



Executive Stakeholder Summary

Projektnummer	406840_143141
Titel	Gesunde Böden dank Bodenbakterien
Projektleiterin:	Monika Maurhofer, ETH Zürich
Weiterer Projektverantwortlicher	Christoph Keel, Universität Lausanne

Beitrag zur thematische(n) Synthese(n):

<input checked="" type="checkbox"/> Boden und Nahrungsmittelproduktion	<input type="checkbox"/> Boden und Umwelt	<input type="checkbox"/> Raumentwicklung	<input checked="" type="checkbox"/> Bodendaten, Methoden und Instrumente	<input type="checkbox"/> Bodenpolitik
--	---	--	--	---------------------------------------

Ort, Datum: Zürich, 30. Mai 2017

Hintergrund

Bodenbürtige Krankheiten und Schädlinge, das heisst pflanzenschädigende Pilze und wurzelfressende Insekten, die die Pflanzen vom Boden her angreifen, stellen für die Landwirtschaft ein grosses Problem dar, da sie kaum mit Pestiziden oder resistenten Sorten kontrolliert werden können.

In der natürlichen Bodenmikroflora existieren jedoch Organismen, die natürliche Gegenspieler dieser Schadorganismen sind und sie in Schach halten können. Allerdings sind nicht alle Böden anfällig für Pilzkrankheiten. Es gibt sogenannte suppressive Böden solche, die vollkommen resistent sind gegenüber gewissen Krankheiten. Deren natürliche Krankheitsresistenz wird auf die Anwesenheit spezieller Mikroorganismen zurückgeführt, die die Pflanzen vor dem Angriff durch Pilzkrankheiten schützen. Die bekanntesten unter ihnen sind Pseudomonas- und Bacillus-Bakterien, gezielt als Biokontrollagzien eingesetzt und als biologische Pflanzenschutzmittel in Feldern ausgebracht werden können. Eine weitere, bis anhin noch sehr wenig genutzte Möglichkeit bestünde darin, die Anzahl und die Aktivität natürlich vorkommender Nutzbakterien im Boden beispielsweise durch die Anpassung der landwirtschaftlichen Anbaumethoden zu fördern.

In der Schweiz ist jedoch noch sehr wenig Wissen verfügbar über das Vorkommen, die Diversität und die Aktivität von Bakterien, die über diese nützlichen, das heisst krankheits- und schädlingsunterdrückenden, Aktivitäten in landwirtschaftlichen Böden verfügen. Zudem ist über den Einfluss landwirtschaftlicher Methoden und Anbausysteme wie Pflügen, reduziertes Pflügen und pflugloser Anbau, Fruchtfolgen und biologischer Anbau auf diese natürlich vorkommenden Nützlinge noch überhaupt nichts bekannt. Im Weiteren weiss man nicht, ob diese mikrobiellen Funktionen auch tatsächlich an der natürlichen Krankheitsresistenz in Schweizer Böden beteiligt sind. Diese Wissenslücken wollten wir im ersten Teil des Projektes schliessen. Da sich die Schweiz das mittelfristige Ziel gesetzt hat, den Pestizideinsatz massiv zu verringern (vgl. «Pestizidaktionsplan Schweiz und Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln»), besteht ein dringender Bedarf an neuen, umweltfreundlichen Methoden zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten und Schädlingen. Das zweite Ziel des Projekts bestand deshalb darin, das Pflanzenschutzpotenzial wurzelbesiedelnder, antagonistischer Bakterien mit Anti-Pilz- und Anti-Schädlingsaktivitäten in Gewächshaus- und Feldversuchen zu evaluieren, bei denen diese Bakterien individuell und in Kombination mit anderen Biokontrollorganismen wie insektenpathogenen Nematoden eingesetzt werden.

Ziel

Die Ziele des Projekts waren:

- Die Entwicklung einer **Toolbox**, um in Landwirtschaftsböden spezifische Gruppen nützlicher Bakterien und deren Aktivität (d.h. die Expression von Anti-Pilzgenen) zu quantifizieren sowie die Böden auf ihre natürliche Resistenz gegenüber Pilzkrankheiten zu untersuchen.
- Die **Charakterisierung repräsentativer, für die Weizenproduktion genutzter Schweizer Landwirtschaftsböden** auf ihre Anfälligkeit beziehungsweise ihre Resistenz gegenüber zweier wichtiger bodenbürtiger Krankheiten und in Bezug auf das Vorkommen und die Aktivität von Pseudomonas-Bakterien mit krankheitsunterdrückenden Eigenschaften. Die Frage war, ob gewisse Böden/Bodeneigenschaften diese nützlichen Mikroben speziell fördern, und ob tatsächlich ein Zusammenhang zwischen natürlichem Vorkommen dieser Bakterien und Krankheitsresistenz existiert?

- **Die Untersuchung, wie landwirtschaftliche Methoden im Weizenanbau das Vorkommen und die Aktivität natürlich vorkommender krankheitsunterdrückender Bakterien beeinflussen.** Ziel war es, erste Grundlagen für die natürliche Kontrolle zu schaffen. Wir untersuchten in Langzeitfeldexperimenten, die vom FiBL und von Agroscope durchgeführt werden, ob gewisse landwirtschaftliche Methoden wie Pflügen, reduziertes Pflügen oder pflugloser Anbau und gewisse Anbausysteme (biologischer und konventioneller Anbau) nützliche Pseudomonas-Bakterien mit Anti-Pilzaktivitäten fördern und die Pflanzengesundheit verbessern.
- **Die Entwicklung neuer Strategien für die biologische Bekämpfung bodenbürtiger Pilzkrankheiten und Schädlingen durch den Einsatz von Pseudomonas-Bakterien.** Hier war das Ziel, in Gewächshaus- und Feldversuchen das Potenzial einer Auswahl von Biokontrollpseudomonaden zu testen, Krankheiten und Schädlinge im Weizen- und Maisanbau zu kontrollieren. Zudem sollten in Zusammenarbeit mit der Universität Neuchâtel (NFP 68-Projekt «Nematoden») und Agroscope (NFP 68-Projekt «Mykorrhiza») die synergistische Wirkung der kombinierten Anwendung von Pseudomonaden mit anderen Nützlingen wie entomopathogenen Nematoden und arbuskulären Mykorrhizapilzen untersucht werden.

Resultate

1. **Toolbox:** Wir haben Methoden entwickelt, um auf Weizenwurzeln und im Boden Pseudomonaden zu quantifizieren, die die für den Pflanzenschutz wichtigen Antipilz-Substanzen 2,4-Diacetylphloroglucinol (DAPG), Phenazine (PHZ) und Pyrrolnitrin (PRN) produzieren können. Zudem haben wir Reporterstämme entwickelt, die es erlauben, die pflanzennützliche Aktivität dieser Bakterien, das heisst die Expression der Gene, die für die Produktion der oben erwähnten Substanzen nötig sind, mittels fluoreszierenden Proteinen zu messen. Die Methode ermöglicht es, für Tausende von Bakterienzellen gleichzeitig zu bestimmen, wie ihre Aktivität in verschiedenen Böden beeinflusst wird. Ferner haben wir einfache Systeme entwickelt, um die Resistenz landwirtschaftlicher Böden gegen zwei wichtige bodenbürtige Pathogene – die Erreger der Schwarzbeinigkeit des Weizens (*Gaeumannomyces*) und von Keimlingskrankheiten (*Pythium*) – zu quantifizieren. Mit dieser Toolbox ist es möglich, den Zusammenhang zwischen dem Vorkommen nützlicher Pseudomonas-Bakterien und Pflanzenkrankheiten in beliebigen Landwirtschaftsböden zu untersuchen.
2. **Zusammenhänge zwischen Pseudomonaden, Bodeneigenschaften und Krankheitsresistenz.** Wir haben zehn Böden von Weizenfeldern in verschiedenen Regionen der Schweiz auf ihre Resistenz gegenüber den bodenbürtigen Krankheiten Schwarzbeinigkeit (*Gaeumannomyces*) und Auflaufkrankheit (*Pythium*) getestet, drei Pseudomonas-Anti-Pilzgene (DAPG, PHZ und PRN) in den Böden quantifiziert und die Expression dieser Gene, das heisst die Aktivität der Bakterien, in den Böden gemessen. Mittels einer metagenomischen Analyse wurde die Diversität von Bakterien und Pilzen in diesen Böden untersucht. Dabei haben wir keine signifikanten Korrelationen zwischen Krankheitsresistenz und speziellen Bakteriengattungen, die bekannte Biokontrollbakterien beherbergen, gefunden. Hingegen gab es signifikante Korrelationen zwischen spezifischen Genotypen von Bakterien und Resistenz gegenüber den bodenbürtigen Krankheiten. Diese Korrelationen präsentieren sich aber für jede untersuchte Krankheit anders. Je häufiger zum Beispiel DAPG-Produzenten im Boden vorkommen, desto kleiner ist die Population

des Wurzelpathogens Pythium. Bodennährstoffe beeinflussen die Häufigkeit und die Aktivität von Pseudomonaden mit Anti-Pilz-Wirkung stark, einen grossen, zum Teil aber gegensätzlich. Die Resistenz von Böden gegenüber bodenbürtigen Krankheiten und Schädlingen lässt sich insgesamt nicht nur auf bestimmte Bakterien-Gattungen und gewisse spezifische bakterielle Funktionen zurückführen, sondern wird durch ein Zusammenspiel vieler Mikroorganismen bewirkt, das vermutlich bei jeder bodenbürtigen Krankheit wieder komplett anders sein kann. Dieses Zusammenspiel muss weiter erforscht werden.

3. **Einfluss landwirtschaftlicher Anbaumethoden auf nützliche Bakterien und die Krankheitsresistenz von Böden.** In diesem Teil des Projektes untersuchten wir die Häufigkeit und die Aktivität von krankheitsunterdrückenden Pseudomonaden sowie die Krankheitsresistenz des Bodens in Parzellen von Langzeitfeldversuchen. Dabei wurden verschiedene Anbausysteme wie biologischer Anbau, konventioneller Anbau, pfluglose Systeme und intensives Pflügen verglichen. Wir haben deutliche Unterschiede zwischen den verglichenen Systemen festgestellt. Gewisse Bakteriengruppen, beispielsweise solche, die die stark wirksame Anti-Pilzsubstanz DAPG produzieren können, waren deutlich am stärksten in konventionell bewirtschafteten, aber nicht gepflügten Parzellen vertreten. Der Boden mit der höchsten Resistenz gegen die Pythium-Wurzelkrankheit stammte hingegen aus Parzellen mit biologischem Anbau. Die unterschiedlichen Anbausysteme hatten keinen Einfluss auf die Aktivität der Bakterien. Auch hier zeigte es sich, dass weder Pseudomonas-Bakterien im allgemeinen, noch spezifische Gruppen dieser Bakterien als einzige Indikatoren für die Krankheitsresistenz der Böden verwendet werden können, sondern letztere durch viele mikrobielle Faktoren beeinflusst wird.
4. **Verbesserung der Resistenz gegen Pflanzenkrankheiten mit Pseudomonaden und anderen Biokontrollorganismen.** In Zusammenarbeit mit den NFP 68-Projekten «Nematoden» und «Mykorrhiza» führten wir mehrere Feld- und Gewächshausversuche durch, um ausgewählte Pseudomonas-Stämme einzeln und in Kombination mit insektenpathogenen Nematoden und Mykorrhiza-Pilzen auf ihre Fähigkeit zu untersuchen, das Wachstum und die Gesundheit von Feldkulturen zu fördern. Die Pseudomonas wurden dazu bei der Saat zum Boden gegeben. Drei Feldversuche mit Sommerweizen in der Nähe von Changins erbrachten den Nachweis, dass die Pseudomonas-Bakterien erfolgreich in die schon vorhandene Bodenmikroflora eingeführt werden konnten. Sie verbesserten das Wachstum und den Ertrag der Weizenpflanzen nach einem starken Schädlingsbefall (Fritfliege; 2014) deutlich. Ohne Schädlingsstress (2015) konnte keine signifikant positive Wirkung beobachtet werden. Die Kombination mit den anderen Nützlingen zeigte keinen offensichtlichen synergistischen Effekt. Pseudomonaden, Nematoden und Mykorrhiza wurden in Feldversuchen (2015–2017) mit Mais in der Nähe von Columbia (Missouri, USA) gegen den berüchtigten Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) getestet. Die Larven dieses Insektes verursachen massive Schäden durch Wurzelfress in Maiskulturen in den USA und seit kurzem auch in Europa. Im Rahmen der Feldversuche wurden grosse Mengen von Eiern des Insekts künstlich in die Maispflanzungen eingebracht. Zwar misslang 2015 wegen einer Ueberschwemmung der künstliche Befall mit *Diabrotica*, die Bakterien und Nematoden hatten jedoch einen positiven Effekt auf die Pflanzenerträge. Im Folgejahr 2016 gelang der künstliche Schädlingsbefall und Pseudomonaden und Nematoden reduzierten die Schadsymptome. In den mit Bakterien behandelten Parzellen überlebten zudem weniger Schädlingslarven auf den Maiswurzeln. Diese Feldergebnisse konnten in Gewächshausversuchen an der

Universität Neuchâtel bestätigt werden. Die Feldergebnisse für 2017 stehen noch aus. Die ausgewählten Pseudomonasstämme zeigen also deutliches Potenzial für die biologische Kontrolle problematischer Schadinsekten.

Bedeutung für die Forschung

Diese Studie ist die erste, die Resultate zur Expression verschiedener Biokontrollgene in mehreren Landwirtschaftsböden verglichen hat. Zudem beinhaltet sie die erste Untersuchung über Zusammenhänge zwischen Bodenfaktoren, der Häufigkeit von Biokontrollbakterien (Pseudomonas), deren Aktivität und der Krankheitsresistenz verschiedener Böden. Unter Feldbedingungen wurde aufgezeigt, dass ausgewählte Pseudomonas-Gruppen helfen können, Schadinsekten in Ackerkulturen in Schach zu halten. Insgesamt wurde wichtiges neues Wissen zur Ökologie von krankheitsunterdrückenden Pseudomonaden, Interaktion mit Bodeneigenschaften und anderen Nützlingen generiert.

Für die Forschung wurden vor allem folgende wichtige Erkenntnisse gewonnen:

- Die Häufigkeit von krankheitsunterdrückenden Pseudomonaden wird durch andere Bodenfaktoren gesteuert als ihre Aktivität beziehungsweise die Expression der für den Pflanzenschutz wichtigen Gene.
- Es gibt signifikante Korrelationen zwischen der Resistenz gegenüber einer spezifischen Pflanzenkrankheit und Bodenbakterien nur auf der Ebene sehr spezifischer bakterieller Genotypen, nicht aber auf der Ebene grösserer Bakteriengruppen (Gattungen, Ordnungen).
- Die Resistenz gegenüber unterschiedlichen Pflanzenkrankheiten wird durch unterschiedliche mikrobielle Faktoren bewirkt. Es lässt sich jedoch keine bestimmte Gruppe von Bakterien als generelle Indikatoren für die Krankheitsresistenz der Böden benutzen.
- Verschiedene Anbaumethoden können sowohl die Krankheitsresistenz eines Bodens, als auch das Vorkommen spezifischer Gruppen nützlicher Bakterien in unterschiedlicher Weise beeinflussen.
- Bestimmte Pseudomonasgruppen verfügen aufgrund ihrer Kompetitivität und ihrem Arsenal wirksamer Eigenschaften gegen Schadpilze und Schadinsekten über ein klares Potenzial als Biokontroll-Organismen für den Einsatz sowohl gegen pflanzenschädliche Pilze als auch gegen pflanzenfressende Insekten, dies.

Bedeutung für die Praxis

Bei der biologischen Bekämpfung bodenbürtiger Krankheiten in der Landwirtschaft mittels antagonistischer Mikroorganismen, die als Gegenspieler wirken, existieren zwei grundsätzlich verschiedene Ansätze. Der erste ist der direkte Einsatz von Biopestizid in Form spezifischer Biokontrollorganismen in grosser Anzahl, mit dem Ziel, im Einsatzgebiet die schon natürlicherweise vorkommenden antagonistischen Populationen zu vergrössern («augmentation biocontrol»). Beim zweiten ist es das Ziel, im Boden natürlich vorkommende Biokontrollorganismen durch spezifische Anbaupraktiken zu fördern, sodass ihre Anzahl und ihre Schutzwirkung gegen bodenbürtige Pilze erhöht wird («conservation biocontrol»). Das Projekt verfolgte beide Ansätze.

Augmentation biocontrol: Die Feldversuche in Zusammenarbeit mit den Projekten «Nematoden» und «Mykorrhizhiza» haben gezeigt, dass Pseudomonas-Bakterien, insektizide Nematoden und Mykorrhizapilze gut miteinander kombiniert werden können. Der Einsatz von Pseudomonas-Bakterien in Weizenfeldern zeigt, dass die Bakterien die Pflanzen resistenter gegen Insekten-Frass machen können. Wie die Feld- und Topfversuche mit dem Diabrotica Maiswurzelbohrer zeigten, können spezielle Pseudomonaden-Gruppen, die nicht nur über anti-Pilz, sondern auch über anti-Insekt Aktivitäten verfügen, Schäden durch notorisch schwierig zu bekämpfende, unterirdisch aktive Frassinsekten reduzieren. Die Kombination mit anderen Nützlingen, insbesondere insektenpathogenen Nematoden, erhöht dabei den Nutzen.

Pseudomonaden können das Wachstum und die Gesundheit von Weizen und Mais verbessern. Unter den in der Schweiz gegebenen Anbaubedingungen zeigt sich die positive Wirkung vermutlich nicht jedes Jahr, sondern vor allem dann, wenn die Kulturpflanzen gestresst sind, etwa bei starkem Schädlingsbefall oder mangelnder Nährstoffversorgung. Gewisse Vertreter von Pseudomonaden, die zurzeit in der Landwirtschaft nur zur biologischen Kontrolle von Pflanzenkrankheiten oder als biologischer Dünger eingesetzt werden, wirken auch gegen Schadinsekten wie die Fritfliege und den Maiswurzelbohrer. Da Pseudomonaden alleine wahrscheinlich zu wenig oder zu wenig konsistent wirken, könnte eine Strategie Erfolg versprechen, die sie zur Leistungssteigerung mit anderen Biokontrollorganismen kombiniert, , beispielsweise mit weiteren Bakteriengruppen, insektenpathogenen Nematoden oder Biokontrollpilzen.

Conservation biocontrol: Bis zur gezielten Nutzung/Förderung natürlicher krankheitsunterdrückender Mikroorganismen durch angepasste landwirtschaftliche Anbaumethoden oder der Auswahl geeigneter Pflanzenvarietäten steht noch ein weiter Weg bevor. Obwohl die Versuche gezeigt haben, dass es möglich ist, Bodenresistenz und das Vorkommen gewisser Gruppen von nützlichen Bakterien zu beeinflussen, sind diese Möglichkeiten in der Schweizer Landwirtschaft wahrscheinlich rasch ausgeschöpft. Das Hauptproblem sehen wir darin, dass für jede Kulturpflanze und jede bodenbürtige Krankheit höchstwahrscheinlich andere Schlüsselgruppen nützlicher Mikroorganismen im Boden gefördert werden müssten. Das scheint bei den in der Schweiz etablierten Fruchtfolgesystemen nur sehr begrenzt realisierbar. Erfolgsversprechend wäre eventuell der Einsatz geeigneter Pflanzenvarietäten, die optimal mit nützlichen Boden- und Wurzelorganismen interagieren. Das setzt voraus, dass schon bei der Züchtung auf Eigenschaften geachtet wird, die es der Pflanze erlauben, gezielt nützliche Bakterien und andere Organismen in der Rhizosphäre und der Phyllospäre anzureichern und ihre Aktivität optimal zu unterstützen.

Unsere Untersuchungen weisen darauf hin, dass es derzeit keine verlässlichen Indikatoren für allgemeine Resistenz der Böden gibt. Selbst bei Bakteriengruppen, bei denen wie im Falle der Biokontroll-Pseudomonaden die Nützlichkeit nachgewiesen ist, können aufgrund ihres Vorhandenseins, ihrer Häufigkeit und Aktivität zur Zeit keine allgemeingültigen Schlüsse über die Kapazität eines Bodens, das Pflanzenwachstum und die Pflanzengesundheit zu unterstützen, gezogen werden. Bisher gelang es nur, nur in einigen wissenschaftlich sehr gut untersuchten suppressiven Böden gewissen Gruppen von nützlichen Bodenmikroorganismen eine wichtige Rolle in der Krankheitsunterdrückung zuzuschreiben. Welche Organismen in normalen Landwirtschaftsböden Bestandteile eines nützlichen Mikrobioms sind und wie dieses Mikrobiom für verschiedene Böden, Nutzpflanzen und Schadorganismen zusammengesetzt sein müsste, ist schlicht und einfach noch viel zu bekannt. Um die Grundlagen zu schaffen, die Resistenz von Böden durch die gezielte Förderung einer nützlichen Bodenmikroflora zu verbessern, sind daher

viel mehr und vor allem viel umfassendere Studien über die Zusammenhänge zwischen landwirtschaftlichen Methoden, nützlichen Mikroorganismen, Kulturpflanzen und Schädlingen bzw. Krankheiten notwendig.

Empfehlungen

Die Schweiz hat sich zum Ziel gesetzt, den Einsatz von Pestiziden zum Schutz von Konsumenten und der Umwelt massiv zu beschränken und so nachhaltig wie möglich zu gestalten (vgl. Pestizidaktionsplan Schweiz und Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmitteln). Immer mehr synthetische Wirkstoffe werden verboten, auch solche für die Samenbeizung. Sowird es immer schwieriger werden, gewisse Insekten und Pilzkrankheiten erfolgreich zu bekämpfen. Der Einsatz natürlicher Antagonisten, bisher als wünschenswerte Alternativstrategie betrachtet, wird mangels chemischer Alternativen immer mehr zu einem absolut notwendigen und wichtigen Pfeiler im Pflanzenschutz.

Kurz- und mittelfristig sehen wir vor allem ein grosses Potenzial für den Biopestizideinsatz. Die Untersuchungen zu Pseudomonaden mit Anti-Schadpilz und Anti-Schadinsekteeigenschaften haben gezeigt, dass diese bei den untersuchten Weizen- und Maiskulturen die Pflanzengesundheit verbessern können, und dass sie mit anderen Nützlingen kombinierbar sind. Da die Nutzwirkung der Pseudomonaden alleine wahrscheinlich zu gering ist, empfehlen wir, vor allem in die Entwicklung von Nützlings-Kombinationen mit verschiedenen Wirkungsmechanismen/spektren zu investieren. Das Projekt «Biologische Schädlingsbekämpfung» aus der Phase II des NFP 68 fokussiert auf den Einsatz von Kombinationen von Pseudomonaden mit anti-Pilz und anti-insekt Eigenschaften mit insektiziden Nematoden gegen bodenbürtige Schadinsekten. Dabei evaluieren wir neue Applikationstechniken, bei denen die Bakterien und die Fadenwürmer gemeinsam in kleinen Alginatkapseln eingeschlossen und diese bei der Aussaat direkt zu den Kulturpflanzen gegeben werden. Im Weiteren testen wir auch Kombinationen von Pseudomonaden und insektiziden Pilzen gegen Wurzelschädlinge. Bodenbürtige Schädlinge sind sehr schwierig zu bekämpfen und werden nach dem Verbot der Samenbeizung mit den äusserst wirksamen Neonicotinoiden noch schwieriger kontrollierbar sein. Deshalb wird der kombinierte Einsatz von Nützlingen als ökologische Alternative immer wichtiger werden. Aus diesem Grund empfehlen wir, die angewandte Forschung auf diesem Gebiet zu unterstützen, das heisst das Testen verschiedener Nützlingskombinationen in Feldversuchen mit verschiedenen Kulturpflanzen und die Entwicklung der Applikationstechniken solcher Kombinationen.

Die Erhaltungsbiokontrolle, also die gezielte Förderung natürlicher Nützlinge im Boden, als Pfeiler einer ökologischen Pflanzenschutzstrategie zu etablieren, ist in unserer fruchtfolgebetonnten Landwirtschaft nur als langfristiges Ziel und nur begrenzt umsetzbar. Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein nützliches Mikrobiom je nach Bodenbeschaffenheit, Kulturpflanzenart und Krankheits-/Schädlingstyp aus unterschiedlichen Mikroorganismen zusammengesetzt ist. Es wird schwierig sein, bestimmte Organismen zu identifizieren, die als Indikatoren für die allgemeine Resistenz der Böden verwendet werden könnten. Um die Interaktion von nützlichem Pflanzenmikrobiom, Pflanzengenotyp, Pflanzenresistenz-/Stressverhalten, Schadorganismen und Bodeneigenschaften besser zu verstehen, ist eine intensive Forschung notwendig, die vor allem eine grosse Palette von Bodentypen, Kulturpflanzen, Schadorganismen und Anbaumethoden umfasst und vergleicht. Es ist zudem zu wenig bekannt, inwiefern die Zugabe von organischen Substanzen wie Qualitätskompost oder gewisse Zwischenkulturen und Sortenmischungen die Resistenz der Böden beeinflussen können. Solche Ansätze müssten in künftige

Forschungsprojekte berücksichtigt werden. Wir empfehlen zudem, das Augenmerk auch auf die Züchtung zu richten und dabei die Fähigkeit von Pflanzen, Nützlinge zu rekrutieren, als zusätzliches Auswahlkriterium einzuführen. Auch hier fehlt bis jetzt noch das grundlegende Wissen, das heisst die Kenntnisse darüber, welche natürlich vorkommenden Mikroorganismen bei einer bestimmten Kulturpflanzen (-varietät) den besten Schutz gegen ihre wichtigsten Krankheiten und Schädlinge bieten können.