

DAS BODENBIOM

Die Verbindung zwischen Boden und Pflanzen

Der Boden ist unsere wichtigste Grundlage für den Anbau von Nutzpflanzen. Von dort nehmen die Pflanzenwurzeln Wasser und mineralische Nährstoffe auf. Die Wurzeln tragen gleichzeitig zur Lockerung und Belüftung des Bodens sowie zum Humusaufbau bei. Die Forschung hat neue Erkenntnisse zur schützenden Wirkung und Erschließung von Bodennährstoffen durch aus dem Boden stammende, Pflanzen-assoziierte mikrobielle Lebensgemeinschaften gewonnen. Dieses Wissen soll nun auf Kulturpflanzen übertragen werden. Es gilt, mögliche Ansatzpunkte in der Pflanzenzüchtung zu identifizieren, um ertragsstabilere, effizientere Nutzpflanzen zu entwickeln, die von den Wechselwirkungen mit diesen mikrobiellen Lebensgemeinschaften profitieren. Die Umsetzung dieser Forschungsergebnisse in die praktische Pflanzenzüchtung erfordert eine kontinuierliche, langfristig angelegte Forschungsförderung.

Das Bodenbiom und die Bedeutung von Pflanzen als Treiber unterirdischer Nahrungsnetzwerke

Als Bodenbiom wird die Summe aller im Erdboden lebenden Mikroorganismen bezeichnet. Zusammen mit höheren Organismen bilden diese die heterotrophe Biozönose eines unterirdischen Ökosystems mit differenzierten Nahrungsnetzen. Blütenpflanzen mit ihren Wurzelsystemen bilden die maßgebliche Schnittstelle oberirdischer Ökosysteme mit dem Bodenbiom. Fotoautotrophes Wachstum der Pflanzen, d. h. deren Fähigkeit, durch Fotosynthese atmosphärisches CO₂ in organischen Kohlenstoff umzuwandeln, sorgt mit dessen aktiver Ausscheidung über die Wurzeln für die Versorgung des Bodens. Dieser wird über die Wurzel aktiv ausgeschieden. Daher haben höhere Pflanzen mit Wurzelsystem eine herausragende Bedeutung für einen Boden mit Artenvielfalt und stabilen Nahrungsnetzen.

Wegbereiter quantitativer Bodenbiom- und Pflanzenmikrobiota-Forschung: Neue DNA-Sequenziermethoden und Informatik

Die Entwicklung molekularbiologischer Methoden ermöglichte die kultivierungsunabhängige Vermessung mikrobieller Lebensgemeinschaften im Boden und in Assoziation mit Pflanzen. Dies führte zu einem Quantensprung in der Erforschung des Bodenbioms und der mit Pflanzen assoziierten mikrobiellen Lebensgemeinschaften (Pflanzenmikrobiota). Diese Methoden beruhen auf der PCR-Amplifikation von mikrobiellen

Marker-Genen in Boden- bzw. Pflanzenproben, einer anschließenden Hochdurchsatz-DNA-Sequenzierung der PCR-Produkte und deren bioinformatischer Auswertung. Erfasst werden dabei die mikrobielle Artenvielfalt sowie die relative Häufigkeit der einzelnen Arten.

Auf Basis dieser Erkenntnisse konnte die Grundlage für die systematische Kultivierung der Mehrzahl aller mit Pflanzen assoziierten taxonomischen Gruppen von Bakterien und Pilzen (Stammsammlungen der Pflanzenmikrobiota) geschaffen werden. Schließlich gelang die Rekonstitution der Pflanzenmikrobiota im Labor mittels keimfreier Pflanzensysteme und deren Ko-Kultivierung mit definierten (synthetischen) mikrobiellen



Gemeinschaft zur Förderung
von Pflanzeninnovation e. V. (GFPi)

GFPi
Lebensbasis Pflanze

Pflanzenmikrobiota

Gesamtheit der Mikroben, die eine Pflanze beherbergt

Wurzelmikrobiota

An den Wurzeln interagieren Pflanze und Mikrobiota bei der Regulation des Nährstoffgleichgewichts der Pflanze.

Bodenbiom

Summe aller im Erdboden lebenden Mikroorganismen



Lebensgemeinschaften aus den Stammsammlungen. Darauf aufbauend können heute im Labor klare Aussagen zu den komplexen physiologischen Aufgaben der mikrobiellen Lebensgemeinschaften für die Wirtspflanze getroffen werden.

Warum das Bodenbiom und die Pflanzenmikrobiota untrennbar miteinander verknüpft sind

Natürlicher Boden zählt zu den Kompartimenten unseres Planeten mit der höchsten mikrobiellen Artenvielfalt und Zelldichte. Nahezu alle Organismen der Pflanzenmikrobiota stammen aus dem Bodenbiom und werden in der Pflanze angereichert. Die Spezies der Pflanzenmikrobiota machen jedoch nur einen Bruchteil aller im Boden vorkommenden Bakterien- und Pilzarten aus. Die Genese der Pflanzenmikrobiota beginnt mit der Keimung des Samens im Boden und verläuft rasch. Bereits nach etwa 10 Tagen kann eine ausdifferenzierte mikrobielle Lebensgemeinschaft in der Wurzel vorgefunden werden. Jeder Bodentyp hat sein

charakteristisches Bodenbiom, das circa 25 Prozent der Variabilität der Pflanzenmikrobiota erklärt. Die bakterielle ‚Kernmikrobiota‘ ist ein wichtiges Konzept der Mikrobiotaforschung und beschreibt geografisch weit verbreitete mikrobielle Taxa einer Pflanzenart.

Physiologische Funktionen der Pflanzenmikrobiota

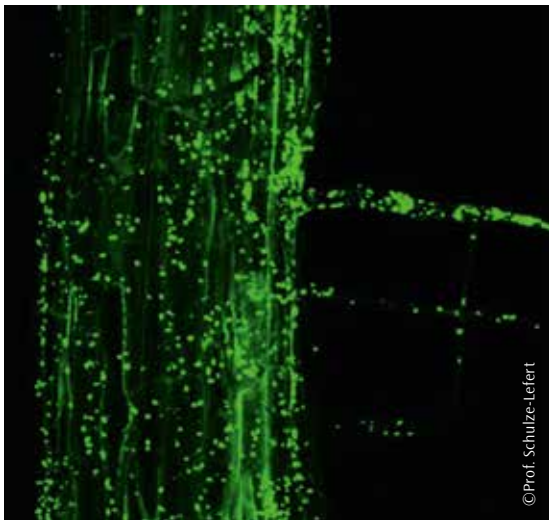
Im Wesentlichen lassen sich drei Funktionen der Pflanzenmikrobiota für die Wirtspflanze unterscheiden: indirekter *Pathogenschutz*, mineralische *Nährstoffmobilisierung* aus dem Boden und abiotische *Stresstoleranz*. Diese werden nachfolgend kurz beschrieben.

Indirekter Pathogenschutz

Ein indirekter Schutz der Wirtspflanze gegenüber bodenbürtigen Schadpilzen durch die bakterielle Wurzelmikrobiota ist mittlerweile experimentell lückenlos belegt. Ohne bakterielle Pflanzenmikrobiota kann eine in natürlichem Bodensubstrat wachsende Pflanze nicht überleben. Neuere Studien zeigen,



Jeder Bodentyp hat sein charakteristisches Bodenbiom, das **~25%** der Variabilität der Pflanzenmikrobiota erklärt.



Besiedelung der Wurzeloberfläche mit Bodenbakterien

dass bestimmte Kombinationen von wenigen bodenbürtigen Bakterienarten durch Besiedelung der Wurzel von genetisch anfälligen Kulturpflanzen (z. B. Zuckerrübe und Reis) im Feld eine robuste indirekte Resistenz der Wirtspflanze vermitteln können. Die Existenz von solchen „disease suppressive soils“ auf allen Kontinenten gegenüber allen geprüften bodenbürtigen Krankheitserregern von Pflanzen ist Beleg dafür, dass ein vorbeugender Pflanzenschutz durch die Wurzelmikrobiota im Feld praxistauglich werden kann. Dazu müssten die beteiligten Mikroben isoliert und gezielt auf die Pflanze bzw. deren Saatgut aufgebracht werden und das neue Habitat mittel- bis langfristig besiedeln. Es bestehen daher gute Aussichten, dass sich der auf diesen Erkenntnissen beruhende Pflanzenschutz, besonders gegenüber bodenbürtigen Pflanzenpathogenen, als eine wirksame und zunehmend wichtige Alternative zum chemischen Pflanzenschutz in der Landwirtschaft entwickeln wird.

Mineralische Nährstoffmobilisierung aus dem Boden

Die mineralische Nährstoffmobilisierung durch bakterielle Wurzelmikrobiota für das Wachstum der Wirtspflanze ist bisher lückenlos am Beispiel der Eisenmobilisierung in alkalischen Böden dokumentiert. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass dieser Funktionsbeitrag der Mikroben für die Pflanzenernährung auch auf das für Pflanzenwachstum essenzielle Makronährelement Phosphor zutrifft. Dieses Element hat für das Wachstum von Nutzpflanzen des-

3

FUNKTIONEN DER PFLANZENMIKROBIOTA

- Indirekter Pathogenschutz
- Mineralische Nährstoffmobilisierung aus dem Boden
- Abiotische Stresstoleranz

wegen eine so große Bedeutung, weil Rohphosphat in Form von Mineraldünger eine endliche globale Ressource darstellt. Zukünftig können Wurzel-assoziierte Bakterien und Pilze der Pflanzenmikrobiota, die sowohl im Boden reichlich vorkommendes aber unlösliches Hydroxyapatit oder $\text{Ca}^{2+}\text{PO}_4^{3-}$ als auch das in Hülsenfrüchten und Getreiden vorkommende Phytat (Hexa-Phospho-Inosit) in pflanzenverfügbares Phosphat umwandeln können, eine Ergänzung für die mineralische Phosphat-Nährstoffversorgung von Nutzpflanzen darstellen. Langfristig kann im Boden eine ausgeglichene Phosphat-Bilanz jedoch nur über eine auf den Entzug abgestimmte Düngung mit Phosphat sichergestellt werden.

Abiotische Stresstoleranz

Obwohl abiotische Stresstoleranz ein zunehmend wichtiges Merkmal für die Pflanzenzüchtung ist, gibt es derzeit nur erste Indizien, die auf einen Beitrag der Wurzelmikrobiota zur pflanzlichen Trocken- und Salztoleranz hinweisen. Deren Wirksamkeit im Kontext von mikrobiellen Lebensgemeinschaften der Pflanze bedarf weiterer Forschung.

Die Rolle der Pflanze-Boden-Rückkopplung für die zukünftige Landwirtschaft

Die Anreicherung von bestimmten mikrobiellen Taxa durch die Pflanzenmikrobiota aus dem Bodenbiom führt über Generationen zu einem mikrobiellen Fußabdruck einer Pflanzenart im Boden und zu einer Verschiebung des Bodenbiomprofils. Diese

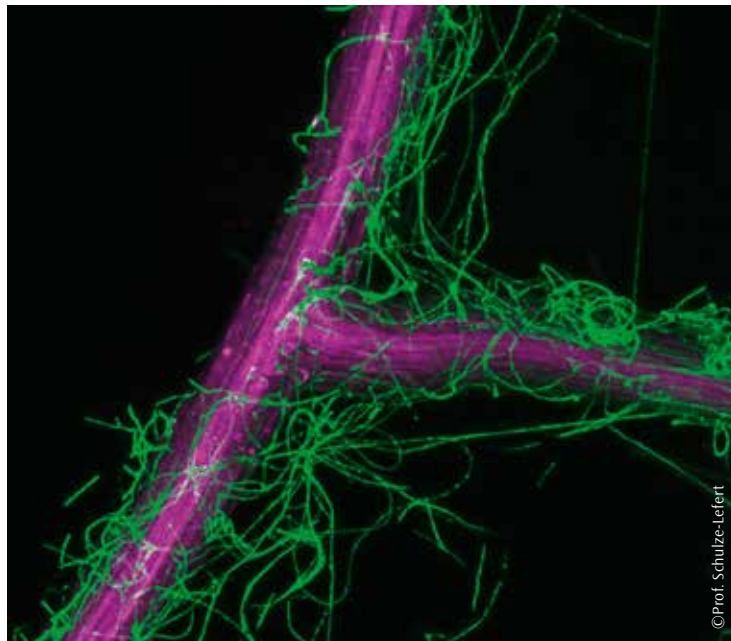


dynamischen Pflanze-Bodenbiom-Rückkopplungsprozesse ermöglichen zukünftig tiefere Einblicke in die Mechanismen der bisher nur empirisch untersuchten Auswirkungen von Zwischenfruchtanbau und Fruchtfolgen auf ‚Bodengesundheit‘ und Ertrag in der landwirtschaftlichen Praxis. Hier besteht ein erheblicher Forschungsbedarf.

Maßgeschneiderte Pflanzenmikrobiota als Zukunftsperspektive?

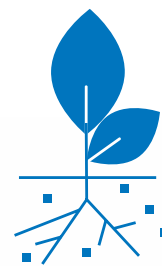
Innerhalb der Wurzelmikrobiota gibt es taxonomisch diverse Bakterien mit ausgeprägter Wirtspräferenz. Die Wirtspräferenz verleiht diesen Wurzelkommensalen Invasivität und Persistenz, d.h. nur diese gewinnen im Wettbewerb mit einer Überzahl von bereits vorhandenen Pflanzen-assoziierten Mikroben. Diese Entdeckung hat Potenzial für die Entwicklung zukünftiger wirtsspezifischer Probiotika, da solche Stämme standortbezogene und jahreszeitliche Wirksamkeitsschwankungen von Probiotika durch Wirksamkeitsstabilität ausgleichen könnten. Hier bietet sich auch eine Chance für die Pflanzenzüchtung. So wird z.B. Resistenz gegenüber einer der ökonomisch bedeutsamsten bodenbürtigen phytopathogenen Bakterienarten, *Ralstonia solanacearum*, in der Kulturtomate sortenspezifisch als quantitatives Merkmal vererbt. Diese sortenspezifische quantitative Resistenz wird von bestimmten Bodentypen mit zugehörigem Bodenbiom vermittelt, die eine Besiedelung der Tomatenwurzel mit protektiven Rhizobakterien ermöglichen und dadurch die Tomatensorte im Feld gegen Befall durch *R. solanacearum* schützen. Dieses Beispiel einer disziplinübergreifenden Zusammenarbeit von Pflanzenzüchtern und Mikrobiologen zeigt zukünftige Möglichkeiten für die Entwicklung maßgeschneiderter Sorten von Kulturpflanzen und zugehörigen Probiotika als Maßnahme für den biologischen Pflanzenschutz auf. Hierfür sind systematische Untersuchungen zur sortenspezifischen Wirksamkeit von Mitgliedern der Pflanzenmikrobiota erforderlich.

Die Wirtspräferenz der Wurzelmikrobiota im Kontext der Funktion von Wurzelkommensalen für die Nährstoffversorgung der Pflanze bietet erstmals seit Justus von Liebig und der Entwicklung des Haber-Bosch-Verfahrens eine Perspektive, die gängige Praxis des mineralischen und organischen Düngereintrags in der Landwirtschaft mithilfe rationaler



Biofertilizer-Mikroben zu reduzieren. Ein Ziel ist es, die Effizienz der Nitrat- und Phosphatverwertung von Nutzpflanzen durch maßgeschneiderte Wurzelmikrobiota zu verbessern. Beispielsweise lässt sich die bessere Verwertung organischen Stickstoffs durch Langkornreis (*Oryza sativa indica*) gegenüber Rundkornreis (*O. s. japonica*) auf eine Wechselwirkung zwischen dem Nitrat-Transporter und -Sensor im Langkornreis und der Anreicherung von ammonifizierenden Wurzelkommensalen erklären. Langfristig gilt jedoch weiterhin, dass eine im Boden ausgeglichene Stickstoff- und Phosphat-Bilanz nur über eine abgestimmte externe Zufuhr und Entnahme dieser Nährstoffe durch Nutzpflanzen gewährleistet werden kann. Zudem kann langfristig auch die genetische Übertragung der Stickstoff-Fixierung durch symbiotische, N_2 -fixierende Rhizobien in Leguminosen auf Nicht-Leguminosen wie Getreidepflanzen gelingen und so der Eintrag von mineralischem Stickstoff im Boden erheblich reduziert werden. Unabdingbar ist zukünftig eine enge Zusammenarbeit von Pflanzenzüchtern und Mikrobiologen, wenn geeignete Sorten von Kulturpflanzen mit wirtsspezifischen Biofertilizer-Mikroben aus der Wurzelmikrobiota für die jeweiligen Nährstoffansprüche einer Kulturpflanzenart entwickelt werden sollen.

Besiedelung einer Wurzel (magenta) mit einem Pilzmycel (grün)



ZIEL

ist es, die Effizienz der Nitrat- und Phosphatverwertung von Nutzpflanzen durch maßgeschneiderte Wurzelmikrobiota zu verbessern.

Notwendige Maßnahmen in Forschung und Entwicklung

Für ein tieferes Verständnis der Wechselwirkungen von Bodenbiom, Standort und Kulturpflanze mit Pflanzenmikrobiota sind weiterführende und umfangreiche Forschungsarbeiten in den Fachbereichen der Pflanzenbiologie, (Boden-)Mikrobiologie, Bodenkunde, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung zwingend notwendig. In gemeinsamen Forschungsansätzen muss an Kulturpflanzen untersucht werden, wie Pflanzenmikrobiota eine resiliente Pflanzenentwicklung unterstützen können.

Analysen der Interaktionen von Genotyp und Umwelt müssen um den Faktor Mikrobiota erweitert werden. Hier sollten die Einflüsse von vorhandenen Pflanzenarten, Standorten und Bodentypen einbezogen werden, um den Nutzen von wirtsspezifischen Mikrobiota beurteilen zu können.

Fragestellungen zur Zusammensetzung der Mikrobiota lassen sich unter Einbeziehung von in Deutschland z. T. seit Jahrzehnten durchgeführten Dauerversuchen zum Einfluss der Düngung bearbeiten. Durch die Analyse von Bodenproben lassen sich sowohl Rückschlüsse auf das dortige Bodenbiom als auch Erkenntnisse über mögliche Einflüsse von Fruchtfolgen gewinnen.

Die Einbindung der Pflanzenzüchtung kann bereits in die Grundlagenforschung (bspw. bei Pflanzenge-

notyp-Mikrobiota-Interaktionen) wertvolle Daten liefern, da auf Züchtungsstandorten in der Regel über sehr lange Zeiträume vielfältige Fruchtfolgen praktiziert und pflanzenbauliche Maßnahmen dokumentiert werden. In gemeinsamen Forschungsansätzen bieten Züchtungsunternehmen mit eigenen betrieblichen Prüfstandorten ideale Voraussetzungen zur Charakterisierung von Pflanzenmikrobiota und Kulturpflanzen-Genotypen.

Eine kontinuierliche Förderung der Forschung und Entwicklung in diesem aussichtsreichen Forschungsbereich ist erforderlich, um signifikante Fortschritte für die praktische Landwirtschaft und den Gartenbau zu erzielen. Eine modulare, auf Vorergebnissen aufbauende Förderung für zunächst 3 + 2 Jahre wird als zielführend erachtet. Diese Projektlaufzeiten sind notwendig für die Analyse von mikrobiellen Gemeinschaften, die Anzucht von Pflanzen und die Kultivierung von Mikroben im Labor-, Gewächshaus- und Feldmaßstab, für die Etablierung neuer Phänotypisierungsmethoden sowie für erste Feldversuche zur Wirtsspezifität von Mikrobiota.

Die Entwicklung einer neuen Pflanzensorte dauert 10 bis 15 Jahre. Forschungsarbeiten im Vorfeld des Züchtungsprozesses werden in einem ähnlichen Zeitrahmen durchgeführt. Diesem langwierigen Forschungs- und Züchtungsprozess Rechnung tragend sollten züchtungsnahe Evaluierungsarbeiten hinsichtlich Untersuchungen zu Interaktionen zwischen Kulturpflan-



zen-Genotypen, Umwelt und Bodenbiom umgehend in Förderprogramme aufgenommen werden.

Fazit

Die Pflanzenmikrobiota vermittelt im Zusammenleben mit ihrem Pflanzenwirt drei wesentliche Nutzenmerkmale: **indirekter Pathogenschutz**, **mineralische Nährstoffmobilisierung** und **abiotische Stresstoleranz**. Der größte Teil der Organismen der Pflanzenmikrobiota stammt aus dem Bodenbiom. Dies bietet erstmals Perspektiven, sowohl die empirische land-

Fokussierung der Förderung auf folgende Wissensbereiche und Forschungsfelder:

- Wechselwirkungen von Bodenbiom, Standort und Kulturpflanze mit Boden- bzw. Pflanzenmikrobiota analysieren
- Interdisziplinäre Forschungsarbeiten in Pflanzenbiologie, (Boden-)Mikrobiologie, Bodenkunde, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung an Kulturpflanzen, um den Einfluss von Pflanzenmikrobiota auf eine resiliente Pflanzenentwicklung zu unterstützen
- Analyse von Pflanzengenotyp-Umwelt-Mikrobiota-Interaktionen zur Beurteilung einer wirtsspezifischen Mikrobiota unter Beteiligung der Pflanzenzüchtung
- Einfluss ackerbaulicher Maßnahmen auf Pflanze-Bodenbiom-Rückkopplungsprozesse mit dem Ziel der Verbesserung von Bodengesundheit und Bodenfruchtbarkeit untersuchen

DIE UMSETZUNG DIESER GRUNDLEGENDEN ERKENNTNISSE IM BEREICH PFLANZENMIKROBIOTA IN DIE PRAKTISCHE ZÜCHTUNG MUSS DURCH KONTINUIERLICHE FORSCHUNGSFÖRDERUNG GESTÄRKT WERDEN.

wirtschaftliche Praxis (bspw. Fruchtfolgen und Zwischenfrüchte) als auch eine über mikrobielle Gemeinschaften gesteuerte Pflanze-Boden-Rückkopplung wissenschaftlich im Themenkomplex Bodengesundheit und Bodenfruchtbarkeit zu analysieren.

Die Kultivierbarkeit der Mehrzahl der Mikrobiota-Spezies und die Wirtspräferenz einiger dieser Organismen ermöglichen zukünftig eine zielgerichtete Anpassung der Zusammensetzung der Pflanzenmikrobiota. In der Folge können die Gesundheit und das Wachstum von Nutzpflanzen durch den Einsatz von Mikroorganismen in der landwirtschaftlichen Praxis verbessert werden. Die züchterisch bearbeiteten Merkmale können durch angepasste Pflanzenmikrobiota verstärkt und deren Stabilität im Feld erhöht werden. Darüber hinaus kann auf diese Weise auch eine Reduktion des chemischen Pflanzenschutzes und des mineralischen Düngereintrags im Boden erreicht werden. Eine langfristig erfolgreiche Umsetzung erfordert neue wissenschaftliche Kooperationen von Pflanzenzüchtern und (Boden-)Mikrobiologen, die sich in entsprechenden langfristigen Förderprogrammen, auch unter Einbeziehung bestehender Prüfsysteme von Pflanzenzüchtern, wiederfinden muss.

Datenschutzhinweis: Die GFPI e. V. nimmt den Datenschutz sehr ernst. Unsere Datenschutzerklärung finden Sie unter <https://www.bdp-online.de/de/GFPI/Datenschutz/>

Die gewählte männliche Form bezieht gleichermaßen weibliche oder diverse Personen mit ein. Auf eine konsequente Doppelbezeichnung wurde aufgrund besserer Lesbarkeit verzichtet.

Gemeinschaft zur Förderung von Pflanzeninnovation e. V. (GFPI)
Kaufmannstraße 71–73 | 53115 Bonn
Tel.: +49 228 98581-40 | Fax: +49 228 98581-19
gfpi@bdp-online.de | www.gfpi.net

