraum:

01.06.2021-31.12.2024

1. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse und anderer wesentlicher Ergebnisse

In der dritten Phase war ein Hauptfokus des Konsortiums, die Erkenntnis aus den ersten zwei Phasen über Pflanze-Mikroben-Boden-Interaktion in Abhängigkeit von der Zugabe von organischer Streu (Weizenstroh, Sägespäne, und andere Substanzen mit hohem C:N Verhältnis) zu erweitern. Eine Zugabe von Weizenstroh hatte sich als beste Möglichkeit erwiesen, um die erhöhten N-Verluste, die im Herbst vorkommen, zwischen der einen Ernte einer Pflanzenart und der nachfolgenden zu reduzieren. Hierbei haben wir das Thema der sich verändernden abiotischen Bedingungen im Klimawandel unter die Lupe genommen: mit Dürreexperimenten in vier unterschiedlichen Landwirschaftsexperimenten (Kiel, CKA, Dürnast, Thürow), mit und ohne Weizenstroh-Applikation im Oberboden. Dürre hatte die zu erwartenden negativen Effekte auf die Ernteproduktivität (Grain Yield) und die Zugabe von Weizenstroh hatte bei 3 von 4 der Experimente einen positiven Effekt auf Grain Yield. Bei der Interaktion zwischen Weizenstroh und Dürre konnte die Applikation von Weizenstroh nur in einem Fall in CKA (roofed) die negativen Effekte der Dürre etwas ausgleichen. Als Beitrag zu den Felddürreexperimenten hat unser Labor die Gehalte von C und N in den Pflanzenproben aus dem Hohenschulen- Feldexperiment der Uni Kiel gemessen. Die

Ergebnisse wurde an unsere Partner der Uni Kiel im November 2023 geschickt. Zurzeit wird noch an einer Gesamtpublikation zu den Dürre-Feldexperimenten gearbeitet.

An der Leuphana haben wir die mechanistischen Auswirkungen der Dürreeffekte unter die Lupe genommen, vor allem in Bezug auf Wurzeltraits und Wurzel-Wurzelinteraktion. Die im Fokus stehende Pflanzenart war wieder die Gerste. Es wurden zwei kontrollierte Versuche in der dritten Phase durchgeführt: 1) Effekte der mikrobiellen Vielfalt auf die Dürrereaktion von Sommergerste; 2) ein Labelling Gerste-Dürre-Versuch (mit 13C and 15N Labelling, um die Art und Weise wie Wintergerste und Wilde Gerste C und N unter solchen Bedingungen aufnehmen, verfolgen zu können.

Erstes Experiment:
Gerste wurde unter kontrollierten klimatischen Bedingungen in Böden mit einer vierstufigen mikrobiellen Vielfalt im Boden in Töpfen angezogen. Die Versuchsgruppe wurde einer simulierten Dürre ausgesetzt und die Pflanzen wurden zwei Wochen nach der Dürre geerntet und Wurzelmerkmale (root traits) wurden mittels Bildanalyse und chemischer Elementaranalyse gemessen. Zusätzlich wurde Wurzel N und C gemessen. Die mikrobielle Vielfalt im Boden (erzeugt durch eine Verdünnung des Bodens mit sterilisiertem Boden) beeinflusste signifikant die gesamte Wurzelbiomasse, die Dichte des Wurzelgewebes und den Stickstoffgehalt. Die Gerstenpflanzen haben auf Dürre mit einer Veränderung in der Qualität des Wurzelwerks reagiert (vor allem in der Dichte des Gewebes), und dafür weniger zähe Wurzeln entwickelt. Es gab eine negative Korrelation zwischen mikrobieller Vielfalt im Boden und Produktivität der Wurzeln, was auf einen möglichen pathogenen Effekt bei ansteigender mikrobieller Vielfalt hindeutet. An einem Manuskript aus diesem Versuch wird noch gearbeitet.

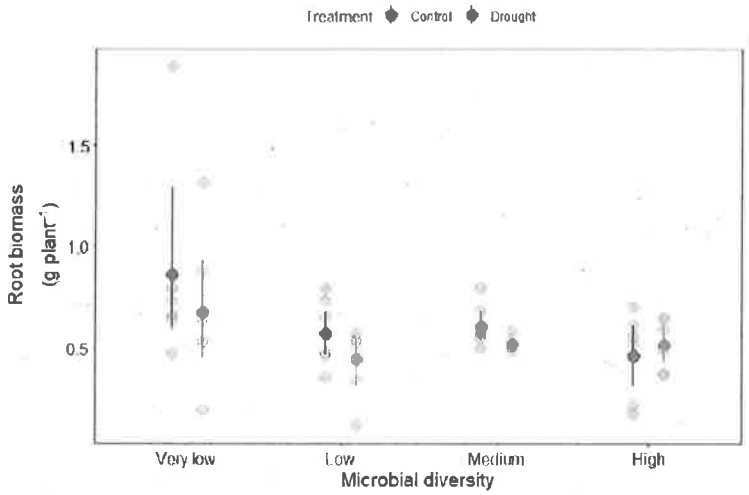


Fig. 3. Total root biomass of barley after drought. Four levels SMD (very low, low, medium and high) had a significant effect on TRB. Mean values are calculated via bootstrapping analysis with 10,000 subsamples.

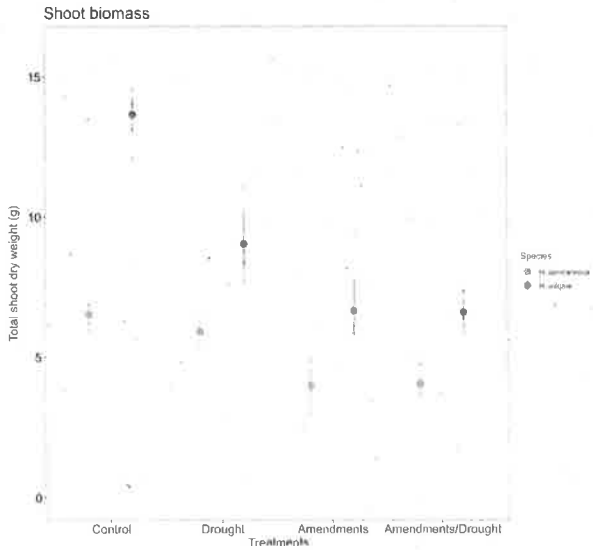
***Abbildung 1**: Wurzelbiomasse von Gerste unter Dürre oder Kontrollbedingungen (orange und blaue Darstellung) in Reaktion auf vier unterschiedlichen Mikrobendiversitätsbehandlungen.*

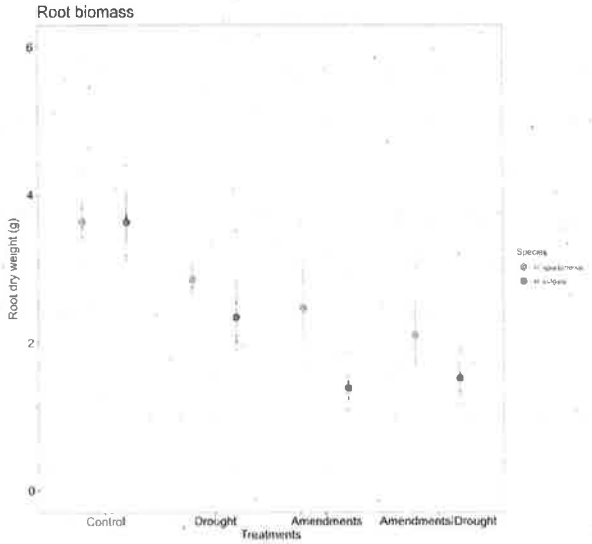
Zweites Experiment:

In 2023 wurde ein kontrollierter Gerste-Dürre-Versuch durch Inés Alonso-Crespo und Amit Kumar in Lüneburg angelegt. Mittels eines vollfaktoriellen Versuchsplans wurde die Wirkung von Trockenheit und kohlenstoffreichen Zusatzstoffen (Weizenstroh) auf die ober- und unterirdische Produktivität von zwei Gerstensorten (*Hordeum vulgare und Hordeum spontane*) untersucht. Die Annahme ist, dass Wilde Gerste besser in der Lage sein wird, mit Dürre umzugehen, dafür aber unter normalen Umweltbedingungen die Wintergerste besser wachsen wird. Es wurde untersucht, wie sich diese beiden Faktoren auf die Nährstoffaufnahme auswirken, indem die Pflanzen mit 15N und 13C markiert wurden (in Zusammenarbeit mit Prof. Michaela Dippold, Universität Tübingen). Wir haben 13C (mit Na_2CO_3 99% C) und 15N (mit KNO_3 98%) Tracer appliziert und zwölf Stunden nach dem Labelling wurden die Pflanzen sortiert und nach unterschiedlichen Pflanzengeweben geerntet (Bätter, Grannen, Spross, Wurzeln). Außerdem wurden Proben zur Analyse von Phospholipidfettsäuren im Boden genommen, um die mikrobielle Biomasse in den verschiedenen Behandlungen zu messen.

Das Weizenstroh wurde auf dem Oberboden appliziert. Diese Behandling entsprach leider nicht exakt der Weizenstrohbehandlung in den Feld-Dürreexperimenten, wo das Stroh leicht in den Oberboden eingearbeitet wurde. Da unser Klimakammerexperiment von viel kürzerer Dauer war (wenige Wochen), gehen wir davon aus, dass die Mikroben nicht die Zeit gehabt

hatten, das Stroh schon zu zersetzen. Nichtdestotrotz hatten die Mikroben in unseren Töpfen Kontakt zum Stroh, aber vermutlich weniger als in den Feldexperimenten. Vorläufige Ergebnisse der Biomassedaten zeigen, dass beide Gerstensorten unter den Bedingungen der Behandlung eine geringere Leistung aufwiesen, unabhängig davon, ob sie Trockenstress oder guten Bewässerungsbedingungen ausgesetzt waren. Erste Ergebnisse, dass das Weizenstroh die Gesamt-, Spross- und Wurzelbiomasse von *Hordeum vulgare* im Vergleich zur Kontrolle (ohne Stroh, ohne Dürre) signifikant reduzierte. Die Dürre hatte ebenfalls einen negativen Effekt und verringerte die Biomasse um jeweils 4,62 g (Gesamt), 4,59 (Spross) und 1,29 (Wurzeln). Bei *Hordeum vulgare* hatte die Präsenz von Weizenstroh einen negativen Effekt – vor allem in der Kontrolle (weniger bei der Dürrebehandlung). Bei der Wilden Gerste hingegen war der Effekt des Strohs auch negativ, aber die Dürrebehandlung hatte keinen signifikanten Effekt. Es bleibt zu sehen, wo C und N nach der Dürrebehandlung mit und ohne Stroh eingelagert wurde, und inwiefern sich diese biogeochemischen Allokationen zwischen den beiden Gerstensorten unterscheiden.





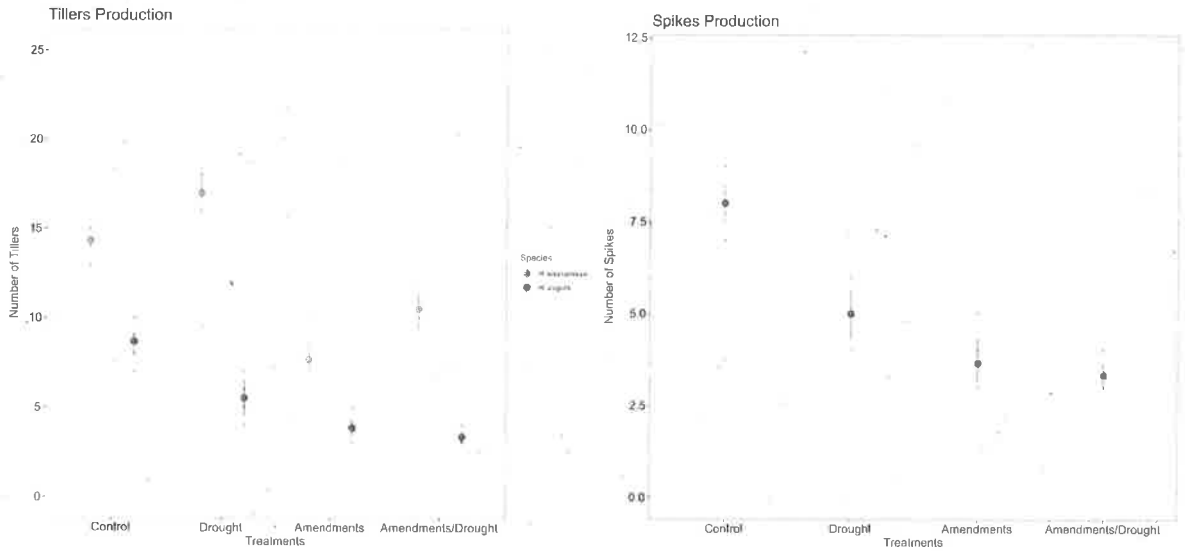


***Abbildung 2**: Pflanzenergebnisse des Dürre- und HCA (Weizenstroh) -Experimentes mit zwei sehr unterschiedlichen Gerstesorten (Hordeum vulgare und Hordeum spontane). Die Daten zeigen die Anzahl der Bestockung (Tiller) und der Ähren (Spikes).*

Die Isotopenanalysen sind bereits abgeschlossen, jedoch noch nicht ausgewertet. Die PLFA-Analyse wird länger dauern und findet im Labor der Kollaborationspartner im Unterauftrag an der Universität Tübingen (Prof. Michaela Dippold, im BMBF Projekt RootWayS) statt. Wir erwarten die Ergebnisse im Laufe der nächsten ein bis zwei Monate. Eine Publikation der Ergebnisse dieses einzigartigen Experiments ist für die zweite Hälfte 2025 geplant.

Publikation und Verbreitung von Ergebnissen

TP F hat sich wie immer aktiv an den Treffen des Konsortiums beteiligt und Prof. Vicky Temperton hat den Key Talk für INPLAMINT beim BonaRes Status Seminar in Leipzig im Mai 2023 gehalten. Vicky Temperton hat ausserdem an dem Policy Brief von INPLAMINT mitgeschrieben und eine Übersetzung ins Englische unterstützt. Bei den Deutschen Feldtagen im Mai 2024 haben wir uns an einem der Poster von INPLAMINT beteiligt, mit Ergebnissen aus dem Gerste-Dürre-Labelling Experiment.

Ein Manuskript aus der zweiten Phase von INPLAMINT wurde zusammen mit Dr. Jessica Clayton und Prof. Michael Bonkowski in Köln in der Fachzeitschrift Frontiers in Plant Science in 2024 publiziert. Hierbei konnten wir zeigen, dass eine Verschiebung von additiven zu synergistischen N-P Wechselwirkungen bei kritischer Phosphordüngung stattfindet. Nur

oberhalb eines bestimmten P-Wertes erfolgte eine synergistische Reaktion zwischen N und P bei der Wurzelbiomasse.

Ein großes gemeinsames Synthese-Experiment aus der zweiten Phase, **das Plant Soil Feedback Experient mit Böden aus dem Tagebau**, ist längst abgeschlossen im Sinne der Pflanzendaten, aber wir warten leider noch auf eine vollständige Auswertung der mikrobiellen Ergebnisse. Wir versuchen mit diesem Experiment den relativen Effekt der rezenten Pflanzen auf dem PSF im feedback Phase im Vergleich zur legacy Effekt des Bodens aus dem Tagebau zu trennen. Spannend ist, dass die Pflanzenergebnisse zeigen, dass beide Faktoren den PSF-Effekt beinflüssen, und, dass Leguminosen viel weniger negativ auf den PSF-Effekt reagieren als andere Pflanzengruppen. Bis jetzt wurde eine Analyse der Rolle der mikrobiellen Artenzahl (ESVs) und der Abundanzen von unterschiedlichen Gruppen durchgeführt – und es wurde keine klare Verbindung zwischen den Ergebnissen in den Pflanzen und denen der mikrobiellen Diversität gefunden.
Die einzige signifikante Korrelation zwischen Mikrobieller Artenzahl (ESV) und dem PSF-Index der Pflanzen wurde für pathogene Pilze gefunden. Eine Korrelation der mikrobiellen Abundanzen mit dem PSF der Pflanzen bleibt noch aus, aber die Tatsache, dass Amit Kumar in 2023 eine Professur in den Vereinigten Arabischen Emiraten angenommen hat, hat diesen wichtigen letzten Schritt sehr verlangsamt. Er hatte einen Kollegen vor Ort gefunden, um weiterhin nach Mustern in den Daten zu suchen, aber bisweilen ist leider kein klares Ergebnis herausgekommen. Vicky Temperton wird im Sommer 2025 beginnen, an den letzten Korrelationen der mikrobiellen Abundanzen zu arbeiten, damit dieses wichtige Kapitel zu Ende geschrieben werden kann. Wir werden diese wichtige Synthese-Manuskript bis Herbst 2025 eingereicht haben.

***Abbildung 3**: Das PSF-Experiment mit unterschiedlich alten Böden aus dem Tagebau-Index und Hafer oder Ackerbohne in einer Konditionierungsphase, gefolgt von einer Feedback-Phase bei hohem oder niedrigem Nährstoffgehalt*

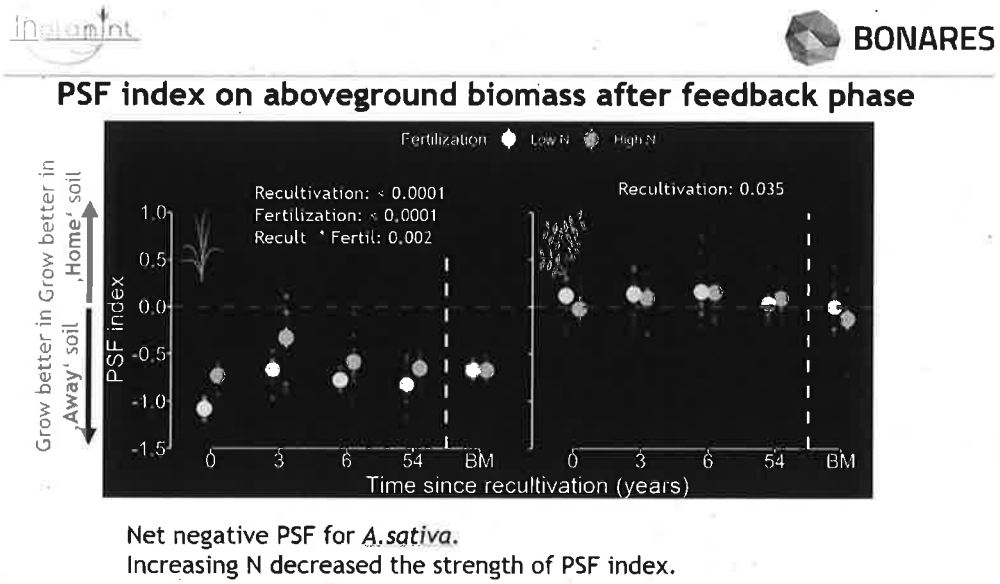


***Abbildung 4**: Der PSF-Index, wenn negativ, zeigt, ob eine Pflanze besser wächst auf dem „Away" Boden als dem „Heimboden". Der PSF-Effekt bei Hafer war sehr negativ, und die Zugabe von N-Dünger hat den negativen PSF-Effekt verringert. Acker-Bohne hat weit weniger auf das Wachstum im „Heim"- oder „Away"boden reagiert.*

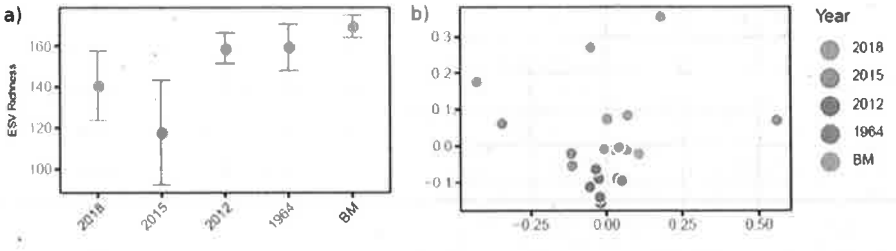


***Abbildung 5**: Eine Analyse des Bodeninokulums nach miktrobieller Diversität. Daten zeigen ESV Richness für die Böden 1964, 2012, 2015, 2018, und Before Mining (BM) aus dem Tagebau.*

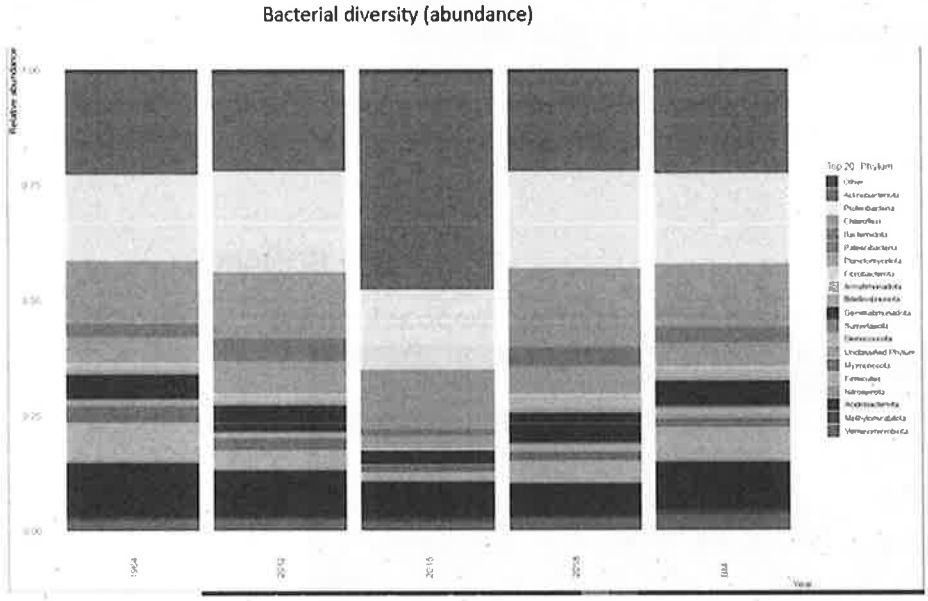


***Abbildung 6**: Die Zusammensetzung der bakteriellen Gesellschaften in unterschiedliche Böden aus dem Tagebau. Sichtbar ist, dass die Zusammensetzung im Boden in 2025 anders ist als die anderen Jahre, und in diesem Jahr ist der negative PSF-Effekt auf den Hafer besonders groß.*

Synthesepublikationen aus der dritten Phase:

Außerdem werden aktuell einige andere Synthesepublikationen im Konsortium geschrieben, vor allem ein Manuskript mit dem Titel „**Managing soils as a sustainable resource for the bioeconomy**" wird für das Journal Environmental Management vorbereitet. Dieses Manuskript wird im Laufe des Sommers 2025 eingereicht. Ein weiteres Manuskript bezieht sich auf die Ergebnisse der vier Dürreexperimente im Feld.

Publikationen:

Insgesamt waren alle drei Phasen des INPLAMINT-Projektes für TP F (Leuphana) recht erfolgreich. In allen drei Phasen in INPLAMINT (von 2015 bis 2024) haben wir uns auf das mechanistische Testen von Pflanzenteraktionen, die andere TPs in Feldexperimenten (vor allem TP E in Kiel im Feldexperiment in Hohenschulhausen, Prof. Henning Kage) durchgeführt haben, mit einem besonderen Fokus auf die Wurzeln. Wir hatten uns im Consortium darauf geeinigt, bei kontrollierten Experimenten (Klimakammer, Gewächshaus, Mesokosmen unter freiem Himmel) uns vor allem auf die Hauptanbaupflanzenarten zu konzentrieren, die der Hauptfokus von INPLAMINT waren. Dies sind Weizen, Gerste, Raps und Faba-Bohnen. Wintergerste wurde ausgewählt als Pflanzenart (inklusiv Sorten), die im Konsortium detailliert untersucht werden sollte. Aus diesem Grund haben wir uns bei etlichen Experimenten in Lüneburg auf Gerste und ihre Interaktionen mit anderen Arten oder mit Mikroben fokussiert.

Manuskripte in Bearbeitung:

Brüggemann et al (in Bearbeitung) Managing soils as a sustainable resource for the bioeconomy. Journal Environmental Management.

Kumar et al.

Publiziert:

Clayton J, K Lemanski, M Solbacj, VM Temperton, M. Bonkoswki (2024) Two-way NxP fertilisation experiment on barley reveals shift from additive to synergistic N-P interactions at critical P fertilisation level. Frontiers in Plant Science.

Kumar A, O Kuznetsova, S Gschwendtner, H Chen, IM Alonso-Crespo, M Yusuf, S Schulz, M Bonkowski, M Schloter, VM Temperton (2023). Implications of domestication syndrome in barley for above- and belowground plant traits and microbial interactions.

Kumar A, O Kuznetsova O, Gschwendtner S, H Chen, IM Alonso-Crespo, M Yusuf, S Schulz, M Bonkowski, M Schloter, VM Temperton (2024) Shifts in plant functional trait dynamics in relation to soil microbiome in modern and wild barley. Plants People Planet 6:1398–1412.

Reichel R, CW Kamau, A Kumar, Z Li, V Radl, VM Temperton, M Schloter, N Brüggemann (2022). Spring barley performance benefits from simultaneous shallow straw incorporation and top dressing as revealed by rhizotrons with resealable sampling ports. Biology and Fertility of Soils 58(4), 375-388, DOI: 10.1007/s00374-022-01624-1.

Publikationen aus den ersten zwei Phasen:

Kumar A, C Rosinger, H Chen, S Protic, M Bonkowski, VM Temperton (2021). Gone and forgotten: facilitative effects of intercropping combinations did not carry over to affect

barley performance in a follow-up crop rotation. Plant Soil 467(1-2), 405-419, DOI: 10.1007/s11104-021-05104-7.

Roy, J, R van Duijnen, EF Leifheit, S Mbedi, VM Temperton, MC Rillig (2021). Legacy effects of pre-crop plant functional group on fungal root symbionts of barley. Ecological Applications 31(6), e02378, DOI: 10.1002/eap.2378.

Kumar A, E Blagodaskaya, MA Dippold, VM Temperton (2021). Positive intercropping effects on biomass production are species-specific and involve rhizosphere enzyme activities: Evidence from a field study. Soil Ecology Letters, DOI: 10.1007/s42832-021-0108-0

Van Duijnen R, H Uther, W Härdtle, VM Temperton, A Kumar (2021). Timing matters: Distinct effects of nitrogen and phosphorus fertilizer application timing on root system architecture responses. Plant-Environment Interactions, DOI: 10.1002/pei3.10057

Kamau CW, R van Duijnen, CAO Schmid, HE Balàzs, J Roy, M Rillig, P Schröder, V Radl, VM Temperton, M Schloter (2021). Impact of high carbon amendments and pre-crops on soil bacterial communities. Biology and Fertility of Soils 57(2), 305-317, DOI: 10.1007/s00374-020-01526-0

Kumar B, R van Duijnen, BM Delory, R Reichel, N Brüggemann, VM Temperton (2020). Barley shoot biomass responds strongly to N: P stoichiometry and intraspecific competition, whereas roots only alter their foraging. Plant and Soil 453(1), 515-528, DOI: 10.1007/s11104-020-04626-w

van Duijnen R, J Roy, W Härdtle, VM Temperton (2018). Pre-crop functional group identity affects yield of winter barley but less so high carbon amendments in a mesocosm experiment. Frontiers in Plant Science 9, 912, DOI: 10.3389/fpls.2018.0091

2. Vergleich des Stands des Vorhabens mit der ursprünglichen Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung

Teil vom AP 2 (WP 2: Transfer of the INPLAMINT HCA approach to other regions and conditions) haben wir ein Dürre-Experiment mit zwei Gerstesorten (*Hordeum vulgare* und *Hordeum spontane*) durchgeführt. Hiermit wollten wir die Hypothese testen, dass die ursprüglichere Variante von Gerste (Wilde Gerste, *Hordeum spontane*) besser in der Lage sein wird, mit Dürre umzugehen, und ein anderes Kohlenstoffverteilungsmuster zeigen wird als die gewöhnliche, hochgezüchtete Gerste (*Hordeum vulgare*). Ursprünglich war der Plan, diese Arbeit teilweise direkt in einem der Feldversuche mit Dürrebehandlungen durchzuführen (in Hohenschulen, Thyrow, Dürnast oder Klein Altendorf) – aber es stellte sich heraus, dass es einfacher und vor allem wiederholbarer ist, ein Experiment mit gelabeltem Stickstoff und Kohlenstoff unter kontrollierten Bedingungen in der Klimakammer

durchzuführen als im Feld mit womöglich nur 2 oder 3 „Feldfenstern", um die Wurzeldynamik zu verfolgen. Wir haben entschieden, uns vor allem auf C and N zu fokussieren anhand von stabilen Isotopenlabel, und nicht, wie geplant, uns auf P zu fokussieren, da der Rest des INPLAMINT-Projekts in Phase III sich vor allem auf C- und N-Verhältnisse im Pflanze-Boden-Mikrobiome-Kontinuum fokussiert.
Die Ergebnisse dieses Labelling-Dürre-Experiments sind teilweise ausgewertet (siehe Ergebnisse oben im wissenschaftlichen Ergebnisteil) und schon in einem Manuskript beschrieben. Die Ergebnisse zu dem Verlauf des C und N werden noch vom Labor von Prof. Dippold erwartet. Ihr Team musste leider bei vielen Proben Verunreinigungen feststellen, sodass die ganzen Analysen wiederholt durchgeführt werden mussten. Die PLFA-Ergebnisse werden in den nächsten ein bis zwei Monaten erwartet und die Labelergebnisse können im Juli und August ausgewertet werden.

3. Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtzeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert?

Nein – obwohl Dr. Amit Kumar seit Januar 2023 nicht mehr im Projekt direkt gearbeitet hat, da er eine Professur in den Vereinigten Arabischen Emiraten bekommen hat. Wir konnten für die restliche Zeit Inés Alonso-Crespo einstellen und sie hat die Arbeiten sehr gut weitergeführt.

4. Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?

Nein.

5. Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Nein.

6. Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans

NA

6.1 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte

Keine.

6.2 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Mögliche Kostenersparnis in der Landwirtschaft und Verringerung des Nitrateintrags in das Grundwasser wenn der Ansatz mit Weizenstroh in der Praxis angenommen wird.

6.3 Wissenschaftliche Erfolgsaussichten

Bis jetzt haben wir zehn begutachtete Veröffentlichungen in TP F in INPLAMINT, und wir erwarten noch einige weitere gute und hochrangige Publikationen über die nächsten 6-12 Monate:

1) Das PSF-Experiment mit Böden aus dem Tagebau Inden (wie oben beschrieben, bekommt die Fertigstellung der Analysen und das Publizieren der Ergebnisse höchste Priorität bis zum Herbst 2025).
2) Das Synthese-Manuskript für INPLAMINT (Managing soils as a sustainable resource for the bioeconomy – ist in Bearbeitung).
3) Das Synthese-Manuskript über den Effekt der Dürre in vier Feldexperimenten (ist in Bearbeitung).
4) Eine gemeinsame Publikation zwischen ULün und FUB (Rillig, Roy) zur mikrobiellen Biodiversität als Reaktion auf eine Intercropping wurde schon eingereicht.

Die vier Dürrefeldexperimente haben wichtige Informationen liefern können zur Praktikabilität der HCA-Amendment um Nährstoffverluste zu reduzieren trotz erhöhter Dürre in Zeiten des Klimawandels. Leider waren die Ergebnisse nicht so eindeutig, wie wir es erhofft hatten, und die Publikation dieser einmaligen Versuchsreihe hat höchste Priorität.

6.4 Wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Drei wichtige Synthese-Publikationen stehen noch aus (sind in Bearbeitung; das PSF-Experiment, das INPLAMINT Overview Paper sowie ein Synthese Paper zu den vier Dürreexperimenten). Außerdem erwarten wir noch 1-2 weitere Publikationen vom TP F. Sonst ist alles gut nach Plan gelaufen.

Generell sind die Hauptergebnisse von INPLAMINT sowohl wissenschaftlich als auch in der Praxis von großer Bedeutung für ein verbessertes Stickstoffmanagement im Acker in Deutschland. Durch gezieltes Kohlenstoffmanagement (HCA- high carbon amendments wie Weizenstroh) wird Nitrat-N in organisches N umgewandelt. Somit wird der Nitratüberschuss, der im Herbst sehr problematisch ist, da er zu größtem Nährstoffverlust aus intensiven Ackerflächen im Jahr gehört, stark reduziert. Die Zufuhr von Weizenstroh ist ökonomisch und landwirtschaftlich gut praktikabel innerhalb eines Betriebs und führt nicht zu einem erhöhten Schädlingsbefall der folgenden Anbaupflanzen. Allerdings führen Dürreperioden im Frühjahr zu einer Reduzierung der Nährstoffaufnahme bei Pflanzen während der Wachstumsperiode. Die Zufuhr von HCA-Substraten (z-B. Weizenstroh) führt zu einer Zunahme der mikrobiellen

Biomasse und Aktivität und somit zur Stabilisierung der Nährstoffe im Boden, solange genügend Bodennährstoffe vorhanden sind. Es wäre wichtig, dass die HCA-Applikation möglichst während der herbstlichen Mineralisierungsphase erfolgt.

Die Overview -Publikation mit diesen für die Praxis wichtigen Erkenntnisse wird ein wichtiger Meilenstein für unser INPLAMINT Projekt sein, und die Verbreitung in die Gesellschaft sollte von unterschiedlichen Seiten vorangetrieben werden. Am besten wäre es, wenn ein Anschlussprojekt die Verbreitung und Anwendung in der Praxis wissenschaftlich begleiten könnte.

Lüneburg, 9. Juli 2025

Ort, Datum

Prof. Vicky Temperton

-Projektleiter(in)-