NEUGIERIG AUF WISSENSCHAFT

geomax

Ausgabe 33 // Herbst 2026

© magnific.com/88studio und © Polybot GmbH

# Nachhaltige Landwirtschaft –

## wie Roboter auf dem Feld helfen

**In der Landwirtschaft stehen sich Wachstum und Nachhaltigkeit scheinbar unversöhnlich gegenüber. Künstliche Intelligenz kann dazu beitragen, diesen Widerspruch aufzulösen. Am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen entwickeln Forschende gemeinsam mit Landwirtinnen und Landwirten einen Roboter, der Felder künftig effizient und nachhaltig bearbeiten soll – dank eines erfolgversprechenden Anbausystems, dem Agroforst.**

Viele Landwirtschaftsbetriebe stehen unter wirtschaftlichem Druck. Sie setzen daher darauf, aus dem Boden immer mehr herauszuholen und möglichst kosteneffizient auf großen Flächen zu produzieren. Dabei spüren sie schon lange und sehr deutlich die Folgen des Klimawandels: Dürreperioden und extreme Niederschläge mindern Erträge. Resiliente Anbauformen im Rahmen einer **nachhaltigen Landwirtschaft**, die Böden und andere natürliche Ressourcen schont, werden daher immer wichtiger. Einen Beitrag dazu könnten sogenannte **Polykulturen** leisten. Das Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme entwickelt den Polybot – einen Roboter, der helfen soll, diesen kleinteiligen und abwechslungsreichen Anbau zu realisieren.

Am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung startete um das Jahr 2020 ein zehnjähriger Feldversuch namens patchCROP, bei dem die Agrarwissenschaftlerin Kathrin Grahmann und ihr Team eine Parzelle mit einer Fläche von 70 Hektar in 30 Quadranten unterteilen **(Abb. A)**. Aktuell werden dort in einer Saison neun unterschiedliche Feldfrüchte auf den kleinen Parzellen verteilt angebaut. „Langfristig machen Polykulturen Nahrungsmittel sicherer“, sagt Grahmann. Sie streuen vor allem das Risiko. Denn bisher bauen konventionelle Betriebe pro Saison meist nur eine Feldfrüchte auf einer bestimmten Fläche an. Überhaupt entfallen etwa 60 Prozent der weltweiten pflanzlichen Ernährung auf nur drei Pflanzenarten: Reis, Mais und Weizen. Fällt eine Kulturart etwa durch langanhaltende Dürre aus, könnte in einer Polykultur eine andere durchhalten, weil diese ihr Wasser aus tieferen Bodenschichten bezieht. „Damit das Konzept aufgeht, müssen wir alle unsere Ernährungsgewohnheiten ändern. Zur Zeit landen in der EU rund zwei Drittel des produzierten Getreides im Trog von Nutztieren“, sagt Grahmann. Auch um die Flächen effizienter nutzen zu können, heißt das: weniger Fleisch, weniger Milchprodukte, mehr pflanzliche Nahrung.

## VIELFALT AUF DEM FELD

Polykulturen sind auch deswegen so vielversprechend, weil der Anbau mehrerer Kulturen je Saison und Fläche den Boden bei einer wenig intensiven Bearbeitung gesünder und fruchtbarer macht als eine konventionelle Bewirtschaftung. „Wer seine Felder intensiv und einseitig bewirtschaftet, sorgt für ein einseitiges, verarmtes **Bodenbiom**“, sagt Kathrin Grahmann. „Und je gesünder das Bodenbiom, desto produktiver und effizienter ist der Boden.“ Die Mikroorganismen des Bioms zersetzen pflanzliche Überreste und reichern den Oberboden bis zu einer Tiefe von einigen Dutzend Zentimetern mit Mineralstoffen an. Und nur mit diesen Mineralstoffen wachsen Pflanzen.

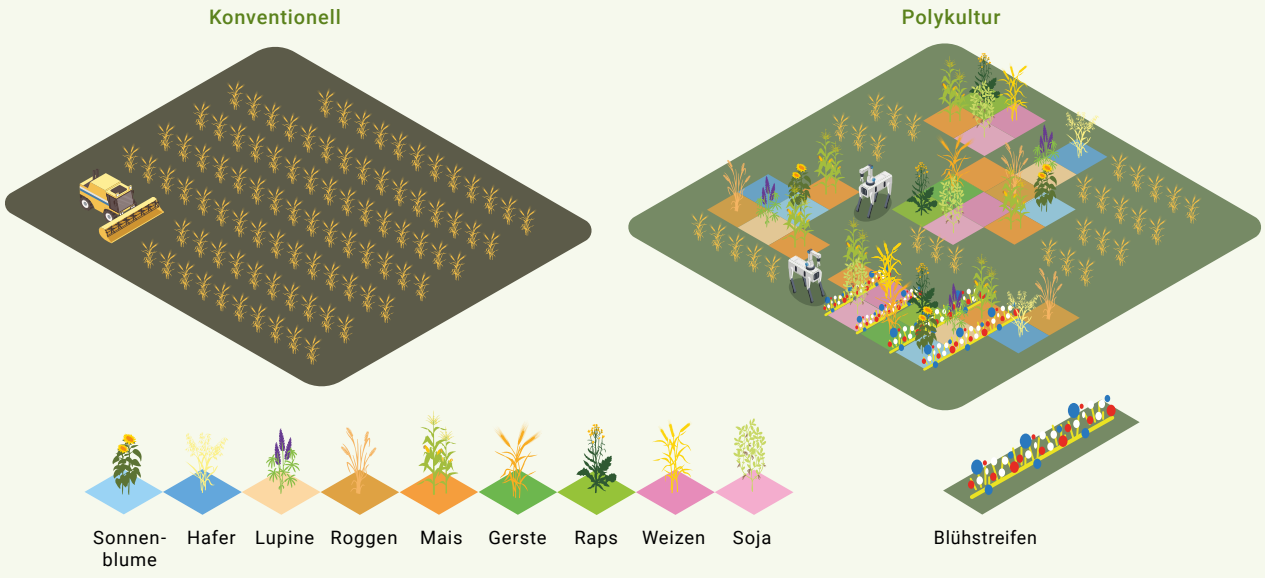
In Polykulturen fällt den Mikroorganismen die Arbeit besonders leicht, wenn dort Böden weniger stark bearbeitet werden und verschiedene Pflanzen die Erde unterschiedlich stark durchwurzeln und insgesamt gut durchlüften. Der **Humus**, der dabei entsteht, hat auch wegen der vielfältigen organischen Substanz eine hohe Qualität und macht die Oberschicht besonders fruchtbar. Demgegenüber steht ein Feld, das ausgelaugt ist und stetig gedüngt werden muss. Die Polykultur liefert hingegen gerade auf Durststrecken nachhaltige Reserven. Die Klimaerhitzung sorgt aber nicht nur für lang anhaltende Trockenheit, sondern auch für heftigen Starkregen. Hier hat der Humus, wie er in Polykulturen entsteht, einen weiteren Vorteil: Er ist formstabil und saugfähig. Das Wasser hat eine bessere Chance, tiefer einzudringen und perlt nicht oberflächig ab oder schwemmt fruchtbaren Boden davon.

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. Viele Landwirtinnen und Landwirte aber zweifeln an der Umsetzbarkeit solcher alternativer Anbaumethoden, weil sie unter wirtschaftlichem Druck stehen. Auch Kathrin Grahmann sieht strukturelle Probleme: „Ein abwechslungsreicherer Anbau bedeutet mehr Zeitaufwand. Es wundert mich daher nicht, dass Felder und Maschinen immer größer werden.“

## AGROFORSTSYSTEME – SCHON HEUTE UMSETZBAR

Ein Team des Max-Planck-Instituts und der Universität in Tübingen schlägt daher einen Kompromiss vor. Dieser soll auf den bestehenden landwirtschaftlichen Flächen einfacher umsetzbar sein als ein durchgehend zerstückelter Acker wie im patchCROP-Projekt. Trotzdem sollen die Flächen wichtige Ökosystemdienstleistungen erbringen und klimaresilienter sein als ein gewöhnlicher Acker, auf dem pro Saison nur eine Pflanzenart wächst. Wie das in der Praxis aussehen könnte, zeigen **Agroforstsysteme (Abb. B)**. Diese haben gegenüber Polykulturen, die eine Zerstückelung des Ackers in kleine Parzellen vorsehen, einen entscheidenden Vorteil: „Landwirtinnen und Landwirte würden sich schwer tun, von heute auf morgen alles auf einen kleinstteiligen Anbau umzustellen“, sagt Paul Hofmann. Der Wissenschaftler hat Ökologie und Landwirtschaft studiert und arbeitet am Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme. „Im Agroforst lässt sich der bestehende Fuhrpark einfach weiternutzen.“ Die Ackerstreifen sind immer noch breit genug, ein Mähdrescher fährt dort wie gewohnt auf und ab. Worauf sich Hofmann und sein Team am Max-Planck-Institut konzentrieren, sind die Grünstreifen dazwischen. Denn in bisher existierenden Agroforstsystemen sind diese deutlich weniger stark diversifiziert, als es das Team des Forschungsprojekts plant. Auf dem Pionierbetrieb Hof Sonnenwald im Naturpark Schwarzwald sollen in den Streifen 20 oder gar 30 mehrjährige Arten in unterschiedlichen Höhen oder Schichten wachsen – von Arznei- und Gewürzpflanzen auf unterster Ebene über Beerensträucher, schnell wachsende Pflanzen, die für reichlich Biomasse sorgen, bis hin zu Edelkastanien oder Apfelbäumen. Dieser mehrstöckige Aufbau erlaubt eine hohe Artenvielfalt auf den schmalen Streifen. Das Forschungsteam möchte herausfinden,

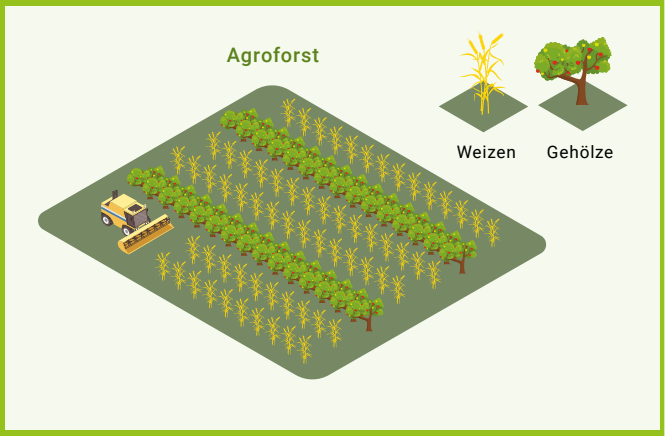
**ABB. A | DIE MISCHUNG MACHT'S**




Während auf der konventionellen Ackerfläche (links) nur eine Frucht wächst, ist eine Polykultur wie im Projekt patchCROP (rechts) in viele kleine Parzellen mit jeweils verschiedenen Feldfrüchten und Blühstreifen unterteilt.

© GCO nach Feld 01/2022, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V.

**ABB. B | RESILIENTE LANDNUTZUNG**




Agroforstsysteme sind Acker- oder Grünlandflächen, die von Gehölzstreifen (wie etwa Pappeln, s. Bild links) durchzogen sind. Häufig werden Bäume und Sträucher kombiniert. Die Ackerflächen dazwischen lassen sich mit konventionellen Maschinen bewirtschaften.

© Foto: Tobias Hoppe

wie sich dieses zerteilte System, das komplexer ist als ein durchgehender Acker, möglichst effizient bewirtschaften lässt.

## ROBUST UND KLIMAFREUNDLICH

Der Boden in Agroforstsystemen hat eine höhere Biodiversität als herkömmliche Ackerflächen. Zudem ist er von unterschiedlichen Wurzelsystemen durchzogen. Damit speichert er Wasser zuverlässiger, und die hochwachsenden Bäume spenden Schatten und kühlen ihre Umgebung. Das alles macht den Anbau resilienter gegenüber lang anhaltender Trockenheit und Hitze sowie extremen Niederschlägen, die infolge der Klimakrise häufiger und heftiger werden. Zudem bieten die unterschiedlichen Pflanzen einen Rückzugsraum für Insekten und andere Nützlinge. Wie genau das System aufgebaut sein muss, damit es funktioniert, erforscht ein Team unter Leitung der Universität Tübingen, an dem auch Kathrin Grahmann beteiligt ist. Sie steuert ihre Erfahrungen zu Polykulturen und Bodengesundheit bei, und Forschende vom Max-Planck-Institut für Biogeochemie in Jena berechnen, wie ein reicheres Bodenbiom mehr Kohlenstoff speichert. Während aus dem Boden eines konventionellen Ackers pro Jahr etwa eine Tonne $CO_2$ austritt, speichern Agroforstsysteme je nach Artenreichtum zwischen 1,5 und 10 oder gar 20 Tonnen $CO_2$ pro Jahr und Hektar. „Die verschiedenen Pflanzenarten wählen wir so aus, dass sie sich funktional optimal ergänzen“, sagt Paul Hofmann. Aber: Keine Großmaschine könnte es mit mehrstöckigen Systemen aufnehmen. Und für eine Pflege der Agroforststreifen von Hand fehlen Geld und Arbeitskräfte.

## ROBOTIK-HOFHELFER

Abhilfe schafft modernste Technik, die sich gerade rasant entwickelt: kleine, flexible und mithilfe von **künstlicher Intelligenz** (KI) gesteuerte **Landwirtschaftsroboter**. Der Vorteil: Sie sind agil und flexibel und sollen es ermöglichen, komplexe mehrstöckige Agroforststreifen autonom zu bewirtschaften. Während moderne Traktoren fahrenden Computern gleichen, die mittels GPS automatisiert Felder bearbeiten, ist der Einsatz neuester KI-basierter Trainingsmethoden bei solchen kleinen Farmgehilfen noch Neuland. Bereits am Markt existierende Agrarroboter der alten Generation erinnern auf den ersten Blick oft an einen Mars-Rover. Studien untersuchen noch, ob diese alleine schon die Bodengesundheit fördern, indem sie den Untergrund weniger stark verdichten als eine Großmaschine. Die Feldroboter sollen in Zukunft beispielsweise genau dann aussähen, wenn der Boden feucht genug ist, oder nur einzelne problematische Beikräuter entfernen, ohne den Nutzpflanzen daneben zu schaden. So ließen sich Herbizide einsparen oder sogar ganz vermeiden. Der Nachteil vieler dieser Roboter ist jedoch, dass sie nur für eine einzige Aufgabe vorgesehen sind. Und genau hier setzen die Tübinger Max-Planck-Forschenden an. Sie arbeiten an dem Schweizer Taschenmesser unter den Feldrobotern, der mit KI-trainierten Kamera- und Sensoriksystemen die vielen Aufgaben bewältigen soll, um etwa auch einen mehrstöckigen Agroforststreifen zu pflegen und zu beernten.

Angefangen hat alles mit einem vierbeinigen Roboter. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben sich vor allem darauf konzentriert, dessen „Gehirn“ zu entwickeln, das einen frontal angebrachten Arm und das Werkzeug selbst kontrolliert. Sein erstes Training galt dem Einsatz auf Streuobstwiesen voller Apfelbäume **(Abb. C)**. Dieser Lebensraumtyp ist einer der artenreichsten Mitteleuropas. Seine Bewirtschaftung ist aber noch weitestgehend Handarbeit – genau wie es auch in Agroforstsystemen der Fall ist. Automatisierte Hilfe ist mehr als willkommen, etwa wenn es darum geht, das herabgefallene Obst aufzulesen. Im Labor und auf Kunstrasen hat das schon ganz gut funktioniert. Hier hat das Team den Vierbeiner mit KI für den Einsatz in der echten Welt trainiert. „Wir sind dem Greifarm buchstäblich selbst zur Hand gegangen und haben ihm gezeigt, wie er den Apfel greifen soll“, sagt Wieland Brendel, Forschungsgruppenleiter für robustes maschinelles Lernen. Bei diesem **supervised learning** (überwachtes Lernen, s. **TECHMAX 34**) verfolgt ein maschineller Lernalgorithmus über Sensoren und Kameras alle Vorgänge, während die Entwicklerinnen und Entwickler den Greifarm langsam zu einem Apfel hin bewegen. Immer wieder manipulieren sie die verschiedenen Gelenke des Roboterarms so, dass dieser eine möglichst effiziente Bewegung zum Apfel ausführt – eben so, wie sie auch ein Mensch ausführen würde. Nach erfolgreichem Training des dahinterliegenden KI-Modells sollte die Maschine bald eigenständig Obst auflesen oder vom Ast ernten.

**ABB. C** | **DER POLYBOT IM PRAXISTEST**

Mithilfe mehrerer Kameras registriert der Polybot die herumliegenden Äpfel und ihre Umgebung. Der integrierte Computer berechnet währenddessen laufend die Position des Greifers und seine Entfernung zum Apfel.

© Foto: W. Scheible für MPG

## EIN ROBOTER FÜR ALLES

Die Streuobstwiese war aber nur ein Anwendungsfall. Ein Teil des Teams hat sich mit der Firma Polybot GmbH selbstständig gemacht, um die Tomatenernte in Gewächshäusern mit dem Polybot zu automatisieren. Das ist eine sehr konkrete Anwendung, für die es schon heute eine breite Nachfrage gibt. Die Erkenntnisse des Teams helfen auch der Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut. Dort rüsten sie den Roboter für seinen Einsatz in Agroforstsystemen. Geplant sind diverse Werkzeuge, mit denen der Roboterarm zum Beispiel Bäume und Sträucher zurückschneiden, Beeren ernten, sähen oder unerwünschte Beikräuter aus dem Boden ziehen kann. Dem Agroforst-Forschungsteam hinter dem Polybot geht es darum, mithilfe von Robotik Anbausysteme zu ermöglichen, die vielfältig und gleichzeitig produktiv sind. „Wenn wir mit dem Training fertig sind, soll der Polybot einen Hof mit einer Palette an Anwendungsmöglichkeiten betreten“, sagt Wieland Brendel. Er soll genug aus der Praxis gelernt haben, sodass er, egal auf welchem Acker, nur wenige Anweisungen braucht: Programm Ernte - Holunder. Der Roboter ist somit vielfältig, kann in mehrschichtigen, komplexen Umgebungen agieren und ist Tag und Nacht einsatzbereit. „Je mehr Aufgaben er übernimmt, desto kreativer kann ein Landwirt sein und mit geringerem Risiko andere Früchte ausprobieren“, erklärt Brendel.

Das klappt aber nur, wenn sich die Forschenden eng mit der Praxis abstimmen. Denn wie genau ein Agroforstsystem gestaltet sein muss, damit es seine Vorteile für Bodenfruchtbarkeit, Klimaschutz und Pflanzengesundheit entfaltet, hängt vom Standort ab, dem dortigen Boden und Klima sowie der Struktur und den Vermarktungswegen eines Betriebs. Deswegen hat das Team schon früh in der Entwicklung verschiedene Höfe aufgesucht, um herauszufinden, wo der Schuh drückt. Zusätzlich kommen Stimmen aus Naturschutz, Wertschöpfungskette, Industrie und Gesellschaft zu Wort. Das Team nennt diese Art der Forschungszusammenarbeit **Living Lab** und setzt das Konzept schon mit mehreren Modellbetrieben um.

## DIGITALE ZWILLINGE PLANEN DEN ANBAU

Da so viele Interessensgruppen beteiligt sind und die Anforderungsliste an eine zukunftsfähige Form der Landwirtschaft lang ist, entwickeln die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler als Teil des Living Labs einen sogenannten **digitalen Zwilling**, der bei der Suche nach einem geeigneten Standort hilft und vorschlägt, wie dieser bestenfalls gemanagt wird. Hinter dem digitalen Zwilling steckt wiederum ein KI-Modell, in dem zahlreiche Daten zusammenfließen, darunter kamerabasierte Analysen von Boden, Klima und Pflanzen. Das Computermodell erfährt beispielsweise, welche Anbaumethoden an einem bestimmten Standort funktioniert haben und welche nicht. Ein KI-Algorithmus sucht dann nach Mustern in dem Datensalat und zeigt beispielsweise, wie ein Baum geschnitten werden sollte, damit er und die Pflanzen darunter im kommenden Jahr gedeihen und gute Erträge bringen.

KI lässt sich in der Landwirtschaft also vielfältig einsetzen: An Bord eines flexiblen, kleinen Roboters erleichtert sie die Arbeit auf dem Feld und könnte Agroforstsysteme erstmals in der Breite realisieren. Im digitalen Zwilling beurteilt sie, wie und wo ein Agroforstbetrieb mit hoher Wahrscheinlichkeit Erfolg hat. Für das Team am Max-Planck-Institut ist es eine Herzensangelegenheit, gemeinsam mit allen Beteiligen im Living Lab zum Gelingen einer nachhaltigen Landwirtschaft beizutragen.

### Schlüsselbegriffe

**Agroforstsystem, Blühstreifen, Bodenbiom, digitaler Zwilling, Humus, künstliche Intelligenz, Landwirtschaftsroboter, Living Lab, nachhaltige Landwirtschaft, Polykultur, supervised learning**

### Link-Tipps

- **Landschaftslabor patchCROP**
  **www.mpg.de/g331**
- **Agroforstwirtschaft**
  **www.mpg.de/g332**
- **Klimaanpassung durch Agroforstsysteme**
  **www.mpg.de/g333**
- **Projekt Polybot**
  **www.mpg.de/g334**
- **Vielfältige Kulturen im Ackerbau**
  **www.mpg.de/g335**

### Video-Tipps

- **Was bedeutet Agroforstwirtschaft?** ▶ YouTube
  **www.mpg.de/g336**
- **patchCROP**
  **www.mpg.de/g337**

### Audio-Tipp

- **Agroforst – Landwirtschaft und Forst verbinden**
  **www.mpg.de/g338**

Max-Planck-Gesellschaft, Abteilung Kommunikation, Hofgartenstraße 8, 80539 München | E-Mail: service@max-wissen.de | Redaktion: T. Fendt, E. Maier | Text: T. Beuchert | Gestaltung: Büro 7, www.buero7.de



CC-Lizenztexte sind unter https://creativecommons.org/licenses und im Detail bei den einzelnen Heften auf www.max-wissen.de zu finden.

MIX Papier aus verantwortungsvollen Quellen FSC® C018312