



Im Rampenlicht

Wie Forschung klassische und neue Züchtungsmethoden durchleuchtet



So sieht es aus, wenn unser aktueller Cover-Star, ein Pflanzensamen, auf fruchtbaren Boden fällt: Skabiosen wie diese kommen in mehr als 100 Arten vor. Viele davon zählen zu den 30.000 Spezies, deren Erbgut – in Form von Pollen und Samen – in der britischen Kew Millennium Seed Bank gelagert wird. Denn um Kulturpflanzen resistenter oder ertragreicher zu machen, setzen Züchterinnen und Züchter oft auch auf deren wilde Verwandte.

Foto links: Rob Kesselers; Illustration Bundesministerin: Sarah Heiß



Liebe Leserinnen und Leser,

in diesem Jahr erhält die Wissenschaft viel Aufmerksamkeit – zu Recht! Im Zuge der Corona-Pandemie erleben wir, in welchem beeindruckendem Tempo neue Forschungserkenntnisse gewonnen werden. Ebenso verhält es sich in der Züchtungsforschung: Der Fortschritt hier entwickelt sich schneller, mit innovativen Lösungen für globale Herausforderungen.

Wie wir uns heute ernähren, verdanken wir auch der Züchtung. Sie verbessert die Eigenschaften von Kulturpflanzen und Nutztieren stetig. Mit Züchtungsinnovationen lassen sich Fragestellungen einer zukunftsfähigen Landwirtschaft beantworten.

Wie können wir etwa trotz veränderter Klimabedingungen und neuer Schädlinge die Ernte sichern und gleichzeitig weniger Pflanzenschutzmittel ausbringen? Neue Züchtungen bieten hier oft Lösungen. Dabei behalten Züchterinnen und Züchter auch alte Sorten und Rassen im Blick. Mit ihren oft wertvollen Eigenschaften für die Züchtung bilden diese einen wichtigen Genpool für die Zukunft. Zugleich tragen sie zur Vielfalt auf dem Acker, in den Ställen und auf dem Teller bei.

Aber wir müssen bereit sein, auch neue Wege zu gehen. Molekularbiologische Züchtungstechniken wie die Genschere CRISPR/Cas bieten neben herkömmlichen Methoden große Chancen, Prozesse zu beschleunigen und Pflanzen schneller an veränderte Bedingungen anzupassen. In der Europäischen Union unterliegen diese Techniken der Gentechnik-Regulierung und sind daher strenger reguliert als in den meisten anderen Teilen der Welt. Doch wir sollten die Verfahren differenziert beurteilen und Fortschritten in der Wissenschaft Rechnung tragen – um Potenziale nicht ungenutzt zu verschenken.

Diese Ausgabe der **forschungsfelder** präsentiert Ihnen ein breites Spektrum der Züchtungsforschung: Wir nehmen Sie mit in die Obstanlagen des Julius Kühn-Instituts, wo die Obstsorten für die Zukunft gezüchtet werden. Wir zeigen Ihnen, wie Weizen gegen Trockenstress gewappnet wird. Und wir stellen Ihnen alte Hühnerrassen vor, deren Erbgut für künftige Kreuzungen bewahrt wird. Gewinnen Sie zudem aufschlussreiche und kurzweilige Einblicke in die heutige Züchtung – und in ihre Zukunft.

In diesem Sinne: Bleiben Sie neugierig und gesund!

Ihre

Julia Klöckner
Bundesministerin für Ernährung und Landwirtschaft

INHALT

- 4 Wissen in Häppchen**
Historische Blüten, stille Örtchen für Kühe und Satelliten, die auf Murmeltiere schauen
- 6 Das besondere Foto**
- 8 Es war einmal ...**
Was Barock-Gemälde über Züchtung verraten
- 10 Trockene Zeiten**
Ein naher Verwandter hilft dem Weizen gegen Dürre
- 14 So geht Züchtung**
Die wichtigsten Methoden im Überblick
- 16 „Wir können Mutationen präzise auslösen“**
Gespräch mit Dr. Ralf Wilhelm über neue Züchtungstechniken
- 18 Landkarte**
- 20 Mit Weitblick**
Bei der Obstzüchtung braucht es viel Geduld – und einen lebendigen Genpool
- 26 Forschungslandschaft**
- 28 Herausgepickt**
Alte Hühnerrassen werden durch Kreuzung erhalten
- 34 Die Forschungsfrage**
Wie werden vergessene Gemüsesorten wieder salonfähig?
- 35 Impressum**

forschungsfelder
» Ausgabe downloaden
» Kostenfreies Abonnement
www.forschungsfelder.de

Eine sichere Bank

Um die Vielfalt an Arten, Sorten und Rassen zu bewahren, konservieren Genbanken die genetischen Ressourcen von Pflanzen und Tieren. Dafür arbeiten Bundes- und Landes-einrichtungen sowie nicht staatliche Organisationen zusammen. Die wichtigsten nationalen Genbanken sind:

Bundeszentrale Genbank Kulturpflanzen

Über 150.000 Saatgutmuster zählt die Sammlung des Leibniz-Instituts für Pflanzen-genetik und Kulturpflanzenforschung (IPK). Sie ist damit eine der größten der Welt.

Deutsche Genbank Obst

Ob Apfel, Erdbeere oder Pflaume: Das vom Julius Kühn-Institut (JKI) koordinierte Netzwerk erhält mehr als 1.700 Obstsorten in Freilandsammlungen.

Deutsche Genbank Reben

Über 4.000 Rebpflanzen und somit rund 2.600 Rebsorten erhält dieses vom JKI koordinierte Netzwerk als Rebstöcke im Freiland, darunter neben deutschen auch internationale Sorten sowie Wildreben.

Deutsche Genbank Zierpflanzen

Rhododendron und Rosen sind nur einige der Zierpflanzen, die das vom Bundessortenamt koordinierte Netzwerk mit rund 15.800 Saatgutmustern konserviert.

Genbank für Wildpflanzen für Ernährung und Landwirtschaft

Koordiniert vom Botanischen Garten Osna-brück sichert dieses Netzwerk verwandte Wildarten unserer Kulturpflanzen – mit mehr als 4.700 Saatgutmustern.

Deutsche Genbank Landwirtschaftliche Nutztiere

Beim Friedrich-Loeffler-Institut schlum-mert genetisches Material von Pferde-, Rinder-, Schaf-, Ziegen-, Schweine-, und Hühnerrassen. In absehbarer Zeit ist das auch für Bienen geplant.

NACH 32.000 Jahren aufgeblüht

In Wien brachten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Uni-versität für Bodenkultur (BOKU) ein 32.000 Jahre altes Nelkengewächs – *Silene stenophylla* – wieder zum Blühen. Im Jahr 2012 war es schon einem Team von der Russischen Akademie der Wissenschaften gelun-gen, die Samen, die im sibirischen Permafrostboden überleben konn-ten, zum Leben zu erwecken. Die russischen Forschenden gaben eine der Gewebekulturen an die BOKU weiter. Mithilfe genetischer Analysen will das dortige Team unter anderem untersuchen, wie die Pflanze an die damaligen Klimabedingungen angepasst war. Die Ergebnisse vergleichen sie mit heutigen Verwandten, unter anderem Leimkräu-tern und Lichtnelken. So wollen sie herausfinden, wie sich die Pflan-zen-gattung bis heute verändert hat.



AUSSPIONIERT

Wie reagieren Murmeltiere auf die Ausweitung von landwirt-schaftlichen Anbauflächen in der kasachischen Steppe? Das untersuchten Forschende des Leibniz-Instituts für Agrar-entwicklung in Transformationsökonomien (IAMO) und der Humboldt-Universität Berlin im Projekt „EcoSpy“ – und nutzten dafür ungewöhnliche Quellen. Sie werteten die Daten von US-Spionagesatelliten aus den 1960er-Jahren aus. Das Team zählte die Murmeltierbaue auf diesen Bildern und verglich sie mit aktuel-len Satellitenaufnahmen. Dabei stellten sie fest, dass die Anzahl der Baue am stärksten in den Gebieten zurückging, in denen seit den 1960er-Jahren ständig Weizen angebaut wurde. In noch bestehen- den Steppengebieten, dem natürlichen Lebensraum der Murmel-tiere, blieb die Anzahl der Baue meist stabil. Zudem nutzten die Murmeltiere in vielen Fällen noch genau dieselben Bausysteme wie vor 50 Jahren, also über acht Generationen. Das Team von „EcoSpy“ hofft, dass die alten Satellitendaten künftig häufiger für ökologische Langzeitstudien genutzt werden. Denn sie zeigen, wie das menschliche Handeln in der Vergangenheit die Umwelt bis heute beeinflusst – und dass Landnutzung und Schutzentscheidungen deshalb langfristig ausgelegt sein müssen.



STILLE ÖRTCHEN IM KUHSTALL

Saubere Ställe, weniger Ammoniak-Emissionen: Werden Kot und Harn von Rindern beim Ausscheiden voneinander getrennt, bringt das Vorteile für Tierwohl und Klimaschutz. Deshalb stellte sich ein Forschungsteam die Frage: Kann man Rindern beibringen, nur an bestimmten Orten zu urinieren? In einer Übersichtsstudie charakterisierten sie dazu zunächst die neurophysiologischen Grundlagen des Ausschei-dungsverhaltens bei Säugetieren und mögliche Lernprozesse bei Rindern. Die Erkenntnisse setzen sie aktuell in einem Pilotprojekt um und trainieren Kälber, zum Urinieren Latrinen im Stall zu benutzen. Neben dem Leibniz-Institut für Nutztierbiologie (FBN) sind auch die University of Auckland in Neuseeland und das Friedrich-Loeffler-Institut beteiligt.

STICHWORT

MOLEKULARE MARKER

sind kurze DNA-Abschnitte, von denen bekannt ist, wo sie sich im Erbgut befinden. Sie helfen in der Pflanzenzüchtung dabei, Pflanzen mit einer bestimm-ten Eigenschaft zu identifizieren. Dazu müssen diese nicht ausgewachsen sein: Marker lassen sich schon im genetischen Material eines kleinen Blatts finden. Sie sind jeweils mit der gesuchten Eigenschaft gekoppelt: entweder weil sie mit dem Gen, das für die Eigenschaft verantwortlich ist, idealerweise identisch sind, oder weil sie sich in möglichst großer Nähe dazu befinden.



Stimmgewaltig

Foto: Andrew Fladeboe

Beim Neuseeländischen Huntaway ist eine starke Stimme das A und O. Die extrem intelligente Hunderasse entstand Ende des 19. Jahrhunderts. Damals begannen Schäferinnen und Schäfer, jene Hunde miteinander zu kreuzen, die Schafherden durch lautes und tiefes Bellen über die Weiden trieben – nicht durch ständigen Augenkontakt: ein Vorteil, gerade im unübersichtlichen hügeligen Gelände Neuseelands. Aussehen spielte dabei keine Rolle, sodass sich einzelne Tiere äußerlich mitunter stark voneinander unterscheiden.

Es war einmal ...

Schon seit Jahrtausenden verändert der Mensch Tiere und Pflanzen, indem er sie durch Züchtung an seine Bedürfnisse anpasst. Das zeigt unter anderem die Geschichte der Wassermelone.

Stilleben erfreuten sich im 17. Jahrhundert großer Beliebtheit. Nicht selten standen dabei üppig gedeckte Tische im Fokus. Exotische Früchte galten als Symbol für die Vergänglichkeit von Luxus, Sinnesfreude und Schönheit – und wurden kunstvoll drapiert auf die Leinwand gebracht. Wer heute vor den oft großflächigen Gemälden steht, bekommt daher ganz nebenbei einen Einblick in die Geschichte der Züchtung. Gerade die Wassermelone in Giovanni Stanchis Barock-Werk wirkt aus heutiger Perspektive sehr ungewöhnlich. Fast vollständig fehlt das knallige Rot, das wir mit der Frucht verbinden. Verantwortlich dafür ist der Farbstoff Lycopin, der in den damaligen Melonen noch nicht in so hoher Konzentration enthalten war. Auch die weißen Wirbel aus Pflanzenfasern sind im Laufe der Jahre verschwunden, um Verbraucherinnen und Verbrauchern genau das zu bieten, was

sie wollen: süß-saftiges Fruchtfleisch – und nichts anderes. Aktuell geht es den Kernen an den Kragen. Weil diese beim Essen auf manche eher störend wirken, werden vermehrt Melonen gezüchtet, die deutlich weniger Kerne enthalten. Die Entwicklung der Melone zeigt, wie Züchtung Pflanzen und Tiere verändert. Dabei lohnt sich ein gelegentlicher Blick in die Vergangenheit. Denn oft sind es gerade alte Sorten und Rassen, die sich als besonders widerstandsfähig erweisen, zum Beispiel gegen Schädlinge und Krankheiten. In jedem Fall steht fest: Wir sind nicht am Ende dieser Entwicklung. Niemand kann vorhersehen, wie sich unsere Nutztiere, unser Obst und Gemüse durch Züchtung verändern werden – zum Beispiel für neue Ernährungstrends oder die Anpassung an den Klimawandel. Und wer weiß, wie überraschend die Fotos von Lebensmitteln aus der heutigen Zeit für unsere Nachfahren aussehen werden?





TROCKENE ZEITEN

Die Landwirtschaft leidet unter dem Klimawandel. Gefragt sind daher neue, robuste Sorten, die trotz längerer Dürrephasen stabile Erträge liefern.

Auf knapp 40 Prozent der landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands wächst Getreide, etwa die Hälfte davon ist Weizen.

„Solange ich zurückdenken kann, habe ich so etwas wie in den Jahren 2018 und 2019 noch nie beobachtet.“ Hitzerekorde, Waldbrände, Ernteausfälle und metertief ausgetrocknete Böden – die Bilanz dieser Jahre ist für den erfahrenen Wissenschaftler Dr. Bernd Hackauf vom Julius Kühn-Institut (JKI) eine Zäsur. „Die Zeichen des Klimawandels sind auch hierzulande nicht mehr zu übersehen“, sagt der Forscher. Die große Dürre gab den Anstoß für das Forschungsprojekt TERTIUS am Institut für Züchtungsforschung an landwirtschaftlichen Kulturen des JKI in Groß Lüsewitz bei Rostock. Ziel des Projekts ist es, Deutschlands wichtigste Getreideart besser an extreme Klimabedingungen anzupassen. Die Erträge des Weizens haben vor allem dank intensiver züchterischer Arbeit in den vergangenen Jahrzehnten stetig zugenommen. Im Dürrejahr 2018 ernteten die landwirtschaftlichen Betriebe jedoch 14,2 Prozent unter dem mehrjährigen Durchschnitt. Für Züchtungsforscher wie Bernd Hackauf werden deshalb die Themen Hitzestress- und Dürretoleranz bei Kulturpflanzen immer wichtiger.

Mit längeren Wurzeln das Wasser erreichen

Um den Weizen fit für den Klimawandel zu machen, könnte ein naher Verwandter des Weizens eine Schlüsselrolle spielen: der Roggen. Er gilt als anspruchslos und vergleichsweise unempfindlich gegen Trockenheit. Die Forscherinnen und Forscher aus Groß Lüsewitz untersuchen ihn seit mehr als 25 Jahren intensiv. Seine Robustheit hat er dem hoch entwickelten Wurzelsystem zu verdanken, das tief in die Erde hinabreicht und dort zusätzliche Wasser- und Nährstoffreserven erschließen kann. Für diese Eigenschaft ist ein bestimmter Abschnitt auf dem sogenannten Genom, also dem Erbgut der Pflanze, verantwort-

lich – und genau dieser Abschnitt ist vor gut einem Jahrhundert durch Kreuzung auch in einige Weizenpflanzen gelangt. Noch heute gibt es Weizensorten mit dieser speziellen Erbinformation. Im Anbau spielen sie aber kaum eine Rolle. Denn der Genomabschnitt aus dem Roggen bringt auch eine unerwünschte Eigenschaft mit sich: Er lässt die Backqualitäten des Weizens schrumpfen. Viele der Sorten sind deshalb nicht als Brotgetreide verwertbar und damit für die Landwirtschaft unattraktiv.

Für die Züchtung hingegen sind sie weiterhin hochinteressant, denn mit längeren Wurzeln könnte – so die These der Forscherinnen und Forscher – der Weizen möglicherweise auch unter trockenen Bedingungen besser gedeihen.

Für die Forschung war die Dürre ein Glücksfall.

So verheerend die flächendeckende Dürre für die Landwirtschaft war – für die Forschung von Bernd Hackauf war sie ein Glücksfall. „2018 war ein riesiges Freilandexperiment.“ Der Forscher vom JKI war überrascht, als er die Ergebnisse des Bundessortenversuchs sah, bei dem jedes Jahr neu zugelassene Sorten auf 26 Standorten im Anbau getestet werden. Unter den Qualitätsweizen befand sich einer mit dem Genomabschnitt aus dem Roggen und damit längeren Wurzeln, der trotz der enormen Trockenheit deutlich höhere Erträge als fast alle anderen Sorten lieferte. 2019 wiederholte sich das Ereignis: Unter den erneuten Dürrebedingungen überflügelte erneut ein Weizen mit Roggenen

alle anderen Sorten. Das Ergebnis zeigt deutlich, dass moderner Weizen tatsächlich Dürrebedingungen trotzen kann: Ein Zufallsbefund – denn ursprünglich wurden die Sorten, die auf Kreuzungen Anfang der 2000er-Jahre zurückgehen, wegen ihrer hohen Widerstandskraft gegen Pilzkrankungen gezüchtet. Besonders wertvoll ist aber, dass sie trotz des Roggenerbuts sehr gute Backqualitäten besitzen. Bernd Hackauf erkannte das Potenzial der beiden Weizensorten mit den Roggenen und holte sie kurzerhand in sein Labor sowie auf die Versuchsfelder des Instituts. Dort forschte er weiter an ihrer genetischen Ausstattung und den damit verbundenen Eigenschaften. Klassische Kreuzungsexperimente und moderne Methoden zur Analyse des Erbguts gehören dabei zum Repertoire des Wissenschaftlers und seines Teams (siehe Infografik, S. 14). Gemeinsam mit drei Pflanzenzuchtunternehmen und der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) erproben sie im Projekt „TERTIUS“ nicht nur, wie sich die Trockenresistenz bei Kreuzungen mit anderen Sorten weitervererbt. Sie entwickeln zudem molekulare Methoden, mit denen die Züchtung künftig erwünschte und unerwünschte Eigenschaften besser voneinander unterscheiden kann. „Das Ziel ist es, möglichst zeitnah deutlich mehr robuste Sorten zu erhalten“, erklärt der Züchtungsforscher. Denn so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass sich unter den Ergebnissen Sorten befinden, die alle gewünschten Eigenschaften vereinbaren und auf ganz unterschiedlichen Bodentypen gedeihen.

Marker verraten früh die robusteren Pflanzen

Grundlage für die Forschung ist die punktgenaue Untersuchung von mehr als 20.000 klar definierten Genomabschnit-

„Roggen ist eine vernachlässigte Fruchtart. Dabei ist er nicht nur genügsam und robust, sondern hinterlässt auch einen besonders geringen CO₂-Abdruck.“

Bernd Hackauf, Julius Kühn-Institut

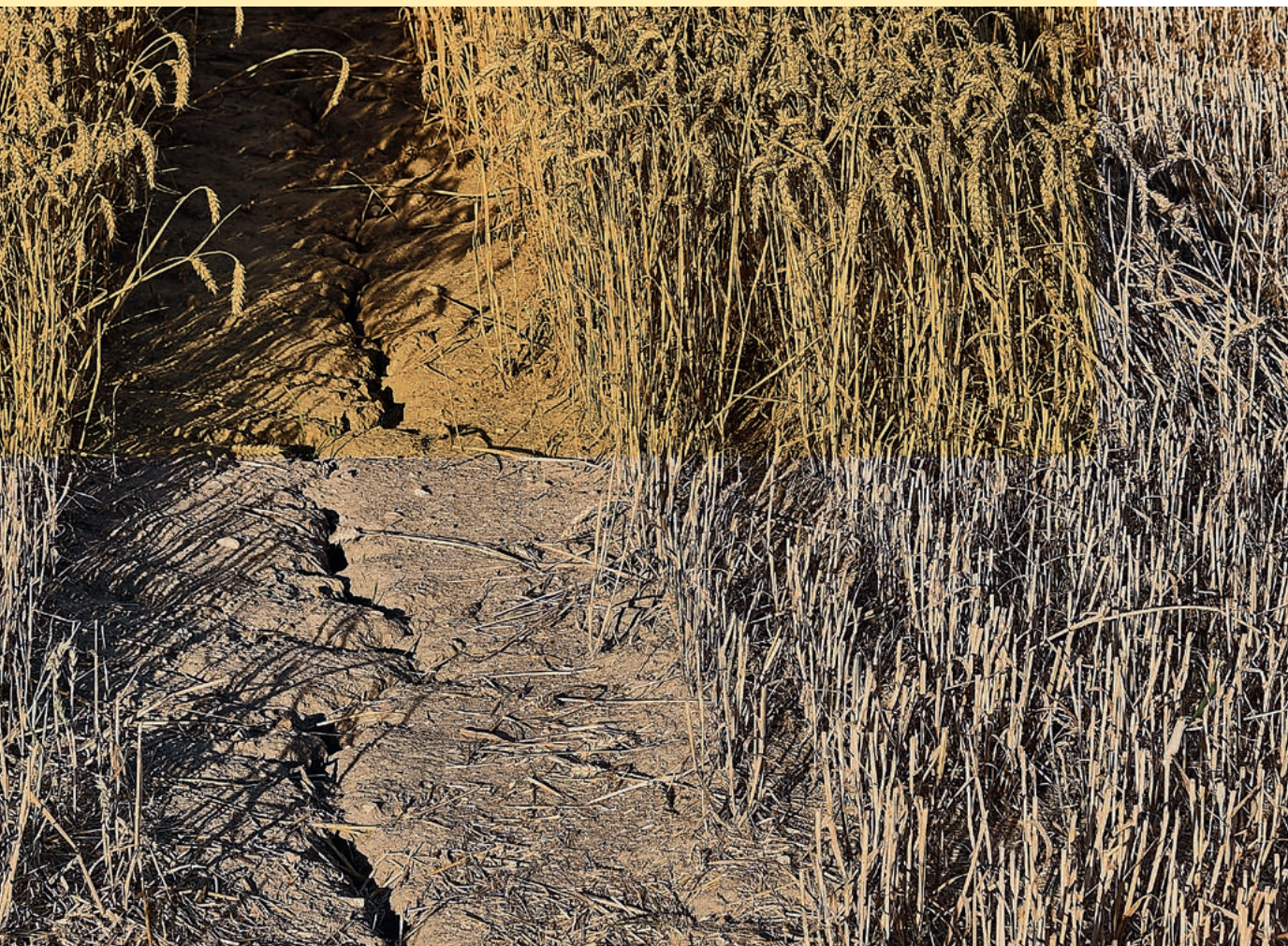
ten – sogenannten molekularen Markern. Wie eine Flagge kennzeichnen diese Marker ganz bestimmte Abschnitte im Genom, die mit konkreten Eigenschaften des Getreides verbunden sind. Die Forscherinnen und Forscher untersuchen im Labor sehr viele Pflanzen gleichzeitig auf gewünschte Marker und vergleichen diese Information dann mit Erscheinungsbild und Eigenschaften der Pflanze. So finden sie heraus, welche Marker mit einem besonders hohen Ertrag, einer Resistenz gegen Krankheiten oder anderen Merkmalen verknüpft sind. Bereits in einem sehr frühen Pflanzenstadium können sie mit diesem „genetischen Fingerabdruck“ erkennen, ob die gewünschten Eigenschaften im Erbgut der Pflanze vorhanden sind. Das Verfahren nennt sich markergestützte Selektion. „Diese Methode zur Nutzung natürlicher Biodiversität ist viel schneller als die rein phänotypische Selektion in der herkömmlichen Kreuzungszüchtung,

und kommt ganz ohne Gentechnik aus – denn wir greifen dabei ja nicht aktiv ins Erbgut ein“, betont Hackauf.

Aus den beiden Ursprungsorten entstehen gegenwärtig nach Kreuzung und anschließender Selbstbefruchtung 290 sogenannte Linien. Diese sind Vorläufer für künftige Sorten, die Forschung prüft ihre Eigenschaften im Anbau und identifiziert im Labor dank der Marker die vielversprechendsten Kandidaten. So werden bis zur Zulassung marktreifer Sorten noch etwa weitere acht Jahre vergehen – ohne das Hilfsmittel der markergestützten Selektion wären es bis zu elf Jahre.

Standfest gemacht

Neue Informationen für die züchterische Arbeit entschlüsselt Bernd Hackauf nicht nur auf dem Weizengenom, sondern auch im Erbgut des Roggens – gemeinsam mit elf internationalen Partnern im Projekt



Fotos: BMEL/Anika Mester



„RYE-SUS“. Gerade mit Blick auf den Klimawandel hat Roggen, der in Europa heute weniger als 2,5 Prozent der Anbaufläche einnimmt, enorme Vorteile. „Roggen ist eine vernachlässigte Fruchtart. Dabei ist er nicht nur genügsam und robust, sondern hinterlässt unter den Getreiden den geringsten CO₂-Abdruck im Anbau“, erklärt Hackauf. Dem Roggen fehlt bisher aber eine entscheidende Eigenschaft, die der Weizen durch Züchtungsarbeit schon in den 1950er-Jahren erhalten hat. Ein sogenanntes Kurzstrohgen sorgt dafür, dass die Weizenhalme klein bleiben, bei star-

kem Wind oder Regen nicht umknicken und die Ähren mehr Körner tragen können. Roggen dagegen entwickelt lange Halme, die Landwirtinnen und Landwirte kurz halten, indem sie diese beispielsweise mit wachstumsregelnden Pflanzenschutzmitteln behandeln. Bernd Hackauf möchte das ändern, um den Roggen wieder attraktiver zu machen. „Analog zum Weizen nutzen wir dafür eine natürliche Genvariante, die zu kürzeren Halmen führt“, erklärt er. „Dieses Gen ist schon seit 50 Jahren bekannt, es fehlt aber in den modernen, hochleistungsfähigen Sorten.“ Eine umfassende

Charakterisierung des Erbguts von kurz- und langstrohigen Sorten zeigte den Forschenden nun, wie sie das gewünschte Gen stabil in sogenanntes Elitezuchtmaterial einkreuzen. Und wieder ist dank der molekularen Marker bereits kurz nach der Aussaat erkennbar, ob das gewünschte Gen im Erbgut der Pflanzen vorhanden ist.

Die ersten Pflanzen mit Kurzstrohgen aus der Elitezucht wuchsen im vergangenen Jahr auf den Versuchsfeldern. „Eine Weltpremiere“, freut sich Bernd Hackauf und hofft, dass sich die Nachkommen dieser Saatelternlinien im kommenden Jahr im Versuchsanbau hinsichtlich ihres Ertrags und ihrer Abwehr gegen den Mutterkorn-Pilz bewähren werden. Dass sich das Kurzstrohgen positiv auf die Dürretoleranz der Pflanzen auszuwirken scheint, ist ein willkommener Bonuspunkt. Bernd Hackauf weiß, dass nicht nur der Klimawandel eine Herausforderung für die landwirtschaftliche Produktion ist. „Wir müssen uns auch fragen, wie wir die prognostizierten neun bis zehn Milliarden Menschen künftig ernähren können“, sagt er. Die Anforderungen an künftige Sorten sind auch deshalb sehr hoch. Die Züchtungsforschung ist dabei wohl so gefragt wie selten zuvor.

Von Heike Kampe

Rund 87,4 Kilogramm Getreidemehl pro Kopf wurden in Deutschland im vergangenen Jahr verzehrt. Weizen ist hierzulande bei Weitem die bedeutendste Getreideart.



SO GEHT ZÜCHTUNG

Seit vielen Tausend Jahren sorgt der Mensch dafür, dass sich Pflanzen zu seinem Nutzen verändern. Ob größere und schmackhaftere Früchte, ein höherer Ertrag oder eine geringere Anfälligkeit für Krankheiten – für jede Neuerung müssen Änderungen im Erbgut der Pflanze stattfinden. Früher dauerte es oft Jahrzehnte oder noch länger, bis sich der gewünschte Erfolg einstellte. Im Laufe der Zeit wurden die Methoden immer effizienter und zielgenauer.



Selektionszüchtung (seit 10.000 v. Chr.)

Die Samen der Pflanzen mit den erwünschten Eigenschaften werden ausgewählt und vermehrt.

Beispiel

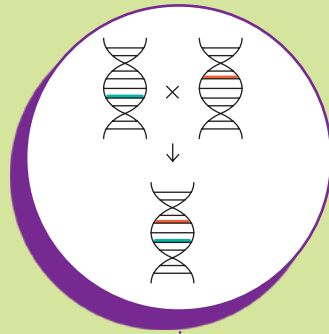
Gerste

Effizienz

Sehr langwierig und Ergebnis schwer planbar

Gut zu wissen

- Viele Kulturpflanzen entstanden durch diese Methode, die natürliche genetische Veränderungen ausnutzt



Kreuzungzüchtung (seit 1900)

Zwei artverwandte Pflanzen werden miteinander gekreuzt, etwa durch Bestäubung.

Beispiel

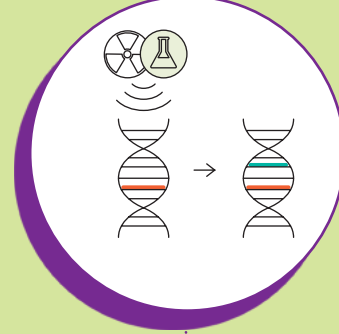
Apfelsorte Elstar, eine Kreuzung aus Golden Delicious und Ingrid Marie

Effizienz

Langwierig und Ergebnis schwer planbar

Gut zu wissen

- Für das gewünschte Ergebnis braucht es viele zeitintensive Rückkreuzungen, das heißt Kreuzungen der Nachkommen mit einem Elternteil
- Wird heute meist mit genomischer Selektion kombiniert



Mutationszüchtung (seit 1930)

Bestimmte Stoffe oder Prozesse – zum Beispiel Röntgen- oder Neutronenstrahlen, Kälte- und Wärmeschocks oder chemische Stoffe – lösen im Samen Mutationen des Erbguts aus.

Beispiel

Grapefruit mit rosarotem Fruchtfleisch

Effizienz

Zeitintensiv, zufällig und ungerichtet

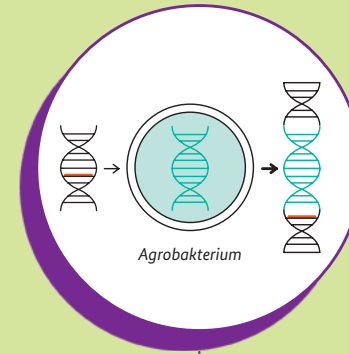
Gut zu wissen

- Mutationen finden auch natürlicherweise im Erbgut statt
- Unterliegt nicht den strengen Zulassungsregularien für gentechnisch veränderte Pflanzen, neue Züchtungen fallen aber unter das Sortenrecht
- Neue Varianten müssen rückgekreuzt werden, um die gewünschten Eigenschaften zu selektieren und unerwünschte Mutationen zu entfernen



Ein Molekül in Form einer Doppelhelix – hier zweidimensional dargestellt – enthält das Erbgut von Lebewesen. Zwischen den beiden Einzelsträngen befindet sich eine individuelle Abfolge von Basenpaaren. Sie bestimmt, wie ausgeprägt bestimmte Eigenschaften sind.

Züchtung möchte gewünschte Eigenschaften im Erbgut der Pflanze verankern, oft auch eine bestimmte Kombination von Merkmalen, hier in Blau und Rot dargestellt.



Gentechnik (seit 1983)

Isolierte Gene werden direkt in das Erbgut der Pflanze eingeführt – über Viren, Bakterien oder durch physikalische Methoden wie das Beschießen mit winzigen Partikeln.

Beispiel

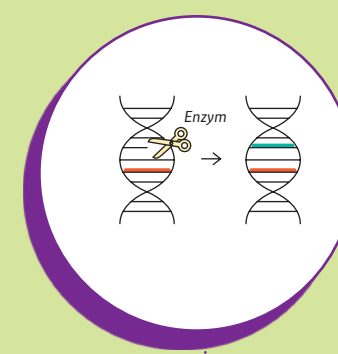
Kartoffeln mit Resistenz gegen Kraut- und Knollenfäule

Effizienz

Schneller und Ergebnis planbarer als herkömmliche Methoden

Gut zu wissen

- Übertragung sowohl arteigener Gene (Cis-Genese) als auch artfremder Gene (Trans-Genese) möglich
- Anbau und Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Pflanzen unterliegen in der EU strengen Zulassungs- und Kennzeichnungsregeln (Gentechnik-Regulierung)



Genom-Editierung (seit 1996)

Eingebrachte Enzyme zerschneiden gezielt die DNA der Erbanlage, die Zelle repariert den Schnitt. Dabei werden je nach Verfahren punktgenau kleine Modifikationen oder auch ganze Genabschnitte fremder Organismen eingebaut.

Beispiel

Soja mit Omega-3-Fettsäuren

Effizienz

Sehr schnell und gezielt, wenige Kreuzungsschritte nötig

Gut zu wissen

- Genomeditierte Pflanzen fallen in der EU immer unter Gentechnik-Regulierung, in den USA und anderen Ländern je nach Verfahren oder Produkt
- Am häufigsten: CRISPR/Cas
- Ergebnis je nach Verfahren vergleichbar mit natürlich vorkommenden Mutationen oder mit Gentechnik



Genomische Selektion (seit 2009)

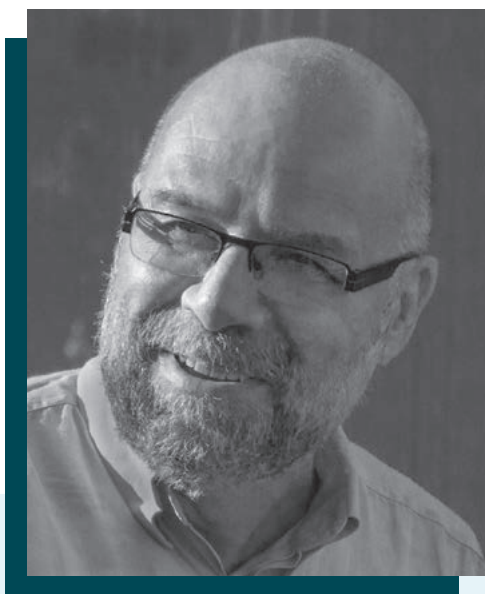
Aus einer großen Menge werden die Samen mit den gewünschten Eigenschaften mittels bioinformatischer Programme ausgewählt.

Gut zu wissen

- Keine eigenständige Züchtungsmethode, aber wichtiges Diagnoseverfahren, das andere Methoden unterstützt
- Voraussetzung für die Methode sind ausführliche Informationen zu den einzelnen Gensequenzen
- Wurde zuerst in der Tierzüchtung angewandt

Und wie ist das bei Tieren?

Einige dieser Methoden werden auch bei Tieren angewandt, wobei ethische Fragestellungen stärker berücksichtigt werden. Aktuell besonders verbreitet ist hier die Kreuzungzüchtung, kombiniert mit der genomischen Selektion. Zusätzlich zum Einsatz kommen reproduktionsbiologische Verfahren wie künstliche Besamung oder Embryotransfer. Es gibt in der EU derzeit keine Zulassungen für gentechnisch veränderte oder genomeditierte Nutztiere.



„WIR KÖNNEN MUTATIONEN INZWISCHEN SEHR PRÄZISE AUSLÖSEN“

Molekulare Methoden wie die Genschere CRISPR/Cas erlauben zielgerichtete Pflanzenzüchtungen. Wie das genau funktioniert, erklärt Dr. Ralf Wilhelm. Er ist Leiter des Instituts für die Sicherheit biotechnologischer Verfahren bei Pflanzen am Julius Kühn-Institut.

Was unterscheidet die neuen molekularen Züchtungstechniken von der klassischen Gentechnik?

Zunächst muss man wissen: Für die genetische Verschiedenheit von Organismen sind Mutationen verantwortlich. Wenn wir in der Pflanzenzucht genetische Veränderungen aktiv erzeugen – etwa durch Be-

strahlung von Samen, nennen wir das Zufallsmutagenese, da nicht vorherbestimmt werden kann, welche Mutationen erzeugt werden. In der klassischen Gentechnik wird dagegen ein bestimmtes Gen mit erwünschten Eigenschaften aus einer Spenderzelle isoliert und in die Zelle des Zielorganismus übertragen. Den Ort in der Zel-

le, wo das Gen landet, können wir aber auch dabei nicht bestimmen. Im Gegensatz dazu lässt sich mit den neuen molekularbiologischen Techniken genau festlegen, an welcher Stelle eine gezielte Mutation ausgelöst beziehungsweise eine Modifikation eingefügt wird. Diese Mutagenese ist somit sehr präzise und das Ergebnis planbarer.

Welche neue molekulare Methode wird am häufigsten angewandt?

Seit ihrer Entdeckung 2012 wird die Genschere CRISPR/Cas am breitesten eingesetzt.

Wie funktioniert diese Genschere?

Das System besteht aus zwei Komponenten, die in die Zelle eingebracht werden: Eine dieser Komponenten liest die Informationen der Erbanlage ab und zeigt der anderen Komponente, wo sie schneiden soll. Ist der Schnitt gemacht, springt das zelleigene Reparatursystem an und repariert die Stelle. Die Fehler, die bei einer solchen Reparatur entstehen, sind die Mutationen, die wir in der Züchtung suchen. Wenn man nun zusätzlich eine Art Schablone mit in die Zelle gibt, kann man eine ganz bestimmte Mutation auslösen. Diese und ähnliche Methoden werden als Genome Editing bezeichnet, sprich Genomeditierung, also als Bearbeiten des Genoms.

Wie lange dauert es, mit dieser Methode eine Pflanze zu züchten?

Im Vergleich zu einer klassischen Züchtung spart man viel Zeit, unter Umständen etliche Jahre. Das bedeutet aber nicht, dass man die Veränderung von heute auf morgen ins Saatgut bringen kann. Die Herausforderung ist, aus der mutierten Zelle eine Pflanze zu generieren. Sollte das gelingen, wären viele Tests und eine Sortenzulassung nötig. Auch die Züchtung mit Genome Editing würde bis zur kommerziellen Aussaat also ein paar Jahre dauern. Oft müssen wir auch erst das Zusammenspiel der beteiligten Gene verstehen, bevor wir die gezielte Mutagenese sinnvoll einsetzen können, etwa bei der Anpassung von Pflanzen an Trockenstress. Da arbeiten viele verschiedene Gene zusammen.

Ist die Anpassung von Pflanzen an den Klimawandel ein wichtiges Ziel von Genome Editing?

Eines von vielen. Im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) haben wir untersucht, welche Genome-Editing-Studien an Kultur- und Zierpflanzen in den vergangenen Jahren weltweit durchgeführt wurden (siehe Landkarte, S. 18). Die Zielsetzungen sind dabei überaus vielfältig. Bei circa der Hälfte der Projekte geht es um Ertragssteigerungen und andere agronomische Verbesserungen sowie um Anpassungen an Hitze, Trockenheit, Krankheiten und Schädlinge.

Woran wird noch geforscht?

Bei einem Drittel steht die Qualität von Lebens- und Futtermitteln im Fokus. In den USA zum Beispiel sind Hersteller verpflichtet, schädliche Fettsäuren in Lebensmitteln zu reduzieren. Deshalb boomen dort Projekte, die an entsprechenden Modifikationen in Pflanzen wie Soja oder Mais arbeiten.

Lässt sich mithilfe der neuen Methoden auch die Biodiversität auf den Feldern erhöhen?

Das ist durchaus denkbar. Viele alte Kulturarten lassen sich aktuell nicht anbauen, weil sie zum Beispiel anfällig für Krankheiten sind. Wenn man ihre Resistenz erhöht, kann das zur Diversifizierung in der Landwirtschaft beitragen. Das hängt aber stark von der Regulierung in den einzelnen Märkten ab. In der Europäischen Union sind die Vorgaben besonders eng gefasst. 2018 hat der Europäische Gerichtshof geurteilt, dass auch die neuen molekularen Züchtungsmethoden unter das Gentechnikrecht fallen. Ich halte es – wie ein Groß-

teil der Wissenschaft – für problematisch, dass die rechtlichen Regelungen an der Technik aufgehängt werden und nicht an den Merkmalen, die man damit verändert.

Können Sie das näher erklären?

Mögliche Auswirkungen auf die Umwelt oder die Gesundheit sind immer davon abhängig, welche Gene ich in einer Pflanze verändert habe, nicht welche Methode ich dabei verwendet habe. Klassische Mutagenese-Verfahren, bei denen Strahlung oder Chemie zum Einsatz kommen, fallen nicht unter die strengen Regelungen des Gentechnikgesetzes, aber das viel präzisere Genome Editing schon. Es wäre zu begrüßen, wenn das Gentechnikgesetz hier zeitnah stärker differenzieren würde: Wenn die Gene nach organismustypischen Mustern umgebaut werden – so wie sie über Mutationen auch in der Natur vorkommen könnten –, sollte das Produkt nicht unter das Gentechnikgesetz fallen. Anders ist es, wenn mithilfe von Genome Editing Fremd-DNA integriert wird. Dann bliebe die Bewertung analog zur klassischen Gentechnik.

Wie nehmen Sie die öffentliche Debatte über die neuen Züchtungsmethoden wahr?

Die Diskussion wird offener geführt als die Debatte um die klassische Gentechnik. Das ist eine positive Entwicklung. Wir müssen uns fragen, wie wir die Herausforderungen der Zukunft – die Anpassung an den Klimawandel und die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung – mit den Mitteln angehen können, die wir zur Verfügung haben. Genome Editing hat da großes Potenzial.

Das Gespräch führte Ulrike Wronski.

NEUE FORSCHUNG, NEUE PFLANZEN

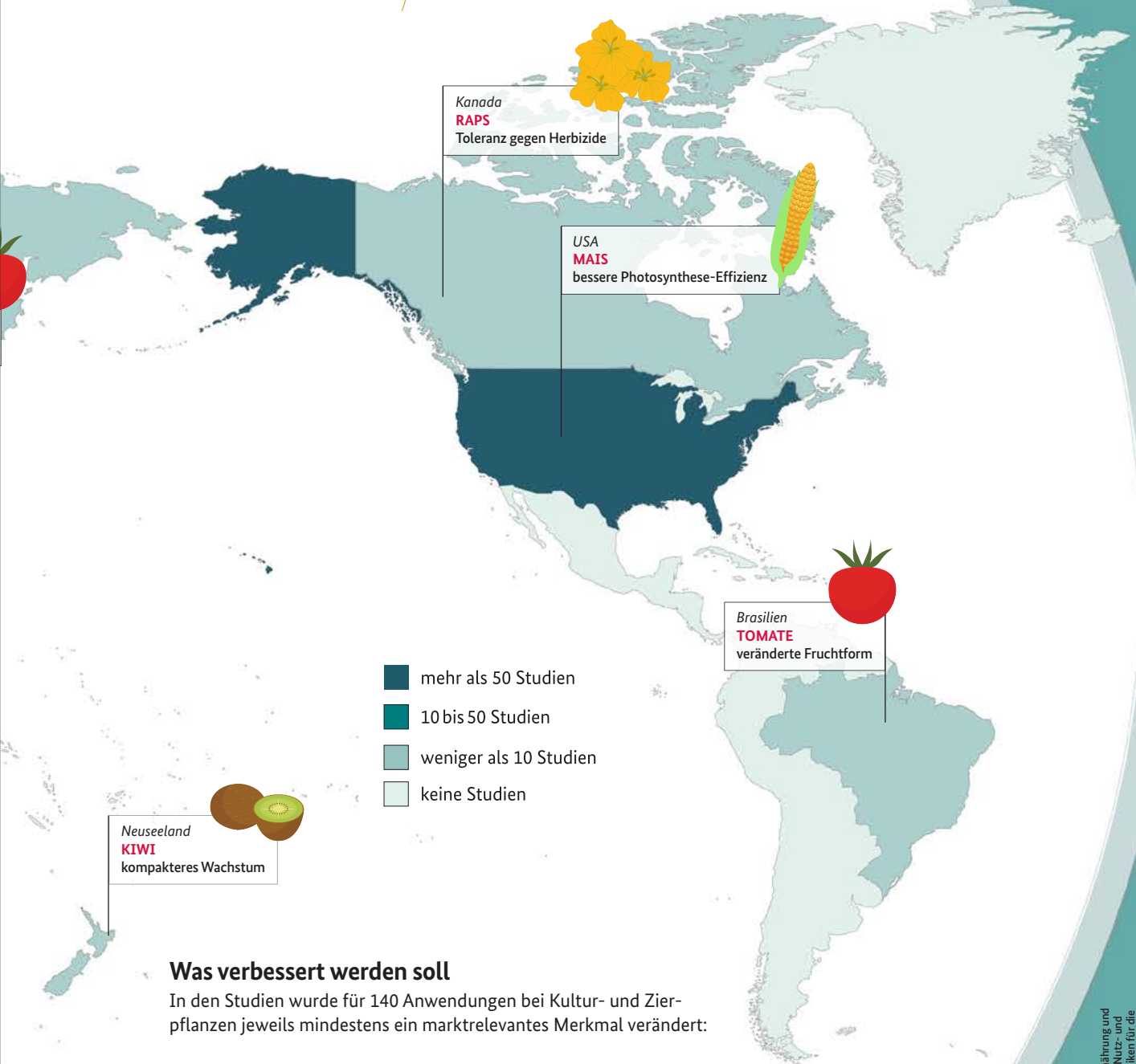


Weltweit erprobt die Wissenschaft die Methode des Genome Editing an Kultur- und Zierpflanzen (siehe Infografik, S. 14): In Spanien verringerten Forscherinnen und Forscher das Gluten im Weizen und in Kenia sind Kochbananen entstanden, die weniger anfällig für das gefährliche Bananenstreifenvirus sind. Eine Erfassung des Julius Kühn-Instituts zeigt die Bandbreite der Forschung in diesem Bereich auf: Zwischen 1996 und 2019 wurden mehr als 200 marktorientierte Studien gezählt, in denen rund 40 Pflanzenarten mithilfe

von Genome Editing gezielt verändert wurden. Im internationalen Vergleich liegt China mit 101 Studien deutlich vorn, gefolgt von den USA mit 78 Publikationen. Europa kommt immerhin auf 26. Die Studien beschäftigen sich mit 140 Anwendungen, also Kombinationen von Pflanze und marktorientiertem Merkmal. Die meisten Merkmale umfassen höhere Erträge, mehr Wachstum oder bessere Lagereigenschaften. Andere Anwendungen haben Aussehen und Inhaltsstoffe der Produkte, Krankheitsresistenz, Herbizidtoleranz der Klimaanpassung der Pflanzen im Blick.

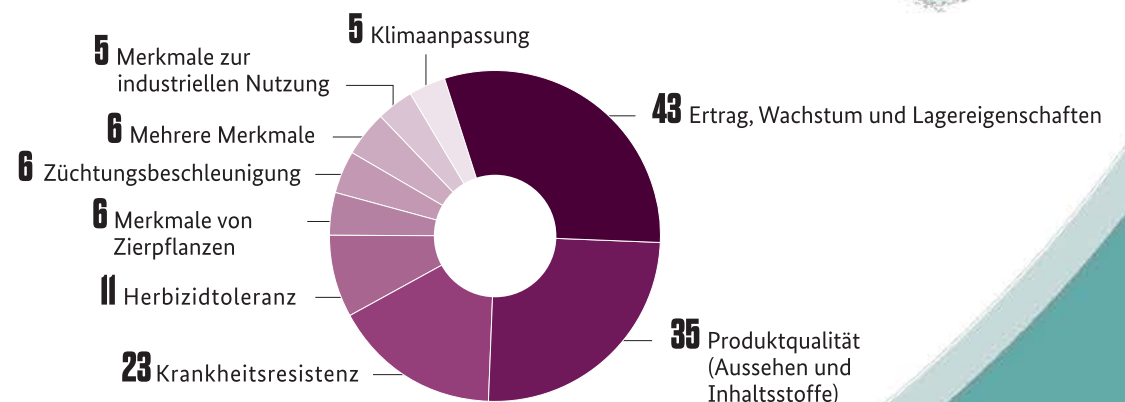
Woran am häufigsten geforscht wird

- 1. REIS
- 2. TOMATE
- 3. MAIS
- 4. WEIZEN
- 5. KARTOFFEL
- 6. SOJABOHNE



Was verbessert werden soll

In den Studien wurde für 140 Anwendungen bei Kultur- und Zierpflanzen jeweils mindestens ein marktrelevantes Merkmal verändert:



Quelle: Julius Kühn-Institut (JKI)/Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); 2. Aktualisierung der Übersicht über Nutz- und Zierpflanzen, die mithilfe neuer molekularbiologischer Techniken für die Bereiche Ernährung, Landwirtschaft und Gartenbau erzeugt wurden – marktorientierte Anwendungen, 2020.

Mit Weitblick

Neuartige Schädlinge, Hitzetage im März: Der deutsche Obst- und Weinbau steht vor großen Herausforderungen. Hilfe kommt aus Sachsen und der Pfalz. Dort entwickeln Forscherinnen und Forscher Sorten, die dem Klimawandel und gefährlichen Erregern trotzen.



Durch die Kreuzung von Wildarten lassen sich neue Erkenntnisse über Blühzeitpunkte gewinnen. Hier zu sehen: die Wildart *Malus trilobata*, oder Dreilappiger Apfel, widerstandsfähig gegen Frost und Wind.



Einige Apfelbäume stehen am JKI in speziellen Gewächshäusern, in denen sie nicht mehr in die Winterruhezeit gehen. An ihnen wachsen gleichzeitig fast reife Äpfel und Blüten – in der Natur kommt das so nicht vor.



Wer nach raschen Erfolgen strebt, ist in der Züchtungsforschung fehl am Platz. „Als Obstbaumzüchter lebt man vom Vorgänger und arbeitet für den Nachfolger“, sagt Professor Henryk Flachowsky, der das Institut für Züchtungsforschung an Obst am Julius Kühn-Institut (JKI) in Pillnitz bei Dresden leitet. Auf über 40 Hektar stehen in der idyllischen Landschaft rund 750 Apfelsorten, Süß- und Sauerkirschen sowie Birnen. Sie alle werden über die Jahre hinweg systematisch untersucht, bewertet und verglichen: Welche Sorte erweist sich als besonders resistent gegen Schädlinge, welche als besonders schmackhaft? Wie hoch ist die Chance, dass diese Merkmale vererbt werden? Besonders gute Kandidaten empfehlen sich als Eltern für die Kreuzung. Ganze Generationen – 25 bis 30 Jahre – vergehen in der Regel in der klassischen Kreuzungszüchtung, bis aus der Kreuzung zweier Sorten vielleicht am Ende eine neue Sorte entsteht, die den vielfältigen Ansprüchen genügt. Züchtungsforscher Flachowsky kennt den Spagat zwischen den Interessen der Obstbaubetriebe und der Verbraucherinnen und Verbraucher nur zu gut: Die einen benötigen ertragreiche und gegen Schädlinge resistente Bäume, die anderen wünschen sich schmackhafte, möglichst makellose und gleichzeitig wenig gespritzte Früchte. Und doch: „Es ist sehr

schwer, Sorten zu züchten, die wunderschön und zugleich resistent gegen Erreger wie Mehltau und Schorf sind.“ Die Züchtung resistenter Sorten dient auch dem nachhaltigen Anbau: Je widerstandsfähiger sich Bäume und Früchte erweisen, desto seltener müssen die Betriebe spritzen – was auch ihr Budget schont. Ganz ohne Schädlingsbekämpfung kommt jedoch keine Sorte aus, sagt Henryk Flachowsky. Zu breit ist die Palette der Obstfeinde.

Das perfekte Paar finden

Derzeit arbeitet das JKI-Team an der Züchtung von Apfelsorten, die dem aggressiven Pilz *Marssonina coronaria* widerstehen sollen: Seit einigen Jahren verbreitet sich der aus Asien stammende Schadorganismus in Europa und macht insbesondere dem ökologischen Obst-anbau große Sorgen. Die Bäume verlieren durch den Pilz ihre Blätter, die Früchte bleiben minderwertig. Ein erster wichtiger Schritt ist dem Dresdner Team bereits gelungen: Die Forscherinnen und Forscher haben einen Wildapfel gefunden, der vollständig widerstandsfähig gegen den Pilz ist. Seine Resistenz soll nun in den Kulturapfel eingekreuzt werden. Doch: Wildarten sind problematisch in der Züchtung, da sie viele unerwünschte Eigenschaften in Fruchtgröße und Aroma in sich tragen. Durch Rückkreuzun-

gen müssen diese Eigenschaften zunächst über viele Jahre wieder entfernt werden. Erst dann beginnt die eigentliche Sortenzüchtung. „In 30 bis 40 Jahren haben wir vermutlich eine Sorte, die gegen *Marssonina coronaria* resistent ist“, sagt Institutsleiter Flachowsky. Weit schneller wäre es, Resistenzen mithilfe der grünen Gentechnik im Labor in das Erbgut bestehender Sorten zu übertragen. Doch in Europa herrscht eine große Skepsis gegenüber gentechnisch veränderten Pflanzen. Seit 2012 werden sie in Deutschland nicht mehr kommerziell angebaut. Daher arbeiten die Forscherinnen und Forscher des JKI mit traditionellen Kreuzungsmethoden. An deren Beginn steht die Auswahl der richtigen Elternpflanzen, die das perfekte Paar ergäben: zum Beispiel eine schmackhafte, bewährte Sorte als Mutter und einen Vater, der gegen einen gefährlichen Schädling resistent ist. Im besten Fall kennen die Forscherteams die jeweiligen Marker, also kurze DNA-Abschnitte, die auf die jeweils gewünschte genetisch angelegte Eigenschaft hinweisen. Dann können sie mithilfe der sogenannten markergestützten Selektion nach deren genetischen Fingerabdrücken suchen und so die geeigneten Kreuzungskandidaten auswählen (siehe Infografik auf S. 14 sowie Beitrag „Trockene Zeiten“, S. 10). Zunächst wird der Pollen der männlichen Pflanze mit einem Pinsel auf den Frucht-



Bei zwei bis drei Grad Celsius lagern Dr. Christine Grafe und eine Auszubildende verschiedene Äpfel ein. Sie ruhen in sogenannten ULC- und CA-Kammern: Durch sehr niedrigen Sauerstoffgehalt und eine kontrollierte Atmosphäre wird darin das Altern der Äpfel verlangsamt.

knoten der Mutterpflanze aufgebracht. Die Früchte der nächsten Ernte enthalten bereits die Samen mit den Anlagen beider Eltern. Aus diesen Samen ziehen die Forscherinnen und Forscher Tausende Keimlinge. Nur die besten schaffen es in die nächste Runde. Bei dieser Auswahl erweist sich erneut die markergestützte Selektion als hilfreich: Mit ihr lässt sich analysieren, welche der kleinen Pflanzen die gewünschten neuen Eigenschaften in sich tragen. Nach mehreren Runden der Selektion bleiben in Pillnitz 10 bis 20 Kandidaten übrig. Auch deren Früchte müssen sich hinsichtlich zahlreicher Kriterien beweisen. Immer wieder komme es vor, erzählt Henryk Flachowsky, dass solche Kandidaten am Ende zwar resis-

tent seien, aber deren Früchte nicht den Anforderungen des Marktes genügen. Mal 20, mal 80 Kreuzungen führt das Team in Sachsen im Jahr durch, nur die wenigsten Nachkommen erfüllen langfristig die hohen Erwartungen. Im Durchschnitt alle drei Jahre schafft es eine neue potenzielle Sorte in die allerletzte Runde: Dann wird sie an die Landesversuchsanstalten geschickt, die sie in verschiedenen Anbaugebieten testen. Erst wenn sich die Äpfel-, Birnen- oder Kirsch-Kandidaten dort bewähren, meldet das JKI sie zum Sortenschutz – vergleichbar mit einem Patent – an. Geschützte Sorten sind schließlich gegen Zahlung von Lizenzgebühren für den Anbau erhältlich. „Zu fairen Preisen, so dass alle Produzenten darauf zugreifen

können“, betont Züchtungsforscher Flachowsky. Auch das gehört zum gesellschaftlichen Auftrag der Institute: „Unsere Hauptaufgabe ist es, den deutschen Erwerbsobstbau zu stärken“, sagt er.

Weine für die Zukunft

550 Kilometer westlich, im pfälzischen Geilweilerhof, entwickelt Professor Reinhard Töpfer mit seinem Team neue Sorten für die deutschen Weine der Zukunft. Bereits seit 1926 werden in der Pfalz neue Rebsorten gezüchtet. Während Obstzüchter wie Flachowsky auch die Verbraucherinnen und Verbraucher im Blick haben, zielt die Arbeit am Institut für Rebenzüchtung am JKI vor-

rangig auf die Bedürfnisse der Winzerbetriebe. Sie brauchen erstklassige Trauben, die eine verlässliche Ernte liefern und eine gute Grundlage für erfolgreiche Weine bieten. Die größte Gefahr für Reben sind Krankheiten wie der Echte und Falsche Mehltau. Sie wurden bereits vor 150 Jahren nach Deutschland eingeschleppt. 1967 begann in der Pfalz die Züchtung der ersten pilzwiderstandsfähigen roten Rebsorte Regent. Vier Zuchtstufen durchläuft eine Rebsorte bis zur abschließenden Hauptprüfung. „Jede dauert sechs bis acht Jahre“, erklärt Reinhard Töpfer. 1994 erhielt Regent den Sortenschutz. Seither hat sich die rote Rebsorte erfolgreich etabliert und reduziert den hohen Pflanzenschutzaufwand.

Genau wie sein Dresdner Kollege aus der Obstzüchtung beschreibt auch Rebenexperte Reinhard Töpfer die Forschung an seinem Institut als gesellschaftliche Aufgabe: „Wir müssen sicherstellen, dass der Weinbau in Deutschland eine Zukunft hat und überlebensfähig bleibt.“ Sonst drohten wichtige deutsche Kulturlandschaften für immer zu verschwinden. Dabei setzen nicht nur Schadorganismen den Pflanzen zu, auch der Klimawandel bereitet ihnen Stress. Einige Obst- und Rebsorten blühen heute im Schnitt zwei Wochen früher als noch vor 20 Jahren. Die Folge im Frühjahr: Frostnächte führen zu Schäden und schlechter Ernte. Ein Ansatz bei der Züchtung ist es, den Blütezeitpunkt einer früh blühenden Sorte durch die

Kreuzung mit einer spät blühenden nach hinten zu verschieben und so Frostschäden zu vermeiden. Durch steigende Temperaturen und mildere Winter werden zudem neue Schädlinge in unseren Breiten heimisch. Bereits vorhandene wie die Schwarzfäule breiten sich leichter aus. Die traditionellen Rebsorten sind dagegen nicht gewappnet.

Ein neuer Star am Rebenhimmel

Insofern gelang den Züchtungsteams in der Pfalz jüngst ein echter Coup: Am 25. März 2020 ließ das Bundessortenamt ihre Sorte Calardis Blanc zu. Über 27 Jahre lang hatten die Teams aus der Pfalz sie entwickelt und optimiert – heute scheint sie wie ein Sechser im Lotto. Calardis Blanc ist resistent gegen Mehltaupilze, Schwarzfäule und eine ideale Sorte für den Weinanbau in Zeiten des Klimawandels: Die Reben treiben spät aus – das minimiert Frostschäden – und reifen spät. So bekommen die Trauben im Herbst noch genügend Sonne und zugleich schon kühlere Nächte ab: Die verlangsamten Säureabbau in den Reben und verleihen dem Wein eine begehrte Spritzigkeit. Zudem zeigen sich die Calardis Blanc-Trauben robust gegen Sonnenbrand und haben ein zartes und feinwürziges Aroma. Derzeit werden die Reben vermehrt und Institutsleiter Töpfer freut sich über eine lebhaftere Nachfra-

ge vonseiten der Winzer. Anschließend muss noch das Weinklientel den neuen Star entdecken – erst dann ist die Neuzüchtung wirklich ein Erfolg. Derzeit arbeitet das Institut an einer weiteren Züchtung. Eine neue Rebe, die dem hochgefährlichen Feuerbakterium *Xylella fastidiosa* trotzen soll, steckt in der Entwicklung. Vor zehn Jahren begann Töpfers Institut, eine Resistenz einzukreuzen, bis zur anbaureifen Sorte ist es aber noch ein weiter Weg. Den zeitaufwendigen Prozess, neue Merkmale aus Wildarten einzukreuzen, können sich nur staatlich geförderte Institute leisten, die keinen ökonomischen Zwängen unterliegen. Für private Betriebe würde sich dieser teure Prozess nicht rentieren. Henryk Flachowsky betont, dass dabei auch Geduld gefordert sei: „Ein oder zwei neue Sorten im Leben eines Züchters sind bereits ein Erfolg.“ Eine davon ist für ihn die Apfelsorte Joachim Gauck, gekreuzt aus Prima und Remo und benannt nach dem ehemaligen Bundespräsidenten. 2017 erhielt das Institut in Pillnitz für Joachim Gauck den Sortenschutz. Attraktiv, widerstandsfähig gegen Schorf und Feuerbrand, saftig und knackig im Abiss – so wird der Apfel im Sortenblatt angepriesen. Gärtnerinnen und Gärtner im Hobbybereich haben bereits angebissen: Joachim Gauck, made in Pillnitz, hält mittlerweile Einzug in die Haus- und Kleingärten.

Von Petra Krimphove

Mit einem speziellen Analysegerät werden unterschiedliche Eigenschaften der Äpfel erfasst: Es misst ihre Saftigkeit, ihr Gewicht, die Festigkeit sowie den Zucker- und Säuregehalt.



Fotos: Jan Windzus

Kiel

Welche Farbe hat die Kuh?

Rotbraun statt schwarz-weiß gefleckt: So sahen früher in Europa die meisten Kühe aus. Noch heute gibt es hier viele Rotviehrassen, jedoch verdrängen die in der Milchviehhaltung mittlerweile überwiegend genutzten schwarz-weiß gefleckten Holstein-Rinder diese immer stärker. Darum wurde Ende 2017 ein Forschungszusammenschluss mit 13 Partnern aus acht europäischen Ländern aktiv, darunter auch das Institut für Tierzucht und Tierhaltung der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Das gemeinsame Ziel: mit modernen Methoden die genetischen Ressourcen der Rotviehrassen erhalten und in der Züchtung besser ausschöpfen. Denn die Tiere stechen in vielerlei Hinsicht besonders hervor. Sie gelten als widerstands- und anpassungsfähig, haben häufiger gesunde Klauen und Euter und sind sehr fruchtbar. Um diese Eigenschaften zu erhalten, wurden in Forschungsprojekten neue Methoden und Konzepte entwickelt. Damit sollen die Beziehungen der Rassen zueinander, ihre individuellen Beiträge zur Gesamtdiversität sowie deren Wertschöpfungspotenzial besser erkannt werden. Zudem werden Zuchtstrategien entwickelt. Erfolge gibt es bereits: Anhand von insgesamt 418 Tieren aus 13 unterschiedlichen Rotviehrassen wurde deutlich, welche genetischen Sequenzen im Erbgut für die besonderen Stärken der Rinder verantwortlich sind. Mithilfe der genomischen Selektion (siehe Infografik, S. 14) kann man nun in der Züchtung schon sehr früh erkennen, ob der Nachwuchs diese Eigenschaften geerbt hat, und damit gezielt auf ausgewählte Jungtiere setzen. Zudem motivierten die Fachleute während des im vergangenen Jahr abgeschlossenen Projekts zahlreiche landwirtschaftliche Züchtungsbetriebe dazu, sich an der Erhaltung zu beteiligen, um die roten Kühe in die Zukunft Europas zu retten.

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Institut für Tierzucht und Tierhaltung
Olshausenstraße 40 | 24098 Kiel
www.tierzucht.uni-kiel.de

Großhansdorf

Pappel (m/w/d)

Männlich oder weiblich? Da legen sich die meisten Pflanzen nicht fest, sie sind zwittrig. Bei vielen Baumarten haben sich jedoch getrennte Geschlechter herausgebildet. Die weiblichen Pflanzen besitzen Fruchtblätter, die männlichen Staubblätter – so ist das auch bei Pappeln. Ein internationales Forschungsteam unter der Leitung des Thünen-Instituts hat nun herausgefunden, dass ein einzelnes Gen (ARR17) ausreicht, um das Geschlecht von Pappeln zu bestimmen. Die Forstgenetikerinnen und -genetiker schalteten es mithilfe neuer molekularer Methoden aus, um weibliche in männliche Pappeln umzuwandeln. Besonders an dem Ein-Gen-Mechanismus ist, dass die Geschlechtschromosomen der Pappeln ihre genetische Information nahezu frei austauschen – das erleichtert die Nutzung durch die Züchtung. Der Mechanismus könnte weiter verbreitet sein als angenommen und damit auch für andere getrenntgeschlechtliche Pflanzen wie Erdbeeren, Spinat oder Esche interessant sein.

Thünen-Institut für Forstgenetik
Sieker Landstraße 2
22927 Großhansdorf
www.thuenen.de

Eberswalde

Den Wald sturmfest machen

Wie häufig und stark Stürme auftreten, lässt sich nicht beeinflussen. Welche Schäden sie in Wäldern anrichten, kann jedoch abgeschätzt und durch geeignete Maßnahmen reduziert werden. Ein neues Modell der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde und des Thünen-Instituts hilft dabei, diejenigen Waldflächen früher zu erkennen, die besonders durch Stürme gefährdet sind. Das Team nutzt Fernerkundungsdaten von Flächen, auf denen der Wind bereits viele Bäume umgeworfen hat. Zudem verarbeiten sie geologische Daten über Bodenart, Wassergehalt, Waldstruktur und Windverhältnisse. Daraus leiten sie Prognosen ab, die sie Forstbetrieben in digitalen Karten und Handblättern zur Verfügung stellen. Das soll dabei helfen, Schäden in Zukunft schnell zu beseitigen und die gefährdeten Flächen langfristig sturmfest zu machen, indem dort beispielsweise mehr Laubbäume gepflanzt werden.

Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde
Schicklerstraße 5
16225 Eberswalde
www.hnee.de

Gießen

Wie Energie erblüht

Bioenergie wird häufig mit Maisfeldern in Monokultur in Verbindung gebracht. Es geht auch anders: Ein Team der Justus-Liebig-Universität Gießen entwickelt derzeit insektenfreundliche Blümmischungen, bestehend aus Sorghum-Hirse und weiteren Saaten. Sorghum-Hirse ist eine Energiepflanze, die gut mit Trockenheit zurechtkommt und resistent gegen viele Schädlinge ist. Die übrigen Blühpflanzen aus der Saatgutmischung locken Insekten an und sorgen dafür, dass die Hirse besser bestäubt wird. Sie fördern außerdem den Humusaufbau und schützen den Boden. Der Mischanbau kommt damit Landwirtschaft und Insekten zugute.

Justus-Liebig-Universität
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung I
Heinrich-Buff-Ring 26-32 | 35392 Gießen
www.uni-giessen.de

Quedlinburg

Bessere Bohnen

Den Nährwert von Sojabohnen verbessern – dieses Ziel verfolgen das deutsche Julius Kühn-Institut (JKI) gemeinsam mit dem uruguayischen Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA). Mithilfe von Genome Editing (siehe Infografik, S. 14) reduzieren die Forscherinnen und Forscher die Allergene im Soja und vergrößern die Samen. Sie führen gezielte Mutationen in den Genen herbei, die für diese beiden Eigenschaften verantwortlich sind. Zudem untersucht eine Arbeitsgruppe am JKI auch mögliche unbeabsichtigte Nebeneffekte des Genome Editing, um eventuelle Risiken dieser Technik künftig besser einschätzen zu können.

Julius Kühn-Institut | Institut für die Sicherheit biotechnologischer Verfahren bei Pflanzen
Erwin-Baur-Str. 27 | 06484 Quedlinburg
www.julius-kuehn.de



HERAUS- GEPICKT



Wirtschaftlich kommen alte Hühnerrassen nicht gegen moderne Hochleistungstiere an. Doch ihr Genpool kann für die Tierzucht wertvoll sein. Ein Forschungsteam setzt auf Kreuzung, damit die alten Rassen weiterhin genutzt werden – und ihre Vielfalt erhalten bleibt.

Es ist 3.000 Jahre her, dass das Haushuhn über den Handel aus Südostasien nach Europa kam. Wenn Professor Steffen Weigend davon erzählt, ist ihm die Begeisterung für die Tiere anzumerken. „Im Laufe der Zeit und durch den räumlichen Abstand voneinander hat sich bei Haushühnern eine enorme genetische Vielfalt entwickelt“, sagt er. „Die unterschiedlichen Rassen haben sich gut an die Lebensbedingungen ihrer Region angepasst und sind sehr robust.“

Am Friedrich-Loeffler-Institut für Nutztiergenetik in Mariensee (ING) leitet Weigend das Projekt „Regio-Huhn, Regionale Zweinutzungshühner für den Öko-Landbau“. Das Forschungsvorhaben wird vom Bundesprogramm für Ökologischen Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft, kurz BÖLN, gefördert. Auch die Universität Bonn, die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und die Fachberatung für Naturland sind beteiligt. Die Forscherinnen und Forscher widmen sich der Frage,

welche Rolle alte Hühnerassen in der heutigen Landwirtschaft spielen können – und wie sich dabei genetische Vielfalt erhalten lässt. Sechs alte vom Aussterben bedrohte Hühnerrassen wurden für das Projekt ausgewählt – 1.800 Tiere stehen für die Untersuchungen zur Verfügung. „Bei der Auswahl der Rassen war uns wichtig, dass sie ursprünglich in den verschiedenen Regionen der Bundesrepublik verbreitet waren“, sagt Weigend.

Die Ostfriesische Möwe und das Ramelsloher Huhn stammen aus dem Norden, das Bielefelder Kennhuhn und das Mechelner Huhn aus Mitteldeutschland, das Augsburgische Huhn und das Altsteirer Huhn aus dem Süden. Sie alle gelten als anspruchslos, robust und wetterhart.

„Wir wollen die alten Rassen durch Nutzung bewahren“, sagt Steffen Weigend. Die besten Überlebenschancen haben schließlich die Nutztierassen, deren Haltung sich auch wirtschaftlich lohnt. „Doch es ist kompliziert“, gibt er zu bedenken, „die alten Rassen leisten zu wenig.“

Dabei lieferten in Deutschland bis in die 1950er-Jahre hinein alle Hühner sowohl Eier als auch Fleisch. Warum ist die Haltung der alten Rassen nicht mehr rentabel? „Das Geflügel, das heute üblicherweise in der Landwirtschaft verwendet wird, ist spezialisiert“, erklärt der Wissenschaftler. „Entweder legt es Eier oder es wird für die Mast genutzt.“ Eine moderne Legehenne legt pro Jahr 330 Eier, während die Ostfriesische Möwe nur 170 Eier schafft. Auch moderne Masthähnchen sind auf dem Markt überlegen: Sie werden schon in der siebten Woche, also etwa doppelt so schnell wie die Tiere alter Rassen, schlachtreif. Nur 1,6 Kilogramm Futter genügen, um ein Kilogramm Fleisch zu produzieren. „Diese Leistungen sind das Ergebnis jahrzehntelanger Arbeit in Züchtungsbetrieben“, sagt Weigend. „Sie tragen zu einem sparsamen Umgang mit unseren Ressourcen bei und gewährleisten einen ausreichenden Verdienst für den Landwirt.“

Kein Wunder also, dass Landwirtinnen und Landwirte lieber mit Hochleistungstieren arbeiten als mit alten Hühnerrassen. Doch Letztere bieten einen wertvollen Genpool, aus dem Züchterinnen und Züchter auch in Zukunft schöpfen können. „Wir wissen nicht, was morgen ist“, sagt Weigend, „doch es ist gut möglich, dass alte Hühnerrassen aufgrund ihres Genoms besser mit klimatischen Veränderungen und neuen Krankheitsregenern klarkommen.“ So sind die Tiere eine Art Rückversicherung dafür, dass es auch in Zukunft

Hühner geben wird. Für Weigend und sein Team sind das Gründe genug, um aktiv zu werden.

Seit rund 30 Jahren arbeitet der Genetiker mit alten Hühnerrassen. Für ihn ist klar: „Es wird uns nur mithilfe eines Kniffs gelingen, eine aktuelle Nutzung der alten Hühnerrassen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten für den Landwirt zu erreichen: Wir kreuzen sie mit Hochleistungstieren.“ So begattet zum Beispiel ein Hahn der Ostfriesischen Möwe ein weibliches Elterntier von Hochleistungshennen, die zwei professionelle Züchtungsbetriebe zur Verfügung stellen. Die Bruteier für die alten Rassen erhielt das Projektteam dagegen von privaten Züchterinnen und Züchtern. Mit dem Projekt stehen Weigend und sein Team noch am Anfang. Zunächst werden sie die Ergebnisse der Kreuzungen überprüfen. Parallel werden Öko-Betriebe die Tiere unter Feldbedingungen testen. „Wir erfassen pro Hennengruppe die Anzahl gelegter Eier, messen ihre Größe und wiegen sie“, erläutert der Wissenschaftler. Weitere wichtige Parameter sind beispielsweise die Stabilität der Eierschalen und die Dotterfarbe.

Bei den männlichen Tieren wird untersucht, wie schnell sie Fleisch ansetzen. Nach der 14. und nach der 18. Woche wird ein Teil der Hähne der alten Rassen, und im zweiten Jahr der Kreuzungstiere, geschlachtet. „Uns interessiert: Wie hoch ist der Brustanteil? Wie viel Fleisch sitzt an den Schenkeln?“, sagt der Experte. „Wir möchten Gebrauchstiere züchten, die Öko-Betrieben ein ausreichendes Einkommen gewährleisten.“ Die Forscherinnen und Forscher planen, alle sechs alten Rassen mit modernen Hühnern zu kreuzen. Weigend geht

davon aus, dass die Nachkommen bestimmter Kombinationen zwar immer noch weniger Eier und Fleisch produzieren als die Hochleistungstiere, aber deutlich mehr als die alten Rassen. Außerdem hofft das Team, eine besondere Fleischqualität zu erzielen, die den Absatz fördert.

Die Kreuzung macht's

Paarungsversuche wie bei „Regio-Huhn“ hat Weigend schon im Rahmen anderer Projekte erfolgreich durchgeführt, um zu mehr Nachhaltigkeit in der Eier- und Geflügelproduktion beizutragen. Erst kürzlich hat er sich unter der Federführung der Georg-August-

Universität Göttingen in einem weiteren Projekt mit der Bresse Gauloise beschäftigt, einer alten Hühnerrasse aus der französischen Region Bresse.

Die Forscherinnen und Forscher kreuzten die Bresse Gauloise mit Hochleistungstieren und testeten darüber hinaus verschiedene Futtermischungen: „Wir haben untersucht, ob die Legeleistung dieser Tiere und ihrer Nachkommen beeinträchtigt wird, wenn sie heimische Ackerbohne anstelle von importiertem Soja bekommen, das zunehmend in die Kritik gerät“, erklärt der Wissenschaftler. Schließlich werden für den Anbau von Soja große Waldflächen zerstört, die sich vor allem in den Tropen befinden.

Auch das Sundheimer Huhn zählt zu den gefährdeten Haustierrassen.



„Es wird uns nur mit einem Kniff gelingen, zur Nutzung alter Hühnerrassen beizutragen: Wir kreuzen sie mit Hochleistungstieren.“

Steffen Weigend, Friedrich-Loeffler-Institut



Das Altsteirer Huhn gilt als ausgesprochen widerstandsfähig und wetterfest. Diese Rasse besitzt allerdings auch eine außergewöhnliche Flugkraft: Wer sie halten will, muss ihren Auslauf mit Bedacht wählen.

„Wir wissen nicht, was morgen ist. Es ist gut möglich, dass alte Hühnerrassen aufgrund ihres Genoms besser mit klimatischen Veränderungen und neuen Krankheitserregern klarkommen.“ Steffen Weigend

Doch die Ackerbohne enthält neben Stoffen wie Kohlenhydraten, Proteinen, Mineralstoffen und Vitaminen auch Vicin und Convicin – giftige Substanzen. Studien zum Anteil und zur Verträglichkeit der Ackerbohne im Hühnerfutter lieferten bisher kein eindeutiges Bild: Einige Forschungsprojekte ergaben, dass die Stoffe den Tieren schaden, im Rahmen anderer Versuche hingegen wurde die Ackerbohne problemlos verfüttert. „Unsere Annahme war, dass alte Hühnerrassen Vicin und Convicin besser vertragen, weil die Tiere allgemein robuster sind“, berichtet Weigend, „doch wir stellten auch bei unseren Elterntieren moderner Legehennen sowie unseren Kreuzungs-Nachkommen so gut wie keine Beeinträchtigungen fest, wenn wir Ackerbohne verfütterten.“ Auch im Praxistest kamen die beteiligten Betriebe zu diesem Ergebnis. Nicht nur Hühnern schmeckt regionale Kost: „Wenn Sie die Bresse Gauloise regionaltypisch zubereiten, also bei 80 bis 120 Grad im Backofen einige Stunden lang durchgaren lassen, erhalten Sie eine

Delikatesse“, schwärmt der Wissenschaftler. „Auch das ist wichtig: Die Nutzung der alten Rassen fällt mit dem Erhalt regionaler Esskultur zusammen und schafft Identität.“

Die Brüder wachsen lassen

Mit dem Projekt will das Team auch dazu beitragen, ein ethisches Problem zu lösen: das Töten der männlichen Küken von Hühner-Lege-Linien. Die Brüder der Hennen aus spezialisierten Legelinien werden in der Regel kurz nach dem Schlüpfen getötet, weil sie keine Eier legen und ihre Mast aufgrund des geringeren Fleischansatzes und längerer Mastdauer wenig ökonomisch und nachhaltig ist. „Unsere Züchtungen hingegen werden als sogenannte Zweinutzungshühner verwendbar sein“, erläutert Weigend. „Denn sie eignen sich für die Eier- und für die Fleischproduktion.“ Wer diese Hühner hält, kann also auch die männlichen Küken heranwachsen lassen.

Das klingt gut, doch ob die Nachkommen aus den aktuellen Paa-

rungsversuchen tatsächlich für den Vertrieb auf Wochenmärkten und in Bio-Hofläden geeignet sind, müssen ausgewählte Betriebe ermitteln. „Unser Projektpartner Naturland stellt Kontakte zu rund zehn Höfen her“, sagt Professor Weigend. Er hofft, dass die Eier und das Fleisch in der definierten Marktnische punkten können: Ihr Konsum würde dazu beitragen, die biologische Vielfalt zu erhalten. Eventuell können die neuen Züchtungen auch nachhaltiger – mit der heimischen Ackerbohne – ernährt werden. Ein Teil der Verbraucherinnen und Verbraucher ist bereit, mehr Geld für regionale Lebensmittel zu bezahlen, gerade wenn sie dadurch auch Biodiversität fördern. Sollte sich die Kreuzung aus Hochleistung und Historie auf dem Markt tatsächlich durchsetzen, könnte es sich also auch finanziell lohnen, alte Hühnerrassen zu halten – und damit einen wichtigen Genpool für künftige Züchtungen zu bewahren.

Von Stephanie Eichler

DIE FORSCHUNGSFRAGE

Wie werden alte Gemüsesorten wieder salonfähig?

Im Projekt „ZenPGR“ machen Forscherinnen und Forscher vergessene Gemüsesorten wieder fit für den Anbau. Worauf es dabei ankommt, verrät Annika Grabau.

Frau Grabau, was haben die Bunte Forelle und der Englische Säbel mit Gemüse zu tun? Das sind alte Gemüsesorten. Wobei wir das Wort „alt“ nicht so gern verwenden. Es erweckt in Bezug auf Gemüse keinen allzu frischen Eindruck – und eigentlich geht es auch eher um vergessene oder historische Gemüsesorten. Dafür sind der Blattsalat Bunte Forelle oder die Zuckerbse Englischer Säbel sehr schmackhafte Beispiele, mit denen wir die Vielfalt im Gemüseerregal erhöhen möchten. Auf die Weise erhalten wir nicht nur Formen, Farben und Geschmäcker, sondern auch wertvolle genetische Informationen für künftige widerstandsfähige Sorten.

Wie wecken Sie diese Sorten aus dem Dornröschenschlaf?

Wir nutzen historisches Saatgut, das eingefroren in Genbanken lagert. Diese pflanzengenetischen Ressourcen wieder nutzbar zu machen und vergessene Gemüsesorten mittelfristig im Bio-Lebensmitteleinzelhandel zu platzieren, ist das Ziel unseres Projekts „ZenPGR“, das seit 2017 vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft gefördert wird. Insgesamt haben wir 120 Muster historischer Sorten gesichtet, allein 60 im vergangenen Jahr. Davon waren 20 geeignet, um sie auszusäen und weiter zu erforschen.

Welche Schritte sind dafür notwendig?

Vom Saatgut bis zum Gemüseerregal ist es ein langer Weg. Bei der Auswahl des geeigneten Saatguts orientieren wir uns an der Roten Liste der gefährdeten einheimischen Nutzpflanzen in Deutschland. Im Rahmen der Erhaltungszüchtung

schauen wir dann, wie sich das jeweilige Saatgut im Anbau verhält. Wir starten den natürlichen Kreislauf aus Anbau, Ernte und Samenbildung neu – mithilfe des Saatgut-Erhalter-Netzwerks-Ost aus Anbau- und Samenbaubetrieben sowie dem Bundessortenamt, der Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde (HNEE) und dem Verein zur Erhaltung und Rekultivierung von Nutzpflanzen (VERN). Grundsätzlich arbeiten wir nur mit Sorten weiter, die sich im Anbau bewähren. Das schließt die lokalen Bodengegebenheiten, den Schädlingsbefall und die Witterung mit ein. Bis wir aber eine Aussage treffen können, ob sich eine Gemüsesorte für ein Comeback eignet, können Jahre vergehen.

Wie läuft der Vertrieb des wiederentdeckten Gemüses?

Viele historische Sorten lassen sich nicht so einfach in bestehende Abläufe integrieren. Einige Bohnen- und Erbsensorten etwa werden nur nach und nach reif, so dass man mehrmals ernten müsste. Das passt nicht in das enge Konzept vieler größerer Betriebe. Kleinere Betriebe haben meist mehr Interesse an solchen Nischenprodukten. Mit ihnen arbeiten wir zusammen und setzen auf Direktvermarktung – so ist die Zuckerbse Englischer Säbel zum Beispiel in Hofläden wie der Domäne Dahlem in Berlin erhältlich.

Welche Rolle spielen dabei die Erwartungen der Verbraucherinnen und Verbraucher?

Eine sehr große. Schließlich möchten wir ihr Interesse für die neuen Gemüsesorten wecken. Aus Studien wissen wir, dass

ihnen der Geschmack, eine besondere Form – zum Beispiel kugelige Gurken – und eine überraschende Farbe besonders wichtig sind.

Wie können wir alle mithelfen, die Gemüsevielfalt zu sichern?

Eine einfache Möglichkeit ist der Anbau vergessener Sorten im eigenen Garten. Das Saatgut erhält man bei verschiedenen Stellen – zum Beispiel bei unserem Projektpartner VERN. Wer keinen Garten hat, kann sein Gemüse auf dem Wochenmarkt oder in Hofläden kaufen und so kleinere Anbaubetriebe unterstützen.



Annika Grabau arbeitet als wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Humboldt-Universität zu Berlin im Forschungsprojekt „ZenPGR“.

Das Gespräch führte Martin Sattler.

Illustration: Sarah Heiß



Foto: Roseanna Smith/Unsplash.com

Schwere Kost

Wer sich gesund ernähren will, hat heutzutage die volle Auswahl. Doch bei der Vielzahl an Trends und Angeboten ist es nicht einfach, den Überblick zu bewahren. In der nächsten Ausgabe der forschungsfelder lesen Sie, wie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler gesunde Ernährung einfacher machen: zum Beispiel, indem sie Modelle zur erweiterten Nährwertkennzeichnung bewerten oder an Lebensmitteln mit weniger Zucker forschen.

Impressum

forschungsfelder

Das Magazin wird herausgegeben vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL).

Fachliche Betreuung, Steuerung: BMEL-Referat MK2, Öffentlichkeitsarbeit V. i. S. d. P.: Dr. Michaela Nürnberg, Dorothea Schildt
Konzept, Redaktion, Gestaltung: neues handeln AG
Alexandra Resch (Ltg.), Nannette Rimmel, Sabrina Strecker, Laura Theuer, Angela Matern (AD), Christian Jung, Charlotte Matern
Bildredaktion: Studio Stauss, Berlin

Fotos und Illustrationen, wenn nicht anders angegeben: Titel und Rücktitel: Rob Kessler; Seite 14/15 (Infografik): al-iva, Alex_Murphy, icon Stocker, notbad, Olzas, Vectorplace, yougifted/Shutterstock.com; Seite 18/19 (Landkarte): Juliann, Ksenia Shu, Nsit, romawka, GoodStudio, judyjump, Rvector, ArtDemidova, miniwide, SpicyTruffel/Shutterstock.com; Seite 26/27 (Forschungslandschaft): Lemberg Vector studio, kuroksta, Doloves, MicroOne, Maxim Cherednichenko, Val_Zar/Shutterstock.com;
Litho: Twentyfour Seven, Berlin
Druck: Prinovis GmbH & Co. KG, Dresden

Wenn Sie dieses Magazin bestellen möchten:
Bestell-Nr.: BMEL20051
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Telefon: 030 18 272-27 21
Fax: 030 1810 272-27 21
Schriftlich: Publikationsversand der Bundesregierung, Postfach 48 10 09, 18132 Rostock
Printed in Germany



Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

