

© Schwerpunkt »Welt im Fieber – Klima & Wandel«

Mit den neuen Gentechnikverfahren dem Klimawandel trotzen?

von Katharina Kawall

Der Klimawandel stellt die Menschheit vor große, zum Teil noch unabsehbare Probleme. Eine der ersten Betroffenen ist die Landwirtschaft, denn Wetterextreme häufen sich. Es ist nur verständlich, dass mit allen Mitteln versucht wird, landwirtschaftlich relevante Kulturpflanzen an die neuen klimatischen Bedingungen anzupassen. Ein verlockender Ansatz dafür kommt aus der Gentechnikforschung. Mit den neuen Gentechnikverfahren wird die Hoffnung geweckt, in kurzer Zeit Pflanzen so zu verändern, dass sie resistenter gegenüber Hitze, Trockenheit, Salze im Boden und Krankheits-erregern werden sollen. Solche Eigenschaften werden aber durch eine Vielzahl an Vorgängen in den Pflanzen und ihren Zellen reguliert und sind mitunter noch gar nicht vollständig verstanden. Dieser Beitrag gibt einen Überblick, wie Pflanzen auf den Klimawandel reagieren und wie komplex die Zusammenhänge sind. Zudem wird aufgezeigt, woran Wissenschaftler mit den neuen Gentechnikverfahren in den letzten Jahren geforscht haben, um stresstolerante Pflanzen herzustellen.

In den letzten Jahren wurde vermehrt von langanhaltenden Trockenperioden, Überschwemmungen und einem erhöhten Schädlingsdruck berichtet. Die Wetterextreme werden häufiger, die Weltbevölkerung wächst stetig an. Der Klimawandel ist in vollem Gange und neben Reduktionsstrategien muss die Landwirtschaft Anpassungsstrategien entwickeln. Die Probleme, die der Klimawandel für die Landwirtschaft hervorbringt, sind zahlreich.¹ So kommt es z. B. zur Verfrühung der Vegetationsperiode: Obstbäume, Sträucher oder Wein blühen früher und können dann Frühjahresfrösten ausgesetzt werden. Mildere Winter mit weniger Frosttagen führen dazu, dass pflanzen-schädigende Viren, Pilze und Insekten nicht absterben und sich stärker ausbreiten können. Außerdem kommt es zunehmend zu extremen Wetterereignissen wie lange Hitze- und Trockenheitsperioden, v. a. in den Wachstumsperioden, oder zu Überschwemmungen, oft in solchen Mengen und in so kurzer Zeit, dass das Wasser nicht vom Boden aufgenommen werden kann.

Die Antworten der Pflanzen darauf sind komplex, denn es sind viele verschiedene Komponenten (einschließlich Gene, regulatorischer Einheiten wie RNAs oder epigenetische Marker) an der Reaktion von Pflanzen auf Stress beteiligt. Um auf die jeweilige Stresssituation zu reagieren, werden in den verschiedenen Entwicklungsstadien (Samen, Keimung, Län-

genwachstum, etc.) der Pflanzen bestimmte Stress-Gene in den verschiedenen Teilen (Wurzel, Stängel, Blätter, Blüte) koordiniert an- oder abgeschaltet. Oft treten verschiedene Stressbedingungen auch in Kombination auf, was die Regulierung der Stressantwort der Pflanzen noch komplexer werden lässt.

Stress für Pflanzen ...

Grundsätzlich wird zwischen abiotischen und *biotischen Stressfaktoren* unterschieden: Abiotische Stressfaktoren bezeichnen den Einfluss der nicht-lebenden Umwelt auf die Pflanzen, also vor allem Trockenheit, Hitze, Frost, salzhaltige Böden und Nährstoffmangel. Bei Hitze überschreitet die Temperatur der Luft und des Bodens einen Grenzwert, der von Pflanze zu Pflanze unterschiedlich ist. Ist dieser für eine gewisse Zeit überschritten, beeinflusst dies das Wachstum und die Entwicklung von Pflanzen. Es kann zu einer weniger ertragreicheren Ernte aufgrund von weniger Massebildung kommen. Bei Trockenheit ist die Feuchtigkeit des Bodens und der Luft gering und die Umgebungstemperatur hoch. So kommt es in Pflanzen zu einem Ungleichgewicht zwischen der Verdunstung von Wasser und der Wasseraufnahme aus dem Boden. In den meisten Fällen geht Hitzestress auch mit Trockenheitsstress einher. Pflanzen können als Reaktion auf

eine langanhaltende Trockenheit z. B. ihr Wurzelwachstum verstärken. Denn je trockener es ist, umso größer und tiefer sollte das Wurzelwerk wachsen, um möglichst viel Wasser aus den tieferen Schichten aufnehmen zu können. Tieferes Wurzelwachstum verbraucht allerdings Energie, die die Pflanzen eigentlich an anderer Stelle zum Wachsen benötigen. Daher kommt es bspw. zu Einbußen bei den Ernteerträgen oder Frühreife, das Wachstum wird frühzeitig gebremst, die Qualität leidet, die Körner fallen kleiner aus.

Mit *biotischen Stressfaktoren* sind alle Einflüsse, die von lebenden Organismen ausgehen, gemeint. Biotische Stressfaktoren sind also die Wechselwirkung zwischen Lebewesen, wie z. B. ein Befall der Pflanzen durch Viren, Bakterien, Pilze und Insekten. Pflanzen müssen schnell wahrnehmen, dass sie mit Krankheitserregern infiziert oder von Schädlingen/Fressfeinden verletzt werden, um mit entsprechenden Abwehrmechanismen darauf reagieren zu können. Dabei müssen individuelle Zellen der Pflanze den Schaden wahrnehmen und die gesamte Pflanze (und andere Pflanzen) mit der Produktion von Signalmolekülen alarmieren. Dadurch werden Mechanismen in Gang gesetzt, die eine Abwehr gegenüber Fressfeinden ankurbelt und so z. B. Prädatoren (andere Insekten oder Parasiten) anlockt, welche ihrerseits die Schädlinge befallen. Außerdem wird durch verschiedene Gene der Heilungsprozess der verletzten Gewebe angeschaltet.

... und deren Antworten

Vor allem pflanzliche Phytohormone und deren nachgeschaltete Gene sind an der Stressantwort von Pflanzen beteiligt. Hier sollen die neuen Gentechnikverfahren, wie die sog. »Genschere«² CRISPR/Cas, eingesetzt werden. Sie sollen Gene, die an der Reaktion der Pflanze auf bestimmte Stressbedingungen beteiligt sind, so verändern, dass Pflanzen besser mit dem Stress umgehen können, und um stresstolerantere Sorten zu erzeugen. Damit will die Pflanzenzucht schneller auf die Herausforderungen der Landwirtschaft und auf die sich verändernden Umweltbedingungen im Zuge der Klimakrise reagieren.

Die Antworten von Pflanzen auf Stress sind jedoch sehr komplex: Viele zelluläre Komponenten sind daran beteiligt, sodass in vielen Fällen noch gar nicht vollständig klar ist, welche Gene genau was in der Pflanze bewirken. Eine vielfältige Gruppe von Signalmolekülen, die als Informationsüberträger zwischen

Tab. 1: Überblick über wichtige Prozesse, die von Phytohormonen in den Pflanzen reguliert werden

Phytohormone	Regulierte Prozesse
Auxine	– Streckungswachstum (Spross und Wurzel) – Zellteilung – Bewegungen zum Licht
Gibberelline	– Keimung durch Speicherstoffmobilisierung des Samens – Fruchtwachstum
Cytokinine	– Zellteilung – Streckungswachstum – Verzögerung des Alterungsprozesses
Absciscinsäure	– Bildung der Säure als Reaktion auf biotischen und abiotischen Stress (Trockenheit, Hitze, Salzstress, Kälte, Infektion mit pflanzlichen Krankheitserregern) – Hemmung des Stoffwechsels und des Wachstums
Jasmonsäure	– Reaktion auf Fressfeinde, Krankheitserreger
Brassinosteroide	– Förderung des Sprosswachstums – Hemmung des Wurzelwachstums – Stressreaktionen auf Krankheitserreger und abiotische Faktoren (z. B. Kälte)
Ethylen (Pheromon)	– Förderung der Fruchtreife – Hemmung der Blütenbildung – Hemmung des Längenwachstums – Reaktion auf Fressfeinde, Krankheitserreger

den Geweben von Pflanzen und auch zwischen verschiedenen Pflanzen dienen und an der Regulation der pflanzlichen Stressreaktion beteiligt sind, sind Phytohormone.

Vor allem die pflanzlichen Phytohormone Absciscinsäure, Jasmonsäure, Ethylen und Brassinosteroide sind daran beteiligt, bestimmte »Stress-Gene« als Reaktion der Pflanze auf abiotischen und biotischen Stress zu bilden. Die verschiedenen Phytohormone haben häufig überlappende Funktionen und regulieren sich in ihrer Bildung und Wirkung oft gegenseitig. Sie stehen also im ständigen Zusammenspiel, unter anderem auch, um schnell auf sich ändernde Bedingungen der Umwelt reagieren zu können. Ethylen, ein flüchtiges Phytohormon, wird beispielsweise häufig bei einer Stressreaktion auf Herbivoren (Pflanzenschädlinge), einer Verletzung oder einer Infektion mit Pathogenen (Bakterien oder Pilze, die ihrem Wirt Schaden zufügen können) freigesetzt. Ethylen bewirkt eine Änderung der Genexpression (das Ablesen von Genen), damit die Pflanze auf die Stressbedingungen schnell reagieren kann und andere Pflanzen und Pflanzenteile über den Stressor »informiert«. Mit Hilfe von CRISPR/Cas sollen Gene verändert werden, die empfänglich für Ethylen sind und dann die nachfolgende Stressreaktion regulieren³ oder die Bildung des Phytohormons regulieren. Aufgrund der Netzwerkverbindungen ist davon auszugehen, dass gegebenen-

falls auch andere Prozesse von dieser gentechnischen Veränderung (z. B. veränderte Bildung von Ethylen) betroffen sind.

Neue Möglichkeiten durch neue Gentechnik

Mit den neuen Gentechnikverfahren wie CRISPR/Cas werden ganz neue, komplexe Veränderungen am Erbgut von Zielorganismen möglich, wie sie mit konventionellen Verfahren kaum umsetzbar sind.⁴ Es können mit der Genschere gleichzeitig mehrere verschiedene Zielbereiche/Gene auf dem Erbgut verändert werden. Dieser Einsatz der Genschere wird auch Multiplexing genannt. Auf diese Weise wurden z. B. in Reispflanzen gleichzeitig acht verschiedene Gene verändert und so unter anderem der Ertrag erhöht sowie die Wuchsform und der Duft von Reis verändert. Der Versuchsanbau fand auf Reisfeldern des China National Rice Research Institut in Hangzhou statt.⁵ Außerdem können mit der Genschere alle DNA-Bereiche, die dieselbe Zielsequenz besitzen, verändert werden. Das ist vor allem in Pflanzen interessant, denn viele landwirtschaftlich relevante Pflanzen besitzen mehrere Chromosomensätze und haben häufig viele Kopien eines Gens in ihrem Erbgut. Weizen hat z. B. einen sechsfachen, Kartoffeln und Baumwolle haben einen vierfachen Chromosomensatz. Mit einer Genschere

wurden so beispielsweise gleichzeitig über 100 Kopien eines Gens in Zuckerrohr verändert.⁶ Außerdem können nun mit CRISPR/Cas Gene verändert werden, die genetisch miteinander gekoppelt sind und gemeinsam vererbt werden. All diese Möglichkeiten können von Wissenschaftlern dazu verwendet werden, um das Erbgut von Zielorganismen so zu verändern, dass sie stresstoleranter werden.

Erste Beispiele für Stresstoleranz

CRISPR/Cas wurde dazu verwendet, zwei agronomisch relevante Eigenschaften in der Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*, wird vor allem als Modellpflanze verwendet) miteinander zu kombinieren. Dafür wurden mehrere Gene gleichzeitig verändert, um so eine erhöhte Samengröße mit einer verstärkten Toleranz gegenüber Trockenheit zu verknüpfen. Das ist 2019 im Labor geglückt.⁷ Was für Auswirkungen diese Veränderungen auf die Entwicklung der Pflanzen haben, muss in Langzeitstudien und unter verschiedenen Stressbedingungen überprüft werden. Die Laborbedingungen spiegeln häufig nur wenige Szenarien wider, denen die Pflanzen unter realen Freilandbedingungen ausgesetzt sein werden. Es sollte auch untersucht werden, inwieweit die genomeditierte Veränderung dieser Pflanzen eine Auswirkung auf andere Organismen im Ökosystem haben werden.

Quirin Wember

Dürre Argumente der Gentechniklobby

Über die vielfältigen Mechanismen der Trockenheitstoleranz und das Scheitern der Gentechnik*

Von Lobbyist*innen der Neuen Gentechnik wird erneut suggeriert, wir bräuchten diese Technologien, um dürre-resistente oder gar klimaanpassungsfähige Pflanzen zu züchten. Aber was ist dran an dem Dürre-Argument?

Vorab: Es gibt nicht die *eine* Eigenschaft »Dürre-resistenz«, auf die gezüchtet oder die gar in Pflanzen eingebaut werden könnte. Vielmehr verfügen Pflanzen über zahlreiche Möglichkeiten, auf Wassermangel zu reagieren. Sie können z. B. tiefer wurzeln, mehr in die Breite wurzeln, mehr Feinwurzeln bilden, sie können eine stärkere Wachsschicht auf den Blättern oder eine stärkere Blattbehaarung bilden, um die Verdunstung zu verringern. Dies können sie aber auch erreichen, indem sie die Spaltöffnungen der Blätter früher schließen oder ihren Tag-Nacht-Rhythmus verändern; sie können z. B. auch das Welken tagsüber ertragen und nachts den Turgor (die pralle Füllung der Zellen) wieder aufbauen, auch osmotische Anpassung kann zur Trockenheitstoleranz beitragen.

Zu welchen dieser Reaktionen Pflanzen fähig oder besonders fähig sind, hängt innerhalb ihrer Arteigen-

schaften von der Genetik der Einzelpflanze oder der Sorte ab. Deshalb kann Züchtung auf Trockenheitstoleranz erfolgversprechend betrieben werden. Effektive züchterische Vorgehensweisen hierfür, wie z. B. die wechselnde Selektion unter Trockenstress und optimalen Feldbedingungen, sind seit Langem bekannt. Doch sie wurden wenig genutzt, da lange vor allem Ertragsmaximierung, verarbeitungstechnische Qualitätsparameter und Krankheitsresistenzen im Vordergrund der meisten Züchtungsprojekte standen. Trockenheitstolerante Pflanzen zeichnen sich aber nicht durch eine einzelne der oben genannten Eigenschaften aus, sondern diese treten immer in unterschiedlichen Kombinationen auf. Daraus ergibt sich zweierlei.

Erstens ist die Züchtung auf Trockenheitstoleranz keine einfache, sondern eine höchst komplexe Angelegenheit, die einer Merkmalsbearbeitung nach dem Baukastenprinzip, wie sie der Gentechnik zugrunde liegt, kaum zugänglich ist. Zwar sagen einige Molekularbiolog*innen, ▶

In einer weiteren Studie nutzen Wissenschaftler die Genschere CRISPR/Cas, um ein bestimmtes Gen in Reislinien auszuschalten, was zu einem weniger starkem Wuchs der Reispflanzen führen soll.⁸ Diese speziellen Reislinien tragen ihrerseits bereits agronomisch wertvolle Eigenschaften in sich, wie bestimmte Krankheitsresistenzen und eine gewisse Toleranz gegenüber geringer Phosphorkonzentration im Boden. Mit Hilfe der Genschere soll nun auch der verminderte Wuchs in diese Reispflanzen eingebracht werden, um das Getreide vor einem Umkippen der Ähren durch beispielsweise starken Wind oder Regen zu schützen. Im Getreideanbau führt der kürzere Abstand der Ähre zum Boden allerdings dazu, dass diese leichter durch Pilze infiziert werden kann, die sich wiederum im Mikroklima der dichten Bestände sehr gut ausbreiten können. Es besteht also die Gefahr, dass durch die eine neue Veränderung gegebenenfalls ein neues Problem entsteht.

In einer anderen Studie wird ein Konzept namens »Urban Agriculture« vorgestellt, um mit Hilfe der neuen Gentechnikverfahren Pflanzen an Anbaubedingungen in städtischen Gebieten anzupassen. So will man dem Problem der Ernährungssicherheit für die immer weiterwachsende Bevölkerung beikommen. Hier wurden Tomaten mit CRISPR/Cas so verändert, dass sie schneller blühen sollen als andere Tomaten

und einen büschelartigen, kleinen Wuchs haben. Insgesamt wurden dafür bei der Tomate drei Gene mit der Genschere ausgeschaltet, die für den Blühzeitpunkt, die Länge des Stammes und das Wachstum der Tomatenpflanzen notwendig sind.⁹ Solche Pflanzen, die einen kleineren Wuchs haben und schnell Früchte tragen, sollen den begrenzten Platz in städtischen Regionen ausnutzen und für eine höhere Ernte sorgen. Was die Veränderung der drei Gene ansonsten noch im Organismus bewirkt wurde nicht untersucht.

Marktreife – in ferner Zukunft

Ein Blick in die wissenschaftliche Literatur der letzten Jahre zeigt eindeutig: Die Genscheren werden überwiegend in der Grundlagenforschung eingesetzt, um zunächst die Regulation von Genen zu erforschen, die unter bestimmten Stressbedingungen an der Reaktion von Pflanzen beteiligt sind. Das wird aus einer Studie ersichtlich, in der eine Übersicht über die Verteilung von wissenschaftlichen Studien der letzten Jahre vorgestellt wurde, die Genome Editing in Pflanzen verwendet haben.¹⁰ Es werden häufig einzelne Gene (oder mehrere Gene gleichzeitig) ausgeschaltet und dann der Effekt davon auf die Entwicklung und den Ertrag der Pflanzen unter bestimmten Stressbedingungen geprüft. Oft sind das Gene, die unter bestimmten

gerade mit der Neuen Gentechnik ließen sich viele Merkmale gleichzeitig verändern und daher effektiver züchten. Doch alle die Eigenschaften, welche Trockenheitstoleranz bedingen, sind tief in der Konstitution der Pflanzen verankert. Eine züchterische Verbesserung von Trockenheitstoleranz ist deshalb fast immer mit weiteren, grundlegenden, pflanzenphysiologischen Veränderungen verbunden. Zu meinen, der heute die Landwirtschaft dominierende Typ der Hochleistungssorte könne einfach zusätzlich mit Trockenheitstoleranz ausgestattet werden, ist ein Irrglaube.

Zweitens müssen trockenheitstolerante Pflanzen je nach räumlichem (im Boden) und zeitlichem (in der Vegetationsperiode) Auftreten von Wassermangel zu unterschiedlichen Reaktionen fähig sein. Die Vereinigung verschiedener, mitunter gegensätzlicher Verhaltensweisen in einer Pflanze stößt aber naturgemäß an Grenzen. Deshalb ist eine breite Trockenheitstoleranz besser mit vielfältigen Sorten, sog. heterogenen Populationen, oder entwicklungsfähigen Mischungen zu verwirklichen, in denen je nach Witterungsverlauf und Art des Wassermangels verschiedene Typen zum Zuge kommen. Dann kann von anpassungsfähigen Populationen gesprochen werden. Das ist nun allerdings gerade nicht das, was diejenigen

im Sinn haben, die eine mit CRISPR/Cas9 hergestellte Dürre-resistenz versprechen.

Hinzu kommt, dass den Folgen des Klimawandels für die Landwirtschaft und den Gartenbau nicht allein mit Züchtung begegnet werden kann. Vielmehr ist eine grundlegende Umstellung vonnöten: hin zu einer verbesserten Bodenpflege, die durch Humusaufbau die Wasserhalteigenschaften des Bodens und die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen verbessert (und zugleich eine CO₂-Senke darstellt), hin zu einer Diversifizierung der Produktionssysteme und Regionalisierung der Lebensmittelerzeugung.

* Gekürzte Fassung aus der *Unabhängigen Bauernstimme* 12 (2018), S. 17.



Dr. Quirin Wember

lehrte bis 2012 ökologische Pflanzenzüchtung an der Uni Kassel. Er ist selbständiger Gemüsezüchter und Vorstandsmitglied im Dreschflegel e.V., Witzenhausen.

quirin@dreschflegel-saatgut.de

Folgerungen & Forderungen

- Die Stressantwort von Pflanzen ist vielfältig, es sind verschiedene Signalwege, die beispielsweise über Phytohormone und andere flüchtige organische Komponenten reguliert werden, daran beteiligt. Dieses Netzwerk muss zunächst einmal im Einzelnen aber auch gerade in seiner Komplexität verstanden werden.
- Genome-Editing-Verfahren werden bislang überwiegend in der Grundlagenforschung dazu eingesetzt, dieses komplexe Zusammenspiel verschiedener Signalwege zu verstehen. Dazu werden vor allem kleine Veränderungen am Erbgut gemacht, um Stress-Gene an- oder abzuschalten, um deren Rolle in der Stressantwort der Pflanze aufzuklären. Dies führt zu Einzelerkenntnissen, nicht aber zum Verständnis der Komplexität als Ganzes.
- Bei der Anwendung der neuen Gentechnikverfahren können unbeabsichtigt Veränderungen am Erbgut, wie zum Beispiel Off-Target- und On-Target-Effekte, bewirkt werden. Das Erbgut genomeditierter Zielorganismen sollte unbedingt auf ungewollte Veränderungen hin überprüft werden. Dazu sind Sequenzierungen ganzer Genome (*Whole Genome Sequencing*) notwendig und umfassende Analysen der Veränderungen.
- Ein beabsichtigter Eingriff in das komplexe Zusammenspiel von verschiedenen Signalwegen innerhalb der Zelle mit Genome-Editing-Verfahren kann Auswirkung auf viele andere Eigenschaften nach sich ziehen. Daher sollte geprüft werden, welche Auswirkungen die beabsichtigten Eigenschaften auf den Organismus selbst und auf deren interagierende Umwelt haben.
- Damit dies sichergestellt wird, braucht es eine Regulierung der neuen Gentechnikverfahren nach bestehendem EU-Gentechnikrecht.

Stressbedingungen verstärkt gebildet oder gehemmt werden. Es lassen sich auch Studien finden, die CRISPR/Cas verwenden, um marktorientierte (für die Kommerzialisierung interessante) Eigenschaften in Nutzpflanzen zu verändern, und die, unter anderem, an stress-toleranteren Pflanzen arbeiten.¹¹ Die meisten dieser genomeditierten Pflanzen werden unter Laborbedingungen gehalten und untersucht.

Eine Analyse der derzeitigen marktorientierten Anwendungen von CRISPR/Cas, um Pflanzen mit einer verbesserten Toleranz gegen abiotischen Stress zu erzeugen, zeigt: Derzeit gibt es noch keine genomeditierte Pflanze, die besonders gut mit den abiotischen Stressfaktoren umgehen kann. Es zeigt sich auch eindeutig, dass es in der Kategorie der marktorientierten Anwendungen erst wenige Studien gibt (insgesamt nur fünf relevante Studien von 231 Markt-orientierten Studien). Dies ist auch ein Hinweis darauf, dass es enorm schwierig ist, die komplexen Stressantworten der Pflanzen zu verändern.

Für die Verbesserung der Resistenzen gegen biotische Stressfaktoren wurden mehr Arbeiten veröffentlicht (insgesamt 23 relevante marktorientierte Studien). Die Art der Studien ist jedoch sehr gemischt: Es gibt einige Arbeiten, bei denen transgene Pflanzen mit Hilfe der fest eingebauten Genschere CRISPR/Cas Gene den eindringenden Erreger erkennen und zerschneiden können und so zum Teil besser geschützt sind. In anderen Arbeiten werden wiederum pflanzeigene Gene so verändert, dass die Pflanzen immun sind gegenüber den eindringenden Erregern. Aber auch aus dieser Kategorie hat es noch keine genomeditierte Pflanze auf den Markt geschafft. Bisher sind nur zwei genomeditierte Pflanzen auf dem US-

und kanadischen Markt erhältlich: ein Raps mit einer Herbizidtoleranz von der Firma Cibus und eine Sojapflanze der Firma Calyxt, die eine veränderte Fettsäurezusammensetzung besitzt.

Ausblick

Die Ausführungen zeigen, dass die Regulation der Genexpression von Stress-Genen sehr komplex ist. Im Moment werden vor allem einzelne Komponenten der Stressnetzwerke und ihre Zusammenhänge erforscht und dafür aus- oder angeschaltet. Stressantworten der Pflanze werden aber durch viele verschiedene Faktoren reguliert, die unterschiedliche Mechanismen der Zellen beeinflussen. Werden diese Faktoren durch Genome Editing verändert, so kann gleichzeitig in mehrere Stoffwechselwege eingegriffen werden, was unbeabsichtigte Folgen für die Pflanzen und ihre unmittelbare Umwelt verursachen kann. Je mehr Zielgene gleichzeitig verändert werden, umso komplexer wird der gentechnische Eingriff in den Stoffwechselkreislauf der pflanzlichen Zellen. Wie sich solche genomeditierten Pflanzen unter realistischen Umweltbedingungen entwickeln, ist noch unklar. Klar ist, dass in der Natur viele verschiedene Faktoren mit diesen Pflanzen wechselwirken werden und sich die genomeditierten Veränderungen unter diesen Bedingungen erstmal als vorteilhaft bewähren müssen.

Auch die unbeabsichtigten, technischen Fehler der neuen Gentechnikverfahren¹² sollten eingehend überprüft werden, denn auch bei der Anwendung dieser Verfahren bei Pflanzen werden immer mehr ungewollte Veränderungen im Erbgut beschrieben.¹³ Eine Regulierung von genomeditierten Organismen

und damit eine angemessene Risikobewertung stellt sicher, dass solche Organismen eingehend überprüft werden. Das ist auch insbesondere wichtig, um einen Überblick zu behalten, welche Organismen überhaupt auf dem Markt sind und wie genau sie mit den neuen Gentechnikverfahren verändert wurden.

Das Thema im Kritischen Agrarbericht

- ▶ Katharina Kwall: Die neuen Gentechnikverfahren. Eine Bewertung aus naturwissenschaftlicher Sicht. In: Der kritische Agrarbericht 2019, S. 290–297.
- ▶ Stefanie Hundsdoerfer: Präzise, sicher und unentbehrlich? Argumente von Befürwortern der neuen gentechnikverfahren auf dem Prüfstand. In: Der kritische Agrarbericht 2019, S. 298–304.
- ▶ Annemarie Volling und Marcus Nürnberger: Entwicklungen & Trends 2017: Neue Verfahren, neue Probleme – Gentechnik zwischen Offensive und Widerstand. In: Der kritische Agrarbericht 2018, S. 271–285, hier: S. 277–282.
- ▶ Christoph Then: Gentechnik, die keine sein soll ... Wie die Industrie versucht, neue Gentechnik-Verfahren bei Pflanzen und Tieren als konventionelle Züchtung einzustufen. In: Der kritische Agrarbericht 2016, S. 277–282.
- ▶ Christoph Then: Gentechnik oder nicht? Neue Züchtungsverfahren bei Pflanzen und Tieren. In: Der kritische Agrarbericht 2015, S. 253–258.

Anmerkungen

- 1 Siehe hierzu auch den einführenden Beitrag von C. Heidecke et al. in diesem *Kritischen Agrarbericht*, S. 13–18.
- 2 Bei dem Begriff »Genschere« handelt es sich um eine oft verwendete Metapher, die einen komplexen molekularbiologischen Prozess veranschaulichen soll. Dabei wird oft das Bild vermittelt, dass die Genschere nur einen kleinen präzisen Schnitt im Erbgut bewirkt. Mittlerweile ist jedoch bekannt, dass es bei der Anwendung der Genschere zu unbeabsichtigten Veränderungen kommen kann und die Genschere durchaus auch Fehler macht. Da sich die Metapher der Genschere in den letzten Jahren im üblichen Sprachgebrauch jedoch durchgesetzt hat, wird diese im Text verwendet.
- 3 J. Debarma et al.: Ethylene Response Factor (ERF) family proteins in abiotic stresses and CRISPR–Cas9 genome editing of ERFs for multiple abiotic stress tolerance in crop plants: a review. In: *Molecular Biotechnology* 61/2 (2019), pp. 153–172. Doi: 10.1007/s12033-018-0144-x.
- 4 Eine Beschreibung der Funktionsweise der Genschere CRISPR/Cas und eine Erläuterung der bisher bekannten unbeabsichtigten Veränderungen, die mit der Anwendung dieser Techniken einhergehen, sowie der Folgen der beabsichtigten Veränderung(en) findet sich in K. Kwall: Die neuen Gentechnikverfahren. Eine Bewertung aus naturwissenschaftlicher

Sicht. In: Der kritische Agrarbericht 2019, S. 290–297. – Siehe dazu auch K. Kwall: New possibilities on the horizon: Genome editing makes the whole genome accessible for changes. In: *Frontiers in Plant Science* 10 (2019), 525. Doi: 10.3389/fpls.2019.00525.

- 5 L. Shen et al.: Rapid generation of genetic diversity by multiplex CRISPR/Cas9 genome editing in rice. In: *Science China Life Science* 60/5 (2017), pp. 506–515. Doi: 10.1007/s11427-017-9008-8.
- 6 B. Kannan et al.: TALEN-mediated targeted mutagenesis of more than 100 COMT copies/alleles in highly polyploid sugarcane improves saccharification efficiency without compromising biomass yield. In: *Plant Biotechnology Journal* 16/4 (2018), pp. 856–866. Doi: 10.1111/pbi.12833.
- 7 S. Chen et al.: Genome editing to integrate seed size and abiotic stress tolerance traits in Arabidopsis reveals a role for DPA4 and SOD7 in the regulation of inflorescence architecture. In: *International Journal of Molecular Sciences* 20/11 (2019), 2695. Doi: 10.3390/ijms20112695.
- 8 X. Hu et al.: Using CRISPR–Cas9 to generate semi-dwarf rice lines in elite landraces. In: *Sci Rep* 9/1 (2019), 19096. Doi: 10.1038/s41598-019-55757-9.
- 9 C. T. Kwon et al.: Rapid customization of Solanaceae fruit crops for urban agriculture. In: *Nature Biotechnology* 38/2 (2020), pp. 182–188. Doi: 10.1038/s41587-019-0361-2.
- 10 D. Modrzejewski et al.: What is the available evidence for the range of applications of genome-editing as a new tool for plant trait modification and the potential occurrence of associated off-target effects: a systematic map. In: *Environmental Evidence* 8/27 (2019). Doi: 10.1186/s13750-019-0171-5.
- 11 D. Modrzejewski et al.: 2. Aktualisierung der Übersicht über Nutz- und Zierpflanzen, die mittels neuer molekularbiologischer Techniken für die Bereiche Ernährung, Landwirtschaft und Gartenbau erzeugt wurden – marktorientierte Anwendungen. 2020 (www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Gruene-Gentechnik/NMT_Uebersicht-Zier-Nutzpflanzen.pdf?__blob=publicationFile&v=3).
- 12 Siehe hierzu K. Kwall: Die neuen Gentechnikverfahren. Eine Bewertung aus naturwissenschaftlicher Sicht. In: Der kritische Agrarbericht 2019, S. 290–297.
- 13 K. Kwall, J. Cotter and C. Then: Broadening the GMO risk assessment in the EU for genome editing technologies in agriculture. In: *Environmental Sciences Europe* 32/1 (2020) 106. Doi: 10.1186/s12302-020-00361-2.



Dr. Katharina Kwall

bis Ende 2017 am Max-Planck-Institut für Infektionsbiologie in Berlin. Seit 2018 Leiterin der Fachstelle für Gentechnik und Umwelt (FGU) in München.

Frohschammerstr. 14, 80807 München
info@fachstelle-gentechnik-umwelt.de