

# Geneditierung in der Pflanzenzüchtung

VON DETLEF WEIGEL UND PATRICIA LANG, TÜBINGEN

*Neue Gene Editing-Verfahren wie CRISPR/Cas rütteln an den Definitionen für genetisch modifizierte Pflanzen. Welchen züchterischen Nutzen haben diese Verfahren und welches Regelwerk soll für geneditierte Pflanzen gelten?*

Zucht ist etwa so alt wie die Sesshaftigkeit. Diese veränderte die Lebensweise der Menschheit drastisch, denn sie schränkte das Nahrungsangebot auf das ein, was in erreichbarer Nähe war. Gleichzeitig ermöglichte die Sesshaftigkeit aber auch längerfristige Planung, und damit den bewussten Anbau von Pflanzen zum Verzehr. Seit etwa 12.000 Jahren züchten wir, ursprünglich jedoch noch recht ungezielt (*Nature* 457, 843-48). Im Lauf der Zeit haben sich unsere Methoden verbessert, die Züchtung ist effizienter und erfolgreicher geworden. Statt einfach die auf natürlichem Weg entste-

henden, besseren Individuen per Augenmaß zu selektieren, oder „nur“ zu kreuzen, hilft heute auch die Kenntnis der genetischen Grundlagen auf dem Weg zur optimalen Nutzpflanze.

Die neueste Erweiterung des Methodenspektrums der Züchter ist die sogenannte Geneditierung (Gene Editing). Das ist die gezielte Veränderung der Erbanlagen mittels molekularbiologischer Methoden – und damit ein Problem für viele, denn es ist unklar, was genau die daraus resultierenden Pflanzen sind und wie sie behandelt werden sollen. Gene-

tisch modifizierte Organismen, kurz GMO, wie es dem Gesetz nach auch durch Chemikalien oder Röntgenstrahlen mutagenisierte Pflanzen sind?

Nach dieser Definition sind GMO Lebewesen, deren „genetisches Material in einer Weise verändert worden ist, wie sie unter natürlichen Bedingungen durch Kreuzen oder natürliche Rekombination nicht vorkommt“ (GenTG § 3). Je nach dem, wen man gerade fragt, sind die editierten Pflanzen entweder inbegriffen in dieser Beschreibung, oder eben nicht. Und sind die Möglichkeiten, die die Editierung bietet,



Illustr.: iStock / Akindo

den hitzigen Diskurs um die Identität der Pflanzen überhaupt wert?

Beinahe seit es die neuen Zuchtmethoden gibt, die *New Breeding Techniques* (NBT), besteht auch die Debatte über ihre Identität – GMO ja oder nein? – und beschäftigt selbst eine gesonderte Arbeitsgruppe der Europäischen Kommission ([https://ec.europa.eu/food/plant/gmo/legislation/plant\\_breeding\\_en](https://ec.europa.eu/food/plant/gmo/legislation/plant_breeding_en)). Die lautstarke Mehrheit der Bevölkerung steht den NBTs skeptisch gegenüber. Es ist durchaus nachvollziehbar, dass Neuerungen, vor allem wenn sie sich auf unbekanntes (genetisches) Terrain vorwagen, erst einmal Misstrauen entgegen schlägt. Besonders, wenn es um Nahrungsmittel geht, die wir unserem Körper zuführen.

Zusätzlich sieht es auf den ersten Blick nicht so aus, als bestünde Bedarf nach besseren

---

### »Und sind die Möglichkeiten, die die Editierung bietet, den hitzigen Diskurs um die Identität der Pflanzen überhaupt wert?«

---

Zuchtmethoden. Schließlich hat es die konventionelle Züchtung ohne Geneditierung geschafft, aus unscheinbaren, wilden Pflanzen sehr leistungsfähige Kulturpflanzen zu machen. Ein eindrucksvolles Beispiel sind moderne Maissorten, deren Körner fünfzehnmal mehr wiegen als die ihrer wilden Vorfahren (*Evolution Letters* 1-2: 64-72). Oder Brotweizen – er stammt von Wildgräsern ab, die nur im Entferntesten an heutige Getreidesorten erinnern. All diese Veränderungen wurden mit Hilfe einfachster Methoden erreicht. Erst durch zufällige, dann gezielte Auswahl der besten Pflanzen, und mittels Kreuzung, um vorteilhafte Eigenschaften in Zuchtlinien zu vereinen. Zusammen mit der Technologisierung der Landwirtschaft, Düngung und Vergrößerung der Ackerflächen waren diese Methoden der Züchtung jahrelang für Ertragssteigerungen verantwortlich.

Allerdings wächst die Weltbevölkerung und damit der Bedarf an Nahrungsmitteln immer weiter, während sich die verfügbare Anbaufläche stetig verkleinert. Gleichzeitig stellen Klimawandel und Globalisierung die Züchter vor neue Herausforderungen, die über einfache Ertragssteigerung weit hinausreichen. In vielen Gegenden der Erde werden die Wachstumsbedingungen immer extremer. Hierdurch, sowie aufgrund weltweiter Mobilität, sind Krankheitserreger zu einer noch größeren Bedrohung für die Ernteerträge geworden, als sie es ohnehin schon immer waren. Krankheitsresistenzen sind deshalb gefragte Zuchteigenschaften.

Viele Pflanzenfamilien, vor allem weltweit verbreitete, weisen oft schon Anpassungen an unterschiedliche Klimaverhältnisse auf. Je größer ihre genetische Diversität, desto flexibler ist eine Art auch im Hinblick auf die Anpassung an neue Lebensumstände – das könnten Züchter jetzt eigentlich nutzen, um ihre Sorten Klimawandel-tauglich zu machen. Was aber an genetischem Reichtum in naturbelassenen, „alten“ Arten seit jeher vorhanden ist, haben moderne Kulturpflanzen durch den züchterischen Fokus auf einige wenige erfolgreiche Sorten zu einem Großteil verloren.

Das ist nicht nur um der Vielfalt selbst willen tragisch, sondern auch ein Verlust für die Zucht. Eine genetische Einöde, die nun zum Verhängnis werden könnte. Züchter müssen heute nicht nur weiterhin die Erträge steigern, sondern ihre Sorten auch noch an Klimaveränderung anpassen, ihnen Resistenzen gegen neue Krankheiten vermitteln – und bei all dem darauf achten, dass die genetische Diversität ihrer Sorten nicht zu gering wird. Keine leichte Aufgabe. Die NBTs und Geneditierung könnten dabei helfen, all diese Anforderungen zu erfüllen.

Was aber leisten die neuen Methoden eigentlich? Das Grundprinzip ist, dass man mit ihrer Hilfe ganz gezielt einzelne Gene verändern kann. Am einfachsten geschieht dies durch zielgerichtetes Einführen einer Mutation, zum Beispiel mit dem bakteriellen „Genschere“-System CRISPR/Cas. Abhängig von der Vorgehensweise hinterlässt der Prozess, abgesehen von der Mutation, minimale bis keine zusätzlichen Spuren. Bemerkenswert daran ist auch, dass gerade in Pflanzen das Ausschalten eines Gens interessante Eigenschaften erzeugen kann. Zum Beispiel beim Duftreis, für dessen angenehmen Geruch Mutationen in einem Dehydrogenase-Gen verantwortlich sind, die auch schon von Wissenschaftlern mittels Geneditierung in andere Sorten übertragen wurden (*Plant Biotechnology Journal* 13: 791-800). Gene so gezielt zu verändern, ist um ein Vielfaches effizienter, als Pflanzen zu kreuzen und tausende davon nach den erhofften „richtigen“ genetischen Mutationen und Rekombinationen zu durchsuchen. Das gilt vor allem jetzt, im Zeitalter der Genomik, in dem die Erbanlagen von immer mehr Arten entschlüsselt werden und das Wissen um die Aufgaben und Wirkweisen einzelner Gene exponentiell wächst.

CRISPR und Co. können zudem dabei helfen, die genetische Vielfalt zurückzuerlangen. Das scheint zunächst kontraintuitiv, aber es gibt dafür eine gute Erklärung. Wie erwähnt fehlt den genetisch verarmten Zuchtsorten zumeist der Variantenreichtum ihrer ursprünglichen Verwandten. Gene, die zwischenzeitlich obsolete, aktuell aber hoch relevante Eigen-

schaften wie Temperaturtoleranz kodieren und im Lauf der auf Ertrag fokussierten Züchtung verloren gegangen sind, können mittels Geneditierung einfach wieder eingefügt werden. So wird der mühselige und zeitaufwendige Kreuzungsschritt umgangen. Zumal bei diesem mit hoher Wahrscheinlichkeit andere wichtige Eigenschaften der Zuchtsorte verloren gehen würden, die dann wiederum mühevoll zurück eingekreuzt werden müssten. Ganz im Gegensatz zur Angst vieler Umweltaktivisten, die mit dem Verlust natürlicher Biodiversität gegen gezielte Genveränderung argumentieren, kann so durch Gene Editing alter Variantenreichtum einfach in heutige Sorten übertragen, gewahrt und wiederbelebt werden (*Trends in Plant Science* 20: 155-64).

Natürlich können mit Geneditierung auch fremde Gene übertragen werden. Da Editierung so effizient ist, kann man diese schnell und einfach nicht nur in eine, sondern in eine Reihe verwandter Sorten einsetzen und ihre Wirkung in verschiedenen genetischen Hintergründen untersuchen. Oft hängt der nutzbringende Effekt einzelner Gene nämlich sehr stark von den genetischen Rahmenbedingungen ab und geht aus dem Zusammenhang gerissen teilweise oder komplett verloren. Können solche Fälle effizienter identifiziert werden, hält das die Investitionen niedrig und hilft den Züchtern, sich auf eigenständig agierende Gene zu konzentrieren.

Und doch, trotz all dieser Vorteile und Verheißungen haben die editierten Pflanzen in den meisten Ländern noch nicht den Weg auf die Äcker, geschweige denn auf die Teller

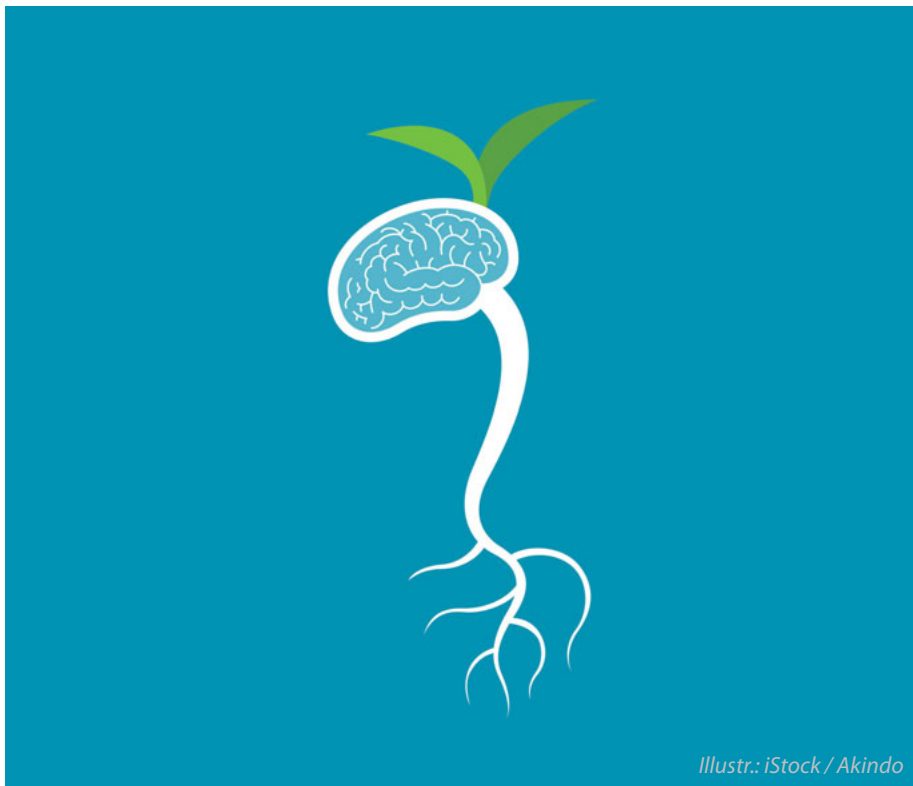
---

### »CRISPR und Co. können zudem dabei helfen, die genetische Vielfalt zurückzuerlangen«

---

gefunden. Das zugrunde liegende Argument ist fast immer das gleiche: Die Angst vor menschlichen Eingriffen in die Erbanlagen von Lebensmitteln, vor einem Verlust der Natürlichkeit.

Dass eine durch Geneditierung entstandene Pflanze weniger natürlich ist als eine konventionell gezüchtete, ist allerdings konzeptionell nicht ganz eindeutig. Um neue Varianten zu erzeugen, werden in der traditionellen Züchtung ungezielt Mutationen in großen Populationen induziert. Das geschieht mit Hilfe von UV-Strahlung oder durch Chemikalien wie EMS (Ethylmethansulfonat), die über das gesamte Genom verteilt zufällige Punktmutationen hervorrufen. Beide Methoden sind zwar per gesetzlicher Definition genmodifizierend, aber trotzdem von den Regelungen des



Illustr.: iStock / Akindo

Gentechnikgesetzes ausgenommen. Das heißt, die mutierten Pflanzen können angepflanzt und verkauft werden, sie gelten als „natürlich“. Aber sind sie tatsächlich natürlicher als Pflanzen, die gezielt in einem einzelnen Gen verändert wurden?

Pro Anwendung und Pflanze verursacht EMS etwa hunderte oder sogar tausende Mutationen. Gene Editing dagegen nur eine einzige. Zum Vergleich: In natürlichen Populationen entsteht in einer Pflanze in jeder

*» Essentiell ist darüber hinaus, dass der Nutzen und Gewinn, den editierte Pflanzen mit sich bringen, angemessen und gerecht verteilt wird.«*

Generation selbst spontan rund eine neue Mutation pro 100 Mb Erbgut – das wären bei einer Pflanze wie dem Weizen deutlich über 100 neue Mutationen (*Science* 327:92-4)! Ist also Geneditierung die natürliche, weniger invasive Methode? Kann man EMS-mutierte Pflanzen denn mit den gezüchteten Pflanzen der neuen Generation vergleichen? Bleibt man beim Vergleich der Endprodukte verschiedener Züchtungsvorgänge, ist selbst die Kreuzung zweier Linien – die auch in der Natur vorkommt – invasiver als Geneditierung. Schließlich werden hier ganze Genome miteinander vermischt. Nutzt man das Kriterium „Natürlichkeit“

also objektiv und ergebnisorientiert, sind geneditierte Pflanzen natürlicher als alles, was wir auf den Feldern und unseren Tellern haben.

Aber: Ist es sinnvoll, Pflanzen nur anhand des Endprodukts zu beurteilen und zu regulieren, anstatt auch den Herstellungsvorgang mit einzubeziehen? Die Diskussion um geneditierte Pflanzen sollte nicht erst bei der Frage der Natürlichkeit beginnen, sondern bereits die zugrundeliegende Technologie hinterfragen: Auch wenn sich die geneditierten Pflanzen letztlich kaum von ihren natürlichen Verwandten unterscheiden, sollte ihr Entstehungsprozess in eine Evaluierung mit einbezogen werden. Das heißt nicht, dass sie dadurch umstandslos unter das Gentechnikgesetz fallen und verboten werden sollten. Schließlich sind die editierten Pflanzen ja, wie oben beschrieben, rein objektiv betrachtet näher an der Natur als EMS-Pflanzen und nicht transgen. Deshalb wäre es naheliegend, für geneditierte und EMS-mutagenisierte Pflanzen das gleiche Regelwerk anzuwenden. Zusätzlich sollten die Pflanzen hinsichtlich ihrer genetischen Veränderung gekennzeichnet werden, um festzuhalten welche Art genetischer Veränderung zu welchem Zweck vorgenommen wurde. Etwa, dass ein Tomaten-Gen für besseren Geschmack in eine andere Tomatensorte eingesetzt wurde, die selbst bereits hinsichtlich ihrer Lagerfähigkeit und ihres Ertrags stark optimiert war. Essentiell ist darüber hinaus, dass der Nutzen und Gewinn, den editierte Pflanzen mit sich bringen, angemessen und gerecht verteilt wird. Und sich nicht, entgegen der im Nagoya-Pro-

tokoll festgelegten Richtlinien, einige wenige (zum Schaden anderer) am Erfolg der Pflanzen bereichern ([www.cbd.int/abs/](http://www.cbd.int/abs/)).

Alles in allem sind die neuen Züchtungsmethoden vielversprechend und könnten das Leben von Züchtern (und letztlich Konsumenten) erheblich vereinfachen und verbessern. Noch werden sie aber beinahe ausschließlich zu Forschungszwecken eingesetzt, und das wird wohl auch noch eine Weile so bleiben. Denn zumindest in Europa resignieren Züchter und fokussieren sich auf herkömmliche Methoden, da Regulierungen und der heutige Markt den gezielt veränderten Pflanzen keine Chance geben.

Mit den richtigen Regeln, und vor allem erfolgreicher Aufklärung der Bevölkerung und damit derer, die den Markt bestimmen, könnten aber die Editierungs-Methoden helfen, die anstehenden Herausforderungen schneller und effizienter anzugehen und zu meistern. Über 100 Nobelpreisträger und mehr als 12.000 Unterstützer weltweit haben letztes Jahr eine Petition unterschrieben, um aufzuklären und Greenpeace von ihrem radikalen Anti-GM-Kurs abzubringen (<http://supportprecisionagriculture.org/>).

Aber selbst wenn sich Organisationen wie Greenpeace von der Ungefährlichkeit und dem Potenzial der neuen Methoden überzeugen lassen – abgeschafft wird die Kreuzung dadurch sicherlich nicht. Schließlich hat traditionelle Züchtung bereits Enormes geleistet. Zudem wissen wir über das Erbgut der meisten Kulturpflanzen noch viel zu wenig, um komplett auf gezielte Geneditierung umzuschwenken. Die Chancen liegen also vor allem in der Kombination traditioneller und neuer Methoden – wenn sie denn wahrgenommen werden.

## Zu den Autoren

**Detlef Weigel** ist seit 2001 Direktor und Wissenschaftliches Mitglied am Max-Planck-Institut für Entwicklungsbiologie in Tübingen.

**Patricia Lang** schloss kürzlich ihre Doktorarbeit in Detlef Weigels Gruppe ab und erforscht als Postdoc in der Gruppe von Hernan Burbano genetische Veränderungen als Folge des Klimawandels in Frühblühern.