

LANDWIRTSCHAFT

Neue Wege auf dem Acker



Klimawandel

Getreide für alle
Bedingungen

Naturschutz

Artenvielfalt entschleunigt
den Bauern

Architektur

Gewächshäuser in
der Stadt



Antje Findeklee
E-Mail: findeklee@spektrum.de

Folgen Sie uns:



Liebe Leserin, lieber Leser,
manche Menschen haben von Landwirtschaft und dem Alltag der Bauern ein leicht romantisch verklärtes Bild – doch mit der Realität hat das nur noch wenig zu tun. Längst haben moderne Technologien auf dem Acker oder im Stall ihren Platz gefunden, und Landwirte nutzen neue Verfahren und Züchtungen, um ihren Lebensunterhalt in Zeiten sich verändernder Umweltbedingungen sicherzustellen. Dazu zählt durchaus auch, dass ihre Anbauprodukte inzwischen Abnehmer in der Industrie finden oder Forscher untersuchen, wie sich Landwirtschaft in Städten verwirklichen ließe.

Eine spannende Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 13.05.2019

CHEFREDAKTEURE: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)
REDAKTIONSLINTER: Dr. Daniel Lingenhöhl
ART DIRECTOR DIGITAL: Marc Grove
LAYOUT: Oliver Gabriel, Marina Männle
SCHLUSSREDAKTION: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
BILDREDAKTION: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL: Antje Findeklee, Dr. Michaela Maya-Mrschtik
VERLAG: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStd-Id-Nr. DE229038528
GESCHÄFTSLEITUNG: Markus Bossle
MARKETING UND VERTRIEB: Annette Baumbusch (Ltg.), Michaela Knappe (Digital)
LESER- UND BESTELLSERVICE: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

BEZUGSPREIS: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
ANZEIGEN: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an service@spektrum.de.

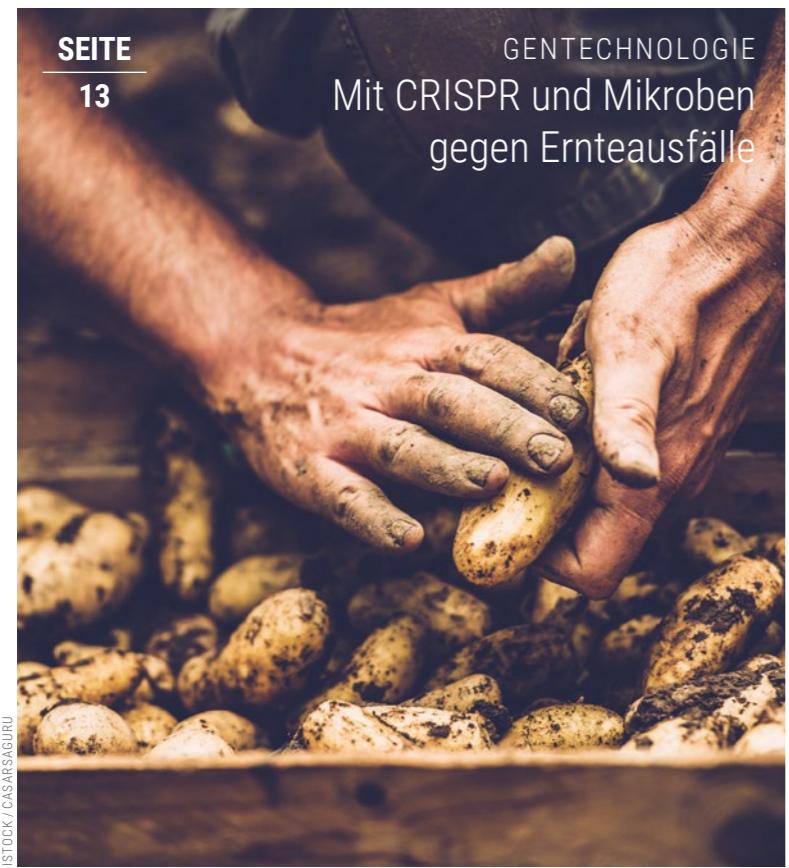
Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2019 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

SEITE
04



SEITE
13

GENTECHNOLOGIE
Mit CRISPR und Mikroben gegen Ernteausfälle



MIRIAM-DOEFF / GETTY IMAGES / ISTOCK

ZUKUNFT DER LANDWIRTSCHAFT
Sind Roboter die besseren Bauern?



GEWÄCHSHAUSTECHNOLOGIEN
Ackerbau und Viehzucht im Hochhaus



LUCA CAVALLINI / GETTY IMAGES / ISTOCK

04 KLIMAWANDEL

Getreide für alle Bedingungen

13 GENTECHNOLOGIE

Mit CRISPR und Mikroben gegen Ernteausfälle

22 ELEKTROCHEMIE

Umweltfreundlichere Düngerproduktion

27 SPRINGERS EINWÜRFE

Landwirtschaft und Datenhunger

29 ZUKUNFT DER LANDWIRTSCHAFT

Sind Roboter die besseren Bauern?

36 ROHSTOFFE

Wächst die Zukunft der Chemieindustrie auf dem Acker?

48 ÖKOBILANZ

Ist Biolandbau schlecht fürs Klima?

51 »NACHHALTIGE INTENSIVIERUNG«

Fast jede dritte Farm orientiert sich in Richtung Nachhaltigkeit

53 NATURSCHUTZ

Artenvielfalt entschleunigt den Bauern

58 GEWÄCHSHAUSTECHNOLOGIEN

Ackerbau und Viehzucht im Hochhaus

67 KLEINBAUERN

Von der Scholle geschubst



KLIMAWANDEL Getreide

für alle Bedingungen

von Roland Knauer

Auch nach 12 000 Jahren Getreideanbau sind die Züchter von Weizen noch längst nicht am Ziel. Sie suchen mit einer Mischung aus jahrtausendalten Prinzipien und den Hightech-Methoden des 21. Jahrhunderts Sorten, die zukünftigen Dürren trotzen und gefräßigen Insektenmäulern Widerstand leisten.

2018

war ein Dürrejahr, das einen guten Teil der Getreideernte Mitteleuropas vernichtet hat. Es unterstreicht die Mahnungen der Klimaforscher, nach denen solche Extremereignisse häufiger werden dürften. Das hat Züchter bestätigt, die schon seit Jahren an neuen, durreresistenten Weizensorten arbeiten.

Allerdings sollten sich die Züchter keineswegs auf die Entwicklung von Getreidesorten beschränken, die künftig auf den Feldern der Bauern besser mit Dürren zu rechtkommen. Könnte uns doch der Klimawandel noch andere Überraschungen bescheren. Vielleicht werden in Zukunft Insekten wie befürchtet massenweise über das Getreide der Welt herfallen und große Teile der Ernte vernichten. Ein vorausschauender Weizenzüchter sollte also mit dem Züchten neuer Sorten anfangen, an denen sich nicht nur die gefräßigen Mäuler der Schädlinge die Kauwerkzeuge ausbeissen, sondern die auch den Dürresommer der Zukunft standhalten.

Zusätzlich braucht ein erfolgreicher Weizenzüchter unserer Zeit für seinen Job neben den Hightech-Methoden des 21.

Jahrhunderts auch noch hellseherischen Fähigkeiten, die ihm zukünftige Trends verraten: Welche Backqualitäten könnten gefragt sein, welche Einschränkungen gibt es dann bezüglich Dünger und Pflanzenschutzmitteln? Kommt zum Beispiel hier zu Lande das in der Türkei und im Nahen und Mittleren Osten sehr beliebte Fladenbrot in Mode, braucht der Bäcker dazu einen Weizen mit ganz anderen Backeigenschaften als für Ciabatta.

Einfach aus dem Ärmel schütteln lassen sich die Zutaten für die besten Sorten also kaum. Muss doch der Züchter von der vermuteten Entwicklung der Ernährungswohnheiten über mögliche Wetterkapriolen durch den Klimawandel bis zu politischen Vorgaben an die Landwirtschaft zum Einsatz von Düngern und Pflanzenschutzmitteln einen großen Teil der Entwicklung im kommenden Jahrzehnt und darüber hinaus im Auge behalten – und sollte sich bei dieser Hellseherei möglichst keine Fehler leisten. Obendrein ist das Züchten neuer Weizensorten selbst ohne solche Einflüsse deutlich schwieriger als bei anderen Pflanzen, weil dieses für die Welternährung und die Menschen Mitteleuropas gleichermaßen immens wichtige Getreide eine kom-

plizierte Entwicklung durchlaufen hat, die umfassende Spuren in seinem Erbgut hinterlassen hat.

Unklare Vorfahren des Weizen

Vielleicht werden die Forscher ja nie genau herausfinden, wie die Jäger und Sammler der Steinzeit vor vielleicht 12 000 Jahren sich langsam in Richtung Ackerbau orientierten. Auch der exakte Ort des Geschehens lässt sich wohl nicht mehr klären. Irgendwo im »Fruchtbaren Halbmond« zwischen den heutigen Staaten Iran, Irak, Jordanien und Syrien jedenfalls kreuzten sich vielleicht schon vor einer halben Million Jahren zwei Gräser miteinander. Heraus kam der Urahn der heutigen Weizenarten, den Bauern Emmer und Forscher *Triticum dicoccum* nennen.

Einer der Vorfahren dieses auch Zweikorn genannten Getreides heißt *Triticum urartu* und ist ein sehr naher Verwandter des Einkorns *Triticum monococcum*, das bereits vor knapp 10 000 Jahren am Oberlauf des Euphrat und vor fast 9000 Jahren im biblischen Jericho angebaut wurde – und noch heute von traditionsbewussten Spezialisten zu Nudeln, Brot und Bier verarbeitet wird. Den anderen Ahnen konnten



die Forscher noch nicht dingfest machen, es muss sich aber um einen nahen Verwandten des Süßgrases *Aegilops speltoides* handeln.

Im Erbgut beider Vorfahren des Emmers lag genau wie beim Menschen und den meisten Tieren und Pflanzen ein doppelter Satz von Chromosomen vor, von dem normalerweise je eine Hälfte von einem Elternteil stammt. Der Emmer aber hat von

jedem seiner beiden Ahnen diesen doppelten Erbgutsatz behalten. Daher steckt in seinen Zellen ein vierfacher Chromosomensatz. Dieser Emmer wird mancherorts noch immer angebaut. Bekannter ist aber sein Nachkomme, der Hartweizen, aus dem vor allem in Italien, aber auch in Frankreich, Spanien und Griechenland Pasta und andere Teigwarenköstlichkeiten hergestellt werden.

GETREIDE

Äußerlich sind herkömmlicher und gentechnisch veränderter Weizen nicht zu unterscheiden – doch eine Behandlung mit dem Pestizid Glyphosat übersteht nur das GM-Getreide. Auf diese Weise entdeckten Landwirte in Oregon, dass auf ihrem Feld wächst, was dort nicht hingehört.

Sechsfacher Chromosomensatz führt nicht zur reinerbigen Sorte

Lange vor seinem Anbau durch die ersten Steinzeitbauern aber hatte der Wilde Emmer mit dem Ziegengras *Aegilops tauschii* vor ungefähr einer viertel Million Jahren eine weitere Liaison, aus der die Vorfahren des heutigen Weizens und Dinkels entstanden. Wie schon bei der Entstehung von Emmer behielten auch Weizen und Dinkel jeweils die vier Chromosomensätze des Emmers und die beiden des Ziegengrases bei. Das heutige Brotgetreide hat daher gleich einen sechsfachen Erbgutsatz. Diese extrem hohe Vielfalt ermöglicht einerseits sehr viele unterschiedliche Kombinationen. Die Züchter sehen diese riesige Spielwiese aber mit einem lachenden und einem weinenden Auge: Schließlich wollen

sie möglichst reinerbige Sorten züchten, was bei einem sechsfachen Chromosomensatz eine mehr als herausfordernde Aufgabe ist.

Es gibt aber noch ein weiteres Problem: Genau wie der Züchter im 21. Jahrhundert Sorten entwickelt, die zum Beispiel mit den Wetterunfällen des Klimawandels möglichst gut fertigwerden, hatten auch alle seine Vorgänger bestimmte Ziele vor Augen. So waren die Ähren der wilden Vorfahren unserer heutigen Weizenfamilie noch recht brüchig. Schon ein kräftiger Windstoß konnte das Korn herausschleudern, aus dem auf dem Boden bald eine neue Pflanze keimte. Für die Verbreitung der Gräser war dieser Mechanismus genial. Für die Steinzeitbauern aber bedeuteten solche leere Ähren Hunger. Also suchten sie Pflanzen mit stabileren Ähren, aus denen nicht der Wind, sondern die Bauern die Körner herausdreschen konnten.

Um dauerhaft gezüchtet zu werden, ist aber noch eine zweite Eigenschaft nötig: Die Nutzpflanze Einkorn befruchtet sich meist selbst. Daher können sich ihre wilden Vorfahren kaum mit ihr kreuzen und so den Nachkommen unter Umständen die brüchigen Ähren zurückbringen. Dank

dieser Selbstbestäubung wächst Einkorn noch heute mit festen Ähren gut auf den sandigen und armen Böden, auf denen seine wilden Vorfahren zu Hause waren. Leider ernten die Bauern auf einem 100 mal 100 Meter großen Feld allenfalls zwei Tonnen Einkorn, bei Weizen holen deutsche Landwirte dagegen rund 9 Tonnen von einem ebenfalls einen Hektar großen Acker.

Die Spreu vom Weizen trennen

Schon in der Steinzeit versuchten die Bauern daher immer die Pflanzen weiterzuzüchten, die größere Körner und Ähren hatten und so höhere Erträge garantierten. Und sie achteten noch auf weitere Eigenschaften: Beim Einkorn lösen sich ähnlich wie bei anderem »alten« Getreide wie dem Dinkel die Körner nur schwer aus ihrer schützenden Hülle. Diese Spelzen müssen daher in einem zusätzlichen Arbeitsschritt entfernt werden. Beim Weizen konnte bereits beim Dreschen die Spreu leichter vom Korn getrennt werden. Auf andere Eigenschaften achteten die Züchter dagegen weniger, von ihnen gingen daher im Lauf der Zeit einige mehr oder weniger zufällig verloren.

Manche dieser Verluste würden die Weizenzüchter des 21. Jahrhunderts gerne wieder zurückholen. So gibt es jedes Jahr massive Verluste bei der Weizernte durch Krankheiten wie die durch Eipilze ausgelöste Wurzelfäule oder durch die sehr giftigen Mutterkornpilze. Einkorn dagegen hat starke Widerstandskräfte gegen solche Schädlinge, die Züchter gerne dem Weizen zurückgeben würden.

Andreas Börner, Agrarwissenschaftler am Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), ist Herr über mehr als 28 000 Weizen- und mehr als 23 000 Gerstesaatgutproben. In Sammelaktionen in verschiedenen Weltgegenden und im Tausch mit anderen Saatgutbanken oder botanischen Gärten sowie bei vielen anderen Aktivitäten sind nicht nur Sorten aus aller Herren Länder, sondern auch die Wildformen unseres Getreides in das Vorland des Harzes gelangt und werden dort fein säuberlich geordnet in Kühlkammern bei Temperaturen von minus 18 Grad Celsius gelagert.

Das IPK ist aber weit mehr als ein Zentraldepot für alte Sorten. Untersuchen die Forscher in Gatersleben doch nicht nur die genetische Vielfalt; sie analysieren auch

die Widerstandsfähigkeit von Wildformen gegen Pflanzenkrankheiten, die unsere Ernten gefährden, und kreuzen solche Resistenzen in die herkömmlichen Weizensorten ein. Vor allem aber bekommen Züchter und andere Interessenten auf Anfrage Proben der Sorten und können damit ihre eigenen Züchtungen beginnen.

Welche Gene sorgen für Dürresistenz?

Nicht weit entfernt arbeiten einige dieser Interessenten in der Welterbestadt Quedlinburg im Institut für Resistenzforschung und Stresstoleranz des Julius-Kühn-Instituts (JKI) an neuen Technologien beim Züchten von Weizen. Institutsleiter Frank Ordon und seine Kollegen konzentrieren sich dabei auf das Erbgut dieses Getreides, das im August 2018 mit etwa 94 Prozent fast vollständig entschlüsselt wurde und das mit 17 Milliarden Bausteinen rund fünfmal größer als das Erbgut eines Menschen ist. 107 891 Gene identifizierten IPK-Forscher Nils Stein und seine mehr als 200 Kollegen aus 73 Forschungsinstituten in 20 Ländern im Weizen. Obendrein haben sich die Forscher bereits angeschaut, wie aktiv diese Gene sind, wenn die Pflanzen zum

Beispiel während einer Dürre unter Wassermangel leiden.

Ergebnisse dieser Art helfen natürlich Frank Ordon und seinen Kollegen enorm weiter. Denn sie sind genau diesen Regionen im Erbgut des Getreides auf der Spur, die dem Weizen und seiner Verwandtschaft helfen, widrigen Umweltbedingungen wie den Dürren zu trotzen. Die JKI-Forscher fahnden aber auch nach Widerstandskräften gegen Pilze, Bakterien und Viren, die jedes Jahr erhebliche Ernteschäden verursachen. Solche Schäden aber werden mit dem Klimawandel zunehmen, weil langfristig die Herbstsäfte milder werden dürften. Davon profitieren viele Insekten, die bei kalter Witterung nicht mehr unterwegs sind. Von denen wiederum knabbern nicht nur etliche Arten am keimenden Wintergetreide, viele übertragen zudem auch noch die Erreger von Pflanzenkrankheiten.

Da gibt es zum Beispiel das Weizenverzwegungsvirus WDV (Wheat Dwarf Virus), das genau genommen aus zwei unterschiedlichen Viren besteht, von denen eines Gerste und das andere Weizen befällt. Als dem Hitzesommer 2003 auch noch ein außergewöhnlich warmer Herbst folgte, konnten winzige Zikaden diese Viren of-

fensichtlich effektiv übertragen, und vor allen in Franken litt das Wintergetreide sehr. Im kommenden Jahr vergilbten die Pflanzen, viele hatten sterile Ähren und konnten so keine Getreidekörner bilden. Mancherorts fiel so die Getreideernte im Jahr 2004 komplett ins Wasser.

Weizen mit Viren lässt sich kaum behandeln

Lassen sich schon beim Menschen Virusinfektionen nur schwer behandeln, ist gegen Infektionen mit den WDV-Erregern, deren Erbgut aus einem Ring von Einzelstrang-DNA besteht, erst recht kein Kraut gewachsen. Auch Insektizide entpuppen sich als stumpfe Waffe im Kampf gegen diese Infektion, weil die sehr beweglichen Zikaden den Giften leicht aus dem Weg gehen und WDV auch unter der chemischen Keule gut übertragen können. Wenn der Klimawandel häufiger für einen warmen Herbst sorgt, dürften die Probleme mit dieser Weizenkrankheit also zunehmen.

Aus gutem Grund säen die JKI-Forscher in Quedlinburg also hunderte der in Gattersleben lagernden Weizensorten in tunnelförmigen Vertiefungen aus, die mit Vlies abgedeckt werden. Dort werden dann

Zikaden ausgesetzt. Anschließend schauen sich die Forscher das Erbgut der Pflanzen und Sorten genauer an, die diese Prozedur überlebt haben und die daher vielleicht Widerstandskräfte gegen WDV besitzen. Seit das Weizengenom identifiziert ist, fällt es ihnen viel leichter, die Erbeigenschaften einzugrenzen, die für solche Resistenzen verantwortlich sein könnten. Einen Genotypen, der WDV-Infektionen zumindest toleriert, konnten die JKI-Forscher bereits identifizieren. Nach einer solchen Infektion liefert er 60 Prozent höhere Erträge als Pflanzen ohne derartige Widerstandskräfte.

Zur Identifizierung entsprechender Sorten nutzen die Forscher modernste Technologie. So fotografieren Kameras die Pflanzen in Wellenlängen zwischen 400 und 4000 Nanometern. Mit einer Hyperspektralanalyse erkennt man auf den Bildern die Symptome von Erkrankungen schon nach zwei Tagen, während das bloße Auge erst nach einer Woche fündig wird. In den betroffenen Pflanzenteilen untersuchen die JKI-Forscher dann, welche Erbeigenschaften dort aktiv sind, und können so die Stellen im Erbgut einkreisen, die dem Getreide Widerstandskräfte gegen WDV verleihen. Sind diese Sequenzen erst einmal bekannt,

erleichtern sie die Suche nach resistenten Sorten natürlich enorm.

Mit ähnlichen Methoden suchen Frank Ordon und seine Mitarbeiter auch Sorten, die besser mit der von *Septoria-tritici*-Pilzen verursachten Weizen-Blattdürre fertig werden, die ebenfalls den Ertrag um 40 Prozent senken kann. Lässt der Klimawandel die Temperaturen steigen, vermehren die Pilze sich schneller und die Schäden nehmen zu. Obendrein sind die Erreger oft bereits gegen herkömmliche Pflanzenschutzmittel resistent. Da kommt eine von den JKI-Forschern isolierte Winterweizenlinie mit Resistenzen gegen die Weizen-Blattdürre gerade recht. In weiteren Versuchen lassen die Forscher Weizensorten in Böden wachsen, die 30 oder 70 Prozent Bodenfeuchte haben. Nach einiger Zeit sollten sich Sorten herauskristallisieren, die mit 30 Prozent Bodenfeuchtigkeit besser zureckkommen und so den mit dem Klimawandel drohenden Dürresommern wie im Jahr 2018 Paroli bieten können.

60 Prozent mehr Weizen braucht die Welt 2050

Bei diesen Versuchen sind die JKI-Forscher und ihre IPK-Kollegen in Gatersleben keine



OLLO / GETTY IMAGES / ISTOCK

»Lässt der Klimawandel die Temperaturen steigen, vermehren die Pilze sich schneller und die Schäden nehmen zu«

Einzelkämpfer. Bereits 2011 haben die Agrarminister der G20-Staaten eine Weizeninitiative angeregt, der 16 Staaten, neun Züchtungsunternehmen und zwei internationale Forschungszentren angehören, die ihre Ressourcen bündeln und ihr Wissen und ihre Ideen miteinander teilen: Weil die Weltbevölkerung weiterwächst, dürfte bis 2050 rund 60 Prozent mehr Weizen als heute benötigt werden. Gleichzeitig aber kommen kaum neue Anbauflächen dazu. Daher sollten die bereits heute hohen Erträge in jedem Jahr um weitere 1,6 Prozent steigen. Gelingen dürfte das nur mit neuen Sorten, die einerseits die vorhandenen und zugeführten Nährstoffe besser verwerten und die andererseits mit den dräuenden Witterungsphänomenen wie Dürren oder häufigeren Pflanzenkrankheiten gut fertigwerden.

Einer der treibenden Kräfte in dieser Weizeninitiative ist Ebrahim Kazmann von der Syngenta Seeds GmbH in Hadmersleben. Dieser Standort hat eine uralte Tradition, steht doch in Hadmersleben ein Benediktinerkloster, das 1809 in napoleonischen Zeiten in weltliche Hände überging. 1885 übernahm dann der Ornithologe Ferdinand Heine als fünfter Besitzer das ehe-

malige Kloster und begann dort Zuckerrüben, Kartoffeln, Hülsenfrüchte und vor allem Weizen zu züchten. Mit 106 Knechten, 32 Kaltblutpferden und 130 Zugochsen sowie 30 Rindern und 1800 Schafen, die insgesamt 600 Hektar mit Dünger versorgten, entwickelte man damals Sorten und lieferte Saatgut, das auf diversen Weltausstellungen zwischen 1894 und 1910 mit höchsten Auszeichnungen den Weltruhm von Hadmersleben als Mekka der Pflanzenzüchter begründete. Die Forschungstradition aus der Kaiserzeit überstand ungebrochen die Weimarer Republik, das Dritte Reich und die DDR, bis sie 2014 von der Syngenta Seeds GmbH übernommen wurde.

Längst sind die Weizenzüchter aus dem Kloster ausgezogen und entwickeln ihre neuen Sorten auf fetten Schwarzerdeböden auf der anderen Seite von Hadmersleben. Dabei baut Ebrahim Kazmann vor allem auf seine langjährige Erfahrung, aber auch auf die Ergebnisse der Forscher in Quedlinburg und in Gatersleben. Selbst mit diesem geballten Wissen dauert es zwölf Jahre, bis Syngenta eine neue Sorte verkaufen kann. Ganz am Anfang sucht sich Ebrahim Kazmann die richtigen Eltern

für seine Neuentwicklung aus. Und die wollen gut überlegt sein. Schließlich bringt es wenig, wenn er einen Weizen züchtet, der zwar Dürren gut meistert, dessen Körner nach dem Mahlen aber nur mittelmäßige Bockeigenschaften haben. Im Prinzip sollte eine neue Weizensorte nämlich am besten alles mitbringen: hervorragende Bockeigenschaften, Widerstandskraft gegen diverse Schädlinge und Krankheiten sowie gleichzeitig auch sparsam mit Nährstoffen umgehen und hohe Erträge liefern, die ebenfalls steigen sollen.

Eine Pflanze als Eier legende Wollmilchsau

Nur lässt sich ein solcher Weizen, der einer Eier legenden Wollmilchsau gleicht, gar nicht so einfach züchten, weil einige dieser gewünschten Eigenschaften eigentlich gar nicht zusammenpassen. So hängen die Bockeigenschaften des Mehls entscheidend vom Proteingehalt der Körner ab: Je mehr Proteine ein Weizenkorn enthält, umso lockerer wird der Kuchen oder das Brötchen, das der Bäcker daraus backt. Andererseits steckt in diesen Proteinen viel Energie, die den Pflanzen dann bei der Produktion von Stärke fehlt, die ihrerseits für



HEUBALLEN

Stroh ist als Dämmstoff oder als Rohmaterial für die Herstellung von Biotreibstoffen gefragt.

Stroh wird knapp

Noch eine weitere Eigenschaft könnte in Zukunft eine wichtige Rolle spielen: Bei hohen Erträgen sind die Ähren natürlich schwerer als bei niedrigen, und die Getreidehalme brechen leichter. Daher haben moderne Hochleistungssorten kurze Halme, in denen auch weniger Energie steckt, die wiederum dem Ertrag zugutekommt und ihn erhöht. Demnach bleibt bei heutigem Weizen weniger Stroh übrig als in früheren Zeiten, in denen Stroh eine wertvolle Ressource war.

Genau diese wertvolle Ressource aber scheint Stroh heute wieder zu werden. So ist es zum Beispiel als Dämmstoff oder als Rohmaterial für die Herstellung von Biotreibstoffen gefragt. Das deutsche Biomasseforschungszentrum in Leipzig vermutet, man könne aus dem in Deutschland anfallenden Stroh im Jahr genug Methan herstellen, um damit vier Millionen Erdgasfahrzeuge fahren zu lassen. Bieten die

den Ertrag wichtig ist. Hohe Erträge und sehr gute Backeigenschaften scheinen sich also auszuschließen.

Allerdings gibt es auch Sorten, die sehr gute Backeigenschaften mit niedrigeren Proteingehalten als andere erreichen. Der Trick dieser Sorten liegt an der Zusammensetzung der Klebereiweiße, die aus den beiden Gruppen der Glutenine und Gliadine bestehen. Beim Backen halten diese dehnbaren Eiweiße das entstehende Kohlendioxid in kleinen Bläschen fest, beim Abküh-

len werden diese Kleberproteine dann fest und stabilisieren so die lockere Form mit vielen Bläschen. Enthält das Getreide dagegen wenig Klebereiweiß, wird der Teig viel fester.

Jedoch kleben einige Mischungen dieser Klebereiweiße besser als andere. Züchter wie Ebrahim Kazmann suchen daher auch Sorten mit einer möglichst optimalen Zusammensetzung von Klebereiweißen, die gute Backeigenschaften bei hohen Erträgen ermöglichen.

Züchter in Zukunft also Sorten mit längeren Halmen an, die auch bei hohen Erträgen stabil sind, fällt auch mehr Stroh an und es könnten mehr Fahrzeuge mit Erdgas versorgt werden.

Ebrahim Kazmann muss sich also sehr gut überlegen, welche Eltern er miteinander kombiniert, um Sorten auf langen Halmen mit hohen Erträgen zu erhalten, die eine optimale Zusammensetzung der Klebereiweiße haben, die Nährstoffe gut verwerten und daher weniger Dünger brauchen sowie gleichzeitig den Unbilden des Klimawandels von Dürren bis zu häufiger zuschlagenden Schädlingen und Krankheiten Paroli bieten.

Sorgfältige Auswahl von Hand

Solche Kombinationen werden ausgesät, und in einer Parzelle in Hadmersleben reifen dann eineinhalb Millionen Weizenpflanzen. Unter diesen sucht Ebrahim Kazmann die besten aus. Das sind die Pflanzen, deren Blatt bis zur Reife des Getreides gesund bleibt und bis dahin wertvolle Inhaltstoffe an die Körner liefert. Das Getreide sollte auch weder zu früh noch zu spät reifen. Schließlich erntet der Bauer später ja nicht jeden Halm einzeln, sondern das

ganze Feld gleichzeitig. Da ist es natürlich auch wichtig, dass die Halme in etwa gleich lang sind und möglichst stabil stehen.

Jahr für Jahr wählt er eigenhändig die jeweils besten Pflanzen aus, die dann weitergezüchtet werden. So bleiben von den anfänglich 1,5 Millionen Pflanzen im ersten Jahr gerade noch 100 000 übrig, aus denen im zweiten Jahr 40 000, im dritten 2000 und im vierten Jahr 500.

Natürlich ergänzt der Züchter seine Erfahrung mit Analysen im Labor, mit denen er die wichtigsten Backeigenschaften untersucht. Dort trennen Polyacrylamid-Gelelektrophoresen die Proteine der Weizenkörner in Peptide auf. Aus dem Muster dieser Peptide kann man die Backqualitäten der Körner abschätzen. Daneben geben die Laboranten sieben Gramm Mehl in destilliertes Wasser, das nach ausgiebigem Schütteln in kochendes Wasser gestellt wird. Dabei quillt die Stärke ähnlich wie beim Backen auf, ein Viskosimeter misst, wie zäh die Flüssigkeit dabei wird und bestimmt so, wie viel quellfähige Stärke enthalten ist. 3,2 Gramm Mehl werden in Wasser mit Bromphenylblau geschüttelt, danach mit Isopropylsäure und gekochter Milchsäure weitergeschüttelt. Je höher sich das Mehl danach am Bo-

den absetzt, umso flockiger und damit backfähiger ist es. Obendrein bestimmen die Laboranten im nahen Infrarotlicht mit 200 Gramm Körnern zerstörungsfrei die Feuchte, den Proteinwert sowie den Gehalt an Stärke und Klebern.

Nach diesen vier Jahren hat Ebrahim Kazmann schließlich eine Sorte in der Hand, von der er weiß, ob es sich lohnt, sie weiterzuzüchten. In drei weiteren Jahren muss er dann den Wert dieser neuen Sorte prüfen, danach nehmen die Behörden sie noch fünf Jahre unter die Lupe. Vom Anfang der Züchtung bis zur Zulassung einer Sorte dauert es so leicht zwölf Jahre. So weit müssen Züchter wie Ebrahim Kazmann also in die Zukunft schauen, wenn sie mit der Arbeit an einer neuen Sorte beginnen. Und sollten sich dabei möglichst nicht irren. Schließlich bringen durreresistente Sorten wenig, wenn der Klimawandel zwar heiße, aber auch verregnete Sommer bringen sollte, die ganz andere Sorten erfordern. Auf jeden Fall aber sollten die neuen Züchtungen höhere Erträge und hervorragende Backeigenschaften liefern. Es sei denn, auch in Mitteleuropa kommt in Zukunft Fladenbrot in Mode. ↗

(Spektrum – Die Woche, 01/2019)

GENTECHNOLOGIE

Mit CRISPR und Mikroben gegen Ernteausfälle

von Brooke Borel

Immer mehr Resistenzen schwächen die Waffen der Landwirtschaft im Kampf gegen Insekten, Unkraut und Krankheitserreger. Neue Ansätze aus der Biologie könnten Abhilfe schaffen. Doch die Gentechnologie erschafft vielleicht auch Pflanzen, die noch toleranter gegenüber Herbiziden sind und deren Einsatz steigern.



Jeden Morgen sieht sich Broc Zoller erst einmal die Wettervorhersage an. Wie alle Farmer in Kalifornien hat er in den letzten fünf Jahren extreme Dürrezeiten erlebt. Nun macht gerade das Gegenteil Probleme. Hier in Kelseyville hat es nämlich in den ersten Monaten des Jahres schon mehr als im ganzen Jahr davor geregnet. Zoller baut Weintrauben und Walnüsse an und hat etwas Land an andere verpachtet, die dort Birnen wachsen lassen. Das Wetter hat die Schnittmaßnahmen verzögert, und das Versprühen von Insektenschutzmitteln gegen die Schädlinge im Winter musste ebenfalls verschoben werden. Wenn es nun im Frühjahr mit dem Regen so weitergeht, wird die Kombination aus Wärme und Feuchtigkeit den Pilz- und Bakterienbefall stark befördern. Deshalb vermutet Zoller schon jetzt, dass er wohl bald mehrere Pestizide einsetzen muss, um seine Pflanzen zu schützen.

Doch die Auswahl wird immer geringer, weil sich zunehmend Resistenzen entwickeln. Feuerbrand ist eine durch Bakterien verursachte Pilzkrankheit, bei der die Blätter von Birnenbäumen plötzlich welken.

Normalerweise wirken hier Antibiotika recht gut, aber wenn diese zu häufig eingesetzt werden, verringert sich der Effekt. Der Birnenschorf wird ebenfalls von einem Pilz verursacht, der unschöne braune Flecken auf der Frucht hinterlässt und während der Wachstumsperiode mit einer ganzen Reihe von Fungiziden bekämpft wird. Zoller arbeitet auch als Berater in Sachen Schädlingsbekämpfung und weiß, dass bei einigen der Substanzen die Wirkung schon nach einmaligem Einsatz nachlässt. »Die Resistenzen treten unglaublich schnell auf«, sagt er. »Wir können nur hoffen, dass es nicht zu viel regnet und wir mit dem vorhandenen Arsenal gut durch die Saison kommen.«

Weltweit klagen die Farmer über Resistenzen gegen die gängigen Pestizide zur Abwehr von Insekten, Unkraut und Pflanzenpathogenen. Der in Brüssel ansässige Industrieverband CropLife International unterstützt Untersuchungen zur Resistenz von Pathogenen; bisher zeigten sich bei 586 Arthropodenspezies, 235 Pilzarten und 252 Unkräutern Resistenzen gegen mindestens ein synthetisches Pestizid. Dabei

»Die rasante Entwicklung von Resistenzen ist der eigentliche Driver auf der Suche nach Alternativen«

[Sara Olson]



GETREIDE

Steigende Brotpreise können zu Revolutionen führen, wie die Weltgeschichte immer wieder gezeigt hat. Die Versorgung mit dem lebenswichtigen Getreide wird allerdings schwieriger, wenn Dürren und andere Wetterunbilden die Ernten in wichtigen Erzeugerländern negativ beeinflussen. Das war zum Beispiel 2010 der Fall, als in Australien und Russland starke Trockenheit die Erträge sinken ließ.

handelt es sich aber nur um die bisher von den Wissenschaftlern formal erkannten und beschriebenen Fällen. Die agrochemische Industrie bringt seit Jahrzehnten immer neue Substanzen auf den Markt, um die alten zu ersetzen. Doch bei vielen Nutz-

pflanzen wird die Luft langsam dünn. Die Entdeckung und Entwicklung neuer Pestizide »ist in den letzten zehn Jahren auf fast null zurückgegangen«, weiß Sara Olson, die Leiterin der Abteilung für Forschungsanalyse bei Lux Research in Boston/Massa-

chusetts, die sich auf neue Technologien spezialisiert haben. Neue Chemikalien sind nämlich nur schwierig und für viel Geld finden, und sobald ein Produkt in der Landwirtschaft eingesetzt wird, vor allem nicht mit Bedacht, entwickeln die Schädlinge sofort Resistenzen dagegen. Um den Einsatz synthetischer Pestizide auf den Feldern zu mindern oder gar umgehen zu können, suchen die Wissenschaftler nun nach Alternativen. Besonders interessant sind hierbei Lösungen aus der Biologie, weshalb sie auf Mikroorganismen, Gentechnik und Biomoleküle schielen, in deren Entwicklung auch große Chemieunternehmen schon kräftig investieren. Das bedeutet natürlich keineswegs das Ende der syntheti-

ischen Pestizide, aber vielleicht könnte man mit neuen Möglichkeiten die Ausbreitung von Resistenzen eindämmen. Möglicherweise ließen sich auch die Ausgaben der Farmer senken, die Feldarbeiter besser schützen und die Bevölkerung befriedigen, die über den Einsatz von immer mehr synthetischen Substanzen zunehmend besorgt ist. »Die rasante Entwicklung von Resistenzen ist der eigentliche Driver auf der Suche nach Alternativen«, erklärt Olson. »Meist geht es gar nicht um die Wahl zwischen chemischen, biologischen oder anderen Möglichkeiten – es ist mehr die Erkenntnis, dass sich mit den neuen Tools viel spezifischer gegen Schädlinge vorgehen lässt.«

Anfang des 20. Jahrhunderts rottete eine mysteriöse Epidemie in ganz Japan die hoch geschätzte Seidenraupe aus. Schon 1901 hatte der Bakteriologe Ishiwa-ta Shigetane ein unbekanntes Bodenbakterium in toten Seidenraupen als Ursache beschrieben. Ein Jahrzehnt später entdeckte der Biologe Ernst Berliner aus Thüringen das Bakterium in den Raupen der Mehlmotte, einem allseits bekannten Schädling. In seiner Beschreibung gab er dem Insektenkiller den Namen *Bacillus*

thuringiensis (Bt). Die von Bt gebildeten Proteine durchlöchern den Darm verschiedener Insektenarten und wurden jahrzehntelang als natürliches Pestizid eingesetzt. Die Wissenschaft sucht schon länger nach neuen Mikroorganismen zum Einsatz als Schädlingskiller. »Als ich vor fast 45 Jahren studierte, war es schon kein ganz neues Feld mehr«, erzählt Roger Beachy, der als Biologe und Pflanzenpathologe an der Washington University in St. Louis in Missouri tätig ist.

Inzwischen gibt es immer mehr Mikroorganismen als Helfer in der Agrochemie. Im Jahr 2012 kaufte Bayer CropScience für 425 Millionen US-Dollar das Unternehmen AgraQuest, das in Davis in Kalifornien Biopestizide entwickelte. Im Lauf der letzten Jahre haben auch andere multinationale Unternehmen, darunter DuPont, Monsanto und Syngenta, in diesem Bereich investiert. Beachy galt als Pionier in der Entwicklung gentechnisch veränderter Nutzpflanzen und hat sich zusammen mit dem bei Boston ansässigen Start-up Indigo Agriculture ins Bakterienbusiness gestürzt. Die Forscher von Indigo wollen mit bestimmten Bakterien das Endobiom der Pflanzen verbessern, sprich die Gesamtheit der Mik-

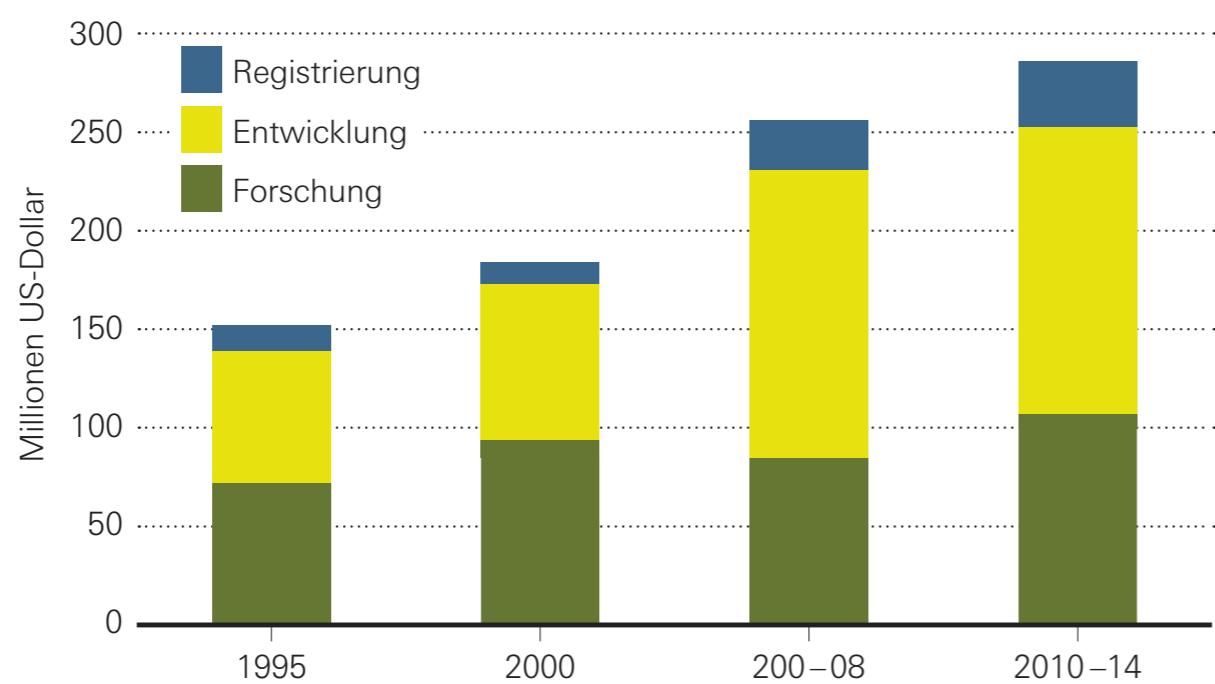
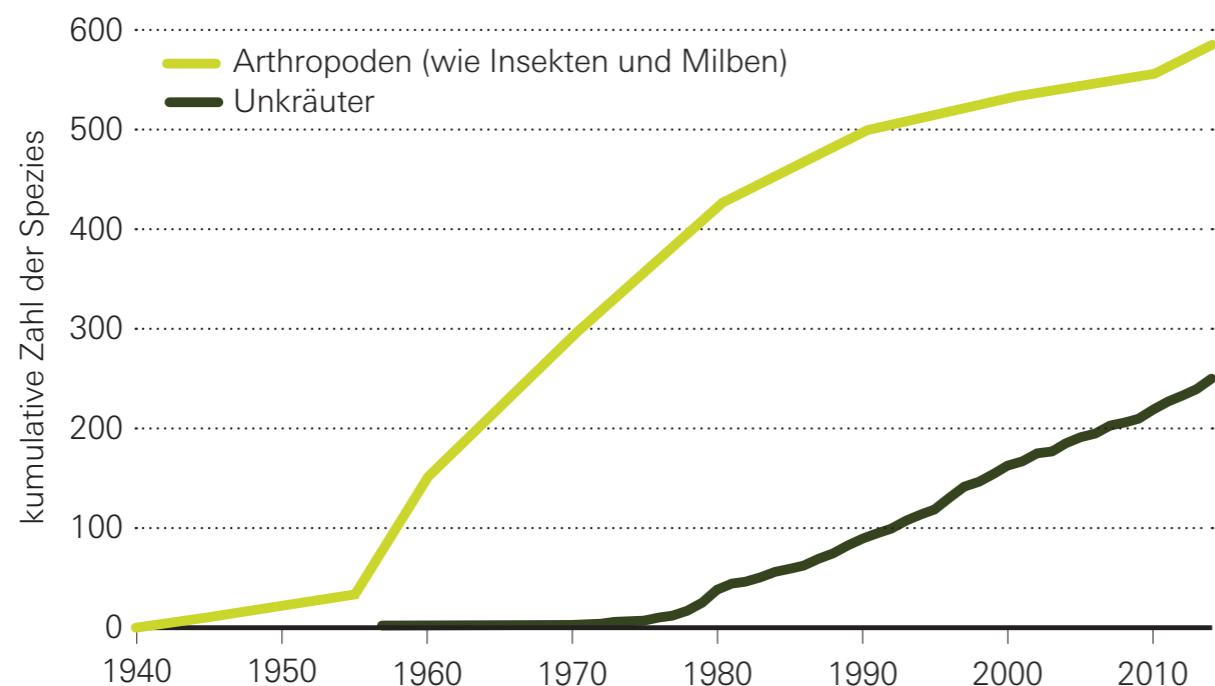
roorganismen, die im Gewebe der Pflanzen sitzen. Aus ihnen wollen die Forscher eine Art Hülle für den Samen entwickeln. Wenn sich der junge Spross beim Keimen durch diese harte Hülle drängen muss, fügt sie ihm kleinste Kratzer zu, über die gute Bakterien die Pflanze besiedeln und sie vor Stress durch die Umwelt, beispielsweise Dürre, schützen können. Das Unternehmen konnte nach eigenen Angaben im letzten Jahr 100 Millionen US-Dollar an Fördergeldern einwerben.

Farmer sind bereit für Neues

Über den speziellen Bakterienstamm will sich Indigo natürlich nicht äußern. Doch ein paar Farmer haben auf 20 000 Hektar Baumwoll- und 8000 Hektar Weizenfeldern in den USA bereits umhüllten Samen angesät. Im Vergleich zu den vier Millionen Hektar mit Baumwolle und 21 Millionen Hektar mit Weizen bepflanzten Felder der USA im Jahr 2016 ist das natürlich nicht viel – aber es zeigt, dass die Leute gewillt sind, Neues auszuprobieren. Beachy war anfangs leitender Wissenschaftler und ist immer noch im wissenschaftlichen Beratungsgremium des Unternehmens tätig. Wie er erzählt, will In-

IMMER MEHR RESISTENZEN

Die Zahl der Schädlinge, einschließlich Insekten und verschiedener Pflanzenarten, die gegen mindestens eine Form synthetischer Pestizide resistent sind, steigt seit Jahrzehnten stetig an. Ebenso verlief die Entwicklung immer neuer Chemikalien.



©nature

digo unbedingt zeigen, dass diese Samenhülle von Vorteil ist und zur Resistenz gegen Schädlinge führt: »Ich hoffe, innerhalb von fünf Jahren wird es zumindest eine Hand voll Produkte geben.«

Andere Firmen nutzen Bakterien bereits jetzt als Pestizide. Marrone Bio Innovations aus Davis beispielsweise züchtet Bakterien und setzt diese neben ihren chemischen Produkten gegen Schädlinge ein. Das Unternehmen hat 18 000 Bakteriengenome gescreent und bisher fünf Produkte auf den Markt gebracht. Einer seiner Kandidaten ist ein Stamm der Gattung *Burkholderia*, der je nach Kulturbedingungen unterschiedliche Substanzen produziert: Das kann ein Insektizid oder ein Nematizid (gegen bestimmte Würmer) sein oder auch ein Herbizid. *Burkholderia* »besitzt die genetische Maschinerie, um Substanzen ganz verschiedener Klassen zu produzieren«, erklärt Pamela Marrone, die Geschäftsführerin und Gründerin des Unternehmens. Die Ursache für den Schutz der Pflanze könnte letztlich in der Entwicklung pflanze-eigener Abwehrmechanismen liegen.

Farmer waren schon immer skeptisch gegenüber Biopestiziden, nicht zuletzt weil sie etwas schwieriger in der Handha-

bung sind als synthetische Pflanzenschutzmittel. So zerfallen manche sehr schnell im Sonnenlicht oder unter großer Hitze, und sie sind in der Regel nicht so potent und wirksam wie synthetische Produkte. Aber es geht gar nicht unbedingt darum, die bisherigen Substanzen völlig zu umgehen. Stattdessen sollen die Biopestizide dazu beitragen, den Einsatz synthetischer Chemikalien zu reduzieren, sagt Marrone. Die Schutzbakterien »müssen gar nicht so perfekt wie die chemischen Mittel wirken, auch wenn einige unserer Kandidaten es wahrlich mit ihnen aufnehmen könnten«, fügt sie hinzu. »Schon wenn man sie als Zusatz nutzt, steigen Ertrag und Qualität gegenüber dem alleinigen Einsatz von Chemikalien.«

CRISPR als neue Hoffnung und Gefahr

Neue Möglichkeiten bietet nun das sehr leistungsstarke Gene-Editing-Tool CRISPR-Cas9. Mit bisherigen Ansätzen wie der Entwicklung so genannter GVOs (gentechnisch veränderter Organismen) durch das Einbringen neuer Gene in Organismen lassen sich Schadinsekten direkt abtöten oder Nutzpflanzen unempfindlich für starke Herbizide machen. Die Entwicklung krank-

heitsresistenter Pflanzen ist allerdings schwieriger. Ein Grund dafür ist die Regulation von Resistenzgenen in Pflanzenzellen. »Resistenzgene haben in der Natur relativ wenig Spielraum«, sagt der Pflanzenpathologe Adam Bogdanove von der Cornell University in Ithaca in New York. Wenn sie zu aktiv würden, könnten sie nämlich die Pflanze schädigen. In gewöhnlichen GVOs lässt sich nicht steuern, wo sich das zugefügte Gen ins Genom integriert. Das wäre aber wichtig, weil Resistenzgene nicht richtig exprimiert werden, wenn sie an falscher Stelle eingefügt sind. CRISPR ist deshalb besonders hilfreich, erklärt Bogdanove, weil sich damit »die Insertionsstelle genau bestimmen und so die Expression kontrollieren lässt«.

Bogdanove entwickelt mit dieser Methode Reis, der von Haus aus resistent gegenüber Rußtau und Blattbrand ist, zwei der verheerendsten Pflanzenkrankheiten überhaupt. Sein Kooperationspartner Jan Leach forscht als Pflanzenpathologe an der Colorado State University in Fort Collins. Er möchte mittels CRISPR und anderen, älteren Gene-Editing-Tools das Immunsystem der Pflanzen modulieren, um auf diese Weise Reis zu züchten, der gegen eine gan-

ze Reihe von Krankheiten resistent ist, nicht nur gegen eine einzelne. Auch andere Nutzpflanzen sollen mit CRISPR verändert werden, insbesondere solche, bei denen bisher weniger GVOs entwickelt wurden, weil dies zu schwierig war. Wissenschaftler von der Rutgers University in New Brunswick in New Jersey wollen mit Hilfe der Technologie Weintrauben entwickeln, die dem Falschen Mehltau trotzen. Außerdem wurden in den USA schon Tomaten gezogen, die gegen mehrere *Pseudomonas*- und *Xanthomonas*-Arten resistent sind, und in Peking eine gegen den Echten Mehltau gewappnete Weizensorte. Die Modifikation von Weizen ist aber nicht so einfach, weil die Pflanzen drei fast identische Genome besitzen. Das Team in Peking musste darum drei Versionen eines Resistenzgens verändern. Mit CRISPR »lassen sich mehrere Gene gleichzeitig ausschalten«, erklärt der Pflanzenbiologe und Gruppenleiter Caixia Gao vom Institut für Genetik und Entwicklungsbiologie der Chinesischen Akademie der Wissenschaften.

Auch die Industrieforschung ist schon auf CRISPR angesprungen. So unterschrieb Monsanto im September 2016 einen nicht-exklusiven Lizenzvertrag mit dem Broad

Institute in Cambridge (Massachusetts), das im Februar einen Patentstreit zur CRISPR-Technologie gewann. Wie Tom Adams, der Vizepräsident der Sektion Biotechnologie bei Monsanto, sagt, beschäftigt sich sein Unternehmen derzeit damit, wie CRISPR für Fortschritte in der Krankheitsresistenz, Dürretoleranz und dem Ertrag von Nutzpflanzen genutzt werden kann. Allerdings besteht die Gefahr, dass auf Grund der neuen Ansätze eher noch mehr Pestizide eingesetzt werden als bisher. Laut Adams könnten mittels Gene-Editing nämlich auch Pflanzen entstehen, die noch toleranter gegenüber Herbiziden sind, so wie die glyphosattoleranten Sorten der Firma Monsanto. Das wird natürlich sehr kontrovers diskutiert, weil die Farmer damit Glyphosat großzügig einsetzen können und zu sehr darauf vertrauen.

Stummschalten von Genen mit Hürden

Schon lange bevor CRISPR versprach, die Welt zu verändern, waren die Biowissenschaftler von einer anderen Methode zur Schädlingskontrolle begeistert: der RNA-Interferenz (RNAi). Hierbei wird Doppelstrang-RNA von Zellen aufgenommen, die dann ein bestimmtes Gen effizient ab-

schaltet. Mit dieser Methode schien es einfach, Schädlinge ganz gezielt zu treffen. Man startet mit einer spezifischen Gensequenz und baut kleine Moleküle, die mit der Genaktivität interferieren, erklärt Sonny Ramaswamy, der Direktor des National Institute of Food and Agriculture, des Organs des amerikanischen Landwirtschaftsministerium, das verschiedene RNAi-Studien fördert. Der Trick ist dabei, das Molekül zum richtigen Zeitpunkt an die richtige Stelle am Zielgen zu bringen. Die RNA muss natürlich über die ganze Pflanze verteilt sein, um überall saugende Insekten abzuwehren. Das lässt sich gentechnisch zwar erreichen, ist aber teuer und hat dieselben Zulassungshürden und Anfeindungen der Öffentlichkeit zu überwinden wie sonstige GVOs. Außerdem müssen komplett neue Pflanzen entwickelt werden, wenn die Schädlinge resistent gegen die RNAi werden.

Laut Wissenschaftlern in Forschung und Industrie könnte es besser sein, die RNAi direkt in den Blättern oder Wurzeln der Pflanzen anzuwenden. Das ist »einfacher und flexibler als transgene Pflanzen«, erklärt Xuexia Miao, die als Expertin für Pflanzen-Insekten-Interaktionen am Insti-

tut für Pflanzenphysiologie und Ökologie der Shanghai Institutes for Biological Sciences in China arbeitet. Im Jahr 2015 konnte sie mit ihrem Team zeigen, wie das Einbringen von RNAi über die Wurzeln von Reis und Mais die Pflanzen gegen Insekten schützt. Allerdings könnte es schwierig sein, die benötigten Beregnungsanlagen in der Praxis umzusetzen. Das Problem ist, dass die Böden voll von Bakterien und Enzymen sind, welche die RNA schon wegfangen, bevor sie überhaupt die Pflanze erreichen. Neben diesem Ansatz arbeitet Miao zudem an Sprays, mit denen sich die RNAi direkt auf die Pflanzen und Insekten aufbringen ließe.

Unternehmen wie Monsanto und Syngenta interessieren sich natürlich auch für die Möglichkeiten der RNAi-Technologie. Monsanto will Mitte 2020 die ersten Entwicklungen auf den Markt bringen: ein Produkt gegen die Honigbienenmilbe Varroa destructor und eines gegen einen Flohkäfer, der Raps attackiert. Und Syngenta will seine ersten Produkte gegen den Kartoffelkäfer Leptinotarsa decemlineata »in den frühen 2020er Jahren« bereit haben, sagt Steven Wall, der die Zulassungs- und Produktsicherheitsunterlagen für RNAi-

Produkte bei Syngenta in Research Triangle Park in North Carolina bearbeitet.

Auch nützliche Insekten können geschädigt werden

Doch die RNAi-Technologie stößt noch auf ganz andere Probleme. So lässt sie sich zwar gegen so manche Insektenarten wie Käfer einsetzen; schwieriger ist es schon bei Motten und deren Larven, wobei der Grund dafür unklar ist. Aber auch Schädlinge, die auf RNAi empfindlich reagieren, können Resistenzen entwickeln. »Die Natur scheint immer irgendeinen Weg zu finden«, sagt Wall. Mit einem RNAi-Spray »muss man wie mit anderen Produkten vorsichtig umgehen – sehr spezifisch und nicht flächen-deckend«. Manche Wissenschaftler fürchten zudem Kollateralschäden, auch wenn RNAi die Schädlinge schon direkter als Breitband-Pestizide trifft. So könnte die RNAi nützliche Insekten schädigen, weil diese teils ähnliche Gene wie die Schädlinge haben. Im Jahr 2013 wurde von Wissenschaftlern des US Department of Agriculture ein Review über das Risiko der Technologie veröffentlicht. Laut diesem ist sie zwar Erfolg versprechend, aber die Vorteile müssten gegen die »relativen Umweltrisi-

ken der Technologie« abgewogen werden. Während die Pestizid-Pipeline langsam austrocknet und die Resistenzen immer mehr zunehmen, brauchen die Farmer neue Optionen. Die tatsächliche Lage ist stark abhängig von der Nutzpflanze und dem landwirtschaftlichen Betrieb – auf manchen Feldern zeigt schon jetzt nur noch ein einziges Pestizid Wirkung. »Da entwickeln sich unweigerlich Resistenzen gegen dieses Produkt«, sagt Zoller. »Und wenn es keine Langzeitwirkung mehr zeigt, wenden es die Farmer einfach öfter an. Es gibt im Moment keine andere Möglichkeit.« Zoller testet inzwischen Biopestizide, obwohl deren Wirkung sehr variabel ist. »Wir untersuchen jedes Jahr wieder welche, weil wir die Hoffnung noch nicht aufgegeben haben«, erklärt er. »So manches wirkt dann ein Jahr und im nächsten Jahr schon nicht mehr. Immerhin lassen sie sich gut mit konventionellen Pestiziden kombinieren.«

Den Verkauf von Produkten auf gentechnischer Basis sieht Zoller skeptisch, weil genveränderte Lebensmittel immer Bedenken auf den Plan rufen. Andere Farmer sind da optimistischer. »CRISPR ist die Zukunft, wenn wir als Industrie überleben

»Manches Biopestizid wirkt ein Jahr und im Jahr darauf schon nicht mehr. Es ist gut, viele Möglichkeiten zu haben«

[Broc Zoller]

wollen«, sagt Tony DiMare, der Vizepräsident des US-amerikanischen Tomatenbauern DiMare. Seiner Meinung nach hat diese Technik viel Potenzial im Kampf gegen Umweltstress, Schädlinge und Pflanzenkrankheiten. Doch Technologien allein werden keine landwirtschaftlichen Betriebe retten. Die Besitzer werden auch weiterhin auf klassische Praktiken und entsprechendes Landmanagement vertrauen. So lässt sich beispielsweise mit Fruchtwechsel der Lebenszyklus von Schädlingen und Pathogenen unterbrechen; wer dies nicht beachtet und Jahr für Jahr dieselben Pflanzen auf seinen Feldern wachsen lässt, bietet Schädlingen beste Nahrungsbedingungen. Enge Pflanzungen können den Unkräutern das Sonnenlicht wegnehmen; andererseits ermöglichen Schnittmaßnahmen ausreichend Luft- und Lichtzufuhr für die Pflanzen, so dass die Feuchtigkeit abdampfen kann, die Schimmelpilze zum Wachsen brauchen.

Nicht nur auf den von Zoller verpachteten Birnenplantagen in Kalifornien lassen die Farmer Wildpflanzen wie wilden Hafer, Roggengras und Prunkwinde zwischen den Baumreihen wachsen. Diese bieten Lebensraum für die natürlichen Feinde der Schad-

insekten, die sie in Schach halten. In Zollers Augen müssen alle Ansätze zum Zuge kommen – neue Technologien und alte Methoden, um auf diese Weise die Lebensmittel und damit den Profit zu schützen. Schädlingsbekämpfung ist bei allen Nutzpflanzen ein wichtiges Thema, weiß er. Die Farmer werden auch die neuen Technologien in Betracht ziehen. »Es ist gut, viele Möglichkeiten zu haben.«



(Spektrum – Die Woche, 15/2017)

Der Artikel ist am 16. März 2017 unter dem Titel »CRISPR, microbes and more are joining the war against crop killers« in Nature 543, S. 302–304, erschienen.



ELEKTROCHEMIE

Umweltfreundlichere Düngerproduktion

von Anna Clemens

Vor gut 100 Jahren revolutionierte der Haber-Bosch-Prozess die Landwirtschaft. Doch das Verfahren zur Herstellung von Ammoniak belastet die Umwelt stark. Forschern ist es nun gelungen, diesen wichtigen Rohstoff für Kunstdünger mittels Elektrolyse zu synthetisieren.

Am 13. Oktober 1908 meldete der spätere Nobelpreisträger Fritz Haber ein Patent an. Es beschreibt, wie sich Ammoniak (NH_3) aus Wasserstoff (H_2) und Stickstoffgas (N_2) herstellen lässt. Zusammen mit Carl Bosch entwickelte er dafür eine Produktionsanlage. Fünf Jahre später synthetisierten sie Ammoniak im Industriemaßstab. Das Haber-Bosch-Verfahren war geboren.

Die Chemiker lösten damit ein schon zu ihrer Zeit drängendes Problem: Die Weltbevölkerung wuchs rasch und wollte ernährt werden. Um die landwirtschaftlichen Erträge zu steigern, brauchte man stickstoffhaltigen Dünger – und der lässt sich aus Ammoniak herstellen. Rasch etablierte sich daher das Haber-Bosch-Verfahren als unentbehrliche Grundlage moderner Nahrungsmittelproduktion. 2017 erzeugten Anlagen rund um den Globus

ungefähr 144 Millionen Tonnen Ammoniak, Tendenz stetig steigend. Damit gehört es zu den zehn weltweit meistproduzierten Chemikalien.

In den über 100 Jahren seit dem Bau der ersten Anlage hat sich der Prozess kaum verändert. Dabei ist der Optimierungsbedarf groß. Denn das Haber-Bosch-Verfahren schluckt nicht nur beachtliche Mengen an Energie. Es beruht auch auf fossilen Rohstoffen (der dafür benötigte Wasserstoff entsteht oft durch Kohlevergasung) und ist eine erhebliche CO_2 -Quelle – etwa ein Prozent der globalen Treibhausgasemissionen gehen zu Lasten der Ammoniaksynthese.

Chemiker suchen daher inzwischen nach einer umweltfreundlicheren Alternative. Eine Möglichkeit dazu ist die Herstellung von Ammoniak durch Elektrolyse. In einer elektrochemischen Zelle können Stickstoffgas und Wasser (H_2O) zu Ammoniak reagieren, während man Strom zu-

führt. Dieser lässt sich aus erneuerbaren Quellen gewinnen. Außerdem verbraucht der Prozess selbst weder Erdöl noch Erdgas, setzt damit auch kein CO_2 frei.

Das klingt zwar viel versprechend, ist allerdings ineffizient: In Laborexperimenten konnte man bisher nur verschwindend geringe Mengen an Ammoniak mittels Elektrolyse herstellen. Forschern um Adam J. Rondinone vom Oak Ridge National Laboratory in Tennessee, USA, gelang nun ein kleiner Durchbruch. Die Chemiker entdeckten einen Katalysator, der die Reaktion etwa zehnmal so effizient ablaufen lässt.

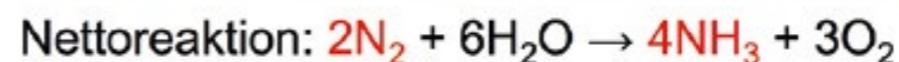
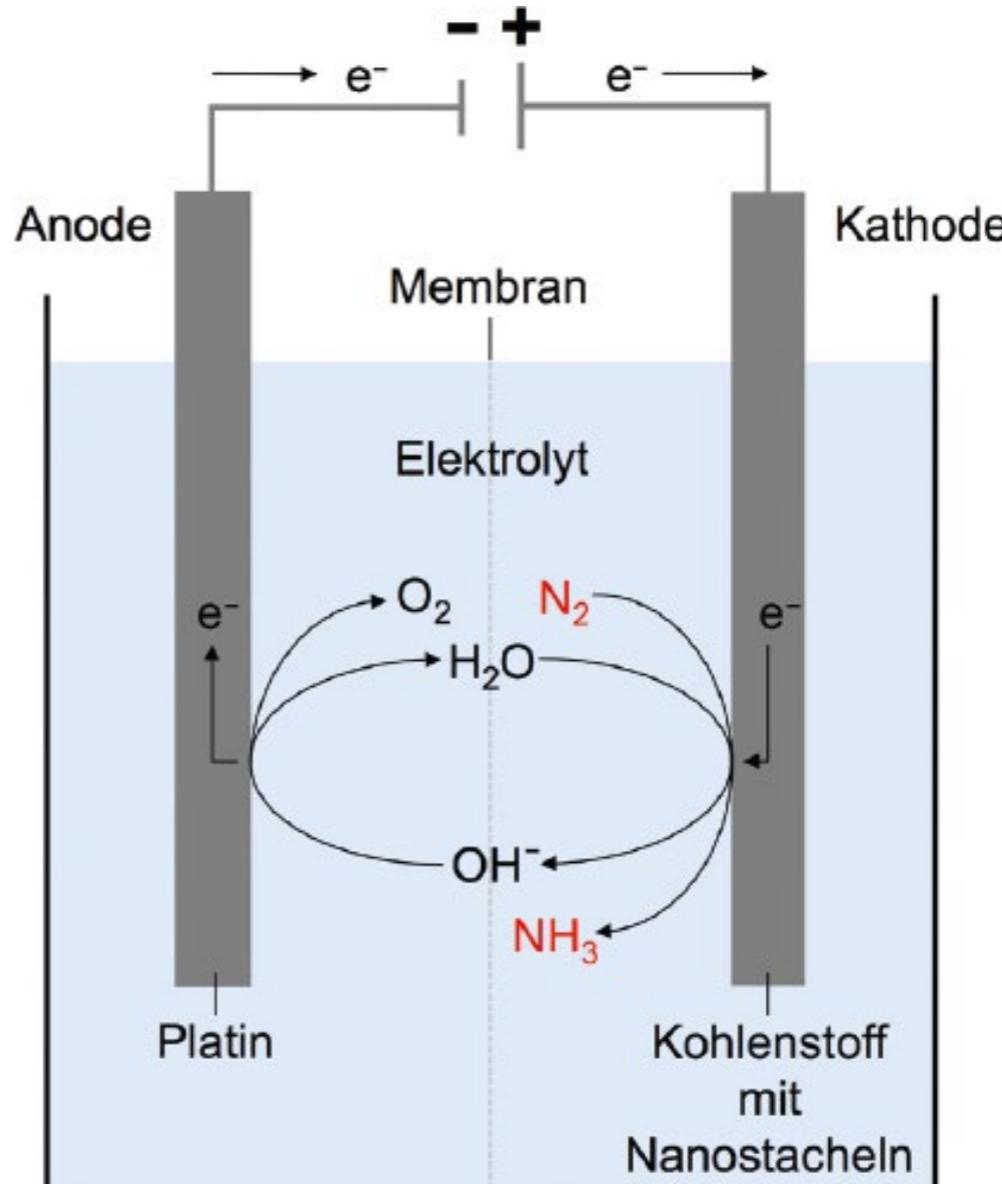
Die Elektrolyse entspricht dem umgekehrten Prozess in einer Batterie. Man benutzt zwei Elektroden, eine Kathode und eine Anode, an deren einem Ende man jeweils eine elektrische Spannung anlegt, während das andere in einen wässrigen Elektrolyten eintaucht. Stickstoffgas und Wasser reagieren an der Kathode zu Am-

moniak. Die Reaktion ist eine Reduktion, benötigt also Elektronen. Neben Ammoniak entstehen Hydroxylionen (OH^-), die durch den Elektrolyten zur Anode gelangen und dort wieder zu Wasser oxidieren. Dabei werden Elektronen freigesetzt, die über den äußeren Stromkreis zur Kathode wandern, wo sie wiederum für die Reduktion von Stickstoff zur Verfügung stehen.

So weit die Theorie. In der Praxis gibt es jedoch einen Haken: Stickstoffgas ist extrem reaktionsträge, weshalb die Reduktion unendlich langsam abläuft. Um Ammoniak in größeren Mengen zu gewinnen, braucht man daher einen Reaktionsbeschleuniger, auch Katalysator genannt. Allerdings sind gängige Katalysatoren aus Eisen, Platin oder Gold nicht selektiv genug. Sie begünstigen vor allem eine andere Reaktion an der Kathode: die Umsetzung von Wasser zu Wasserstoff. Deshalb entsteht selbst mit Katalysator kaum Ammoniak.

Das Team um Rondonone fand nun eine Lösung für das Ausbeuteproblem. Es kehrte den herkömmlichen Katalysatoren aus (Edel-)Metallen den Rücken zu und verwendete stattdessen nanometergroße Stacheln aus Kohlenstoff, die an der Spitze nur rund ein Dutzend Atome dick sind. Mit

Ammoniakherstellung



Ammoniak (NH_3) lässt sich elektrolytisch aus Stickstoffgas (N_2) und Wasser (H_2O) herstellen. Nanospikes aus Kohlenstoff beschleunigen die sonst sehr träge Reaktion.

dem neuen Nanomaterial konnten die Forscher in einer Stunde pro Quadratzentimeter Katalysatoroberfläche ungefähr 100 Milligramm Ammoniak herstellen. Damit ist die Elektrolyse zwar noch immer nicht konkurrenzfähig zum Haber-Bosch-Verfahren, doch der Ansatz ist viel versprechend. Das zeigt der so genannte faradaysche Wirkungsgrad des neuen Kohlenstoffkatalysators. Würden keine unerwünschten Nebenreaktionen – wie die Bildung von Wasserstoff – stattfinden und die Ausgangsstoffe vollständig zu Ammoniak reagieren, läge der faradaysche Wirkungsgrad bei 100 Prozent. Mit den Nanostacheln erreichten die Wissenschaftler etwa zehn Prozent. Das ist zwar immer noch relativ gering, verglichen mit früheren Studien allerdings eine mehr als zehnmal höhere Ausbeute.

Nanospikes helfen die Stickstoffmoleküle zu knacken, Lithiumionen nehmen das Gas huckepack

Was macht den neuen Katalysator so viel besser als andere? Eine Besonderheit ist, dass er aus der Kohlenstoffvariante Graphit besteht. Erst seit ungefähr einem Jahrzehnt verwenden Wissenschaftler verschiedene

Kohlenstoffmodifikationen als Katalysatoren in elektrochemischen Reaktionen. Bis-her haben sie beispielsweise Kohlenstoffnanoröhren, Kohlenstofffasern, Graphit und Graphen eingesetzt. Die Forscher vom Oak Ridge National Laboratory sind allerdings die Ersten, die einen solchen Katalysator für die Ammoniakproduktion nutzen. Dabei hat das Element viele Vorteile: Es ist günstiger und weitaus umweltfreundlicher als die Metalle, auf die man üblicherweise zurückgreift. Und es katalysiert die Entstehung von unerwünschtem Wasserstoff weniger effizient.

Für die guten Ergebnisse ist jedoch nicht das verwendete Material allein verantwortlich. Das stellten die Forscher in einem Kontrollexperiment fest. Sie bombardierten die Kohlenstoffstacheln mit hochenergetischen Sauerstoffionen in einem Plasma, so dass die Spitzen stumpf wurden. Anschließend testeten sie diese in der elektrochemischen Zelle. Das Resultat: Es entstand wenig bis gar kein Ammoniak. Es scheint, als beschleunigten lediglich spitze Stacheln die Ammoniakproduktion. Die Autoren der Studie erklären ihre Beobachtung damit, dass die Spitzen das sie umgebende elektrische Feld verstärken und die Elektronen im

Stickstoffmolekül aus dem Gleichgewicht bringen. Das hilft möglicherweise, die extrem starke Dreifachbindung zwischen den beiden Stickstoffatomen zu brechen.

Die Chemiker beobachteten zudem eine effektivere Ammoniaksynthese, wenn sie ein in Wasser gelöstes Lithiumsalz als Elektrolyten nutzten. Natrium- und Kaliumsalze funktionierten hingegen weniger gut. Sie vermuten, dass die Lithiumionen (Li^+) Stickstoffmoleküle zur Elektrode transportieren. Stickstoffgas ist in Wasser schlecht löslich, bindet jedoch sehr gut an Lithiumionen. Letztere lagern sich außerdem an den Spitzen an und verhindern so, dass Wassermoleküle Zugang zur Kathode haben und zu Wasserstoff reagieren.

Während das Team um Rondinone die Ammoniaksynthese mit Hilfe von Kohlenstoffnanostacheln weiterentwickeln will, erzielte eine andere Gruppe von Wissenschaftlern kürzlich ähnlich gute Resultate mit einem ganz anderen Katalysator. Forscher um Xiaofeng Feng von der University of Central Florida im US-amerikanischen Orlando stellten aus dem Edelmetall Palladium Nanopartikel her, die sie auf einer Oberfläche aus kolloidalem Kohlenstoff (so genanntem Industrieruß) aufbrachten.

Genau wie die Kohlenstoffstacheln helfen die Palladiumpartikel, die Dreifachbindung zwischen den Stickstoffatomen im N₂-Molekül zu brechen, aber auf eine andere Weise: Das Palladium erleichtert es Wasserstoffionen (H⁺), sich an der Kathode anzulagern – als Palladiumhydrid. Die aus dem Wasser stammenden Wasserstoffionen reagieren schließlich mit dem Stickstoffgas zu Ammoniak. Durch die Zwischenlagerung am Palladium wird dieser Prozess beschleunigt.

Die beiden Nanokatalysatoren erzielen eine vergleichbare Ammoniakausbeute: Auch Feng und seine Kollegen erreichten einen faradayschen Wirkungsgrad von etwa zehn Prozent. Allerdings benötigten sie dafür eine geringere Spannung, 0,1 Volt, gegenüber den 1,2 Volt, die das Team um Rondinone anlegen musste. Andererseits ist Kohlenstoff deutlich billiger als Palladium. Wollte man die genauen Kosten der Katalysatoren vergleichen, müsste man ihren Herstellungsaufwand ebenfalls mit einbeziehen. Doch darüber geben die Autoren in ihren Studien keine Auskunft.

Eine Ablösung des Haber-Bosch-Verfahrens durch Elektrolyse würde nicht nur Energie, CO₂ und fossile Brennstoffe

einsparen. Daneben ist das elektrochemische Verfahren auch wesentlich flexibler. Man wäre nicht mehr auf riesige Produktionsanlagen angewiesen, sondern könnte Ammoniak in kleinem Maßstab dezentral herstellen: etwa in landwirtschaftlichen Regionen, wo ein entsprechender Bedarf an Düngemitteln herrscht. Damit ließen sich zusätzlich die Transportkosten reduzieren.

Bis dahin ist es allerdings noch ein weiter Weg. Die Entwicklung einer konkurrenzfähigen Ammoniaksynthese mittels Elektrolyse befindet sich erst im Anfangsstadium. Die Wissenschaftler sind aber optimistisch, die Ausbeute ihrer Verfahren weiter steigern zu können. Rondinone schätzt, dass man Ammoniak frühestens in ungefähr zehn Jahren in marktrelevanten Mengen elektrolytisch herstellen können wird. ↵

(Spektrum der Wissenschaft, September 2018)

Song, Y. et al.: A Physical Catalyst for the Electrolysis of Nitrogen to Ammonia. In: *Science Advances* 4, e1700336, 2018

Wang, J. et al.: Ambient Ammonia Synthesis via Palladium-Catalyzed Electrohydrogenation of Dinitrogen at Low Overpotential. In: *Nature Communications* 9, 1795, 2018



gymglish
& **Spektrum.de**

**Verbessern Sie Ihr
Englisch online**

- ✓ Kostenloser Einstufungstest
- ✓ Bereits mehr als 3 Mio. Nutzer
- ✓ Individuell angepasste Kursinhalte

1 Monat kostenlos



SPRINGERS EINWÜRFE

Landwirtschaft und Datenhunger

von Michael Springer

Eine Langzeitstudie aus China führt modellhaft vor, dass ein riesiger Agrarsektor zugleich effizient und nachhaltig wirtschaften kann. Das Geheimnis: umfassende Information.

Wie lässt sich eine Weltbevölkerung ernähren, die zum Ende dieses Jahrhunderts auf zehn Milliarden Menschen anwachsen wird? Gewiss nur mit intensiver Landwirtschaft. Doch führt die nicht unweigerlich zu anfälligen Monokulturen, Überdüngung und Bodenerosion? Kann eine ausreichende Nahrungsproduktion also überhaupt nachhaltig funktionieren?

Eine Untersuchung von chinesischen Agronomen um Zhemling Cui von der

Landwirtschaftlichen Universität Chinas in Peking weckt Hoffnungen. Das Ausmaß der Studie ist beispiellos: Sie dauerte zehn Jahre, von 2005 bis 2015, und erfasste fast zehn Prozent der 200 bis 300 Millionen bäuerlichen Kleinbetriebe, die im heutigen China jeweils einige Hektar bewirtschaften (*Nature* 555, S. 363–366, 2018).

Chinas Kleinbauern düngen exzessiv. Sie setzen viermal so viel Stickstoffdünger ein wie im weltweiten Durchschnitt, erzielen damit aber im globalen Vergleich nur halb so viel Wirkung. Wie die Autoren der Studie betonen, hat das auf Dauer katastrophale Folgen: Die Böden versauern, die Gewässer werden verseucht, und Unmengen von Treibhausgasen gelangen in die Atmosphäre.

Der erste Schritt zu einem evidenzbasierten Verfahren, das zugleich Effizienz und Nachhaltigkeit erhöhen sollte, war umfassendes Datensammeln. Zu diesem Zweck entstand in China ein riesiges Netzwerk, das 1200 Agrarexperten, 65000 lokale Beamte, 140 000 Industrievertreter und 21 Millionen Bauern einspannte. Die gewonnenen Informationen geben Auskunft, wie Bewässerung, Pflanzendichte und Samentiefe die Produktivität beeinflussen.

Im zweiten Schritt wurden aus den Daten lokal angepasste Empfehlungen hergeleitet und den vernetzten Bauern zur Verfügung gestellt. Ein Beispiel: Im wasserreichen Süden Chinas lässt sich Reis viel dichter anbauen, als die Bauern traditionell gewohnt waren.

Die Resultate der chinesischen Langzeitstudie sind spektakulär: Die Ausbeuten an Mais, Reis und Weizen stiegen im fraglichen Jahrzehnt jeweils um rund 11 Prozent, während der Verbrauch von Düngemitteln im selben Zeitraum je nach Ernteprodukt zwischen 15 und 18 Prozent abnahm. Die Bauern gaben weniger Geld aus, nahmen mehr ein und wirtschafteten umweltfreundlicher. Diese Effekte bestehen nach dem Ende der Studie weiter.

Wohlgemerkt, die Fortschritte wurden nicht durch staatliche Vergabe materieller Hilfen erzielt – etwa Düngemittel, Landmaschinen und Traktoren –, sondern durch Sammeln und Mitteilen wissenschaftlicher Daten über lokale Bedingungen und agrarische Bedürfnisse.

So wie in China dominieren in Indien und im subsaharischen Afrika bäuerliche Kleinbetriebe die Landwirtschaft. Allerdings fehlt dort sowohl eine gut entwi-

ckelte Infrastruktur als auch eine öffentliche Hand, die im Prinzip alle Informationen zusammenträgt. Dennoch könnten agrarwissenschaftliche Datennetze in solchen Regionen Effizienz und Nachhaltigkeit steigern, wenn auch zunächst wohl nur auf lokaler Ebene. Das positive Beispiel würde aber vielleicht ansteckend wirken und am Ende im besten Fall ganze Staaten erfassen.

Chinas Agrarsektor hat eine extrem bewegte Geschichte hinter sich. Der unter Mao 1958 ausgerufene »Große Sprung nach vorn« scheiterte; das Experiment einer Kollektivierung der Landwirtschaft bei gleichzeitig dezentraler Industrialisierung endete mit einer der größten Hungersnöte der Geschichte. Dafür vermochte China in der postmaoistischen Ära binnen 30 Jahren 800 Millionen Menschen aus Hunger und Armut zu befreien. Nun könnte der groß angelegte Versuch, lokale Landwirtschaftsbetriebe in ein zentrales Informationsnetz einzubinden, als Modell zur Lösung des globalen Nahrungsproblems dienen. ↗

(Spektrum der Wissenschaft, Mai 2018)



ZUKUNFT DER LANDWIRTSCHAFT

SIND ROBOTER DIE BESSEREN BAUERN?

von Eva Wolfangel

Künstliche Intelligenz könnte die Landwirtschaft weltweit revolutionieren. Doch Sozialethiker und Globalisierungskritiker warnen vor Begleiterscheinungen.

Traktoren ernten automatisch, Futterzeiten und -mengen von Kühen werden vom Computer berechnet, auf dem Acker »krabbeln« kleine Roboter und säen aus, im Boden stecken Sensoren und melden Wasser- oder Nährstoffknappheit – und über allem schweben Drohnen, die kontrollieren, ob alles richtig abläuft, und an manchen Stellen die nötigen Pestizide verteilen: So sieht Landwirtschaft teilweise bereits heute aus. Viele Bauern sind offen für moderne Technologie, wie eine Befragung des Digitalverbands Bitkom 2018 ergab: Insgesamt sehen zwei Drittel der Landwirte digitale Technologien als Chance, und mehr als die Hälfte wenden sie auch schon an. Landmaschinen, mit denen die Bodenbearbeitung, Aussaat, Pflanzenpflege und Ernte digital erfolgen, hätten bereits 39 Prozent der Landwirte beziehungsweise Lohnunternehmer genutzt, heißt es.

Das hat auch Markus Vogt überrascht: »Wir waren selbst erstaunt, wie weit Bauern Digitalisierung schon einsetzen.« Der Professor für Christliche Sozialethik an der Ludwig-Maximilians-Universität in München hat sich für die Deutsche Akademie

der Technikwissenschaften acatech mit dem Stand der Digitalisierung in der Landwirtschaft und möglichen ethischen Fragestellungen beschäftigt. »Das gängige Bild, dass Landwirte eher konservativ sind, trifft offenbar nicht zu«, sagt er. Die Landwirtschaft sei in der Digitalisierung weiter vorangeschritten als die Autoindustrie. So machen Sensorik und Software bei Landmaschinen bereits 30 Prozent der Wertschöpfung aus, während sie in der Autoindustrie nur zehn Prozent betragen. Nach Angaben der International Federation of Robotics ordern Landwirte ein Viertel aller Serviceroboter weltweit – mit militärischen und logistischen Anwendungen der größte Markt.

Mit der Digitalisierung verbindet sich in der Landwirtschaft eine große Hoffnung: So genanntes Precision Farming, Präzisionslandwirtschaft, verspricht unter anderem, dass in Echtzeit mittels Sensoren gemessen wird, was die Pflanzen brauchen, und entsprechende Mittel gezielter und damit ressourcenschonender eingesetzt werden können – vom Wasser bis zum Dünger. Dank maschinellen Lernens kann zudem immer besser berechnet werden, welche Strategien und welche Behandlung die

Ernte steigern oder gegen Pflanzenkrankheiten helfen. »Man kann optimieren, was die Pflanzen brauchen, und erheblich Spritzmittel und Wasser sparen«, sagt Vogt.

Mittel gegen die Krise

Schließlich stecke die Landwirtschaft in einer tiefen Krise – zumindest in der öffentlichen Wahrnehmung –, etwa wegen des Insektensterbens, das unter anderem auf den Pestizideinsatz zurückzuführen sei. Andererseits sei die Landwirtschaft schon derart optimiert, dass Pestizide nicht einfach ohne alternative Strategie weggelassen werden könnten. »Das Potenzial der Effizienzsteigerung durch Präzisionslandwirtschaft ist enorm«, sagt Vogt überzeugt. Gleichzeitig könnten die Auswirkungen auf die Umwelt gesenkt werden.

Wichtig sei allerdings, eines im Blick zu haben: »Das Leitbild der Optimierung steht manchen Mechanismen der Natur entgegen.« Immer wieder würden komplexe Prozesse der Natur nicht richtig verstanden, was zu Problemen führe. Beispielsweise widerspricht die Fruchtwechselfolge, mittels der die Bodenfruchtbarkeit erhalten bleibe, auf den ersten Blick dem Effizienzdenken. Schließlich ist sie deutlich aufwändiger als



Monokulturen. Doch langfristig lohnt sie sich, da der Boden länger fruchtbar bleibt. »Man muss sehr vorsichtig sein: Kleinbäuerliche traditionelle Landwirtschaft hat aus Erfahrungswissen Zusammenhänge berücksichtigt, die man bei der Optimierung nicht immer ganz im Blick hat.«

Andererseits ist genau dieses Wissen und die Erfahrung der Bauern teilweise auch begrenzt oder ungenau, wie Joachim

Hertzberg, Professor für Informatik an der Uni Osnabrück, immer wieder auffällt. Beispielsweise wenn es um das Thema Boden geht: »Der Boden leidet nicht nur unter Dünger, sondern auch unter der Verdichtung durch riesige Maschinen. Aber keiner weiß, wie genau.« Alternativen kann man beim internationalen »Field Robot Event« beobachten, einem weltweiten Hochschulwettbewerb, bei dem regelmäßig Studie-

Mit Hilfe von Drohnen können Bauern besser steuern, wo sie Dünger oder Pestizide einsetzen.

rende der TU Braunschweig mit ihren selbst entwickelten autonomen Feldrobotern relativ erfolgreich sind.

Roboter lösen nicht alle Probleme

Doch nicht jedes Problem lässt sich mit diesen winzigen Robotern lösen – für manches braucht es weiterhin schwere Maschinen. Hier hilft eine optimierte Route. Doch die Vermutungen darüber, welcher Boden wie unter den tonnenschweren Traktoren leidet, gehen unter Landwirten weit auseinander, erklärt Hertzberg. Kein Wunder, es ist von außen kaum zu durchschauen, wie genau es den Boden schädigt und vor allem, an welchen Stellen weniger Schäden auftreten. »Boden ist ein furchtbar schwieriges Substrat«, so der Informatiker.

Wie stark der Boden unter schweren Maschinen leide, liege unter anderem an der Art und der Feuchtigkeit des Bodens sowie an der Fahrtrichtung des Traktors und unbekannten möglichen weiteren Faktoren. »Wovon das genau abhängt, weiß keiner«,

sagt Hertzberg: Es gäbe bis jetzt keine exakten Bodenmodelle. Die sollen nun in Zusammenarbeit mit dem Johann Heinrich von Thünen-Institut, dem Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, erstellt werden. Auf dieser Grundlage kann dann ein Assistenzsystem für landwirtschaftliche Fahrzeuge in Echtzeit den Menschen auf der besten Route über den Acker navigieren – und so möglichst wenig Schaden anrichten.

Die Ernte im Blick

Optimierungspotenzial besteht aus Hertzbergs Sicht auch bei der Ernte. Am Beispiel der Maishäcksel-Erntekette untersucht er das gerade in einem Projekt. Bei der Maishäcksel-Ernte fährt neben dem Häcksler selbst stets ein Traktor mit Anhänger, auf dem das Produkt abtransportiert wird. Im Schnitt alle drei Minuten ist ein Anhänger voll und muss ausgetauscht werden. Wenn das dauert, steht die teure Häckselmaschine erst mal still. »Man braucht etwa ein halbes Dutzend solcher Anhänger im Einsatz, das ist ein klassisches Optimierungsproblem.« In Zukunft wird via GPS-Tracking und diversen Sensoren in Echtzeit koordiniert, so dass alles möglichst effizient abläuft.

»Wir schauen sogar, dass es nicht immer über die gleiche Straße geht, denn das ärgert die Nachbarn«, erzählt Hertzberg.

Und auch beim Erntevorgang an sich lässt sich vieles verbessern, was Maschinen in Verbindung mit Sensoren und Datenauswertung gut können: Beim Ausdreschen von Korn sei es beispielsweise wichtig, die Stärke des Dreschens an den Zustand des Getreides anzupassen. »Wenn man zu stark drischt, hat man am Ende Mehl.« Doch das sei ein »ganz frickeliger Prozess«: Er hänge davon ab, wie feucht das Korn ist, was wiederum unter anderem vom Wetter ebenso wie vom Standort auf dem Acker abhängt. »Man muss theoretisch die Parameter permanent ändern.« Das ist natürlich beim klassischen, händischen Regeln kaum möglich. Ein moderner Mähdrescher mit entsprechender Automatisierung hingegen ermittelt die Feuchtigkeit mittels optischer Sensoren und passt sich in Echtzeit an.

Auch eine Generationenfrage

Laut Hertzberg sind jüngere Landwirte offener für solche Innovationen. »Sie ersetzen Erfahrungswissen.« Älteren Landwirten sei das hingegen eher fremd, mahnt

Ethiker Vogt, und das dürfe man bei aller Euphorie nicht vergessen: »Landwirtschaft 4.0 ist in gewisser Weise eine Entfremdung gegenüber dem Leitbild des Landwirts. Seine Verbindung zur Natur wird ersetzt durch Maschinen.« Der aktuelle Strukturwandel nehme dem bäuerlichen Beruf etwas von seiner Ursprünglichkeit.

»Auch Nebenerwerbslandwirte sind häufig nicht bereit, sich auf die Digitalisierung einzulassen«, weiß Vogt. Sein Fazit: Wenn gewisse ethische Fragen bedacht werden, unter anderem jene, dass die Ernährung von Menschen stets Vorrang haben sollte vor neuen Ackerflächen für Bioenergie, habe Precision Farming großes Potenzial. »Ich glaube auch, dass wir es brauchen, wenn wir zehn Milliarden Menschen ernähren wollen.« So viele Menschen werden nach Prognosen der Vereinten Nationen 2050 auf der Erde leben.

Deutlich kritischer sieht Jan Urhahn die Digitalisierung der Landwirtschaft: »Es gibt bestimmte Heilsversprechen, zum Beispiel das des Ressourcenschutzes und der Effizienz, die wir seit zehn Jahren hören«, sagt der Referent für Landwirtschaft und Welternährung bei der globalisierungskritischen NGO Inkota. Nur: »Der



MAISERNTEN
**Eine Effizienzschwierig-
keit ergibt sich bei der
Getreideernte, wenn
Transporter neben dem
Mähdrescher fahren,
um Mais oder Getreide
aufzunehmen.**

LEONID EREMEYCHUK / GETTY IMAGES / ISTOCK

Pestizidverbrauch steigt trotzdem weiter an.« Was funktioniert nicht? Aus seiner Sicht ist genau das Effizienzdenken im Hintergrund die Ursache vieler Probleme: »Die industrielle Landwirtschaft produziert eher Monokulturen. Sie trägt und regeneriert sich nicht selbst.« Die Folge: Es braucht Input von außen, bis heute meist in Form von Pestiziden.

Nur ein Verteilungsproblem?

Das Versprechen der Digitalisierung, »die großen Krisen der Zeit zu lösen, die wir selbst verursacht haben«, sieht Urhahn als nicht realistisch an: »Das industrielle Agrarsystem trägt eine große Verantwortung für das Hungerproblem.« Schließlich treibe es nicht nur den Klimawandel voran, sondern auch die Bodendegeneration. Aus seiner Sicht gibt es mehr ein Verteilungs- denn ein Nahrungsproblem. »Die sozio-ökonomischen Herausforderungen kann man nicht technisch lösen.«

Im Gegenteil, Urhahn befürchtet, dass Digitalisierung und insbesondere der Einsatz künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft soziale Ungleichheiten noch verschärfen. Denn in einem der wichtigsten Punkte – bei den Daten – gibt es schon

jetzt eine starke Zentralisierung. »Es gibt wenige Akteure bei den digitalen Plattformen, beispielsweise Bayer-Monsanto, die großen Landmaschinenhersteller und Google, Facebook und Amazon.« Was haben die sozialen Netzwerke mit Landwirtschaft zu tun? Google und Facebook haben bereits heute das größte Wissen über die Präferenzen und Bedürfnisse der Verbraucher – und die stehen am einen Ende der Verwertungskette. Sie entscheiden schließlich, welche Produkte erfolgreich sind und welche nicht. Wohin die Reise geht, zeigt ein aktuelles Ereignis: Amazon hat kürzlich Whole Foods Market gekauft, eine der größten Biohandelsketten in den USA.

Und Facebook hat nach Urhahns Informationen gerade ein Kooperationsabkommen mit dem großen US-Landmaschinenhersteller John Deere abgeschlossen, in dem unter anderem Facebooks Wissen in der Bilderkennung dafür genutzt werden soll, Pflanzenkrankheiten anhand von Fotos zu erkennen.

Wer am meisten Daten hat, macht auch hier am Ende das meiste Geld: »Die Idee hinter der Plattformökonomie ist es, so viele Daten wie möglich zu sammeln – angefangen von den Präferenzen der Verbrau-

cher über das Wetter, Saatgutinfos bis zur Bodenqualität –, sie zusammenzuführen, algorithmisch auszuwerten und dies als Produkt zu verkaufen.« Oder den Informationsvorsprung zu nutzen. Und das wiederum diene derzeit nur den Großen: »Digitalisierung wird einen Strukturwandel in der Landwirtschaft forcieren zu Gunsten der großen Konzerne und zu Lasten der bäuerlichen Erzeuger.«

Ein neuer Verdrängungswettbewerb

Auch neue Technologien wie Drohnen, die häufig dafür gepriesen werden, die Bearbeitung und Überwachung von Feldern zu verbessern, haben aus Urhahns Sicht das Potenzial, diesen Wandel ins Negative zu wenden: »Drohnen machen Landwirtschaft für Fremdkapital noch attraktiver.« Schließlich ist es so einfacher, ein Feld zu überwachen, ohne selbst vor Ort zu sein. Die Folge: Kleinbauern würden verdrängt, die sich diese Technologien nicht leisten können.

Sind Digitalisierung und die Nutzung künstlicher Intelligenz in der Landwirtschaft aus seiner Sicht also per se eher ein Problem als eine Lösung? »Es kommt auf die Grautöne an«, sagt Urhahn. Zentral ist aus seiner Sicht die Frage: Verbessert eine

Technologie die Lebensbedingungen von Kleinbauern? So gebe es eine Menge Beispiele, wo neue Technologien sinnvoll und zum Nutzen lokaler Gemeinschaften genutzt würden, etwa in Lateinamerika, wo sich Bauern zusammenschließen und gemeinsam per Drohnen ihr Territorium vor Landgrabbing schützen. Andere Organisationen beobachten mit Hilfe von Satellitenfotos, ob und wo der Regenwald abgeholt wird. Zudem gibt es zahlreiche Apps, mittels derer sich Bauern in Entwicklungsländern über das Wetter, Pflanzenkrankheiten und vieles mehr austauschen.

Die zweite wichtige Frage in diesem Zusammenhang sei die nach den Daten. »Wir brauchen eine demokratische Kontrolle«, fordert Urhahn: Ob die Daten den Landmaschinenherstellern oder den Bauern gehören, sei schließlich ein entscheidender Unterschied. »Es ist naiv, darauf zu vertrauen, dass die großen Unternehmen einfach nett sind.« Das zeige nicht zuletzt der Cambridge-Analytica-Skandal bei Facebook. »Wir brauchen unabhängige Datenplattformen, denn wenn Märkte extrem verdichtet sind, gibt es keine freie Entscheidung in der Datenschutzerklärung.« So wie Facebook-Nutzer stehen auch viele Bauern vor dem Di-

lemma: Entweder ich unterschreibe, dass meine Daten den großen Konzernen zur Verfügung stehen, oder ich kann den Dienst (in diesem Fall die Landmaschine) nicht nutzen. Dabei ist es keine Frage: Wenn Daten für alle offen sind, kann die Gesellschaft vom daraus entstehenden Wissen profitieren.

Zumindest darin sind sich der Globalisierungskritiker Urhahn und der Informatiker Jochen Hertzberg einig: »Landmaschinenhersteller sagen: Kaufen Sie unsere Maschinen, aber die Daten bleiben unsere«, erklärt Hertzberg. In einem Projekt untersucht er gerade mit Kollegen, inwiefern eine selektive, selbstbestimmte Datenweitergabe für die Bauern technisch möglich ist. »Wir wollen Mechanismen entwickeln, um die Datenhoheit durchzusetzen, ohne den Landwirt zu überfordern.« Schließlich entstehe mit den Daten ein zusätzlicher Wert, von dem auch etwas bei den Bauern ankommen müsse, die sie erzeugen. So weit die Landwirtschaft in der Digitalisierung auch sein mag – sie ist beim entscheidenden Problem gelandet: der Frage, ob die Daten für das Gemeinwohl genutzt werden können oder nicht. ↪

(Spektrum – Die Woche, 07/2019)

Spektrum
der Wissenschaft
KOMPAKT

FÜR NUR
€ 4,99

KLIMA- WANDEL

Der Einfluss der globalen Erwärmung

Küstenschutz | Wann kommt die Flut?
Atmosphäre | Das Wolkenparadoxon
Extremwetter | Ist das noch normal?

HIER DOWNLOADEN



ROHSTOFFE

Wächst die **Zukunft der Chemieindustrie** auf dem Acker?

von Roland Knauer

Bereits heute basieren 13 Prozent der Rohstoffe für die organisch-chemische Industrie nicht auf Erdöl, Kohle oder Erdgas, sondern gelten als nachwachsend.

Erdöl, Kohle und Erdgas sind endlich, und das stellt die chemische Industrie vor ein Problem. Das Rohmaterial für Kunststoffe einfach vom Acker oder aus dem Wald zu holen, das klingt verlockend. Und es ist möglich. Neu ist diese Idee genau genommen nicht: Schließlich köchelten bereits die Neandertaler vor 200 000 Jahren die Rinde von Birken so lange im Feuer, bis daraus erst Teer und später Pech entstand. Chemiker nennen diesen Vorgang eine Pyrolyse, aus den Biomolekülen der Birkenrinde stellten die Neandertaler einen Urzeitkunststoff her. Dieses so entstandene Birkenpech war eine Art Alleskleber der Steinzeit, mit dem man zum Beispiel Steinspitzen fest an einen Holzschaft heften konnte.

Exakt mit dieser Methode hatte der Steinzeitmann Ötzi vor mehr als 5000 Jahren in den Alpen an seine Pfeilschäfte aus dem Holz des Wolligen Schneeballs kunstvoll aus Feuerstein geschlagene Spitzen geklebt. Obendrein konnte man mit diesem Pech zum Beispiel Boote wasserdicht machen, was in der biblischen Bauanleitung für die Arche Noah schriftlich festgehalten ist, tatsächlich aber schon viel früher steinzeitliche Bootsbauer angewendet hatten.

Auch der erste Kunststoff des Industriezeitalters wurde aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt: Kampfer wurde aus dem Holz, den Zweigen und Blättern des Kampferbaums destilliert, während das auch als Schießbaumwolle bekannte Zellulosenitrat mit einem Gemisch aus Salpeter- und Schwefelsäure aus Baumwolle produziert wurde. Mischt man beide Substanzen, erhält man Zelluloid, dessen erste Anwendung die preiswerte Herstellung von Billardkugeln war, die vorher aus Elfenbein waren.

Bald danach ersetzte man andere teure Naturprodukte wie Bernstein, Ebenholz oder Schildpatt durch erheblich billigere Massenprodukte aus Zelluloid, das obendrein noch zu einem durchsichtigen Träger für Fotos und Filme weiterentwickelt wurde. Erst als Erdöl in großen Mengen gefördert und verarbeitet wurde, verdrängten vielerorts billigere, fossile Alternativen die nachhaltigen Kunststoffe und Rohmaterialien. Seit der Jahrtausendwende schlägt das Pendel jedoch zurück und »grüne« Produkte werden in der chemischen Industrie, aber auch von anderen Sparten wie der Automobilindustrie wieder häufiger eingesetzt.

Trabant als Vorreiter

Allerdings waren die Naturprodukte zwischenzeitlich nicht vollständig verschwunden, sondern hatten in einigen Nischen überlebt. Eine davon war die DDR. Dort stellte man die Karosserie des Trabants aus Phenolharzen her, die mit Baumwollfasern verstärkt wurden. Der Spitzname »Plastikbomber« war also durchaus treffend gewählt. Und er hatte nicht von der Hand zuweisende Vorteile. So sind solche mit Fasern aus der Natur verstärkten Kunststoffe ähnlich wie Stahlblech mechanisch stark belastbar, aber deutlich leichter. Ihr Einsatz senkt daher den Energieverbrauch eines Fahrzeugs.

Auch aus diesem Grund werden heute vor allem im Fahrzeuginnenraum verschiedene Bauteile wie Armaturenbrett und Hutablage sowie Kofferraum- und Türverkleidungen aus Kunststoff angefertigt, der mit Hanf, Flachs oder Jute verstärkt ist. Solche Verbundwerkstoffe sind deutlich leichter als herkömmliche, glasfaserverstärkte Kunststoffe. Obendrein benötigt ihre Herstellung zwischen 25 und 75 Prozent weniger Energie. Rechnet man den in den Naturfasern steckenden Kohlenstoff mit ein, erspart das dem Klima zwi-

schen 28 und 74 Prozent des Treibhausgases Kohlendioxid.

Bisher wird der Kunststoff dieser Werkstoffe allerdings meist aus Erdöl produziert, weil das heutzutage noch billiger ist. »Die Naturfasern können jedoch auch in Harze eingebettet werden, die aus Naturstoffen hergestellt werden«, erklärt Dietmar Peters von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) in Gützow-Prüzen in Mecklenburg-Vorpommern. Ausbaufähig ist sicher auch die Verwendung außerhalb des Automobilbaus: 2015 wurden in Europa von 92 000 Tonnen mit Naturfasern verstärkten Kunststoffen gerade einmal 2000 Tonnen nicht für Autos, sondern für andere Zwecke zum Beispiel für das Herstellen von Geigenkoffern eingesetzt.

Deutlich anders sieht die Situation bei Kunststoffen aus, die mit Holzmehl oder -spänen aus Sägewerken gefüllt oder verstärkt werden. Zwar landeten von den 2015 in Europa so hergestellten 260 000 Tonnen Kunststoffen satte 60 000 Tonnen im Automobilbau. Mit 174 000 Tonnen wurden aber erheblich größere Mengen zu Terrassendielen verarbeitet, die vor allem tropische Hölzer ersetzen. Da solche Werkstoffe zum Beispiel zu 30 Prozent aus



SNAPTITUDE / STOCK.ADOBE.COM

Polypropylen bestehen, dessen Grundstoff Erdöl ist, und zu 70 Prozent aus Holzmehl, das meist von heimischen Nadelhölzern stammt, schonen solche Werkstoffe also tropische Wälder.

Nachhaltig auf dem Nürburgring

Auch beim Automobilbau soll die Entwicklung nicht bei Hutablagen und Koffer-

IN DER KAUTSCHUKPLANTAGE
Ein Kautschukbaum in Indien mit Sammelbehälter für den Milchsaft. Aus dem angeschnittenen Baum tropft der Latex, der als Grundstoff für zahlreiche Produkte aus Gummi dient.

raumverkleidungen aus nachwachsenden Rohstoffen stehen bleiben. So fördert die FNR seit 2011 Studien zu einem BioHybrid-Car, die von der Hochschule Hannover, dem Fraunhofer-Institut für Holzforschung in Hannover und dem Motorsport-Marketingunternehmen Four Motors in Reutlingen vorangetrieben werden. Dabei werden wichtige Karosserieteile wie zum Beispiel die Fahrzeugtüren aus Flachsfasergewebematten in die benötigte Form gelegt, mit einem Harz aus Erdöl oder später aus Sonnenblumen- oder Leinöl getränkt und vollständig ausgehärtet.

Diese Teile sind erheblich leichter als der bisher verwendete Stahl: Während eine herkömmliche Seitentür 38,5 Kilogramm wiegt, bringt die mit Pflanzenfasern verstärkte Kunststofftür gerade einmal 14 Kilogramm auf die Waage. Im Durchschnitt liegt die Gewichtersparnis bei verschiedenen Fahrzeugteilen bei 60 Prozent, was sich bei einem VW-Scirocco-Rennwagen auf insgesamt 67 Kilogramm addiert.

Das senkt den Energieverbrauch enorm. Obendrein sind solche Werkstoffe viel preiswerter als Kohlefasern. Beim 24-Stunden-Rennen auf dem Nürburgring absolvieren diese Fahrzeuge einen harten Pra-

xistest, den 2018 die drei eingesetzten Teilplastik-Porsche-Rennfahrzeuge mit Bravour bestanden. Dabei sollen solche Wettbewerbe den Weg für Verbundwerkstoffe zum Energiesparen in normalen Straßenfahrzeugen ebnen.

Autoreifen aus Löwenzahn

Diese Alltagsautos fahren dann vermutlich auf Reifen, deren Gummi aus Löwenzahn-pflanzensaft stammt. Nachhaltig kann man solche Reifen zwar aus Naturkautschuk herstellen. Allerdings wachsen die dafür benötigten Kautschukbäume nur in den Tropen, und die Plantagen dort können die Nachfrage nach diesem Rohstoff für Reifen, Latexhandschuhe in Krankenhäusern, Kondome und eine ganze Reihe weiterer Produkte bei Weitem nicht decken. Daher stammt heute 60 Prozent des weltweit verwendeten Kautschuks nicht aus tropischen Plantagen, sondern aus Erdöl. Das wiederum spürt der Autofahrer an der Qualität: Die technischen Eigenschaften dieses synthetischen Kautschuks sind deutlich schlechter als beim Naturprodukt. Kein Wunder, wenn der Naturkautschukmarkt im Jahr 2011 bereits 20 Milliarden US-Dollar umgesetzt hat.

»700 000 Tonnen Pflanzenstärke wandern jedes Jahr in Deutschland in die Papierindustrie«

[Dietmar Peters]

Als Alternative diente bereits im Zweiten Weltkrieg der Russische Löwenzahn *Taraxacum kok-saghyz*. Der weiße Pflanzensaft dieses Gewächses hat ähnliche Eigenschaften wie Naturkautschuk. Die FNR hat daher gute Gründe, bis November 2019 im Projekt TAKOWIND II diesen Pflanzensaft vom Hersteller Continental Reifen Deutschland und weiteren Unternehmen, den Universitäten Münster und Regensburg sowie dem Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen genauer untersuchen zu lassen.

Dabei soll nicht nur die Züchtung des Löwenzahns intensiviert und beschleunigt, sondern auch der Latexertrag der Pflanzen auf zehn Prozent verbessert und die Grundlagen für einen kommerziellen Anbau gelegt werden. Unter anderem wird in einem Teilprojekt eine Erntemaschine für Löwenzahn entwickelt. Dahinter steckt natürlich auch der Gedanke, Deutschland und die Europäische Union von Importen dieses Rohstoffs unabhängig zu machen. Immerhin fällt Kautschuk eine strategische Schlüsselrolle zu, weil ohne ihn kein Autoreifen rollen würde.

Gut geschmiert dank einer Million Tonnen Schmieröl pro Jahr

Weniger im Blickpunkt von Autofahrern stehen normalerweise Schmieröle, meist tauchen sie nur als Posten »Motoröl« auf der Kundendienstrechnung auf. Diese Substanzen verringern die Reibung erheblich und lassen bewegliche Teile zum Beispiel in einem Motor aneinander vorbeigleiten – ohne Schmieröle würde sich in der modernen Technik wenig bewegen. Da wundert es nicht, wenn in Deutschland jedes Jahr rund eine Million Tonnen Schmieröle in Motoren und Getrieben, Hydraulik und vielen anderen Bereichen wie Planeten- und Schneckengetrieben für die Verpackungsindustrie eingesetzt werden. Allerdings liegt der Bioanteil nach FNR-Angaben im Jahr 2018 nur bei rund 35 000 Tonnen, immerhin mit steigender Tendenz.

Technische Gründe dürften diesem Unterschied eigentlich nicht zu Grunde liegen. Die häufig aus Raps hergestellten Bioschmieröle erreichen die technischen Eigenschaften der aus Erdöl produzierten Konkurrenz ohne Probleme, oft übertreffen sie diese deutlich. Das hat allerdings seinen Preis, so kostet ein Hydrauliköl vom

Acker mehr als das Dreifache des herkömmlichen Produkts.

Andererseits altert das Bioproduct auch langsamer und hält daher länger, statt nach 2000 Betriebsstunden ist ein Ölwechsel zum Beispiel erst nach 6000 Stunden fällig. Rechnet man alle Faktoren wie die Arbeitszeit für einen Ölwechsel mit ein, summieren sich die herkömmlichen Öl Kosten für eine 60-Tonnen-Bagger laut FNR auf 1,27 Euro pro Betriebsstunde, während das Bioöl mit rund zehn Prozent höheren Kosten und 1,39 Euro pro Stunde zu Buche schlägt.

Bioöl ist biologisch abbaubar – was ein großer Vorteil ist

Nicht einberechnet sind dabei einige schwer zu beziffernde Vorteile für das Bioproduct: Durch die höhere Ölqualität ist der Verschleiß deutlich geringer, weil der Ölwechsel seltener anfällt, muss die Arbeit weniger oft unterbrochen werden. Und bei einem Unfall sind die Kosten niedriger, weil das Bioöl in der Umwelt rasch abgebaut wird.

Aus diesem Grund hat sich die biologische Alternative bei Kettensägen längst durchgesetzt und erreicht dort einen

Marktanteil von mehr als 80 Prozent: Ein kleiner Teil dieses Kettenöls wird nämlich verbraucht und gelangt in die Umwelt. Und dort ist die biologische Abbaubarkeit natürlich sehr gefragt. Einen ähnlichen Siegeszug könnten auch andere Geräte antreten – vor allem, wenn der Preis sinken sollte. So scheint es möglich, den Ölwechsel beim Hydraulikbagger statt nach 6000 erst nach 10 000 Betriebsstunden zu machen, was die Ölkosten auf 1,09 Euro pro Betriebsstunde und damit deutlich unter die Werte von herkömmlichen Schmiermitteln senken dürfte.

Knapp 1,2 Millionen Tonnen Pflanzenöle und -fette werden in Deutschland jedes Jahr in chemischen und technischen Verfahren eingesetzt. Gerade einmal vier Prozent davon werden zu Schmierölen verarbeitet. Ganz anders sieht die Situation nach Angaben der FNR dagegen bei Wasch-, Pflege- und Reinigungsmitteln aus, die mehr als die Hälfte des Marktes bei Pflanzenölen und -fetten beanspruchen und dabei Kokos- und Palmöl bevorzugen. Viele Tenside aber werden mittlerweile auch aus Zucker gewonnen, der entweder aus heimischen Zuckerrüben oder tropischem Zuckerrohr stammt.

Trotzdem sind nachwachsende Wasch-, Pflege- und Reinigungsmittel immer noch ein Nischenprodukt: Gerade einmal sieben Prozent der für die Reinigungswirkung entscheidenden Tenside in Wasch- und Reinigungsmitteln stammen in Deutschland aus nachwachsenden Rohstoffen. Die Hälfte kommt dagegen immer noch aus Erdöl und Co, während der Rest aus beiden Quellen gemischt ist. Auch im Waschmittelmarkt haben pflanzenbasierte Rohstoffe also durchaus noch Luft nach oben.

Bei den 2017 in Deutschland produzierten 22,9 Millionen Tonnen Papier, Pappe und Karton ist der Spielraum zu mehr Nachhaltigkeit dagegen bereits recht gut ausgeschöpft: Papier wird nach wie vor aus der im Holz vorhandenen Zellulose und damit aus einem nachwachsenden Rohstoff hergestellt und natürlich aus Altpapier recycelt. Das wird vermutlich noch eine Weile so bleiben, weil die Digitalisierung bedrucktes Papier zwar durchaus zurückdrängen könnte, andererseits aber der Internethandel boomt – und damit der Kartonbedarf.

Vor seiner Verwendung wird Papier fast immer beschichtet. Dadurch wird es reißfester und übersteht so zum Beispiel die

starken Kräfte in den immer schneller laufenden Druckmaschinen besser. Diese Beschichtung kann als Acrylat ein Erdölprodukt sein – oder sie kommt in Form von Weizenstärke direkt vom Acker. »700 000 Tonnen Stärke wandern jedes Jahr in Deutschland in die Papierindustrie«, erklärt FNR-Experte Dietmar Peters. »Außerhalb des Lebensmittelbereichs ist das inzwischen die wichtigste Anwendung von Pflanzenstärke.« Da wundert sich niemand mehr, wenn die Stärkeindustrie in Deutschland längst ein eigenes Labor für solche Papierbeschichtungen unterhält.

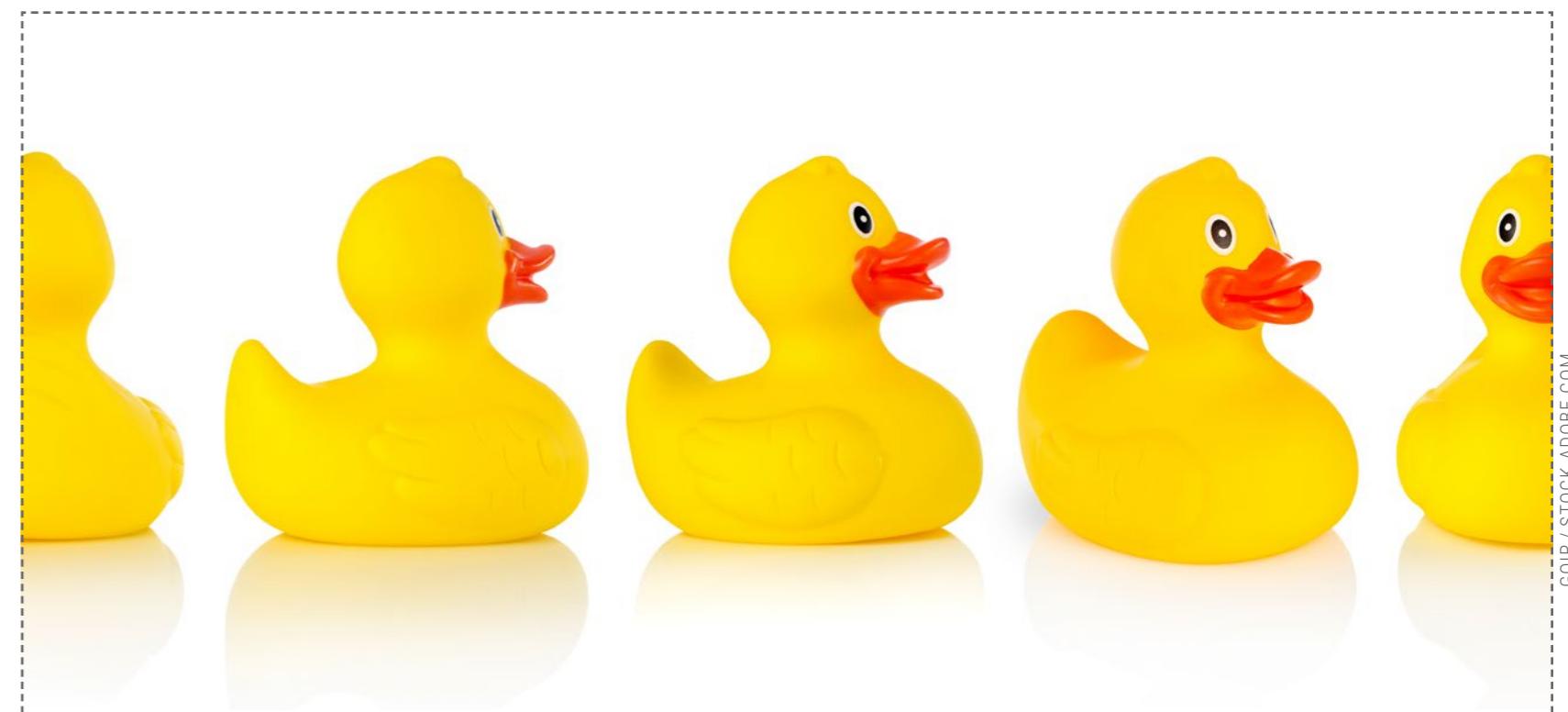
Naturstoff-Boom

Dieser Naturstoff-Boom hat seine Gründe: Stärke baut sich genau wie Kunststoffe aus kleineren Einheiten auf, die zu einer langen Kette miteinander verknüpft sind. Um dem Nachwuchs in Form eines Samens einen guten Start ins Leben zu geben, schicken ihn verschiedene Pflanzen wie Weizen oder Kartoffeln mit einem Energievorrat in die Welt. Dazu verknüpfen sie einzelne Moleküle des Zuckers Glukose zu so genannten Polysaccharidketten und erhalten so einen besonders haltbaren Energiespeicher, der auch nach einigen Jahren noch reichlich

Power hat. Die Zucker lassen sich aber auch ein wenig anders als in Stärke miteinander verknüpfen. Aus der gleichen Glukose entsteht der sehr feste Baustoff Zellulose, der die Wände von Pflanzenzellen stabilisiert und der zur häufigsten organischen Verbindung auf der Erde wurde.

Polymere nennen Chemiker solche langen Ketten, die bereits die Neandertaler oder der Steinzeitmann Ötzi in den Alpen als Birkenpech nutzten. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts beginnt mit dem aus Baumwolle und Kampfer hergestelltem Zelluloid dann der Siegeszug der Kunststoffe, die zunächst einmal aus nachwachsenden Rohstoffen synthetisiert wurden.

Das änderte sich erst, als Erdöl billig zur Verfügung stand. Daraus werden kleine, organische Moleküle gewonnen, die sich ähnlich wie Glukose zu längeren Ketten verknüpfen lassen. Solche Polymere können aus verschiedenen kleinen Molekülen hergestellt und mit einfachen chemischen Reaktionen auch noch verändert werden. Obendrein können Beimischungen anderer Substanzen einen Kunststoff erheblich verändern und ihn zum Beispiel elastischer oder steifer machen. Auf dieser Grundlage produziert die chemische In-



Kunststoffe

Chemisch gesehen umfasst diese als Plastik bezeichnete Werkstoffklasse alle klassischen organischen Polymere; sie bestehen aus kohlenstoffreichen Kettenmolekülen, zusammengesetzt aus einfachen chemischen Bausteinen. Plastik ist heute überall. Nicht nur weil es billig ist, sondern weil es so viele unterschiedliche Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften gibt – sie sind hart oder weich, vertragen mal Hitze, mal aggressive Chemikalien, sind Dämmsschäume für klimaneutrale Häuser, sterile Verpackungen für die Medizin oder Sprit sparende Autoreifen. Das Geheimnis dieser Vielfalt ist einfach, dass es sehr viele unterschiedliche Bausteine gibt, von denen jeder einzelne ein Material mit spezifischen Eigenschaften bildet. Einen Nachteil allerdings haben Kunststoffe: Sie entstehen heute noch fast ausschließlich aus Erdöl. Jedoch arbeiten Forschungsgruppen weltweit bereits an vergleichbaren Materialien aus natürlichen Quellen.

dustrie heute eine ganze Palette von Kunststoffen mit zum Teil sehr unterschiedlichen Eigenschaften.

Renaissance nachwachsender Rohstoffe

Ähnliches klappt natürlich auch mit nachwachsenden Rohstoffen, die vor allem seit der Jahrtausendwende wieder stärker in den Blick gerückt sind. Einige der Verfahren sind aber viel älter, Viskose gibt es zum Beispiel bereits seit dem Ende des 19. Jahrhunderts. Dabei handelt es sich um Zellulose aus Holz, Bambus, Baumwolle und anderen Pflanzenmaterialien, die zunächst chemisch gelöst und anschließend durch Düsen gepresst mit Hilfe von Schwefelsäure wieder zu Viskose, Viskoseseide, Zellwolle, Rayon oder Kunstseide versponnen werden.

Aus diesen Fasern lassen sich nicht nur Textilien, sondern auch Hygieneprodukte wie der stark saugfähige Kern von Tampons herstellen. Drückt man die Viskoselösung nicht durch Düsen, sondern durch einen engen Spalt, entsteht eine Folie, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts als Zellophan zum Verpacken von Lebensmitteln verwendet wurde. Mit relativ einfachen chemischen Reaktionen kann die

Viskose in andere Werkstoffe umgewandelt werden. Hängt man zum Beispiel Nitratgruppen an, entsteht zunächst Zellulosenitrat, das mit Kampfer zu Zelluloid weiterverarbeitet werden kann. Mit organischen Säuren wie Essigsäure oder Propionsäure kann die Zellulose zu einer ganzen Reihe weiterer Kunststoffe verestert werden.

Eine weitere Möglichkeit bedient sich einer Art Vorratskammer, die Bakterien in schlechten Zeiten anlegen. Fehlen diesen Mikroorganismen wichtige Substanzen wie Stickstoff, Phosphor oder Sauerstoff, verknüpfen sie zum Beispiel Zucker zu langen Ketten eines Biopolyesters wie Polyhydroxy-Buttersäure, -Butyrat oder -Valerat. Diese Polyhydroxy-Fettsäuren oder nach dem Englischen PHA sind nicht nur wichtige Energiespeicher, sondern auch Kunststoffe, die von Bakterien synthetisiert werden und daher ein »Bio« vor ihrem Namen tragen dürfen. Daraus werden sowohl Folien zum Verpacken von Lebensmitteln als auch Fäden hergestellt, mit denen Ärzte zum Beispiel Operationswunden vernähen. Weil diese PHA-Fäden nach einiger Zeit vom Gewebe abgebaut werden, entfällt das Ziehen der Fäden.

Mikroorganismen produzieren Polymilchsäure

Mit der Polymilchsäure (PLA für das englische Poly-Lactid-Acid) ist ein weiterer, von Mikroorganismen produzierter Biopolyester zum Marktführer bei den Biokunststoffen aufgestiegen. Nach FNR-Zahlen gab es 2016 weltweit Kapazitäten für die Produktion von 2,05 Millionen Tonnen solcher Biokunststoffe, davon stellte PLA 10,3 Prozent. Ausgangsprodukt ist Stärke aus Weizen, Mais und anderen Pflanzen oder aus Zuckerrohr und Zuckerrüben gewonnener Zucker. Beide Substanzen werden von Bakterien zu Milchsäure fermentiert. Diese wird anschließend zu PLA polymerisiert.

Je nach Beimischen verschiedener Additive oder anderer Kunststoffe ist dieses Polymer für eine ganze Reihe von Anwendungen tauglich: Mulchfolien für die Landwirtschaft, die sich nach dem Unterpflügen im Boden zersetzen, Obst- und Gemüseschälchen für den Lebensmittelhandel sowie Joghurtbecher, aber auch langlebige Produkte wie Handyschalen oder Schreibtischutensilien werden heute aus PLA angeboten.

Einer der großen Vorteile: Folien aus diesem Biokunststoff lassen Wasserdampf gut durch, PLA eignet sich daher sehr gut zum

»atmenden« Verpacken von Lebensmitteln, Getränkeflaschen lassen sich aus diesem Material dagegen nur schwer herstellen.

Bio-PET mit Fruchtzucker und Stärke

Viele Erfrischungsgetränke werden daher wie bereits seit den 1970er Jahren immer noch in Flaschen aus dem Kunststoff Polyethylenterephthalat (PET) verkauft. PET wird normalerweise aus Ethylenglykol und Terephthalsäure hergestellt, die beide aus Erdöl gewonnen werden. Während Ethylenglykol zum Beispiel auch aus der Melasse von Zuckerrohr und damit nachhaltig zur Verfügung steht, gab es für die zweite Komponente bis vor Kurzem keine gute Bioalternative.

Das hat sich geändert, seit Ulf Prüßé und seine Kollegen vom Thünen-Institut für Agrartechnologie in Braunschweig mit Hilfe eines neuen Extraktionsmittels die wichtige Basischemikalie 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) preiswert aus Kohlehydraten wie dem Fruchtzucker Fruktose herstellen können, der aus Stärke gewonnen werden kann.

Aus HMF lassen sich die Bausteine einfach synthetisieren, aus denen die bisher meist aus Erdöl hergestellten Polyamid-, Polyester- und Polyurethan-Kunststoffe

polymerisiert werden. Eine einfache Oxidation macht aus HMF die 2,5-Furandicarbonsäure (FDCA). Diese Substanz kann mit Ethylenglykol zum Polyethylenfuranoat (PEF) polymerisiert werden, dessen Eigenschaften sich mit PET messen können, von dem jedes Jahr mehr als 50 Millionen Tonnen produziert werden. Allerdings funktioniert die HMF-Synthese bisher nur im Labor, technische Pilotanlagen und damit der erste Schritt zu einer Vermarktung fehlen noch.

Linoleum erlebt ein Comeback

Das sieht bei Alkydharzen, häufig Bestandteil von Lacken, bereits anders aus. Hergestellt werden diese Substanzen aus mehrwertigen Alkoholen wie Glyzerin und Dicarbonsäuren wie der Bernsteinsäure, die häufig aus Erdöl gewonnen werden. Beide Stoffklassen können aber auch aus Pflanzenmaterialien produziert werden, entsprechende Lacke stehen daher bereits als Bioprodukte in den Verkaufsregalen. Mischt man Lein- und andere Pflanzenöle mit vernetzenden Substanzen, erhält man farblose und schnell trocknende Anstriche, die zum Beispiel für Druckfarben verwendet werden.

Ähnlich wird auch der Bodenbelag Linoleum aus Leinöl, Naturharzen, Kork- und Holzmehl sowie Jutegewebe als Trägerschicht und einigen weiteren Zusätzen für Farbe und andere Eigenschaften hergestellt. Und das bereits seit 1860. Zwar ließen Kunststoffe wie PVC ab den 1960er Jahren den Linoleummarkt praktisch zusammenbrechen. Seit den 1980er Jahren erlebt dieser Bodenbelag mit wachsendem Umweltbewusstsein seine Renaissance und wird wieder häufiger verlegt.

Genau wie für Alkydharze werden Dicarbonsäuren auch zur Herstellung von Polyamiden wie den althergebrachten Kunstfasern Nylon und Perlon verwendet. In diesem Bereich können daher nachwachsende Rohstoffe wie die Sebacinsäure aus Rizinusöl eingesetzt werden. Ähnliches gilt für Polyurethane, die als zentrale Komponente Polyalkohole besitzen, die aus Rizinus-, aber auch aus Raps-, Soja- oder Sonnenblumenöl gewonnen werden können. Aus diesen Kunststoffen entstehen zum Beispiel Schaumstoffe, aus denen Autositze und andere Produkte geformt werden können. Polyurethane sind aber auch wichtige technische Klebstoffe, die im Holz- und Automobilbau häufig eingesetzt wer-

den. In einem von der FNR betreuten Projekt haben verschiedene Industrieunternehmen bis Ende 2018 gezeigt, dass als Grundstoffe auch heimische nachwachsende Rohstoffe wie Stärke, Saccharose und Rizinusöl dienen können.

Windeln aus Getreide

Ein wichtiger Pfeiler der Kunststoffwelt aus Erdölprodukten sind Polyacrylate, die in verschiedenen Formen eingesetzt werden, um zum Beispiel Plexiglas herzustellen. Forscher der Universität Duisburg-Essen können den Grundstoff für dieses Acrylglas inzwischen mit Hilfe eines Enzyms aus Zucker, Alkohol oder Fettsäuren herstellen, die allesamt aus Pflanzen gewonnen werden. Ein weiteres Verfahren zur Produktion von Acrylsäure aus Milchsäure, die von Bakterien aus Zucker oder Stärke synthetisiert wurde, haben Forscher der Universität Erlangen-Nürnberg entwickelt.

Aus den so gewonnenen Acrylaten entstehen Polyacrylate, von denen bisher weltweit rund fünf Millionen Tonnen jährlich aus Erdöl produziert und zu Lacken und Klebstoffen weiterverarbeitet werden. Da Polyacrylate Flüssigkeiten sehr gut aufsaugen, werden sie zum Beispiel für Hygiene-

produkte wie Windeln und Damenbinden verwendet. Als Industriepartner beteiligte sich daher auch Procter & Gamble an diesem Projekt.

Der einfachste Kunststoff ist Polyethylen, von dem weltweit jedes Jahr rund 80 Millionen Tonnen hergestellt werden. Gewonnen wird der Grundstoff Ethylen dieses häufigsten Kunststoffes bisher aus Erdöl. Allerdings kann diese Chemikalie auch aus Bioethanol produziert werden. Brasilien hatte daher einen triftigen Grund, eine Produktionsanlage zu bauen, die aus Zuckerrohr erst Bioethanol und anschließend bis zu 200 000 Tonnen Ethylen im Jahr herstellen kann. Dieses Bioethylen kann auch für die Produktion von nachhaltigem PVC verwendet werden. Obendrein eignet sich Bioethanol aus Zuckerrohr und anderen Pflanzen zur Produktion von Polypropylen und damit von einem sehr wichtigen Kunststoff, von dem bisher im Jahr 44 Millionen Tonnen aus Erdöl produziert werden.

Pommes frites und Biokunststoffe

Noch besser wäre es natürlich, solche Biokunststoffe nicht aus eigens dafür angebauten Nutzpflanzen wie Zuckerrohr oder

Zuckerrüben, sondern aus Abfällen herzustellen, die bei der Produktion von Nahrungsmitteln anfallen. Eine Pilotanlage in den Niederlanden verwendet zum Beispiel das Abwasser, das beim Schneiden von Kartoffeln für Pommes frites anfällt, um aus der darin enthaltenen Stärke Kunststoffe herzustellen.

Biokunststoffe scheinen also auf dem Vormarsch zu sein. Trotzdem erreichen sie bei einer jährlichen Weltproduktion von rund 330 Millionen Tonnen Kunststoffen derzeit allenfalls einen Anteil von kümmerlichen zwei Prozent. Die FNR rechnet dagegen damit, dass nach heutigem Stand der Technik insgesamt 90 Prozent aller Kunststoffe nachhaltig hergestellt werden können. Da nachhaltige Produkte bei Herstellern und Verbrauchern gleichermaßen beliebt scheinen, muss es einen handfesten Grund für die bisher allenfalls magere Biokunststoffbilanz geben.

Dieser Grund sind die Kosten: Aus Erdöl produzierte Kunststoffe gibt es schließlich bereits seit Jahrzehnten, die Produktions-techniken sind ausgereift, und sie werden in riesigen Mengen hergestellt. Die Entwicklungskosten sind also längst abgezahlt, die Massenproduktion gepaart mit

einer optimierten Technik garantiert niedrige Preise. Bei vielen Biokunststoffen dagegen greifen diese Vorteile nicht. Sie können sich daher nur durchsetzen, wenn sie handfeste Vorteile bieten. Das könnte zum Beispiel eine atmungsaktive Biofolie sein, in der Lebensmittel besser halten.

Wichtig sind auch die Wünsche der Verbraucher, von denen viele auf Nachhaltigkeit Wert legen. Der Hersteller Coca-Cola hat darauf bereits reagiert und möchte bis zum Jahr 2020 seine Getränke-PET-Flaschen auf Basis pflanzlicher Rohstoffe herstellen. Allein auf diesem Weg aber dürften Massenkunststoffe den Weg zur Nachhaltigkeit kaum schaffen. Gefragt ist daher die öffentliche Hand: Behörden, Universitäten, Schulen oder auch die Deutsche Bahn könnten zum Beispiel gezielt Produkte auf Biobasis von der Handyschale bis zur Kaffeemaschine anschaffen.

Mehr als zwei Drittel der Rohstoffe importiert

Viel günstiger sieht die Marktsituation für Produkte auf Biobasis übrigens aus, wenn man den Blick von den Kunststoffen auf die gesamte Palette der chemischen Industrie von Schmierstoffen über Lacke und

Druckfarben bis zu Reinigungsmitteln und Medikamenten erweitert. 2016 hat die chemische Industrie in Deutschland nach Angaben der FNR insgesamt 20,6 Millionen Tonnen organischer Rohstoffe eingesetzt. Davon waren mit 2,7 Millionen Tonnen immerhin rund 13 Prozent biobasiert, die restlichen 87 Prozent kamen aus Erdöl.

Den Löwenanteil bei diesen organischen Rohstoffen auf Biobasis stellten mit 43 Prozent Fette und Öle, dazu kamen 14 Prozent Chemiezellstoff, elf Prozent Stärke und mit insgesamt 156 000 Tonnen rund sechs Prozent Zucker sowie etliche weitere Rohstoffe. Damit sind diese Rohstoffe von Äckern und Wäldern längst den Kinderschuhen entwachsen und zu einer entscheidenden Stütze der chemischen Industrie geworden.

Allerdings kommt nur ein knappes Drittel von ihnen aus Deutschland, mehr als zwei Drittel werden importiert. Andererseits werden von den daraus hergestellten Produkten bei Weitem nicht alle in Deutschland verkauft, ein erheblicher Anteil geht in den Export. Die Frage nach der Verfügbarkeit stellt sich natürlich trotzdem. Beanspruchen die biobasierten Rohstoffe vielleicht einen zu großen Anteil der Agrar- und Forstflächen? Verdrängen sie

eventuell den Anbau von Nahrungsmitteln? Gefährden Mais und Flachs etwa die Artenvielfalt?

Reichen die Äcker?

Ein Blick auf die Verwendung der fossilen Rohstoffe zeigt rasch, dass diese Fragen bei Energiepflanzen weit wichtiger als bei einer stofflichen Nutzung sind: Gerade einmal fünf Prozent von Kohle, Erdöl und Erdgas werden nach Angaben des Verbands der Chemischen Industrie stofflich verarbeitet, 16 Prozent werden zu Kraftstoffen verarbeitet, die restlichen 79 Prozent werden energetisch genutzt und liefern zum Beispiel Wärme und Elektrizität. Die FNR nennt ähnliche Zahlen für Erdöl, von dem drei bis vier Prozent zu Kunststoffen weiterverarbeitet werden, während der übergroße Rest in Motoren und Kraftwerken verfeuert wird.

Diese Zahlen spiegeln sich nach den Angabe des Statistischen Bundesamts schon heute auf deutschen Äckern und in den hiesigen Wäldern wider: Von insgesamt 35,7 Millionen Hektar Landesfläche entfallen 7,6 Millionen Hektar auf Siedlungen, Verkehrs- und Wasserflächen und das Umland dieser Gebiete, auf 11,4 Millionen Hek-

tar wachsen Wälder, während Bauern die restlichen 16,7 Millionen Hektar bewirtschaften. Auf 60 Prozent dieser landwirtschaftlichen Nutzfläche wächst Viehfutter, auf 22 Prozent werden Nahrungsmittel für Menschen geerntet, während Energiepflanzen weitere 14 Prozent beanspruchen. Die restlichen vier Prozent Fläche teilen sich Brachen und Industriepflanzen zu gleichen Teilen.

Von den insgesamt 300 000 Hektar, auf denen 2017 in Deutschland Industriepflanzen wuchsen, lieferten 142 200 Hektar Pflanzenöle, 128 000 Hektar Stärke, 15 400 Hektar Zucker, 12 000 Hektar Arznei- und Farbstoffe und 1500 Hektar Pflanzenfasern.

Brot oder Biowindeln?

Wenn der Landwirt seine Felder bestellt, weiß er oft noch gar nicht, was aus seiner Ernte einmal wird. Schließlich beeinflussen Witterung und mögliche Wetterkapriolen zum Beispiel ein Getreidefeld erheblich. Gerade die Inhaltsstoffe von Weizenkörnern, die über die Qualität des Mehls entscheiden, können sich bei entsprechenden Bedingungen stark verändern. Da Bäcker verständlicherweise großen Wert auf eine möglichst gute Backeigenschaft legen, ist der Bauer nach der Ernte vielleicht ganz froh, wenn er für sein Getreide mit geringerer Backqualität noch einen akzeptablen Preis auf dem Markt für Industriestärke erzielen kann.

Vor einer ähnlichen Situation steht auch der Zuckerrübenbauer: »Zucker gibt es eigentlich reichlich«, berichtet der FNR-Experte Dietmar Peters. Da kann es den Bauern nur recht sein, wenn aus dem Zucker ihrer Rüben auch der saugfähige Polyacrylatkunststoff für Windeln oder Damenbinden produziert werden kann. ↗

(Spektrum.de, 20.03.2019)

Spektrum der Wissenschaft

SPEZIAL

Biologie Medizin Hirnforschung

4 AUSGABEN PRO JAHR
ÜBER 10% PREISVORTEIL IM ABO

JETZT BESTELLEN

ÖKOBILANZ

Ist Biolandbau **schlecht** fürs Klima?

von Daniel Lingenhöhl



Viele Verbraucher kaufen Biolebensmittel ein, weil sie von deren Nachhaltigkeit überzeugt sind. Doch für den Klimaschutz könnte das kontraproduktiv sein.

Pestizidfrei, gentechnikfrei und glückliche(re) Tiere: Viele Verbraucherinnen und Verbraucher greifen auf Biolebensmittel zurück, um sich und der Umwelt etwas Gutes zu tun. Doch die ökologische Landwirtschaft könnte eine große Schattenseite haben, wie Timothy Searchinger von der Princeton University und sein Team in »Nature« bilanzieren. In Sachen Klimaschutz sei Biolandbau verglichen mit konventioneller Landwirtschaft kontraproduktiv, so die Forscher in einer Mitteilung – der höhere Flächenverbrauch sorge dafür, dass mehr kohlenstoffspeichernde Naturflächen in Nutzland umgewandelt werde. Die Ausweitung geschieht vielfach auf Kosten von Wäldern, die dann als Kohlenstoffsenke ausfallen, während durch die Abholzung gleichzeitig weiteres Kohlendioxid freigesetzt wird. Eine Ernährung der Weltbevölkerung durch Biolebens-

mittel würde demnach dem Klimaschutz schaden, lautet der Tenor der Studie.

Für ihre Arbeit haben Searchinger und Co eine neue Analysemethode entwickelt, um die zusätzlichen Klimakosten durch ökologische Landwirtschaft mit denen herkömmlicher Betriebe vergleichen zu können. Zudem gingen sie davon aus, dass der internationale Handel mit Lebensmitteln vor allem in Ländern des Südens zu Flächenneunutzungen führt – etwa in Brasilien oder Argentinien, aber auch in Afrika, wo Investoren riesige Landflächen kaufen und für den Export bebauen. Als Beispiel widmeten sie sich unter anderem in Schweden angebauten Feldfrüchten. Schwedische Bioerbsen hätten demnach einen um 50 Prozent höheren Klimaeinfluss als konventionell produzierte, bei Winterweizen betrug die Differenz sogar 70 Prozent: Um jeweils eine Tonne Ertrag zu erhalten, hätten Biobauern also 50 bis 70 Prozent mehr Fläche benötigt. Die Un-

terschiede mussten daher aus anderen Quellen kompensiert werden.

»Die globale Lebensmittelproduktion wird vom internationalen Handel gesteuert. Wie wir in Schweden Landwirtschaft betreiben, beeinflusst die Entwaldung in den Tropen. Wenn wir mehr Land für die gleiche Menge an Ertrag benötigen, tragen wir indirekt zu größerer Abholzung in anderen Teilen der Welt bei«, sagt der an der Studie beteiligte Stefan Wirsén. Sogar Biofleisch oder -milchprodukte schnitten unter diesen Gesichtspunkten schlechter ab, da die Tiere nur mit Biofutter ernährt werden dürften, meint Wirsén. Er schränkt aber ein, dass sie dies noch nicht konkret berechnet hätten. Vorherige Studien zur Klimafreundlichkeit der Biolandwirtschaft hätten diese indirekten Folgen nicht berücksichtigt, sondern nur auf den direkten Treibhausgasausstoß geachtet. Unter diesem Aspekt schneidet der Öko-

landwirt besser ab, unter anderem weil er auf Kunstdünger verzichtet, der große Mengen an Lachgas freisetzt, das einen stark erwärmenden Einfluss hat.

Schon lange wird über die Ertragsstärke des Ökolandbaus diskutiert. Während er in Gunstlagen manchen Arbeiten zufolge ähnlich gut abschneidet wie konventionelle Landwirtschaft, kommen andere Studien zum gegenteiligen Schluss. Die schwedischen Beispiele sind daher vielleicht nicht übertragbar auf mitteleuropäische Böden oder Gunstgebiete in den Vereinigten Staaten. Zudem sollten die Menschen prinzipiell bedenken, was sie essen, warnen Wirsénus und Co – bevor sie jetzt einhellig zum Klimaschutz auf Biolebensmittel verzichten: Organisch gezüchtete Erbsen oder Biohühner schneiden unter Klimaaspekten weiterhin deutlich besser ab als beispielsweise Rindfleisch konventionell gehaltener Kühne. Zudem weisen zu mindest in den gemäßigten Breiten Flächen des Biolandbaus eine höhere Artenvielfalt auf als konventionelle Äcker und Wiesen. Die Diskussion wird also sicherlich weitergehen. ↵

DIE WUNDERWELT DER **PFLANZEN**



FÜR NUR
€ 4,99

Plankton | Motor der Evolution
Physiologie | Grüne Wasserwaage
Wood Wide Web | Vernetzte Welt

[HIER DOWNLOADEN](#)



»NACHHALTIGE INTENSIVIERUNG«

Fast jede dritte Farm orientiert sich in Richtung Nachhaltigkeit

von Jan Dönges

Die Erkenntnis, dass Intensivlandwirtschaft auch nachhaltig betrieben werden kann, setzt sich offenbar immer mehr durch. Noch bleibt die Wirkung allerdings überschaubar.

Auch wenn wir noch einen weiten Weg vor uns haben, hat mich beeindruckt, wie weit die Landwirte weltweit – und besonders in den weniger entwickelten Ländern – unsere Nahrungsmittelproduktion in eine gesündere Richtung fortentwickelt haben«, fasst John Reganold die Ergebnisse seiner Studie zusammen. Gemeinsam mit Fachkollegen hat der Forscher von der Washington State University in St. Louis analysiert, wie viele Landwirte global ihre Produktion auf nachhaltige Praktiken umstellen.

Ihren Hochrechnungen zufolge nutzen 29 Prozent oder 163 Millionen Farmen in der einen oder anderen Form entsprechende Methoden, die unter den Begriff der »nachhaltigen Intensivierung« (sustainable intensification) fallen. Verfahren also, mit denen sich zwar kommerziell nützliche Erntemengen produzieren lassen, die aber gleichzeitig ökologische Kosten reduzieren – beispielsweise durch den maßgeschneiderten Einsatz von Düng-

mitteln oder Pestiziden, durch Maßnahmen gegen Bodenerosion und -verarmung wie Fruchtwechsel und Verzicht auf Pflügen oder auch durch gezielte Bewässerung. Insgesamt sieben solcher Praktiken legten die Wissenschaftler ihrer Studie zu Grunde.

Sie betrachteten rund 400 Großprojekte und Initiativen, die jeweils mindestens 10 000 teilnehmende Farmen aufwiesen oder eine Gesamtackerfläche von 10 000 Hektar umfassten. Die Ergebnisse ihrer Auswertung stellen sie nun im Fachmagazin »Nature Sustainability« vor.

In entwickelten Ländern blieb der Ertrag bei Einsatz solcher Verfahren ungefähr auf dem Niveau konventioneller Landwirtschaft oder fiel geringfügig knapper aus. Der Nutzen lag hier vor allem im Umweltaspekt und verringerten Kosten oder Arbeitsaufwand. In den weniger entwickelten Ländern steigerten manche Landwirte durch diese Verfahren ihre Produktionsmengen mitunter erheblich – was zum Teil auch daran liegt, dass die Farmen zu-

vor sehr ineffizient betrieben wurden. Als Beispiel nennen sie eine Initiative in Kuba, bei der rund 100 000 Farmer ihre Produktivität um 150 Prozent steigerten und dabei den Einsatz von Pestiziden um 85 Prozent reduzierten. Insgesamt könne man behaupten, dass die nachhaltigen Anbaumethoden ihre Tauglichkeit unter Beweis gestellt hätten, so die Forscher in einer Mitteilung.

Allerdings bestehen die 29 Prozent der Farmen, die ihrer Schätzung nach in der ein oder anderen Form auf nachhaltige Verfahren setzen, gerade einmal neun Prozent der globalen Anbaufläche, so dass der Effekt insgesamt gesehen zurzeit eher klein sein dürfte. Die Autoren der Studie geben sich allerdings zuversichtlich, dass bald ein Umschlagpunkt erreicht sein dürfte, ab dem die Übernahme dieser Methoden sich immer schneller immer weiter verbreitet, auch dank offizieller Unterstützung durch die Regierungen. ↵

(Spektrum.de, 28.08.2018)

NATURSCHUTZ

ARTENVIELFALT

entschleunigt den Bauern

Von Ralf Stork

Wenn man den Einsatz von Landwirten für den Naturschutz honoriert, sind diese offen für Maßnahmen, die ihren Betrieb weniger effizient machen. Brandenburger Wissenschaftler lösen einen scheinbar unüberwindlichen Gegensatz auf, indem sie sich die richtigen Partner suchen.



Landwirtschaft und Artenschutz sind zwei Begriffe, die sich eigentlich ausschließen: Was der Landwirtschaft nützt – hohe Erträge, große Schläge, effektive Erntemaschinen –, schadet der Artenvielfalt. Und wo sich Rotbauchunken, Kiebitze, Hasen und Feldlerchen ungestört vermehren sollen können, ist eine Gewinnbringende Landwirtschaft zumindest erschwert. Je intensiver die Landwirtschaft, desto weniger Arten. Je strenger der Artenschutz, desto geringer die Erträge.

Lange war auf Wiesen und Feldern trotzdem eine friedliche Koexistenz möglich; aber diese Zeiten sind vorbei: Die intensive Landwirtschaft lässt Gras und Getreide heute so üppig sprießen, dass kein Platz mehr für andere Pflanzenarten bleibt. Besonders schlimm hat es die Ackerwildkräuter erwischt: Bei Kamille, Kornblume und Co sind die Bestände seit den 1960er Jahren um mehr als 90 Prozent zurückgegangen. Weniger Blumen bedeuten weniger Insekten bedeuten weniger Vögel. Bei Feldlerche, Bluthänfling und anderen Feldvögeln beträgt der Rückgang bis zu 50 Prozent, bei Kiebitzen, Uferschnepfen und Brachvögeln noch mehr.

»Der Artenrückgang auf den landwirtschaftlichen Flächen ist so gravierend, dass wir nach Wegen gesucht haben, dem aktiv etwas entgegenzusetzen«, sagt Karin Stein-Bachinger. Die Wissenschaftlerin vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF e. V.) war Anfang des Jahrtausends zusammen mit Frank Gottwald an der ersten großen Studie beteiligt, die nach Möglichkeiten suchte, Artenschutz und Landwirtschaft zusammenzubringen. Fünf Jahre lang wurden im Naturschutzhof Brodowin die Vorkommen verschiedener Arten auf Ackerflächen erfasst, Schutzmaßnahmen ausprobiert und deren Wirksamkeit überprüft. Für die Untersuchung wurde ein Biohof ausgewählt, weil dort auf Grund der weniger intensiven Bewirtschaftung – Verbot von Pestiziden, extensive Beweidung und weniger Dünger – die Artenvielfalt deutlich größer ist als in einem konventionellen Betrieb.

Der Biologe Frank Gottwald erklärt dies am Beispiel der Ackerwildkräuter: »Auf den Brodowiner Ackerflächen haben wir mehr als 20 Arten gefunden, die auf der Roten Liste stehen. Teilweise sind sie auf den Öko-äckern weit verbreitet. Auf konventionellen Ackerflächen mit Herbicideinsatz sind



VALIO84SL / GETTY IMAGES / STOCK

»Auf konventionellen Ackerflächen mit Herbicideinsatz sind die meisten Arten gar nicht mehr vorhanden«

[Frank Gottwald]

die meisten Arten hingegen gar nicht mehr vorhanden.« Bei den Maßnahmen wurde nicht nur bewertet, wie groß der Nutzen für gefährdete Tier- und Pflanzenarten ist, sondern auch, welche Verluste für den Landwirt dabei entstehen. »Uns war wichtig, einen guten Kompromiss zwischen Arten- schutz und Produktivität zu finden«, so Stein-Bachinger. Für Lerchen, Schafstelzen, Schmetterlinge und Heuschrecken zum Beispiel wäre das spätere Mähen einer Klee- graswiese ein Segen. Für den Landwirt, der sehr gutes Futter für seine Kühe produzieren muss, aber ein hoher Verlust: Die Qualität der Ernte leidet, und die Kosten steigen stark. Ohne Honorierung könnte eine solche Maßnahme deshalb nicht umgesetzt werden.

Der World Wide Fund For Nature (WWF) hat jetzt mit »Landwirtschaft für Artenvielfalt« ein Folgeprojekt initiiert, das eine Vielzahl an Maßnahmen für den Arten- schutz mit einer Honorierung für die Biolandwirte koppelt. Karin Stein-Bachinger und Frank Gottwald haben das Handbuch dazu geschrieben. »Am Anfang der Kooperation steht eine gründliche Besichtigung des Betriebs«, erläutert Stein-Bachinger. Vor Ort lässt sich am besten klären, was

auf den Flächen zusätzlich zur extensiven Bewirtschaftung für den Artenschutz getan werden kann. Die Auswahl ist groß. Mehr als 100 verschiedene Maßnahmen werden in dem Handbuch aufgelistet, von Drilllücken im Getreide und Spätschnitt oder ungemähten Streifen im Grünland über das Pflegen von Kopfweiden bis hin zu Nisthilfen für Kleinvögel und Insekten. Auf Teilflächen eines Ackers kann es zum Beispiel sinnvoll sein, von März bis September auf das Pflügen zu verzichten, wenn es darauf einen oder mehrere kleine Tümpel gibt. Die Tümpel sind wertvoller Lebensraum für Rotbauchunken und andere Amphibien, die sich nicht nur im Wasser, sondern auch gerne auf dem umgebenden Acker aufhalten. Wird die Fläche bis zum Gewässerrand gepflügt, bedeutet das für einen großen Prozentsatz der Tiere den sicheren Tod.

Arten profitieren vom »faulen Landwirt«

Ein Streifen Kleegras, der im Sommer nicht gemäht wird, sondern bis ins folgende Jahr stehen bleibt, bietet ideale Brutplätze für Braunkehlchen, Grauammern und Schafstelzen, einen Rückzugsraum für Heuschrecken und andere Tiere sowie eine

wichtige Nahrungsquelle für Schmetterlinge, Bienen und Hummeln. Wenn der Landwirt weniger tut, als er könnte, profitieren davon viele Arten: Verringert er im Grünland die Düngung, bleibt die Vegetation so locker, dass konkurrenzschwache Pflanzenarten nicht verdrängt werden. Auch Wildbienen, Schmetterlinge und Heuschrecken fühlen sich dort wohl, die wiederum eine gute Nahrungsgrundlage für viele Wiesenvögel sind.

Es sind alles Maßnahmen, die die Landwirtschaft entschleunigen, Tieren und Pflanzen wieder mehr Platz einräumen, wo eigentlich keiner ist. Die Entschleunigung hat ihren ökologischen Wert, und der wird Maßnahme für Maßnahme berechnet: »Wir haben ein Punktesystem entwickelt, das die Effektivität der Maßnahmen für den Naturschutz abbildet«, erklärt Stein-Bachinger. Für das eingeschränkte Pflügen in Gewässernähe gibt es 0,5 Punkte je Hektar. Für den stehen gelassenen Kleegrasstreifen – ein Kompletausfall für den Landwirt – zehn Punkte. Kommt ein Bauer auf 120 Punkte je 100 Hektar Betriebsfläche, bekommt er das Zertifikat »Landwirtschaft für Artenvielfalt« – und eine Honorierung für seine Zusatzleistungen über den Ver-



wirten und Einzelhandel vor«, führt Wolter weiter aus. Der Maßnahmenkatalog wird gerade an die dortigen Standortbedingungen (kleinere Betriebsgrößen, zum Teil mit Hanglagen) angepasst. Zehn Modellbetriebe gibt es bereits. Wenn alles nach Plan läuft, kann man auch dort ab dem kommenden Jahr »Landwirtschaft für Artenvielfalt«-Produkte im Supermarkt kaufen.

Initiative kam von Landwirten

Erste Gespräche wurden auch schon mit Bauern und Einzelhändlern in Nordrhein-Westfalen geführt. Und nach Möglichkeit sollen in Zukunft andere Produkte – zum Beispiel Obst – ebenfalls in das Sortiment mit aufgenommen werden. »Die Maßnahmen sind so angelegt, dass sie in jedem ökologisch wirtschaftenden Betrieb umgesetzt werden könnten«, sagt Karin Stein-Bachinger. Das Interesse für das Thema ist vorhanden: Die Initiative für die Untersuchung in Brodowin und für das aktuelle WWF-Projekt ist jeweils von Landwirten ausgegangen, die auf ihren Flächen etwas für den Artenschutz tun wollten. Theoretisch ist also denkbar, dass irgendwann alle Bioprodukte von zertifizierten »Landwirtschaft für Artenvielfalt«-Betrie-

UFERSTREIFEN

Uferstreifen an Kleingewässern sind ein wichtiger Lebensraum für Amphibien.

kauf: »Unser Kooperationspartner Edeka-Nord nimmt den beteiligten Betrieben bestimmte Produkte zu einem Preis ab, der über dem von anderen Bioprodukten liegt«, sagt der Landwirtschaftsreferent des WWF Markus Wolter.

Von elf Betrieben des ökologischen Anbauverbandes Biopark in der Pilotphase ist die Zahl auf 60 gestiegen, die 40 000 Hektar Land bewirtschaften. Inzwischen kommen alle Fleisch- und Wurstwaren (bis auf Geflügelprodukte) im Biosegment von Edeka-Nord aus den Projektbetrieben. Das Projekt funktioniert so gut, dass es auch an anderer Stelle umgesetzt werden soll: »In Baden-Württemberg bereiten wir gerade eine ähnliche Kooperation zwischen Bioland-



ROTBAUCHUNKE

Die Rotbauchunke profitiert von den Maßnahmen insbesondere im Ackerland.

schutzberatung (oder eine andere Beratung) erstattet. Die größten Stellschrauben liegen ohnehin auf EU-Ebene: Von den rund sechs Milliarden Euro Agrarförderung, die jedes Jahr nach Deutschland fließen, gehen rund fünf Milliarden als Direktzahlung an die Landwirte. Mit den übrigen 1,3 Milliarden Euro wird allgemein die Entwicklung des ländlichen Raums gefördert: Das kann eine Maßnahme für den Arten- schutz sein, aber auch der Neubau eines großen Viehstalls. Um die Artenvielfalt wirksam zu schützen, müsste es eine gezielte Umverteilung von Mitteln geben; doch die scheint im Moment politisch nicht gewollt zu sein. Ein Verdienst der Untersuchung von Stein-Bachinger und ihren Kollegen ist die Berechnung konkreter Kosten für den Artenschutz. Wer nicht bereit ist, diesen Preis zu zahlen, darf sich am Ende auch nicht wundern, wenn es immer weniger Arten auf dem Land gibt. ↗

ben kommen – wenn die Finanzierung gesichert ist.

Das müsste eigentlich Aufgabe der Politik sein. 2007 hat sich die Bundesrepublik mit der »Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt« das Ziel gesetzt, den Rückgang der biologischen Vielfalt bis 2020 zu stoppen. Dieses Ziel wird grandios verfehlt werden, obwohl es gar nicht so schwer ist, mit einfachen Mitteln gegenzusteuern: »Wir haben festgestellt, dass der Anbau von Kleegras sich sehr positiv auf die Artenvielfalt auswirkt«, betont Karin Stein-Bachinger. Klee und Luzerne sind gute Nek-

tarpflanzen für Schmetterlinge und andere Insekten; Feldlerche und Grauammer brüten dort, Feldhasen, Schreiadler und Rotmilane suchen nach Nahrung – und weil das Kleegras oft länger als ein Jahr stehen bleibt, bietet es Insekten gute Fortpflanzungsmöglichkeiten. »Eine staatliche Förderung für den Anbau von Kleegras wäre sehr sinnvoll, gibt es aber bislang noch nicht«, gibt Stein-Bachinger zu bedenken. Auch die individuelle Betreuung vor Ort ist wichtig für den Artenschutz. In Mecklenburg-Vorpommern bekommen die Landwirte die Kosten für eine Natur-

ACKERBAU UND VIEHZUCHT IM HOCHHAUS

von Kerstin Viering

Die wachsende Weltbevölkerung und die immer größer werdenden Städte gelten als enorme Herausforderungen für die nächsten Jahrzehnte: Wie sollen all diese Menschen mit Nahrung versorgt werden, ohne dass die Umwelt massiv darunter leidet? Eine Idee besteht darin, die Landwirtschaft zunehmend in Städte und Innenräume, vielleicht sogar in gläserne Hochhäuser zu verlegen. Doch bei der praktischen Umsetzung dieser Utopie gibt es Probleme.



Wir leben in der Vertikalen. Warum sollten wir dann nicht auch Landwirtschaft in der Senkrechten betreiben können?« Dickson Despommier hält es durchaus für möglich, dass sich die Farmen der Zukunft eher in die Höhe statt in die Fläche ausdehnen werden. Der emeritierte Professor für Gesundheitswesen und Mikrobiologie von der Columbia University in New York gilt als einer der prominentesten Verfechter des so genannten »Vertical Farming«. Dieses Konzept sieht vor, Gemüse, Obst und Fleisch künftig verstärkt an und in Gebäuden direkt in der Stadt zu produzieren. Das sei ein möglicher Weg, um die wachsende Weltbevölkerung auf nachhaltige Weise mit gesunden Lebensmitteln direkt aus der Region zu versorgen, betonen Befürworter. Doch wie realistisch sind solche Ideen?

Verführerisch klingen sie zweifellos. Schließlich gibt es Anlass genug, sich über die Landwirtschaft der Zukunft Gedanken zu machen. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen lebten Mitte 2017 schon fast 7,6 Milliarden Menschen auf der Erde. In Zukunft soll sich das Bevölke-



Vision einer vertikalen städtischen Farm

rungswachstum zwar verlangsamen, trotzdem sagen die UN-Berechnungen für das Jahr 2050 fast 9,8 Milliarden Erdenbürger voraus. Und nur noch eine Minderheit davon wird den Prognosen zufolge auf dem Land zu Hause sein: Lebten im Jahr 1950 gerade einmal 30 Prozent der Weltbevölkerung in Städten, waren es 2018 schon 55 Prozent. Bis 2050 soll der Anteil auf 68 Prozent steigen.

Wie aber sollen all diese Menschen satt werden? Nur durch einen effizienteren Anbau und Fortschritte in der Züchtung lasse sich das nicht gewährleisten, argumentieren die Anhänger der vertikalen Landwirtschaft. Zumal nach Berechnungen US-amerikanischer Forscher jedes Jahr rund zehn Millionen Hektar Acker durch Bodenerosion verloren gehen. Und weiterhin Wälder abzuholzen, um neue Anbauflächen zu ge-

WHAT IS
AWAXI?
HOME?

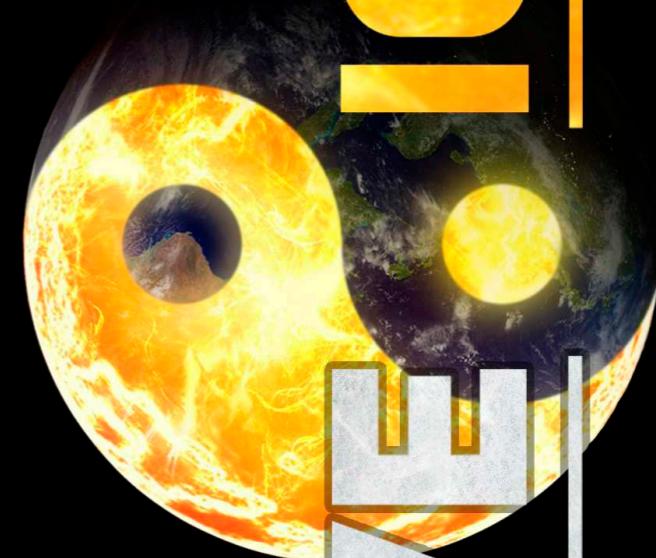
AVAXHOME -

the biggest Internet portal,
providing you various content:
brand new books, trending movies,
fresh magazines, hot games,
recent software, latest music releases.

Unlimited satisfaction one low price
Cheap constant access to piping hot media
Protect your downloadings from Big brother
Safer, than torrent-trackers

18 years of seamless operation and our users' satisfaction

All languages
Brand new content
One site



AVAXLIVE -

AvaxHome - Your End Place

We have everything for all of your needs. Just open <https://avxlive.icu>

winnen, ist ökologisch und aus Klimaschutzgründen kaum zu verantworten.

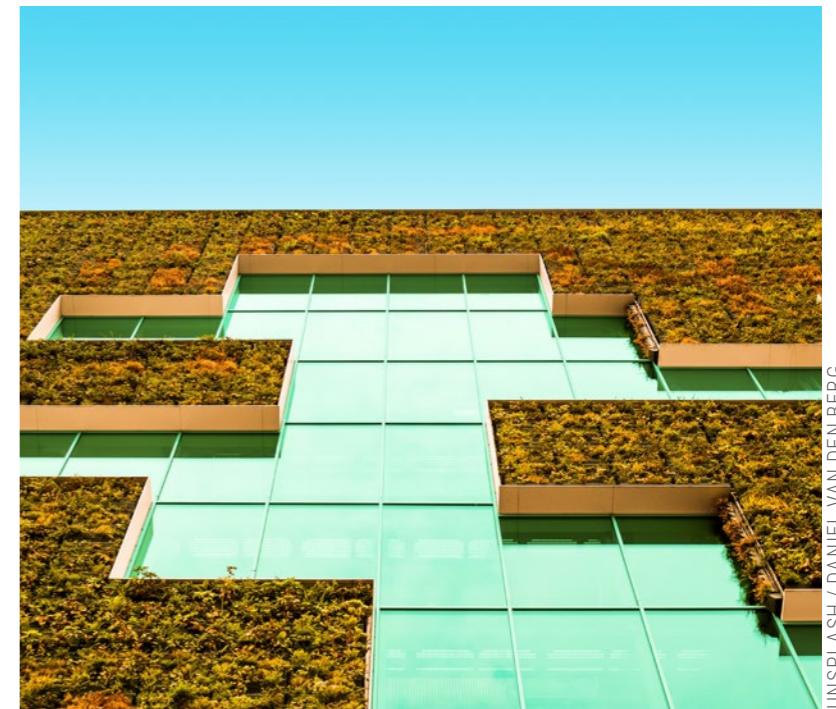
Anbau in der Stadt spart auch Transportkosten

Doch nicht nur mit Flächen müsste die Landwirtschaft der Zukunft sparsamer umgehen, sondern auch mit anderen Ressourcen wie etwa Wasser und Energie. Für all diese Herausforderungen könnte die Landwirtschaft in der Senkrechten interessante Lösungen anbieten, betonen ihre Befürworter. Wenn man Nahrung künftig direkt in der Stadt produziere, könne man den Kunden beispielsweise nicht nur frischere Produkte anbieten, sondern auch Energie und Kosten für den Transport sparen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie sich das theoretisch realisieren ließe. Am einfachsten klingt die Idee, die Dächer von städtischen Gebäuden als Anbaufläche für Gemüse und Kräuter zu nutzen. In Gewächshäusern oder auf Freilandbeeten könnten dort zum Beispiel Paprika und Tomaten, Karotten, Bohnen und Kohl heranwachsen. Der Stadtplaner Kheir Al-Kodmany von der University of Illinois in Chicago hält das für einen durchaus viel verspre-

chenden Ansatz für eine neue städtische Landwirtschaft. Zumal Dächer, auf denen es grünt und blüht, auch noch andere positive Effekte haben. So wirken sie wie eine Art natürliche Klimaanlagen und können dadurch den Energieverbrauch eines Gebäudes um bis zu 30 Prozent senken.

Allerdings sieht Kheir Al-Kodmany auch Probleme, die noch nicht gelöst sind. So eignet sich keineswegs jedes städtische Dach als Gemüsegarten. Zum einen muss das Gebäude das zusätzliche Gewicht von Gewächshäusern und Erde auch tragen können, zum anderen braucht man zur Pflege und zum Ernten der Pflanzen einen geeigneten Zugang zum Dach. Das alles kann Umbauten nötig machen und den Preis in die Höhe treiben. So musste die Dachfarm »Local Garden« im kanadischen Vancouver im Jahr 2012 aus wirtschaftlichen Gründen schließen. In New York dagegen gibt es inzwischen schon einige solcher Anlagen, die erfolgreich arbeiten. Eine der größten davon ist die Brooklyn Grange Rooftop Farm, die auf zwei Gebäuden eine breite Palette von Biogemüse und Honig produziert. Die Pflanzen wachsen dabei in einer leichten Spezialerde, um das Dach nicht zu sehr zu belasten.



»Mit Hilfe moderner Gewächshaustechnologien wie Hydroponik und Aeroponik könnte eine vertikale Farm theoretisch Fisch, Geflügel, Obst und Gemüse produzieren«

[Dickson Despommier]

Bodenloser Anbau braucht auch keine Erde

Es gibt allerdings auch die Möglichkeit, auf Erde ganz zu verzichten. In Innenräumen kann man die Pflanzen direkt in einer wässrigen Lösung heranziehen, die alle wichtigen Nährstoffe enthält. Diese als Hydroponik bekannte Methode wird heute bereits in Gewächshäusern angewendet, um unter genau kontrollierten Bedingungen Gemüse-, Zier- und Arzneipflanzen heranzuziehen. Eine Variante davon ist die Aeroponik, bei der die Nährlösung mit Hilfe von Hochdruckdüsen oder Sprinklern vernebelt und als eine Art Dampf an die Wurzeln gebracht wird. Diese wachsen dadurch schneller als die grünen Pflanzenteile, so dass man das Verfahren vor allem zur Bewurzelung von Stecklingen verwendet.

Beide Methoden brauchen weniger Wasser und weniger Platz als der herkömmliche Anbau in der Erde. Man kann die Pflanzen auf diese Weise in Boxen oder auf großen Tabletts kultivieren, die sich in mehreren Etagen übereinanderstapeln lassen. Da sie mit Hilfe von LEDs oft künstlich beleuchtet werden, kann man solche Pflanztürme in beliebigen Innenräumen errichten, etwa in Lagerhallen oder Kellern.

Es gibt verschiedene Unternehmen rund um die Welt, die diese Form der vertikalen Landwirtschaft schon praktizieren. Die Firma AeroFarms in Newark im US-Bundesstaat New Jersey setzt zum Beispiel schon seit 2004 auf Aeroponik, um verschiedene Kräuter und Gemüsesorten zu züchten. Die größte dieser Farmen ist in einem ehemaligen Stahlwerk angesiedelt, zwei weitere nutzen die Räume eines früheren Nachtclubs und einer Paintball-Arena.

Dort stapeln sich die von LEDs beleuchteten Pflanztabletts neun Meter hoch in großen Hallen. Spezielle Sensoren überwachen das Wachstum der Pflanzen, damit die Bedingungen möglichst optimal gestaltet werden können. Nach Angaben der Firma liefert jeder Quadratmeter Anbaufläche dadurch einen um 390 Prozent höheren Ertrag als ein konventioneller Anbau auf dem Acker. Und dank eines ausgeklügelten Recyclings braucht man dazu auch noch 95 Prozent weniger Wasser. So könne man die Bevölkerung mit umweltfreundlich produzierten und frischen Produkten direkt aus der Nachbarschaft versorgen, wirbt das Unternehmen, das seine Aktivitäten künftig auch auf andere Regionen in den USA und weltweit ausdehnen will.

Auch Dickson Despommier plädiert mit ähnlichen Argumenten für die Indoor-Landwirtschaft. Einer ihrer größten Vorteile bestehe darin, dass sie dank optimierter Wachstumsbedingungen auf der gleichen Fläche viel mehr Ertrag liefere. Bei Erdbeeren zum Beispiel könne man in den Spezialgewächshäusern bis zu 30-mal mehr ernten als unter freiem Himmel. Das könne im Idealfall den Druck von den Landschaften der Erde nehmen: Man gewinne ehemalige Ackerflächen zurück, die man wieder in Wald oder andere ökologisch wertvolle Lebensräume verwandeln und so in den Dienst des Natur- und Klimaschutzes stellen könne.

Zudem bräuchten die Hightech-Anlagen kaum Wasser und Pestizide und könnten auch bei schlechten Bodenverhältnissen überall auf der Welt betrieben werden. Sie seien unabhängig von den Jahreszeiten und weniger anfällig für Wetterkapriolen wie Dürren und Überschwemmungen. »Mit Hilfe moderner Gewächshaus-technologien wie Hydroponik und Aeroponik könnte eine vertikale Farm theoretisch Fisch, Geflügel, Obst und Gemüse produzieren«, schreibt der Wissenschaftler in seinem 2010 erschienenen Buch »The

Vertical Farm: Feeding the World in the 21st Century».

Futuristische Farmen gibt es bisher nur am Computer

Das entscheidende Wort in diesem Satz ist allerdings »theoretisch«. Denn vertikale Großfarmen in gläsernen Wolkenkratzern, in denen die verschiedensten Ackerfrüchte wachsen, Kühe muhen und Schweine grunzen, gibt es bisher nur im Computer. Und viele dieser Entwürfe muten ziemlich futuristisch an. Zusammen mit dem Architekten Eric Ellingsen vom Illinois Institute of Technology hat Dickson Despommier zum Beispiel eine 30-stöckige gläserne Pyramidenfarm entworfen, die eine breite Palette von Obst- und Gemüsesorten, aber auch Fisch und Geflügel produzieren und so jährlich etwa 50 000 Menschen ernähren soll. Durch ein ausgeklügeltes Recyclingsystem soll sie nur zehn Prozent des Wassers von normalen Landwirtschaftsbetrieben verbrauchen und nur fünf Prozent der Fläche beanspruchen.

Ähnlich ambitionierte Ideen gibt es auch von der schwedischen Firma Plantagon. Zum Beispiel den so genannten »Plantscraper«, einen zwölfstöckigen Wolkenkratzer

mit halbmondförmigem Grundriss. An dessen südlicher Fassade befindet sich eine Indoor-Farm, die jedes Jahr zwischen 300 und 500 Tonnen Blattgemüse, vor allem den mit dem Chinakohl verwandten Pak Choi produzieren soll. Außer den Anbauräumen sieht der Gebäudeplan auch noch Büros und einen Markt vor. Neben dem »Plantscraper« hat die Firma auch kugelförmige Pflanzenfarmen und spezielle Gewächshäuser für Fassaden geplant.

Deutlich bodenständiger wirken die Entwürfe des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Bremen. Dabei arbeiten die dortigen Forscher an einem besonders ehrgeizigen Ziel. Im Projekt EDEN (Evolution & Design of Environmentally closed Nutrition-sources) entwickeln sie Gewächshäuser, die zum Beispiel auf dem Mond oder Mars aufgebaut werden könnten, um Astronauten mit frischem Obst und Gemüse zu versorgen. Sie haben aber auch überlegt, wie man solche Systeme auf der Erde nutzen kann – etwa in Städten oder klimatisch ungünstigen Gebieten.

Gemüse in der Antarktis

Dabei herausgekommen ist die so genannte »Vertical Farm 2.0«, die Ingenieure des

DLR zusammen mit internationalen Partnern entworfen haben. Das Gebäude sieht aus wie ein kompakter Quader mit einer Grundfläche von 74 mal 35 Metern. In der untersten Etage sind Logistik, Verwaltung und Kühlräume untergebracht, darüber folgen vier weitere Etagen, in denen die Pflanzen angebaut werden sollen. Jedes dieser Stockwerke ist etwa sechs Meter hoch und bietet damit Platz für große Regale, in denen die gewünschten Pflanzen versorgt mit Nährstoffen und LED-Licht auf mehreren Ebenen wachsen können. Für Blattgemüse wie Salat gibt es auf einer solchen Etage 5000 Quadratmeter Anbaufläche. Höher wachsende Pflanzen wie Tomaten, Paprika oder Gurken lassen sich immerhin auf 1700 Quadratmetern züchten. Insgesamt soll jedes dieser Stockwerke pro Jahr fast 630 000 Kilogramm Salat oder mehr als 95 000 Kilogramm Tomaten liefern können.

Wie man die Lichtverhältnisse, die Bewässerung und die Anordnung der Pflanzen optimal gestalten kann, tüfteln die Forscher im Labor aus. Und einen Praxistest unter harten klimatischen Bedingungen hat eines ihrer Modellgewächshäuser auch schon hinter sich. Im Januar 2018 haben

DLR-Mitarbeiter es in der Nähe der deutschen Antarktisstation Neumayer III aufgebaut, die vom Alfred-Wegener-Institut, dem Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) betrieben wird.

DLR-Mitarbeiter Paul Zabel hat ein ganzes Jahr dort verbracht, um am südlichen Ende der Welt Gemüse, Salate und Kräuter zu züchten. Die Ausbeute konnte sich sehen lassen. Insgesamt hat das Antarktisgewächshaus in einem Jahr auf einer Anbaufläche von etwa 13 Quadratmetern 67 Kilogramm Gurken, 46 Kilogramm Tomaten, 19 Kilogramm Kohlrabi, 8 Kilogramm Radieschen, 15 Kilogramm Kräuter und 117 Kilogramm Salat geliefert. Vor allem für die Überwinterercrew, die den langen Polarwinter isoliert von der Außenwelt in der Station verbrachte, war die frische Kost eine willkommene Bereicherung des Speiseplans. In den nächsten Jahren wollen DLR, AWI und andere Partner das Gewächshaus weiterentwickeln und auch den Anbau anspruchsvollerer Pflanzen wie etwa Erdbeeren vorantreiben.

Tomaten und Fische ergänzen sich gut

Die Produktion der Indoor-Farmen muss sich allerdings nicht nur auf vegetarische Kost beschränken. Schweine oder Rinder le-

ben zwar bisher nur in der Fantasie von Architekten in gläsernen Hochhäusern mit Freiluftbalkons. In der Praxis bewährt hat sich aber schon ein Aquaponik genanntes Verfahren, das Pflanzenbau und Fischzucht kombiniert. Wenn man Fische in einer Aquakultur hält, muss man jeden Tag zwischen 5 und 15 Prozent des Wassers austauschen. Denn sonst reichert sich darin zu viel Nitrat an, das aus den Stoffwechselprodukten der Fische entsteht. »Das entnommene nährstoffreiche Wasser müsste man normalerweise über die Kläranlage entsorgen, was in Berlin immerhin 2,50 Euro pro Kubikmeter kostet«, erklärt Werner Kloas vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) in Berlin. »Wir verwenden es stattdessen als Flüssigdünger.«

»Tomatenfisch« nennen er und seine Kollegen ihr Konzept, bei dem Süßwasserfische und Tomaten in einem Gewächshaus gemeinsam gezüchtet werden. Da beide zum Beispiel in Sachen pH-Wert etwas unterschiedliche Ansprüche haben, wachsen sie in getrennten Kreisläufen heran, die allerdings über ein Einwegventil verbunden sind. Das Wasser aus den Fischbecken wird dabei zunächst mit Hilfe von Lamellenfiltern von Feststoffen befreit.

»Wenn man Vertical Farming kommerziell betreiben will, wird es wegen der hohen Kosten allerdings schwierig«

[Werner Kloas]

Anschließend wandelt ein mit Bakterien besetzter Biofilter das von den Fischen ausgeschiedene Stoffwechselprodukt Ammonium in Nitrat um, das ein sehr guter Nährstofflieferant für Tomaten ist.

Bei Bedarf fließt das Fischwasser dann über ein Einwegventil zum Düngervorratsbehälter der Pflanzen und wird dort mit noch fehlenden Nährstoffen sowie dem pH-Wert optimal an die Bedürfnisse der Tomaten angepasst. Auch das von den Fischen ausgeatmete Kohlendioxid können die Pflanzen verwerten, um mittels Fotosynthese Energie zu gewinnen und im Gegenzug Sauerstoff zu produzieren. Der Wasserdampf, den sie aus ihren Spaltöffnungen abgeben, kommt im Gegenzug wieder den Fischen zugute: Er wird durch ein Kühlsystem kondensiert und erneut in den Fischkreislauf eingespeist. So entsteht ein nahezu geschlossenes System, das nur sehr wenig Wasser verbraucht und in dem Ressourcen wie Nährstoffe, Wasser, Wärme und Strom doppelt genutzt werden können.

600 Kilogramm Fisch aus acht Kubikmeter Tank

Auch mit den Erträgen sind die Forscher schon recht zufrieden. In etwa einem drei-

viertel Jahr lieferten die zirka acht Kubikmeter fassenden Fischtanks üppige 600 Kilogramm der zu den afrikanischen Buntbarschen gehörenden Tilapien. Gleichzeitig brachten die Tomaten einen Ertrag von etwa neun Kilogramm pro Pflanze und damit insgesamt rund 1000 Kilogramm Früchte. Durch weiteres Tüfteln an den Bedingungen konnten die Forscher sogar noch höhere Erträge von bis zu 3000 Kilogramm erzielen, die durchaus mit denen von allein auf Tomatenanbau spezialisierten Hydroponik-Gewächshäusern mithalten konnten. Auch die Inhaltsstoffe der Früchte, etwa ihr Gehalt an Farbstoffen wie Lycopin und Betacarotin unterschied sich zwischen beiden Anbauformen nicht.

Gute Erfahrungen haben die IGB-Forscher schon mit der kombinierten Zucht von Tomaten und afrikanischen Raubwelsen gemacht. Auch in diesem Fall kann man beides zusammen genauso effizient produzieren wie in unabhängigen Anlagen, spart dabei aber jede Menge Dünger – und damit Treibhausgasemissionen, die bei dessen Herstellung anfallen würden. An der Müritz in Mecklenburg-Vorpommern ist bereits eine kommerziell wirtschaftende Anlage in Betrieb, die auf 500 Quadratmeter

Fläche afrikanische Raubwelse und im Sommer 70 bis 80 Kilogramm Tomaten pro Tag liefert.

In einem neuen EU-Projekt namens Cityfood untersuchen Wissenschaftler vom IGB und anderen europäischen Institutionen derzeit, wie man solche Aquaponik-Systeme gezielt für die Nahrungsmittelproduktion in Städten einsetzen kann. Beispiele in Deutschland, Norwegen, Schweden, den USA und Brasilien sollen zeigen, was man dabei in unterschiedlichen Regionen berücksichtigen muss und wann sich das System wo rentiert.

Larven als Fischfutter

Zudem wollen sich Werner Kloas und seine Kollegen in Zukunft nicht mit der Kombination von Tomate und Fisch begnügen, sondern noch eine dritte Komponente einführen. Im März startet das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte Projekt »Cubes Circle«, das Aquakultur und Hydroponik mit der Produktion von Insekten verbinden soll. Die als besonders robust und anspruchslos geltenden Soldatenfliegen der Art *Hermetia illucens*, die aus dem tropischen Afrika stammen, sollen die Pflanzenabfälle und Fischsedimente der

Anlage fressen. »Wenn man die Larven dieser Insekten dann trocknet und entfettet, kann man sie zu Fischfutter verarbeiten«, sagt Werner Kloas. Die Ernährung der Tiere gilt nämlich als einer der Knackpunkte für eine umweltfreundlichere Fischzucht. Das traditionell dafür verwendete Fischmehl ist ökologisch problematisch, weil es oft aus ohnehin schon überfischten Meeresarten gewonnen wird. Doch auch pflanzliche Alternativen haben ihre Tücken. Und zwar nicht nur im Fall von Soja, dessen Anbau viel Wasser verbraucht und vielerorts den wertvollen Regenwald verdrängt. »Auch ein Kilogramm Weizen oder Erbsen zu produzieren, verschlingt 700 bis 800 Liter Wasser«, sagt Werner Kloas. »Solche Nahrungsmittel sollten wir daher lieber selbst essen, statt sie an Fische zu verfüttern.« Zumal pflanzliche Kost für Fische nicht die optimale Kombination von Aminosäuren bietet.

Das Aminosäureprofil von Insekten passt dagegen deutlich besser zu den Ansprüchen der schwimmenden Kundschaft, zeigen die Untersuchungen der IGB-Forscher. »Bei allen fressenden Süßwasserarten wie Karpfen und Tilapien kann man das konventionelle Futter komplett durch Mehl aus Fliegenmägen ersetzen«, sagt Werner Kloas. Eine sol-

che Umstellung wäre seiner Einschätzung nach ein wichtiger Schritt in Richtung einer nachhaltigeren Aquakultur, weil sich die Insekten ohne größere Umweltfolgen produzieren lassen. Dazu müssen die Forscher allerdings vor allem an der Steuer- und Regeltechnik ihrer Tomatenfisch-Gewächshäuser arbeiten, damit diese auch die Bedürfnisse der Fliegen erfüllen können.

Teure Höhenflüge

Herauskommen soll bei dieser Tüftelei ein Fisch-Tomaten-Insekten-Modul, das sich gut für die Lebensmittelproduktion in Städten eignet. »Theoretisch kann man diese so genannten Cubes natürlich auch übereinanderstapeln und damit in Richtung Vertical Farming gehen«, sagt Werner Kloas. Ob das sinnvoll ist, bezweifelt er allerdings. Denn bei der Lebensmittelproduktion in die Höhe statt in die Fläche zu streben, ist teuer. Das fängt schon bei den Gebäudekosten an. »Ein Quadratmeter Gewächshaus in der Ebene kostet etwa 200 Euro, bei einem Hochhaus kommt man leicht auf 1500 bis 2000 Euro«, berichtet der Berliner Forscher. Zudem sei die Pflege und Ernte bei vertikalen Kulturen aufwändiger, und man brauche mehr Energie für die Wasserpumpen.

Trotzdem ist Werner Kloas kein Gegner der senkrechten Landwirtschaft, er bescheinigt ihr durchaus einige Vorteile. So können Pflanzen an der Fassade oder auf dem Dach für ein besseres Gebäudeklima sorgen und auch optisch punkten. Darüber hinaus sieht er einen sozialen Nutzen, den solche Farmen zum Beispiel an Schulen entfalten können. Die Schüler könnten dort einiges über Nahrungsmittel und ökologische Zusammenhänge lernen und dabei auch gleich noch frische Lebensmittel für die Schulkantine gewinnen.

»Wenn man Vertical Farming kommerziell betreiben will, wird es wegen der hohen Kosten allerdings schwierig«, meint Werner Kloas. Er hält es für unwahrscheinlich, dass Verbraucher für solche Produkte den zweibis dreifachen Preis bezahlen würden, damit sich die Investitionen rechnen. Deshalb sieht er die Zukunft der innerstädtischen Landwirtschaft weniger in Wolkenkratzern als in großen, einstöckigen Spezialgewächshäusern, die etwa auf Industriebrachen entstehen könnten. Das würde immer noch deutlich weniger Platz beanspruchen als herkömmlicher Ackerbau, weil die Indoor-Landwirtschaft auf der gleichen Fläche fünf- bis zehnmal mehr Biomasse produzieren

kann. Und gleichzeitig wäre man in den einstöckigen Anlagen nicht komplett auf künstliche Beleuchtung angewiesen, sondern könnte das Sonnenlicht nutzen.

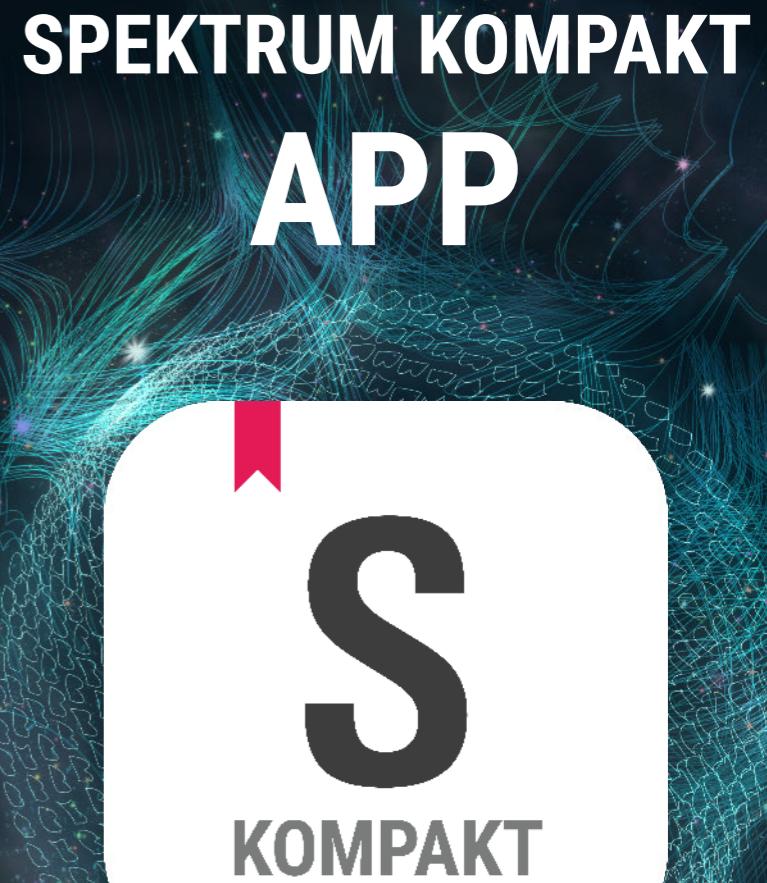
Auch andere Experten sehen Kosten und Energieverbrauch als Nachteile der Hochhauslandwirtschaft. Die Wissenschaftler des DLR haben zum Beispiel ausgerechnet, dass man bei ihrer »Vertical Farm 2.0« zunächst rund 36,7 Millionen Euro für Gebäude und Ausstattung investieren müsste. Der anschließende Betrieb würde dann rund 6,5 Millionen Euro pro Jahr kosten. Allein die Energiekosten würden dabei mit 2,8 Millionen Euro zu Buche schlagen, der Löwenanteil davon entfiele nach derzeitigem Stand der Technik auf die Beleuchtung mit LEDs. Damit sich das alles rechnet, müsste der in einer solchen Farm angebaute Salat für stolze 5,81 Euro pro Kilo verkauft werden und das Kilo Tomaten für 9,94 Euro. Innovationen wie leistungsfähigere LEDs könnten den Anbau künftig allerdings günstiger machen, hoffen die DLR-Mitarbeiter.

Kheir Al-Kodmany von der University of Illinois in Chicago fragt sich allerdings auch, ob die potenziellen Kunden solche Nahrungsmittel denn auch akzeptieren würden. Obwohl das Gemüse in Sachen

Frische und Regionalität punkten könne, sei die Hightech-Produktion ohne Erde und Sonnenlicht in den Augen vieler Menschen eben nicht die natürliche Art der Lebensmittelgewinnung.

Global gesehen sieht der Architekt auch noch ein soziales Problem. Die wachsende Weltbevölkerung wird zwar häufig als Argument für die vertikale Landwirtschaft angeführt. Nur steigen die Bevölkerungszahlen vor allem in Entwicklungsländern. Das aber wirft für Kheir Al-Kodmany eine ganze Reihe von Fragen auf. Haben diese Länder die nötige Technik, die Expertise und das Geld, um Vertical Farming zu betreiben? Kann man es schaffen, dass die Produkte auch für die Armen erschwinglich werden? Und wie kann man sie all jenen Menschen zugänglich machen, die abseits aller glitzernden Glastürme in Slums leben? Wer das Potenzial der vertikalen Landwirtschaft einschätzen will, sollte auch darauf Antworten finden. Vielleicht kann der Mensch seine Nahrung eines Tages tatsächlich in der Senkrechten gewinnen. Die Lösung aller Ernährungsprobleme wird aber auch das nicht sein. ↵

(Spektrum – Die Woche, 06/2019)



Lesen Sie Spektrum KOMPAKT optimiert für Smartphone und Tablet in unserer neuen App! Die ausgewählten Ausgaben erwerben Sie direkt im App Store oder Play Store.



A photograph of a cow in a field at sunset. The cow is in the foreground, facing away from the camera. In the background, a person is walking away, carrying a briefcase and a backpack. The scene is bathed in a warm, golden light. The title of the article is overlaid on the image.

KLEINBAUERN

von der **SCHOLLE** GESCHUBST

von Kerstin Engelhard

Europaweit verlieren die Kleinbauern an Boden: Neben Großunternehmen konkurrieren sie mit Hedgefonds und Versicherungskonzernen. Wer soll künftig die Welt ernähren?

Rechts sind Blumen, links sind Blumen: Attila Szőcs durchquert mit dem Auto das ländliche Südrumänien. Sein Blick wandert über das Sonnenblumenfeld, durch das er seit nunmehr einer Stunde fährt und das kein Ende zu nehmen scheint. »Die Leute hier kennen ihre Nachbarn nicht mehr«, schildert er: »Es könnte ein italienischer Investor sein, ein Hedgefonds, ein rumänischer Großbetrieb.« Sonnenblumen, Weizen, Mais und Raps wachsen hier in enormen Mengen. Was fehlt: belebte Dörfer, Infrastruktur, Arbeitsplätze. Die entwurzelte Bevölkerung wandert ab in die Städte oder ins Ausland.

Als Vorsitzender der rumänischen Bauernorganisation Eco Ruralis klärt Szőcs Landwirte über ihre Rechte auf. Gemeinsam mit seiner Frau bewirtschaftet er einen kleinen Hof im Norden des Landes: Gemüse, Wein, in ein paar Jahren vielleicht etwas Vieh. Das ist die eine Seite der rumänischen Landwirtschaft. Die andere Seite stellen Banken, Investmentfonds, Versicherungen oder reiche Privatpersonen: »Ein Scheich aus den Arabischen Emiraten hat vor Kurzem 65 000 Hektar Ackerland für 200 Millionen Euro erworben.«

Ob ein Marktgigant wie Barilla oder ein rumänischer Oligarch die Flächen besitzt, ist Szőcs prinzipiell egal: »Aber wichtig ist, wohin die Lebensmittel gehen.« Die meisten Investoren stammen aus dem Ausland und versilbern ihre Ernten auf den heimischen Märkten. Die Maria Group aus dem Libanon unterhält sogar einen Schlachthof und einen Hafen am Schwarzen Meer, um Fleisch und Getreide außer Landes zu schaffen. Rumänien importiert Nahrungsmittel aus Russland und der Ukraine: »Im Fall eines Handelskriegs wären wir aufgeschmissen.« Nur 0,5 Prozent der Landnutzer kontrollieren hier die Hälfte aller Ackerflächen. In der gesamten EU sind es drei Prozent. So steht Rumänien symptomatisch für eine Entwicklung, die ganz Europa betrifft.

Über Landverteilung in Europa forscht Sylvia Kay vom Transnational Institute in Amsterdam: »Seit der Wirtschaftskrise vor rund zehn Jahren gilt Boden als sichere Investition«, erklärt sie. Der Bedarf an Lebensmitteln steigt, der Hunger auf Fleisch erfordert Futterpflanzen, und Bioenergie kostet Anbaufläche. So versuchen auch branchenfremde Akteure, sich ihren Teil schwarzbraunen Goldes zu sichern.



ECLIPSE IMAGES / GETTY IMAGES / ISTOCK

»Im Fall eines Handelskriegs wären wir aufgeschmissen«

[Attila Szőcs]



»Alle verdienen am Landwirt, nur der Landwirt verdient nicht mehr wirklich«

[Franz-Theo Gottwald]

In der Folge explodieren die Preise. Kostete in Bulgarien im Jahr 2005 ein Hektar Ackerland 860 Euro, war es zehn Jahre später mehr als das Fünffache. In den Niederlanden sind Hektarpreise von mehr als 60 000 Euro Durchschnitt. Deutschland liegt bei rund 24 000 Euro, mit hohen regionalen Unterschieden. »Kleine Betriebe können kein Land zukaufen oder die Pacht bezahlen«, erläutert Kay: »Allein zwischen den Jahren 2003 und 2014 hat in der EU ein Drittel aller Bauern aufgegeben.«

Zwangen Schlägertrupps Landwirte zum Verkauf?

In den osteuropäischen Staaten funktioniert das Monopoly besonders gut, denn Boden ist hier günstiger, und durch den Zusammenbruch des Kommunismus standen die riesigen Ländereien der Agrarkooperativen zur Verfügung. Manche der ehemaligen Eigentümer wollten ihre Äcker nicht bestellen, andere konnten es nicht: »Der Großbauer, der die Bewirtschaftung organisiert hatte, nutzte sie einfach weiter«, erzählt Szőcs. Viele resignierten und gaben sie ab – ob gegen Geld oder ohne. In anderen Fällen beriefen korrupte Bürgermeister Versammlungen ein: »In aller Öf-

fentlichkeit nötigten sie die Anwohner, ihr Land an ein Großunternehmen zu verkaufen.« Berüchtigt ist die niederländische Rabobank: Sie steht im Verdacht, in Rumänien Land ohne Vertrag zu nutzen und über Mittelsmänner Schlägertrupps angeheuert zu haben, um Landwirte zum Verkauf zu zwingen.

Landgrabbing, ein Grapschen nach Land, nennt man diese Praxis: Konzerne oder Investoren pressen armen Kleinbauern ihre Hufen ab. Einige osteuropäische Staaten versuchen mittlerweile dem Ausverkauf einen Riegel vorzuschieben. Doch ihre Restriktionen stehen in der Kritik. »Sie zielen nur auf die Herkunft des Investors«, moniert Kay: »Das ist zu kurz gedacht und nicht vereinbar mit den EU-Normen.« Zudem kann ein Investor viele Gesetze mittels Share Deals umgehen: Statt eines Stück Landes erwirbt er ein Stück des Unternehmens, das dieses Land innehat.

Das zeigt ein Millionendeal in Brandenburg: Der Versicherungskonzern Münchner Re erwarb 94,9 Prozent einer Tochtergesellschaft der KTG Agrar. Die krumme Zahl kommt nicht von ungefähr – denn wer hier aufrundet, zahlt in Deutschland die Grunderwerbssteuer. Mittlerweile ha-

ben die Behörden die Genehmigungen für das Geschäft teilweise widerrufen. Grund ist eine Täuschung im Vorwege: Als die KTG Agrar kurz vor ihrer Insolvenz die Flächen auf die Tochtergesellschaft überschrieb, hätte klar sein müssen, dass sie veräußert werden sollten. Daraufhin durften örtliche Landwirte ihr Vorkaufsrecht nutzen – nur konnten viele die Preise für die Flächen nicht zahlen.

In Westeuropa verfügen die Familienbetriebe im Schnitt über mehr Land und bessere Technologien als in den östlichen Ländern. Doch auch ihnen steht das Wasser bis zum Hals. Das unterstreicht Umwelt- und Agrarethiker Franz-Theo Gottwald: »Alle verdienen am Landwirt, nur der Landwirt verdient nicht mehr wirklich.« Gottwald ist stiller Teilhaber eines rund 30 Hektar großen Biohofs: Milchvieh, Hennen, Futterbau. Immer stärker, sagt er, müssten die Lebensmittel bestimmte Normen erfüllen: »Kartoffeln einer bestimmten Form, Milch eines strikt definierten Fettgehalts.« Ein großer Teil der Rohwaren wird verarbeitet, und nur ein Bruchteil des Endpreises erreicht den Erzeuger.

Der wiederum muss in immer teurere Maschinen investieren und möglichst in-

tensiv wirtschaften, um am Markt mithalten zu können. Die Pachtpreise steigen ebenso wie Kosten für Agrardiesel und Saatgut: »Sind die Schulden zu hoch, drängt die Bank zum Verkauf.« Betriebe wie Gottwalds mit bis zu 50 Hektar Größe stellen in Deutschland etwa ein Fünftel der landwirtschaftlichen Fläche – aber die Hälfte der branchen-eigenen Arbeitsplätze. Brechen diese weg, beginnt die Infrastruktur zu wackeln: »Es gibt weniger Leben in den Dörfern. Schulen und Handwerksbetriebe schließen, die Gesundheitsversorgung leidet.«

Dörfer und Landschaften veröden ohne Kleinbauern

So wie die Dörfer veröden die Landschaften, die sie umgeben. Zwar kann ein Großbauer einige Hektar aus der Nutzung nehmen und entsprechende Prämien kassieren – doch im Großen und Ganzen dominieren Monokulturen die Landschaft. Kay bezeichnet sie als grüne Wüsten: »Sie benötigen mehr Pestizide, verunreinigen das Trinkwasser und schädigen Bienen und andere Bestäuber.« Tatsächlich weist eine aktuelle Studie der Universität Göttingen der kleinbäuerlichen Landschaft eine ähnlich hohe Artenvielfalt zu wie dem ökologi-

schen Landbau – denn die höchste Biodiversität findet sich in Randstrukturen wie Feldrainen und Knicks.

Es gibt ein gewichtiges Argument für die industrielle Agrarwirtschaft: Sie werde benötigt, um den Hunger von bald acht Milliarden Menschen auf der Erde zu stillen. »Das ist ein Mythos«, urteilt Kay: »Fakt ist, dass Kleinbauern 70 Prozent der Weltbevölkerung ernähren, und das vergleichsweise ressourcenschonend.« Hunger und Nahrungsmittelknappheit seien mehr ein Problem der Verfügbarkeit: »Deswegen ist es fatal, wenn Länder die Hoheit über die Ernährung ihrer Bevölkerung abgeben.« Zudem ist die industrielle Landwirtschaft einer der weltweit größten Emittenten von Treibhausgasen und beschleunigt den Klimawandel: »Genau dadurch bedroht sie unsere Ernährung. Das Prinzip ›business as usual‹ ist keine Lösung mehr.«

Szőcs sieht vor Ort, wie sich die gängige Praxis auf die Umwelt auswirkt. »Chernozem«, schwarze Erde, heißt der Boden, der Teile Osteuropas und Asiens durchzieht und in vielen Gegenden Rumäniens vorherrscht. Er gilt als einer der fruchtbarsten Böden der Welt: »Nun laugen Großbetriebe die Erde aus durch ein Übermaß an Düng-

mitteln und Pestiziden. In heißen Sommern verwandeln Wind und Sonne das ›chernozem‹ schließlich in sandige Halbwüsten.«

Subventionen fördern die Falschen

Den Bauern helfen sollen Subventionen über die Gemeinsame Agrarpolitik der EU. Doch genau diese treiben das Missverhältnis auf die Spitze. Denn der größte Teil der Gelder wird nach Fläche ausgegeben – so erhalten EU-weit 20 Prozent der Begünstigten 80 Prozent der Subventionen. Und Szőcs kritisiert die Untergrenze von zwei Hektar pro Hof: »Dadurch sind die meisten rumänischen Kleinbauern nicht mehr berücksichtigt.«

Weitere Mittel sind an Umweltschutzmaßnahmen oder artgerechte Tierhaltung gebunden. Über diese muss der Landwirt akribisch Buch führen: »Für kleinere Betriebe lohnt sich der Aufwand nicht«, urteilt Gottwald, »es sei denn, sie betreiben Biolandbau.« Mittlerweile können die Mitgliedsstaaten kleinere Höfe stärker fördern oder über einem Betrag von 150 000 Euro die Zahlungen reduzieren. Laut Kay reicht das nicht aus: »Ein Agrarunternehmen kann Anteile verschiedener Betriebe besitzen und so die Regelung umgehen.«

Aktuell wird die Gemeinsame Agrarpolitik neu verhandelt, und kleine NGOs rütteln über Lobbyarbeit und den öffentlichen Diskurs an den Interessen der Großbauern. Das Transnational Institute fordert, die Subventionen schon ab 100 000 Euro zu reduzieren, sie ab 150 000 Euro zu kappen: »Und die Schlupflöcher müssen geschlossen werden«, verlangt Kay. Die Zeit drängt: Ein Drittel der europäischen Betriebsleiter zählt mindestens 65 Jahre. Ihre Söhne oder Töchter treten immer seltener die Hofnachfolge an. Und Neueinsteiger scheitern meist an den finanziellen Hürden. Szőcs bestätigt: »65 Jahre ist für rumänische Landwirte das Durchschnittsalter. Das ist einfach verrückt. Zu einem großen Teil sichern sie unsere Ernährung.« Gern würde er Boden zukaufen: »Aber mit französischen oder dänischen Banken können wir nicht mithalten.«

Was Szőcs immer häufiger beobachtet, sind Konvois von Lastwagen, die durch das Land fahren. Großfirmen erwerben den fruchtbaren rumänischen Boden, doch mittlerweile packen sie ihn ein. Auf den Ladeflächen der Trucks tritt das ›chernozem‹ die Reise ins Ausland an, berichtet Szőcs: »Das nenne ich nun wortwörtlich Land-



DAVIDE / GETTY IMAGES / ISTOCK

»Gegen französische oder dänische Banken können wir beim Bodenkauf nicht mithalten«

grabbing.« Dennoch macht er sich weiterhin stark – für seinen Hof und die rumänischen Bauern. »Ich liebe das Landleben«, betont er und fügt hinzu: »und einen guten Kampf.«

TITELTHEMA: MEERWASSERENTSALZUNG

Trinkwasser mit schmutzigem Geheimnis

Wenn man Salzwasser in Trinkwasser verwandelt, bleiben Milliarden Tonnen konzentrierte Lauge zurück – sie enthält neben Salz auch problematische Chemikalien. Was tun?



NATURKATASTROPHEN
Trifft der nächste Tsunami China?



KÜNSTLICHE INTELLIGENZ
Wie viel verrät ein Gesicht wirklich?



MATHE-»NOBELPREIS«
Abelpreis für Karen Uhlenbeck

Im Abo nur
0,92 €
pro Ausgabe

Jetzt bestellen!

**Das wöchentliche
Wissenschaftsmagazin**
als Kombipaket im Abo:
Als App und PDF

HIER ABONNIEREN!