



AUF ENTDECKUNGSREISE IN DEN BODEN

Neue Forschungsergebnisse lüften immer mehr Geheimnisse über die Rolle der Mikroorganismen im Boden auf die Pflanzengesundheit.

Rainer Maché | César Marcos | Adrien Leroy | Dierk Jensen



Hundert Jahre nachdem Abenteurer und Naturforscher auch die unwegsamsten Teile der Erde kennengelernt haben, steht jetzt die wissenschaftliche Eroberung der letzten Bastion bevor: der Welt unter unseren Füßen. 90 Prozent der im Boden lebenden Mikroorganismen sind bislang unbekannt. Sie entziehen sich einer genaueren Analyse, weil sie eng mit den anderen Bewohnern, den Pflanzen, Tieren und Pilzen verwoben sind. Doch ohne sie geht gar nichts. Bakterien überziehen jeden Millimeter Wurzel und besiedeln den Darm der Regenwürmer. Ihre Gesamtzahl stellt alles in den Schatten, was der normal rechnende Mensch erfassen kann. In einem Gramm Boden leben 100 Millionen Bakterien, die sich aus 4.000 bis 7.000 verschiedenen Arten zusammensetzen.

Da jede Art ihre eigenen Merkmale besitzt, decken sie alle Eigenschaften ab, in der Mehrzahl die nützlichen, zu einem kleinen Anteil aber auch die schädlichen oder sogar gefährlichen. Die Vielfalt spiegelt sich in der hohen Anpassungsfähigkeit wider. Je nach Jahreszeit, Bodenart, Bodenchemie und Form der Bewirtschaftung unterliegt das mikrobielle Leben ständigen Veränderungen. Die oberirdischen Lebensvorgänge bestimmen, was sich im Boden abspielt. Das ist eines der wichtigsten Ergebnisse der ersten Generaluntersuchung der Mikroflora aller britischen Böden. Das von Dr. Robert Griffiths und Prof. Andrew Whiteley geleitete Team aus drei Forschungsins-

» Unsere wichtigste Erkenntnis ist, dass die mikrobiellen Gemeinschaften vorhersagbar sind. Das widerspricht bisherigen Vorstellungen einiger Leute.« *Dr. Robert Griffiths*

tituten hat dazu landesweit 233 je einen Quadratmeter große Flächen beprobt.

BODENBAKTERIEN REAGIEREN STARK AUF PH-ÄNDERUNGEN

Die chemischen Verhältnisse, allen voran der pH-Wert, üben einen starken Effekt auf die Bodenbakterien aus. „Die landwirtschaftlich genutzten Böden besitzen eine große bakterielle Biodiversität – verglichen mit den Böden, die nicht für die Landwirtschaft genutzt werden“, betont Dr. Griffiths. Im Vergleich zu Regenwürmern und Bodenpilzen reagieren Bakterien wenig auf die Bodenbearbeitung und die darauf wachsende Kulturart. „Unsere wichtigste Erkenntnis ist, dass die mikrobiellen Gemeinschaften vorhersagbar sind. Das widerspricht bisherigen Vorstel-



3



4



5



6

1 Der Effekt der Inokulation mit Rhizobien ist bei den Lupinen deutlich zu sehen.

Foto: Noëlle Amarger

2 In einer Handvoll Boden sind zehnmals mehr Mikroorganismen enthalten als Menschen auf der Erde leben. *Foto: Böhling*

3 Professor Rainer Borriss zeigt, wie *Bacillus amyloliquefaciens* die Wurzeln besiedelt.

4 Professor Borriss und Dr. Kristin Diétel begutachten eine Probe mit *Rhizoctonia solani*, die mit *Bacillus amyloliquefaciens* bekämpft werden soll. Das ist eines der Ziele des GenoMik-Projekts „PATHCONTROL“, an dem ABITEP beteiligt ist.

5 Dr. Griffiths hat die Mikroorganismen von 233 britischen Bodenparzellen untersucht.

6 Über die Rhizobien wird die Pflanze mit Stickstoff versorgt; das von der Mykorrhiza gebildete Glomalin wirkt wie ein Klebstoff zwischen den Wurzeln und den Bodenpartikeln.



lungen einiger Leute.“ In den nächsten Jahren hofft der Wissenschaftler weitere Fragen zu beantworten, seien es die Auswirkungen der Mikroflora auf die landwirtschaftliche Produktivität, den Kohlenstoffhaushalt, die Emission von klimaschädlichen Gasen, die genetischen Ressourcen, die Reinhaltung des Grundwassers usw.

GENOMFORSCHUNG

Ein wesentlicher Fortschritt ist durch die Genomanalyse der Mikroorganismen zu erwarten. Das Kompetenznetzwerk Genomik, an dem deutschlandweit 22 Forschergruppen beteiligt sind, hat das Genom von 30 nützlichen Arten entschlüsselt. Das Zentrum für Biotechnologie der Universität Bielefeld (CeBiTec) hat sich dabei auf neun für die Landwirtschaft relevante Bakterien konzentriert. „Aus den Genomdaten ergeben sich Hinweise darauf, ob ein Organismus phytopathogen ist oder nicht“, sagt Dr. Werner Selbitschka: „Abiotische Umweltfaktoren, wie zum

Beispiel Temperaturänderungen, spielen generell eine wichtige Rolle beim An- und Abschalten von Pathogenitätsgenen.“

Den Wissenschaftlern geht es nicht nur um die Identifizierung der verschiedenen Arten, sondern auch um deren Gesamtverhalten im Boden, in Biogassubstraten oder in Silagen. Derartige Metagenomanalysen eignen sich beispielsweise, um positive oder negative Einflussfaktoren auf die Futterqualität oder die Gasausbeute abzuschätzen. Die beiden wichtigsten Vertreter in Biogasfermentern sind die Clostridien und Methan-Mikroben. Die Clostridien-Klasse besteht aus etlichen Spezies, die nach Angaben von CeBiTec-Forscher Dr. Andreas Schlüter für den Aufschluss der pflanzlichen Zellulose von entscheidender Bedeutung sind. Hingegen konnten die Erreger des Botulismus in den untersuchten Fermenter-Proben nicht nachgewiesen werden, wohl aber der Toxinbildner *Clostridium perfringens*.

Derzeit arbeitet das Kompetenznetzwerk an der Umsetzung der Forschungsergebnisse in die Praxis; dabei wird u.a. die biologische Bekämpfung von *Rhizoctonia solani* durch *Bacillus amyloliquefaciens* (früher bekannt als *Bacillus subtilis*) untersucht. Dieses Bodenbakterium ist eines der vollständig entschlüsselten Arten und zählt zu den Hoffnungsträgern der biologischen Bekämpfung von bodenbürtigen Schaderregern, erklärt Professor Rainer Borriss. Der frühere Leiter der Bakteriengenetik an der Humboldt-Universität und jetzige Forschungschef von ABiTEP



» Der Boden zählt zu den wichtigsten Ressourcen auf der Erde. Sein Schutz ist für das Überleben der Menschheit von zentraler Bedeutung.« Dr. Carlos Garbisu

hat das Genom dieser Bakterienart entschlüsselt. Das Berliner Biotech-Unternehmen arbeitet seit 20 Jahren an der Entwicklung von biologischen Pflanzenschutzpräparaten. „Durch Anwendung des natürlichen Bodenbakteriums *Bacillus amyloliquefaciens* kann eine beträchtliche Einsparung konventioneller Agrochemikalien erreicht werden“, so Professor Borriss. Das Bakterium bildet Stoffwechselprodukte, die Schadpilze und Nematoden unterdrücken können. Überdies löst es eine induzierte Resistenz in den Pflanzen aus und fördert das Wachstum. Neben den bestehenden biologischen Pflanzenstärkungsmitteln und Bodenhilfsstoffen will ABiTEP ein biologisches Fungizid zur Anmeldung bringen, das die Keimung von Pilzsporen verhindert.

RESISTENZEN UND TOXINE

Ein anderes Forschungsziel der CeBiTec-Forscher ist die Untersuchung von Klärschlamm auf das Vorkommen von Antibiotika

resistenten Genen. In zwei Becken einer Kläranlage konnten demnach 140 resistente Gene nachgewiesen werden. „Nach unserem besten Wissen ist das die erste Studie, bei der Resistenzgene nachgewiesen wurden, die die Resistenz für alle bekannten Antibiotikaklassen übertragen“, streicht Dr. Schlüter heraus. Demnach eignen sich die bestehenden Reinigungsprozesse in den Kläranlagen nicht, um das Spektrum an Resistenzgenen deutlich zu verringern.

Dass Fremdstoffe einen großen Einfluss auf die bestehende Mikroflora im Boden haben können, zeigen zum Beispiel die Untersuchungen über die Auswirkungen der Glyphosatanwendung. Auf einer Fachtagung in Seddin bei Berlin stellten ein US-amerikanischer und zwei deutsche Wissenschaftler ihre Ergebnisse vor. „Viele Herbizide wirken wie Chelate“, sagt Professor Don Huber von der Purdue-Universität, das heißt sie fixieren für eine gewisse Zeit bestimmte Elemente. „Das Glyphosat fixiert nicht nur einen Nährstoff, sondern alle Kationen“, so Professor Huber. Besonders gut dokumentiert ist diese Chelat-Wirkung beim Mangan. Dadurch kann die Mangan-Verfügbarkeit eingeschränkt werden, so dass einerseits die Pflanzenbestände, andererseits die nützlichen Mikroorganismen unter Mangelercheinungen leiden. Der Wissenschaftler konnte in vielen Versuchen nachweisen, dass sich die Mikroflora im Boden verschiebt. Fusarien werden gefördert; Pseudomonas-Arten hingegen gehemmt.



3



4



5



6

1 Vom Pansen einer Holsteinkuh zum Wirtschaftsfaktor. Das von BASF-Forschern isolierte Bakterium *Basfia succiniciproducens* bildet Bernsteinsäure.

Foto: BASF

2 Durch das Pflügen werden die Mykorrhiza-Pilze beeinflusst, nicht jedoch die Bakterien. Foto: Böthling

3 Die kontaminierten Böden sollen mit Hilfe von spezialisierten Mikroorganismen gereinigt werden, erläutert Dr. Garbisu.

4 Über die Messung der Bodenatmung wird die Aktivität der Mikroorganismen im Boden ermittelt.

5 Am Biozentrum der Universität Hamburg arbeitet Dr. Pommerening-Röser mit dem weltweit größten Bestand an Ammoniak-oxidierenden Bakterien.

Foto: Kottmeyer.

6 Mit seinen Versuchen will das Agrarforschungsinstitut Neiker-Tecnalia auch die Auswirkungen der Bewirtschaftungsform auf die Mikrobiologie des Bodens messen.

WAS BAKTERIEN ALLES KÖNNEN

- BASF-Forscher haben aus dem Pansen von Holsteinkühen ein Bakterium isoliert, welches Bernsteinsäure bildet; sein Name; *Basfia succiniciproducens*. Bernsteinsäure ist ein wichtiger Rohstoff für die chemische Industrie.
- *Geobacter sulfurreducens* bildet metallische Nanodrähte und kann Strom leiten. Auf diese Weise können Schwermetalle und selbst Uran biologisch gebunden werden.
- Im Innern von Pappeln lebende Bakterien können das Wachstum um bis zu 50 % beschleunigen.
- Die Mikroorganismen verfügen über ein großes Waffenarsenal. Ein bizarres Beispiel ist der „Leuchtende Tod“, bei dem Nematoden Insektenlarven mit einem Pestverwandten Bakterium infizieren. Bei ihrer Vermehrung produzieren die Bakterien das Enzym Luciferase, wodurch die Kadaver der Opfer zu leuchten beginnen.
- Das sog. „Bauchgefühl“ rührt möglicherweise von Bakterien her. Durch Änderung der natürlichen Darmflora können Mäuse ängstlicher und sogar depressiv werden.
- Bakterien sind vermutlich für den Hagel mitverantwortlich. Im innersten Kern von Hagelkörnern haben Wissenschaftler hohe Bakterienkonzentrationen nachgewiesen.
- Extremophile Mikroorganismen überleben in der antarktischen Wüste, im Salz des Toten Meers, im Innern von Gesteinen, an den Wänden der Tschernobyl-Ruine oder bei Temperaturen bis zu 121 °C in Vulkanschloten.



Spore des Endomykorrhizapilzes
Glomus mosseae
Photo: François Le Tacon

Zu dieser Beobachtung passt, dass viele Pflanzenkrankheiten durch einen Mangel an Nährstoffen hervorgerufen werden. Hier schließt sich der Kreis: viele Mikroorganismen fördern die Aufnahme von Nährstoffen durch die Wurzel.

DAS NÜTZLICHE FÖRDERN

Am besten dokumentiert ist die Stickstoffbindung der Rhizobien. Dagegen wird die 230 verschiedene Arten umfassende Mykorrhiza immer noch unterschätzt und zu stark auf die Förderung der Phosphor-Aufnahme eingeeengt. Das die Böden durchziehende Pilzgeflecht fördert die Krankheitstoleranz, schützt die Bestände bei Trockenheit und verbessert die Bodenstruktur. Das in der Mykorrhiza enthaltene Glomalin ist einer der wichtigsten Kohlenstoffspeicher in den Böden. Im Boden wird dreimal soviel Kohlenstoff gespeichert wie in der Atmosphäre. Wer die Mykorrhiza fördern möchte, sollte auf pfluglose Bodenbearbeitung und vielseitige Fruchtfolgen setzen. Je reichhaltiger die Mikroflora im Boden desto mehr Nährstoffe können genutzt werden, wobei sich gleichzeitig auch die Umsetzungsrate erhöht.

Zwischen den verschiedenen Partnern der Pflanzen bestehen enge Beziehungen. Professor Jean Dénarié vom INRA-Forschungszentrum in Castanet-Tolosan und seine Mitarbeiter haben festgestellt, dass die Signalstoffe, die die Rhizobien erzeugen um

die Knöllchenbildung in den Wurzeln der Leguminosenarten vorzubereiten, auch die Besiedlung mit Mykorrhiza fördern. Davon profitieren Pflanzen, die keine Symbiose mit den Knöllchenbakterien eingehen können. „Wir haben vor kurzem entdeckt, dass auch Mykorrhiza Signalstoffe produziert“, erklärt INRA-Forscherin Clair Gough: „Das beschleunigt das Wurzelwachstum und erhöht die Trockenstresstoleranz.“ Auf Grundlage dieser Arbeiten hat die Firma Novozymes ein Inokulum auf den Markt gebracht, das zu 10 % höheren Erträgen führt. In naher Zukunft kommt ein Produkt auf den Markt, welches die Mykorrhizierung an Getreide und Mais fördert. „Die Mykorrhiza vermag die Pflanzen vor bodenbürtigen Schadpilzen zu schützen“, sagt Dr. Philipp Franken vom Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau in Großbeeren bei Berlin.

Damit ist des Guten noch nicht genug. In diesem Umfeld siedeln sich Bakterien an, die die Mykorrhiza und gleichzeitig die Pflanzengesundheit fördern. Besonders effektiv funktionieren diese Gemeinschaften, wenn sie Biofilme ausbilden. Die aus mikrobiellen Zellen und Biopolymeren bestehenden Biofilme geben den Gemeinschaften eine Struktur und schützen sie. Im Vergleich zu herkömmlichen Rhizobien können sie bis zu 30 % mehr Stickstoff binden.

Dr. Andreas Pommerening-Röser vom Biozentrum der Universität Hamburg ist auf die Erforschung der Mikroorganismen spezialisiert, die am Stickstoffkreislauf beteiligt sind. Für seine Untersuchungen kann er auf den weltweit größten Bestand an Ammoniak oxidierenden Bakterien zurückgreifen. „Aufkommen und Art dieser Bakterien geben einen zuverlässigen Rückschluss über den Zustand eines Bodens.“

SCHWERMETALLE UND ORGANISCHE SCHADSTOFFE

Überdies ist das Pilznetzwerk in der Lage Schwermetalle aufzunehmen. Die Leistungen der Mikroorganismen zur Reinigung organischer Schadstoffe sind bekannt. „Die biologische Reinigung kontaminierter Böden hat ein riesiges Potenzial“, betont Dr. Carlos Garbisu vom baskischen Agrarforschungsinstitut Neiker-Tecnalia. Dabei geht es einerseits um die Biostimulation derjenigen Mikroorganismen, die die organischen Schadstoffe biologisch abbauen, andererseits um die gezielte Impfung der betroffenen Böden mit weiteren nützlichen Mikroorganismen. Jedoch sind viele der Schadstoffe durch den Ton-Humus-Komplex absorbiert und deshalb nicht abbaubar. Das Ziel ist aber nicht nur die Verringerung der Schadstoffe, sondern die Wiederherstellung der Bodenqualität. „Der Boden zählt zu den wichtigsten Ressourcen auf der Erde“, so Dr. Garbisu: „Sein Schutz ist für das Überleben der Menschheit von zentraler Bedeutung. 90 % unserer Lebensmittel werden auf Böden angebaut.“ ■



ONLINE

www.ceh.ac.uk | www.cebitec.uni-bielefeld.de | www.abitep.de | www.btny.purdue.edu | www.toulouse.inra.fr | www.igzev.de | www.biologie.uni-hamburg.de | www.neiker.net