Mit Feingefühl

Ein Roboter vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme in Tübingen kann bei der Ernte helfen – und soll die Landwirtschaft verändern.

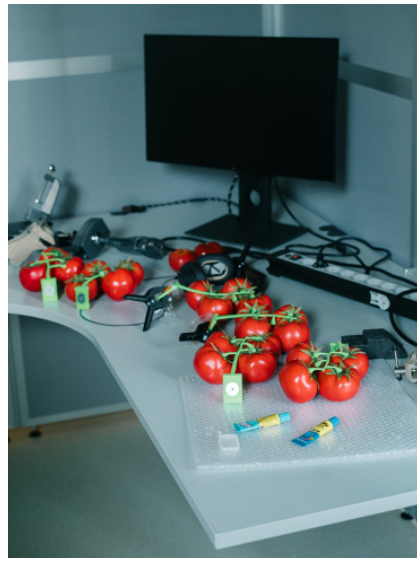
Text: Tobias Asmuth
Fotografie: Nils Böddingmeier

Der Polybot beim Training: Er kann Äpfel und Tomaten ernten

• Was ist der Apfel? In der Antike ein Symbol für die Liebe, in der Bibel eine verbotene Frucht, das Lieblingsobst der Deutschen, süß, saftig und gesund. Und: im Augenblick ein Trainingsobjekt. Suchend stapft ein entfernt einem Hund ähnelnder Roboter auf vier Beinen über den Rollrasen und schwingt seinen langen Arm, an dem 3D-Kameras, Tiefensensoren und ein Greifer angebracht sind, hin und her. Er erkennt die Äpfel auf dem Grün, aber welchen soll er zuerst greifen und in den Korb auf seinen Rücken legen?

Aufgaben, die wir Menschen ohne große Überlegung erledigen, muss der Roboter in einzelne Bestandteile zerlegen und berechnen: Die Kameras sehen die Äpfel, der Algorithmus erkennt, welcher von ihnen reif ist, und berechnet den besten Weg, ihn zu greifen. Alles rasend schnell. Nach einem kurzen Augenblick macht der Roboter drei Schritte zur Seite, senkt seinen Arm und sammelt vorsichtig einen Apfel auf. Dann den nächsten und den übernächsten.

Matscht nicht: Plastik-Obst zum Üben



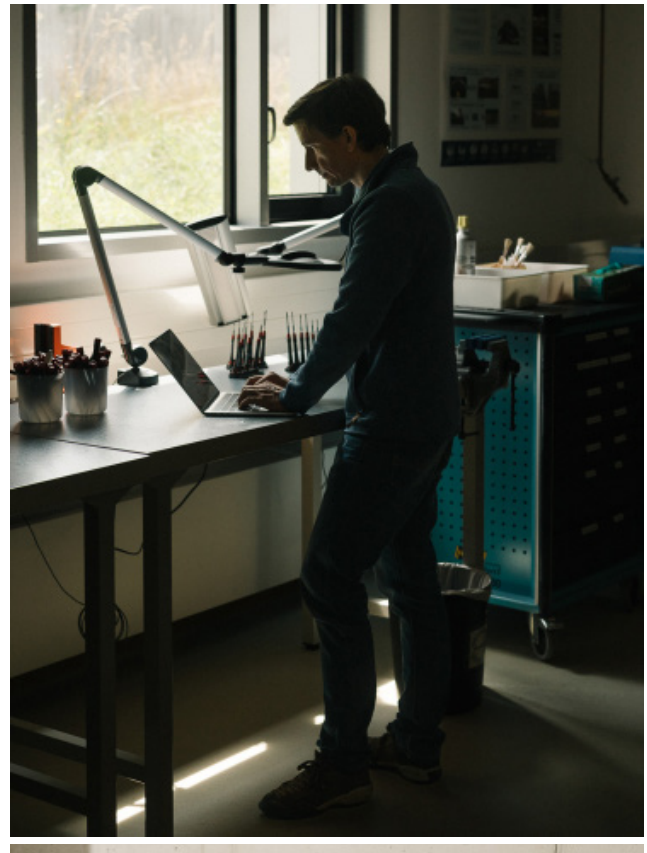
Wieland Brendel, ein jugendlich wirkender Mann in Jeans und Sweatshirt, beobachtet die Maschine zufrieden. Er ist Gruppenleiter am europäischen Forschungsinstitut Ellis und dem Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme, beide ansässig in Tübingen. Brendel will mit KI die Landwirtschaft besser an Extremwetter anpassen. „Ich habe noch mit keinem Landwirt gesprochen, der den Klimawandel kleinredet. Die sehen auf ihren Feldern, was passiert, seit zwei Jahrzehnten. Die ahnen, dass ihr System an seine Grenzen kommt."

Mit dem System meint er Monokulturen – also den jahrelangen Anbau einer Pflanzenart auf derselben Fläche. Diese Art der Landwirtschaft dominiert noch immer, obwohl Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutz und Maschinen teurer werden und das Geschäft immer risikoreicher ist. Manchmal vernichtet extreme Trockenheit bis zu 40 Prozent einer Gersten- oder Rübenernte, für Landwirte ist das eine finanzielle Katastrophe. Manche bewässern ihre Felder in Dürrezeiten. Doch die Kosten für das Wasser und für den Diesel der Bewässerungspumpen machen schnell jeden Gewinn zunichte. Mit Polykulturen könnten Landwirte Risiken vermeiden. Dann wachsen auf einem Feld nicht nur Weizen oder Mais, sondern auch Salat, Kohl, Bohnen oder Beeren. So ein Anbau ist aber arbeitsintensiv, nicht leicht zu automatisieren. Und genau da wollen Wieland Brendel und sein fünfköpfiges Team in Tübingen helfen. Ihr Roboter soll auf Feldern mit Polykulturen säen und harken, jäten und gießen, schneiden und ernten. Deshalb auch sein Name: Polybot.

Der Roboter korrigiert sich selbst

Vor dreieinhalb Jahren kauften die Forscher den ersten Roboter, das Modell Spot, vom Hersteller Boston Dynamics. Mit seinen vier Beinen und dem langen Arm kann er sich sicher in unebenem Gelände oder an einem Hang bewegen. Dann begannen sie mit dem Algorithmus-Training: Sie fütterten die KI mit Daten, Daten, Daten. Zuerst brachte das Team dem Roboter in vielen Schritten bei, Äpfel zu sammeln und vorsichtig in den Korb auf seinem Rücken zu legen. Im Keller des Instituts, auf einem Rollrasen voller Äpfel. Kamera und Bewegungen mussten erst synchronisiert und dann immer wieder korrigiert werden. Am Ende gab Polybot ein überzeugendes Debüt auf einer Streuobst-Wiese der Schwäbischen Alb.

Dieses Vorgehen heißt Supervised Learning, überwachtes Lernen. Dank dieser Methode kann der Polybot auch Unkraut jäten. Der KI-Roboter wird dabei immer besser, denn inzwischen kann er nicht nur menschliche Handgriffe in eigene Bewegungen übersetzen, sondern korrigiert sich auch selbst. „Wir zeigen dem Algorithmus mit einem Greifarm, den wir steuern, welches Unkraut er mit welcher Bewegung aus der Erde ziehen soll“, sagt Martin Kiefel, technischer Leiter des Projektes am Max-Planck-Institut. Die entsprechenden Handgriffe haben die Forscher von Landwirten gelernt. Im Idealfall können die Roboter die Bewegungen nach wenigen Hundert Vorführungen präzise imitieren. ▸



Die Polybot-Entwickler: Martin Kiefel (unten) und Wieland Brendel vom Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme

Supervised Learning (deutsch: überwachtes Lernen)
ist die gängigste Methode beim maschinellen Lernen. Dabei wird ein Algorithmus mit annotierten Daten trainiert. Soll die KI zum Beispiel lernen, Tomaten und Äpfel zu erkennen und unterscheiden, wird sie mit einer Vielzahl von beschrifteten Bildern mit Tomaten und Äpfel gefüttert. Die KI wird vom Menschen korrigiert, wenn sie Fehler macht, und lernt dann aus diesen.

Robustes Lernen
soll KI-Lernsysteme widerstandsfähig gegenüber Unsicherheiten machen. Besonders wichtig bei Anwendungen wie dem autonomen Fahren. Die Technik soll in Echtzeit Hindernisse, Straßenzustände oder Wetter-Ereignisse erkennen und angemessen darauf reagieren.

Polykultur
bedeutet, dass verschiedene Pflanzenarten auf derselben Fläche angebaut werden. Kathrin Grahmann vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung erforscht sie seit 2020 mit dem Projekt Patchcrop auf 70 Hektar im brandenburgischen Müncheberg. Stirbt eine Pflanzenart in einer der kleinen Parzellen unter Trockenheit, überlebt eine andere, weil sie früher oder später austreibt oder tiefere Wurzeln besitzt. Die Methode verringere die Gefahr massiver Ernteausfälle, außerdem schonten Polykulturen die Böden und förderten die Artenvielfalt, sagt Grahmann.

Das Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme
ist eines der führenden deutschen KI-Forschungsinstitute. An den Standorten in Tübingen und Stuttgart erforschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Grundlagen intelligenter Systeme.

Das Institut gehört zum Cyber Valley,
einem der größten europäischen Netzwerke zur Erforschung von künstlicher Intelligenz und Robotik. Das Cyber Valley wurde 2016 auf Initiative des Landes Baden-Württemberg, der Max-Planck-Gesellschaft und der Universitäten Tübingen und Stuttgart gegründet. Partner aus der Industrie sind unter anderem Amazon, Bosch, Porsche, ZF Friedrichshafen und Daimler.

Humanoide Roboter
werden werden meist zunächst virtuell als digitale Roboter trainiert. Das so erlangte Wissen wird später auf die echten Roboter übertragen. Die amerikanische Bank Goldman Sachs prognostiziert für 2035 schon 1,4 Millionen neue humanoide Roboter pro Jahr. In Deutschland arbeitet etwa die Firma Neura Robotics an den Maschinen. Laut Pitchbook, einer Datenbank mit Angaben zu Private Equity und Risikokapital, haben US-Investoren vergangenes Jahr 1,6 Milliarden Dollar in Unternehmen wie dieses gesteckt.

„Roboter waren in der Vergangenheit für eine Aufgabe programmiert, die sie in der Fabrik stur und ohne zu ermüden erledigten“, sagt Marco Huber, Professor und Wissenschaftlicher Direktor für Digitalisierung und KI am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung. Mithilfe von KI könnten Roboter nun vielfältige Tätigkeiten lernen, die Programmierer ihnen nie hätten beibringen können – in einer vor ein paar Jahren nicht für möglich gehaltenen Geschwindigkeit.

Wie viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler geht Huber davon aus, dass KI-Modelle viel besser werden, wenn sie einen Roboterkörper erhalten, mit dem sie tasten und (be)greifen können. Huber zufolge könnten Roboter dank künstlicher Intelligenz zu Maschinen werden, die ihre Umwelt wahrnehmen und verstehen. Allerdings sagt er auch: „Vor allem die simplen Tätigkeiten von Menschen können intelligente Maschinen nur schwer nachahmen.“ Während eine KI für Prozesse wie das Zusammenstellen langer Texte oder Programmieren vergleichsweise wenig Rechenpower benötigt, ist diese bei für Menschen einfachen sensomotorischen Tätigkeiten enorm hoch – etwa beim Apfelaufsammeln.

Trotzdem arbeiten Unternehmen wie 1X, Apptronik, Figure AI oder Elon Musks Tesla und auch deutsche Firmen wie Neura Robotics an menschenähnlichen Robotern, sogenannten Humanoiden. In einer Studie aus dem Jahr 2023 bewerteten alte Menschen in einer Tageseinrichtung diese als Begleiter und Assistenten sogar besser als die menschlichen Pflegekräfte. Marco Huber geht daher davon aus, dass humanoide soziale Roboter bald in der Pflege eingesetzt werden können – auch weil dort besonders viele Fachkräfte fehlen. In vielen anderen Branchen seien Roboter auf Rädern oder Schienen ausreichend und vor allem billiger, da sie keine künstlichen Gliedmaßen mit vielen Antrieben benötigen.

Einstieg im Gewächshaus

Im Mittelpunkt der Polybot-Forschung steht das Begreifen – im wahrsten Sinne des Wortes. Auf diesem Weg ist der Roboter schon weit gekommen.

Dennoch ist das Interesse verhalten: In der öffentlichen Debatte hat der Klimawandel an Bedeutung verloren. Viele Landwirte wissen zwar, dass neue Anbauformen wegen Dürre oder Starkregen notwendig wären. In der Gegenwart aber drücken die Kredite für die Landmaschinen. „In den vergangenen Jahrzehnten sind Betriebe und Felder eher ▸

größer und die Traktoren schwerer geworden“, sagt Kathrin Grahmann vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung. „Auch weil die Agrarpolitik mit ihren Subventionen eher größere zusammenhängende Anbauflächen bevorzugt hat.“ Kein Rückenwind also für den Feldroboter.

Deshalb soll er einen Umweg nehmen. Die Tübinger Wissenschaftler haben eine siebenmonatige Förderung in Höhe von insgesamt 220.000 Euro erhalten, von Sprind, der Bundesagentur für Sprunginnovationen. Mit dem Geld können sie den Weg von der Forschung bis zur Gründung eines Start-ups finanzieren. Zunächst soll ihr Roboter in Gewächshäusern zeigen, was in ihm steckt. Derzeit lernt er in einer Gärtnerei am Rande Stuttgarts, Tomaten zu ernten und in eine Kiste zu legen. Das Team sucht zudem einen Kooperationspartner in den Niederlanden für seinen Einsatz. Das Land ist weltweit führend in landwirtschaftlichen Innovationen, und dort wird das meiste Gemüse in Gewächshäusern angebaut.

„Die Bewegungen vieler Roboter wirken auf uns Menschen oft fremd, weil sie abgehackt scheinen“, sagt Wieland Brendel und greift mit kurzen Pausen nach seiner Kaffeetasse, als imitiere er C-3PO, den immer umständlichen Roboter aus „Star Wars“. Das kurze Einfrieren liegt an sogenannten Latenzen, ultrakurzen Stopps zwischen Entscheidungen und Ausführungen. Die Tübinger Forscher haben sie beim Polybot von 200 auf 60 Millisekunden verkürzt. Das ist ein wichtiger Erfolg auf dem Weg zu dessen Marktreife.

Zwar arbeiteten auch andere Unternehmen an der Automatisierung der Tomatenernte, die Tübinger sehen für den Polybot aber trotzdem gute Chancen, weil er vielseitig einsetzbar sei und bei Landwirten bislang positive Resonanz hervorgerufen habe. Gerade lerne der Roboter abgeerntete Tomatenstauden auszureißen, um Platz für neue Stauden zu schaffen. Diese Arbeit kann der Polybot auch nachts erledigen, wenn nichts los ist im Gewächshaus. Bald soll er auch Gurken und Paprika ernten können. Maike Kaufmann kümmert sich im Polybot-Projektteam als Innovationsberaterin unter anderem darum, das Geschäft voranzutreiben. „Wir wollen Ende kommenden Jahres die ersten zehn Aufträge von Betreibern von Gewächshäusern bedienen“, sagt sie. „Dabei sollen jeweils zwei bis drei Roboter im Einsatz sein.“

Der Einsatz in Gewächshäusern soll helfen, den Polybot auf den Markt zu bringen, das langfristige Ziel aber bleibt: ein Roboter für alle Arbeiten auf einem Feld mit verschiedenen Pflanzen. ▬

Maike Kaufmann ist die Innovationsberaterin im Polybot-Team. Foto oben: Martin Kiefel arbeitet an seiner geteilten Tastatur