



Franziska HANKO

Zurück zu den Wurzeln – Mikroorganismen in der Landwirtschaft

Wie kann es sein, dass aus einem Häufchen Boden, mit ein wenig Wasser und Sonnenlicht die vielfältigsten Pflanzen sprießen? Der Boden ist unser wichtigstes Schutzgut, er ernährt uns, filtert unser Wasser und puffert Schadstoffe. Dennoch wird ihm viel zu wenig Beachtung geschenkt. Sollte nicht unser Hauptaugenmerk darauf liegen, diese wichtige Ressource soweit es geht in ihrer Funktionsfähigkeit zu erhalten und zu unterstützen?

Die Artenarmut auf den Feldern sowie hohe anthropogene Stoffeinträge haben eine Reduktion der mikrobiellen Biodiversität im Boden zur Folge. Diese ist jedoch gleichzeitig von immenser Bedeutung für die Gesundheit und das Wachstum der Pflanzen. Da Mikroorganismen ähnliche Funktionen wie die von Düngemitteln und Pestiziden aufweisen, könnte gerade deren Förderung dem Artensterben und dem Fruchtbarkeitsverlust von Böden entgegenwirken.

Die moderne Landwirtschaft wird zunehmend mit umweltrelevanten Themen wie abnehmender Bodenfruchtbarkeit, Klimaschwankungen und dem Auftreten neuer unerwünschter Wildkräuter und Schadinsekten konfrontiert. So scheint es, als wären Düngemittel und Pestizideinsätze teilweise unerlässlich. Der starke Rückgang von Insekten mitsamt seinen Ursachen durch das Verschwinden von Nahrungspflanzen und Lebensräumen und die zunehmende Intensivierung agrarisch genutzter

Flächen sind inzwischen anerkannt und wurden auch in landwirtschaftlichen Zeitschriften thematisiert (URL 1). Weniger bekannt sind die Auswirkungen einheitlicher Pflanzenwurzeln in langjährigen Monokulturen, zu denen auch heutige Ansaatgrünländer zählen, und die überhöhten Einträge von Nährstoffen und Pestiziden auf den Boden. Die daraus resultierenden Strukturänderungen ziehen ebenfalls Artensterben mit sich: Nicht nur Insekten und kleine Wirbeltiere, sondern auch

Abbildung 1

Mykorrhiza-Symbiose zwischen Pflanze und Pilz. Sie leben miteinander und ergänzen sich jeweils mit Wasser- und Nährstoffen (Foto: Matrix23/CC BY-SA 3.0 via Wiki Commons).



Abbildung 2

Böden als Ausgangsmaterial unserer Nahrungsgrundlage und gleichzeitiger Lebensraum für Milliarden von Organismen. Ein System, welches mangels Sichtbarkeit schnell vernachlässigt wird, jedoch für die Kultivierung von Pflanzen von essenzieller Bedeutung ist (Foto: walkersalmanac/pixabay).

Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen) werden dezimiert (BAYER 2015). Dadurch verlieren die Systeme neben Stabilität auch ihren natürlichen Schutz gegenüber klimatischen Veränderungen und Schädlingen (BERG 2009).

Neben der Übernutzung fruchtbarer Böden, wird unsere Landschaft mit allgegenwärtiger Versiegelung aufgrund sich ausbreitender Gewerbegebiete und dem Wunsch nach dem eigenen Haus konfrontiert. Dadurch werden wertvolle Böden der Nutzung entzogen, der Druck auf die verbleibenden Flächen erhöht und die Intensivierung gerechtfertigt. Fördermittel und die Nachfrage der Konsumenten können jedoch den Grad der landwirtschaftlichen Nutzung beeinflussen.

Der Einsatz von Mikroorganismen könnte ein Schritt in die richtige Richtung sein, um bei reduziertem Pestizid- und Düngereinsatz die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Böden nachhaltig zu erhalten.

1. Warum mikrobielle Vielfalt?

Mikroorganismen sind für alle biogeochemischen Kreisläufe von essenzieller Bedeutung. Obwohl wir die Kenntnis um ihre komplexe Umwelt in rasanter Geschwindigkeit erweitern, bleiben große Wissenslücken über Strukturen und Funktionen innerhalb der natürlichen Prozesse.

Mikroorganismen im Boden und in der Pflanze sind tragende Bestandteile eines intakten Wurzelraumsystems. Sie unterstützen das Pflanzenwachstum durch Signal- und Botenstoffe, Nährstofftransport, Wurzelvernetzung und die damit einhergehende verbesserte Wasserversorgung. Mikroorganismen fixieren Stickstoff, machen Phosphor verfügbar, produzieren eisenbindende Verbindungen (Siderophore) und Botenstoffe (Phytohormone, die Wachstum und Entwicklung der Pflanzen steuern). Außerdem erfolgt ein erhöhter Schutz vor Fraßfeinden und Parasiten durch die Aktivitäten verschiedenster Enzyme – zum Beispiel Cellulasen, Proteasen, Lipasen (GOPALAKRISHNAN 2015).

Durch die große Vielfalt an Mikroben tolerieren sie eine hohe Bandbreite an abiotischen Stressfaktoren wie extremen Temperaturen, pH-Wertschwankungen und Trockenheit. Dieser Umstand macht die weiterführende Forschung an den Mikroben in der Rhizosphäre beziehungsweise den sogenannten wachstumsfördernden Mikroorganismen (Plant Growth Promoting Microbes/PGPM) unabdinglich. Durch deren Einsatz können vermutlich große Mengen an Düngemitteln und Pestiziden eingespart und gleichzeitig die Artenvielfalt und der Boden langfristig geschützt werden (GOPALAKRISHNAN 2015). Dieses Wissen ist keineswegs neu. So macht man sich schon seit langem die spezifische Interaktion zwischen Knöllchenbakterien (Rhizobien, Rhizobiaceae) und Leguminosen (Fabaceae) im Bereich der Stickstoffanreicherung vor allem durch die Fruchtfolge zu Nutze.

Erst wenn wir beginnen, landwirtschaftlich genutzte Flächen hinsichtlich ihrer Ökologie zu betrachten, können wir von bereits vorhandenen Prozessen lernen und uns diese zunutze machen. Um Ökosystemdienstleistungen langfristig zu sichern, lohnt es sich neben der Biodiversität auch die funktionale Diversität zu schützen. Denn dahinter verbergen sich, unabhängig von der Artidentität, Prozesse und biologische Interaktionen, die durch das landwirtschaftliche Management direkt beeinflusst werden können und sich schließlich wieder auf die Ökosystemdienstleistungen auswirken. Die Vielfalt der Mikroorganismen entscheidet über den Reichtum der Lebensgemeinschaften und damit auch der für uns lebenswichtigen Prozesse im Boden.

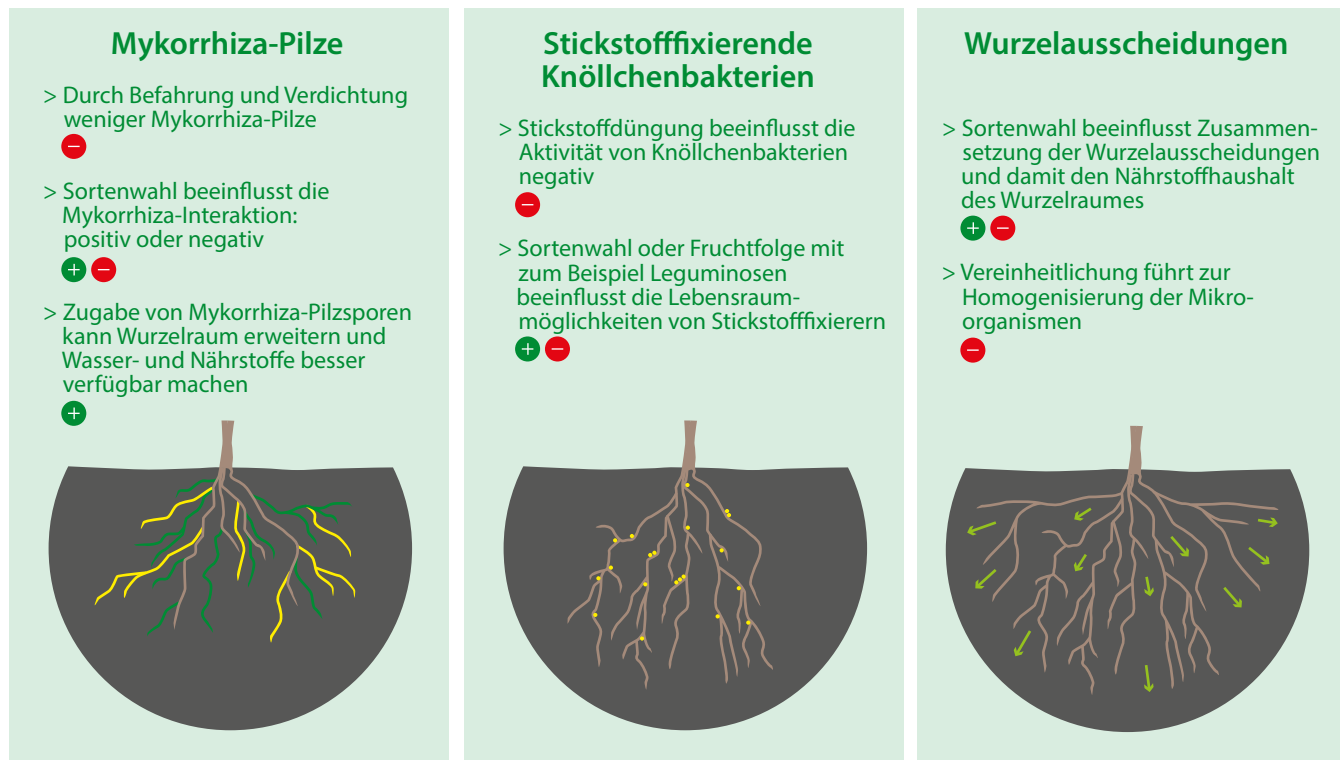


Abbildung 3
Einflussfaktoren der Agrarökologie und den sich ergebenden Ökosystemdienstleistungen.

2. Mikroorganismen für mehr Ertrag

Biodünger erhalten mehr und mehr Aufmerksamkeit innerhalb der biologischen Landwirtschaft und erwecken dadurch auch ökonomische Interessen. Sie enthalten oder bestehen aus lebenden Mikroorganismen, welche auf die Samen oder Blattoberflächen der Kulturpflanzen oder auf den Boden ausgebracht werden. Dadurch können sie den Wurzelraum oder das Pflanzeninnere gezielt kolonisieren und die positive Wirkung der ohnehin in der Natur vorkommenden Interaktionen steigern. Einerseits ist es möglich, die Funktionen künstlich zugeführter Bodennährstoffe zu ersetzen, andererseits werden bereits vorhandene Nährstoffe überhaupt erst verfügbar gemacht, wodurch Wachstum und Ertrag gesteigert werden (MALUSÁ & VASSILEV 2014). Ein biochemischer Kreislauf, bei dem die Nährstoffe weitgehend im System gehalten werden, ist dadurch vermutlich nicht zu ersetzen. Aber solange chemische Düngemittel in der konventionellen Landwirtschaft eingespart werden können, wäre es ein Schritt in die richtige Richtung. Wachstumsfördernde Mikroorganismen (PGPM) werden eingeteilt in Kategorien wie 1) in der Rhizosphäre rund um die Wurzel lebend, 2) die Wurzeloberfläche kolonisierend (Rhizoplane), 3) innerhalb der Wurzelgewebe lebend (Endophyten) und 4) innerhalb der Wurzelzellen lebend (zum Beispiel Knöllchenbakterien bei Leguminosen). All diese Bakterien beeinflussen das Pflanzenwachstum direkt (GOPALAKRISHNAN 2015).

Eine höhere Vielfalt innerhalb der Bodenumwelt beeinflusst die Auswirkungen biotischer und abiotischer Stressfaktoren. Zu den Ersteren zählen pathogene Pilze, Bakterien, Viren und Insekten. Abiotische Beeinträchtigungen umfassen beispielsweise Schwermetallgehalte, Trockenperioden, Nährstoffarmut, hoher Salzgehalt und Extremtemperaturen (VEJAN 2016). Je nach Stabilität und Funktionsfähigkeit der Diversität, lassen sich diese Stressfaktoren mehr oder weniger gut abpuffern, wobei das Pflanzenwachstum indirekt stimuliert wird.

2.1 Wachstumsfördernde Phytohormone

Mikroorganismen produzieren pflanzeigene Hormone, welche als Signalmoleküle beziehungsweise Botenstoffe fungieren und damit sowohl das Wachstum als auch die Entwicklung steuern und koordinieren. Auxine (zum Beispiel Indol-3-Essigsäure durch *Acetobacter* und *Herbaspirillum* zusätzlich produziert) fördern das Längenwachstum von Wurzeln und Sprossachsen. In zu hohen Konzentrationen wirken sie wiederum hemmend und werden dadurch sogar als Herbizide eingesetzt.

Weitere Phytohormone sind Gibberelline (durch *Azospirillum*), welche vor allem für die Blütenbildung und das Internodienwachstum verantwortlich sind. Zeatin ist an der Keimlingsentwicklung beteiligt und dient als pflanzliche Abwehr gegen pathogene Bakterien (SINGH 2013).

2.2 Stickstofffixierung

Die Stickstofffixierung kann biotisch (Mikroorganismen) oder abiotisch (synthetische Düngemittelherstellung im Haber-Bosch-Verfahren) erfolgen. Die Anwendung von Kunstdüngern, aber auch das übermäßige Ausbringen von organischen Düngemitteln wie Tierexkrementen, führt zur Entstehung von Stickstoffmonoxid. Dabei handelt es sich um einen Umweltschadstoff, der als Treibhausgas in die Atmosphäre gelangt. Diese Prozesse sind sehr vielschichtig und unterliegen weiteren Faktoren bezüglich Standort, Klima, Bewirtschaftungsform und Kulturart. In natürlichen, ungenutzten Systemen reduzieren Mikroorganismen molekularen Stickstoff aus der Luft (N_2) zu pflanzenverfügbaren, reaktiveren Verbindungen (NH_4^+ , NH_3) mithilfe des Enzyms Nitrogenase (KÄSTNER 2004). Diese Stickstofffixierer leben entweder frei oder symbiontisch mit bestimmten Pflanzen. Die wohl bekanntesten Bakterien-Pflanzen-Symbiosen innerhalb der Stickstofffixierung sind Knöllchenbakterien in den Leguminosen. Dabei wirken sie sich positiv auf folgende und benachbarte Kulturen durch Wurzelabscheidungen und Bodenstreueinarbeitung aus (BHATTACHARYYA 2012). Leider wird diese natürliche Art der Stickstoffverfügbarmachung durch die Überdüngung gehemmt, da Knöllchenbakterien erst bei Stickstoffmangel aktiv werden. Daraufhin muss erneut externer Stickstoff eingebracht werden, wodurch ein Teufelskreis beginnt (VEJAN 2016).

2.3 Die Phosphorvorräte sind begrenzt

Nach Stickstoff ist Phosphor der nächste limitierende Faktor für das Pflanzenwachstum, da es in der modernen Landwirtschaft kaum noch geschlossene Nährstoffkreisläufe gibt. Ohne organische Düngung, wie durch Gülle, Stallmist oder Schlachtnebenprodukten, müssen phosphorhaltige Mineraldünger den zuvor in Mangel geratenen Phosphor wieder auf die Ackerflächen bringen (KRATZ 2014). In der Natur kommt anorganischer Phosphor ausschließlich in Verbindungen vor. In Form metallarmer Rohphosphate wird Phosphor aus Mineralen (Apatite: $Ca_5 [(F,Cl,OH)(PO_4)_3]$) in Afrika, China und Russland großflächig gewonnen, wobei dieser zu 80–90 % in wasserlösliches Phosphat ($Ca(H_2PO_4)_2$) umgewandelt und als Dünger eingesetzt wird. Die Phosphorreserven werden voraussichtlich nur noch 50 bis maximal 200 Jahre ausreichen (ULRICH 2013). Doch was passiert, wenn diese wichtige Grundlage allen irdischen Lebens für die Landwirtschaft nicht mehr zur Verfügung steht? Jeder biologische Organismus, jede Zelle ist abhängig davon. Unsere Knochen bestehen aus Hydroxylapatit, unsere Erbsubstanz, also die DNS, wird aus Zucker-Phosphat-Ketten aufgebaut. Der Treibstoff jeder Zelle ist das Adenosintriphosphat (ATP), welches für die Energiegewinnung durch

Verbrennungsprozesse sowie Transportvorgänge und Signalübertragungen verantwortlich ist. Unser Körper enthält etwa 700 g Phosphor, was bedeutet, dass wir täglich 0,7 g Phosphor aufnehmen müssen, um nicht an Mangelerscheinungen zu leiden (URL 2).

Steuern wir nun auf eine Nahrungsmittelkrise, wenn der Hauptbestandteil der Düngemittel nicht mehr vorhanden ist? Im Gegensatz zu Stickstoff, der zwar seltener im Erdmantel, jedoch zu 78 % in der Luft vorkommt, gibt es keine Ersatzquelle.

Das große Dilemma rund um den Phosphatkreislauf besteht darin, dass gleichzeitig ein Phosphatüberschuss durch übermäßige Düngung in benachbarten Ökosystemen entsteht. Das überschüssige Phosphat kann kaum aufgenommen werden, wäscht sich aus und gelangt mangels geeigneter Pufferzonen und zusätzlich erosionsfördernder Bodenbearbeitung ins Grund- und Oberflächenwasser. Die dort einsetzende Eutrophierung führt zu Sauerstoffmangel und einsetzendem Artensterben (Fische, Amphibien, Säugetiere; URL 3).

2.3.1 Wie können Mikroorganismen helfen?

Pflanzen können Phosphor nur als im Wasser gelöstes Phosphat aufnehmen. In landwirtschaftlich genutzten Böden befinden sich nur sehr geringe Phosphatanteile in Lösung. Der Rest muss aus der anorganisch gebundenen Bodenfestphase (Primärminerale, zum Beispiel Apatite, oder Sekundärminerale wie CaP, FeP, AlP) bezogen werden (SHARMA, 2013). Dabei ist zu beachten, dass weniger als 20 % des dem Boden zugeführten Phosphats von den Pflanzen aufgenommen werden kann, da der Rest durch Adsorption, Auswaschung und Umwandlung in unlösliche organische oder anorganische Formen unverfügbar wird (GERKE 1994). Bodenmikroorganismen helfen Pflanzen bei der Aufnahme natürlich vorkommenden unlöslichen Phosphats, indem sie ihn als Dihydrogenphosphat in Lösung bringen und damit bioverfügbar machen (BHATTACHARYYA 2012). Pilzliche Mikroorganismen wie *Paxillus involutus* können anorganischen Phosphor mittels organischen Säuren (Oxalsäuren) aus dem Gestein (Apatite) lösen, wodurch eine weitere Quelle bereitgestellt wird. Dabei werden einzelne Apatitkörner im Boden vom Mycel des Ektomykorrhizapilzes umschlungen, die Verwitterung beschleunigt und das Phosphat pflanzenverfügbar gemacht. Damit steigt der Anteil des organisch gebundenen Phosphats im Phosphorkreislauf (durch Aufnahme von Organismen) mit zunehmender Verwitterung und Entwicklung des Bodens. Solche Phänomene demonstrieren erneut die Signifikanz der Artenvielfalt, deren Abhängigkeit und Vernetzung, die zu schützen ist.

3. Mikroorganismen anstelle von Pestiziden

Ein Beispiel für die Biokontrollwirkung ist die Induktion von Resistenzen gegen Phytopathogene und Insektenschädlinge. *Bacillus* und *Pseudomonas* produzieren beispielsweise eine Reihe von Metaboliten, denen eine antimykotische, antibakterielle, antivirale oder phytotoxische Wirkung zugesprochen wird (GOSWAMI 2016). Bestimmte *Pseudomonas*-Arten produzieren Cyanide, die sowohl wachstumsfördernd als auch -hemmend wirken. Jedoch bleibt bei unkontrollierter Ausbringung auch die Gefahr der Inhibitionswirkung für nützliche Pflanzen (BAKKER & SCHIPPERS 1987). Des Weiteren werden 1) sogenannte Siderophore sekretiert, welche die Eisenaufnahme von pathogenen Pilzen verhindern, 2) Säuren produziert (zum Beispiel Hydrocyansäuren), welche den Elektronentransport und daraufhin die Energiezufuhr von Pathogenen blockieren, 3) auflösende (lytische) Enzyme ausgeschieden (zum Beispiel Chitinase, Lipase), die die Zellwände pathogener Pilze oder Bakterien zersetzen. Ferner werden 4) die Pathogene innerhalb der Rhizosphäre wegen einer erhöhten Konkurrenz durch alleiniges Vorhandensein der PGPM zurückgedrängt (REDDY 2013). In der Studie von NG et al. konnte beispielsweise beobachtet werden, dass die Resistenz bei Reispflanzen, die vorher mit PGPM beimpft wurden, deutlich höher ausfällt als in der Kontrolle. Getestet wurde die Abwehrkraft der Pflanzen gegen den pathogenen Pilz *Pyricularia oryzae*. Dabei wurde etwa eine erhöhte Produktion bestimmter Enzyme und Aminosäuren (Peroxidase, Phenoloxidase, Phenyl-

alanin) festgestellt. Peroxidasen bewirken unter anderem die Stärkung der Pflanzenzellwände, wodurch sie unzugänglicher gegenüber Pathogenen werden (NG 2016).

4. Eine Alternative in der Landwirtschaft?

Seit einigen Jahrzehnten werden Mikroorganismen auf ihre Funktionen getestet. Auf Basis dieser Ergebnisse können sich neue Wege für eine nachhaltigere Landwirtschaft durch erhöhten Schutz der Böden und der damit einhergehenden Biodiversität eröffnen (GLICK 2012). Der erfolgreiche Einsatz von PGPM in der Landwirtschaft ist abhängig von deren Überlebensfähigkeit im Boden, der Verträglichkeit mit der Erntepflanze, der Interaktionsfähigkeit mit der bereits vorhandenen Mikroflora im Boden sowie Umweltfaktoren. Als weitere Herausforderungen gelten die unterschiedlichen Wirkprinzipien und Wirkmechanismen, wodurch es nahezu unmöglich wird, eine allumfassende Lösung für alle Anforderungsbereiche zu finden. Diese teilweise schlecht einzuschätzenden Herausforderungen limitieren derzeit die Anwendung (VEJAN, 2016).

Vor allem in der biologisch-dynamischen Landwirtschaft sind PGPM schon lange als effektive Mikroorganismen bekannt. Viele schwören auf die kleinen Helfer, wohingegen andere sie einfach prophylaktisch dazugeben. Den Gründungsstein der Anwendungsmöglichkeiten effektiver Mikroorganismen setzte wohl der japanische Agrarwissenschaftler Terugo Higa, als er in den 1970er-



Abbildung 4

Paxillus involutus oder auch der Kahle Krempling macht anorganisches Phosphat bioverfügbar (Foto: Tim Sage/CC BY-SA 3.0 via Wiki Commons).



Abbildung 6

Großflächige Ausbringung von *Bacillus thuringiensis* als Pflanzenschutz über Wäldern (Foto: William M. Ciesla/R6-FIDM-033-1980, State & Private Forestry, via Wiki Commons).

Jahren eine Mischung aus zirka 80 verschiedenen Mikrobenarten entwickelte. Diese bestand aus Pilzen, Algen und Bakterien. Die ursprüngliche Intention war es, den Zersetzungsprozess anzukurbeln und dadurch die biologischen Prozesse zu beeinflussen (URL 4).

In der Demeter-Betriebsmittelliste wird eine Reihe verschiedener Mittel aufgezeigt, welche aus unterschiedlichen Mikroorganismen aufgebaut sind (LEOPOLD 2018). Einige Mischungen versprechen „eine erhöhte Stresstoleranz, gleichförmiges Wachstum bei weniger Düngemiteleinsetz und höhere Erträge“ (URL 5). Eine beispielhafte Mischung wäre die Kombination aus Huminsäuren, Algenextrakt, *Trichoderma harzianum* und *Bacillus subtilis*. Hierbei kolonisiert der Trichoderma-Pilz die Wurzeloberfläche der Kulturpflanze, dringt teilweise in die Zellen ein und setzt resistenzfördernde Substanzen frei. Die damit erhöhte Entwicklungs- und Wachstumsrate der Pflanze resultiert in Ertragssteigerungen. Extrazelluläre Enzyme des Pilzes wie beispielsweise die Endochitinase (Ech42) lösen mittels Hydrolyse die Zellwand parasitärer Pilze auf, wodurch die Sporenkeimung verhindert wird (CARSOLIO et al. 1994).

Bacillus subtilis bildet sogenannte Biofilme, welche sich als zusammenhängende Gebilde schützend um die Zellwände der Kulturpflanzen legen und dem Eindringen von Pathogenen vorbeugen (BAIS et al. 2004). So konnte beispielsweise ebenfalls festgestellt werden, dass das Bakterium die Kulturen vor *Aspergillus*, *Fusarium* und *Phytophthora* schützen kann (PÉREZ-GARCIA et al. 2011). Zahlreiche

Hersteller betonen die Möglichkeit, synthetische Pflanzenschutzmittel einsparen zu können, einen Humusaufbau zu gewährleisten und gleichzeitig die Pflanze zu vitalisieren.

5. Grenzen und mögliche Gefahren

Zunächst muss beim Einsatz von Mikroorganismen in der Landwirtschaft zwischen der Düngewirkung beziehungsweise vitalisierender Wirkung einerseits und der Pestizidwirkung von Mikroorganismen andererseits unterschieden werden. Die bekannte Pflanzenschutz-Anwendung mit *Bacillus thuringiensis* verdeutlicht, wie ähnlich die Wirkmechanismen zu konventionellen Pestiziden ausfallen können. *Bacillus thuringiensis* produziert sogenannte Bt-Toxine, welche bei bestimmten Insekten tödlich wirken und dadurch die Pflanze vor Schädigung bewahren. Durch Nebenwirkungen, wie Schädigungen an Nichtzielorganismen, kommt es zur selben Problematik wie bei synthetischen Pflanzenschutzmitteln. Dabei wirft sich die Frage auf, ob effektive Mikroorganismen, wenn sie als Pestizide eingesetzt werden, tatsächlich eine naturschonende Lösung sind. Des Weiteren müssten die Langzeitauswirkungen auf das Bodenmikrobiom untersucht werden. Inwiefern werden die bereits bestehenden mikrobiellen Stämme bereichert oder aber auch verdrängt. Was sind die Auswirkungen auf die Biodiversität im Wurzelraum. Wie verhalten sich neu eingebrachte Arten auf die etablierten Arten und demzufolge auf die Strukturierung und Mineralisierung des Standorts? Gerade bei den häufig zu erwerbenden Mischungen sind Verhältnisse der verschiedenen Stämme untereinander unklar, was die Folgeabschätzungen im

Freiland erschwert. Letztendlich sollte man wie bei allen Eingriffen in natürlichen Systemen berücksichtigen, dass es keine Wirkung ohne Nebenwirkungen gibt. Jeder Eingriff, auch wenn es nur die Vermehrung von bereits vorhandenen Mikroben ist, bedeutet ein Eingriff in das System und ist über lange Sicht kaum abschätzbar. Ebenso wie bei herkömmlichen synthetischen Pestiziden fehlen auch hier Langzeitstudien zu den Auswirkungen auf die Ökosysteme.

Während einige Landwirte von der Wirkung zugeführter mikrobieller Kulturen auf ihren Äckern begeistert sind und die Giftspritze liegen lassen, sind andere der Meinung, dass intakte Bodenökosysteme allein durch die richtigen Fruchtfolgen, Untersaaten und Bodenbearbeitungen die am besten angepassten Bakterien- und Pilzkolonien bereitstellen.

6. Ausblick

Die aus der Vielfältigkeit der Mikroorganismen entstehenden Nutzungsmöglichkeiten und Abhängigkeiten für den Menschen gehen weit über die bekannteren industriellen Funktionen in Abwasserreinigung und Altlastensanierung, Schadstoffabbau, Nahrungsmittelproduktion und Plastik-Alternativen hinaus. Das Wissen um die Bedeutung von Mikroorganismen innerhalb großer ökosystemarer Prozesse und die durch Vielfalt entstehenden Dienstleistungen sind, wie es scheint, erst am Anfang. Vielleicht können Mikroorganismen innerhalb der konventionellen Landwirtschaft Pestizide und eine übermäßige Düngung auf dem Weg zum Bio-Anbau ersetzen und in Kombination mit anderen naturschutzfachlichen Maßnahmen das Artensterben bremsen. Letztendlich hat man als Verbraucher zumindest beim Eigenkonsum ein gewisses Mitspracherecht und trägt seinen Teil zum Absatz der Produkte bei.

Bei allen Überlegungen hin zu einer naturverträglichen Nahrungsmittelproduktion ist es besonders wichtig, den Fokus mehr auf den Boden zu richten. Hier entsteht die Pflanze, unsere Nahrungsgrundlage, hier werden zwei Drittel des globalen Kohlenstoffs gespeichert und hier wird Wasser gefiltert. Dabei sind Mikroorganismen stets von essenzieller Bedeutung, sie machen ihn fruchtbar, mineralisieren, lockern und vernetzen. Wäre es da nicht angebracht, die etablierten mikrobiellen Gemeinschaften zu schützen und die Lebensräume sowie systemaren Prozesse so gut es geht zu erhalten?

Literatur

- AHMED, A. & HASNAIN, S. (2010): Auxin producing *Bacillus* sp.: Auxin quantification and effect on the growth Solanum. – Pure Appl. Chem. 47: 302–307.
- BAIS, H. P., FALL, R. & VIVANCO, J. M. (2004): Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of Arabidopsis roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. – Plant Physiol 134: 307–309.
- BAKKER, A. & SCHIPPERS, P. (1987): Microbial cyanide production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp.-mediated plant growth-stimulation. – Soil Biology Biochemistry: 451–457.
- BAYER, I. (2015): Mikroorganismen und Wirbellose – entscheidende Dienstleister für Landwirtschaft und Ernährung. – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Berlin.
- BERG, G. (2009): Plant-microbe interactions promoting plant growth and health: perspectives for controlled use of microorganisms in agriculture. – Appl Microbiol Biotechnol 84: 11–18.
- BHATTACHARYYA, P. J. (2012): Plant growth-promoting rhizobacteria. – World Journal of Microbiology and Biotechnology 28: 1327–1350.
- BHATTACHARYYA, P. J. (2012): Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Emergence in agriculture. – Wood Journal Microbiology Biotechnology 28: 1327–1350.
- Carsolio, C., Gutiérrez, A., Jiménez, B., Van Montagu, M. & Herrera-Estrella, A. (1994): Characterization of ech-42, a *Trichoderma harzianum* endochitinase gene expressed during mycoparasitism. – Proceedings of National Academy of Sciences, USA 91: 10903–10907.
- FLORES-FELIX, J., SILVA, L. & RIVERA, L. (2015): Plants probiotics as a tool to produce highly functional fruits: The. – PLoS ONE 10.
- GERKE, J. R. (1994): Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 157: 289–294.
- GLICK, B. (2012): Plant Growth-Promoting *Bacteria*: Mechanisms and Applications. – Hindawi Publishing Corporation, Waterloo, Kanada.
- GOPALAKRISHNAN, S. S. (2015): Plant growth promoting rhizobia: challenges and opportunities. – Heidelberg, Springer (Hrsg.) 3 Biotech, Journal no. 13205: 355.
- GOSWAMI, T. J. (2016): Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a review. – Cogent Food Agric.
- KÄSTNER, J. (2004): Biological Nitrogen Fixation-Simulation of the Reaction Mechanism of Nitrogenase from First Principles. – Diss. TU Clausthal.
- KRATZ, S. S. (2014): Abschätzung des Potentials erneuerbarer P-haltiger Rohstoffe in Deutschland zur Substitution rohphosphathaltiger Düngemittel. – Journal für Kulturpflanzen 66: 261–275.

- NG, L. C., SARIAH, M., SARIAM, O., RADZIAH, O. & ZAINAL ABIDIN, M. A. (2016): PGPM-induced defense-related enzymes in aerobic rice against rice leaf blast caused by *Pyricularia oryzae*. – Eur J Plant Pathology: 167–175.
- LAREEN, A., BURTON, F. & SCHÄFER, P. (2016): Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes. – Plant Mol. Biol. 90: 575–587.
- LEOPOLD, J. M. (2018): Demeter Betriebsmittelliste 2018 für Deutschland. – Demeter e.V. (Hrsg.): 79–82.
- MALUSÁ, E. & VASSILEV, N. (2014): A contribution to set a legal framework for biofertilisers. – Applied Microbiol. Biotechnol. 98: 6599–6607.
- OLANREWAJU, O. G. (2017): Mechanisms of action of plant growth promoting bacteria. – S. Netherlands (Hrsg.), World Journal of Microbiology and Biotechnology.
- Pérez-García, A., Romero, D. & De Vivente, A. (2011): Plant protection and growth stimulation by microorganisms: biotechnological applications of *Bacilli* in agriculture. – Current Opinion in Biotechnology 22: 187–193.
- RADZKI, W., GUTIERREZ MANERO, F. & ALGAR, E. (2013): Bacterial siderophores efficiently provide iron to iron-starved. – Antonie Van Leeuwenhoek 104: 321–330.
- REDDY, P. (2013): Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR). – Recent advances in crop protection: 131–145.
- SABRY, S., SALEH, S. & BATCHELOR, C. (1997): Endophytic establishment of *Azorhizobium caulinodans* in wheat. – Proceedings Biological Science 264: 341–346.
- SHARMA, P. P. (2013): Hairy root cultures: a suitable biological system for studying secondary metabolic pathways in plants. – Eng. Life Science: 62–75.
- SINGH, J. (2013): Plant Growth Promoting Rhizobacteria-Potential Microbes For Sustainable Agriculture. – Resonance: Journal of Science Education: 275–281.
- SOKOLOVA, M., AKIMOVA, G. & VAISHLIA, O. (2011): Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria. – Prikl Biokhim Mikrobiol 43: 510–515.
- ULRICH, A. (2013): Peak phosphorus: Opportunity in the making. Exploring global phosphorus management and stewardship for a sustainable future. – Diss. ETH Nr. 21599.
- VEJAN, P. R. (2016): Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability. – Molecules.
- VESSEY, K. (2003): Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. – Plant Soil 255: 571–586.
- URL 1: Deter, A. (2017): Insektensterben durch intensive Landwirtschaft. – TopAgrarOnline, abger. am 26.06.2018; www.topagrar.com/news/Home-top-News-Bundesregierung-bestaetigt-Insektensterben-durch-intensive-Landwirtschaft-8427172.html.
- URL 2: GREULING, H. (2011): Am Phosphor hängt das Schicksal der Menschheit – Welt.de, abger. am 21.06.2018; www.welt.de/dieweltbewegen/article13585089/Am-Phosphor-haengt-das-Schicksal-der-Menschheit.html.
- URL 3: LEUJAK, W. (2010): Nutzung und Belastung – Umweltbundesamt (UBA), abger. am 09. 07 2018; www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/eutrophierung.html.
- URL 4: emiko.de – Professor Teruo Higa, Entdecker der effektiven Mikroorganismen – emiko.de, abger. am 07.07.2018; www.emiko.de/professor-teruo-higa-entdecker-der-effektiven-mikroorganismen/.
- URL 5: intrachem-bio.de – Vitabac®Bodenhilfsstoffe – intrachem-bio.de, abger. am 08.07.2018; www.intrachem-bio.de/produkte/bodenhilfsstoffe/vitabacr/#c376.
- URL 6: multikraft.com – Funktion & Wirkung von Effektiven Mikroorganismen – multikraft.com, abger. am 07. 07 2018; www.multikraft.com/de/effektive-mikroorganismen/funktion-wirkung/.

Autorin

Franziska Hanko,
Jahrgang 1993.

Studium B. Sc. International Forest Ecosystem Management in Eberswalde. Spezialisierung auf Bodenfunktionen im Wald. Derzeit Masterstudentin an der Technischen Universität München in Umweltplanung und Ingenieurökologie mit dem Schwerpunkt auf Bodenschutz und Bodenökologie. Aktuell Praktikum an der Bayerischen Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (ANL).

+49 8682 8963-52
franziska.hanko@anl.bayern.de



Zitiervorschlag

HANKO, F. (2018): Zurück zu den Wurzeln – Mikroorganismen in der Landwirtschaft. – ANLiegen Natur 40(2): 145–152, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.