



Veröffentlichung der Ergebnisse von Forschungsvorhaben im BMBF-Programm

BonaRes (Modul A): Auswirkungen des pflanzenbaulichen Managements sowie der Anwendung mikrobieller Biokontrollstämme auf Bodengesundheit und Suppressivität gegenüber Pathogenen im Rahmen einer nachhaltigen Pflanzenproduktion

Implications of soil management practices and application of biocontrol strains on soil health and suppressiveness against pathogens

Förderkennzeichen: 031B0514C

Zuwendungsempfänger: Julius Kühn-Institut (JKI), Erwin-Baur-Str. 27, 06484 Quedlinburg

Ausführende Stelle: Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Epidemiologie und Pathogendiagnostik

Projektleiterin: Dr. Doreen Babin, Prof. Dr. Kornelia Smalla

Laufzeit des Vorhabens: 01.10.2018 bis 31.01.2022



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzdarstellung	3
I.1. Ziele und Aufgabenstellung	3
I.2. Voraussetzung unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	4
I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens.....	4
I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	5
I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	7
II. Eingehende Darstellung	8
II.1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele.....	8
II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	8
II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	8
II.4. Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse	8
II.5. Während des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	9
II.6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	10
III Kurzfassung	13
IV Literaturverzeichnis	14

I. Kurzdarstellung

I.1. Ziele und Aufgabenstellung

Aufgrund der Bedeutung von Mikroorganismen für relevante Funktionen in landwirtschaftlich genutzten Böden verfolgt das Vorhaben das Ziel in vergleichenden Analysen Basisdaten zum Einfluss von langfristigen landwirtschaftlichen Anbaumaßnahmen auf die Boden-/Rhizosphären-Mikrobiota und deren Auswirkungen auf Charakteristika der Pflanze (Produktivität, Gesundheit) zu generieren, um auf dieser Basis Aussagen zur Leistungs- und Ertragsfähigkeit der Ressource Boden treffen zu können. Die Arbeiten des Projektes konzentrieren sich auf den Langzeitversuch (LTE) BBG-Strenzfeld (LTE-1) der Hochschule Anhalt (AUAS) und die "Demonstrationsanlage Ackerbausysteme" (HUB-LTE) der Humboldt Universität zu Berlin. Im Gegensatz zur ersten Projektphase, während der mit Böden aus den LTEs Gefäßversuche unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt wurden, konzentrieren sich die Arbeiten zur Boden- und Rhizosphären-Mikrobiota direkt auf die Bedingungen im Feld. Der LTE-1 erlaubt die Untersuchung des Einflusses der Bodenbearbeitung [pflügende (MP) vs. reduzierte (CT) Bodenbearbeitung], der Intensität der Stickstoff-Düngung [Standard (Int) vs. 50% reduzierte N-Düngung (Ext)] auf die Mikrobiota des von der Wurzel beeinflussten Bodens sowie der Rhizosphäre der Fruchtfolgekulturen Mais, Raps und Winterweizen [jeweils mit Mais oder Raps als Vorkultur in der vorherigen Vegetationsperiode]. Neben den Analysen der Mikrobiota (Gemeinschaft an Bakterien, Archaeen, Pilze und Oomyceten) werden Charakteristika der Pflanze (Biomasse, Expressionsniveau von Genen assoziiert mit biotischem/abiotischem Stress) erfasst - als Ausdruck für die Wechselwirkung mit der Rhizosphären-Mikrobiota. Wurzelexsudate können sowohl eine stimulierende als auch hemmende Wirkung auf die Rhizosphären-Mikrobiota einschließlich Pathogenen ausüben. Daher werden Proben von der Wurzel (Wurzelfenster) im Feld von ausgewählten Varianten entnommen und nachfolgend die Wurzelexsudationsprofile analysiert. Im Ergebnis der ersten Projektphase zeigte sich ein deutlicher Einfluss von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die relative Abundanz potentieller pilzlicher Pathogene im Boden. Um Aussagen zum Einfluss von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf deren Auftreten treffen zu können, wird die relative Abundanz von potentiellen Pathogenen im von der Wurzel der Kultur beeinflussten Boden unter Feldbedingungen ermittelt. Es wird davon ausgegangen, dass die Ergebnisse unter Berücksichtigung von Krankheitssymptomen an der Pflanze eine Aussage zur suppressiven Wirkung von Anbaumaßnahmen erlauben.

Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass durch die Applikation von nützlichen Mikroorganismen das Auftreten von Krankheiten reduziert und die Pflanzengesundheit verbessert werden kann. Eine effektivere, krankheitsunterdrückende Wirkung könnte durch die Applikation von mikrobiellen Konsortien gegeben sein. Aufgrund der geringen Kenntnisse zum Einfluss von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Wirkung von applizierten nützlichen Mikroorganismen auf die Pflanze oder das Auftreten von Krankheiten soll dies ebenfalls im Feld untersucht werden. Neben der Wirkung auf die Pflanze interessiert auch deren Einfluss auf die Struktur und Funktion der Rhizosphären-Mikrobiota (z.B. taxonomische und funktionelle Veränderungen in den mikrobiellen Gemeinschaften). Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass bei positiver Wirkung von nützlichen Mikroorganismen auf die Pflanze, ein positives Feedback auf den Boden gegeben ist und dadurch langfristig die

Bodengesundheit verbessert werden kann. Die Ergebnisse der Analyse der mikrobiellen Gemeinschaften werden mit Daten der Boden- und Pflanzencharakteristika korreliert.

I.2. Voraussetzung unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Für die Untersuchung des Einflusses von langfristigen Anbaumaßnahmen auf die Struktur und Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden und in der Rhizosphäre ist die Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Langzeitversuchen (LTE) eine Voraussetzung. An der AUAS und an der HUB konnten geeignete Langzeitversuche zur Verfügung gestellt werden, welche den Einfluss von Bodenmanagement, Düngungsregime und Fruchtfolge auf mikrobiologische Charakteristika des Bodens/Rhizosphäre und deren Auswirkung auf die Pflanze erlauben. In diesen Langzeitversuchen konnten auch Versuche angelegt werden, die den Einfluss von landwirtschaftlichen Anbaumaßnahmen auf die Wirkung von applizierten nützlichen Mikroorganismen ermöglichen. Des Weiteren war die Möglichkeit gegeben, Wurzelfenster zu installieren, um den Zusammenhang zwischen der Struktur der mikrobiellen Gemeinschaft in der Rhizosphäre und von Wurzelexsudationsprofilen zu analysieren.

Eine Zusammenarbeit der Partner IGZ, Anhalt Universität (AUAS), Julius Kühn-Institut (JKI), Helmholtz Zentrum München (HMGU) und Universität Hohenheim (UH) erfolgte bereits in der ersten Phase des Projektes DiControl. Die Expertise der Partner ermöglichte die zusammenhängende Betrachtung des Einflusses von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die mikrobiellen Gemeinschaften im Boden und in der Rhizosphäre unter Berücksichtigung von deren Auswirkungen auf die Reaktion der Pflanze auf physiologischer und molekularer Ebene.

Die Partner IGZ, JKI und UH arbeiteten bereits in vorherigen Projekten zusammen, so dass etablierte Methoden zur Analyse der mikrobiellen Gemeinschaften, der Wurzelexsudation, physiologischer Stressindikatoren der Pflanze sowie zur Ermittlung der Rhizosphärenkompetenz von Biokontrollstämmen unter Feldbedingungen im DiControl Projekt angepasst und genutzt werden konnten. Die Erfahrungen der HMGU erlaubte die Auswahl von Genen assoziiert mit der Reaktion auf (a)biotischen Stress für Winterweizen und Mais und die Entwicklung von Primern für Expressionsanalysen.

Die Erfahrungen der Partner JKI, UH und AUAS mit nützlichen Mikroorganismen aus dem gemeinsamen EU-FP7 Projekt BioFactor (www.biofactor.info) konnten in das Projekt DiControl eingebracht werden. So wurde im BioFactor Projekt die Genomsequenz des pflanzenwachstumsfördernden Pilzes *Trichoderma harzianum* (Stamm OMG16) aus der Stammsammlung der AUAS vollständig entschlüsselt und der positive Einfluss des Pilzes auf die Entwicklung der Pflanze bestätigt. Zur Erreichung der Projektziele von DiControl und des holistischen Versuchsansatzes ist eine enge Zusammenarbeit im Verbund eine unbedingte Voraussetzung, die durch die engen Verbindungen der Arbeitsgruppen schon vor dem Start des BonaRes Programms gegeben war. Um eine zusammenhängende Betrachtung der Daten im Projekt DiControl sicher zu stellen, bringen die Partner die jeweilige Expertise in den holistischen Forschungsansatz ein und unterstützen sich gegenseitig bei der Analyse und Interpretation der Datensätze.

I.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte entsprechend den im Antrag beschriebenen Arbeitspaketen (APs) unter Einbeziehung der jeweiligen Expertise der Partner.

Die Untersuchungen zum Einfluss von langfristigen Anbaumaßnahmen auf die Boden- und Rhizosphären-Mikrobiota konzentrierten sich auf Fruchtfolgekulturen der Langzeitversuche (LTE-1 in Bernburg, HUB-LTE in Thyrow). Während der Vegetation wurden direkt im Feld Proben von Fruchtfolgekulturen aus LTE-1 (Winterweizen, Mais, Raps) und HUB-LTE (Winterroggen) entnommen und nachfolgend die mikrobiellen Gemeinschaften im von der Wurzel beeinflussten Boden und der Rhizosphäre analysiert. Zum Probenentnahmezeitpunkt wurden auch Charakteristika der Pflanze (Wachstum, Gesundheit) ermittelt sowie Wurzelexsudationsprofile in ausgewählten Varianten analysiert.

In einem weiteren Feldversuch (2020, 2021) wurde der Einfluss von langfristigen Anbaumaßnahmen auf die Wirkung von drei ausgewählten nützlichen Mikroorganismen (BM; *Pseudomonas* sp. RU47, *Bacillus atrophaeus* ABi03 and *Trichoderma harzianum* OMG16), die als Konsortium appliziert wurden, an Mais unter Feldbedingungen untersucht. Zuvor wurden die Etablierung und Wirkung der einzelnen BM in der Rhizosphäre nach alleiniger Applikation als auch kombinierter Anwendung als Konsortium unter kontrollierten Bedingungen geprüft. Die Untersuchung der krankheitsunterdrückenden Wirkung der BM in Gefäßversuchen war ebenfalls vorgesehen. Im Rahmen des Vorhabens wurden folgende Arbeitspakete (AP) bearbeitet:

AP1. Erfassung von LTE-Daten zum Aufbau einer umfassenden Datenbank

AP2. Einfluss von langfristigen pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Mikrobiota des von der Wurzel beeinflussten Bodens und der Rhizosphäre, das Wurzelexsudations-Profil sowie das Wachstum und die Gesundheit der Pflanze unter Feldbedingungen

AP3. Versuche unter kontrollierten Bedingungen: Einfluss von BM auf die Pflanze und die Struktur der Mikrobiota der Rhizosphäre in Abhängigkeit von langfristigen landwirtschaftlichen Anbaumaßnahmen

AP4. Untersuchungen im Feld: Einfluss des Standortes und langfristiger landwirtschaftlicher Anbaumaßnahmen auf die Wirkung von BM

I.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Boden ist die wichtigste Ressource zur Produktion von Nahrungsmitteln und pflanzlichen Produkten. Zur Deckung des steigenden Nahrungs- und Energiebedarfs infolge einer wachsenden Weltbevölkerung ist die Erhaltung von Bodengesundheit und -fruchtbarkeit daher eine der größten Herausforderungen für die Landwirtschaft. Die Funktionen im Boden, die maßgeblich eine hohe pflanzliche Produktivität gewährleisten, werden u.a. entscheidend von der mikrobiellen Bodengemeinschaft, den landwirtschaftlichen Maßnahmen als auch durch den Genotyp der Pflanze selbst beeinflusst. Obwohl die mikrobielle Bodengemeinschaft eine integrale Komponente eines Bodens ist und nahezu 80-90 % der Funktionen im Boden vermittelt (Mäder et al. 2002), wird deren Aktivität und Funktionalität in der derzeitigen landwirtschaftlichen Praxis wenig berücksichtigt. Auch wenn verschiedene Studien zeigen, dass landwirtschaftliche Anbaumaßnahmen die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden beeinflussen (Birkhofer et al. 2008, Sommermann et al. 2018, Babin et al. 2019), so mangelt es doch an Wissen zum Einfluss von Bodenmikroorganismen auf die pflanzliche Produktivität und Gesundheit (Raaijmakers & Mazzola 2016). Obwohl in den letzten Jahren das Verständnis zu grundlegenden Zusammenhängen zwischen Boden- und Pflanzenmikrobiom gestiegen ist (Berg et al. 2014,

2016, Hartmann et al. 2015, Hol et al. 2015, Lapsansky et al. 2016, Widder et al. 2016, Babin et al. 2021), fehlen doch umfangreiche Kenntnisse zum Einfluss des Bodentyps und insbesondere der landwirtschaftlichen Praxis auf das Bodenmikrobiom und deren Auswirkungen auf Charakteristika der Pflanze einschließlich des Auftretens und der Entwicklung von Krankheiten (Wagg et al. 2014, Bender et al. 2016, Mazzola & Freilich 2017).

Bodenbürtige Pathogene sind Teil der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden und verantwortlich für Ertrags- und Qualitätsverluste. Die Bekämpfung dieser Pathogene ist schwierig und erfolgt überwiegend durch Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel, die jedoch nicht zur Verminderung des Problems beigetragen haben u.a. aufgrund des Auftretens von Resistenzen gegenüber den angewendeten Mitteln. Neben den negativen Auswirkungen auf die Umwelt besteht das Risiko der Rückstandsproblematik in pflanzlichen Produkten und daraus produzierten Lebensmitteln. Das Fehlen von geeigneten integrierten Bekämpfungsmaßnahmen, welche die Bodengesundheit berücksichtigen, ist als eine Ursache für die zunehmenden Probleme durch Pflanzenkrankheiten anzusehen. Die derzeit intensiven Anbaustrategien mit engen Fruchtfolgen bergen das Risiko von Ertragsverlusten infolge der Akkumulation von Pflanzenpathogenen im Boden. Die Fähigkeit eines Bodens bzw. seiner Mikrobiota, Pathogene zu unterdrücken, ist ein Charakteristikum für gesunde Böden. Daher stellt sich die Frage des Einflusses pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die suppressive Wirkung gegenüber Pathogenen.

Untersuchungen zeigen, dass die Biodiversität als ein bedeutender Faktor für die Leistung eines Bodens anzusehen ist (Wagg et al. 2014, Allan et al. 2015, Löbmann et al. 2016). Verschiedene Studien weisen aus, dass eine intensive landwirtschaftliche Praxis die Diversität der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden negativ beeinflusst (de Vries et al. 2013, Ding et al. 2013, Tuck et al. 2014, Allan et al. 2015). Das Fehlen von bestimmten funktionellen Taxa bei reduzierter Biodiversität kann in Beziehung zu entsprechenden Bodenfunktionen stehen (Philippot et al. 2013, Bender et al. 2016) und die pflanzliche Produktivität beeinflussen (Hol et al. 2015). Derzeit fehlen jedoch umfangreiche Kenntnisse zum Einfluss von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Beziehung zwischen Biodiversität der mikrobiellen Gemeinschaft, deren Funktionen im Boden und die Produktivität/Gesundheit der Pflanze. Van Elsas et al. (2012) zeigten, dass eine hohe mikrobielle Diversität die Besiedlung des Bodens mit einem Pathogen hemmen kann. Im Gegensatz zu Böden mit hoher Biodiversität kann die Applikation von mikrobiellen Inokula in Böden mit geringer Biodiversität zu einer Verbesserung von Bodenfunktionen beitragen (Nielsen et al. 2011). Dies lässt vermuten, dass für die Funktionen im Boden die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft von größerer Bedeutung ist als die Anzahl der vorkommenden Spezies. Des Weiteren zeigen die Arbeiten von Sarama et al. (2015), dass durch die Inokulation von mehreren Mikroorganismen mit verschiedenen Wirkmechanismus (mikrobielle Konsortien) ein positiver Effekt auf Charakteristika der Pflanze erzielt werden kann und sich dies wiederum positiv auf den Boden auswirkt (Pflanze-Boden-Feedback). Zahlreiche Studien weisen aus, dass durch die Applikation von nützlichen Mikroorganismen durch direkte (Hemmung von Pathogenen im Wurzelraum) oder indirekte Mechanismen (induzierte Resistenz in der Pflanze) der Entwicklung von Krankheiten entgegengewirkt werden kann. Ein besseres Verständnis der Wirkung von mikrobiellen Konsortien auf die Pflanze und deren Feedback auf den Boden kann neue

Möglichkeiten für das Management der mikrobiellen Gemeinschaft im Boden/Rhizosphäre eröffnen.

I.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Vorhabens bestand aufgrund der holistischen Herangehensweise, der komplexen Fragestellungen und des hohen organisatorischen Aufwandes in der Durchführung der Versuche eine enge Zusammenarbeit mit allen Partnern. Die Probennahmen aus den Feldversuchen erfolgten unter Beteiligung aller Partner.

Des Weiteren bestand eine intensive Zusammenarbeit mit der Lebenswissenschaftlichen Fakultät der Humboldt Universität zu Berlin (HUB). Die Demonstrationsanlage „Ackerbausysteme“ umfasst einen Dauerfeldversuch, der den Einfluss von langfristig mineralisch und organisch bewirtschafteten Maßnahmen vergleicht. In diesen Varianten konnte der Einfluss des Konsortiums aus nützlichen BM an Winterroggen untersucht werden.

Die Analyse der relativen Abundanz von potentiellen *Fusarium* spp. im Boden und im von der Wurzel beeinflussten Boden erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Konsortium SIGNAL. Bezüglich der Auswertung von Metagenomen von Rhizosphärenproben besteht ein enger Kontakt mit dem Konsortium INPLAMINT, insbesondere mit der Arbeitsgruppe von Prof. Michael Schloter.

Eine enge Zusammenarbeit erfolgte mit dem BonaRes-Zentrum (Ute Wollschläger, UFZ, Hans-Jörg Vogel, UFZ; Katharina Helming, ZALF). Die vom Zentrum organisierten *Scientific Board Meetings* ermöglichten einen regelmäßigen Austausch zwischen den BonaRes Konsortien. In Zusammenarbeit mit dem Zentrum und den Koordinator*innen der einzelnen Konsortien wurden im Rahmen des BonaRes-Statusseminars spezielle Workshops wie zum z.B. „Soil Biomes – from Structure to Function“ und „Soil data: requires maps and scenarios“ organisiert. Mitarbeiter*innen von DiControl nahmen an den vom BonaRes-Zentrum organisierten Konferenzen teil und unterstützten diese aktiv durch die Präsentation von verschiedenen Beiträgen sowie die Moderation von Workshops. Organisiert durch das BonaRes-Zentrum hat das Konsortium an der Erarbeitung eines White-papers (verantwortlich Katharina Helming) mitgearbeitet und unterstützte die Organisation von speziellen Sessionen auf der jährlich stattfindenden *European Geosciences Union General Assembly* (EGU) in Wien. Bezüglich des Aufbaus der Datenbank und der Handhabung der Daten besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem ZALF Müncheberg (Wilfried Hierold, Meike Grosse, Nikolai Svoboda, Marcus Schmidt).

II. Eingehende Darstellung

II.1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Der zahlenmäßige Verwendungsnachweis mit Angabe der wichtigsten Positionen wurde vom JKI am 27.06.2022 an den Zuwendungsgeber (ZG) PtJ einschließlich der dazugehörigen Belege übermittelt. Im Erfolgskontrollbericht erfolgte die Gegenüberstellung der erreichten Ergebnisse mit den vorgegebenen Zielen des Projektes entsprechend der Arbeitspaketplanung. Der Partner JKI (Teilprojekt C, Förderkennzeichen 031B0514C) war an der Untersuchung der Arbeitspakete AP2, AP3 und AP4 des Verbundvorhabens DiControl beteiligt. Im Speziellen sollten folgende Analysen durch den Partner durchgeführt werden:

- Charakterisierung der Struktur und Zusammensetzung der Bakterien-/Archaeen-Gemeinschaft im von der Wurzel beeinflussten Boden und in der Rhizosphäre der Fruchtfolgekulturen mittels Sequenzierung von 16S rRNA Genen amplifiziert aus Gesamt-DNA;
- Auswahl und Bewertung von bakteriellen Taxa als landwirtschaftlich relevante Indikatoren;
- Bestimmung der relativen Abundanz bakterieller Taxa mit potentiell antagonistischer Aktivität, pflanzennützlichen Eigenschaften sowie deren funktioneller Gene.

Die in den Abschnitten des Erfolgskontrollberichtes dargestellten Ergebnisse dokumentieren das vollständige Erbringen der Leistung gemäß der Aufgabenstellung.

II.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Der zahlenmäßige Nachweis über die Verwendung der Zuwendungen mit Angabe der wichtigsten Positionen sowie die dazugehörigen Belege wurden durch den ZE JKI am 27.06.2022 an den ZG PtJ übermittelt.

II.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleistete Arbeit am JKI wurde im Erfolgskontrollbericht dargestellt. Die im Rahmen des Projektes vorgesehenen und durchgeführten Arbeiten waren aufgrund der komplexen und anspruchsvollen Aufgabenstellung des holistischen Forschungsansatzes zur Erreichung der Ziele in ihrem Umfang notwendig.

II.4. Voraussichtlicher Nutzen der Ergebnisse

Die Ergebnisse dieses Projektes werden sowohl in wissenschaftlich begutachteten internationalen Fachjournalen als auch in nationalen Fachzeitschriften veröffentlicht. Über öffentlich zugängliche Datenbanken (z.B. NCBI-SRA für mikrobielle Amplikonsequenzdaten) sowie die des BonaRes-Datenzentrums (Modul B) werden die Daten der Öffentlichkeit zur

Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden die Ergebnisse in Vorträgen und Postern auf verschiedenen nationalen (z.B. Arbeitskreis Biologischer Pflanzenschutz; Deutsche Pflanzenschutztagung) und internationalen (z.B. *Rhizosphere 5*; *Annual workshop of Biological Plant Protection*; 13th Dahlia Greidinger Konferenz; EGU- *General Assembly*) wissenschaftlichen Tagungen vorgestellt. Ergebnisse des Projektes wurden auch einem Fachpublikum auf der IPM „Internationale Pflanzenmesse“ in Essen, den Mitgliedern der „*International Biocontrol Manufacturers Association (IBMA)*“, der Arbeitsgruppe Pflanzenschutz des Deutschen Mais-Komitees sowie Teilnehmern des IVA Symposium „Biostimulanzien – Möglichkeiten und Grenzen“ präsentiert.

Das Vorhaben DiControl leistet somit einen Beitrag zum besseren Verständnis landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die mikrobielle Gemeinschaft im Boden und der Rhizosphäre, woraus in der Folge nach Aufklärung der Bedeutung mikrobieller Funktionen in der Rhizosphäre für Pflanzengesundheit und –produktivität Handlungsoptionen zur nachhaltigen Bodennutzung abgeleitet werden können. Langfristig können so die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten von landwirtschaftlich/gartenbaulich produzierenden Betrieben gesichert werden.

Die zu empfehlenden Handlungsoptionen haben das Ziel, mikrobielle Taxa mit positiven Effekten auf Bodenfunktionen und Pflanzengesundheit/-produktivität zu fördern. Dazu gehört die Entwicklung von neuen Substraten mit positiven Wirkungen auf bakterielle und pilzliche Taxa. Zu empfehlende Handlungsoptionen sind nachfolgend in Zusammenarbeit mit Praxisbetrieben zu prüfen und zu bewerten. Die positiven Ergebnisse der reduzierten N-Düngung oder reduzierten Bodenbearbeitung auf die Pflanzengesundheit weisen darauf hin, dass der Ressourceneinsatz (z.B. von Dünger und Pflanzenschutzmitteln) in der Praxis reduziert werden kann und damit ökologische Aspekte berührt werden.

II.5. Während des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Während der Durchführung des Vorhabens haben verschiedene andere Forschungsinstitute unter Benutzung von Böden aus Langzeitexperimenten Einflüsse der landwirtschaftlichen Bearbeitung auf die Bodenmikrobiota beschrieben (z.B. de Vries et al., 2015, Hartmann et al., 2015, Francioli et al., 2016, Degrunen et al., 2017, Lori et al., 2017, Schmid et al., 2017). Diese Studien konzentrieren sich meist auf einen Standort und die Ergebnisse sind sowohl vom vorherrschenden pedoklimatischen Kontext als auch der standort-spezifischen Bearbeitungsstrategie beeinflusst. Aufgrund der Vielfältigkeit von landwirtschaftlichen Bearbeitungsformen besteht daher bezüglich des Einflusses landwirtschaftlicher Praxis auf die Boden-Mikrobiota und die davon entsprechend beeinflusste Rhizosphären-Mikrobiota und deren Auswirkungen auf die Pflanzengesundheit weiterhin Forschungsbedarf. Des Weiteren liegen wenige Kenntnisse zum Einfluss von landwirtschaftlichen Anbaumaßnahmen auf die Wirkung von mikrobiellen Inokula vor. Zu den zuletzt genannten Aspekten sind uns, basierend auf neuesten Recherchen, von dritter Seite keine FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für das Vorhaben relevant sind. Im Rahmen des Projektes wurden auch erstmals Wurzelexsudatprofile im Feld erhoben und analysiert.

II.6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Die Publikationen des Projektes werden auf der Projekt-Website (<http://dicontrol.igzev.de/de/>) zur Verfügung gestellt.

Erfolgte Veröffentlichungen:

- Fernandez-Gnecco G, Covacevich F, Consolo VF, Behr JH, Sommermann L, Moradtalab N, Maccario L, Sørensen SJ, Deubel A, Schellenberg I, Geistlinger J, Neumann G, Grosch R, Smalla K, Babin D. 2022. Effect of long-term agricultural management on the soil microbiota influenced by the time of soil sampling. *Frontiers in Soil Science* 2, 837508. doi: 10.3389/fsoil.2022.837508.
- Graefe J, Grosch R, Bitterlich M. 2022. The boundary layer conductance of inclined elliptical leaves under free convection. *Agricultural and Forest Meteorology* 317, 108884. doi: 10.1016/j.agrformet.2022.108884.
- Babin D, Sommermann L, Chowdhury SP, Behr JH, Sandmann M, Neumann G, Nesme J, Sørensen SJ, Schellenberg I, Rothballer M, Geistlinger J, Smalla K, Grosch R. 2021. Distinct rhizomicrobiota assemblages and plant performance in lettuce grown in soils with different agricultural management histories. *FEMS Microbiology Ecology*, doi: 10.1093/femsec/fiab027.
- Babin D, Leoni C, Neal AL, Sessitsch A, Smalla K. 2021 Editorial to the Thematic Topic "Towards a more sustainable agriculture through managing soil microbiomes". *FEMS Microbiology Ecology* 97(8), fiab094
- Geistlinger J, Grosch R. 2021. Bodenorganismen und Pflanzengesundheit. <https://www.expedition-erdreich.de/de/bodenorganismen-und-pflanzengesundheit-1789.html>.
- Neumann G, Behr JH, Sommermann L, Babin D, Moradtalab N, Windisch S, Geistlinger J, Grosch R. 2021. Bioeffektoren fördern Wachstum. *Landwirtschaft ohne Pflug* 11, 26-30.
- Windisch S, Walter A, Moradtalab N, Walker F, Höglinger B, El-Hasan A, Ludewig U, Neumann G, Grosch R. 2021. Role of benzoic acid and lettuценin A in the defense response of lettuce against soil-borne pathogens. *Plants* 10: 2336. <https://doi.org/10.3390/plants10112336>.
- Windisch S, Sommermann L, Babin D, Chowdhury P S, Grosch R, Moradtalab N, Walker F, Höglinger B, El-Hasan A, Armbruster W, Nesme J, Sørensen SJ, Schellenberger I, Geistlinger J, Smalla K, Rothballer M, Ludewig U, Neumann G. 2021. Impact of long-term organic and mineral fertilization on rhizosphere metabolites, root-microbial interactions and plant health of lettuce. *Frontiers in Microbiology* 11, 597745. doi: 10.3389/fmicb.2020.597745.
- Moradtalab N, Ahmed A, Geistlinger J, Walker F, Höglinger B, Ludewig U, Neumann G. 2020. Synergisms of microbial consortia, N Forms, and micronutrients alleviate oxidative damage and stimulate hormonal cold stress adaptations in maize. *Frontiers in Plant Science* 11, 396. doi: 10.3389/fpls.2020.00396
- Techen A-K, Helming K, Brüggemann N, Veldkamp E, Reinhold-Hurek B, Lorenz M, Bartke S, Heinrich U, Amelung W, Augustin K, Boy J, Corre M, Duttman R, Gebbers R, Gentsch N, Grosch R, Guggenberger G, Kern J, Kiese R, Kuhwald M, Leinweber P, Schloter M, Wiesmeier M, Winkelmann T, Vogel H-J. 2020. Soil research challenges in response to emerging agricultural soil management. *Advances in Agronomy* 161, 179-240, doi: 10.1016/bs.agron.2020.01.002.
- Babin D, Deubel A, Jacquiod SJ, Sørensen S, Geistlinger J, Grosch R, Smalla K. 2019. Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil Biology and Biochemistry* 129, 17-28.
- Chowdhury SP, Babin D, Sandmann M, Jacquiod S, Sommermann L, Sørensen SJ, Fliesbach A, Mäder P, Geistlinger J, Smalla K, Rothballer M, Grosch R. 2019. Effect of long-term organic and mineral fertilization strategies on rhizosphere microbiota assemblage and performance of lettuce. *Environmental Microbiology* 10, 21(7), 2426-2439, doi: 10.1111/1462-2920.14631.
- Nelkner J, Tejerizo GT, Hassa J, Lin TW, Witte J, Verwaaijen B, Winkler A, Bunk B, Spröer C, Overmann J, Grosch R, Pühler A, Schlüter A. 2019. Genetic potential of the biocontrol agent *Pseudomonas brassicacearum*

- (formerly *P. trivialis*) 3Re2-7 unraveled by genome mining, comparative genomics and transcriptomics. *Genes* 10, 601, doi: 10.3390/genes10080601.
- Nelkner J, Henke C, Lin TW, Pätzold W, Hassa J, Jaenicke S, Grosch R, Pühler A, Sczyrba A, Schlüter A. 2019. Effect of long-term farming practices on agricultural soil micro-biome members represented by metagenomically assembled genomes (MAGs) and their predicted plant-beneficial genes. *Genes* 10, 424, doi: 10.3390/genes10060424.
- Neumann G, Behr JH, Sommermann L, Babin D, Moradtalab N, Windisch S, Geistlinger J, Grosch R. 2022: Das zeichnet gesunden Boden aus - Erfahrungen aus dem Langzeitforschungsprojekt DiControl. *BWagrar* 27, 20-21
- Neumann G, Behr JH, Sommermann L, Babin D, Moradtalab N, Windisch S, Geistlinger J, Grosch R. 2022. Mikroorganismen für fitten Mais. *BWagrar* 29; 20-21.
- Sandmann M, Grosch R, Graefe J. 2018. Early detection of *Rhizoctonia solani* infections of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* var. *capitata*) using various features from fluorescence, thermography and NDVI imaging. *Plant Disease* 102, 1101-1107, doi: 10.1094/PDIS-10-17-1536-RE.
- Schlüter S, Grossmann C, Diel J, Wu G-M, Tischler S, Deubel A, Rücknagel J. 2018. Long-term effects of conventional and conservation tillage on soil structure and hydraulic properties. *Geoderma* 332, 10-19.
- Sommermann L, Geistlinger J, Wibberg D, Deubel A, Zwanzig J, Babin D, Schlüter A, Schellenberg I. 2018. Fungal community profiles in agricultural soils of a long-term field trial under different tillage, fertilization and crop rotation conditions analyzed by high-throughput ITS-amplicon sequencing. *PLOS One* 13(4), e0195345, doi: 10.1371/journal.pone.0195345.
- Windisch S, Bott S, Ohler MA, Mock H-P, Lippmann R, Grosch R, Smalla K, Neumann G. 2017. *Rhizoctonia solani* and bacterial inoculants stimulate root exudation of antifungal compounds in lettuce in a soil-type specific manner. *Agronomy* 7, 44, doi: 10.3390/agronomy7020044.

Assoziierte Veröffentlichungen:

- Hafiz FB, Moradtalab N, Goertz S, Rietz S, Dietel K, Humbeck K, Geistlinger J, Neumann G, Schellenberg I. 2022. Synergistic effects of root-endophytic *Trichoderma* fungus and *Bacillus* on early root colonization and defense activation against *Verticillium longisporum* in rapeseed. *Molecular Plant Microbe Interactions* 35(5), 380-392, doi: 10.1094/MPMI-11-21-0274-R.
- Kuhl-Nagel T, Rodriguez PA, Gantner I, Chowdhury SP, Schwehn P, rosenkranz M, Weber B, Schnitzler JP, Kublik S, Schloter M, Rothballer M, Falter-Braun P. 2022. Novel *Pseudomonas* sp. SCA7 promotes plant growth in two plant families and induces systemic resistance in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Microbiology* 13, 923515. doi: 10.3389/fmicb.2022.923515.
- Bziuk N, Maccario L, Douchkov D, Lueck S, Babin D, Sørensen S, Schikora A, Smalla K. 2021. Tillage shapes the soil and rhizosphere microbiome of barley - but not its susceptibility towards *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*. *FEMS Microbiology Ecology*, doi: 10.1093/femsec/fiab018.
- Cerchetto V, Smalla K, Nesme J, Garaycochea S, Fresia P, Sørensen S, Babin D, Leoni C. 2021. Reduced tillage, cover crops and organic amendments affect soil microbiota and improve soil health in Uruguayan vegetable farming systems. *FEMS Microbiology Ecology*, doi: 10.1093/femsec/fiab023
- Fernandez-Gnecco G, Smalla K, Maccario L, Sørensen SJ, Barbieri P, Consolo VF, Covacevich F, Babin D. 2021. Microbial community analysis of soils under different soybean cropping regimes in the Argentinean south-eastern Humid Pampas. *FEMS Microbiology Ecology*, doi: 10.1093/femsec/fiab007.
- Gabbarini LA, Figuerola E, Frene JP, Robledo NB, Ibarbalz FM, Babin D, Smalla K, Erijman L, Wall LG. 2021. Impacts of switching tillage to no-tillage and *vice versa* on soil structure, enzyme activities, and prokaryotic community profiles in Argentinean semi-arid soils, *FEMS Microbiology Ecology*, doi: 10.1093/femsec/fiab025.
- Rodriguez PA, Rothballer M, Chowdhury SP, Nussbaumer T, Gutjahr C, Falter-Braun P. 2019. Systems biology of plant-microbiome interactions. *Molecular Plant* 12: 804-821, doi: 10.1016/j.molp.2019.05.006.

Verwaaijen B, Wibberg D, Winkler A, Zrenner R, Bednarz H, Niehaus K, Grosch R, Pühler A, Schlüter A. 2019. A comprehensive analysis of the *Lactuca sativa*, L. transcriptome during different stages of the compatible interaction with *Rhizoctonia solani*. Scientific reports 9, 7221, doi: 10.1038/s41598-019-43706-5.

III Kurzfassung

Mikroorganismen sind in nahezu alle Bodenfunktionen involviert und finden derzeit wenig Berücksichtigung in der landwirtschaftlichen Praxis. Ein Grund dafür sind fehlende Kenntnisse zum Einfluss von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die mikrobielle Gemeinschaft im Boden und deren Auswirkungen auf die Pflanze. Ein besseres Verständnis des Einflusses von pflanzenbaulichen Maßnahmen auf das Boden- und Rhizosphären-Mikrobiom ist jedoch Voraussetzung für die Entwicklung von nachhaltig wirkenden Anbaustrategien. Ziel des Projektes ist daher, in einer vergleichenden Analyse den Einfluss von langfristigen pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Struktur der Mikrobiota des Bodens und der assoziierten Rhizosphäre unter gleichzeitiger Berücksichtigung von Charakteristika der Pflanze (Gesundheit, Wachstum) unter Feldbedingungen zu untersuchen. Charakteristika der Pflanze schließt die Analyse von Wurzelexsudations-Profilen, die stimulierende wie auch hemmende Effekte auf die Rhizosphären-Mikrobiota und auf Pathogene ausüben können, mit ein. Die Beurteilung der Pflanzengesundheit erfolgte anhand des Expressionsniveau von Genen assoziiert mit (a)biotischem Stress sowie physiologischen Stressindikatoren. Die Charakterisierung der mikrobiellen Gemeinschaften konzentriert sich sowohl auf die von Bakterien, Archaeen sowie Pilzen und pilzähnlichen Formen. Zur Bestimmung der strukturellen und funktionellen Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaften werden neueste molekulare Techniken eingesetzt [NGS-Metabarcoding, quantitativer real-time PCR (qPCR) für ausgewählte Funktionen, Metagenomsequenzierung]. Es erfolgt eine Analyse der Mikrobiota im von der Wurzel beeinflussten Boden und in der Rhizosphäre verschiedener Feldkulturen (Mais, Raps, Winterweizen) in Abhängigkeit von langfristig durchgeführten Anbaumaßnahmen unter Feldbedingungen. Hierbei wurde auch der Einfluss der Vorfrucht (Mais, Raps) auf die Mikrobiota in der Rhizosphäre der nachfolgenden Feldkultur Winterweizen berücksichtigt. Des Weiteren wurde der Einfluss von langfristigen pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Wirkung von nützlichen Mikroorganismen (BM) auf die Pflanze einschließlich der Rhizosphären- und Boden-Mikrobiota (z.B. taxonomische Veränderungen in den mikrobiellen Gemeinschaften) untersucht. Ziel ist die Anwendung von BM für einen nachhaltigen Pflanzenbau zu optimieren.

IV Literaturverzeichnis

- Allan E, Manning P, Alt F, et al. 2015. Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition. *Ecology Letters* 18, 834-843.
- Babin D, Sørensen S, Deubel A, Grosch R, Smalla K. 2019. Impact of long-term agricultural management practices on soil prokaryotic communities. *Soil Biology & Biochemistry* 129, 17-28.
- Babin D, Sommermann L, Chowdhury SP, Behr JH, Sandmann M, Neumann G, Nesme J, Sørensen SJ, Schellenberg I, Rothballer M, Geistlinger J, Smalla K, Grosch R. 2021. Distinct rhizomicrobiota assemblages and plant performance in lettuce grown in soils with different agricultural management histories. *FEMS Microbiology Ecology*, doi: 10.1093/femsec/fiab027.
- Bender SF, Wagg C, van der Heijden MAG. 2016. An underground revolution: Biodiversity and soil ecological engineering for agricultural sustainability. *Trends in Ecology & Evolution* 31(6), 440-452.
- Berg G, Grube M, Schlöter M, Smalla K. 2014. The plant microbiome and its importance for plant and human health. *Frontiers in Microbiology* 5, 491.
- Birkhofer K, Bezemer TM, Bloem J, Bonkowski M, Christensen S, Dubois D, Ekelund, Fließbach A, Gunst L, Hedlund K, Mäder P, Mikola J, Robin C, Setälä H, Tatin-Froux F, Van der Putten W, Scheu S (2008) Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology & Biochemistry* 40, 2297-2308.
- Degrune F, Theodorakopoulos N, Colinet G, Hiel M-P, Bodson B, Taminiau B, Daube G, Vandenbol M, Hartmann M. 2017. Temporal dynamics of soil microbial communities below the seedbed under two contrasting tillage regimes. *Frontiers in Microbiology* 9, 1127. doi: 10.3389/fmicb.2017.01127.
- de Vries M, Schöler A, Ertl J, Xu ZF, Schlöter M (2015) Metagenomic analyses reveal no differences in genes involved in cellulose degradation under different tillage treatments. *FEMS Microbiology Ecology* 91 <https://doi.org/10.1093/femsec/fiv069>.
- Ding G-C, Piceno YM, Heuer H, Weinert N, Dohrmann AB, et al. 2013. Changes of Soil Bacterial Diversity as a Consequence of Agricultural Land Use in a Semi-Arid Ecosystem. *PLoS ONE* 8(3), e59497.
- Francioli D, Schulz E, Lentendu G, Wubet T, Buscot F, Reitz T. 2016. Mineral vs. organic amendments: microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long-term fertilization strategies. *Frontiers in Microbiology* 7, doi: 10.3389/fmicb.2016.01446.
- Hartmann M, Frey B, Mayer J, Mäder P, Widmer F. 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *ISME Journal* 9, 1177–1194. doi: 10.1038/ismej.2014.210
- Hol WHG, de Boer W, de Hollander M, Kuramae EE, Meisner A, van der Putten WH. 2015. Context dependency and saturating effects of loss of rare soil microbes on plant productivity. *Frontiers in Plant Science* 6, 485, doi: 10.3389/fpls.2015.00485.
- Lapsansky ER, Milroy AM, Andales MJ, Vivanco JM. 2016. Soil memory as a potential mechanism for encouraging sustainable plant health and productivity. *Current Opinion Biotechnology* 38, 137-42.
- Löbmann MT, Vetukuri RR, de Zinger L, Alsanus BW. 2016. The occurrence of pathogen suppressive soils in Sweden in relation to soil biota, soil properties, and farming practice. *Applied Soil Ecology* 107, 57-65.
- Lori M, Symnaccik S, Mäder P, De Deyn G, Gattinger A. 2017. Organic farming enhances soil microbial abundance and activity—A meta-analysis and meta-regression. *PLoS ONE* 12(7), e0180442. doi: 10.1371/journal.pone.0180442.
- Mazzola M, Freilich S. 2017. Prospects for biological soilborne disease control: Application of indigenous versus synthetic microbiomes. *Phytopathology* 107, 256-263.
- Mäder P, Fließbach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Niggli U (2002) Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* 296, 1694-1697.
- Nielsen NU, Ayres E, Wall DH, Bardgett RD. 2011. Soil biodiversity and carbon cycling: a review and synthesis of studies examining diversity-function relationships. *European Journal of Soil Science* 62: 105-116.
- Philippot L, Spor A, Hénault C, Bru D, Bizouard F, Jones CM, Sarr A, Maron PA. 2013. Loss in microbial diversity affects nitrogen cycling in soil. *ISME Journal* 7, 1609-1619.
- Raaijmakers JM, Mazzola M. 2016. Soil immune responses. *Science* 352, 1392-1393.
- Sarama B.K., Yadav S.K., Singh S., Singh H.B. 2015. Microbial consortium-mediated plant defense against phytopathogens: readdressing for enhancing efficacy. *Soil Biol Biochem* 87, 25-33.
- Schmid CAO, Schröder P, Armbruster M, Schlöter M. 2017. Organic Amendments in a Long-term Field Trial—Consequences for the Bulk Soil Bacterial Community as Revealed by Network Analysis. *Microbial Ecology* 29: 1-4.

- Sommermann L, Geistlinger J, Wibberg D, Deubel A, Zwanzig J, Babin D, Schlüter A, Schellenberg I. 2018. Fungal community profiles in agricultural soils of a long-term field trial under different tillage, fertilization and crop rotation conditions analyzed by high-throughput ITS-amplicon sequencing. *PLOS One* 13(4), e0195345, doi: 10.1371/journal.pone.0195345.
- Tuck SL, Winqvist C, Mota F, Ahnström J, Turnbull LA, Bengtsson J. 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of Applied Ecology* 51, 746-755.
- van Elsas JD, Chiruzzi M, Mallon CA, Elhottova D, Krištůfek V, Salles JF. 2012. Microbial diversity determines the invasion of soil by a bacterial pathogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109, 1159-1164.
- Wagg C, Bender SF, Widmer F, van der Heijden MGA. 2014. Soil biodiversity and soil community composition determine ecosystem multifunctionality. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111, 5266-5270.
- Widder S, Allen RJ, Pfeiffer T et al. 2016. Challenges in microbial ecology: building predictive understanding of community function and dynamics. *ISME Journal* 10, 2557-2568.