

Kleine Veränderungen – große Wirkungen

Über Anwendungsmöglichkeiten der neuen Gentechnik und deren Risiken

von Katharina Kawall

Die Europäische Kommission hat mit ihrer Studie und ihrer vorläufigen Folgenabschätzung zu Anwendungen der neuen Gentechnikverfahren wie CRISPR/Cas einen Prozess über die Deregulierung einiger Gentechnikverfahren angestoßen. In den nächsten Jahren soll geprüft werden, inwieweit bestimmte Anwendungen der neuen Gentechnik in Pflanzen von der aktuellen Regulierung nach EU-Gentechnikrecht ausgenommen oder abgeschwächt reguliert werden können. Die Deregulierung könnte die überwiegende Mehrheit der Anwendungen in Pflanzen betreffen. In diesem Beitrag werden die wissenschaftlichen Grundlagen der neuen Gentechniken erklärt, um zu verstehen, über welche Anwendungen der Genscheren derzeit diskutiert wird. Außerdem werden Anwendungsmöglichkeiten der neuen Gentechnik zusammengefasst, mit denen tiefgreifende Veränderungen im Erbgut von Zielorganismen bewirkt werden können. Anhand von Beispielen wird gezeigt, dass auch kleine Veränderungen große Auswirkungen haben können.

Mit der neuen Gentechnik, auch Genome Editing genannt, können gezielt Veränderungen am Erbgut von verschiedenen Organismen erreicht werden. Das derzeit am häufigsten genutzte Verfahren ist die Genschere CRISPR/Cas, auf deren Anwendung in Pflanzen der Fokus dieses Beitrages liegt. Die Diskussionen um die neue Gentechnik sind für Nichtwissenschaftler:innen oft schwer nachzuvollziehen und wichtige Aspekte der Wirkweise der Genschere werden mitunter stark vereinfacht dargestellt. Es ist jedoch entscheidend, die Grundlagen zu verstehen, um die Potenziale und Risiken der Genscheren richtig einschätzen zu können. Die Bandbreite der Anwendungsmöglichkeiten reicht von einzelnen Punktmutationen bis hin zum Einbringen ganzer Gene. Der Beitrag erklärt zunächst leicht verständlich die wichtigsten Begriffe und wissenschaftlichen Zusammenhänge, ohne wichtige Details auszulassen, und zeigt dann, welche Veränderungen auch mit vermeintlich kleinen Mutationen möglich sind.

Anwendungen der Genschere

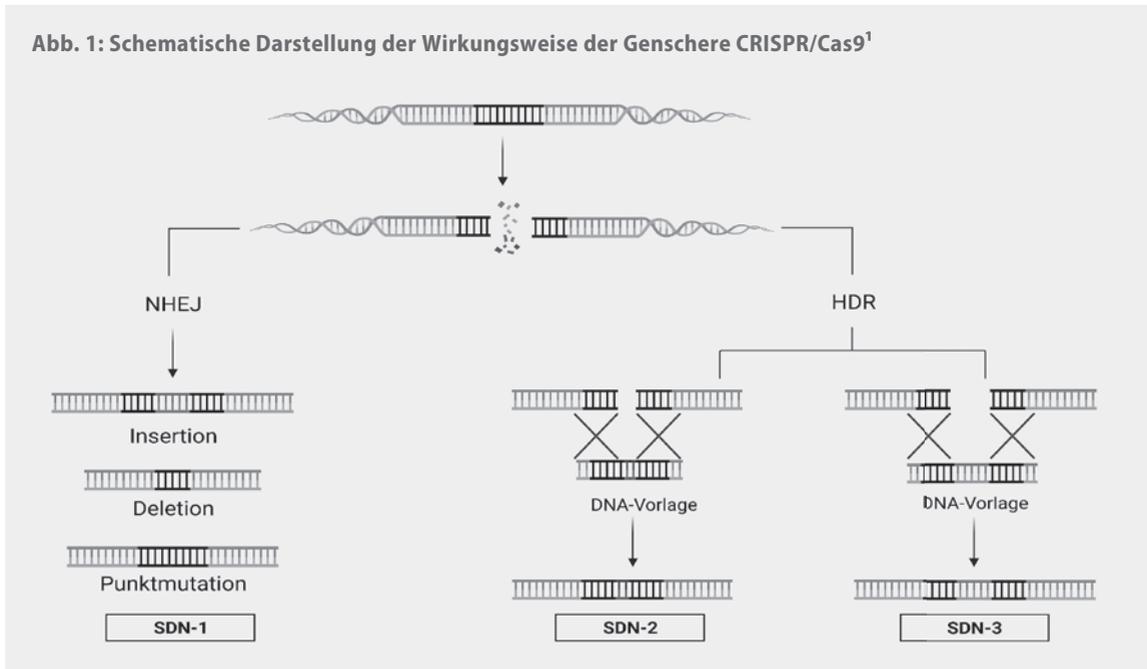
Die Genschere CRISPR/Cas muss zunächst im Labor in pflanzliche Zellen eingeschleust werden. Dafür wird die DNA zur Bildung der Genschere überwiegend mithilfe der alten Gentechnikverfahren, wie der Transformation mit dem Bodenbakterium *Agrobacte-*

rium tumefaciens oder dem Schrotschussverfahren, in die Zellen eingebracht. Aus dieser Genschere-DNA wird erst die eigentliche Genschere gebildet.

Diese besteht aus einer Schneidekomponente und einem kurzen Stück RNA (auch »guide RNA« bzw. »gRNA« genannt), die der Genschere als Erkennungskomponente dient. Die gRNA wird so entworfen, dass die Genschere eine spezifische Zielsequenz im Erbgut erkennt. Die Genschere sucht das Erbgut nach dieser spezifischen Zielsequenz ab, bindet daran und schneidet an dieser Stelle den Doppelstrang der DNA durch. Dieser Schnitt wird von der pflanzlichen Zelle als Schaden an der DNA wahrgenommen und aktiviert zelleigene DNA-Reparaturmechanismen, um den DNA-Schaden so schnell wie möglich wieder zu verschließen. Ausgehend von diesem DNA-Schaden können Wissenschaftler:innen sog. SDN-1-, SDN-2- und SDN-3-Anwendungen durchführen (Abb. 1).

Bei SDN-1-Anwendungen führt der Reparaturmechanismus NHEJ (*non-homologous end joining*) zu einer zufälligen und ungerichteten Reparatur des DNA-Schadens. Dabei wird entweder der Originalzustand der Zielsequenz wiederhergestellt oder es kommt zu kleinen Veränderungen (z. B. Punktmutationen, Insertionen oder Deletionen). Auf diesem Weg können Gene beispielsweise ausgeschaltet oder in ihrer Wirkung verändert werden. Sollte der Ori-

Abb. 1: Schematische Darstellung der Wirkungsweise der Genschere CRISPR/Cas9¹



nalzustand wiederhergestellt werden, kann die Genschere erneut wirken und die DNA an der Zielsequenz schneiden. Es kommt dort also sehr wahrscheinlich zu einer Veränderung.

Bei SDN-2- und SDN-3-Anwendungen wird der DNA-Schaden durch einen anderen Mechanismus namens HDR (*homology-directed repair*) repariert. Dafür werden zusätzlich DNA-Vorlagen mit in die Zellen eingebracht, deren DNA-Sequenz bis auf die gewünschten Veränderungen mit der Zielsequenz übereinstimmt. Entsprechend der DNA-Vorlage können diese beabsichtigten Veränderungen dann in den Zielbereich eingebaut werden – es kommt also zu gerichteten Reparaturen. Bei SDN-2-Anwendungen werden kleinere DNA-Veränderungen herbeigeführt, bei SDN-3-Anwendungen längere DNA-Sequenzen bis hin zu ganzen Genen eingebracht.

Deregulierung von SDN-1- und SDN-2-Produkten?

Vor allem vermeintlich simple Veränderungen, wie sie durch SDN-1-Anwendungen hervorgebracht werden, sollen nach Ansicht von Industrie und verschiedenen wissenschaftlichen Institutionen zukünftig weniger streng oder gar nicht reguliert werden. Auch die EU-Kommission argumentiert, dass SDN-1- und SDN-2-Veränderungen mit natürlicherweise auftretenden oder durch induzierte Mutagenese entstandenen Mutationen gleichzusetzen seien.² Ganz nach dem Motto: Eine Punktmutation ist eben eine Punktmutation. Diese Pauschalisierung verkennt jedoch, wie tiefgreifend auch vermeintlich kleine Veränderungen des

Erbguts aus SDN-1- und SDN-2-Anwendungen sein können. Nur noch komplexere Anwendungen, bei denen zusätzliche Gene eingefügt (SDN-3), besonders große Abschnitte des Erbguts verändert oder komplexe Eigenschaften hergestellt werden, sollen laut EU-Kommission wie Produkte aus der alten Gentechnik reguliert bleiben, also eine Risikobewertung und Zulassungsverfahren durchlaufen.

Ein Blick in eine systematische Literaturanalyse zeigt, dass rund 90 Prozent der marktorientierten Anwendungen der Genschere in Pflanzen aus SDN-1-Verfahren stammen.³ Die meisten dieser Anwendungen sind allerdings der Grundlagenforschung zuzuordnen. Für einen Großteil davon ist noch keine Marktzulassung geplant. Nur zu einem geringen Anteil arbeiten Forscher:innen mit gerichteten SDN-2- und SDN-3-Anwendungen. Der Grund: Die HDR-Reparatur in Pflanzen ist weniger effizient im Vergleich zur NHEJ-Reparatur, die zu SDN-1-Veränderungen führt. Sollten also »simple Veränderungen« durch SDN-1-Anwendungen von einer Risikobewertung ausgenommen werden, dann bedeutet das, dass die große Mehrheit der genomeditierten Pflanzen (GE-Pflanzen) in Zukunft *ohne* eingehende Risiko- und Sicherheitsprüfung zugelassen werden könnten.

Wundermittel zur Anpassung an den Klimawandel?

Es wird von verschiedenen Stakeholdern der Eindruck vermittelt, dass mithilfe der neuen Gentechnik Pflanzen entstehen können, die besser mit sich wech-

selnden Umweltbedingungen umgehen können und resistenter gegenüber Krankheitserregern sind. Solche GE-Pflanzen sollen so widerstandfähiger gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels gemacht werden. Doch sind Praxisanwendungen solcher Pflanzen tatsächlich in naher Zukunft zu erwarten? Das ist im Moment unklar. Das Joint Research Centre (JRC) hat im Auftrag der EU-Kommission einen Bericht erstellt,⁴ der unter anderem eine Übersicht über marktorientierte Anwendungen der neuen Gentechnik in Pflanzen gibt. Aus diesem geht hervor, dass die beiden einzigen bereits vermarkteten genomeditierten Produkte weltweit eine Soja der Firma Calyxt (USA) mit einer veränderten Fettsäurezusammensetzung und eine Tomate, die einen blutdrucksenkenden Stoff bildet (Japan, aktuell in ausgetesteten Kleingärten), sind. Nur wenige GE-Pflanzen stehen kurz vor der Marktreife, bei den meisten davon wurde mit der Genschere eine Herbizidtoleranz erzeugt. Der Großteil der GE-Pflanzen befindet sich, laut der Analyse des JRC, noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase.

Interessanterweise ist in der Datenbank der Europäischen Lebensmittelbehörde (EFSA) ein erster Antrag für die Importzulassung von Pflanzen zu finden, die mit CRISPR/Cas manipuliert wurden.⁵ Ein Mais der Firma Pioneer wurde resistent gegen das Herbizid Glufosinat gemacht und produziert ein Insektengift. Die Genschere wurde dazu verwendet, um eine zusätzliche DNA-Sequenz in das Erbgut des Mais einzufügen. Diese DNA-Sequenz soll den Einbau weiterer Gene erleichtern und wird deswegen auch als *landing pad* bezeichnet. In das *landing pad* wurde dann mittels alter Gentechnik ein Genkonstrukt übertragen, das die Resistenz gegen ein Herbizid und die Produktion eines Insektengifts vermittelt. Bisher wurden in den GE-Pflanzen auf dem Markt oder kurz vor der Marktreife also Eigenschaften bewirkt, die den Zielen der Pflanzen aus der alten Gentechnik ähneln oder fragwürdige Veränderungen der Inhaltsstoffe bewirken. Im Moment ist noch nicht abzusehen, dass demnächst GE-Pflanzen vermarktet werden, die besser an extreme Umweltbedingungen angepasst sind. Über die tieferliegenden Probleme, solche Pflanzen herzustellen und auf die Frage, ob gentechnische Verfahren generell dazu geeignet sind, trockenheitstolerante Pflanzen herzustellen, sind wir in einem gesonderten Beitrag im *Kritischen Agrarbericht 2021* näher eingegangen.⁶

Komplexe Veränderungen im Erbgut möglich

Warum sind Veränderungen des Erbguts durch CRISPR/Cas *nicht* mit natürlicherweise vorkommenden Mutationen gleichzusetzen? Diese Frage ist in der Dis-

kussion um die Regulierung der neuen Gentechnikverfahren zentral. Ihre Beantwortung ist so komplex wie die Einsatzmöglichkeiten von Genome Editing: Mit den Genschern können ganz neue genetische Kombinationen im Erbgut von Pflanzen erzeugt werden, die mit konventionellen Züchtungsverfahren bisher nicht möglich waren oder natürlicherweise nicht auftreten. Ähnlich wie beispielsweise Insektengiftigkeit in Pflanzen nur vorkommt, wenn diese transgen sind, können viele dieser Kombinationen in ihrer Gesamtheit oft gar nicht oder nur mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit mit konventioneller Pflanzenzucht oder zufälligen Mutationen erreicht werden. Im Folgenden werden einige dieser tiefgreifenden Eingriffe erklärt:⁷

- Mit CRISPR/Cas ist es möglich, alle DNA-Bereiche zu verändern, die sich in ihrer Sequenz sehr ähnlich sind. Die Erkennungskomponente der Genschere wird dabei so entwickelt, dass die Genschere mehrere Genbereiche gleichzeitig mit der gleichen DNA-Sequenz erkennt und schneidet. Speziell Pflanzen haben oft ein redundantes Genom, d. h., Gene liegen oft mehrfach (als Genkopien oder Gene einer Genfamilie) oder als Varianten (sog. Allele) vor. Ist ein Gen in mehrfacher Ausführung vorhanden, können alle bzw. mehrere Gene von der Genschere CRISPR/Cas erkannt und verändert werden, wie beispielsweise beim hexaploiden Weizen, der einen sechsfachen Chromosomensatz besitzt und bei dem Gene in sechsfacher Kopie vorliegen. Alle Genkopien eines Gens gleichzeitig zu verändern war bisher nicht möglich.
- Beim Multiplexing werden mehrere gRNAs zusammen mit der Genschere in die pflanzlichen Zellen eingebracht, um unterschiedliche DNA-Bereiche gleichzeitig zu verändern. Dabei werden nicht nur einzelne Kopien der unterschiedlichen Zielgene verändert, sondern auch alle identischen Kopien der jeweiligen DNA-Sequenz. Durch Multiplexing können auch Bereiche des Erbguts gelöscht werden. Dafür werden zwei verschiedene Zielsequenzen durch die Genschere angesteuert und geschnitten. Dadurch kann der »herausgeschnittene« Teil zwischen den Zielbereichen gelöscht werden. Multiplexing wird z. B. verwendet, um mehrere Zielgene, die in einem DNA-Bereich nebeneinander liegen, gemeinsam auszuschalten.
- Mit CRISPR/Cas können Veränderungen auch in besonders geschützten Bereichen des Erbguts, also an Stellen wo natürlicherweise nur sehr selten Mutationen auftreten, induziert werden. Diese Bereiche des Erbguts werden dadurch geschützt, dass ein Reparaturmechanismus hier besonders aktiv wird und neu auftretende Mutationen gleich wieder repariert. Die Wirkungsweise der Genschere führt auch in solchen Bereichen zu Veränderungen: Falls ein durch CRISPR/Cas bewirkter DNA-Doppelstrangbruch so repariert

wird, dass der Originalzustand wiederhergestellt wird, kann CRISPR/Cas die Zielsequenz erneut erkennen und dort schneiden. Schlussendlich erhöht die Genschere so die Wahrscheinlichkeit, dass auch in diesen geschützten Bereichen des Erbguts Veränderungen auftreten können. Mit CRISPR/Cas kann also auch in Genbereiche eingegriffen werden, in denen Mutationen natürlicherweise eher unwahrscheinlich auftreten.

Beispiele von SDN-1-Anwendungen

In einer Analyse der marktorientierten⁸ SDN-1-Anwendungen zeigte sich, dass in ungefähr der Hälfte davon komplexe Eingriffe wie Multiplexing und die Veränderung mehrerer identischer Genkopien durchgeführt werden.⁹ Die andere Hälfte der marktorientierten SDN-1-Anwendungen machen einzelne Genveränderungen (Punktmutationen) aus. Darin enthalten sind auch Veränderungen, die natürlicherweise oder durch induzierte Mutagenese nicht auftreten, wie beispielsweise bei der GE-Tomate mit einem stark erhöhten GABA-Gehalt: Bei dieser Tomate wurde ein ganz bestimmter Bereich des Zielgens verändert, der auch nach vielfachen Versuchen mit chemischer Mutagenese nicht verändert werden konnte.¹⁰ Erst mit CRISPR/Cas konnten dort Veränderungen herbeigeführt werden. Dass diese Tomate also auch durch natürlicherweise vorkommende Mutationen erzeugt werden könne, ist wissenschaftlich zweifelhaft. Auch bei den anderen Anwendungen sind weitere Analysen notwendig, um zu untersuchen, wie hoch der Anteil an natürlicherweise vorkommenden Mutationen wirklich ist. In Tabelle 1 sind einige Beispiele aus der wissenschaftlichen Literatur aufgelistet, die zeigen, welche komplexen Veränderungen mit SDN-1-Anwendungen möglich sind.

In einem Weizen wurden beispielsweise 35 von insgesamt 45 Genkopien gleichzeitig mit der Genschere ausgeschaltet, um den Glutengehalt der Pflanzen zu

verringern. Mit konventioneller Züchtung waren solche komplexen Genveränderungen bisher nicht möglich. Mit vielen kleinen Veränderungen wurde dieser Weizen sozusagen »umprogrammiert«. Das Beispiel zeigt, dass mit der neuen Gentechnik sehr wirkmächtige Werkzeuge zur Verfügung stehen, mit denen durch viele »kleine« Veränderungen viele verschiedene Eigenschaften verändert werden können. Von den erwünschten (neuen) Eigenschaften können aber auch unerwünschte Effekte ausgehen, die ein Risiko für Umwelt und Gesundheit darstellen können und untersucht werden müssen. Es muss genau überprüft werden, ob in dem Weizen beispielsweise neue Gluten-Eiweißstoffe produziert werden, die wiederum zu Entzündungen führen können.

Unbeabsichtigte Veränderungen

Die Risikobewertung von GE-Pflanzen muss unbeabsichtigte Effekte berücksichtigen, die durch die gentechnischen Methoden verursacht werden können. Prozessbasierte Risiken sind im Falle der Genschere CRISPR/Cas sog. Off-target- und On-target-Effekte, die Bildung von unbeabsichtigten Genprodukten (z. B. allergieauslösende Stoffe), der Einbau artfremder DNA sowie unbeabsichtigte Veränderungen, die durch die Anwendung der alten Gentechnik auftreten können.¹¹

Ein weiterer Begleitbericht des JRC zur Studie der EU-Kommission beinhaltet eine Technikcharakterisierung der Genschere und gibt einen Überblick über die Möglichkeiten, komplexe Veränderungen im Erbgut umzusetzen. Allerdings fehlt hier eine Einschätzung, wie die Risiken von Organismen mit neuen komplexen Eigenschaften bewertet werden sollten.¹² Außerdem werden die Risiken, die mit den Anwendungen der neuen Gentechnik einhergehen, nur unzureichend beschrieben. Im JRC-Bericht zur Technikcharakterisierung werden die Off-target-Effekte

Tab. 1: Mögliche komplexe Veränderungen mit SDN-1-Anwendungen

Pflanzenart	Anzahl Chromosomen	genetische Veränderung	Zielgen(e)	Eigenschaften	Technik
Tomate	zweifach	Punktmutation	GAD3	erhöhter GABA-Gehalt	CRISPR/Cas SDN-1
Tabak	zweifach	kleine Insertionen in 12 Genkopien	BBL-Genfamilie	reduzierter Nikotingehalt	CRISPR/Cas SDN-1
Reis	zweifach	Multiplexing von 16 verschiedenen Genen	u. a. GS3, GW2	verschiedene agronomisch relevante Eigenschaften sowie bakterielle Resistenz	CRISPR/Cpf1 SDN-1
Weizen	sechsfach	Veränderung von 35 aus 45 Genvarianten	α-Gliadin-Genfamilie	reduzierter Glutengehalt	CRISPR/Cas SDN-1
Leindotter	sechsfach	Veränderung von 18 Genkopien	FAD2	veränderter Fettsäuregehalt	CRISPR/Cas SDN-1

(OTEs) als unbeabsichtigte Risiken bei einer Anwendung in Pflanzen genannt, weitere ungewollte Effekte werden nicht berücksichtigt. Die Relevanz von OTEs wird darin als vernachlässigbar dargestellt, da OTEs selten auftreten und sie in nachfolgenden Generationen ausgekreuzt werden könnten. Diese Pauschalisierung wird durch wenige wissenschaftliche Publikationen gestützt. Eine systematische Analyse, vor allem in weniger gut untersuchten Nutzpflanzen, fehlt.

In den USA zeigte sich letztes Jahr bei Rindern, was passieren kann, wenn nicht ausreichend nach unbeabsichtigten Veränderungen gesucht wird: Mithilfe einer Genschere wurde ein Gen für Hornlosigkeit übertragen.¹³ Dieser Vorgang wird auch Cisgenese genannt, bei der arteigene Gene eingebracht werden. Dabei wurde aber (unbeabsichtigt) prozessbedingt ein großer DNA-Abschnitt von den Bakterien in das Erbgut der Rinder eingefügt, die die Genschere in die Zellen eingebracht haben. Die Wissenschaftler:innen selbst haben dies nicht bemerkt. Erst in viel späteren Untersuchungen von Behörden wurden diese unbeabsichtigten Effekte bemerkt. Es zeigt sich also, dass bei der Risikoprüfung alle eingesetzten Verfahren berücksichtigt werden müssen.

Ungewollte Umweltauswirkungen

Auch wenn die Veränderungen der DNA durch Genome-Editing-Verfahren erfolgreich und zielgenau sind, können deren Wirkungen auf der Ebene des Organismus ganz anders sein als beabsichtigt. Hier darf »präzise« nicht mit »sicher« gleichgesetzt werden. Durch Wechselwirkungen mit anderen Genen kann sich beispielsweise die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe von Pflanzen verändern oder diese können anfälliger für Krankheiten werden. Betroffen werden können beispielsweise auch die Wechselwirkungen mit Bestäubern, Bodenorganismen oder der Nahrungskette sein. Diese Auswirkungen sind zum Teil schwer zu entdecken, weil es hier nicht ausreicht, nur die Struktur der DNA zu untersuchen. Stattdessen müssten oft komplexe Stoffwechselfvorgänge in der Zelle genauer geprüft werden.

Pflanzen treten in ihrem jeweiligen Ökosystem mit vielen anderen Arten in Wechselwirkung. Auch auf dieser Ebene können unbeabsichtigte Auswirkungen auftreten. Hier sind – neben dem Schädlingsbefall – auch die äußeren klimatischen Bedingungen wie z. B. Trockenheit oder schwankende Temperaturbedingungen relevant, da sie unter anderem Entwicklung und Stressreaktionen der Pflanze beeinflussen. Diese Umweltfaktoren können in der Pflanze Prozesse hervorrufen, bei denen beispielsweise Gene an- bzw. abgeschaltet werden. Die durch CRISPR/Cas bewirkten Veränderungen können hierbei unbeabsichtigte Aus-

wirkungen auf Stoffwechselprozesse und natürliche Interaktionen haben.

Ein Beispiel aus der wissenschaftlichen Literatur kann diese Aspekte veranschaulichen: Mit CRISPR/Cas wurden Veränderungen im Erbgut des Leindotters bewirkt, wie sie mit konventionellen Verfahren bisher nicht erreichbar waren.¹⁴ Dabei wurden mit Hilfe der Genschere drei Gene und all ihre Genkopien so verändert, dass sich die Fettsäurezusammensetzung in den Samen der Pflanzen verändert hat. Insgesamt wurden 18 Genorte verändert. Die Ölsäuren, die in diesen Leindotter Pflanzen verstärkt gebildet werden, können die Gesundheit, das Wachstum und die Fortpflanzungsrate von Wildtieren verändern, die von solchen Pflanzen fressen. Außerdem können Interaktionen mit nützlichen oder schädlichen Insekten/Bestäubern gestört werden, da beispielsweise bestimmte Botenstoffe des Leindotters nicht mehr ausreichend gebildet werden können. Das kann auch dazu führen, dass die Abwehr von Pflanzenkrankheiten geschwächt wird.

Der Bericht des JRC über marktorientierte Anwendungen der neuen Gentechnik in Pflanzen listet insgesamt 426 Pflanzen auf, die sich derzeit bei verschiedenen Forschungsinstituten und Firmen in der Entwicklung befinden. Sollten SDN-1-Anwendungen, wie von der Industrie gefordert, von einer Risikobewertung ausgenommen werden, dann hieße das, dass eine Vielzahl dieser genomeditierten Organismen in relativ kurzer Zeit ungetestet freigesetzt werden könnte – sei

Folgerungen & Forderungen

- Vermeintlich kleine Veränderungen wie Punktmutationen können tiefgreifende Auswirkungen haben.
- Punktmutationen können nicht pauschal als sicher angesehen werden, nur weil beispielsweise keine neuen Gene ins Genom eingefügt werden.
- Anwendungen der Genschere können unbeabsichtigte Veränderungen im Erbgut der Zielorganismen bewirken.
- Mithilfe der Genschere können Veränderungen im Erbgut gemacht werden, wie sie mit konventioneller Züchtung nicht möglich sind und auch natürlicherweise nicht auftreten.
- Die Risikobewertung von genomeditierten Pflanzen, inklusive SDN-1- und SDN-2-Anwendungen, muss sowohl den gentechnischen Prozess, mit dem Veränderungen herbeigeführt werden, als auch das Endprodukt berücksichtigen.
- Alle neuen Gentechnikorganismen müssen gemäß dem Vorsorgeprinzip einer Risikoprüfung und -bewertung unterzogen werden.

es aus kommerziellem Interesse oder zu Forschungszwecken. Welchen Einfluss solche GE-Pflanzen auf die bestehenden Ökosysteme haben, ist im Moment schwer vorherzusagen; aber ungewollte Eingriffe in natürliche Prozesse sind sehr wahrscheinlich.

Fazit: Es handelt sich bei den Genscheren also ganz klar um Gentechnikverfahren, die auch mit gewissen Risiken einhergehen. Ihre Anwendungsformen sind sehr vielfältig, deshalb muss im jeweiligen Einzelfall geprüft werden, ob Risiken für die Gesundheit oder die Umwelt bestehen. Diese Pflanzen aus dem Gentechnikrecht auszunehmen, würde bedeuten, dass sie entwickelt, freigesetzt und ohne verpflichtende Risikoprüfung und -bewertung im Zuge eines Zulassungsverfahrens angebaut und auf den Markt gebracht werden könnten, ohne jegliche Kontrollmöglichkeiten und Transparenz. Die Auswirkungen, die das auf unsere Umwelt haben kann, sind im Moment unkalkulierbar. Wenn Wissenschaftler:innen und Gentechnikindustrie das Erbgut von Pflanzen bewusst verändern wollen, dann müssen die Folgen auch überprüfbar sein und sie auch die Verantwortung dafür übernehmen.

Das Thema im Kritischen Agrarbericht

- ▶ Katharina Kawall: Mit den neuen Gentechnikverfahren dem Klimawandel trotzen? In: Der kritische Agrarbericht 2021, S. 300–305.
- ▶ Katharina Kawall: 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 Abbildung erstellt mit BioRender.com.
- 2 European Commission: Study on the status of new genomic techniques under Union law and in light of the Court of Justice ruling in Case C-528/16. Brussels 29. April 2021 (https://ec.europa.eu/food/system/files/2021-04/gmo_mod-bio_ngt_eu-study.pdf).

- 3 D. Modrzejewski et al.: 2. Aktualisierung der Übersicht über Nutz- und Zierpflanzen, die mittels neuer molekular-biologischer Techniken für die Bereiche Ernährung, Landwirtschaft und Gartenbau erzeugt wurden – marktorientierte Anwendungen (Version 20. März 2020) (www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Landwirtschaft/Gruene-Gentechnik/NMT_Uebersicht-Zier-Nutzpflanzen.html).
- 4 C. Parisi and E. Rodriguez-Cerezo: Current and future market applications of new genomic techniques. Ed. by Joint Research Centre (JRC). Luxembourg 2021 (<https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8940fa16-a17e-11eb-b85c-01aa75ed71a1/language-en>).
- 5 Zulassungsantrag siehe: www.testbiotech.org/sites/default/files/EFSA-Q-2020-00834-EFSA-GMO-NL-2020-172_%20Summary.pdf.
- 6 Siehe hierzu K. Kawall: Mit den neuen Gentechnikverfahren dem Klimawandel trotzen? In: Der kritische Agrarbericht 2021, S. 300–305. – Dort auch der Beitrag des ökologischen Pflanzenzüchters Quirin Wember: Dürre Argumente der Gentechniklobby. Über die vielfältigen Mechanismen der Trockenheitstoleranz und das Scheitern der Gentechnik (ebd., S. 302 f.).
- 7 Weitere sind im zweiten Hintergrundpapier über die Möglichkeiten von CRISPR/Cas von der Fachstelle Gentechnik und Umwelt zu finden (<https://fachstelle-gentechnik-umwelt.de/hintergrund-informationen/>).
- 8 Marktorientiert bedeutet, dass Eigenschaften in den Pflanzen mit SDN-1-Anwendungen verändert wurden, die für eine Kommerzialisierung von Interesse sein könnten.
- 9 K. Kawall: The generic risks and the potential of SDN-1 applications in crop plants. In: *Plants* 10/11 (2021). DOI: 10.3390/plants10112259.
- 10 S. Nonaka et al.: Efficient increase of γ -aminobutyric acid (GABA) content in tomato fruits by targeted mutagenesis. In: *Scientific Reports* 7/7057 (2017). DOI: 10.1038/s41598-017-06400-y.
- 11 Eine ausführliche Beschreibung der Risiken sind auf der Webseite der Fachstelle Gentechnik und Umwelt zu finden (https://fachstelle-gentechnik-umwelt.de/wp-content/uploads/FGU_CRISPR_Risiken2.pdf).
- 12 W. Broothaerts et al.: New genomic techniques: State-of-the-art review. Ed. by Joint Research Centre (JRC). Luxembourg 2021. DOI: 10.2760/710056.
- 13 A. L. Norris et al.: Template plasmid integration in germline genome-edited cattle. In: *Nature Biotechnology* 38/2 (2020), pp.163–164. DOI: 10.1038/s41587-019-0394-6.
- 14 K. Kawall: Genome-edited *Camelina sativa* with a unique fatty acid content and its potential impact on ecosystems. In: *Environmental Sciences Europe* 33/38 (2021). DOI: 10.1186/s12302-021-00482-2.



Dr. Katharina Kawall

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

info@fachstelle-gentechnik-umwelt.de