



FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE FÜR MPG

Der Polybot testet seine Grenzen aus: Was wie eine Spielwiese aussieht, ist seine Trainingsumgebung. An den Bildschirmen im Hintergrund kontrollieren Forschende den Trainingsablauf und sorgen dafür, dass der Vierbeiner auch in der freien Natur eigenständig zurechtkommt.

AUF FRUCHTBAREM BODEN

TEXT: TOBIAS BEUCHERT

In der Landwirtschaft stehen sich Wachstum und Nachhaltigkeit scheinbar unversöhnlich gegenüber. Künstliche Intelligenz kann dazu beitragen, den Widerspruch aufzulösen. Das Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen entwickelt gemeinsam mit der Landwirtschaft einen Roboter, der Felder künftig effizient und nachhaltig bearbeiten soll.

Stefan Funke betreibt gemeinsam mit seinem Bruder einen Biobetrieb in Mittelfranken. Mit viel Handarbeit pflegen sie zwanzig Sonderkulturen, darunter Arznei- und Gewürzpflanzen, etwa Brennnessel und Zitronenmelisse. Daneben wachsen Ackerfrüchte wie Mais, Raps und Roggen. Funke steuert seinen Traktor zielstrebig über den Acker. Es gilt, keine Zeit zu verlieren. Die Aussaat muss dringend unter die Erde. Warten sie zu lange, könnte ihnen die frühsummerliche Trockenheit einen Strich durch die Rechnung machen. „Wir alle spüren den Klimawandel“, sagt Funke mit geradegaus gerichtetem Blick. So viele heftige Trockenperioden wie in den letzten Jahren habe er noch nicht

gesehen. So wie viele Landwirtinnen und Landwirte stehen die Funkes unter dem wirtschaftlichen Druck, möglichst günstig zu produzieren.

Viele Betriebe setzen daher darauf, aus demselben Boden immer mehr rauszuholen und möglichst kosteneffizient und auf großen Flächen zu produzieren. Eine im Vergleich dazu deutlich nachhaltigere Form der Landwirtschaft sind sogenannte Polykulturen. Das Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme entwickelt mit dem Polybot einen Roboter, der helfen soll, diesen kleinteiligen und abwechslungsreichen Anbau zu realisieren – zu diesem Roboter später mehr.

Die Vorteile von Polykulturen sind gut erforscht. Am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung, kurz Zalf, etwa startet im Jahr 2020 ein zehnjähriger Feldversuch namens patchCrop, bei dem die Agrarwissenschaftlerin Kathrin Grahmann und ihr Team ein Feld mit einer für konventionelle Betriebe typischen Fläche von 70 Hektar in Quadrate mit jeweils etwa einem halben Hektar unterteilen. Aktuell werden in einer Saison auf den kleinen Parzellen neun unterschiedliche

Früchte angebaut. „Langfristig machen Polykulturen Nahrungsmittel sicherer“, erklärt Grahmann. Sie streuen zunächst das Risiko. Denn bisher bauen konventionelle Betriebe auf einem großen Feld meistens nur eine Frucht an. Überhaupt entfallen ungefähr 60 Prozent der weltweiten pflanzlichen Ernährung auf nur drei Pflanzenarten: Reis, Mais und Weizen. Fällt eine Kulturart durch lang anhaltende Dürre aus, könnte in einer Polykultur eine andere Art durchhalten, etwa weil sie ihr Wasser aus tieferen Bodenschichten bezieht. „Damit dieses Konzept aufgeht, müssen wir unsere Ernährungsgewohnheiten ändern. Zurzeit landen in der EU etwa zwei Drittel des produzierten Getreides im Trog von Nutztieren“, sagt Grahmann. In Polykulturen lassen sich die dafür notwendigen großen Mengen an wenigen Futtersorten kaum erzeugen. Das heißt: weniger Fleisch und Milchprodukte, dafür mehr pflanzliche Nahrung.

Polykulturen sind auch deswegen vielversprechend, weil sie eine vielfältigere Fruchtfolge ermöglichen. Dadurch wird der Boden gesünder und fruchtbarer, als es in konventio- →

nellen Betrieben möglich ist. „Wer seine Felder intensiv und einseitig bewirtschaftet, sorgt für ein einseitiges und verarmtes Bodenbiom“, sagt Kathrin Grahmann. „Je gesünder das Bodenbiom, desto produktiver und effizienter ist auch der Boden.“ Die Mikroorganismen des Bioms zersetzen pflanzliche Überreste und reichern den Oberboden mit Mineralien an, also mit Nährstoffen für Pflanzen. Das gelingt in Polykulturen besonders gut, da ihre Böden weniger stark bearbeitet werden und die diversen Pflanzen sie unterschiedlich stark durchwurzeln, sodass die Böden gut durchlüftet werden. Der Humus, der entsteht, hat auch wegen des vielfältigen organischen Materials eine hohe Qualität, er macht die Oberschicht besonders fruchtbar. Dem gegenüber steht ein Feld, das stetig mit Nährstoffen aus Düngung versorgt wird – Pflanzen und Boden gewöhnen sich daran, sie brauchen keine Nährstoffe zu speichern. Auch in Trockenzeiten

hat die Polykultur einen Vorteil, denn ihre humusreiche Oberschicht ist formstabil und saugfähig. Ihr Boden speichert die Feuchte besser, die wiederum notwendig ist, damit die Wurzeln überhaupt erst Nährstoffe aufnehmen. Und auch im Fall von Starkregen, der infolge der Klimaerhitzung nun häufiger auftritt, dringt das Wasser tiefer in den Boden einer Polykultur ein, ohne oberflächlich abzuperlen oder die fruchtbare Schicht davonzuschwemmen.

Auch mehrjährige Blühstreifen zwischen den Parzellen einer Polykultur sind förderlich. Sie schaffen einen Lebensraum für Insekten und Mikroorganismen. Solche Streifen werden schon heute über EU-Mittel im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik Deutschlands gefördert – allerdings nur auf freiwilliger Basis und abhängig vom Bundesland. So steht es auch um die Bezuschussung kleinteiliger Feldparzellen. In Bayern etwa liegen

60 Euro pro Hektar bereit, wenn ein Feldstück kleiner ist als einen halben Hektar. Zudem lassen sich dort Gelder für vielfältige Fruchtfolgen beantragen – von 2025 an zumindest noch über *eine* von ursprünglich fünf Fördermaßnahmen. Ob das als Anreiz für landwirtschaftliche Betriebe ausreicht, eine Polykultur einzurichten, sieht Stefan Funke kritisch: „So eine Diversifizierung ergibt Sinn, aber auch wir kommen in unserem Betrieb nicht darum herum, Mais oder Gerste intensiver anzubauen. Wir stehen unter zeitlichem und wirtschaftlichem Druck. Es belastet mich, meinem Idealismus nicht folgen und eigene Initiativen nicht ausreichend umsetzen zu können“, sagt er. Auch Kathrin Grahmann sieht strukturelle Probleme: „Ein abwechslungsreicher Anbau bedeutet mehr Zeitaufwand. Es wundert mich daher nicht, dass Felder und Maschinen immer größer werden.“

Klein und autonom

Der Gegenwurf sieht kleine, flexible und immer öfter von künstlicher Intelligenz (KI) gesteuerte Landwirtschaftsroboter vor, wie sie auch das Projekt patchCrop anwendet. Einige Firmen wie Bosch, FarmDroid oder die Open-Source-Lösung FarmBot bieten bereits seit einigen Jahren solche Produkte an. Während moderne Traktoren schon heute fahrenden Computern gleichen, die mittels GPS automatisiert Felder bearbeiten, ist der Einsatz künstlicher Intelligenz auf solchen kleinen Farmgehilfen noch Neuland. Manche davon erinnern auf den ersten Blick eher an einen Mars-Rover. Studien untersuchen derzeit, ob diese allein schon dadurch die Bodengesundheit fördern, dass sie den Untergrund weniger stark verdichten als eine Großmaschine. Weiter sollen Feldroboter in Zukunft genau dann aussäen, wenn der Boden feucht genug ist, oder Unkraut Stück für Stück eliminieren, ohne den Nutzpflanzen daneben zu schaden. So ließen sich auch Pestizide vermeiden, die viele Arten im und über dem Boden dezimieren können. Der Nachteil vieler dieser Roboter ist jedoch, dass sie nur für *eine* Aufgabe vorgesehen sind.

64



FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE, FÜR MPG

Ziel erkannt: Der Greifer packt einen Apfel, der auf einer Streuobstwiese liegt, und wird ihn gleich behutsam laden.

Und genau hier setzen die Tübinger Max-Planck-Forschenden mit ihrem Polybot an. Er soll das Schweizer Taschenmesser unter den Feldrobotern werden. Der intelligente Farmroboter ist ein Prototyp auf der Basis eines Vierbeiners, den Boston Dynamics unter dem Namen Spot vertreibt. Wer ihn live bei einer Demonstration beobachtet, dürfte überrascht sein. Aus dem Gleichgewicht lässt er sich nicht so leicht bringen: Ein kräftiger Tritt von der Seite, und der Roboter fängt sich elegant und ganz ohne nachtragend zu sein. Er ist wendig und meistert jedes Gelände, auch im Freien und selbst in Hanglage. Sebastian Blaes, Entwickler am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, sagt, er habe ein solches Exemplar einmal dabei beobachtet, als es wie ein Hund durch hohes Gras jagte. Das siebenköpfige Team am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme konzentriert sich vor allem darauf, das Gehirn des Polybot zu entwickeln, das den an der Front angebrachten Arm und das Werkzeug selbst kontrolliert.

Sein erstes Training absolvierte der Polybot auf einer Streuobstwiese. Dieser Lebensraumtyp gehört zu den artenreichsten Mitteleuropas, die Bewirtschaftung ist noch immer weitgehend Handarbeit. Automatisierte Hilfe ist hier willkommen, vor allem wenn es darum geht, das herabgefallene Obst aufzulesen. Bisher sammelt der Polybot größere Früchte wie Äpfel oder Birnen nach einem fest einprogrammierten Muster ein: Ringsum angebrachte Kameras und eine Kamera am Greifarm registrieren die herumliegenden Äpfel und ihre Umgebung, und der Computer berechnet laufend die Position des Greifers und dessen Entfernung zum Apfel. Im Labor und auf Kunstrasen funktioniert das bereits ganz gut – ist aber etwas wacklig. Und wenn eine Person im Weg steht, interessiert das den Algorithmus bisher herzlich wenig: Der Roboter rempelt sie einfach an.

Das Team trainiert den Polybot nun mit künstlicher Intelligenz für den Einsatz in der echten Welt. „Dabei gehen wir dem Greifarm buchstäblich selbst zur Hand und zeigen ihm, wie er einen Apfel greifen soll“, sagt Wieland



FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE FÜR MPG

Auge in Auge: Wieland Brendel kontrolliert ein Beikrautpflänzchen, das der Roboter mithilfe eines neu entwickelten Werkzeugs entfernt hat.

Brendel, der Leiter der Forschungsgruppe für robustes maschinelles Lernen. In der Fachsprache heißt dieses Vorgehen *supervised learning*, zu Deutsch: überwachtes Lernen. Dahinter steckt ein maschineller Lernalgorithmus, welcher über Sensoren und Kameras am Greifer und ringsum alles mitverfolgt, während

AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Der KI-gesteuerte Farmroboter Polybot soll die Landwirtschaft nachhaltiger gestalten, Polykulturen realisieren und damit gesündere Böden und eine diversifizierte Ernte ermöglichen. Konventionelle Maschinen sind zu groß oder zu spezialisiert.

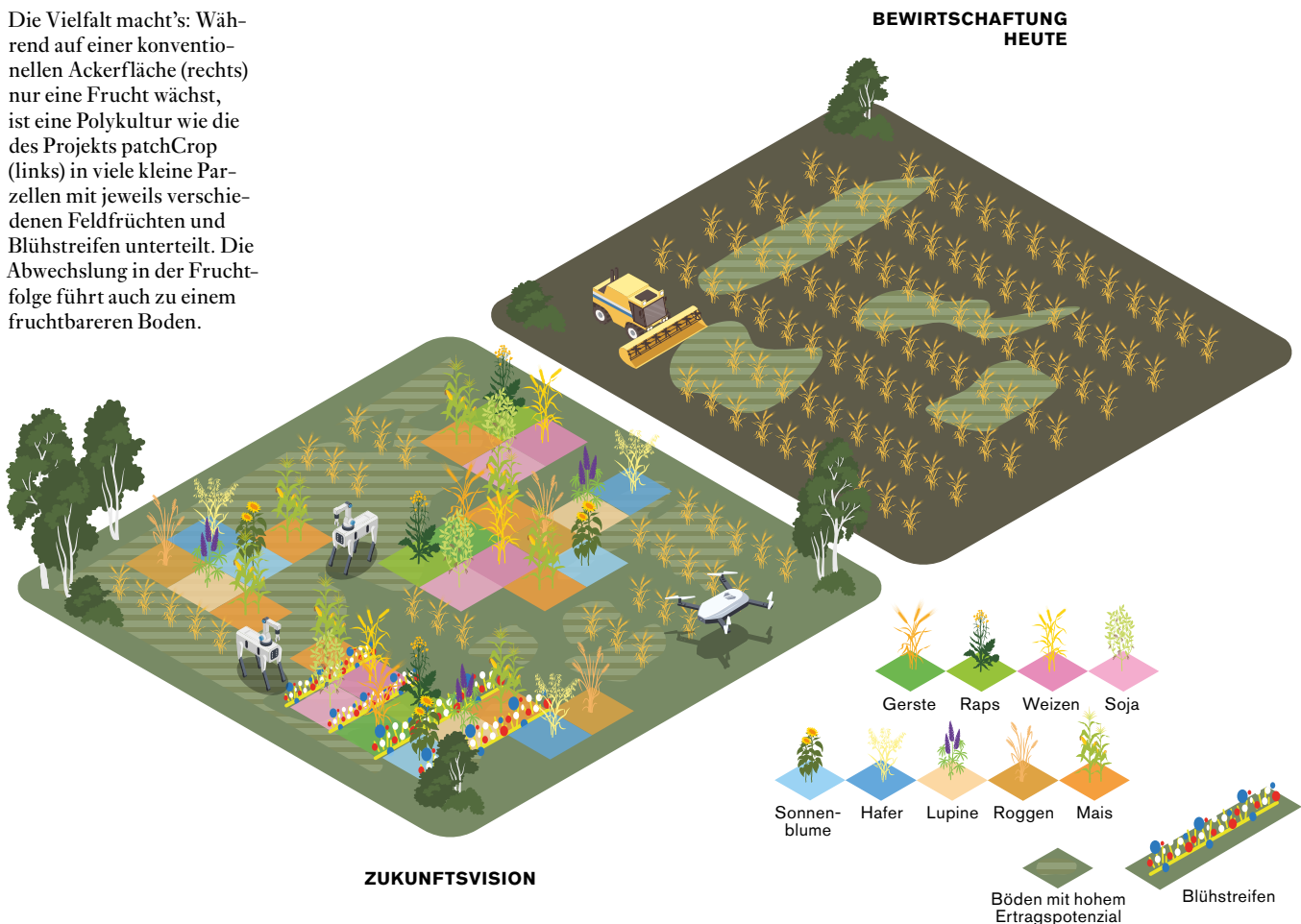
Ein abwechslungsreicher Anbau kostet Zeit und Personal. Mehrere Polybots könnten Abhilfe schaffen, indem sie alle nötigen Aufgaben bewältigen.

Das Team des Polybot setzt auf eine enge Zusammenarbeit zwischen Forschung und Landwirtschaft, damit sein Produkt den spezifischen Bedürfnissen auf dem Feld entspricht.

Sebastian Blaes den Greifarm langsam zu einem Apfel hin bewegt. Immer wieder manipuliert Blaes die verschiedenen Gelenke so, dass der Arm eine möglichst effiziente Bewegung zum Apfel ausführt. Eben so, wie sie auch ein Mensch ausführen würde. Je mehr die Forschenden den Roboter durch diese Demonstrationen trainieren, desto zielgenauer wird der Polybot dann nach dem Obst greifen, wenn das Training abgeschlossen ist. Woher der maschinelle Lerncode „weiß“, was einen Apfel ausmacht, das lässt sich bei dieser Trainingsmethode übrigens nicht genau erklären. Relevant könnten die Form des Apfels sein, seine glatte Oberfläche oder auch die Tatsache, dass etwas annähernd Kugelförmiges mit Stiel im Gras liegt.

Ist der Roboter fertig trainiert, sollte er natürlich auch dann arbeiten können, wenn schlechtes Wetter aufzieht, Regentropfen über die Linse rinnen oder die Sonne ihre Position ändert. Der Algorithmus darf dann nicht aus dem Konzept kommen, obwohl die Kameras einen Apfel bisher womöglich nur bei besten Lichtverhältnissen gesehen haben. Die Forschenden müssen das Gehirn der Maschine also unter verschiedenen Bedingungen trainieren. Daher auch die Bezeichnung der Forschungsgruppe: Robust Machine Learning. →

Die Vielfalt macht's: Während auf einer konventionellen Ackerfläche (rechts) nur eine Frucht wächst, ist eine Polykultur wie die des Projekts patchCrop (links) in viele kleine Parzellen mit jeweils verschiedenen Feldfrüchten und Blühstreifen unterteilt. Die Abwechslung in der Fruchtfolge führt auch zu einem fruchtbareren Boden.



GRAFIK: GCO NACH FELD 01/2022, LEIBNIZ-ZENTRUM FÜR AGRARLANDSCHAFTSFORSCHUNG (ZALF) E.V.

Die Streuobstwiese ist aber nur *ein* Anwendungsgebiet. Die Tübinger rüsten den Roboter gleichzeitig für seinen Einsatz auf Polykulturen. Die hauseigene Feinmechanik-Werkstatt entwickelt diverse Werkzeuge, mit denen der Roboterarm pflügen, säen oder unerwünschte Beikräuter aus dem Boden ziehen kann. Das Training läuft nach demselben Schema ab. Auf einem Feld nehmen sie den Roboterarm an die Hand und leiten ihn an, wie er zunächst sanft den Spitzweggerich, ein Beikraut, ansteuert, um ihn dann mit einem kurzen Ruck aus dem Boden zu rupfen.

Aber selbst wenn der Prototyp bei Wind und Wetter nicht nur den Spitzweggerich, sondern auch andere Beikrautarten inmitten der Nutzpflanzen erkennt, reicht ein einzelner Roboter nicht aus. Wer viele Menschen mit dem agrarökologischen Ansatz ernähren will, muss große, in viele Parzellen unterteilte Flächen wie die von patchCrop präzise bearbeiten. Es

bräuchte einen ganzen Schwarm an Polybots. Das kommt einem Paradigmenwechsel in der Landwirtschaft gleich. „Wenn es funktioniert, wäre der Gewinn riesig“, sagt Maike Kaufman, Innovationsberaterin am Max-Planck-Institut. Sie sorgt dafür, dass das Projekt den Sprung vom Labor in die Realität schafft. Noch ist all das aber eine Vision. Den Entwicklerinnen und Entwicklern geht es erst mal darum, ein Produkt zu schaffen, das wirklich hilft und nicht nur rumsteht. „Wenn wir mit der Programmierung fertig sind, soll der Polybot einen Hof mit einer Palette an Anwendungsmöglichkeiten betreten“, so Brendel. Er soll genug aus der Praxis gelernt haben, sodass es, egal auf welchem Acker, nur wenige Anweisungen in der Programmautomatik braucht, etwa: Aussaat – Zuckerrübe. Es lohnt sich dann kaum, ihn herumstehen zu lassen. Der Roboter ist Tag und Nacht einsatzbereit. „Je mehr Aufgaben er übernimmt, desto kreativer kann ein Landwirt sein und mit geringem Ri-

siko experimentieren, zum Beispiel neue Früchte pflanzen“, sagt Wieland Brendel. „Ökologisch erzeugte Produkte müssen bezahlbar sein und trotzdem ausreichende Gewinne abwerfen.“

Wissenschaft trifft Landwirtschaft

Der Landwirt Stefan Funke dagegen sieht eine solche eierlegende Wollmilchsau kritisch: „Wie vielseitig und gleichzeitig spezialisiert kann der Roboter sein?“ Funke spricht aus Erfahrung, einen automatisierten Paprika-Ernteroboter hat er an- und wieder abgeschafft. „Die Technik funktionierte allemal unter Optimalbedingungen. Aber jeder Standort ist anders, und jede Paprika schaut anders aus“, sagt Funke. In Tübingen will man durch robustes Training dafür sorgen, dass so etwas dem Polybot nicht passiert. Das klappt aber nur, wenn sich die

Forschenden eng mit den Landwirtinnen und Landwirten abstimmen. Deshalb haben sie schon früh in der Entwicklung kleinere Höfe aufgesucht, um herauszufinden, was diese wirklich brauchen. „Zugegeben, manche sind dem Polybot gegenüber immer noch skeptisch, aber es hielt auch niemand unsere Idee für Quatsch“, sagt Maike Kaufman. Ein Landwirt hat sogar schon beim Training des Polybot geholfen und den Roboterarm genau so bewegt, wie er es tun würde. „Das hat viel Vertrauen geschaffen und war sehr hilfreich, denn ein Landwirt kennt sich natürlich viel besser mit der Arbeit aus als wir“, sagt Kaufman.

Dieses Prinzip der Forschung im Austausch mit der Landwirtschaft verfolgt auch das Living Lab. In diesem „lebendigen Labor“ definieren Forschende des Zalf mit Landwirtinnen und Landwirten eine Forschungsfrage, die nicht nur eine, sondern beide Seiten interessiert. „Wir steuern auf völlig neue klimatische Bedingungen zu“, sagt Masahiro Ryo, Wissenschaftler am Zalf. Wie können Nahrungsmittel aus der Landwirtschaft auch in einer solchen Zukunft gesichert werden? Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler forschen zwar

bereits an Pflanzensorten, die heftige Trockenperioden besser verkraften. Dank der Genschere CRISPR/Cas ist das möglich. „Aber richtig trockenheitsresiliente Arten gibt es eben nicht. Pflanzen brauchen immer Wasser und Nährstoffe“, sagt Kathrin Grahmann. Bietet die Polykultur da eine Lösung? Eine einfache Antwort gibt es nicht, denn die Lösung hängt vom Standort ab, dem dortigen Klima, von den angebauten Früchten und vielem mehr.

Masahiro Ryo und sein Team haben daher ein KI-Modell entwickelt, das die Komplexität des Problems vereinfachen soll. In diesem Modell fließen zahlreiche Daten zusammen, darunter Analysen von Bodenproben und Klimadaten aus dem Versuchsfeld von patchCrop und Erfahrungswerte von Betrieben, die dem Computermodell per Chatbot mitteilen, welche Methoden bei ihnen funktioniert haben und welche nicht. Ein intelligenter Algorithmus sucht nach Mustern in dem Datensatz und soll schon bald vorhersagen, welche Ackerfrucht im zukünftigen Klima unter welchen Anbaubedingungen die Chance hat, zu gedeihen und gute Erträge zu bringen. Dahinter steckt eine *trustworthy*

AI, so die Fachbezeichnung. Jede KI-Vorhersage, das ist der Anspruch, muss für Praktikerinnen und Praktiker vertrauenswürdig und nachvollziehbar sein, damit diese ihre wertvollen Erfahrungen vom Feld überhaupt mit der KI teilen.

Künstliche Intelligenz lässt sich in der Landwirtschaft also vielfältig einsetzen: An Bord des Polybot erleichtert sie die Arbeit auf dem Feld und könnte Polykulturen überhaupt erst in der Breite realisieren; als Teil des Living Lab beurteilt sie sogar, ob eine Polykultur im zukünftigen Klima erfolgreich ist. Damit aber nicht genug: „Unser KI-Modell ist so umfassend, es könnte auch dabei helfen, den schwierigen Schritt vom Roboter als Einzelkämpfer zum Roboterschwarm zu gehen“, sagt Masahiro Ryo. Für die Mütter und Väter des Polybot ist es eine Herzensangelegenheit, diese Vision zu realisieren. „Vielleicht können wir die Landwirtschaft als Arbeitsplatz schon bald ein Stück attraktiver machen“, sagt Maike Kaufman. Stellenanzeigen könnten eines Tages lauten: „Fachkräfte für die Landwirtschaft gesucht (m/w/d), geregelte Arbeitszeiten und familienfreundliches Umfeld garantiert.“ ←

67

Erster! Der Polybot und sein Team haben noch viel vor. Ihr nächstes Ziel: Sie wollen Landwirtinnen und Landwirte dabei unterstützen, nachhaltig zu wirtschaften.

FOTO: WOLFRAM SCHEIBLE FÜR MPG



GLOSSAR

BODENBIOM

bezeichnet den Gesamtlebensraum des Bodens, bestehend aus Bakterien, Pilzen und aus Algen. In einem Gramm Erde werkeln bis zu eine Milliarde verschiedener Mikroorganismen, die Nährstoffe für Pflanzen aufbereiten. Pilze, die in Symbiose mit Pflanzen leben, liefern diesen Kohlenhydrate und erhalten als Gegenleistung Nährstoffe.

AGRARÖKOLOGIE

bezieht sich auf Konzepte und das Management von Agrarökosystemen. Dahinter steckt ein interdisziplinärer Ansatz mit dem Ziel sozial nachhaltiger Landwirtschafts- und Nahrungsmittelsysteme. Sie optimiert Wechselwirkungen zwischen Pflanzen, Tieren, Menschen und der Umwelt.